

Influenza della modellistica meteorologica sulla predicibilità dell'inquinamento dell'aria a scala regionale e urbana

Stefano Bande¹, Alessio D'Allura², Sandro Finardi², Matteo Giorcelli², Massimo Muraro¹

¹Arpa Piemonte, via Pio VII 9, Torino, Italia, s.bande@arpa.piemonte.it

²ARIANET, via Gilino 2, Milano, Italia

RIASSUNTO

Arpa Piemonte effettua ogni anno la valutazione della qualità dell'aria utilizzando un sistema modellistico basato su un modello euleriano di chimica e di trasporto. Il modello è in grado di simulare le emissioni, il trasporto, la diffusione e le trasformazioni chimiche dei principali inquinanti atmosferici e di calcolare gli indicatori richiesti dalla legislazione europea in materia di qualità dell'aria. I campi meteorologici necessari ad effettuare tali simulazioni vengono ricostruiti interpolando le osservazioni della rete meteorologica di Arpa Piemonte nei campi di analisi del modello ECMWF. L'attendibilità della meteorologia a mesoscala e a scala urbana è una delle questioni chiave per determinare l'efficacia del sistema modellistico di qualità dell'aria. Le analisi meteorologiche diagnostiche, sebbene si basino sulle misure locali provenienti dalla rete di monitoraggio, non possono garantire la consistenza delle variabili dinamiche e termodinamiche garantita, invece, dai modelli di previsione meteorologica. Dal mese di luglio 2006 Arpa Piemonte utilizza operativamente un sistema di previsione della qualità dell'aria guidato direttamente dalle previsioni di un modello meteorologico prognostico a scala locale. La simultanea disponibilità dei risultati dei due sistemi permette di confrontare gli effetti sulla simulazione di qualità dell'aria delle due diverse tipologie di simulazione meteorologica. Il confronto tra gli output dei due sistemi modellistici, effettuato su un periodo di sei mesi facendo uso di indici statistici, ha mostrato prestazioni piuttosto simili. L'analisi di episodi particolarmente critici volta ad evidenziare l'influenza della componente meteorologica nella riproduzione della variazione delle concentrazioni a breve termine, ha mostrato come i campi meteorologici prognostici abbiano una migliore capacità di simulare gli episodi di picco, sebbene gli errori di previsione possano causare condizioni di "falso allarme" o "mancato allarme".

INTRODUZIONE

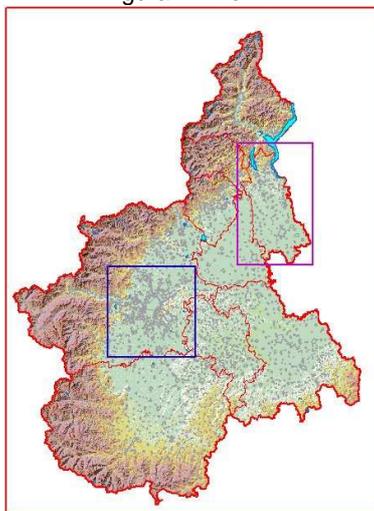
La legislazione europea e il suo recepimento nella normativa nazionale incoraggiano lo sviluppo e l'uso di sistemi modellistici di qualità dell'aria a supporto delle osservazioni al suolo e richiedono la pubblicazione delle informazioni sullo stato di qualità dell'aria in riferimento al giorno in corso e alla previsione per il giorno successivo. L'Unione Europea ha supportato differenti progetti ed iniziative scientifiche per incentivare la cooperazione internazionale in materia di modellistica (COST 728) e di previsione di qualità dell'aria (COST ES0602, 5FP project FUMAPEX and 6FP project GEMS). Dal 2005 ARPA Piemonte effettua la valutazione annuale della qualità dell'aria con un sistema modellistico euleriano (Bande et al., 2007), nel seguito denominato diagnostico, mentre nel 2006 è stato implementato un sistema previsionale, nel seguito denominato prognostico, utilizzato per effettuare simulazioni di qualità dell'aria sull'area di Torino e di Novara e su un dominio regionale coincidente con quello della valutazione annuale (Finardi et al., 2008). Il confronto delle prestazioni delle due catene modellistiche risulta particolarmente complesso per l'impossibilità di isolare le tre principali componenti che intervengono nella simulazione: le emissioni, la meteorologia e la dispersione. Durante la seconda parte dell'anno 2006, tuttavia, la disponibilità simultanea delle simulazioni delle due differenti implementazioni del sistema ha offerto la possibilità di investigare la sensibilità all'input meteorologico della simulazione di qualità dell'aria. Il sistema prognostico condivide con il sistema diagnostico il dominio di calcolo (l'intera Regione Piemonte, la valle del Po occidentale, il nord Italia), il trattamento delle emissioni ed il modello di chimica e trasporto, mentre i campi meteorologici sono forniti dal modello meteorologico previsionale COSMO-17, versione italiana del COSMO-MODEL (Consortium for Small Scale Modelling). Il confronto dei risultati dei due sistemi modellistici è stato effettuato usando i principali indici statistici applicati alle serie di concentrazione degli inquinanti ed è stato completato dall'analisi degli episodi critici a breve termine per verificare la capacità del modello meteorologico di riprodurre gli episodi di inquinamento acuto. Il confronto ha fornito valide indicazioni per i possibili miglioramenti atti ad ottenere un incremento delle prestazioni sia sulla valutazione della qualità dell'aria a lungo termine, sia sulla previsione a breve termine.

