

UTILIZZO DI ALGORITMI INNOVATIVI DI RIPARTIZIONE DELLE SORGENTI PER LA DEFINIZIONE DI SCENARI DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI SULL'AREA DI MILANO

Marco Bedogni¹, Simone Casadei¹, Guido Pirovano², Maurizio Riva²

¹Agenzia Mobilità e Ambiente di Milano, Via Beccaria 19, 20122 Milano, marco.bedogni@ama-mi.it

²CESI RICERCA Spa, via Rubattino 54 - 20134 Milano, guido.pirovano@cesiricerca.it

RIASSUNTO

Il lavoro descrive l'applicazione del modello di chimica e trasporto CAMx sull'area di Milano per l'intero anno 2004, focalizzata alla definizione ed alla valutazione dell'efficacia di possibili politiche di riduzione delle emissioni. I risultati delle simulazioni sono stati analizzati attraverso l'applicazione di un algoritmo di source apportionment (SA), che ha permesso di discriminare, con particolare riferimento alla città di Milano, il contributo dei principali settori emissivi alle concentrazioni di particolato, nonché di distinguere il ruolo della città rispetto a quello delle aree circostanti. Sulla base delle indicazioni fornite dall'analisi del ruolo delle sorgenti si è poi proceduto alla definizione degli scenari di riduzione. La valutazione preliminare dell'efficacia delle diverse politiche implementate sembra essere in accordo con le indicazioni dell'analisi SA, evidenziando come la politica complessivamente più efficace dovrebbe probabilmente indirizzare da un lato le autorità locali verso riduzioni anche rilevanti della frazione primaria, ma dall'altra cercare di promuovere azioni più coordinate a livello di bacino, per quanto concerne i precursori della frazione secondaria.

INTRODUZIONE

Il particolato atmosferico rappresenta ormai da diverso tempo una forma di inquinamento particolarmente problematica per gli effetti molto rilevanti che può avere su salute ed ecosistemi. L'analisi delle misure di PM10 ha inoltre confermato che ancora nel 2004 gli standard di qualità dell'aria previsti dall'Unione Europea vengono frequentemente superati. In particolare, l'area di Milano ed il bacino padano nel suo complesso sono soggetti a condizioni particolarmente critiche, dovute alle loro peculiari condizioni meteorologiche ed emmissive, che inducono frequenti superamenti degli standard di legge, in particolare nella stagione invernale.

Tuttavia, la definizione di efficaci politiche di riduzione rappresenta un esercizio spesso complesso a causa delle rilevanti non-linearità che influenzano le interazioni fra le diverse sorgenti emmissive. In questo contesto, i modelli numerici possono rappresentare uno strumento di notevole efficacia, in particolare per quantificare il ruolo dei diversi soggetti emissivi coinvolti. In particolare il modello CAMx implementa l'algoritmo PSAT (Particulate Source Apportionment Technology, Yarwood, G. et al., 2004) che permette di discriminare il contributo di differenti categorie ed aree emmissive alle concentrazioni simulate di materiale particolato. L'algoritmo PSAT è incluso direttamente nel codice CAMx e permette di ridurre in modo molto significativo l'effetto delle non linearità che si manifestano invece con approcci più tradizionali, quali la tecnica di *zero-out* (ovvero rimozione della sorgente d'interesse). Di seguito vengono descritti i risultati della simulazione annuale condotta con CAMx sull'area di Milano ed i principali risultati ottenuti dall'implementazione di alcuni scenari di riduzione delle emissioni, definiti sulla base delle indicazioni dell'analisi di SA.

