



**Studio della qualità dell'aria
locale nell'area di Carmagnola:
stato attuale e scenari**

Autori

P.Radice, T.Pittini, G.Calori, G.Tinarelli

Riferimento

ARIANET R2006.07

Febbraio 2006

Relazione ARIANET R2006.07

Autori: P.Radice, T.Pittini, G.Calori, G.Tinarelli

Committente:

Provincia di Torino

INDICE

1	Introduzione.....	3
2	Quadro emissivo.....	7
2.1	Sorgenti da traffico sulla rete locale	7
2.1.1	Il modello di assegnazione della domanda di mobilità sulla rete extraurbana.....	7
2.1.2	Definizione degli archi stradali	7
2.1.3	Metodologia impiegata per la stima delle emissioni da traffico stradale	8
2.1.4	Parco veicoli circolanti nell'area in esame.....	8
2.1.5	Risultati del calcolo delle emissioni stradali.....	10
2.2	Altre sorgenti	10
2.3	Predisposizione dell'input al modello	13
2.4	Scenari emissivi.....	17
3	Simulazioni modellistiche di dispersione.....	19
3.1	Domini di simulazione.....	19
3.2	Simulazioni effettuate.....	19
3.3	Ricostruzione meteorologica.....	20
4	Risultati.....	24
4.1	Scenario attuale.....	24
4.1.1	Confronti con i dati sperimentali.....	24
4.1.2	Distribuzione delle concentrazioni al suolo.....	26
4.1.3	Contributi delle diverse sorgenti "locali"	29
4.1.4	Contributo del resto delle sorgenti provinciali.....	30
4.1.5	Particolato secondario	32
4.2	Impatto di scenari emissivi futuri sulle concentrazioni	33
4.2.1	Scenario 2: costruzione della Tangenziale Sud.....	33
4.2.2	Scenario 3: costruzione della Tangenziale Nord-Est.....	34
5	Conclusioni.....	36
6	Bibliografia.....	37

1 Introduzione

La Provincia di Torino ha richiesto uno studio della qualità dell'aria in una porzione limitata del territorio localizzata intorno al Comune di Carmagnola, con i seguenti obiettivi primari:

- mappatura della qualità dell'aria sul territorio, ad integrazione delle informazioni "puntuali" provenienti dalle stazioni della rete di monitoraggio provinciale e dalle campagne di misura effettuate con mezzo mobile;
- simulazione degli effetti sulla qualità dell'aria di scenari di interesse specifico, legati alla variazione dei flussi di traffico sulla rete stradale a seguito di possibili interventi infrastrutturali.

Vengono qui descritte la metodologia seguita ed i risultati dello studio modellistico realizzato, che utilizza le informazioni e le risorse già disponibili presso la Provincia e la Regione; in particolare:

- la ricostruzione per l'area di interesse, da parte della Provincia di Torino, dei flussi veicolari delle diverse categorie di veicoli sulla rete viaria primaria della Provincia, per lo scenario di riferimento e quelli futuri di interesse;
- l'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera;
- i campi meteorologici orari ricostruiti da parte di ARPA Piemonte sull'intera regione e su porzioni di territorio più limitate.

Lo studio si basa sull'utilizzo di un sistema modellistico integrato tridimensionale, applicato a due domini di analisi:

- A. l'area di interesse primario, di 18 x 16 km (Figura 1): comprende il Comune di Carmagnola, quelli confinanti e situati sulle direttrici principali di traffico;
- B. il contesto provinciale, di 132 x 108 km (Figura 2): comprende l'insieme delle sorgenti emissive non di diretta competenza dei comuni di cui sopra, ma che possono ugualmente influenzare la qualità dell'aria "locale" in maniera significativa.

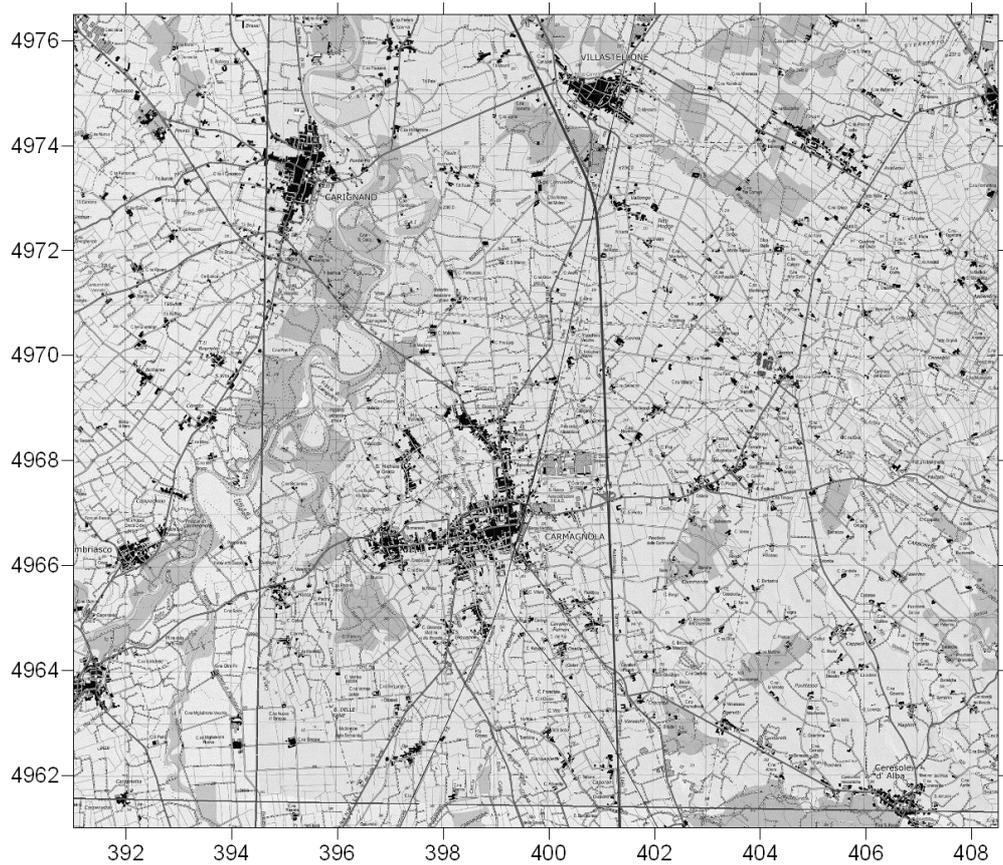


Figura 1. Area di interesse primario (“dominio A”).

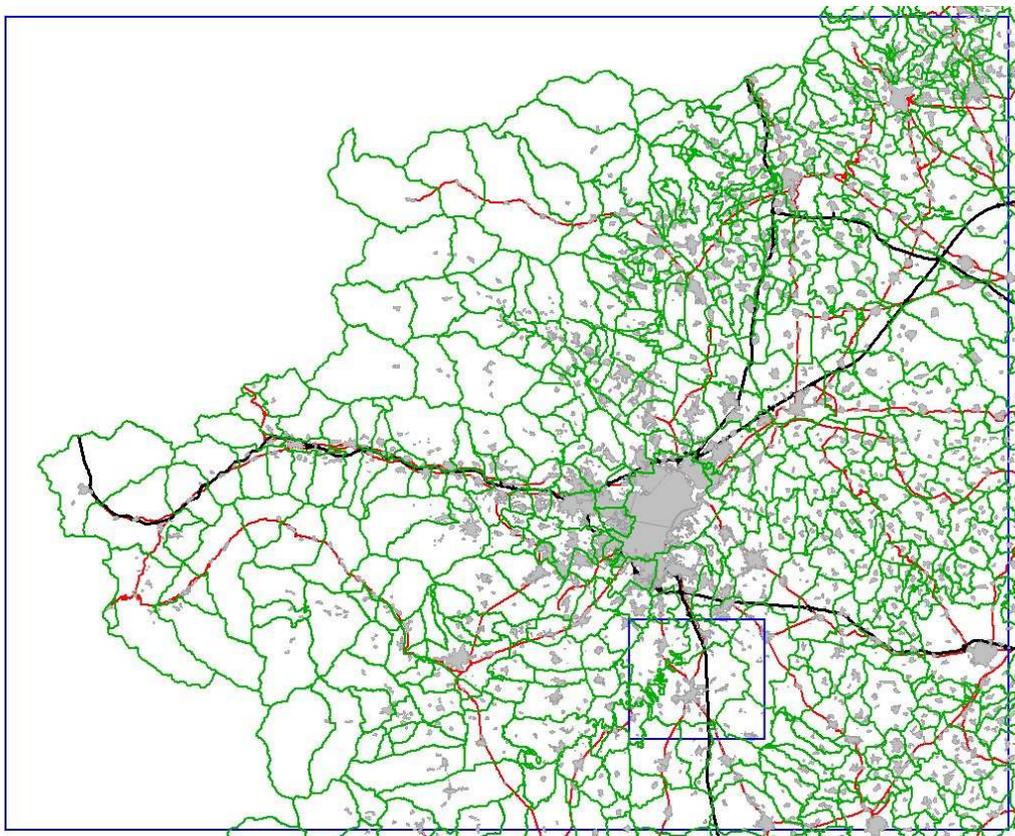


Figura 2. Localizzazione dei domini di indagine A e B (“provinciale” e “locale”, innestati l’uno dentro all’altro).

Per ciascun dominio è stato adottato un grigliato orizzontale di calcolo con una risoluzione compatibile sia con le finalità del lavoro (la ricostruzione dei campi di concentrazione sull'intero territorio a partire dall'insieme di dati meteorologici ed emissivi disponibili), sia con i vincoli computazionali: 250 m per il dominio "locale" (Figura 3) e 2 km per il dominio provinciale (Figura 4).

Il lavoro si articola nelle seguenti fasi:

- messa a punto del quadro emissivo (NO_x e PM_{10} , considerati alla stregua di traccianti inerti) su base oraria sulle due griglie di calcolo, sulla base delle emissioni da traffico stimate a partire dai risultati di un modello di assegnazione del traffico in possesso della Provincia e dei dati dell'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera;
- analisi ed utilizzo delle simulazioni diagnostiche su base oraria dei campi meteorologici tridimensionali (vento e temperatura) e dei campi delle variabili turbolente su entrambi i domini, realizzati da ARPA Piemonte;
- stima spazializzata sul territorio, realizzata mediante simulazioni di un episodio mediante un modello Lagrangiano tridimensionale, del contributo di diverse sorgenti, così raggruppate:
 - sorgenti industriali poste all'interno del dominio "locale";
 - traffico sulla rete "locale", con particolare attenzione ai tratti autostradali;
 - sorgenti "diffuse" sul territorio;
- stima del contributo delle sorgenti poste al di fuori del dominio "locale", tramite simulazione con un codice euleriano tridimensionale della dispersione degli inquinanti sui domini "locale" e "provinciale";
- simulazione su un intero mese, con il medesimo codice euleriano, delle mappe di concentrazioni su base oraria degli inquinanti di interesse, individuando le possibili aree interessate da superamenti dei parametri di legge;
- verifica delle simulazione in punti specifici a fronte dei dati rilevati dalle centraline della rete di monitoraggio della qualità dell'aria della Provincia;
- stima per via modellistica degli effetti sulla qualità dell'aria dei diversi scenari di traffico futuri ipotizzati per l'area di Carmagnola.

L'insieme delle informazioni provenienti da queste fasi consente di "fotografare" la situazione attuale sull'intero territorio, dando indicazione sui contributi prevalenti delle diverse sorgenti (locali o meno), informazione preziosa per la messa a punto di politiche di controllo della qualità dell'aria. Su tale base vengono dunque poi simulate le conseguenze sulla qualità dell'aria degli scenari futuri di particolare interesse.

Le diverse fasi dello studio sono illustrate in dettaglio nei capitoli successivi.

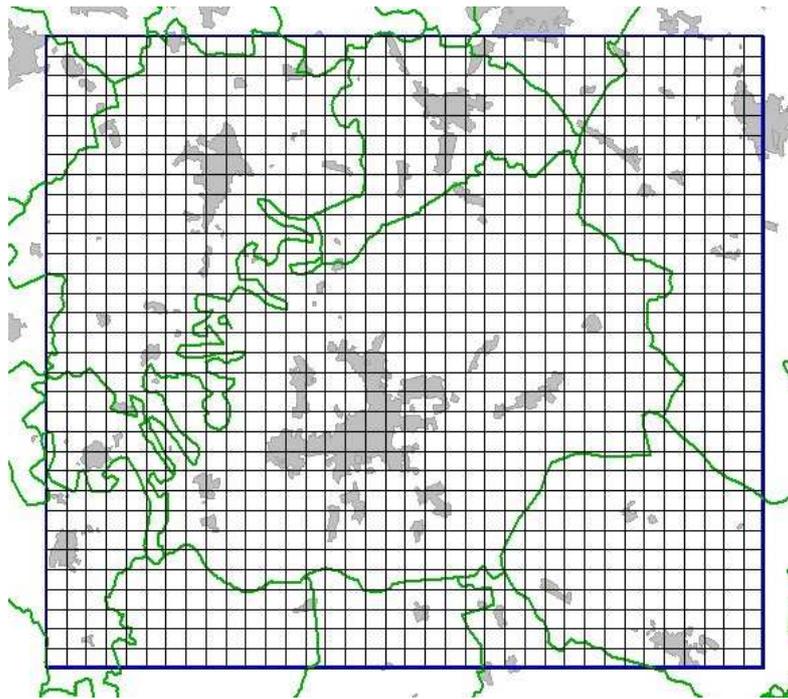


Figura 3. Dominio A: grigliato di simulazione (250 m di risoluzione).

