

Modellistica a microscala per la localizzazione delle postazioni di qualità dell'aria

Gianni Tinarelli⁺, Monica Clemente^{*}, Roberta De Maria^{*}, Antonio Piersanti⁺, Paola Radice⁺

⁺ Arianet S.r.l., Via Gilino 9, Milano

^{*} Arpa Piemonte, Via Pio VII 9, Torino

RIASSUNTO

La presenza di ostacoli naturali o artificiali posti nei pressi delle stazioni di misura dell'inquinamento posizionate in ambiente urbano pone alcuni problemi nella valutazione della loro localizzazione e significatività. Gli effetti indotti dalle strutture presenti possono generare situazioni particolari che influenzano i livelli di concentrazione degli inquinanti misurati in atmosfera. E' stato realizzato uno studio a microscala della dispersione degli inquinanti a Torino, nella zona intorno a via della Consolata, in prossimità della postazione della rete di monitoraggio regionale, che ha coinvolto l'utilizzo del sistema modellistico lagrangiano a particelle MSS, in grado di tenere conto della presenza di complessità topografiche come ostacoli, 'canyon stradali', piazze chiuse da edifici. Sono state simulate due intere giornate, una caratterizzata da condizioni critiche ed una più vicina a condizioni standard, con ricostruzione di flusso medio, turbolenza e concentrazioni su base oraria, considerando i contributi di sorgenti stradali e riscaldamento. Le concentrazioni simulate dal modello in prossimità della centralina sono state messe a confronto con i valori misurati per verificare la rappresentatività della stazione di misura rispetto alle condizioni medie nella zona ed è stata analizzata la variabilità spaziale delle concentrazioni, indotta sia dalla disposizione delle emissioni che dalle complessità topografiche presenti, difficilmente evidenziabile mediante un singolo punto di misura.

Introduzione

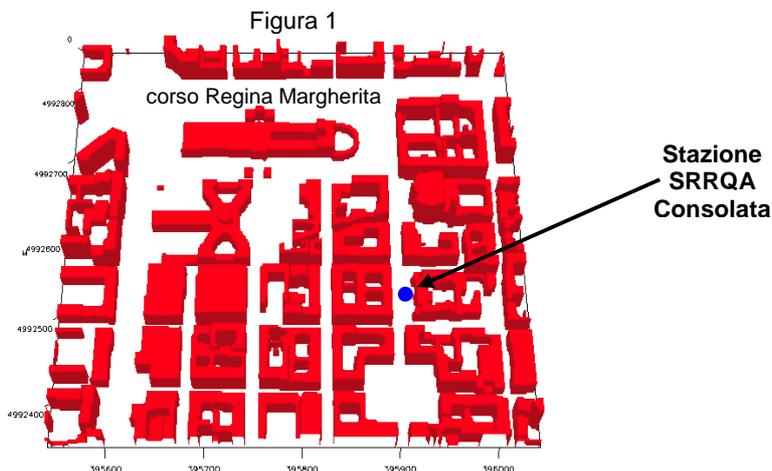
Le nuove direttive comunitarie in materia di controllo dell'inquinamento atmosferico, recepite dalla normativa nazionale, prevedono l'utilizzo dei modelli di dispersione degli inquinanti in atmosfera a supporto delle reti di monitoraggio per la valutazione della qualità dell'aria ambiente. Tra i suoi utilizzi, la modellistica può fornire un ausilio alla comprensione della corretta localizzazione a microscala delle postazioni di misura in relazione alle sorgenti emissive e alla conformazione territoriale in cui sono inserite. Giocano infatti un ruolo importante la presenza di ostacoli naturali o artificiali posti nei pressi delle stazioni di misura, particolarmente in ambiente urbano. Gli effetti indotti, spesso trascurati, possono generare situazioni di circolazione e dispersione molto caratteristiche che influenzano le concentrazioni degli inquinanti in atmosfera in modo decisivo: si possono riscontrare valori molto elevati qualora si creino zone di scarsa ventilazione con conseguente stagnazione e accumulo degli inquinanti oppure aree di ricircolo o effetti barriera che impediscono all'inquinante di raggiungere il punto di misura. Si è quindi realizzato uno studio mirato alla simulazione della dispersione degli inquinanti in atmosfera nei pressi di una stazione della rete di monitoraggio posta all'interno del tessuto urbano della città di Torino, mediante l'utilizzo di un sistema modellistico innovativo per la simulazione a microscala di trasporto e diffusione degli inquinanti in atmosfera. L'obiettivo consiste nel seguire il fenomeno dispersivo e prevederne le conseguenze nelle condizioni meteorologiche ed emissive reali e di fornire in tempi brevi una stima delle concentrazioni mediante mappe di impatto sia nelle vicinanze del punto di misura scelto che nelle zone limitrofe. La modellistica utilizzata prevede una descrizione dettagliata della dispersione, con una risoluzione spaziale minima dell'ordine di qualche metro, in maniera da considerare opportunamente gli effetti indotti dalla presenza di ostacoli (edifici, barriere, etc.) sulla dispersione degli inquinanti emessi dalle diverse sorgenti presenti (traffico veicolare e riscaldamento).

