

Simulazioni di impatto a microscala da traffico veicolare nella città di Trieste

Tinarelli G. ⁽¹⁾, Del Frate S. ⁽²⁾, Stel F. ⁽²⁾, Mauri L. ⁽¹⁾, Pozzi C. ⁽¹⁾

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

2 ARPA FVG - CRMA - Centro Regionale di Modellistica Ambientale, crma@arpa.fvg.it

INTRODUZIONE

La dispersione di emissioni in atmosfera in ambito urbano risente in maniera non trascurabile della presenza di edifici, canyon stradali ed ostacoli di vario tipo. La presenza di tale complessità può essere determinante nel definire l'impatto di sorgenti inquinanti nei bassi strati atmosferici, provocando sostanziali cambiamenti rispetto ad analoghe situazioni in atmosfera libera, in assenza di ostacoli. In particolare, la presenza di edifici non può essere trascurata nel valutare la significatività del posizionamento delle capannine per il rilevamento degli inquinanti in ambito urbano già installate che potrebbero essere rappresentative di zone molto limitate o per valutare l'adeguatezza di nuove collocazioni. Questo tipo di valutazione richiede una stima delle emissioni di inquinanti in atmosfera derivanti dal traffico veicolare, che costituiscono il contributo emissivo sostanziale, e una ricostruzione delle grandezze fisiche che determinano la dispersione degli inquinanti, realizzabile con strumenti di modellistica.

Scopo primario del lavoro è la verifica della configurazione spaziale dell'impatto delle emissioni in atmosfera su scale spaziali limitate (dell'ordine di qualche centinaio di metri) e ad alta risoluzione (dell'ordine di un metro), all'interno di una zona centrale della città di Trieste. In tale zona, antistante la stazione ferroviaria, nei pressi di Piazza della Libertà, sono previste opere di riqualificazione che determineranno variazioni del traffico sia in termini quantitativi, sia in termini di distribuzione spaziale. Nel lavoro vengono confrontati i campi di concentrazione ottenuti nei due scenari relativi allo stato precedente e successivo alla realizzazione delle opere. Il lavoro ha inoltre l'obiettivo di valutare l'eventuale rilocalizzazione di una capannina di misura dell'inquinamento, attualmente già operante, appartenente alla rete di rilevamento di qualità dell'aria gestita da Arpa Friuli Venezia Giulia.

IL SISTEMA MODELLISTICO UTILIZZATO

Per la realizzazione delle simulazioni di trasporto e dispersione in presenza di ostacoli, è stato utilizzato il sistema modellistico a microscala innovativo denominato MSS (Micro-Swift-Spray, Moussafir J. et al., 2004; Tinarelli G. et al., 2007). 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 domini di dimensione orizzontale dell'ordine del chilometro 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.

MSS si pone come un sistema alternativo 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 nondimeno di eseguire simulazioni con tempi di risposta rapidi. In questo modo è possibile eseguire simulazioni di lungo periodo (intere giornate o anche oltre) ed effettuare serie di simulazioni 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 calcolato 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 fornisce 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). MicroSpray, tenendo conto della presenza degli ostacoli, ricostruisce l'evoluzione degli inquinanti mediante il moto di "particelle virtuali" definito sia dal vento locale, sia da velocità casuali che riproducono le caratteristiche statistiche della turbolenza atmosferica, che MicroSpray definisce integrando 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.

INQUADRAMENTO DEL CASO STUDIO

L'area coinvolta dalle simulazioni, nel centro di Trieste, è rappresentata in Figura 1 nella quale sono riportati in arancione gli edifici presenti, in azzurro il bordo del dominio di simulazione, in verde l'area soggetta a riqualificazioni del traffico ed in rosso la posizione attuale della stazione di misura degli inquinanti, sita in Piazza della Libertà. In Figura 2 viene fornita una visualizzazione tridimensionale degli edifici.