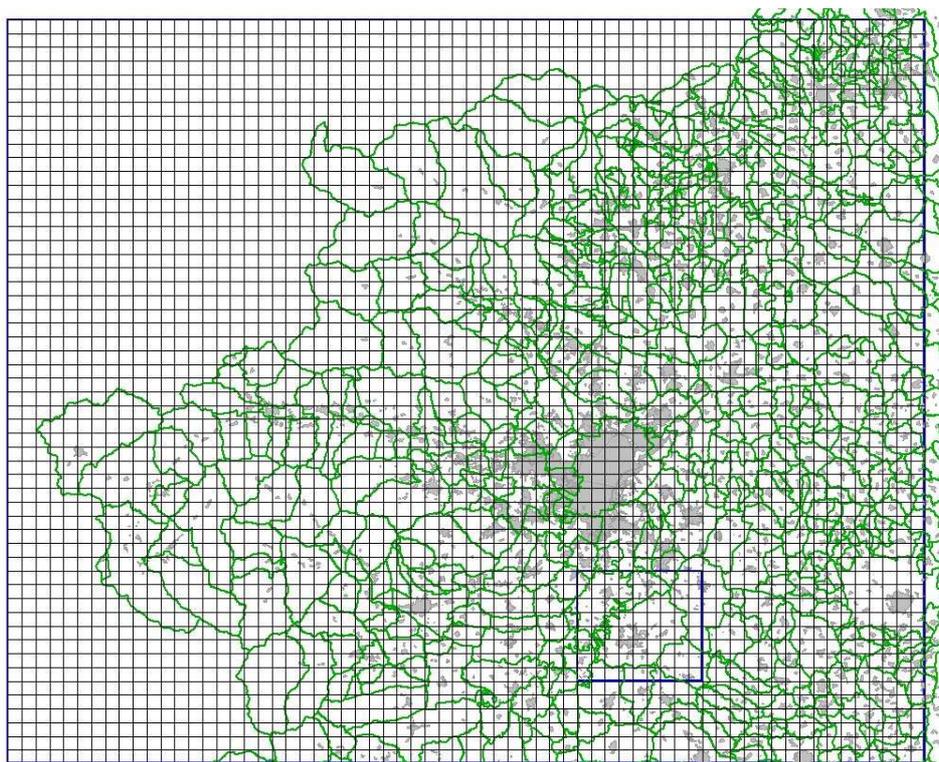


Figura 4. Dominio B: grigliato di simulazione (2 km di risoluzione).

2 Quadro emissivo

La Provincia ha fornito la ricostruzione dei flussi veicolari delle diverse categorie per uno scenario di riferimento; a partire da tali flussi, dalle caratteristiche del parco circolante e dei carburanti sono state quindi stimate le emissioni di inquinanti, utilizzando la metodologia europea di riferimento. Tali emissioni costituiscono l'input primario per le simulazioni su scala locale.

I dati emissivi relativi agli altri settori di attività, provengono dall'inventario regionale piemontese INEMAR 2001, il cui dettaglio è a livello comunale.

La metodologia adottata per stimare il contributo del traffico veicolare è descritta nei paragrafi seguenti.

2.1 Sorgenti da traffico sulla rete locale

2.1.1 Il modello di assegnazione della domanda di mobilità sulla rete extraurbana

Il calcolo delle emissioni da traffico sulla rete stradale extraurbana (comprese le autostrade) è stato condotto utilizzando i dati di traffico calcolati dalla Provincia di Torino per il comprensorio in esame. Tale stima è stata ottenuta utilizzando un modello di assegnazione del traffico ed è relativa all'ora di punta.

Poiché il grafo utilizzato per questo tipo di simulazione è rappresentato schematicamente da "archi" e "nodi" virtuali, che rappresentano logicamente i vari tratti stradali ed i loro incroci, tali archi e nodi non necessariamente sono corredati dei reali tracciati cartografici georeferenziati, che consentirebbero di identificare la dettagliata disposizione delle sorgenti emissive stradali necessaria per le simulazioni modellistiche di dispersione. Inoltre, il grafo di assegnazione della domanda di mobilità è generalmente orientato, cioè ogni arco è relativo ad un solo senso di marcia, per cui una sorgente lineare che rappresenta una strada ad unica carreggiata e doppio senso di marcia potrà essere rappresentata da due archi orientati, vale a dire che il volume di traffico utilizzato per calcolo delle emissioni sarà costituito dalla somma dei volumi calcolati sui due corrispondenti archi del grafo concettuale.

Preliminarmente è stato necessario dunque effettuare l'associazione degli archi virtuali del modello di traffico con i reali tracciati cartografici contenuti nei "layer" cartografici regionali.

2.1.2 Definizione degli archi stradali

A partire dal grafo della domanda di mobilità extraurbana e dalla cartografia stradale sono stati associati gli archi "virtuali" con i rispettivi tracciati reali. In Figura 5 è presentato l'intero dominio.

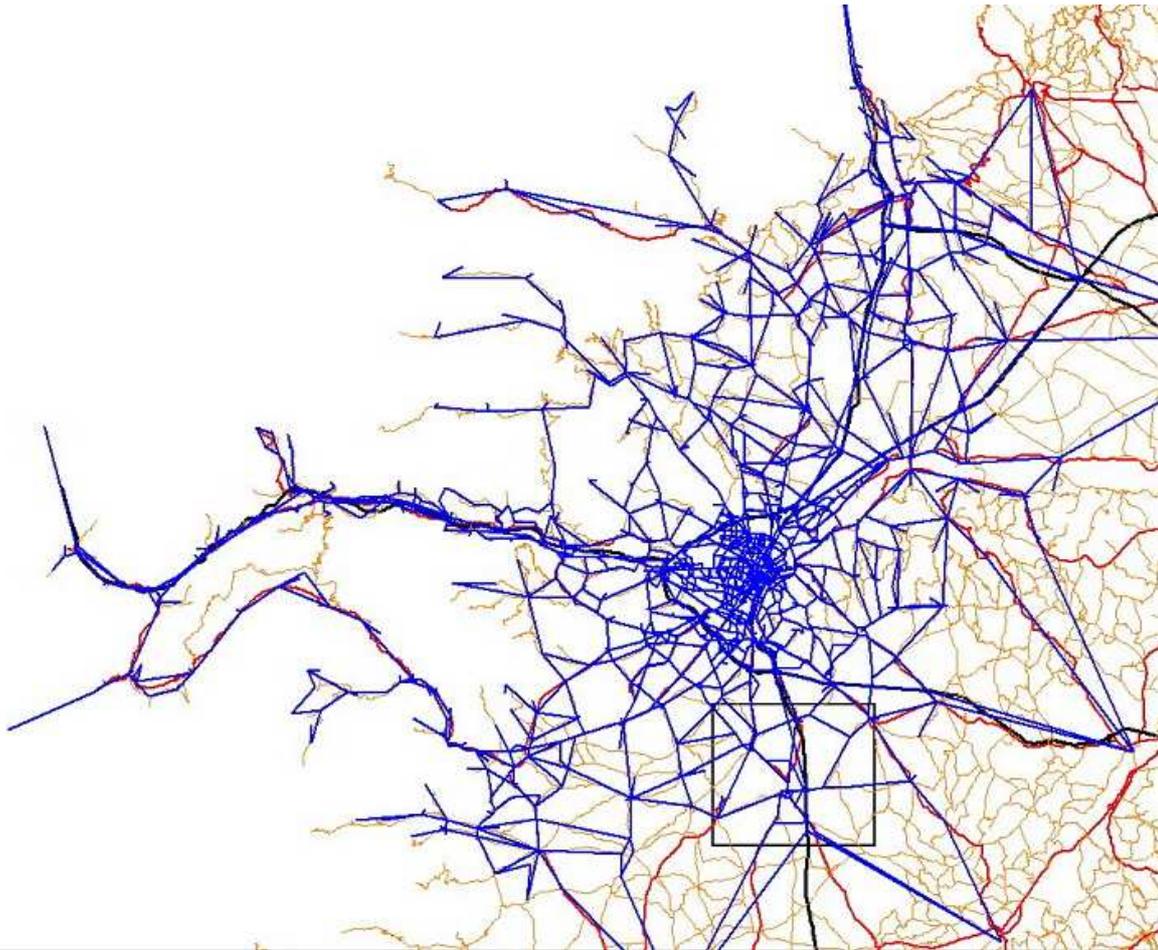


Figura 5. Sovrapposizione degli archi virtuali (in blu) alle strade presenti nell'area in esame.

Al termine di tale operazione è stato poi effettuato un pre-trattamento degli elementi cartografici polilineari, al fine di ottenere associazioni arco-polilinea utili alla predisposizione di un layer GIS (in formato MIF/MID) per il calcolo delle emissioni da traffico stradale mediante il programma TREFIC (Nanni *et al.* 2005), rimuovendo le eventuali incongruenze presenti.

Secondo la metodologia COPERT le strade sono state classificate come "autostrade" ed "extraurbane" (nel caso di provinciali e statali).

2.1.3 Metodologia impiegata per la stima delle emissioni da traffico stradale

Il calcolo delle emissioni da traffico sulle strade della rete ottenuta in base a quanto esposto precedentemente è stato effettuato utilizzando la metodologia europea COPERT III per la stima dei fattori di emissione dei veicoli stradali (Ntziachristos e Samaras, 2000). Per l'inquinante PM₁₀ sono stati invece adottati dei fattori di emissione più aggiornati, comprendenti sia il termine relativo alla combustione (motori sia benzina che diesel) sia i termini relativi alle abrasioni di pneumatici, freni e manto stradale, formulati nell'ambito del progetto RAINS-Europe dallo IIASA (IIASA, 2001).

2.1.4 Parco veicoli circolanti nell'area in esame

L'input del programma TREFIC, costituito, oltre che dai flussi di traffico sulle strade considerate anche dal parco (cioè dalla distribuzione) dei veicoli circolanti all'interno di quattro macrocategorie di veicoli (moto, auto, veicoli commerciali leggeri e pesanti), è stato predisposto sulla base di dati forniti dalla Provincia di Torino relativi alla consistenza del parco veicolare, aggiornati al 2004. La

ripartizione in categorie COPERT (la cui distinta è presentata nella Tabella 1) del parco utilizzato, in termini di numero di veicoli e percentuale sul totale della macrocategoria veicolare, è dunque specifica del tipo di strada considerato, al fine di consentire la massima precisione possibile

Poiché i volumi di traffico ottenuti dal modello di assegnazione sono forniti come “veicoli totali”, sono stati calcolati i flussi sui singoli archi stradali nelle quattro macrocategorie, in base alla ripartizione presente nel parco veicolare e, solo nel caso delle autostrade, tenendo conto del maggior numero di veicoli pesanti circolanti rispetto al totale.

Tabella 1. Categorie di veicoli stradali considerati nella metodologia COPERT III.

Vehicle Category	Class	Legislation	Vehicle Category	Class	Legislation
Passenger Cars	Gasoline <1,4l	PRE ECE ECE 15/00-01 ECE 15/02 ECE 15/03 ECE 15/04 Improved Conv. Open Loop Euro I - 91/441/EEC Euro II - 94/12/EC Euro III - 98/69/EC Stage 2000 Euro IV - 98/69/EC Stage 2005	Light Duty Vehicles	Diesel <3,5t	Conventional Euro I - 93/59/EEC Euro II - 96/69/EC Euro III - 98/69/EC Stage 2000 Euro IV - 98/69/EC Stage 2005
	Gasoline 1,4 - 2,0l	PRE ECE ECE 15/00-01 ECE 15/02 ECE 15/03 ECE 15/04 Improved Conv. Open Loop Euro I - 91/441/EEC Euro II - 94/12/EC Euro III - 98/69/EC Stage 2000 Euro IV - 98/69/EC Stage 2005	Heavy Duty Vehicles	Gasoline >3,5t	Conventional
	Gasoline >2,0l	PRE ECE ECE 15/00-01 ECE 15/02 ECE 15/03 ECE 15/04 Improved Conv. Open Loop Euro I - 91/441/EEC Euro II - 94/12/EC Euro III - 98/69/EC Stage 2000 Euro IV - 98/69/EC Stage 2005		Diesel <7,5t	Conventional Euro I - 91/542/EEC Stage I Euro II - 91/542/EEC Stage II Euro III - COM(97) 627 Euro IV - COM(1998) 776 Euro V - COM(1998) 776
				Diesel 7,5 - 16t	Conventional 91/542/EEC Stage I 91/542/EEC Stage II Euro III - COM(97) 627 Euro IV - COM(1998) 776 Euro V - COM(1998) 776
	Diesel <2,0l	Conventional Euro I - 91/441/EEC Euro II - 94/12/EC Euro III - 98/69/EC Stage 2000 Euro IV - 98/69/EC Stage 2005	Buses	Diesel 16-32t	Conventional 91/542/EEC Stage I 91/542/EEC Stage II Euro III - COM(97) 627 Euro IV - COM(1998) 776 Euro V - COM(1998) 776
				Diesel >32t	Conventional 91/542/EEC Stage I 91/542/EEC Stage II Euro III - COM(97) 627 Euro IV - COM(1998) 776 Euro V - COM(1998) 776
	Diesel >2,0l	Conventional Euro I - 91/441/EEC Euro II - 94/12/EC Euro III - 98/69/EC Stage 2000 Euro IV - 98/69/EC Stage 2005	Coaches	Urban buses	Conventional 91/542/EEC Stage I 91/542/EEC Stage II Euro III - COM(97) 627 Euro IV - COM(1998) 776 Euro V - COM(1998) 776
LPG	Conventional Euro I - 91/441/EEC Euro II - 94/12/EC Euro III - 98/69/EC Stage 2000 Euro IV - 98/69/EC Stage 2005	Mopeds		<50cm ³ Conventional 97/24/EC Stage I 97/24/EC Stage II	
Light Duty Vehicles	2 Stroke Gasoline <3,5t Conventional Euro I - 93/59/EEC Euro II - 96/69/EC Euro III - 98/69/EC Stage 2000 Euro IV - 98/69/EC Stage 2005	Motorcycles	2 Stroke >50cm ³	Conventional 97/24/EC	
			4 stroke 50 - 250cm ³	Conventional 97/24/EC	
			4 stroke 250 - 750cm ³	Conventional 97/24/EC	
			4 stroke >750cm ³	Conventional 97/24/EC	

2.1.5 Risultati del calcolo delle emissioni stradali

I valori emissivi ottenuti con TREFIC per gli ossidi di azoto e il particolato fine sono complessivamente confrontabili con quelli relativi al traffico presenti in INEMAR.

Da un punto di vista generale si può rilevare come il grafo in questione consideri primariamente strade extraurbane ed autostrade, tranne nel caso del Comune di Torino, dove il grafo risulta essere rappresentativo di buona parte del traffico urbano. Nelle simulazioni si è pertanto ritenuto opportuno inserire le emissioni della città di Torino prodotte da TREFIC sulla base dei flussi stimati sugli archi stradali urbani; a queste sono state aggiunte (come "diffuse") le emissioni ottenute dalla differenza tra INEMAR e TREFIC, per mantenere la coerenza con i valori riportati dall'inventario regionale.