Il sistema modellistico

Il sistema modellistico utilizzato è costituito dal codice integrato MSS - Micro-Swift-Spray, (Moussafir et al., 2004, Tinarelli et al., 2004). MicroSwift è un codice di ricostruzione diagnostica a divergenza nulla su topografia complessa in grado di tenere conto - mediante parametrizzazioni analitiche - delle modifiche al flusso indotte dalla presenza di ostacoli tridimensionali, rappresentati mediante celle impenetrabili sul grigliato di calcolo. MicroSwift è in grado di derivare anche la turbolenza atmosferica all'interno delle zone di flusso modificate dagli ostacoli mediante la ricostruzione dell'energia cinetica turbolenta e del suo rateo di dissipazione. MicroSpray è un modello di dispersione Lagrangiano a Particelle accoppiato agli output di MicroSwift, derivato dal modello a scala locale SPRAY (Tinarelli et al., 1994, 2000) e in grado di tenere a sua volta conto della presenza di ostacoli mediante la definizione delle stesse celle impermeabili al flusso definite da MicroSwift. La dispersione è descritta mediante il moto di un opportuno numero di particelle 'fittizie' che discretizzano le diverse emissioni considerate, il cui moto medio è descritto mediante il campo di flusso fornito da MicroSwift e la dispersione è definita attraverso velocità ottenute come soluzione di equazioni differenziali stocastiche di Langevin (Thomson, 1987), in grado di ricostruire le caratteristiche statistiche della turbolenza atmosferica.

Sito e periodi di simulazione

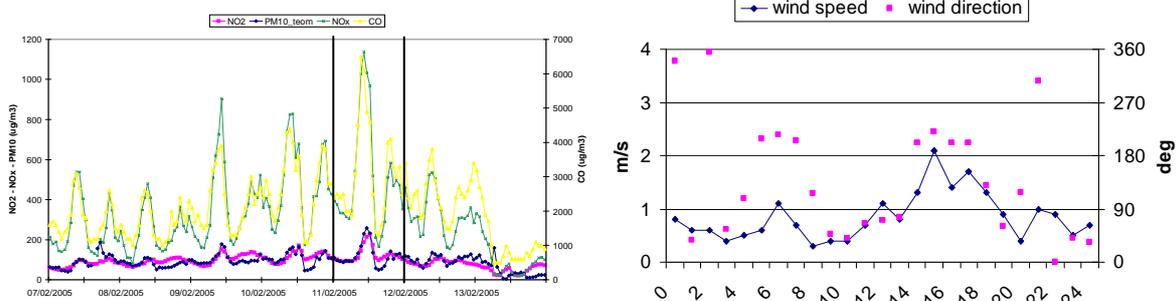
E' stata presa in considerazione un'area di 500x500 m² in una zona di Torino che comprende Corso Regina Margherita e via della Consolata. All'interno di quest'area sono presenti numerosi edifici, tenuti in conto nelle simulazioni sia come ostacoli al flusso d'aria, sia come fonti emissive da riscaldamento (Fig. 1) e ricostruiti a partire dal modello digitale 3D della topografia della città reso disponibile - tramite CSI Piemonte - dal Comune di Torino.



Dominio di calcolo con rappresentazione tridimensionale degli ostacoli considerati.