IL MODELLO CAMX E L'ESERCIZIO MODELLISTICO CITYDELTA

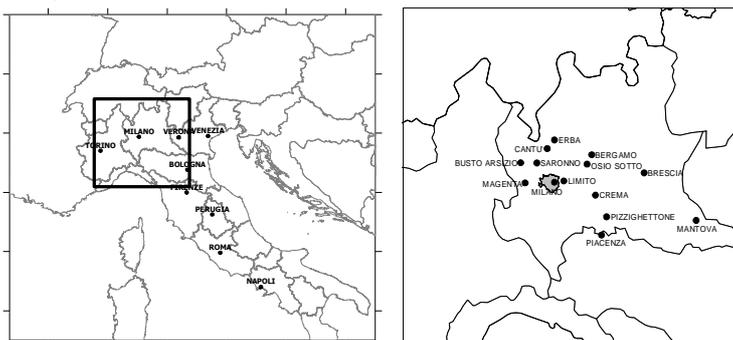
Nell'ambito del programma CAFE (Clean Air for Europe), il centro comune di ricerche di Ispra (JRC) ha organizzato un esercizio modellistico denominato CityDelta (<http://aqm.jrc.it/citydelta>). Obiettivo principale dell'esercizio era quello di confrontare i risultati prodotti da diversi modelli numerici di chimica e trasporto al fine di valutare le variazioni di qualità dell'aria (ozono e PM in particolare), generate dall'implementazione di scenari di variazione delle emissioni su scala locale e di bacino (Cuvelier, C. et al., 2007) su diverse città europee. Nell'ambito di tale progetto, il modello CAMx (Environ, 2006) è stato applicato sull'area di Milano per ricostruire le concentrazioni di ozono e PM10 (Angelino, E. et al., 2008). Il modello è stato applicato implementando il meccanismo CB-IV per la ricostruzione della chimica in fase gas, l'algoritmo ISORROPIA per la riproduzione dell'equilibrio termodinamico dell'aerosol inorganico, lo schema SOAP per la stima della frazione organica secondaria.

Contestualmente alla simulazione si è proceduto all'applicazione dell'algoritmo di SA, con particolare riferimento al recettore corrispondente alla città di Milano. Il dominio di calcolo copre un'area di 300x300 km², centrato sulla città di Milano che include una vasta area pianeggiante corrispondente alla parte centrale della pianura padana, circondata su tre lati da rilievi montuosi alpini ed appenninici. L'area è frequentemente caratterizzata da condizioni di vento debole ed intensa radiazione solare che generano episodi di alte concentrazioni di ozono nei mesi estivi e di particolato in quelli invernali. Il dominio di calcolo è stato suddiviso secondo una griglia regolare di celle con passo pari a 5 km, mentre la struttura verticale del

dominio è stata suddivisa in 11 livelli di spessore crescente. Per maggiori dettagli sulla configurazione modellistica si rimanda ad Angelino *et al.* (2008).

Il data set di input (emissioni, condizioni al contorno e campi meteorologici) è stato fornito dal JRC ai diversi partecipanti. L'input emissivo del modello è stato ricostruito utilizzando l'inventario INEMAR 2003 sulla regione Lombardia (ARPA Lombardia e regione Lombardia, 2006) e le stime EMEP sulla restante parte di dominio. Le emissioni di PM₂₅ sono dovute principalmente al riscaldamento domestico ed al trasporto su strada, che contribuiscono rispettivamente al 32% e 24% del totale. Per quanto riguarda i precursori della frazione secondaria, gli ossidi d'azoto sono emessi principalmente dal trasporto su strada (circa il 50%), gli ossidi di zolfo dagli impianti termoelettrici (45%) e l'ammoniaca dall'agricoltura (95%).

Figura 1 – Dominio di calcolo e posizione delle stazioni di misura



La valutazione dei risultati della simulazione di caso base è stata focalizzata sul confronto con le misure di Ozono e PM₁₀, perché nel 2004 non erano disponibili misure di PM₂₅ in numero adeguato. La validazione è stata effettuata attraverso il confronto con statistiche giornaliere di ozono e PM₁₀ rilevate in 14 stazioni di tipo background e riportate in figura 1. La validazione ha evidenziato buoni risultati per quanto concerne l'ozono, mentre il PM₁₀ è risultato generalmente sottostimato, come già evidenziato in altre fasi del progetto (Vautard *et al.*, 2007). In corrispondenza di Milano, il modello sottostima la concentrazione media annua di circa il 30%, mentre il valore di correlazione varia fra 0.6 e 0.7. Il confronto con la distribuzione stagionale di misure di composti del PM₁₀ effettuate nell'area di Milano negli anni 2002 e 2003 (Lonati *et al.*, 2007), ha evidenziato un buon accordo fra i valori misurati e calcolati di nitrato, ammonio e carbonio elementare, uniti ad una tendenza alla sovrastima del solfato ed una significativa sottostima del carbonio organico e di una parte della frazione primaria. Maggiori dettagli relativi alla validazione della simulazione sono riportati in Bedogni *et al.* (2009)