Le principali caratteristiche del dominio cartesiano di indagine sono:

- dimensioni (X x Y): $696 \times 696 \text{ m}^2$;
- risoluzione orizzontale: $3 \times 3 \text{ m}^2$;

- numero punti lungo X ed Y: 223x223;
- coordinate (X,Y) del punto SW (UTM33 WGS84) in metri: (404004, 5056280);
- risoluzione verticale variabile con la quota;
- altezza del top del dominio: 450m.



Figura 1 – Inquadramento dell'area di studio: in arancione gli edifici presenti; in azzurro i limiti del dominio orizzontale di simulazione; in verde l'area soggetta a variazione del traffico; in rosso la posizione attuale della stazione di misura delle concentrazioni di inquinanti

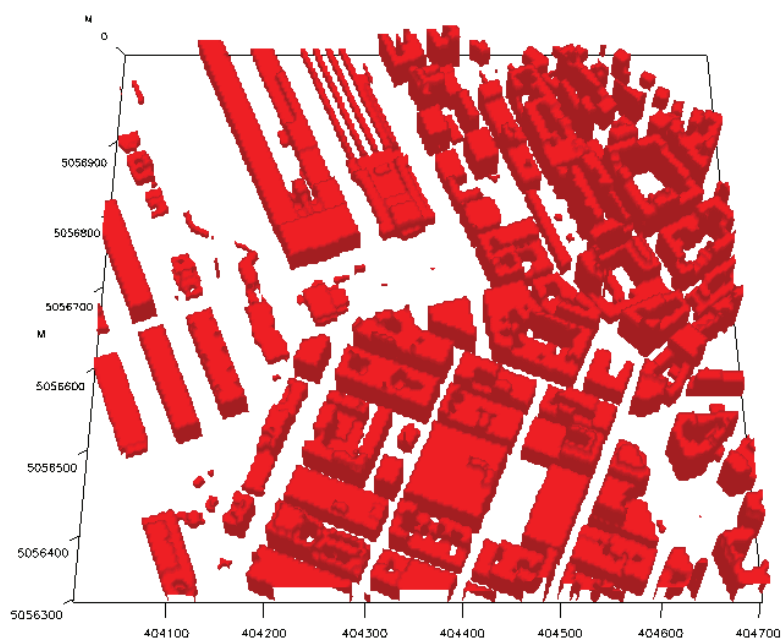


Figura 2 - Vista 3D degli ostacoli discretizzati nel sistema modellistico MSS sui livelli verticali ed orizzontali in cui è stato suddiviso il dominio di calcolo

La risoluzione, orizzontale viene utilizzata per la rappresentazione degli ostacoli, per il calcolo dei campi meteorologici e di concentrazione sul dominio, quella verticale per gli ostacoli e i campi meteo. La risoluzione orizzontale di 3m consente un buon equilibrio tra il numero dei punti utilizzati e la descrizione di dettagli all'interno dei canyon significativi più stretti.

La risoluzione verticale deve tenere conto sia della distribuzione delle altezze degli ostacoli presi in considerazione sia delle necessità di rappresentazione dei campi meteo e delle principali strutture (vortici, scie) che vengono a crearsi a causa della presenza degli ostacoli stessi. Per ottimizzare le due esigenze è stata scelta una distribuzione di 24 livelli verticali espressi in metri come segue:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 14, 16, 18, 20, 24, 28, 32, 40, 50, 70, 100, 150, 200, 300, 450.

Al fine del calcolo delle concentrazioni viene considerato lo strato verticale che va dal suolo fino a 3 metri. I dati di traffico per il calcolo delle emissioni, relativi ai due scenari di viabilità considerati (prima e dopo la riqualificazione), sono stati forniti dal Comune e dalla Provincia di Trieste. In quest'ambito, al fine di valutare il traffico sugli interi archi della rete stradale, ed al fine di valutare il traffico nello scenario di progetto i dati di rilevamento sono stati usati per alimentare un modello di calcolo dei flussi di traffico. In Figura 3 è riportata una rappresentazione schematica della rete stradale, differenziando i due scenari prima e dopo la modifica prevista dalla riqualificazione della zona.