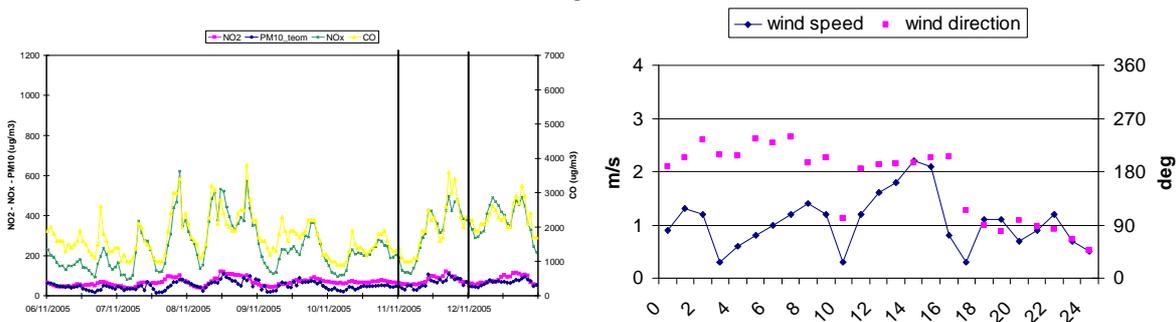
Per la rappresentazione dei dati meteorologici e di concentrazione sul dominio si è utilizzata una risoluzione orizzontale di 2 m. Sono stati scelti due periodi di simulazione della durata di un giorno ciascuno verificando sia le condizioni meteorologiche (generali e locali) che quelle di impatto misurate dalla stazione di via della Consolata. Sono state identificate due situazioni di impatto differenti, la prima con valori molto elevati di concentrazione misurati dalla stazione in presenza di condizioni meteorologiche di stagnazione persistente che non favoriscono la dispersione (11/2/2005, Fig. 2) e la seconda con valori di concentrazione meno elevati e più vicini alle condizioni medie, a partire da una situazione di aria relativamente 'pulita' del giorno precedente (11/11/2005, Fig. 3).

Figura 2



Concentrazioni misurate a via della Consolata 7-13/2/2005 (sin.) e dati di vento misurati il giorno 11/2/2005 (des.)

Figura 3



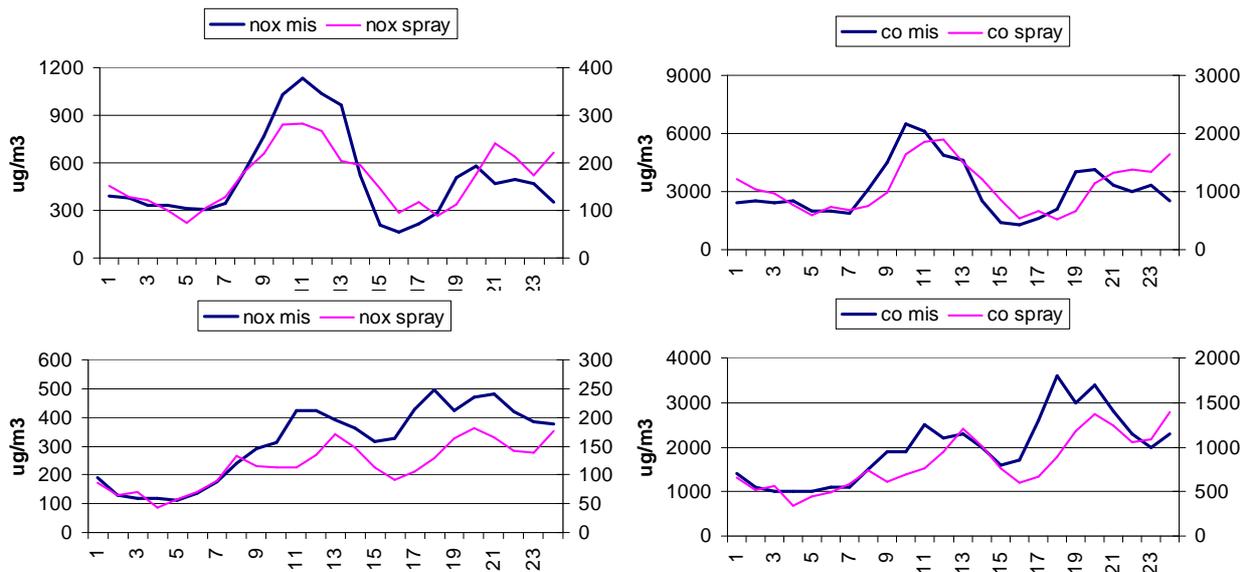
Concentrazioni misurate a via della Consolata 6-12/11/2005 (sin.) e dati di vento misurati il giorno 11/11/2005 (des.)