ANALISI DEL RUOLO DELLE SORGENTI

I risultati della simulazione modellistica ottenuti in corrispondenza del recettore di Milano sono stati poi analizzati attraverso l'applicazione dell'algoritmo di SA, allo scopo di determinare il contributo di alcuni settori emissivi di particolare rilevanza quali trasporto su strada, riscaldamento domestico, agricoltura e produzione di energia elettrica. L'algoritmo è stato applicato alla frazione primaria ed alla frazione secondaria inorganica, diversamente la frazione secondaria organica, ampiamente sottostimata dal modello è stata trascurata. Inoltre, poiché la simulazione non contempla alcuni processi che influenzano in modo più rilevante la frazione *coarse*, si è deciso di limitare l'analisi delle sorgenti al PM₂₅

I risultati ottenuti (Bedogni *et al.* 2009) hanno evidenziato che il trasporto su strada fornisce il contributo più rilevante, superiore al 25%, alla media annua di PM₂₅ seguito da riscaldamento domestico e agricoltura. L'analisi ha inoltre evidenziato che la città contribuisce per il 18% alla concentrazione media annua di PM₂₅, confermando che il particolato costituisce un problema a scala di bacino. Per quanto concerne la frazione primaria (che costituisce circa il 30% del PM₂₅ complessivo), il contributo delle emissioni locali si attesta attorno al 34% e tale quota sale al 57% se si considera l'intera area urbanizzata confinante con il comune di Milano. Diversamente, l'area della città contribuisce solo all'11% della frazione secondaria di PM₂₅ a Milano; in questo caso il contributo più rilevante, pari al 56%, è dovuto alle restante parte della regione, dove rilevanti emissioni di precursori dell'aerosol vengono trasformati e trasportati verso la città.

L'applicazione dell'algoritmo PSAT ha permesso anche di valutare in modo quantitativo la variabilità dell'efficienza dei processi di produzione dell'aerosol secondario inorganico rispetto a diversi parametri. Gli indicatori utilizzati hanno dimostrato che, in prossimità della sorgente, gli ossidi d'azoto emessi dalla città di Milano presentano la minore efficienza di trasformazione nel corrispondente composto in fase aerosol e che, al contrario, l'ammoniaca presenta i valori più alti; ciò perché l'ammoniaca non è soggetta a processi di ossidazione, ma viene quindi rapidamente trasformata in fase aerosol per equilibrare la presenza di solfato e

nitrito. Tale differenza si osserva anche in termini medi sull'intera regione, anche se, in questo caso, i tempi di residenza mediamente più alti permettono di aumentare i ratei di trasformazione degli ossidi d'azoto.

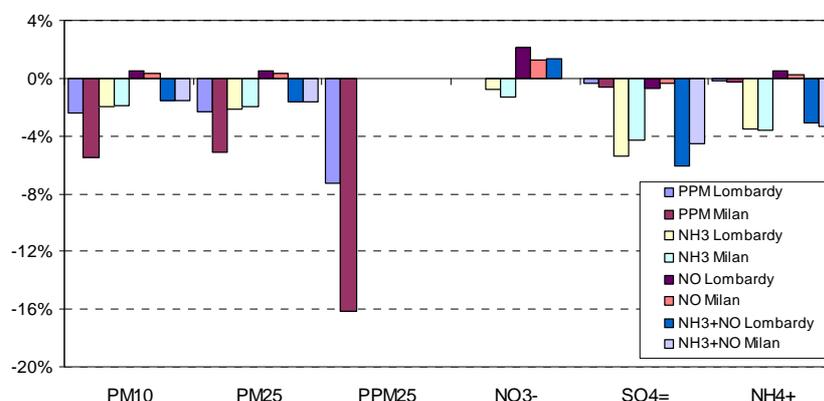
ANALISI DEGLI SCENARI DI RIDUZIONE DELLE EMISSIONI

L'analisi del ruolo delle sorgenti ha fornito diverse indicazioni sulla base delle quali si è proceduto alla definizione degli scenari di riduzione delle emissioni. In particolare gli scenari sono stati definiti in funzione dei seguenti obiettivi: a) confrontare politiche basate su forti riduzioni di carattere locale, rispetto a riduzioni più contenute, ma applicate a scala regionale; b) valutare l'efficacia di politiche focalizzate sulla frazione primaria, rispetto ad interventi sui precursori della frazione secondaria inorganica; c) analizzare l'influenza dell'efficienza di trasformazione rispetto alle politiche di riduzione dei precursori. A tale scopo sono stati definiti complessivamente 8 scenari, le cui caratteristiche sono riportate in tabella 1. Le politiche di tipo *regionale* sono state implementate, riducendo le emissioni su tutta la regione Lombardia del 10%, mentre quelle di carattere locale erano focalizzate solo sulla città di Milano, le cui emissioni venivano ridotte del 50%. Le politiche hanno riguardato: la frazione primaria, gli ossidi d'azoto e l'ammoniaca.