Figura 3 - Rete stradale presente nel dominio di simulazione. In azzurro la rete viaria non modificata, in blu la parte attuale della zona modificata, in pallini rossi la nuova configurazione.

La scelta del periodo di simulazione, è stata fatta tenendo conto sia della sua rappresentatività sul territorio sia della presenza di eventi in cui le concentrazioni degli inquinanti misurate dalle capannine della rete di monitoraggio della qualità dell'aria risultano critiche. Seguendo tali criteri sono stati scelti due intervalli temporali di due settimane ciascuno, il primo nel periodo estivo ed il secondo nel periodo invernale, i risultati presentati in questo lavoro si riferiscono al periodo invernale che va dal 14/01/2012 00:00 al 27/01/2012 ore 24:00. Durante questo periodo sono stati resi disponibili i dati meteorologici della capannina localizzata a Trieste ed i radiosondaggi di Udine Campofornido, che hanno consentito di definire l'informazione in input ai codici MicroSwift e

SurfPro per la ricostruzione tridimensionale dei campi di vento e turbolenza su base oraria dell'intero periodo. La Figura 4 riporta la rosa dei venti ricostruita con i dati misurati dall'anemometro di Trieste.

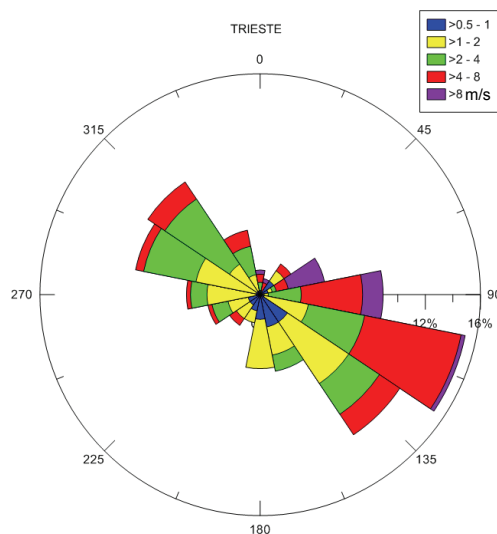


Figura 4 – Rosa dei venti per la stazione al suolo di Trieste, relativa alle misurazioni dal 14/01/2012 00:00 al 27/01/2012 00:00

La Figura 5 mostra invece un esempio del campo di vento in prossimità del suolo ricostruito dal codice MicroSwift ed un dettaglio nella zona di Piazza della Libertà, ottenuto il giorno 14/01/2012 alle 08:00, che mette in evidenza le complessità generate dalla presenza degli ostacoli.