Le emissioni calcolate con TREFIC sono riassunte, per quanto riguarda ossidi di azoto e particolato, nella Tabella 2 in cui vengono mostrati i diversi apporti derivanti dalle quattro macrocategorie di veicoli nell'ora di punta.

Tabella 2. Emissioni veicolari relative all'ora di punta (dalle 8 alle 9) sul complesso della rete provinciale, espresse in kg h⁻¹.

	NOX	PM10
auto	1909	112
leggeri	387	49
pesanti	2311	182
moto	50	14
TOTALE	4657	357

2.2 Altre sorgenti

L'inventario regionale INEMAR 2001 è la fonte dei valori delle emissioni non legate al traffico stradale extraurbano ed autostradale.

Un discorso a parte è da farsi per il traffico urbano, settore per il quale le emissioni inserite sono quelle derivate dall'inventario regionale (e considerate dunque come emissioni "diffuse").

In Figura 6 si mostra la distribuzione su base comunale delle emissioni di NO_x dovute al complesso di tali sorgenti sul dominio locale: Carmagnola risulta essere la fonte di maggior rilevanza all'interno del dominio "locale", mentre il contesto su scala più ampia (Figura 7: distribuzione delle emissioni di NO_x sul dominio provinciale dovute a tutte le sorgenti che insistono sul territorio) mostra la netta preponderanza delle sorgenti nell'area metropolitana torinese, di un ordine di grandezza più elevate di quelle presenti all'interno del dominio locale. Questo aspetto fornisce un'ulteriore motivazione a favore di uno studio modellistico su due domini innestati, in modo tale da tenere in conto e stimare, nella ricostruzione delle concentrazioni di inquinanti nell'area di Carmagnola, il contributo delle sorgenti dell'intera Provincia.

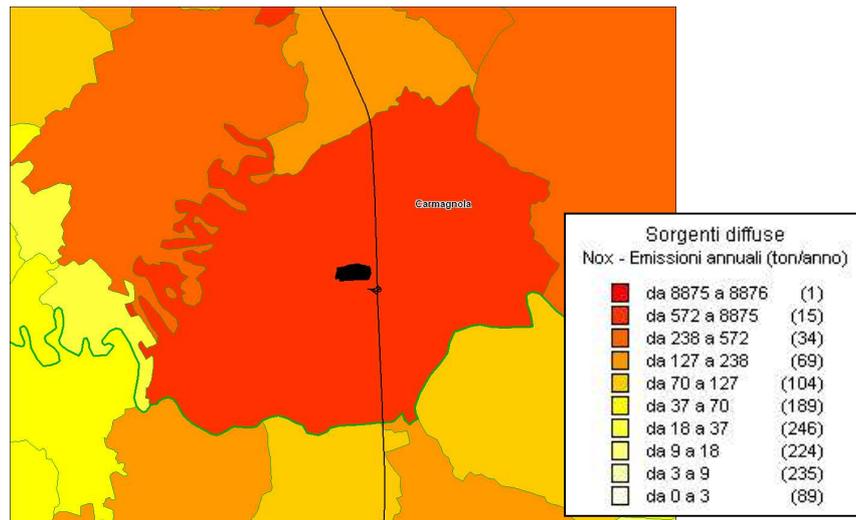


Figura 6. Dominio "locale": emissioni di NO_x relative a tutte le sorgenti (Fonte dati: Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera – Regione Piemonte).

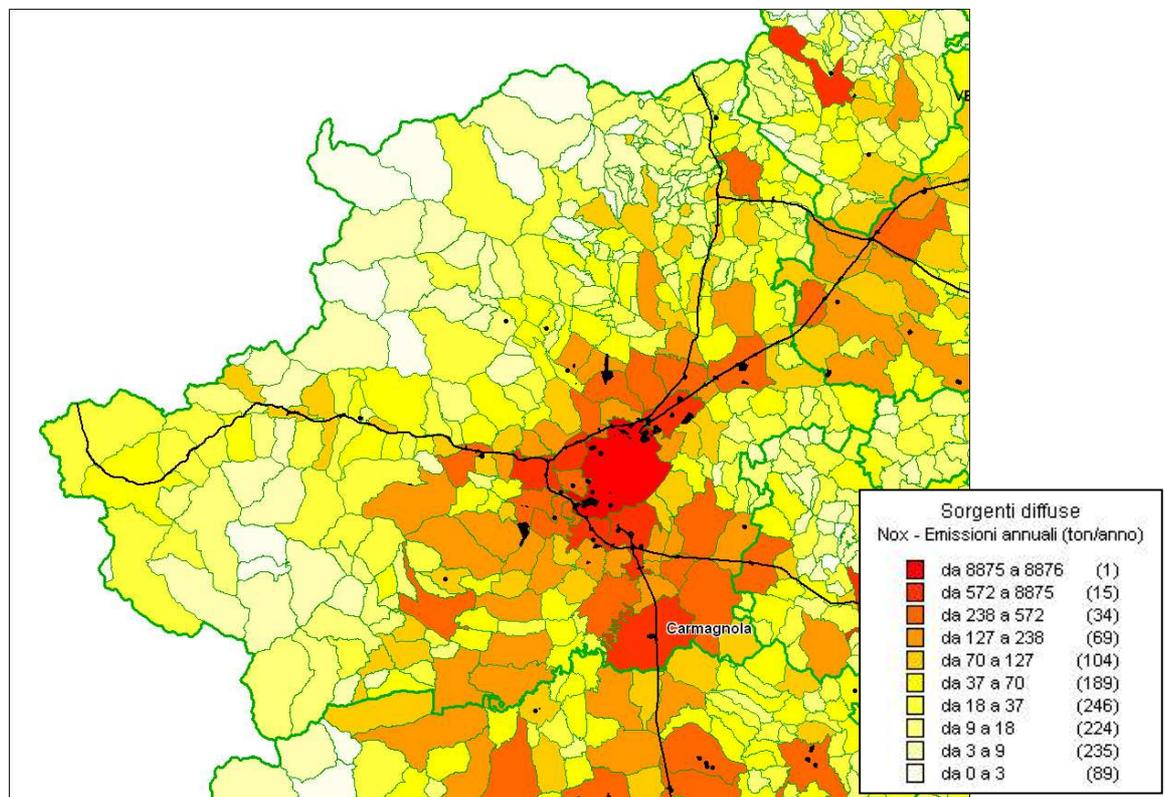


Figura 7. Dominio regionale: emissioni di NO_x relative a tutte le sorgenti presenti sul territorio (Fonte dati: Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera – Regione Piemonte).

Focalizzando l'attenzione sull'area di Carmagnola, per le emissioni di NO_x risulta predominante il contributo del traffico stradale (Figura 8), che sovrasta di gran lunga quello dato dai mezzi agricoli (macrosettore 8, in giallo, ben rappresentato anche nei comuni circostanti) e dal riscaldamento domestico (macrosettore 2, in rosso nei diagrammi a torta di Figura 8).

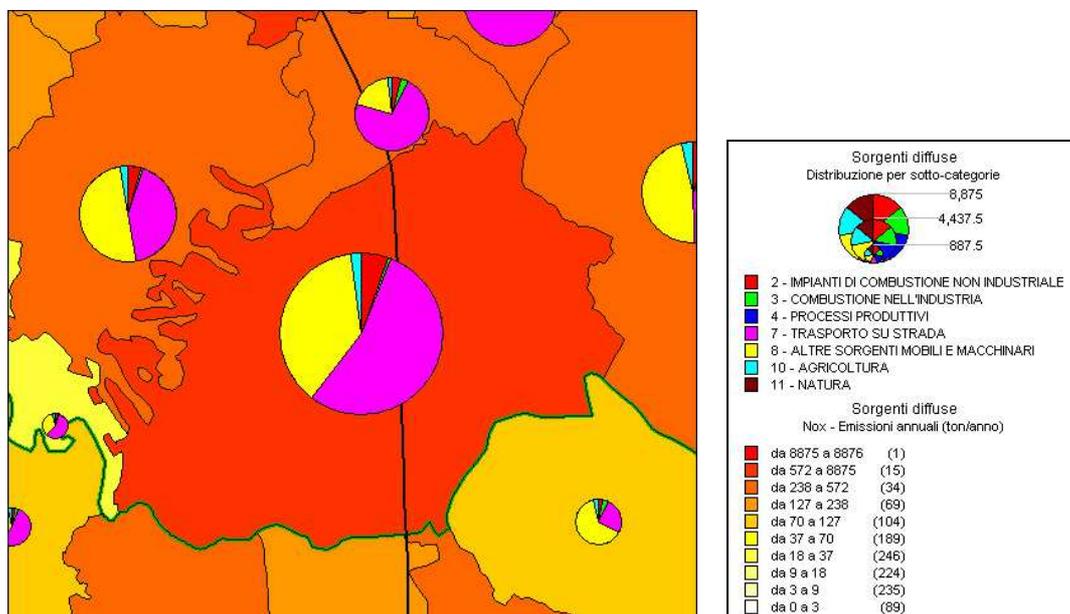


Figura 8. Dominio "locale", sorgenti diffuse: contributo dei diversi macrosettori alle emissioni annuali di NO_x (Fonte dati: Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera – Regione Piemonte).

La ripartizione dei contributi alle emissioni di PM₁₀ (Figura 9) presenta caratteristiche molto simili rispetto a quella degli NO_x. Il contributo del traffico risulta sempre dominante o comunque importante, con una quota per comune che varia da un minimo del 25% ad un massimo del 55% (nel caso del Comune di Carmagnola).

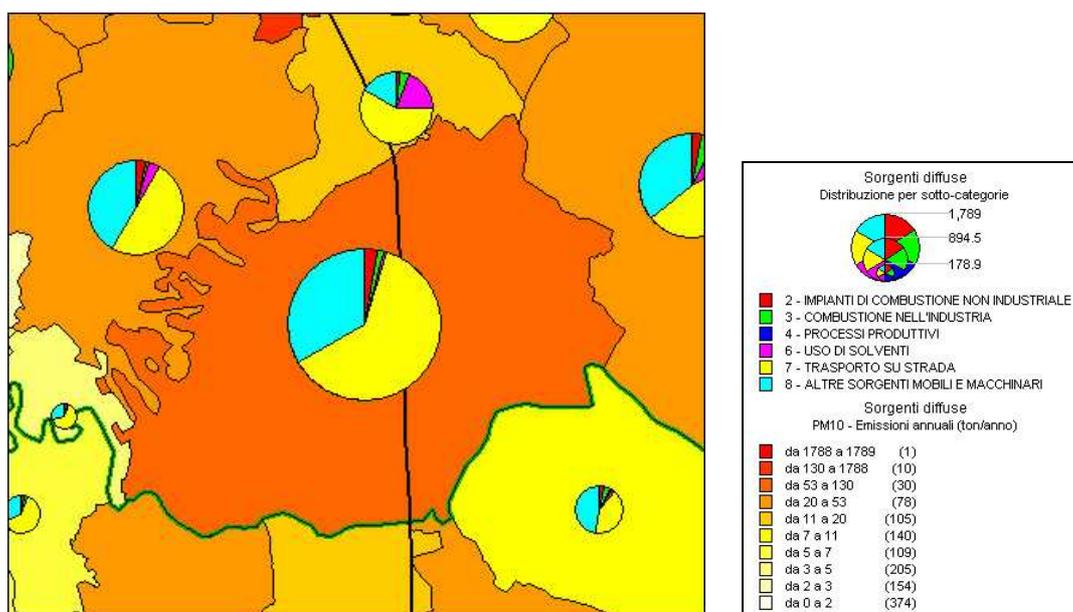


Figura 9. Dominio "locale", sorgenti diffuse: contributo dei diversi macrosettori alle emissioni annuali di PM₁₀ (Fonte dati: Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera – Regione Piemonte).

Nell'esame delle Figure 8-9 va sottolineato come esse si riferiscano alle sorgenti classificate come "diffuse" all'interno dell'Inventario Regionale delle Emissioni: nel caso delle sorgenti industriali, le

sorgenti censite come “diffuse” (e quindi attribuite indistintamente ai comuni) risultano infatti tutte quelle non censite individualmente, classificate nello stesso inventario come “puntuali” L’insieme delle sorgenti “puntuali” presente all’interno dell’Inventario Regionale (corrispondente a 17 camini all’interno del dominio di simulazione sul dominio piccolo) ed i dati utilizzati provengono da tale inventario nel caso della società Fenice e dalle dichiarazioni INES 2004 per l’impianto della TEKSID.

Per la loro posizione (mostrata in Figura 10) risulta evidente come il contributo delle sorgenti puntuali in termini emissivi possa essere localmente importante, rispetto a quanto classificato come “diffuso”.

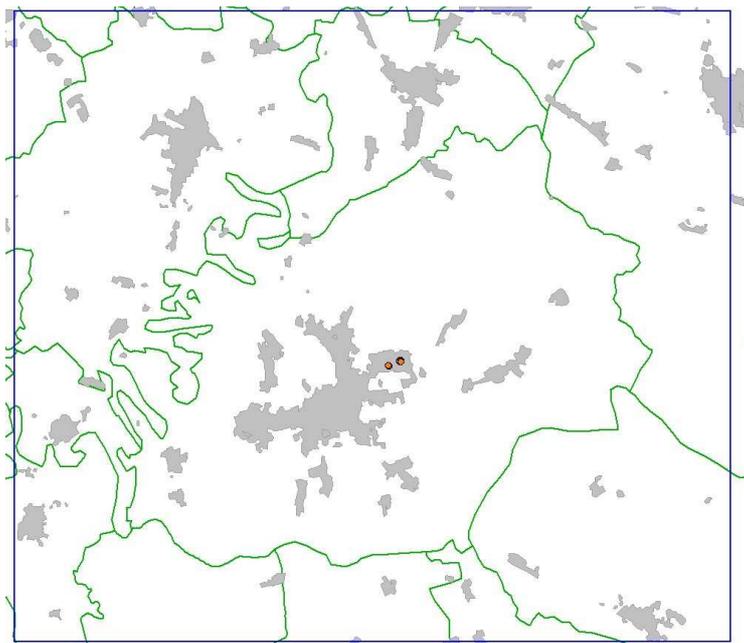


Figura 10. Posizione delle sorgenti puntuali sul dominio “locale”.