Principali risultati

Sono state effettuate le simulazioni tenendo conto sia delle emissioni da riscaldamento localizzate sui tetti degli edifici sia delle emissioni da traffico generate dalle principali direttrici viarie presenti nel dominio. Le

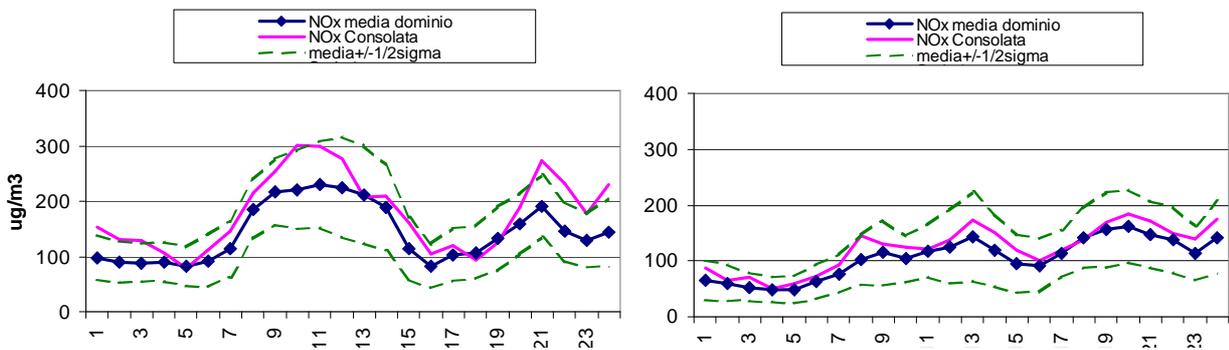
emissioni da traffico e le relative modulazioni temporali sono state derivate da misure di passaggi lungo le vie principali, corrette mediante gli andamenti temporali delle concentrazioni di inquinante misurate in via della Consolata. Sono stati prodotti campi di concentrazione al suolo orari relativi ai due giorni considerati, relativamente alle specie NO_x, CO, PM₁₀ e benzene, confrontando i risultati con i valori misurati presso la stazione di misura. In Fig. 4 è riportato il confronto per le specie NO_x e CO. Il modello mostra, come lecito attendersi, di ricostruire correttamente l'andamento temporale delle concentrazioni sottostimando il valore assoluto a causa dell'assenza dei contributi provenienti dai boundary del dominio (ovvero il resto della città) e dal background. Le concentrazioni simulate, dovute alle sole sorgenti nel dominio, possono essere stimate variabili tra il 40% e il 50% rispetto ai valori misurati. Nella giornata del 12/2/2005 la percentuale risulta inferiore a causa di un probabile maggiore contributo dei valori di background accumulato durante i giorni precedenti.

Figura 4



Confronto tra le concentrazioni di NOx (sin.) e CO (des.) misurate e calcolate nei giorni 11/2 (sopra) e 11/11 (sotto)

Figura 5

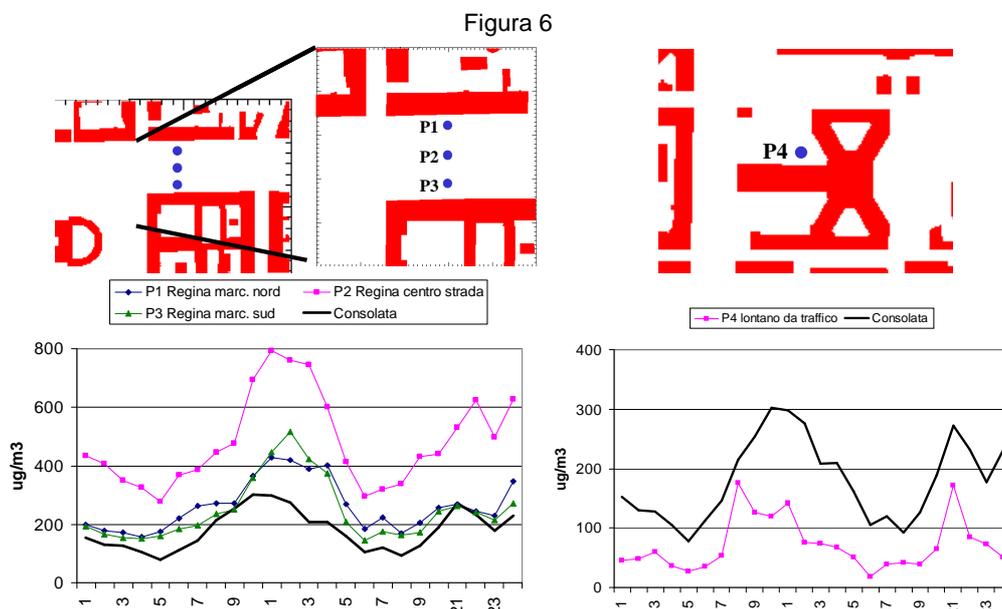


Confronto tra le concentrazioni orarie al suolo di NOx simulate dal modello presso la stazione di via della Consolata e i valori medi di dominio. Sono riportati anche il limite inferiore media -3σ e il limite superiore media+3σ