CARATTERISTICHE E DIFFERENZE DELLE CATENE MODELLISTICHE

Le catene modellistiche (Bande et al., 2007; Finardi et al., 2008) sono basate sullo stesso modello euleriano di chimica e trasporto, FARM (Gariazzo et al., 2007), condividono il medesimo sistema di processamento delle emissioni, EMMA (ARIANET, 2005), e lo stesso modulo di interfaccia, GAP/SurfPRO (Finardi et al., 2005), per la stima dei parametri di dispersione e di turbolenza atmosferici. Il sistema diagnostico possiede un dominio di calcolo di 220x284 km², che copre l'intero Piemonte e la Valle d'Aosta, parte della Liguria, la parte orientale della Lombardia (con l'inclusione dell'area urbana di Milano) e una porzione di Francia e Svizzera (fig. 1), con una risoluzione orizzontale di 4 Km e 12 livelli verticali distribuiti sui primi 3500 metri di atmosfera. Il sistema modellistico prognostico effettua una simulazione innestata con un dominio esterno coincidente con quello del sistema modellistico di valutazione, e due domini interni con risoluzione di 1 Km

centrati sull'area metropolitana di Torino e sulla provincia di Novara. Il sistema prognostico produce giornalmente le previsioni di qualità dell'aria per il giorno in corso e per il giorno successivo, mentre il sistema diagnostico effettua una corsa una volta l'anno per stimare i campi di concentrazione relativi all'anno precedente.

Figura 1.- Domini



Domini di calcolo del sistema modellistico di qualità dell'aria.