2.3 Predisposizione dell’input al modello

L’input emissivo al modello di simulazione della qualità dell’aria è stato messo a punto a partire dai dati illustrati ai paragrafi precedenti. Su entrambi i domini di calcolo, si è utilizzato come base l’Inventario Regionale delle Emissioni (sorgenti diffuse, associate ai comuni, e puntuali, con il dettaglio sui singoli camini). Per ciò che riguarda il dominio “locale”, le emissioni da traffico su autostrade e strade extraurbane presenti nell’Inventario Regionale sono state sostituite con le omologhe stimate a partire dalla ricostruzione di dettaglio sulla rete stradale (paragrafi 2.1.1-2.1.5). Per il contributo dovuto al traffico urbano si è invece utilizzato quanto già presente all’interno dell’Inventario Regionale. Infine, le sorgenti puntuali dell’Inventario Regionale sono state integrate con informazioni provenienti dalla Provincia, dettagliando così il quadro emissivo sull’area locale.

A partire dai dati di tale ‘inventario integrato’ si è dunque proceduto alla predisposizione dell’input al modello. I codici utilizzati per le simulazioni necessitano di un input su base oraria per tutti i periodi di simulazione (un mese per il codice Euleriano, 5 giorni per il codice Lagrangiano nel caso in oggetto); nel caso del codice Lagrangiano, è possibile assegnare emissioni relative a sorgenti “puntuali”, “lineari” ed “areali” (sotto forma di insiemi di celle); nel caso del codice Euleriano le sorgenti “lineari” ed “areali” vanno entrambe riportate alla griglia di calcolo. I dati di inventario sono stati dunque disaggregati nello spazio e nel tempo al fine di ottenere tale tipo di informazione, utilizzando i moduli di calcolo di Emission Manager (ARIA Technologies, 1999; Calori e Radice,

2004), gestiti attraverso la *shell* EMMA (Calori, 2003). La Figura 11 riassume il procedimento seguito.

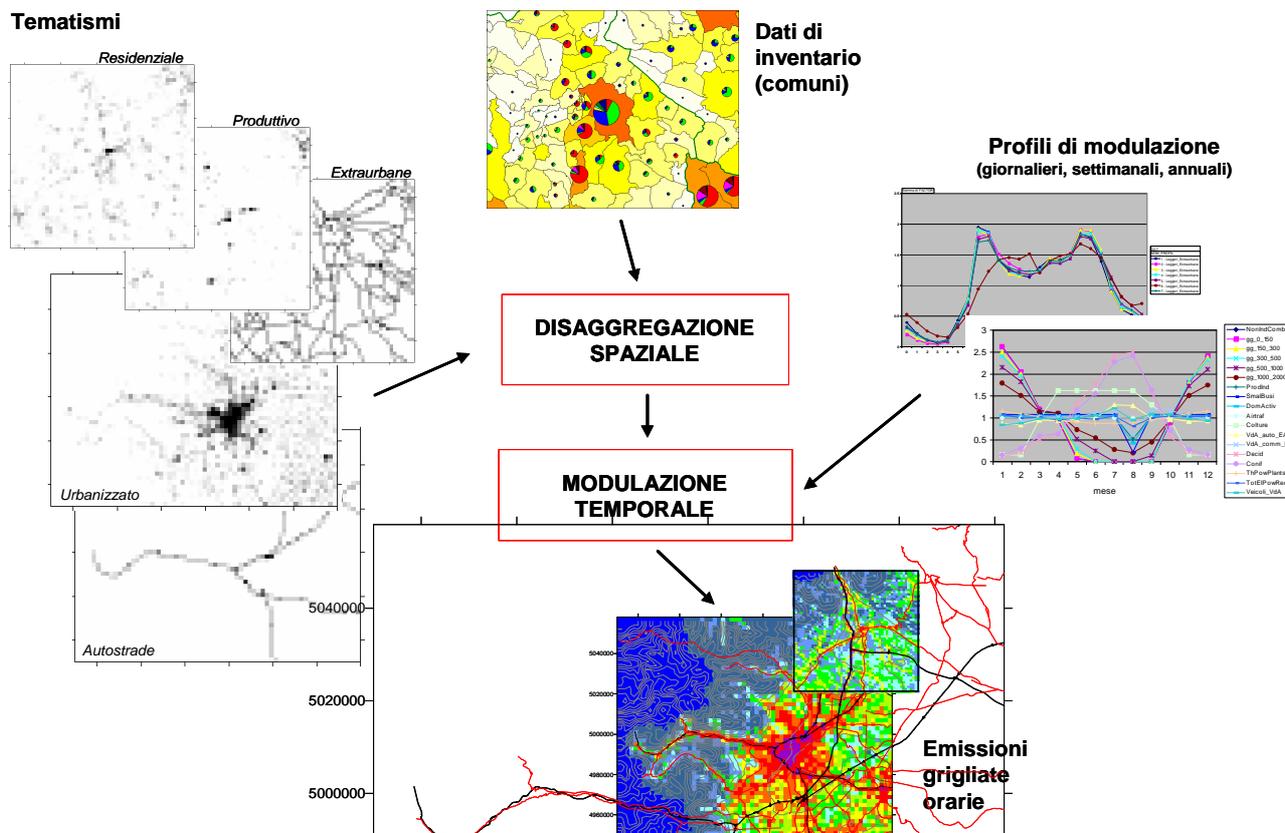


Figura 11. Sorgenti diffuse: predisposizione dell'input emissivo.

Per ciò che riguarda gli aspetti spaziali, i dati su base comunale vengono ripartiti sulle celle di calcolo con l'ausilio di tematismi rappresentativi della distribuzione 'fine' (rispetto ai singoli comuni) delle attività responsabili delle emissioni (es. per il riscaldamento domestico, la distribuzione delle aree residenziali). Per ogni attività presente all'interno dell'inventario viene dunque scelto un tematismo specifico ed il dato di emissione comunale viene ripartito sulla base dell'area dell'intersezione tra il poligono (o l'insieme di poligoni) che definisce i confini comunali e le celle interessate, corretto con un coefficiente che rende conto dell'occupazione percentuale della singola cella da parte del tematismo in questione. I tematismi utilizzati in questo studio derivano dalla rasterizzazione di corrispondenti tematismi vettoriali disponibili a partire dalla Carta Tecnica Regionale: reti stradali, aree residenziali e produttive. La rasterizzazione è stata effettuata sulle due griglie di calcolo (Figure 3 e 4), con risoluzione di 500 m (dominio "locale") e di 2 km (dominio provinciale). Un esempio del procedimento è mostrato in Figura 12 per le aree edificate. Nella Figura 13 sono invece mostrati, come esempio di risultato del processo di disaggregazione spaziale sulla griglia di calcolo, le emissioni medie di ossidi di azoto sul dominio "locale". Sono evidenti gli effetti della distribuzione delle aree abitate e l'influenza delle principali vie di comunicazione.

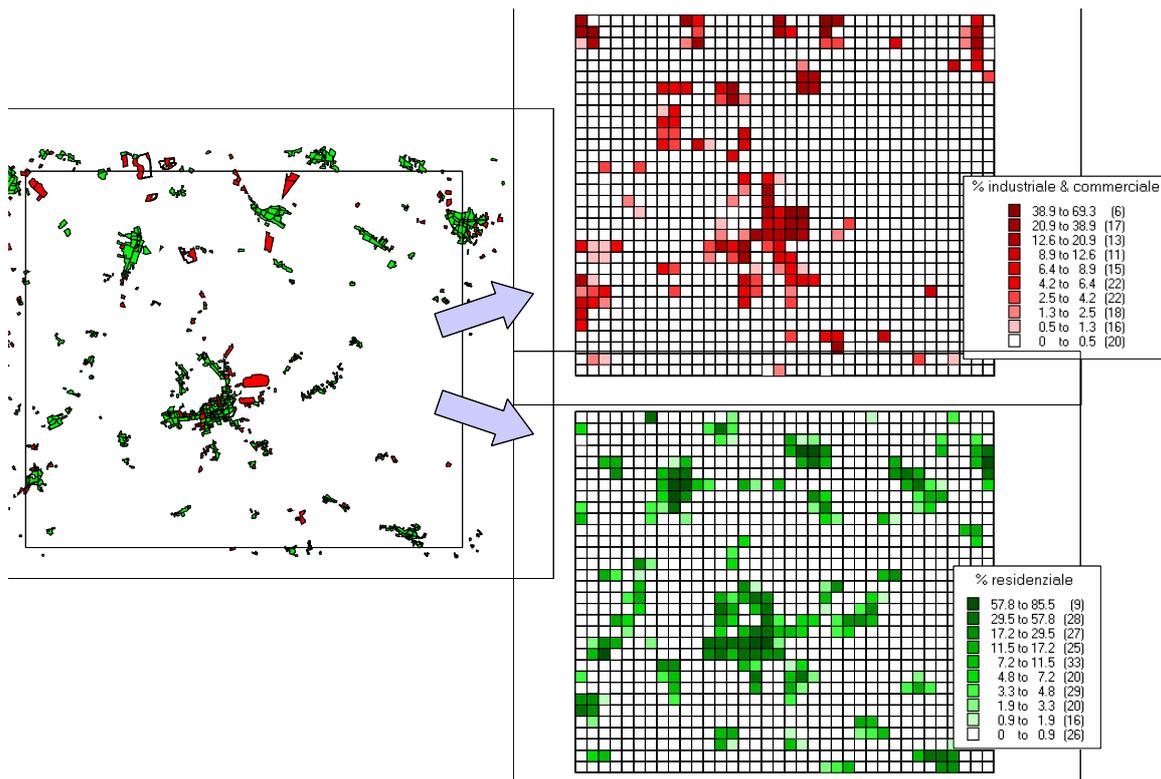


Figura 12. Esempio di layer per la disaggregazione delle emissioni “diffuse”: aree edificate secondo la CTR grigliate a 250 m sul dominio “locale”.

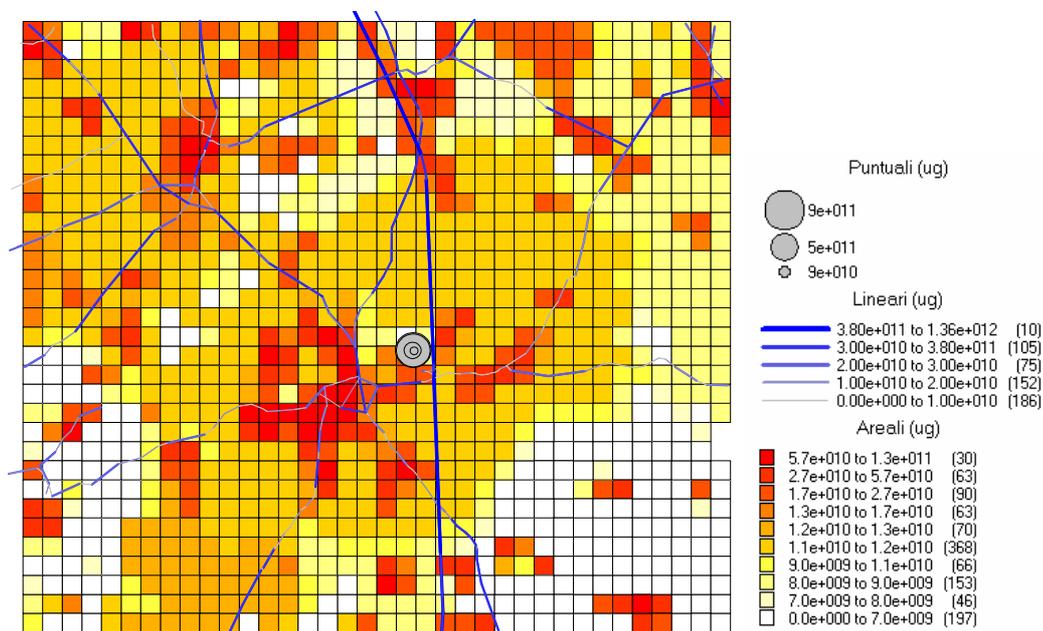


Figura 13. Distribuzione media delle emissioni di NOx sul dominio “locale” [g su 5 giorni].

La disaggregazione temporale, necessaria per ottenere i valori orari necessari alla simulazione a partire dai valori totali annuali di inventario, è stata invece effettuata sulla base di profili di modulazione, rappresentativi dei cicli delle diverse attività su base annuale, settimanale ed giornaliera.

Per ciò che riguarda il traffico, i profili di modulazione sono stati così ricavati:

- modulazioni settimanali: sono state calcolate in base ai dati raccolti a Villastellone e Lombriasco, ottenendo due diversi profili per il sabato e la domenica e mantenendo la distinzione tra veicoli leggeri e pesanti
- modulazioni giornaliere (Figura 14): sono state prodotte incrociando i dati di Villastellone e Lombriasco (che coprono tutta la giornata) e quelli provenienti dalle stazioni sulle strade provinciali e regionali (dati "CSST", relativi all'intervallo tra le 7 e le 20), al fine di ottenere un profilo il più rappresentativo possibile. (I profili relativi alla parte centrale della giornata, in cui cioè si ha una doppia disponibilità di valori, risultano essere pressoché analoghi).

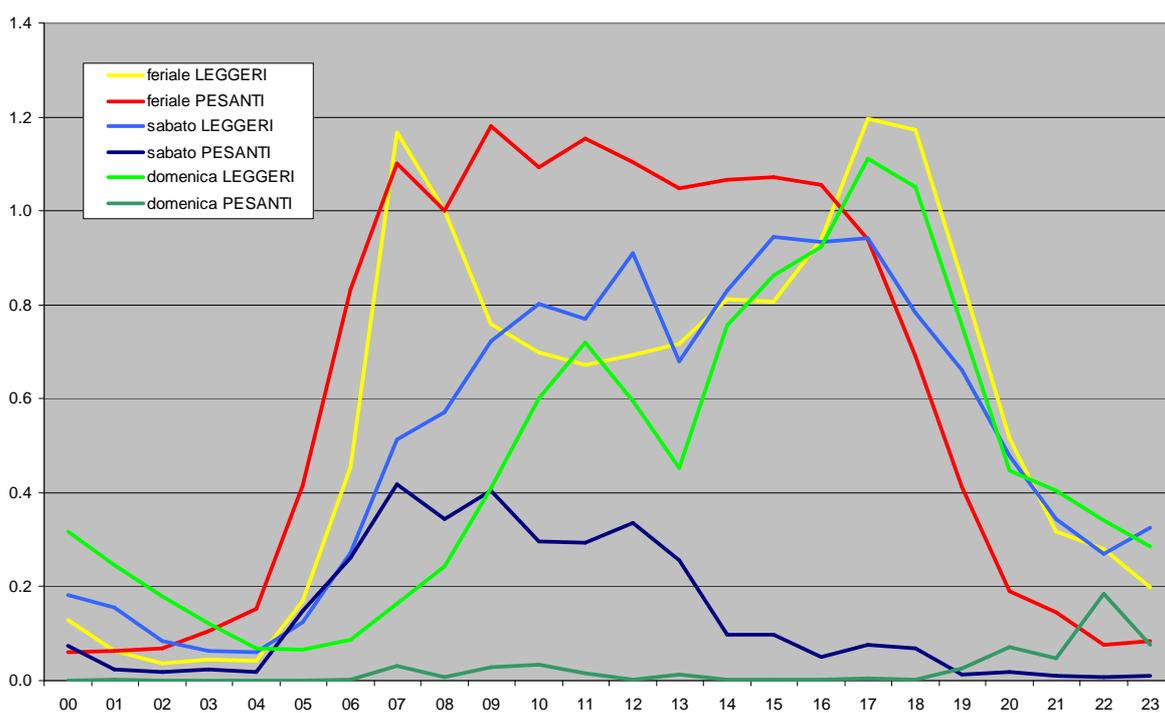


Figura 14. Modulazioni giornaliere per il traffico veicolare.

