

Studio modellistico degli effetti di mitigazione di barriere antirumore sull'impatto atmosferico di emissioni stradali

Tinarelli G., Nanni A., Smith P., L. Mauri

Arianet Srl, Via Gilino 9, 20128 Milano (MI), g.tinarelli@aria-net.it

INTRODUZIONE

In presenza di arterie stradali particolarmente importanti, dove insiste forte traffico in vicinanza di insediamenti abitati, vengono spesso installate barriere antirumore con lo scopo primario di mitigare l'inquinamento acustico al quale sarebbe sottoposta la popolazione. Oltre alla mitigazione acustica queste strutture di contenimento modificano l'impatto atmosferico delle sostanze inquinanti emesse, sia in termini di un eventuale abbattimento che di possibili aumenti localizzati. In una zona a Nord di Milano, in prossimità di un edificio pubblico di interesse, è prevista l'installazione di una barriera antirumore sul lato Nord di una strada di grande comunicazione. Questa situazione viene utilizzata per realizzare uno studio che, attraverso simulazioni mediante l'uso di un sistema modellistico a microscala, consente di verificare l'effetto delle barriere in una situazione realistica, in modo da mettere in evidenza, su una scala spaziale sufficientemente dettagliata, gli effetti ad alta risoluzione a diverse distanze. Lo scopo è di verificare i pattern locali di inquinamento che si ottengono sia in assenza che in presenza della barriera antirumore identificando le differenze, sia in termini assoluti che percentuali, delle concentrazioni al suolo.

IL SISTEMA MODELLISTICO UTILIZZATO

Per la realizzazione delle simulazioni, è stato utilizzato un sistema modellistico a microscala innovativo denominato MSS (Micro-Swift-Spray, Moussafir J. et al., 2004; Tinarelli G. et al., 2007). MSS è un sistema per la simulazione del trasporto e dispersione a microscala in presenza di ostacoli, che possono essere sia edifici che manufatti come ad esempio le barriere antirumore. MSS è costituito dal preprocessore meteorologico diagnostico a divergenza nulla con ostacoli MicroSwift, dal modello di turbolenza SurfPro (Finardi S. e Silibello C., 2011) e dal modello di dispersione Lagrangiano a particelle MicroSpray (Tinarelli G. et al., 2007; Anfossi D. et al., 2010). Il sistema modellistico opera su scale estremamente definite, su domini di dimensione orizzontale dell'ordine del km e con risoluzioni dell'ordine del metro. In questo modo è possibile considerare in modo diretto l'effetto della presenza di ostacoli sul flusso medio e sulla turbolenza atmosferica, quali scie, zone di mascheramento, incanalamenti con conseguente contenimento dell'inquinante emesso in zone come i canyon urbani o le zone separate da barriere di protezione.

MSS si pone come un sistema in alternativa a modelli più complessi, quali ad esempio i CFD alle equazioni primitive, in quanto contiene una tecnologia innovativa nella ricostruzione dei campi meteorologici in presenza di ostacoli, mediante l'implementazione di parametrizzazioni che risolvono una parte nel problema fisico coinvolto permettendo però di eseguire simulazioni con tempi di risposta rapidi. In questo modo sono possibili sia simulazioni su lungo periodo (intere giornate o anche oltre) che molte prove in differenti condizioni. MicroSwift ricostruisce in modo diagnostico un campo di vento tridimensionale a microscala, tenendo conto della presenza di orografia complessa e di ostacoli (edifici, canyon stradali, stabilimenti industriali, ecc.) attraverso la creazione di 'zone' dove il flusso è modificato in accordo con la geometria degli ostacoli e le caratteristiche del vento incidente (Kaplan e Dinar, 1996).

L'iniziale campo di vento ottenuto in assenza degli ostacoli per interpolazione di misure prese in input dal codice viene quindi opportunamente modificato in queste zone ed infine corretto mediante l'applicazione del principio di conservazione della massa, garantendo l'impermeabilità

delle zone occupate dagli ostacoli. Il campo di vento finale generato è in grado di riprodurre effetti complessi quali ad esempio la presenza di scie e zone di ricircolo che possono avere effetti determinanti sul trasporto e la dispersione sulle scale spaziali risolte dal modello. MicroSwift calcola inoltre il contributo di turbolenza nelle zone influenzate dagli ostacoli dovuto alla distorsione locale del flusso che si manifesta sul tensore di deformazione.