Si può quindi ipotizzare che gli andamenti ricostruiti dal modello, pur non essendo corretti in valore assoluto, consentano un'analisi efficace del contributo dei due diversi comparti emissivi considerati (traffico e riscaldamento), della variabilità spaziale delle concentrazioni e della significatività del punto di misura di via della Consolata rispetto alle possibili condizioni che si generano nella zona circostante. Il modello stima nel 14% il contributo delle emissioni da riscaldamento sulle concentrazioni totali medie giornaliere al suolo di NO_x in via della Consolata durante il giorno 11/02/2005 e nel 6% circa il giorno 11/11/2005. Per quanto riguarda la significatività spaziale della stazione di via della Consolata, in Fig. 5 sono riportati gli andamenti temporali delle concentrazioni orarie simulate presso il punto di misura, confrontati con il valore medio di dominio per le specie NO_x. Andamenti simili si riscontrano anche per le altre specie.

I valori nel punto risultano essere estremamente simili a quelli medi di dominio, mostrando come la stazione sia posizionata in un punto in grado di fornire un'informazione rappresentativa di una zona urbana di

dimensioni dell'ordine di $500 \times 500 \text{ m}^2$, contenente sia zone di scarso traffico che grandi direttrici cittadine come corso Regina Margherita. Infine, a titolo di esempio, la Fig. 6 riporta gli andamenti temporali delle concentrazioni orarie di NO_x simulate in tre punti di Corso Regina Margherita (sinistra) e in una zona centrale del dominio (destra) più isolata, confrontati con i valori in via della Consolata.



Come si può notare, sono possibili variazioni molto forti tra le concentrazioni a centro strada e quelle ai bordi; inoltre i valori nella zona di Corso Regina Margherita sono sensibilmente più elevati rispetto a quelli in via della Consolata e sensibilmente inferiori nell'altro punto studiato, coincidente con un'area lontana dal traffico veicolare. Più in generale, la stima della variabilità spaziale, effettuata considerando l'andamento delle concentrazioni al suolo in diversi punti, porta a dire che - in zone più aperte e lontane dal traffico - presumibilmente vengano misurate concentrazioni sensibilmente inferiori (minori del 50%) a quelle misurate in via della Consolata, mentre vicino alla principale direttrice di traffico (Corso Regina Margherita) le concentrazioni a bordo strada potrebbero risultare superiori di oltre il 50%.

Conclusioni

Complessivamente si può affermare che il modello può essere utilizzato con successo per lo studio della variabilità a microscala delle concentrazioni in ambito urbano e, di conseguenza, per la verifica del microposizionamento delle stazioni di misura. Occorre anche considerare che questo tipo di modelli (diagnostico+Lagrangiano) sono in grado di ricostruire l'andamento temporale di intere giornate in tempi ragionevolmente brevi, cosa che sarebbe altrimenti impossibile da realizzare con codici formalmente più corretti (come ad esempio modelli CFD) ma che richiederebbero tempi e risorse di calcolo troppo onerose.

Ringraziamenti

Si ringraziano l'Ing. Pancrazio Bertaccini per la collaborazione nella definizione dei flussi di traffico e la Dott. Elisa Elampe per la collaborazione nella scelta degli episodi.

Bibliografia

- Moussafir J., Oldrini O., Tinarelli G., Sontowski J., Dougherty C. (2004) A new operational approach to deal with dispersion around obstacles: the MSS (Micro-Swift-Spray) software suite. Proc. of 9th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Garmisch 1-4 June 2004.
- Tinarelli G., Anfossi D., Bider M., Ferrero E., Trini Castelli S. (2000) A new high performance version of the Lagrangian particle dispersion model SPRAY, some case studies. In *Air Pollution Modelling and its Applications XIII*, S.E. Gryning and E. Batchvarova eds., Kluwer Academic / Plenum Press, New York, 499-507.
- Tinarelli G., Brusasca G., Oldrini O., Anfossi D., Trini Castelli S., Moussafir J. (2004): Micro-Swift-Spray (MSS) a new modelling system for the simulation of dispersion at microscale, general description and validation. Proc. of the 27th CCMS-NATO meeting, Banff (Canada), 25-29 Oct 2004.
- Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Giostra U., Morselli M.G., Moussafir J., Tampieri F., Trombetti F. (1994): "Lagrangian particle simulation of tracer dispersion in the lee of a schematic two-dimensional hill" *Journal of Applied Meteorology*, 33, N. 6, 744-756
- Thomson D.J. (1987) *Criteria for the selection of stochastic models of particle trajectories in turbulent flows*. J. Fluid Mech., 180, 529-556.