In particolare, per le emissioni dalla rete stradale sono stati ricavati i profili distinti per veicoli 'leggeri' e 'pesanti'

Il profilo di modulazione annuale è stato invece ricavato a partire dai dati relativi all'A5 (Torino-Aosta). I profili relativi ai veicoli 'leggeri' sono stati attribuiti alle emissioni provenienti dalle categorie 'auto', 'veicoli commerciali leggeri' e 'moto' presenti all'interno dell'inventario, mentre i profili relativi ai veicoli 'pesanti' sono stati attribuiti alle emissioni della categoria 'veicoli commerciali pesanti' dell'inventario.

Per ciò che riguarda le attività diverse dal traffico sono stati utilizzati profili tipici rappresentativi dei diversi cicli cui esse sono soggette.

2.4 Scenari emissivi

Il quadro emissivo descritto finora è stato utilizzato come base di riferimento rispetto alla quale valutare l'incidenza di scenari emissivi futuri (sulle emissioni e quindi sulla qualità dell'aria). Gli scenari considerati sono relativi alla possibile realizzazione di nuovi assi viari nel territorio circostante Carmagnola (circonvallazione NE e S; Figura 15).

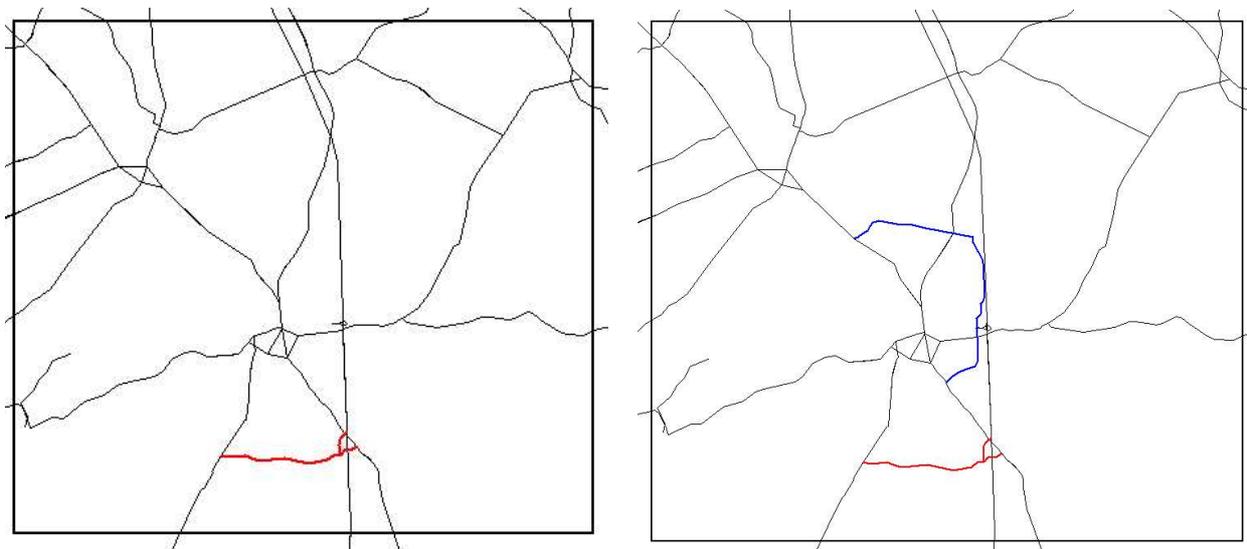


Figura 15. Area di interesse primario (dominio "locale"), con in evidenza la tangenziale Sud (in rosso) ed la circonvallazione NE (in blu).

Per tali scenari la Provincia ha effettuato una stima dei flussi di veicoli attesi sulla rete viaria a seguito degli interventi infrastrutturali in questione. Nelle Figure seguenti (16, 17 e 18) sono evidenziati i flussi veicolari orari (relativi alle ore 8) ricostruiti dal modello di traffico in corrispondenza degli archi circostanti Carmagnola, sia per il caso attuale che per i due scenari.

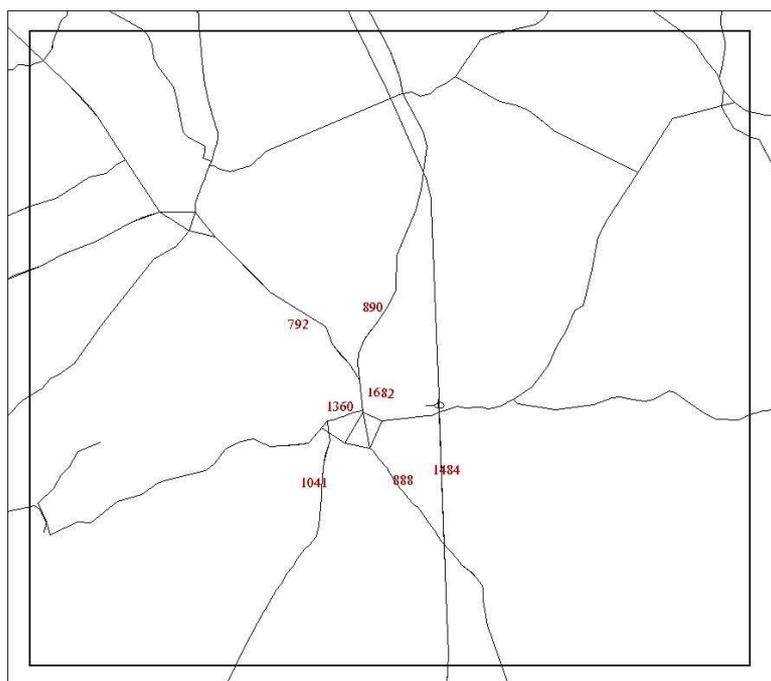


Figura 16. Scenario attuale.

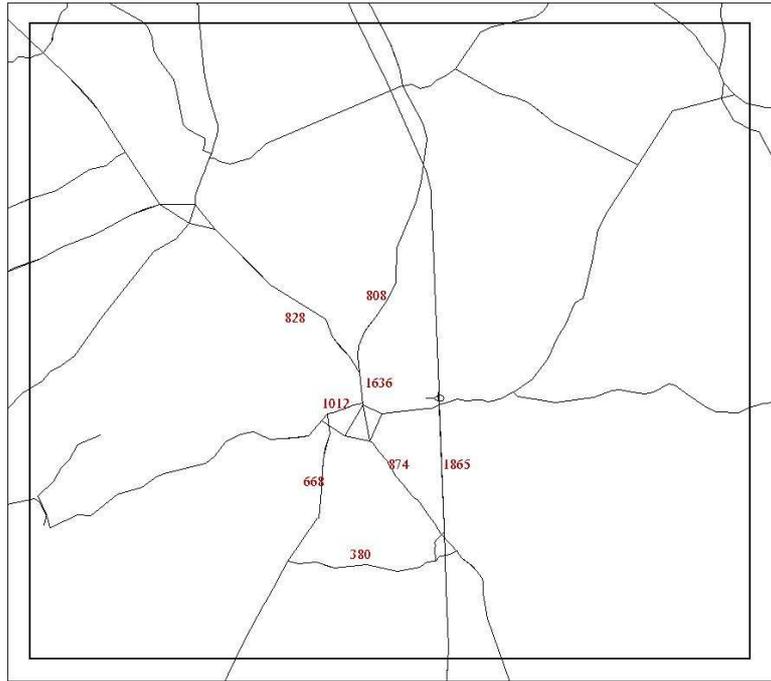


Figura 17. Scenario 2, a seguito della costruzione della Tangenziale Sud.

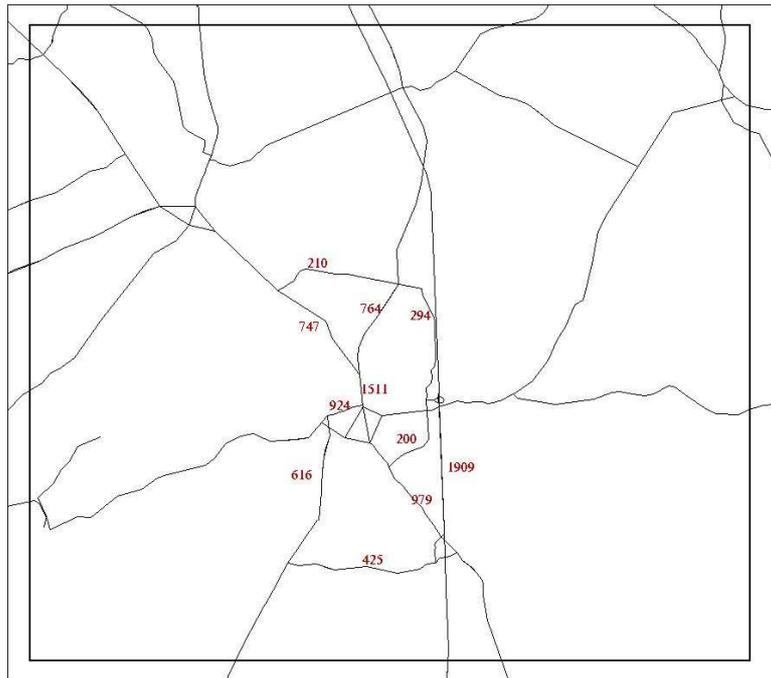


Figura 18. Scenario 3, a seguito della costruzione della Tangenziale Nord-Est.

Si osserva come, a seguito della costruzione di nuovi assi viari, i flussi attesi diminuiscano nella parte ovest del dominio per aumentare invece nella parte orientale; in particolare risultano alleggeriti gli archi relativi alla città di Carmagnola, con probabili conseguenze positive sulla qualità dell'aria. Tali conseguenze sono state stimate per via modellistica, come riportato più oltre.

3 Simulazioni modellistiche di dispersione

3.1 Domini di simulazione

Per i due domini di indagine, uno “locale” centrato intorno all’area urbana di Carmagnola ed uno “provinciale” comprendente tutti i comuni della provincia di Torino, sono stati adottati i grigliati di calcolo con le seguenti caratteristiche:

Dominio A (“locale”)

Estensione:	18 km × 16 km
Risoluzione:	250 metri
Coordinate X, Y del punto SW (UTM fuso 32):	(391000, 4961000) m
Numero punti griglia lungo X e Y:	73 x 65

Dominio B (“provinciale”)

Estensione:	132 km × 108 km
Risoluzione:	2 km
Coordinate X, Y del punto SW (UTM fuso 32):	(309000, 4949000) m
Numero punti griglia lungo X e Y:	67 x 55

L’estensione verticale del dominio di simulazione è pari a 11000 m s.l.m. nel caso del codice lagrangiano e 4500 m al di sopra dell’orografia nel caso del codice euleriano.

3.2 Simulazioni effettuate

Nel periodo compreso tra il 16 Aprile 2003 ed il 13 Maggio 2003 ARPA Piemonte ha condotto una campagna sperimentale per il monitoraggio della qualità dell’aria mediante un laboratorio mobile situato in Piazza Garavella, adiacente la chiesa della Misericordia, nel centro storico della città di Carmagnola.

La dotazione strumentale del laboratorio mobile consente di monitorare in continuo parametri sia meteorologici che chimici. A seguito di un’attenta analisi dei dati raccolti durante la campagna di monitoraggio, è stato individuato un episodio della durata di 5 giorni (dal 4 all’8 Maggio 2003) nei quali sono riscontrabili valori di concentrazione al suolo di inquinanti (in particolare NO_x e PM₁₀) vicini ai limiti previsti dalla normativa (Figura 19). Su tale episodio è stata effettuata la maggior parte delle simulazioni, effettuate con il codice lagrangiano SPRAY (Tinarelli, 2001; EEA MDS, 2005) e con il codice euleriano FARM (Calori e Silibello, 2005; EEA MDS, 2005).

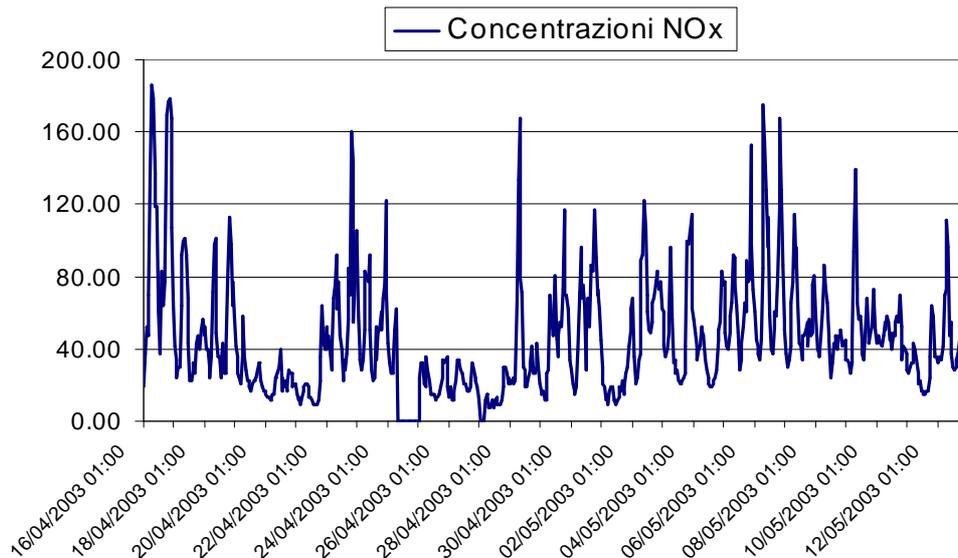


Figura 19. Andamento delle concentrazioni orarie di NO_x misurate dal mezzo mobile per l'intero periodo che va dal 16 Aprile al 13 Maggio 2003.