A questa parte di turbolenza si aggiunge il contributo di background ricostruito mediante il codice SurfPro, costituito da un preprocessore meteorologico in grado di ricostruire le principali variabili che descrivono la turbolenza atmosferica su terreno complesso, necessarie in input a modelli di dispersione. Il codice riceve in input i campi di vento e temperatura generati dal codice MicroSwift, eventuali variabili meteorologiche disponibili sul territorio in esame (quali ad esempio la radiazione solare e la nuvolosità) e una matrice di dati di uso del suolo, su un grigliato orizzontale corrispondente a quello dei dati di vento utilizzato da MicroSwift, in grado di descrivere la non omogeneità orizzontale del terreno nella risposta alla forzante radiativa solare e la conseguente disomogeneità nei campi di turbolenza che si vengono a determinare. Utilizzando diversi schemi di parametrizzazione della turbolenza consolidati in letteratura, il codice elabora serie temporali delle seguenti variabili, che vengono utilizzate per la ricostruzione della turbolenza di background.

- altezza di rugosità z_0
- altezza dello strato limite notturno o dello strato limite convettivo diurno H_{mix}
- velocità di frizione u^*
- altezza di Monin-Obukhov L
- velocità convettiva di scala w^*

La dispersione delle sostanze inquinanti viene realizzata con il modello lagrangiano a particelle MicroSpray - derivato dal modello a scala locale Spray (Tinarelli et al. 1994) - tenendo conto della presenza degli ostacoli. L'evoluzione degli inquinanti viene ricostruita mediante il moto di "particelle virtuali" definito sia dal vento locale che da velocità casuali che riproducono le caratteristiche statistiche della turbolenza atmosferica descritta in input, che il codice MicroSpray definisce provvedendo ad integrare i livelli di turbolenza locale dovuti agli ostacoli e la turbolenza di background. In questo modo, differenti parti del pennacchio emesso possono "vedere" differenti condizioni atmosferiche e topografiche, permettendo simulazioni più realistiche in condizioni transitorie e fortemente non omogenee. L'influenza degli ostacoli è riprodotta imponendo che le relative superfici siano impermeabili al flusso, così da riflettere le particelle. Il codice fornisce campi 3D di concentrazione determinate da sorgenti puntiformi, lineari, areali o volumetriche, facilmente adattabili a situazioni complesse.

DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO

L'area che rappresenta il dominio di calcolo delle simulazioni è rappresentata in Figura 1. Si tratta di una superficie di $600 \times 500 \text{ m}^2$ contraddistinta dalla presenza di una strada di grande comunicazione, la cui traccia al suolo è rappresentata dalle linee continue. Sono presenti diversi edifici, tra i quali il principale rappresenta un edificio pubblico, in vicinanza del quale si ha il passaggio della strada. La figura mostra anche il posizionamento della barriera antirumore rispetto all'asse stradale. Sono presenti anche alcuni altri ostacoli di dimensione minore rispetto all'edificio principale, che rappresentano principalmente capannoni industriali. In Figura 2 è riportato un ulteriore dettaglio tridimensionale della zona intorno al complesso scolastico che mette in evidenza sia la presenza della barriera che dell'orografia ad alta risoluzione utilizzata. E' in particolare evidente come la sede stradale sia localizzata su terrapieno nella parte ad Est per poi scendere in trincea nella zona ad Ovest. L'altezza della barriera risulta essere di 6 m sopra al piano stradale. In Figura 2 è riportato un ulteriore dettaglio tridimensionale della zona intorno al complesso scolastico che mette in evidenza sia la presenza della barriera che dell'orografia ad alta risoluzione utilizzata. E' evidente come la sede stradale sia localizzata su terrapieno nella parte ad Est per poi scendere

in trincea nella zona ad Ovest. Nelle simulazioni si è tenuto conto sia della presenza degli ostacoli che dell'orografia, determinata dalle strutture sulle quali è appoggiata la sede stradale.