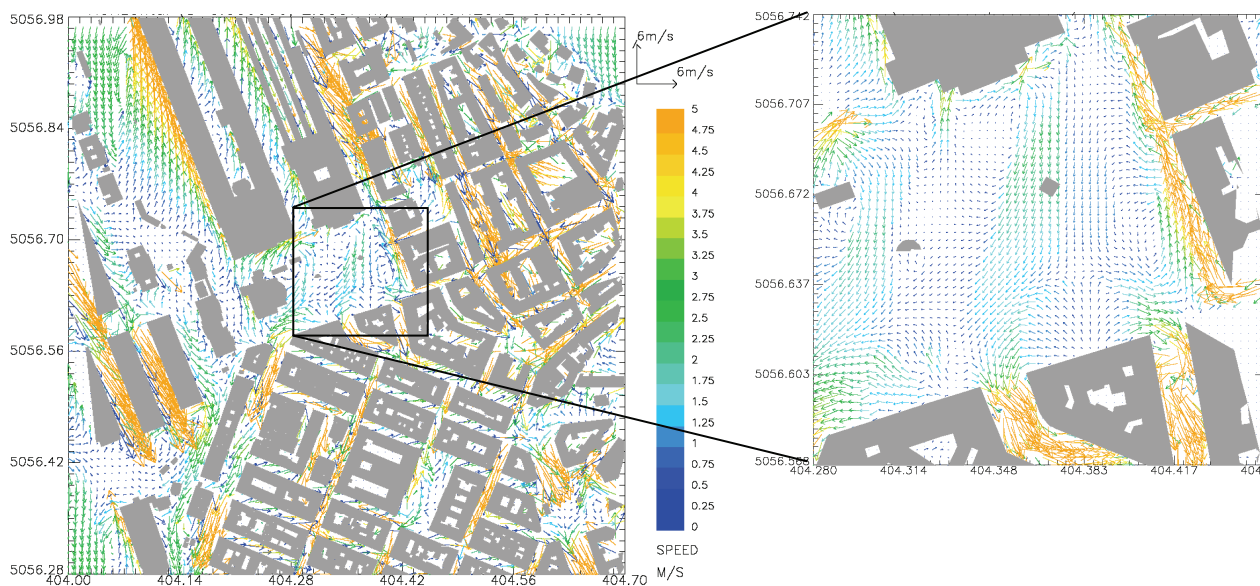


Figura 5 – Campo di vento a 3m di quota sopra il suolo ottenuto dal codice MicroSwift il 14/01/2012 08:00 (sinistra) e zoom nella zona di Piazza della Libertà (destra), nel grafico a sinistra la risoluzione è 1/3 rispetto a quella realmente utilizzata per consentire una migliore visualizzazione.

Partendo dunque dall'informazione completa sui flussi veicolari sull'intero set degli archi stradali considerati nel dominio, sono state calcolate le emissioni delle specie NO_x, CO, Benzene, PM10, PM2.5, secondo la metodologia COPERT IV (Gkatzoflias et al. 2007) per mezzo del software TREFIC (Nanni et al. 2012) in ognuno dei due scenari. La Figura 6 mostra le emissioni di NO_x dei due scenari in kg/ora relativamente all'ora di picco.

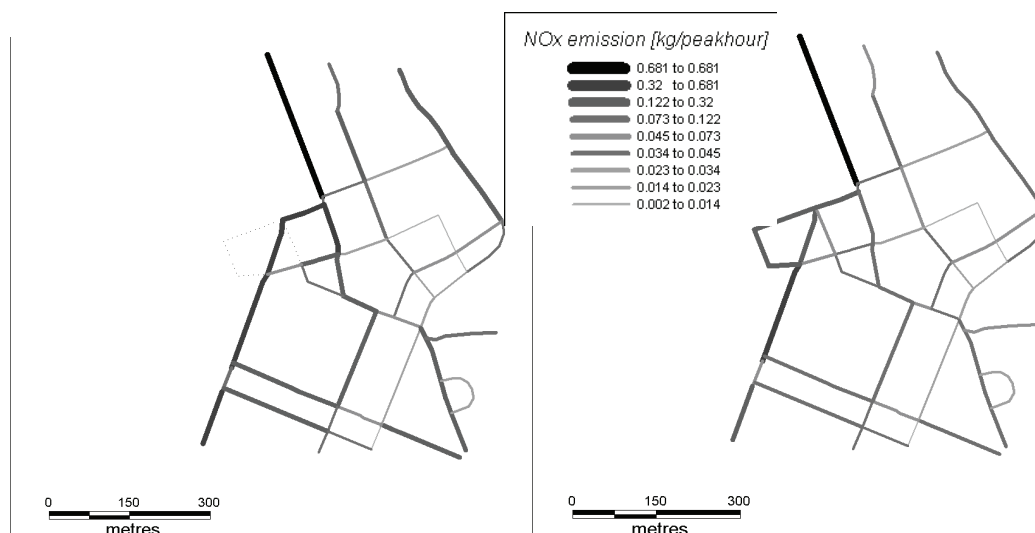


Figura 6 – Rappresentazione delle emissioni di NOx nell'ora di picco (esprese in kg/ora) sul grafo stradale considerato nel caso attuale (sinistra) e modificato (destra)