Per quanto riguarda lo scenario emissivo "di riferimento", sono state effettuate le seguenti simulazioni:

1. simulazione, mediante l'utilizzo del codice tridimensionale Lagrangiano a particelle SPRAY, dell'episodio che va dalle ore 00:00 del 4 Maggio alle ore 00:00 del 9 Maggio 2003 sul dominio "locale", ad una risoluzione orizzontale di 250 metri;
2. simulazione, mediante l'utilizzo del codice tridimensionale euleriano FARM, del medesimo episodio (4-8 Maggio 2003) sul dominio A ad una risoluzione orizzontale di 500 metri;
3. simulazione, mediante l'utilizzo del codice tridimensionale euleriano FARM, del medesimo episodio (4-8 Maggio 2003) sul dominio A ad una risoluzione orizzontale di 500 metri e contemporaneamente sul dominio B ad una risoluzione di 2 chilometri, secondo una procedura che viene denominata di *nesting*.

Per quanto riguarda l'ultima simulazione, la possibilità del *nesting* è stata utilizzata per simulare contemporaneamente la dispersione su entrambi i domini di interesse, assegnando ad ogni passo di calcolo le condizioni al contorno per il dominio "locale" a partire dalle concentrazioni simulate sul dominio "provinciale"; ciò consente di rappresentare con sufficiente dettaglio quanto accade nel dominio "locale" tenendo però conto degli scambi delle masse d'aria e delle sorgenti poste sulla più vasta area della Provincia.

Ulteriori simulazioni sono state infine effettuate per la stima dell'effetto sulle concentrazioni degli scenari emissivi futuri considerati, utilizzando il codice SPRAY sul medesimo episodio (4-8 Maggio 2003), in modo analogo a quanto effettuato per lo scenario emissivo "di riferimento".

3.3 Ricostruzione meteorologica

ARPA Piemonte ha fornito per questo studio tutti i dati di input meteorologico necessari ai modelli utilizzati nelle diverse simulazioni. Sono stati utilizzati il codice MINERVE 7.0 (ARIA Technologies, 2001) per la ricostruzione diagnostica dei campi di vento su terreno complesso ed il codice SurfPro 2.0 (Silibello *et al.*, 2003) per la ricostruzione dei campi di turbolenza.

Per l'intero periodo che va dal 15 Aprile al 15 Maggio 2003 e per entrambi i domini di simulazione, sono stati ricostruiti i campi tridimensionali di vento e temperatura ed inoltre i campi bidimensionali delle seguenti variabili che descrivono le caratteristiche della turbolenza:

- velocità di frizione u^*
- lunghezza di Monin-Obukhov
- altezza dello strato limite H_{mix}
- velocità convettiva di scala w^*

Questi campi vengono utilizzati dai codici di dispersione SPRAY e FARM, insieme ai campi di vento e temperatura, per generare, mediante opportune parametrizzazioni dipendenti dalla stabilità atmosferica le variabili di turbolenza necessarie ai codici.

Ad titolo di esempio, nella Figura 20 sono riportati il campi di vento generati da MINERVE vicino al suolo alle ore 09:00 del giorno 06/05/2003, mentre nella Figura 21 sono riportati il campi di vento generati da MINERVE vicino al suolo alle ore 14:00 del giorno 06/05/2003.

I campi delle grandezze di scala della turbolenza atmosferica sono stimati tramite il codice SURFPRO a partire dai campi di vento e temperatura prodotti da MINERVE, dalle caratteristiche superficiali ricavate dalla descrizione dell'uso del suolo, e dalle osservazioni di radiazione solare citate precedentemente.

In Figura 22 è riportata la rugosità superficiale sul dominio A, stimata a partire dall'uso del suolo della base dati europea CORINE per la stagione invernale. Le Figure 23 e 24 riportano invece esempi di campi di radiazione globale e altezza di rimescolamento calcolati per il giorno 06/05/2003 rispettivamente alle ore 09:00 ed alle ore 14:00.

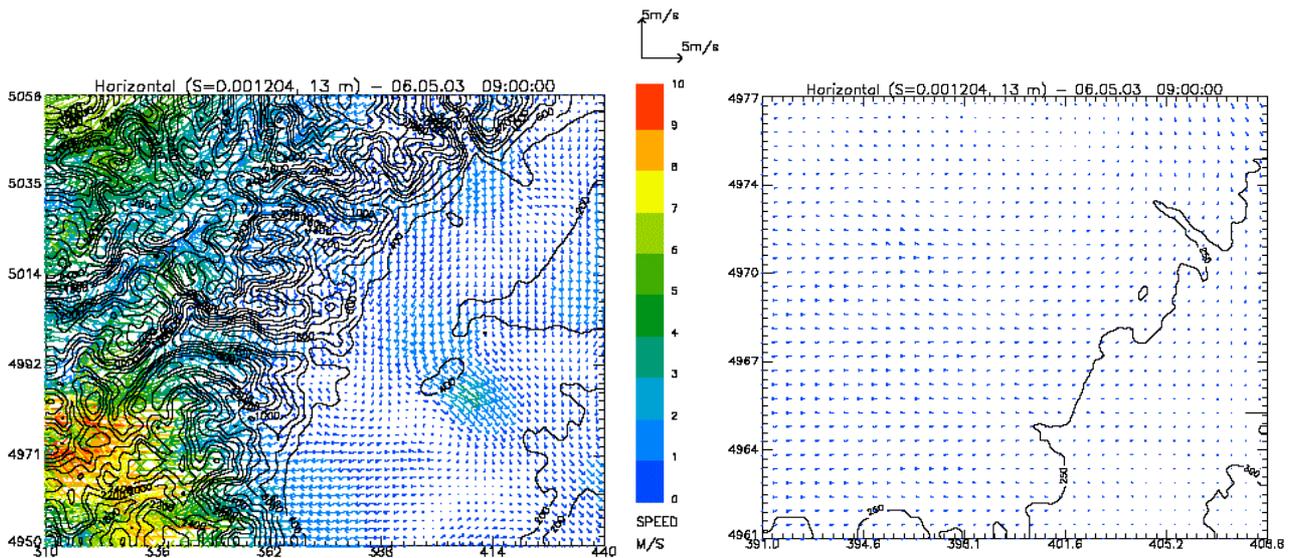


Figura 20. Campo di vento in prossimità del suolo calcolato per il giorno 06/05/2003 alle ore 09:00 sul dominio “provinciale” (sinistra) e “locale” (destra).

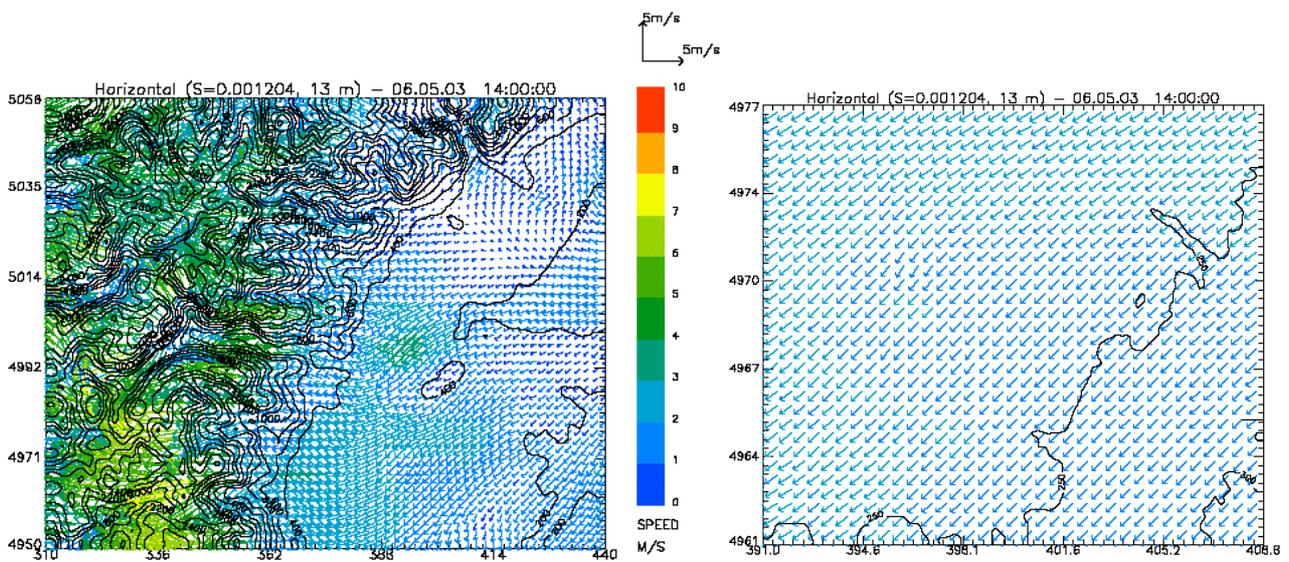


Figura 21. Campo di vento in prossimità del suolo calcolato per il giorno 06/05/2003 alle ore 14:00 sul dominio “provinciale” (sinistra) e “locale” (destra).

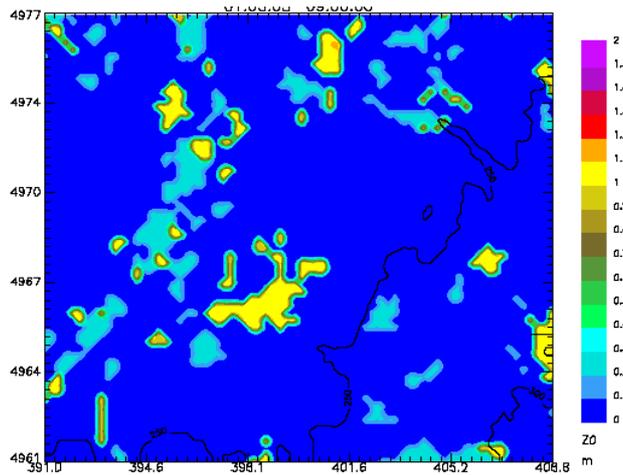


Figura 22. Rugosità superficiale sul dominio "locale". Valori ottenuti a partire dalla classe prevalente del CORINE Land Cover.

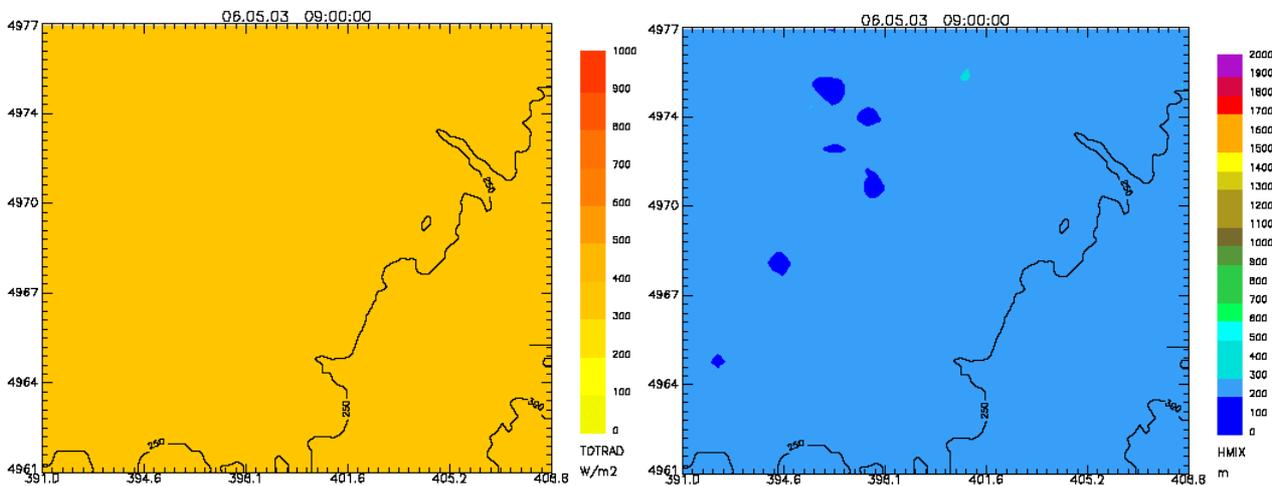


Figura 23. Radiazione globale (sinistra) ed altezza di rimescolamento (destra), in $W\ m^{-2}$, calcolati sul dominio "locale" per il giorno 06/05/2003 alle ore 09:00.

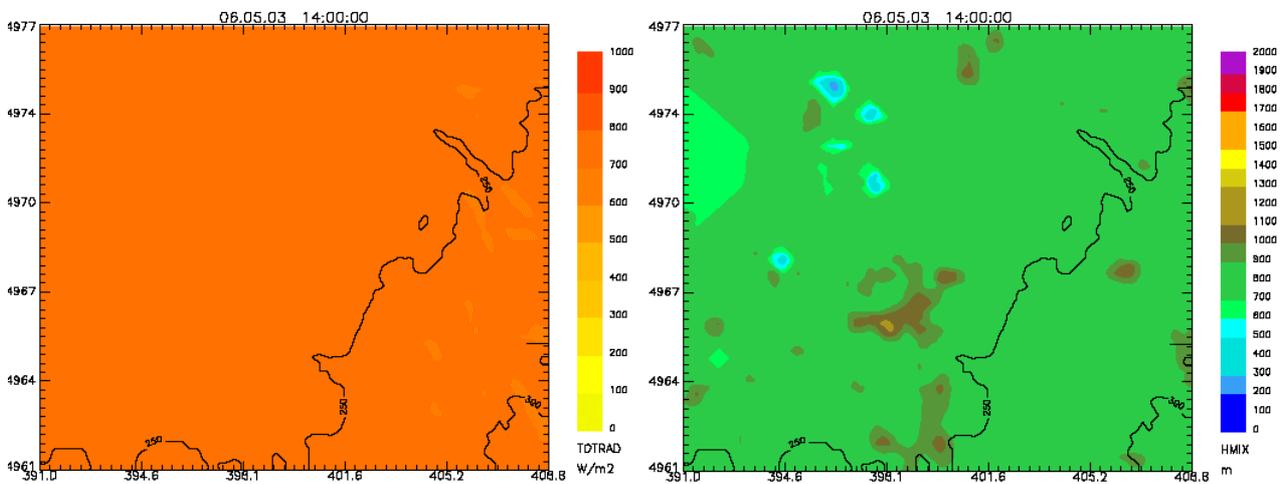


Figura 24. Radiazione globale (sinistra) ed altezza di rimescolamento (destra), in metri, calcolati sul dominio "locale" per il giorno 06/05/2003 alle ore 14:00.