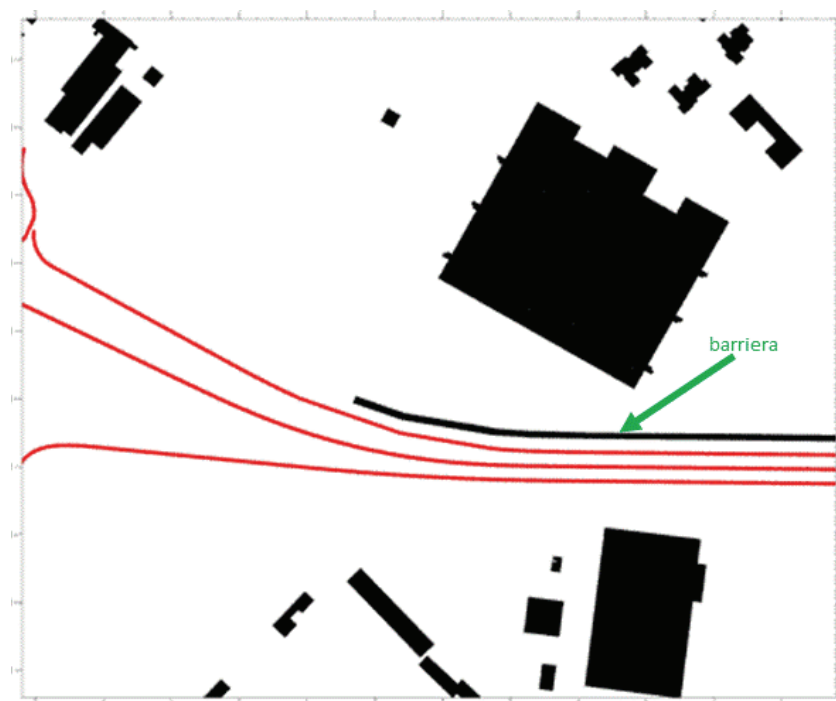


Figura 1 – Dominio di calcolo con indicazione delle strade (linee continue), degli ostacoli (aree piene) e della barriera antirumore (indicata dalla freccia)

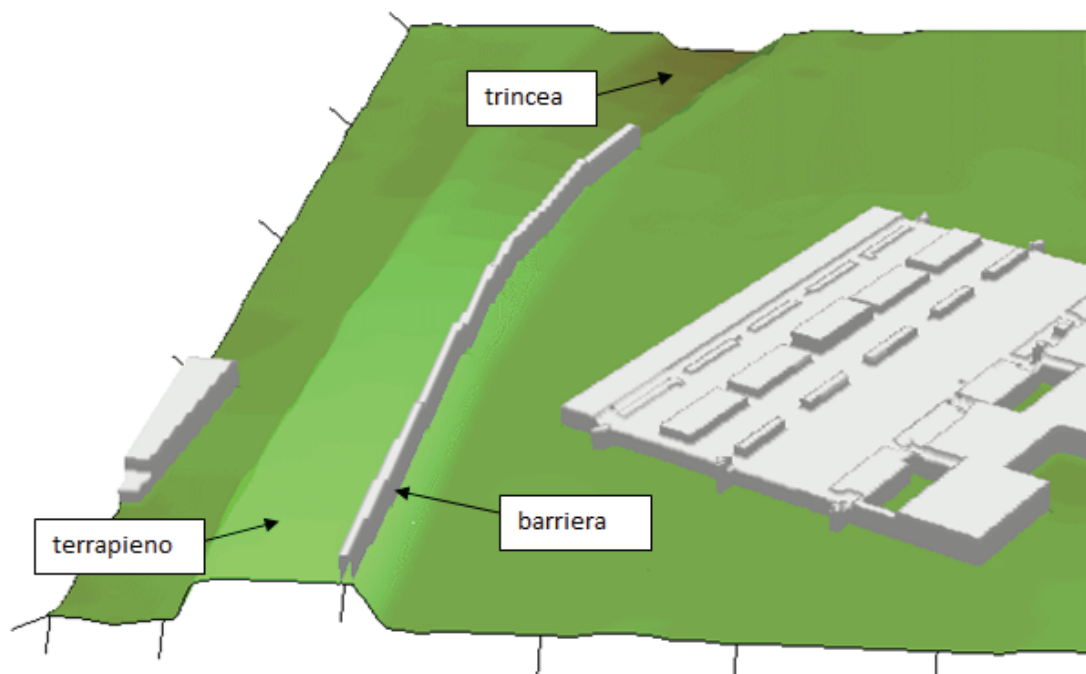


Figura 2 – Dettaglio tridimensionale della zona di interesse con visualizzazione del rilievo topografico (terrapieno e trincea), della barriera antirumore e dei principali ostacoli

Oltre alle dimensioni orizzontali dell'area, le caratteristiche peculiari del dominio di calcolo scelto sono le seguenti:

- dimensione delle celle del grigliato orizzontale (risoluzione del modello meteorologico e di ricostruzione degli ostacoli) 1m
- dimensione verticale 500m
- grigliato verticale meteorologico: 25 punti localizzati alle seguenti quote in metri sopra il suolo: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 14, 16, 18, 20, 24, 28, 32, 40, 50, 70, 100, 140, 190, 250, 350, 500

Dal punto di vista meteorologico, è stata effettuata la simulazione di una giornata rappresentativa di condizioni meteorologiche ricorrenti. La giornata scelta è il 14 Ottobre 2005, durante la quale l'andamento temporale della velocità e direzione del vento vicino al suolo e in prossimità del dominio, ottenuta da simulazioni con un modello meteorologico ad area limitata guidato da misure locali è rappresentata in Figura 3.