I dati emissivi, provenienti dai dataset relativi alle varie regioni comprese nel dominio di calcolo (inventari regionali ad alta risoluzione per il Piemonte, la Lombardia e la Valle d'Aosta, l'inventario nazionale *CORINAIR* per le restanti regioni italiane e l'inventario *EMEP* per gli stati stranieri), vengono elaborati per costituire l'input emissivo del sistema modellistico: le informazioni dei differenti inventari, presentandosi come dati aggregati su base annuale relativamente a specifiche unità areali (comuni, province), devono essere ricondotti ad informazioni articolate su punti griglia e disaggregate su base oraria. L'unica differenza rilevante per quanto riguarda le emissioni utilizzate dai due sistemi modellistici è relativa alle sorgenti puntuali: per il sistema diagnostico sono disponibili i dati emissivi monitorati, mentre per il sistema previsionale le emissioni vengono stimate dagli inventari. Questa differenza tuttavia non ha effetti rilevanti sul confronto, incentrato sulle aree urbane, dove le emissioni più rilevanti provengono dal traffico e dal riscaldamento domestico. La sostanziale differenza tra i due sistemi riguarda, come detto, la componente meteorologica: la catena diagnostica ricostruisce i campi meteorologici interpolando le osservazioni della rete di monitoraggio di Arpa Piemonte e utilizzando i campi delle analisi di *ECMWF* (*European Centre for Medium Range Weather Forecast*), mentre la catena prognostica utilizza i campi meteorologici del modello di previsione *COSMO-17*. *COSMO-17* fornisce due simulazioni di 72 ore ogni giorno (alle 12 e alle 00 UTC), con una frequenza oraria o al più trioraria, su una griglia di coordinate geografiche che copre l'intero territorio italiano con una risoluzione orizzontale di circa 7 km alle nostre latitudini. I campi meteorologici sui livelli del modello prodotti dalla corsa delle 12 UTC sono adattati dal modulo di interfaccia *GAP/TINT*, attraverso interpolazioni spaziali e temporali, al sistema di riferimento, alle coordinate orizzontali e verticali ed alla risoluzione utilizzati. Le diffusività turbolente e le velocità di deposizione vengono stimate dal modulo d'interfaccia *SurfPRO* facendo uso di parametrizzazioni basate sul bilancio energetico superficiale e sulla teoria di similarità. Le concentrazioni ai bordi vengono fornite, per entrambi i sistemi, dalla corsa continentale del modello di chimica e trasporto *CHIMERE* del servizio *Prev'Air* (<http://www.prevoir.org>).

CONFRONTO DELLE PRESTAZIONI DEI SISTEMI MODELLISTICI

Gli output dei due sistemi modellistici sono stati confrontati con le osservazioni provenienti dalla rete di rilevamento della qualità dell'aria del *Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria (SRRQA)*. Il confronto è stato limitato al periodo luglio-dicembre 2006 durante il quale le due catene adottavano la stessa base dati emissiva. Per il sistema prognostico è stata costruita la serie temporale delle concentrazioni selezionando, per ogni giorno, il secondo giorno di previsione (dalla 24-esima alla 48-esima ora di simulazione) poiché, da precedenti verifiche, è risultato il meno influenzato dalla sottostima delle concentrazioni iniziali dovuta alla bassa risoluzione del modello *CHIMERE*.

CONFRONTO DEI SISTEMI MODELLISTICI CON INDICI DI PERFORMANCE

Per il confronto sono stati utilizzati gli indici di performance riportati in tab.1. I confronti sono stati effettuati, per quanto riguarda l'area di Torino, utilizzando la stazione rurale di Druento, le stazioni suburbane di Alpignano, Borgaro e Vinovo, le stazioni urbane di Torino Consolata e Torino piazza Rivoli, mentre per

quanto riguarda l'area di Novara, le stazioni suburbane di Cameri, Cerano, Romentino, le stazioni urbane di Novara via Verdi e Novara largo Leonardi.

Tabella1 - Indici statistici.

Mean Bias	$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)$	valore ottimale: 0	Index of Agreement	$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N O_i - P_i}{\sum_{i=1}^N P_i - \bar{O} + O_i - \bar{O} }$	valore ottimale: +1 valori compresi tra 0 e +1
Fractional Bias	$FB = \frac{(\bar{O} - \bar{P})}{(\bar{O} + \bar{P})/2}$	valore ottimale: 0 valori compresi tra -2 e +2	Normalized Standard Deviation	$NSD = \frac{\sigma_e}{\sigma_o}$	valore ottimale: +1 sempre positivo
Factor Two	$2.0 \geq F2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{O_i} \geq 0.5$	valore ottimale: +1 valori compresi tra 0 e +1	Root Mean Square Error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}$	valore ottimale: 0 sempre positivo

Indici di performance utilizzati nel confronto: N è il numero di coppie di dati osservati-previsti, O_i e P_i rappresentano rispettivamente l'*i-esimo* valore osservato e l'*i-esimo* valore previsto, mentre \bar{O} e \bar{P} indicano rispettivamente il valor medio osservato e previsto.