4 Risultati

Nei paragrafi seguenti vengono riportati i risultati delle simulazioni modellistiche relative allo scenario “di riferimento” e a quelli futuri presi in esame. Per lo scenario “di riferimento”, che ha lo scopo di riprodurre, per quanto possibile, le concentrazioni in aria risultanti dall’insieme delle sorgenti emissive allo stato attuale, i risultati delle simulazioni sono stati dapprima confrontati con i valori sperimentali rilevati in Carmagnola. Su tale scenario sono poi stati stimati i contributi dei principali gruppi di sorgenti. Infine sono stati simulati gli effetti sulle concentrazioni dei flussi veicolari previsti a seguito della possibile costruzione di nuovi assi viari nella zona di Carmagnola.

4.1 Scenario attuale

A titolo di esempio, nella Figura 25 è riportato il campo di concentrazione al suolo medio orario di NO_x ($\mu\text{g m}^{-3}$) relativo al giorno 06/05/2003, ore 09:00, calcolato da SPRAY alla risoluzione orizzontale di 250 m e dovuto al complesso delle emissioni presenti all’interno del dominio di calcolo. Il campo di vento corrispondente è mostrato in Figura 20. Come si vede, durante tale ora il vento è debole sull’intero dominio (inferiore a 1 m s^{-1}): osservando il campo di concentrazione si riescono dunque a distinguere chiaramente le principali arterie di traffico ed le aree urbane.

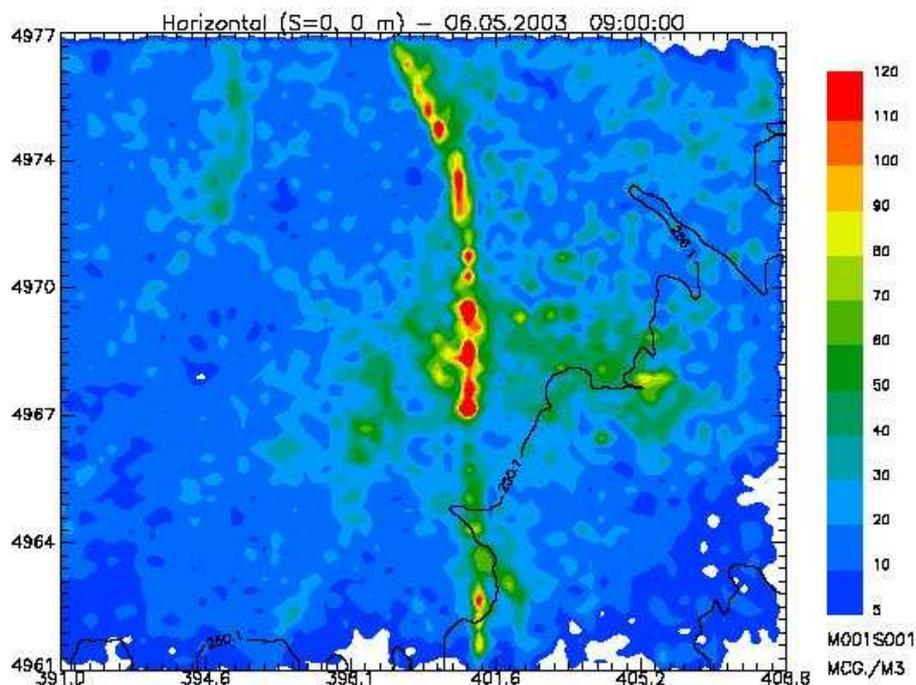


Figura 25. Campo di concentrazione al suolo di NO_x simulato da SPRAY alle ore 09:00 del 06/05/2003.

4.1.1 Confronti con i dati sperimentali

In questo paragrafo vengono illustrati, per l’episodio simulato relativo allo scenario attuale, i confronti, in corrispondenza della posizione del mezzo mobile utilizzato durante la campagna sperimentale di raccolta dati, fra i valori di concentrazione oraria al suolo di NO_x stimati dai diversi modelli ed i valori misurati dal mezzo stesso.

I confronti qui presentati mettono in corrispondenza i valori di concentrazione oraria al suolo di NO_x rilevati dal mezzo mobile durante la campagna sperimentale di raccolta dati in Carmagnola con gli analoghi i valori stimati dai diversi modelli nello stesso punto (evidenziato in Figura 1) per lo scenario emissivo attuale. Nel confronto è importante valutare sia la rispondenza dei valori assoluti (con particolare attenzione ai picchi misurati dalla centralina), sia l'accordo tra gli andamenti temporali delle concentrazioni stesse.

In Figura 26 è mostrato il confronto tra i valori di concentrazione oraria di NO_x misurati ed i valori calcolati da SPRAY. Si nota innanzitutto come il sistema modellistico riproduca l'andamento generale dei valori misurati: sia le periodicità giornaliere determinate da fattori emissivi e meteorologici, sia i valori più elevati nel periodo centrale dell'episodio considerato. Il valore assoluto delle concentrazioni simulate è invece quasi sempre inferiore alle concentrazioni misurate, dato che la simulazione tiene conto solamente delle emissioni derivanti dalle sorgenti presenti all'interno del dominio di calcolo.

In figura sono inoltre messi in evidenza i contributi di ciascuna tipologia di sorgente simulata: sorgenti "puntuali" (verde chiaro), "lineari" (viola) ed "areali" (azzurro). Nel punto in considerazione il contributo prevalente, in media pari a circa i due terzi delle concentrazioni simulate, sembra essere riconducibile alle sorgenti diffuse di tipo "areale"; le sorgenti "lineari" contribuiscono invece in media per il 30%, mentre il contributo di quelle "puntuali" è di un ordine di grandezza inferiore, eccetto negli istanti in cui i singoli pennacchi investono direttamente il punto in esame. Va ricordato come la distinzione tra le diverse tipologie di sorgenti dipenda anche dalla possibilità di descrizione delle diverse attività in funzione dei dati disponibili; il traffico veicolare, ad esempio, ricade sia nelle sorgenti "lineari" (per la parte descritta direttamente tramite i flussi veicolari sui principali assi viari), sia in quelle "areali" (per la parte che compete ai flussi sugli assi minori, prevalentemente nei centri abitati).

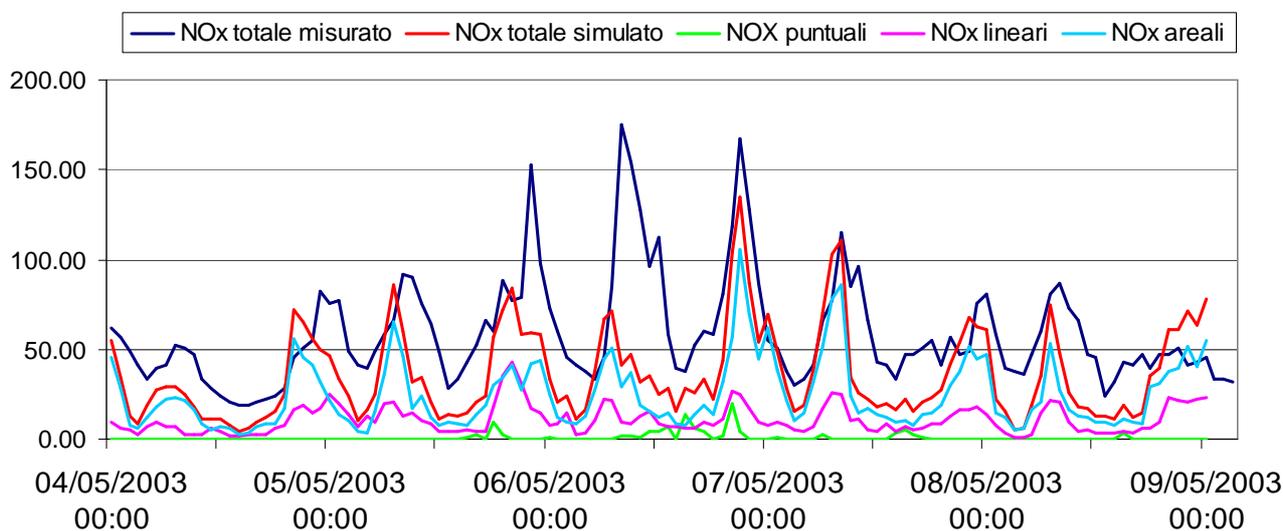


Figura 26. Confronto fra la concentrazione di NO_x al suolo misurata dal mezzo mobile (blu) e il valore calcolato dal modello SPRAY (rosso) per il periodo 04-08/05/2003; sono anche riportati i contributi delle diverse tipologie di sorgente.

In Figura 27 è mostrato invece il confronto tra i valori di concentrazione oraria di NO_x misurati e quelli calcolati tramite le altre configurazioni modellistiche: oltre a quelli generati da SPRAY, sono riportati i valori calcolati da FARM in corrispondenza del medesimo punto alle due diverse risoluzioni (2 km per il dominio B, "provinciale", e 500 m per il dominio A, "locale"; quest'ultimo

considerato sia senza che con il *nesting*). Innanzitutto si nota in generale una buona corrispondenza tra gli output dei due modelli, alimentati dalla medesima meteorologia e dalle medesime emissioni (almeno per quel che riguarda il dominio locale). Confrontando i valori relativi alle due configurazioni di FARM, come è lecito aspettarsi si nota come ad una maggior risoluzione (500 m) corrispondano valori più elevati di concentrazione di NO_x calcolati. Ciò lo si può concordemente osservare anche nelle simulazioni condotte con SPRAY, condotte a risoluzione doppia (250 m). La media sull'intero periodo calcolata da SPRAY per la concentrazione di NO_x è infatti pari a 36.17 µg m⁻³, mentre la media sull'intero periodo calcolata da FARM (con *nesting*) è pari a 27.74 µg m⁻³. Inoltre i valori calcolati da SPRAY descrivono meglio i principali picchi di concentrazione rilevati dal mezzo mobile (ad esempio quello relativo alle ore 21:00 del giorno 06/05/2003). Nonostante ciò, si nota anche come in alcuni casi i valori calcolati da FARM sul dominio "locale" siano più elevati dei valori calcolati da SPRAY, nonostante quest'ultimo abbia risoluzione maggiore. Ciò è giustificato dal fatto che, grazie alla tecnica del *nesting*, FARM è in grado di tener conto dei contributi delle sorgenti poste sulla più vasta area della Provincia, dunque "al di fuori" del dominio di calcolo sul quale agisce SPRAY.

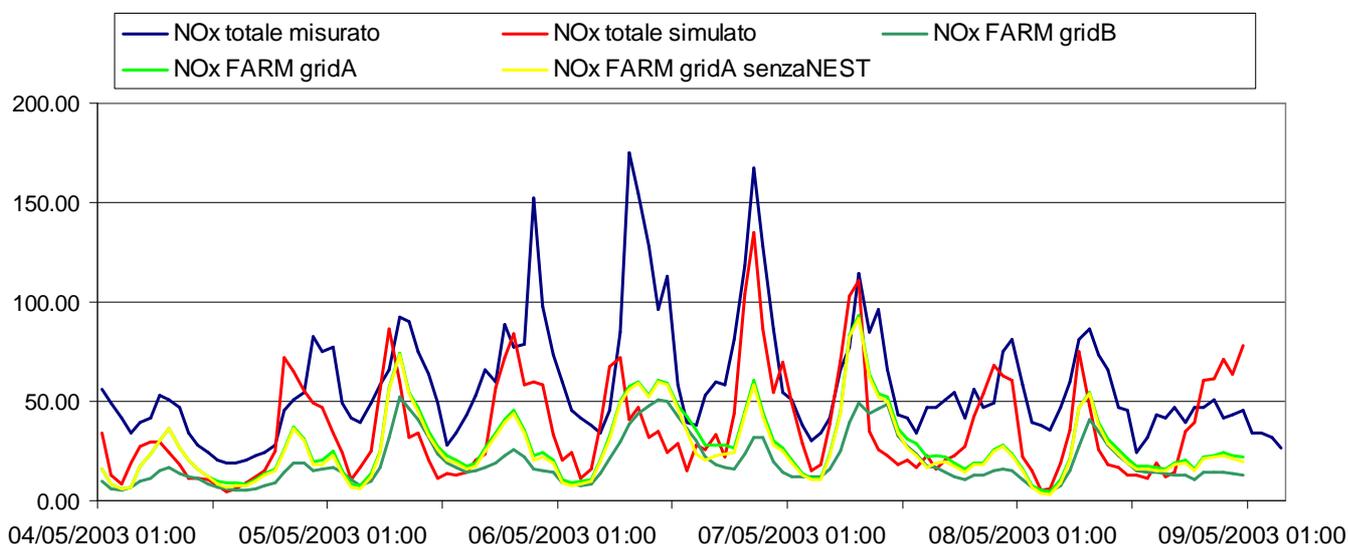


Figura 27. Confronto fra le concentrazioni di NO_x al suolo misurate dal mezzo mobile (blu) ed i valori calcolati per il periodo 04-08/05/2003: da SPRAY (rosso) e da FARM, per il dominio "provinciale" a risoluzione 2 km (verde scuro) e per il dominio "locale" a risoluzione 500 m con *nesting* (verde chiaro) e senza *nesting* (giallo).

4.1.2 Distribuzione delle concentrazioni al suolo

I modelli utilizzati nelle diverse simulazioni sono in grado di generare il campo di concentrazione al suolo in ogni punto del dominio di calcolo. Le mappe di concentrazione al suolo permettono di avere una valutazione dell'estensione spaziale dell'impatto dovuto alle emissioni delle sorgenti simulate ed una stima dei valori massimi e medi di concentrazione sull'intero dominio. Vengono qui riportate, per l'episodio 3-8 Maggio 2003, le mappe di concentrazione al suolo di NO_x ottenute dalle simulazioni effettuate sia con SPRAY che con FARM (quest'ultimo utilizzando la procedura di *nesting*).