RISULTATI

La dispersione delle sorgenti stradali considerate nel periodo invernale scelto è stata simulata mediante il codice Lagrangiano a particelle MicroSpray, sia nello scenario emissivo attuale che in quello modificato. Le concentrazioni sono state calcolate ora per ora alla risoluzione orizzontale di 3m e ad una altezza dal suolo di circa 1.5m. Sono stati quindi calcolati i valori medi di periodo per ogni specie emessa e confrontati tra loro i campi così ottenuti nei due scenari per consentire una valutazione delle differenze ed verificare l'efficacia di un possibile riposizionamento della capannina di misura delle concentrazioni. La Figura 7 mostra il confronto tra le concentrazioni medie di periodo di NOx in prossimità del suolo per entrambi gli scenari. Si nota in modo evidente l'incanalamento delle concentrazioni all'interno dei principali canyon stradali. Nella zona di fronte all'edificio della stazione ferroviaria, le concentrazioni appaiono più elevate nel caso attuale a causa del maggior traffico sulla direttrice che contorna Piazza della Libertà mentre ad Ovest della stazione ferroviaria le concentrazioni hanno un maggior impatto nel caso modificato a causa della deviazione del traffico verso questa zona.

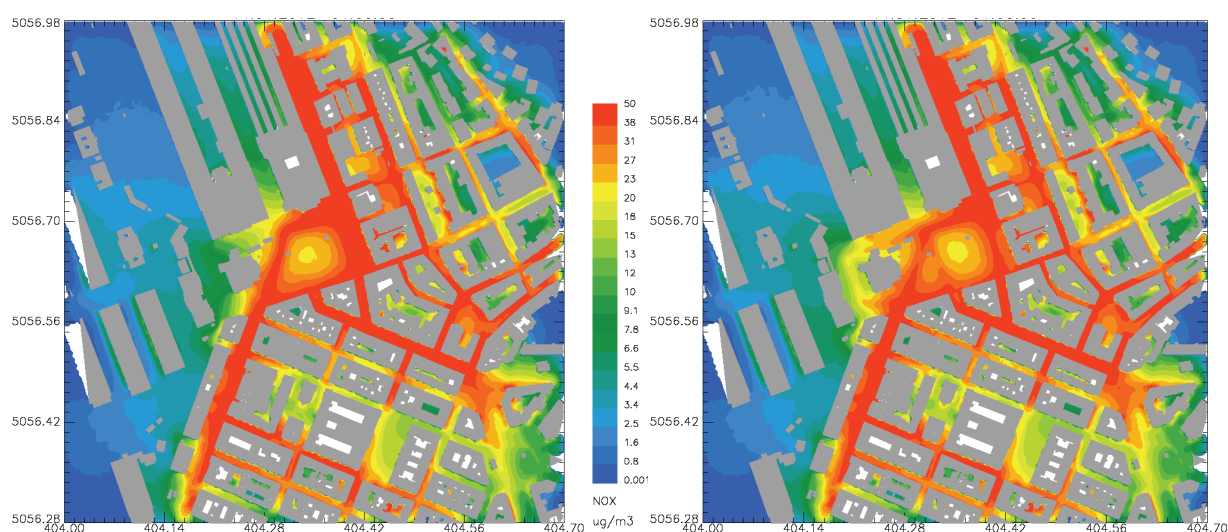


Figura 7 – Campo di concentrazioni medie di NOx in prossimità del suolo sull'intero periodo simulato nel caso attuale (sinistra) e modificato (destra). Valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secondo la scala al centro.

Si nota anche come la presenza di alcuni ostacoli tende a proteggere l'impatto verso Ovest del traffico deviato nel caso modificato, che risulta essere quindi relativamente poco esteso in questa direzione. I valori massimi delle medie di periodo sul dominio sono di circa $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in linea con i valori medi di periodo delle concentrazioni di NO_2 misurati presso la capannina in prossimità di Piazza della Libertà che si attestano intorno a $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dove il modello indica concentrazioni di circa $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Occorre ricordare che il biossido di azoto corrisponde ad una percentuale degli ossidi di azoto totali simulati dal modello e che non sono stati presi in considerazione i contributi del riscaldamento domestico, non presenti nella simulazione.