Per quanto riguarda il biossido di azoto i risultati degli indici mostrano, nella maggior parte delle stazioni, performance migliori per il sistema diagnostico con una miglior correlazione evidenziata da valori più alti di F2 e d e con errori mediamente inferiori evidenziati da valori più bassi di RMSE. Per il PM₁₀ la catena previsionale mostra un accordo migliore con le osservazioni in pressoché tutte le stazioni considerate, mentre per l'ozono i due sistemi ottengono buoni risultati, con prestazioni generalmente simili, sebbene la catena previsionale sia caratterizzata da una più pronunciata tendenza alla sovrastima.

Tabella 2 - Indici statistici relativi ad alcune stazioni considerate.

Sistema Previsionale della Qualità dell'Aria – media oraria NO ₂							Sistema di Valutazione della Qualità dell'Aria – media oraria NO ₂						
stazione	MB	FB	F2	d	RMSE	Corr.	stazione	MB	FB	F2	d	RMSE	Corr.
Alpignano	4.0	0.12	0.66	0.72	23.0	0.54	Alpignano	-2.7	-0.07	0.74	0.75	21.3	0.57
Borgaro	-1.9	-0.05	0.76	0.74	25.9	0.56	Borgaro	2.9	0.08	0.80	0.79	20.8	0.65
Druento	-4.8	-0.29	0.46	0.60	19.8	0.40	Druento	-5.1	-0.31	0.46	0.62	17.8	0.41
ToPRivoli	17.0	0.21	0.84	0.69	41.3	0.52	ToPRivoli	28.5	0.37	0.76	0.63	45.7	0.55
ToConsolata	-11.5	-0.17	0.75	0.61	38.7	0.39	ToConsolata	-2.2	-0.04	0.77	0.65	32.8	0.42
Vinovo	1.6	0.04	0.62	0.67	27.5	0.46	Vinovo	2.4	0.06	0.65	0.65	26.9	0.41
Cameri	7.4	0.23	0.60	0.72	23.7	0.55	Cameri	7.0	0.22	0.69	0.76	20.8	0.61
Cerano	-0.3	-0.01	0.65	0.70	25.0	0.55	Cerano	-0.6	-0.02	0.77	0.70	21.8	0.48
NoLeonardi	6.9	0.18	0.63	0.69	24.9	0.50	NoLeonardi	2.4	0.06	0.75	0.75	20.7	0.57
NoVerdi	1.7	0.05	0.73	0.79	21.7	0.63	NoVerdi	-2.2	-0.06	0.78	0.80	20.0	0.65

Sistema Previsionale della Qualità dell'Aria – media giornaliera PM ₁₀							Sistema di Valutazione della Qualità dell'Aria – media giornaliera PM ₁₀						
stazione	MB	FB	F2	d	RMSE	Corr.	stazione	MB	FB	F2	d	RMSE	Corr.
Borgaro	-1.4	-0.03	0.87	0.80	25.5	0.66	Borgaro	18.5	0.47	0.76	0.61	31.8	0.65
Druento	3.0	0.11	0.73	0.67	20.8	0.48	Druento	8.9	0.34	0.73	0.59	22.4	0.52
ToPRivoli	3.7	0.06	0.92	0.83	27.0	0.72	ToPRivoli	19.0	0.35	0.85	0.69	34.6	0.73
ToConsolata	3.1	0.05	0.94	0.83	24.6	0.72	ToConsolata	15.4	0.29	0.89	0.72	30.2	0.76
Cerano	7.5	0.21	0.66	0.67	30.0	0.52	Cerano	8.7	0.24	0.70	0.62	28.9	0.54
NoLeonardi	10.9	0.29	0.68	0.64	30.4	0.53	NoLeonardi	9.3	0.25	0.81	0.65	27.4	0.61

Indici statistici del sistema previsionale (a destra) e del sistema di valutazione (a sinistra) per la media oraria dell'NO₂ (sopra) e per la media giornaliera del PM₁₀ (sotto).