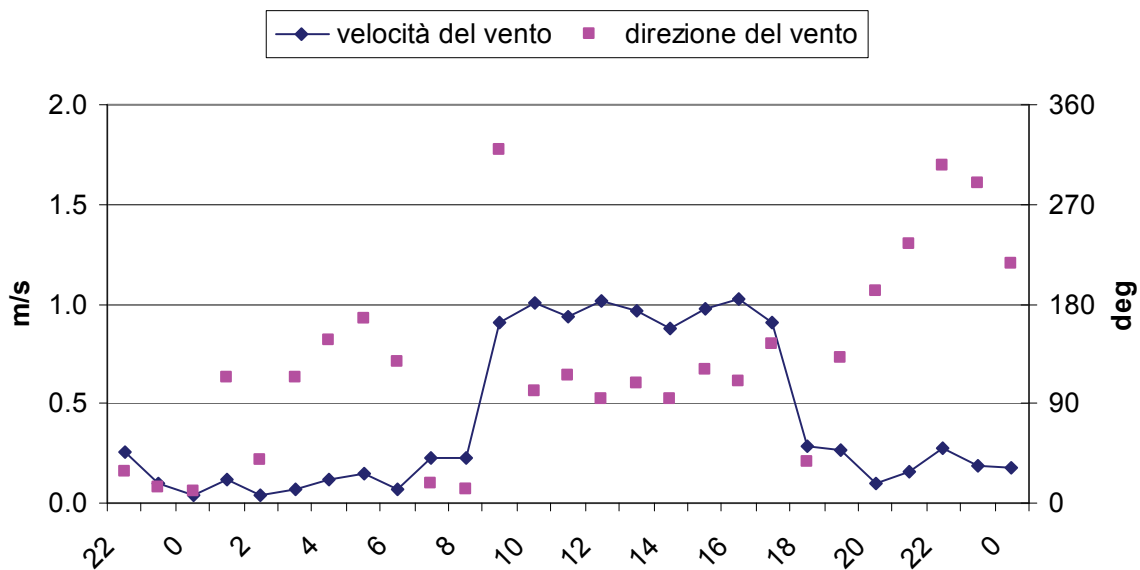


Figura 3 – Serie temporale dei dati di velocità e direzione del vento dalle 22:00 del 13/10/2005 alle 24:00 del 14/10/2005 nella zona del dominio di calcolo

La

Figura 4 mostra invece il dettaglio di un campo a 2m di quota delle linee di flusso ottenuto dal codice MicroSwift in presenza della barriera ed un dettaglio della sezione verticale posizionato lungo la linea indicata. Sono evidenti le diverse complessità nel flusso che vengono introdotte sia dalla presenza degli ostacoli che della barriera. In particolare quest'ultima determina una separazione del flusso tra la zona interna dove è presente la strada e quella esterna.

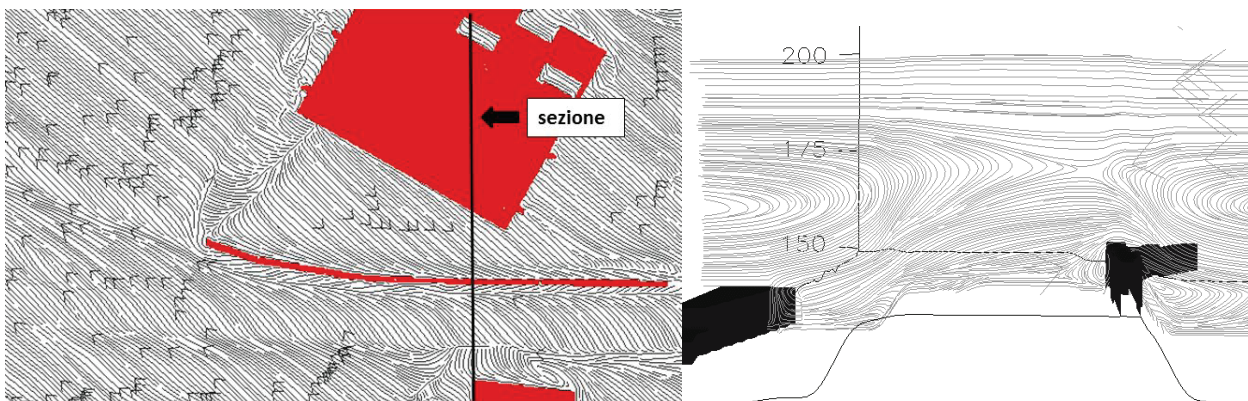


Figura 4 – Dettaglio delle linee di flusso a 2m dal suolo alle ore 12:00 del 14/10/2005 ottenute dal codice MicroSwift in presenza della barriera antirumore (sinistra) e lungo la sezione verticale indicata, in una posizione in prossimità della barriera.