La Figura 8 mostra lo stesso tipo di confronto per il Benzene. Le considerazioni sulla spazializzazione del campo di concentrazione nei due scenari sono sostanzialmente le stesse fatte per il biossido di azoto, in questo caso le concentrazioni medie di periodo massime sul dominio sono di circa $8.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con valori nella zona della capannina di circa $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tali valori, abbastanza elevati se confrontati con il limite legislativo (media annua di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) seppure non confortati da misure in loco sono credibili in quanto il benzene rappresenta un'emissione, in contesto urbano, sostanzialmente derivata dal traffico. Non essendoci altri contributi emissivi non considerati nella simulazione, le concentrazioni modellate rappresentano una situazione realistica ed è lecito attendersi, in canyon urbani, valori piuttosto elevati.

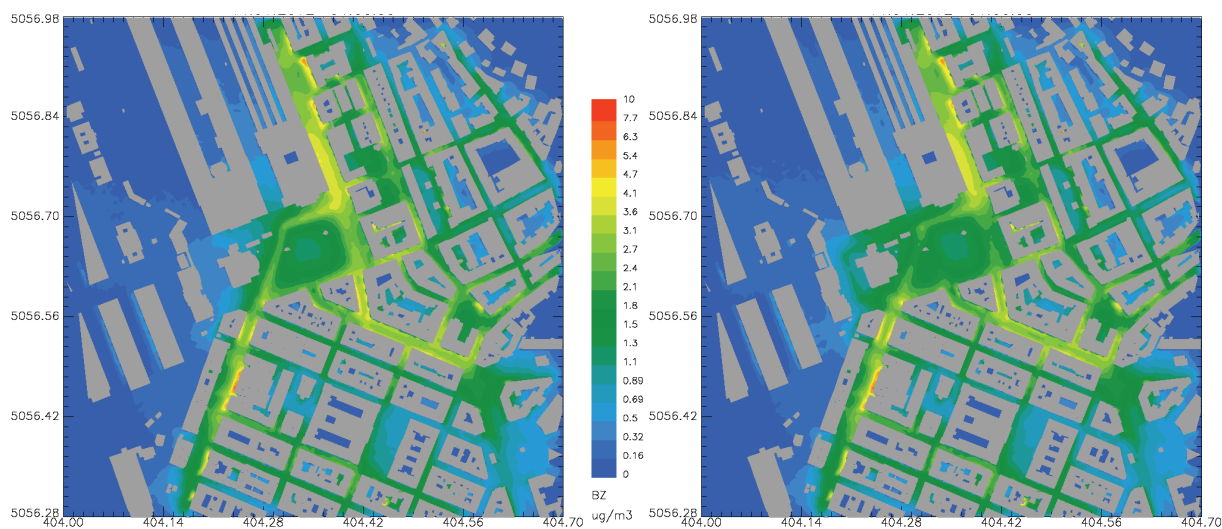


Figura 8 – Campo di concentrazioni medie di Benzene in prossimità del suolo sull'intero periodo simulato nel caso attuale (sinistra) e modificato (destra). Valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secondo la scala al centro.

La Figura 9 mostra invece le differenze assolute (sinistra) e percentuali (destra) delle concentrazioni medie di periodo di NO_x in prossimità del suolo. I campi mostrano chiaramente le diminuzioni nella zona sollevata di parte del traffico, localizzata soprattutto nella parte ad Est del dominio e gli aumenti nella zona opposta. La zona dove la capannina è attualmente installata risente di diminuzioni sulla media di periodo di circa $12.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che corrisponde a circa il 20% rispetto al valore preesistente. La zona di aumento più significativa è limitata tra Piazza della Libertà e i due palazzi ad Ovest, con aumenti di $13-14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che corrispondono ad oltre il doppio rispetto al valore preesistente. Oltre i palazzi citati in direzione Ovest, l'effetto di mascheramento renderebbe l'installazione della capannina poco significativo, dato che gli aumenti sono estremamente limitati sia in valore assoluto che in percentuale.