In conclusione, dall'analisi si osserva come le prestazioni a lungo termine delle due catene siano mediamente equivalenti, evidenziando quindi, contrariamente alle aspettative, una debole influenza delle tecniche di modellazione meteorologica sui valori medi di concentrazione.

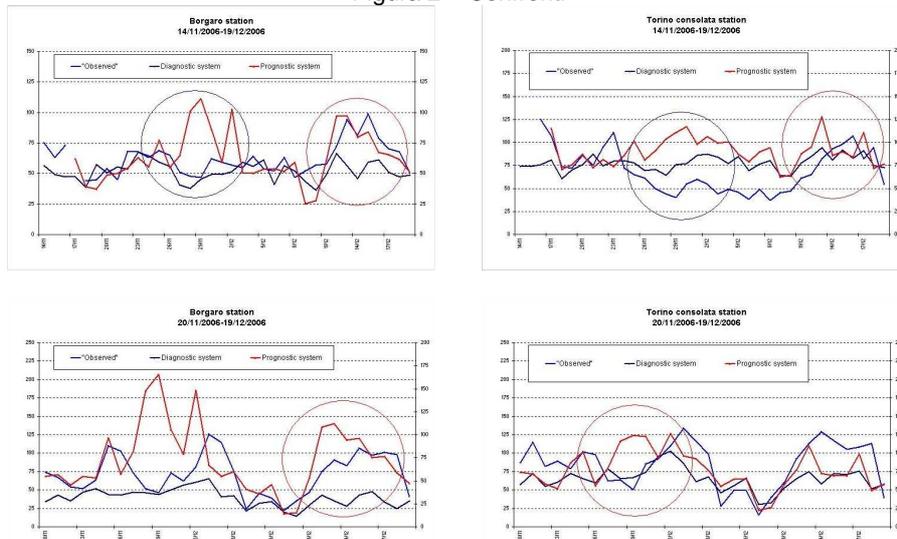
ANALISI DEGLI EPISODI A BREVE TERMINE

Nelle previsioni di qualità dell'aria le variazioni di concentrazione dovrebbero essere descritte correttamente non solo nello spazio ma anche nel tempo. Pertanto sono state prese in considerazione le serie temporali delle concentrazioni osservate e simulate in occasione di episodi acuti di inquinamento atmosferico, caratterizzati da rilevanti variazioni temporali delle concentrazioni misurate. I risultati ottenuti mostrano come la meteorologia prognostica determini variazioni delle concentrazioni simulate a breve termine superiori rispetto a quelle simulate dal sistema diagnostico e più vicine a quelle osservate.

In fig.2 sono stati riportati per l'NO₂ e il PM₁₀ due episodi, il primo relativo alla seconda decade di dicembre, l'altro relativo all'ultima decade di novembre. Nel primo episodio si osserva come il sistema prognostico ottenga prestazioni migliori, caratterizzate da concentrazioni di NO₂ e PM₁₀ prossime alle osservazioni. Nell'episodio di novembre, invece, si rileva una condizione di "falso allarme" in occasione della quale il sistema prognostico produce una rapida crescita delle concentrazioni che non ha riscontro nella realtà. I risultati ottenuti mostrano come la meteorologia prognostica determini variazioni delle concentrazioni simulate a breve termine superiori rispetto a quelle simulate dal sistema diagnostico e più vicine a quelle osservate. In fig. 2 sono stati riportati per l'NO₂ e il PM₁₀ due episodi, il primo relativo alla seconda decade di dicembre, l'altro relativo all'ultima decade di novembre. Nel primo episodio si osserva come il sistema prognostico ottenga prestazioni migliori, caratterizzate da concentrazioni di NO₂ e PM₁₀ prossime alle osservazioni. Nell'episodio di novembre, invece, si rileva una condizione di "falso allarme" in occasione della

quale il sistema prognostico produce una rapida crescita delle concentrazioni che non ha riscontro nella realtà.