RISULTATI

Il modello MicroSpray è stato utilizzato per simulare l'intera giornata del 14/10/2005. I livelli di emissione stradali sono stati calcolati ora per ora mediante l'utilizzo della metodologia COPERT IV sui dati di passaggi stimati lungo l'arteria stradale considerata. Sono state effettuate simulazioni sia in assenza che in presenza della barriera per valutare le differenze. La Figura FIGURA 5 mostra il confronto tra i campi di concentrazione al suolo medie giornaliere per la specie NO_x sia in assenza che in presenza della barriera, in prossimità dell'edificio principale. Risulta evidente l'effetto di confinamento generato dalla barriera che determina la presenza di concentrazioni molto elevate nella parte interna adiacente all'emissione stradale. Tale effetto risulta apportare mediamente un beneficio nella zona protetta adiacente alla barriera, tranne in alcune regioni in prossimità dell'angolo dell'edificio dove il miglioramento risulta meno evidente o è presente addirittura un locale peggioramento della qualità dell'aria.

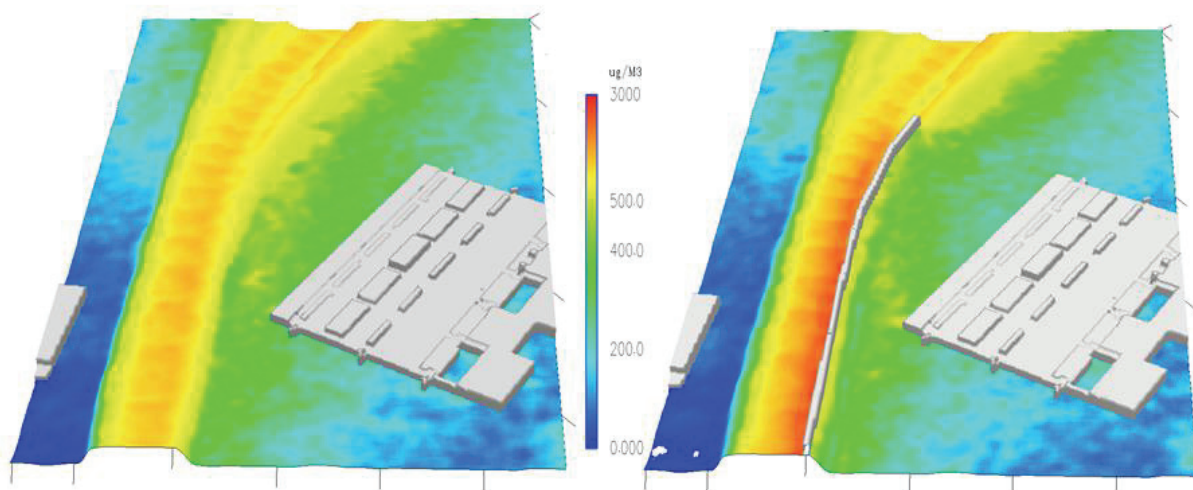


Figura 5 – Dettaglio dei campi di concentrazione al suolo medie giornaliere di NO_x in assenza della barriera (sinistra) e in presenza della barriera (destra). Valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secondo la scala colorata indicata al centro.

L'andamento qualitativo delle differenze descritto in precedenza è confermato in figura FIGURA 6, che mostra il campo delle differenze percentuali tra le concentrazioni medie giornaliere al suolo in presenza ed in assenza della barriera antirumore. Le zone tra i colori giallo e rosso si riferiscono ad aumenti di concentrazione in presenza della barriera (100% = raddoppio delle concentrazioni), mentre le zone tra i colori verde e blu si riferiscono a diminuzioni (50% = riduzione alla metà del valore iniziale). Oltre alle due posizionate tra la barriera antirumore e l'edificio dove è presente un miglioramento delle concentrazioni compreso tra il 15% e il 40%, e al logico miglioramento nella striscia adiacente al lato esterno della barriera dovuto all'effetto bloccante della stessa nelle sue dirette vicinanze, è presente anche una fascia di miglioramento sul lato sud del terrapieno dovuto alla modifica della circolazione locale con presenza di una cella che tende a portare l'inquinante verso la barriera stessa accumulandolo verso la parte interna. L'aumento delle concentrazioni sul terrapieno nella zona adiacente al lato interno della barriera antirumore costituisce però un potenziale serbatoio di inquinante in grado di generare, qualora si presentino le condizioni per uno scavalco, maggiori concentrazioni al di là della barriera. Questo è in parte ciò che succede nella zona vicina all'angolo dell'edificio principale più prossimo alla strada.