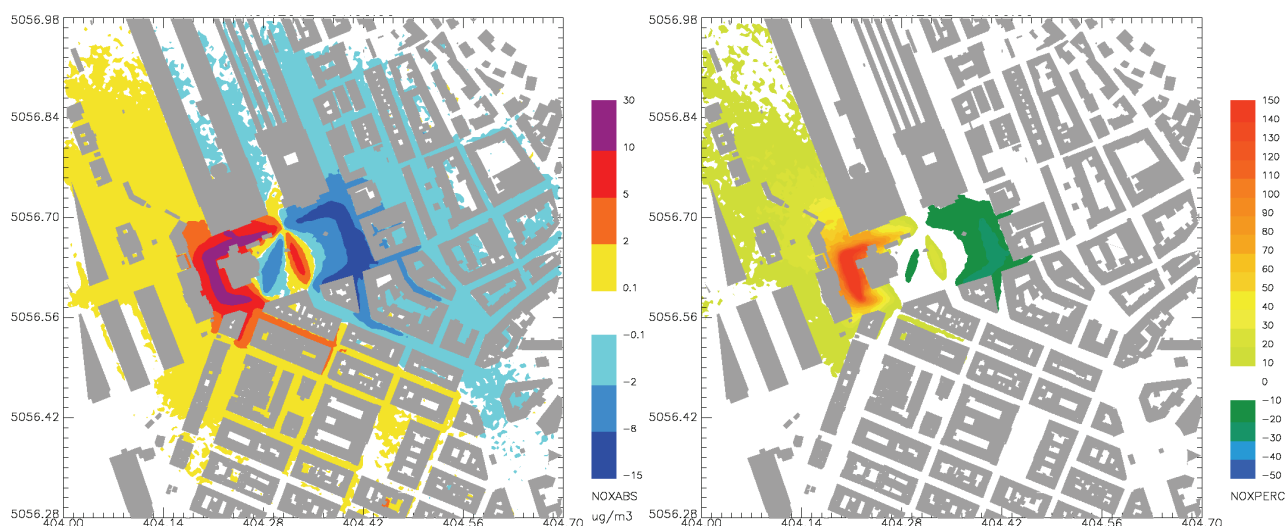


Figura 9 – Campo delle differenze assolute delle concentrazioni (sinistra in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e delle differenze percentuali (destra in %) di concentrazione di NOx in prossimità del suolo sull'intero periodo simulato.

CONCLUSIONI

Nell'identificazione degli effetti indotti da modificazioni del traffico in ambiti fortemente urbanizzati, l'utilizzo di modellistica avanzata a microscala risulta essere un ausilio molto importante. Essa consente di cogliere i dettagli spaziali, altrimenti difficili da ricostruire con misure singole, su scale dell'ordine del metro e permettendo di valutare il possibile corretto posizionamento di capannine di misura. Il sistema modellistico MSS utilizzato nel presente lavoro permette di realizzare simulazioni di questo tipo ricostruendo scenari su periodi abbastanza lunghi in tempi rapidi, consentendo una valutazione statistica approfondita e mostrando risultati ragionevolmente corretti e confrontabili con le misure puntuali.

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.
- Gkatzoflias D., Ntziachristos L., Samaras Z., *COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport Users manual*, 2007.
- 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.
- Nanni A., Pozzi C., Eriksson E., Lungu, *Bottom-Up Road Traffic flow and emission calculations for the assessment of future traffic scenarios and public transportation expansion plans in Bucharest*, 2012, Proceedings 14th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purpose Kos, Greece, H14-238, 235-239.
- 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.