Tabella 1 – Definizione degli scenari di riduzione delle emissioni e diminuzione relativa rispetto al caso base espressa a livello di dominio.

Scenario	PM10	PM25	NO	NH ₃
Base Case [ton/dominio/giorno]	144	122	575	538
-10% PPM Lombardia	-4%	-4%	0%	0%
-50% PPM Milano	-1%	-1%	0%	0%
-10% NH ₃ Lombardia	0%	0%	0%	-5%
-50% NH ₃ Milano	0%	0%	0%	0%
-10% NO Lombardia	0%	0%	-5%	0%
-50% NO Milano	0%	0%	-2%	0%
-10% NH ₃ +NO Lombardia	0%	0%	-5%	-5%
-50% NH ₃ +NO Milano	0%	0%	-2%	0%

Figura 2 - . Variazione della concentrazione media trimestrale di PM10 ed altre specie relativa la recettore di Milano, determinata dall'applicazione dei diversi scenari di riduzione.



Le simulazioni di scenario sono state effettuate in forma preliminare in riferimento al solo trimestre invernale (1 gennaio – 1 marzo) durante il quale, generalmente, si registrano le concentrazioni più elevate. La figura 2 illustra la variazione della concentrazione della media trimestrale di PM10 e di altre specie, calcolata in corrispondenza del recettore di Milano per i diversi scenari. La diminuzione più significativa di PM10, pari al 5% della concentrazione media, si ottiene con lo scenario 1 focalizzato sulla riduzione dell'emissione di particolato primario emesso a Milano. Può essere interessante osservare come una politica analoga di intensità ridotta di un fattore 5, ma applicata sull'intera regione porti comunque ad un effetto pari al 50% di quello ottenuto applicando la riduzione solo su scala locale. La leggera riduzione di composti ionici (ad es. solfato) che si ottiene diminuendo la sola frazione primaria è determinata dalla presenza in emissione di piccole frazioni di tali composti (ad es. solfato dovuto dall'usura di freni e pneumatici).

Le politiche focalizzate sui precursori della frazione secondaria, in particolare ossidi d'azoto ed ammoniaca, hanno messo in luce comportamenti piuttosto differenti. La riduzione dell'ammoniaca si è rivelata più efficace della corrispondente riduzione di ossidi d'azoto, dando luogo ad una diminuzione della

concentrazione di PM10 pari al 2%. Differentemente gli scenari basati sui NO_x hanno dato luogo ad un incremento della concentrazione di PM10. Questo risultato, abbastanza sorprendente, può essere spiegato dall'alta disponibilità di ossidi d'azoto nell'area di Milano e la conseguente bassa efficienza di trasformazione; infatti NO è sì un precursore del nitrato, ma è anche coinvolto in processi di reazione che possono portare alla rimozione di altri ossidanti. Di conseguenza una diminuzione del nitrato e la contemporanea crescita del solfato potrebbero indicare che le capacità ossidante dell'atmosfera è mutata, favorendo più l'ossidazione dello zolfo che dell'azoto. Diversamente, l'elevata efficienza di trasformazione dell'ammoniaca e la riduzione di ione ammonio che si registrano quando vengono diminuite le emissioni di azoto ridotto, sembrano confermare che nell'area di Milano l'ammoniaca si comporti da fattore limitante.

CONCLUSIONI

Il sistema modellistico basato sul modello di chimica e trasporto CAMx è stato applicato sull'area di Milano con lo scopo di definire e valutare un insieme di possibili politiche di riduzione delle emissioni, finalizzate al miglioramento delle concentrazioni di PM10 nell'area. L'insieme di scenari è stato determinato sulla base delle principali conclusioni tratte dall'analisi del ruolo delle sorgenti sul recettore di Milano, realizzato attraverso l'applicazione dell'algoritmo PSAT, disponibile nel codice CAMx. Di conseguenza, la presente applicazione ha permesso anche di verificare, almeno in forma preliminare, se gli strumenti di analisi del ruolo delle sorgenti possono fornire utili indicazioni anche per indirizzare la definizione delle politiche di risanamento.