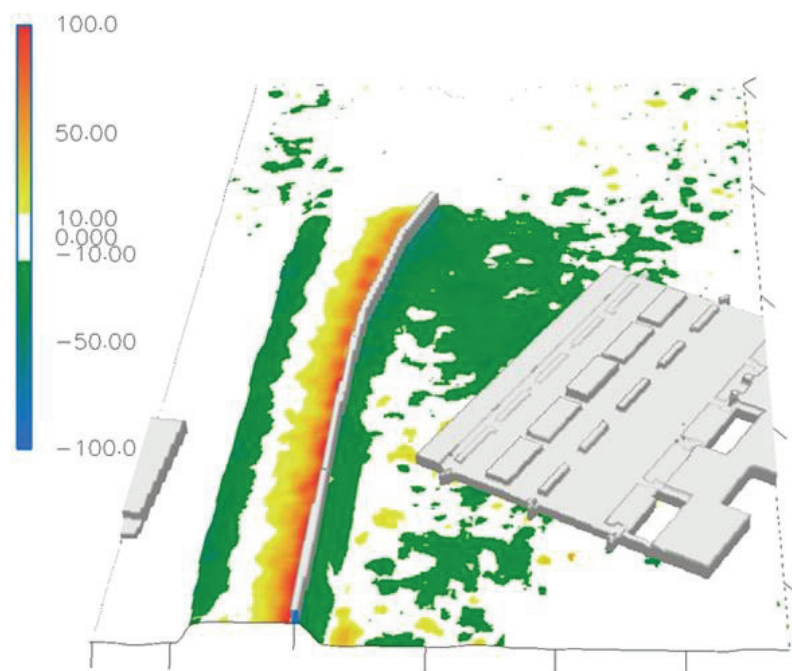


Figura 6 – Differenze percentuali tra le concentrazioni medie giornaliere di NOx al suolo in presenza e in assenza della barriera

Per verificare gli andamenti temporali orari delle concentrazioni, sono state effettuate le estrazioni dei valori di concentrazione in prossimità del suolo di NOx calcolate dal modello nelle due aree rappresentate in Figura 7 in assenza ed in presenza della barriera. In Figura 8 e in Figura 9 sono riportati gli andamenti temporali di confronto tra le concentrazioni orarie per l'area 1 e 2 rispettivamente.

Ogni grafico riporta inoltre la variazione percentuale sulla media giornaliera delle concentrazioni.

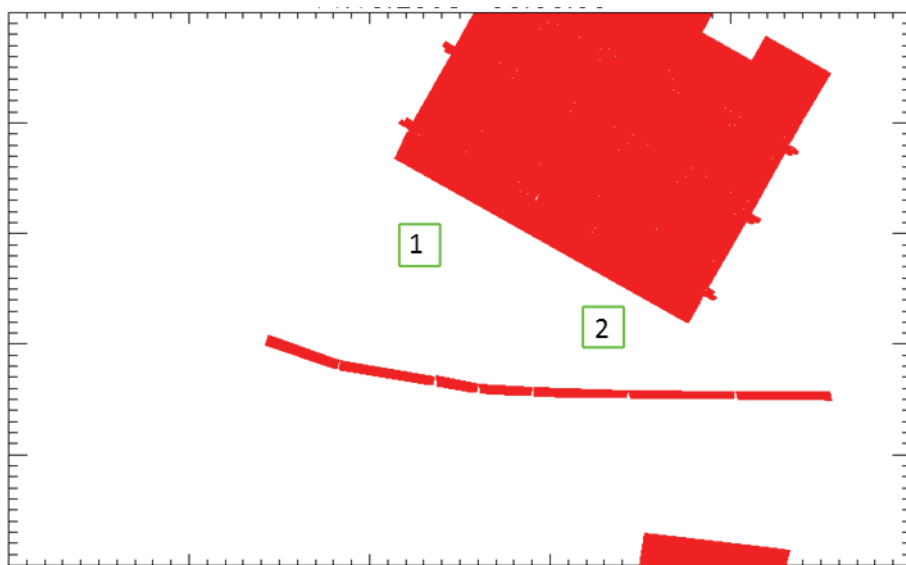


Figura 7 – Posizione delle due aree 1 e 2 utilizzate per il calcolo delle serie temporali orarie di concentrazione