Figura 2 – Confronti



Concentrazioni medie giornaliere di NO₂ (sopra) e PM₁₀ (sotto): dati osservati (linea blu), output della simulazione diagnostica (linea nera) e prognostica (linea rossa). Stazione suburbana di Borgaro (sinistra) e stazione urbana di Torino Consolata (destra). I cerchi indicano gli episodi principali.

La ragione del “falso allarme” del sistema prognostico può essere attribuita ad una errata previsione meteorologica. Le differenze riscontrate, quindi, non vanno ricercate nella dinamica, ma nella struttura termodinamica dell'atmosfera: il profilo verticale di temperatura viene probabilmente descritto meglio dalla meteorologia prognostica che fornisce una rappresentazione più consistente della struttura verticale dell'atmosfera.

CONCLUSIONI

L'analisi dei risultati dei due sistemi modellistici eseguita con l'uso di indici statistici ha mostrato prestazioni piuttosto simili nel lungo periodo, suggerendo la possibilità di utilizzare i risultati del sistema previsionale di qualità dell'aria per la valutazione annuale, senza una significativa perdita di qualità. L'analisi delle prestazioni del sistema modellistico durante gli episodi critici di inquinamento dell'aria ha mostrato invece come i campi meteorologici prognostici siano in grado di riprodurre correttamente le rapide variazioni di concentrazione, sebbene gli errori della previsione meteorologica possano causare il verificarsi di condizioni di “falso allarme” o “mancato allarme”. I campi meteorologici diagnostici producono campi di concentrazione caratterizzati da una limitata variabilità temporale, non in grado di riprodurre le brusche variazioni che si registrano in episodi di inquinamento acuto. La corretta riproduzione dei maggiori episodi di inquinamento è l'aspetto più critico delle simulazioni di qualità dell'aria. Tuttavia va ricordato che, sebbene la modellazione meteorologica e le parametrizzazioni della dispersione siano alcuni degli aspetti da migliorare, un ruolo di primaria importanza è ricoperto dalla modellazione delle emissioni, la cui bassa correlazione con il reale quadro emissivo in un luogo ed in un istante specifici limita la possibilità di riprodurre gli eventi locali e la variabilità a piccola scala.

Bibliografia

- ARIA Technologies, *MINERVE wind field model - General design manual - Version 7.0*, 2001, ARIA Tech. Report.
- ARIANET, *EMMA (EMGR/make) – User's guide – Version 3.5*, 2005, Arianet R2005.08
- Bande S., Clemente M., De Maria R., Muraro M., Picollo M.E., Arduino G., Calori G., Finardi S., Radice P., Silibello C. e Brusasca G., *The modelling system supporting Piemonte region yearly air quality assessment*, 2007, Proceedings of the 6th International Conference on Urban Air Quality, Cyprus, 27-29 March 2007
- Finardi S., Baklanov A., Clappier A., Fay B., Joffre S., Karppinen A., Ødegård V., Slørdal L. H., Sofiev M., Sokhi R. S., Stein A., *Improved interfaces and meteorological pre-processors for urban air pollution models*, 2005, FUMAPEX Report D5.2-3, Milan, Italy, 55 pp, available at <http://fumapex.dmi.dk>
- Finardi S., De Maria R., D'Allura A., Cascone C., Calori G. e Lollobrigida, F., *A Deterministic Air Quality Forecasting System For Torino Urban Area*, 2005, Environmental Modelling and Software, 23, 344-355
- Gariazzo C., Silibello C., Finardi S., Radice P., Piersanti A., Calori G., Cucinato A., Perrino C., Nussio F., Cagnoli M., Pelliccioni A., Gobbi G.P., Di Filippo P., *A gas/aerosol air pollutants study over the urban area of Rome using a comprehensive chemical transport model*, 2007, Atmospheric Environment, 41, 7286-7303..