Una prima valutazione dei risultati prodotti dagli scenari di riduzione, sembra confermare tale ipotesi. In particolare, i risultati ottenuti hanno evidenziato che: a) le politiche di scala locale focalizzate sulla frazione primaria sono incisive, ma il loro effetto è di un ordine di grandezza inferiore alla corrispondente riduzione delle emissioni, poiché una frazione molto rilevante di PM10 a Milano è di origine secondaria ed una quota non trascurabile di particolato primario proviene comunque dalla scala di bacino; b) le politiche di riduzione dell'ammoniaca si sono rivelate più efficienti di quelle focalizzate sugli ossidi d'azoto sia a scala locale che regionale; tale risultato sembra quindi confermare che l'azoto ridotto svolge azione di fattore limitante nella produzione di aerosol secondario a Milano; c) forti politiche di scala locale si sono rivelate efficaci quanto interventi meno impegnativi, ma estesi a livello regionale, coerentemente con le indicazioni fornite dall'analisi SA. Quest'ultimo risultato evidenzia come l'effettiva implementazione di una o l'altra tipologia di politiche vada a questo punto analizzata in termini di effettiva fattibilità e costi, tenendo anche in considerazione la diversa ricaduta a livello di bacino indotta da politiche locali invece che regionali.

Infine in termini più generali, questa valutazione preliminare sembra suggerire che la politica complessivamente più efficace dovrebbe indirizzare le autorità locali verso politiche di forte riduzione della frazione primaria, anche attraverso azioni indipendenti, ma cercando nel contempo di promuovere sforzi più coordinati a livello di bacino, per quanto concerne gli inquinanti secondari.

RINGRAZIAMENTI

Il contributo di Agenzia Mobilità e Ambiente è stato sostenuto dal comune di Milano nell'ambito delle sue attività istituzionali.

Questo lavoro è stato finanziato dal Fondo di Ricerca per il Sistema Elettrico nell'ambito dell'Accordo di Programma tra CESI RICERCA ed il Ministero dello Sviluppo Economico - D.G.E.R.M. stipulato in data 21 giugno 2007 in ottemperanza del DL n.73, 18 giugno 2007.

Bibliografia

- Angelino, E., M. Bedogni, C. Carnevale, G. Finzi, E. Minguzzi, E. Peroni, C. Pertot, G. Pirovano and M. Volta, PM10 Chemical Model Simulations Over Northern Italy in the Framework of the CityDelta Exercise, 2008, Environmental Modeling and Assessment, Vol. 13(3), 401-413, September 2008, DOI 10.1007/s10666-007-9104-8.
- ARPA Lombardy and Lombardy Region, INEMAR, Inventario Emissioni in Atmosfera: emissioni in regione Lombardia nell'anno 2003, 2006, Public data, <http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm>.
- Bedogni, M., S. Casadei and G. Pirovano, Assessing the contribution of the main emission sources to particulate matter concentrations in the Milan area, 2009, Croatian Meteorological Journal, in press.
- Cuvelier, C., P. Thunis, R. Vautard, M. Amman et al., CityDelta: A model intercomparison study to explore the impact of emission reductions in European cities in 2010, 2007, Atmospheric Environment, **41**, 189-207.
- ENVIRON Corporation, User's guide to the Comprehensive Air quality Model with extension (CAMx) version 4.42, 2006, Technical report.
- Lonati, G., S. Ozgen and M. Giugliano, Primary and secondary carbonaceous species in PM2.5 samples in Milan (Italy), 2007, Atmospheric Environment, **41**, 4599-4610.
- Vautard, R. et al., Evaluation and intercomparison of Ozone and PM10 simulations by several chemistry transport models over four European cities within the CityDelta project, 2007, Atmospheric Environment, **41**, 173-188.
- Yarwood, G., R. Morris, and G. Wilson, Particulate Matter Source Apportionment Technology (PSAT) in the CAMx Photochemical Model., 2004, NATO International Technical Meeting, Banff, Canada (October 2004).