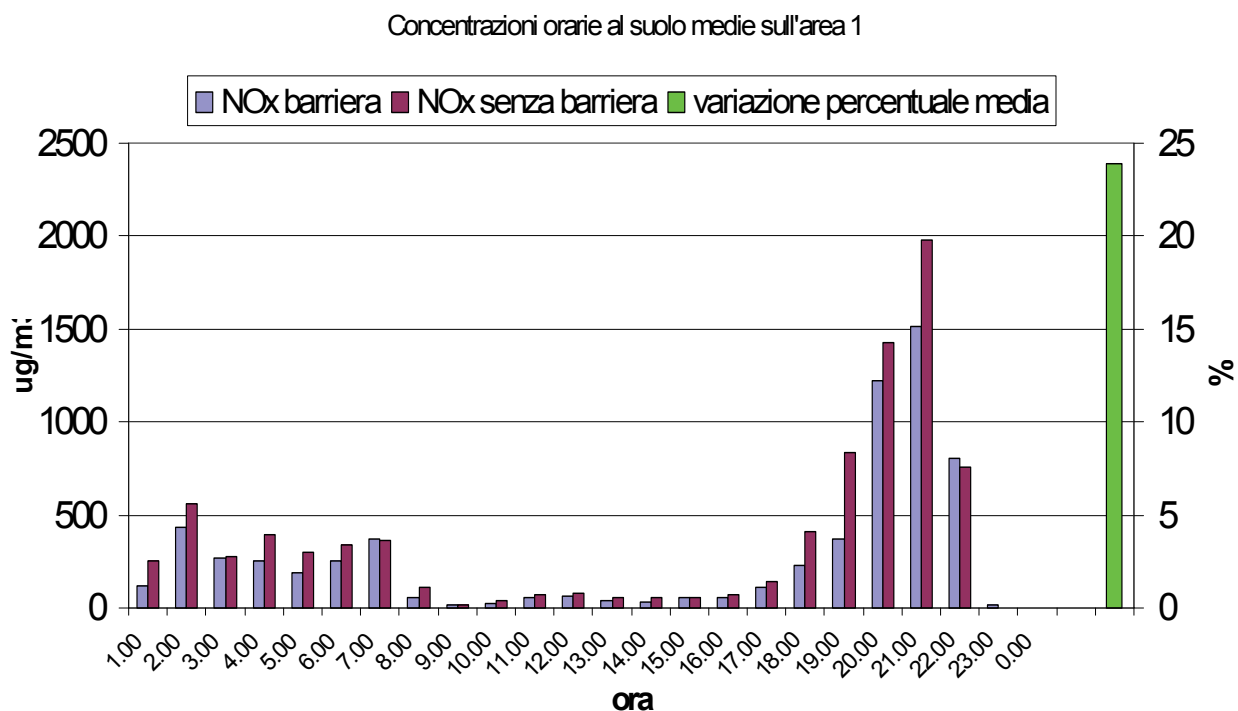


Figura 8 – Serie temporali delle concentrazioni orarie medie sull'area 1 e variazione percentuale media giornaliera (sulla destra del grafico)

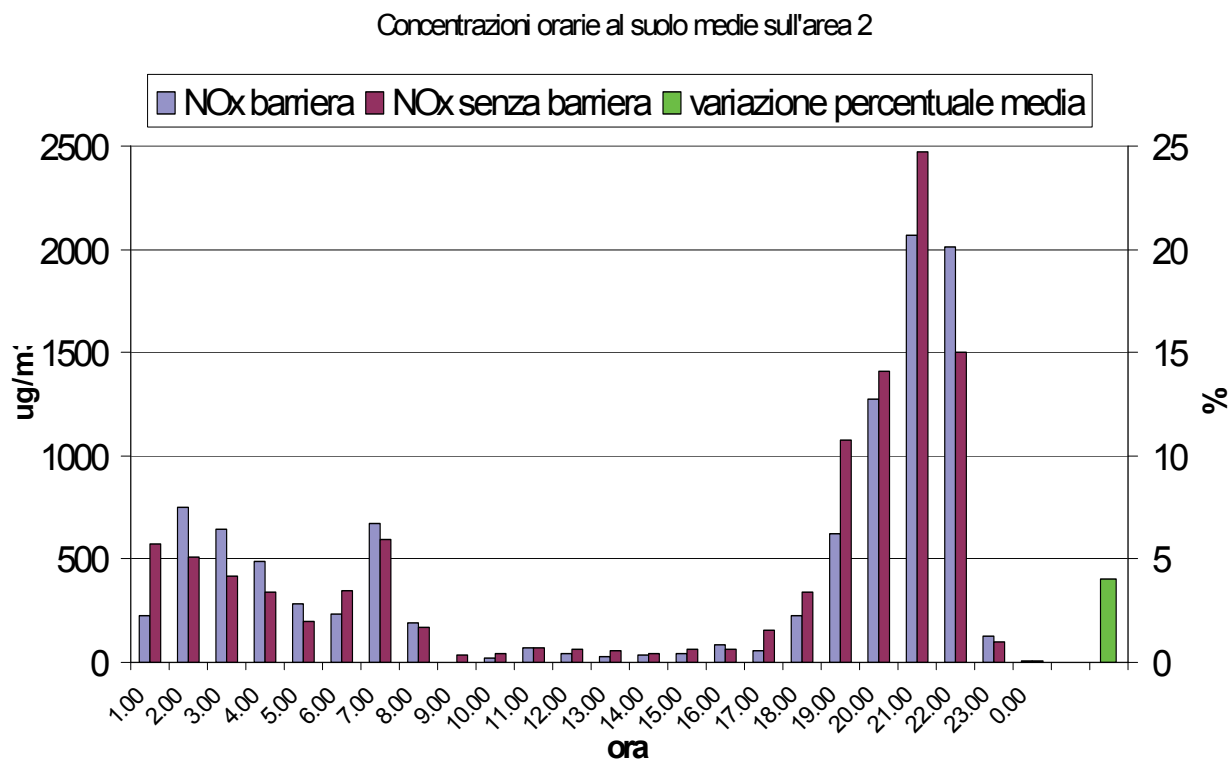


Figura 9 – Serie temporali delle concentrazioni orarie medie sull'area 2 e variazione percentuale media giornaliera (sulla destra del grafico)

Risulta evidente che, a conferma di quanto detto in precedenza, vi è una più chiara diminuzione all'interno dell'area 1, ben interna alla regione più evidente di beneficio dovuto alla barriera, con

valori di concentrazione quasi sistematicamente più elevati nel caso senza la barriera ed una diminuzione percentuale media del 24%. La situazione appare meno definita all'interno dell'area 2 che, pur mostrando una diminuzione media giornaliera del 4% circa, in diversi momenti della giornata mostra addirittura degli aumenti di concentrazione nel caso con la barriera antirumore anziché diminuzioni.

CONCLUSIONI

La presenza di barriere antirumore, seppure progettate e costruite per altri scopi rispetto all'abbattimento locale dell'inquinamento costituisce, come si evince dalle simulazioni, un potenziale effetto di mitigazione per l'impatto al suolo delle emissioni di una strada di grande comunicazione su distanze fino a poche centinaia di metri. La modifica dei pattern di concentrazione prodotti dall'inserimento delle barriere mostra infatti consistenti aree con significative diminuzioni percentuali dei valori relativamente elevati di concentrazione che arrivano fino ad oltre il 25%.

Occorre però rilevare che è possibile la presenza di aree caratterizzate dalla presenza di nessuna diminuzione al di là della barriera o addirittura di parziale aumento a causa della presenza di più elevate concentrazioni di inquinante emessi dalla strada che rimangono 'confinati' nella zona interna alla barriera e che costituiscono una potenziale sorgente più elevata in caso di svalicamento.

Lo studio di situazioni di questo tipo può essere effettuato in maniera molto efficiente attraverso l'uso di sistemi modellistici di simulazione a scala molto fine come quello utilizzato, che costituiscono un prezioso ausilio per comprendere nel dettaglio gli effetti complessi sull'inquinamento locale che possono derivare dall'introduzione di sistemi di protezione come quelli considerati.

Bibliografia

Anfossi D., Tinarelli G., Trini Castelli S., Nibart M., Olry C., Commanay J., *A new Lagrangian particle model for the simulation of dense gas dispersion*, 2010, Atmospheric Environment, 44, Issue 6, 753-762

Finardi S., Silibello C., *SURFPRO3 User's guide (SURFace-atmosphere interface PROCessor, Version 3)*, 2011, ARIANET R2011.31.

Kaplan H. and Dinard N., *A lagrangian dispersion model for calculating concentration distribution within a built-up domain*, 1996, Atmospheric Environment, 30 (24), 1996, 4197-4207.

Moussafir J., Oldrini O., Tinarelli G., Sontowski J., Dougherty C., *A new operational approach to deal with dispersion around obstacles : the MSS (Micro-Swift-Spray) software suite*, 2004, Proceedings 9th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes Garmisch, Germany, 5.26, 114-118.

Tinarelli G., Brusasca G., Oldrini O., Anfossi D., Trini Castelli S., Moussafir J., *Micro-Swift-Spray (MSS) a new modelling system for the simulation of dispersion at microscale, general description and validation*, 2007, Air Pollution Modelling and Its Application XVII, Borrego C., Norman A.L., (Eds.), Springer, 449-458.

Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Giostra U., Morselli M.G., Moussafir J., Tampieri F., and Trombetti F., 1994, *Lagrangian particle simulation of tracer dispersion in the lee of a schematic two-dimensional hill*, Journal of Applied Meteorology, 33, pp. 744-756.