La Figura 28 mostra la mappa della distribuzione delle medie delle concentrazioni orarie di NO_x calcolate da FARM sul dominio provinciale (risoluzione 2 km) durante l'episodio di 5 giorni selezionato per la simulazione. Si riconosce chiaramente l'effetto combinato della distribuzione

delle emissioni (localizzate in corrispondenza delle aree abitate e delle principali vie di comunicazione) e della barriera esercitata dall'arco alpino. Come lecito aspettarsi, l'area di Torino risulta quella con le concentrazioni più elevate. Ciò concorda con le valutazioni effettuate in precedenza su base annuale (Calori *et al.*, 2004; Provincia di Torino, 2005).

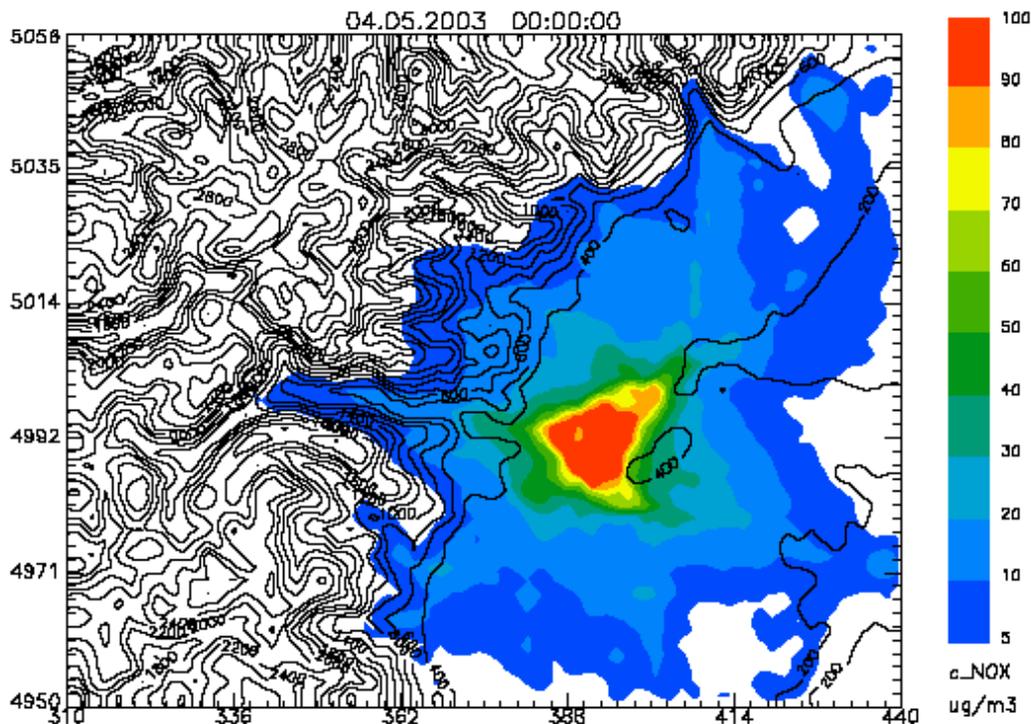


Figura 28. Mappa delle concentrazioni medie al suolo di NO_x sul dominio provinciale per il periodo di 5 giorni simulato (4–8 Maggio 2003).

In Figura 29 è rappresentata invece la distribuzione sul dominio “locale”, così come simulata alla risoluzione inferiore (2 km), ed a quella più fine (500 m). E' evidente l'effetto dell'aumento di risoluzione, in grado di risolvere maggiormente le aree con le concentrazioni più elevate, nei pressi del centro di Carmagnola e dei principali assi stradali.

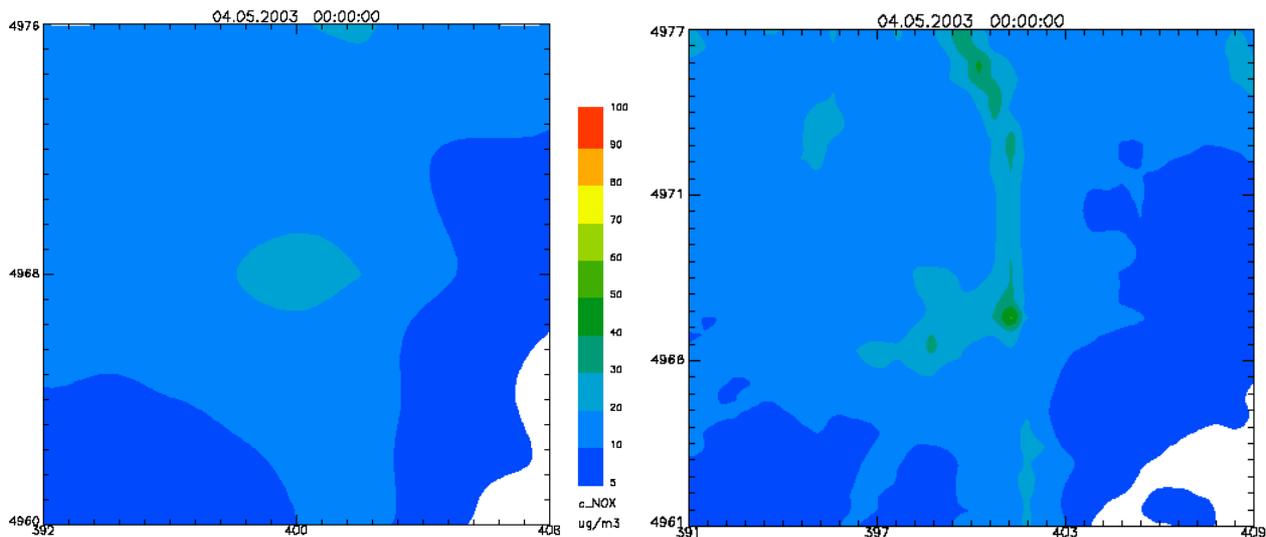


Figura 29. Mappa delle concentrazioni medie al suolo di NO_x simulate da FARM sul dominio “locale”, viste alla risoluzione di 2 km (a sinistra) e di 500 m (a destra).

La Figura 30 mostra il confronto tra le mappe della media delle concentrazioni orarie di NO_x calcolate da FARM (risoluzione 500 m) e da SPRAY (risoluzione 250 m) sul dominio locale per il periodo che va dal 4 all'8 Maggio 2003. In Figura 31 è illustrato invece il confronto fra i valori massimi orari di concentrazione calcolati dai due modelli sull'intero periodo di simulazione. Si nota in primo luogo come l'aumento della risoluzione nel passaggio da FARM a SPRAY consenta di individuare in maniera maggiormente dettagliata le aree con le concentrazioni elevate. Sono infatti evidenti, oltre al tracciato dell'autostrada, anche gli altri principali assi stradali presenti all'interno del dominio ed anche i contorni dell'area urbana di Carmagnola appaiono meglio definiti. D'altro canto si può anche osservare come, grazie alla tecnica di *nesting*, FARM sia in grado di tener conto delle emissioni esistenti all'esterno del dominio di simulazione. Ciò si manifesta come un contributo di *background* che non è visibile negli output di SPRAY. Una stima del contributo delle sorgenti poste al di fuori del dominio "locale" è riportata oltre.

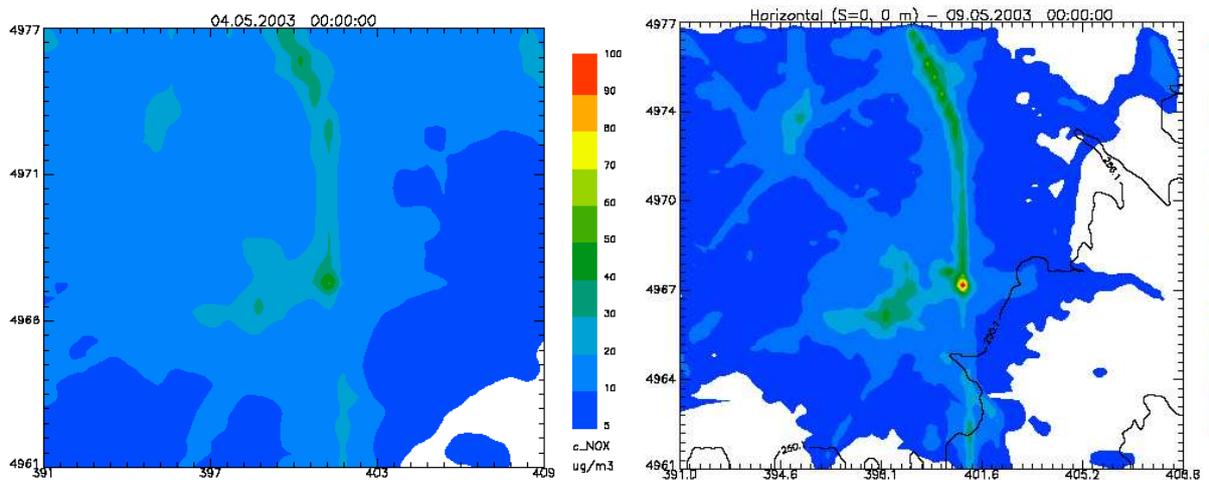


Figura 30. Mappa delle concentrazioni medie al suolo di NO_x sul dominio "locale", calcolate da FARM (sinistra, 500 m di risoluzione) e da SPRAY (destra, 250 m di risoluzione) per il periodo di 5 giorni simulato (4–8 Maggio 2003).

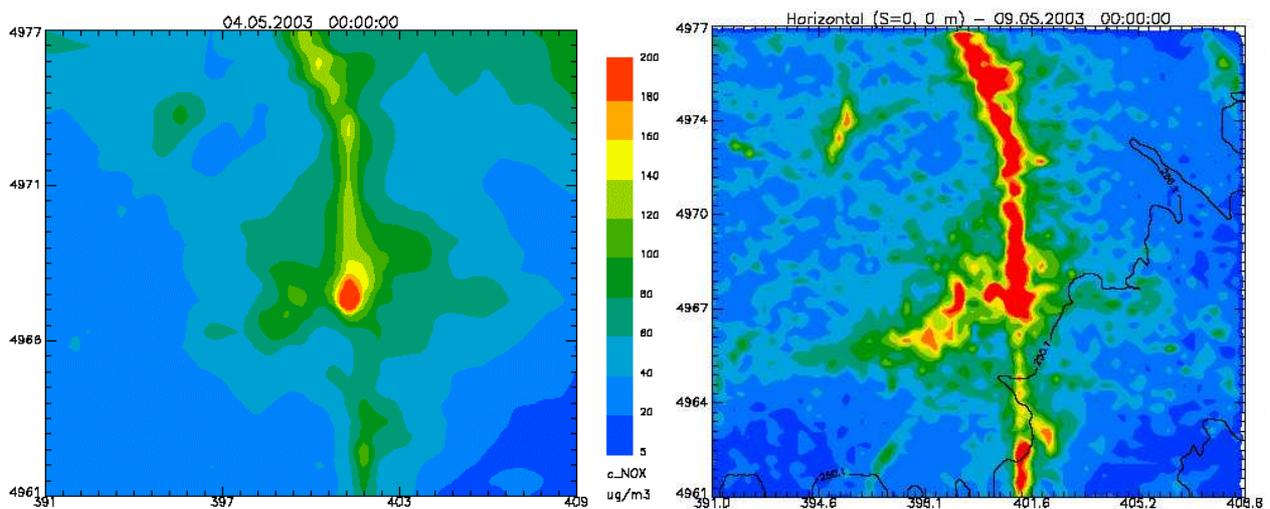


Figura 31. Mappe dei valori massimi orari di concentrazione al suolo di NO_x sul dominio "locale", calcolate da FARM (sinistra, 500 m di risoluzione) e da SPRAY (destra, 250 m di risoluzione) per il periodo di 5 giorni simulato (4–8 Maggio 2003).

4.1.3

Contributi delle diverse sorgenti "locali"

Nelle Figure 32 e 33 sono mostrati i contributi relativi alle differenti tipologie di sorgenti emissive considerate, ripartite in "puntuali", "lineari" e "diffuse" (come descritto al § 2.3). Il contributo riconducibile alle sorgenti "puntuali" è legato alla presenza, nell'area industriale situata ad est dell'abitato di Carmagnola (Figura 10), della Teksid e della Fenice, localizzate al centro del dominio di calcolo. Per quanto riguarda le sorgenti "lineari" il contributo maggiore è dovuto al traffico autostradale, con un massimo localizzato in corrispondenza dello svincolo di Carmagnola, e valori generalmente più elevati nel tratto verso Torino rispetto a quello verso Savona, a causa dei diversi flussi veicolari. Il contributo dovuto alle emissioni generate da sorgenti "areali" gravita invece perlopiù intorno ai centri abitati.

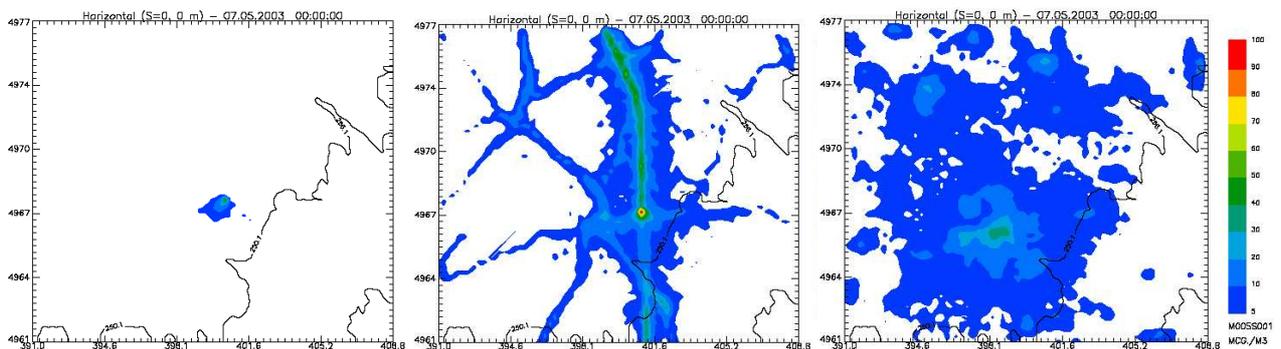


Figura 32. Mappa della concentrazione media al suolo di NO_x sul dominio "locale"; a partire da sinistra: contributo di sorgenti "puntuali", "lineari" ed "areali".

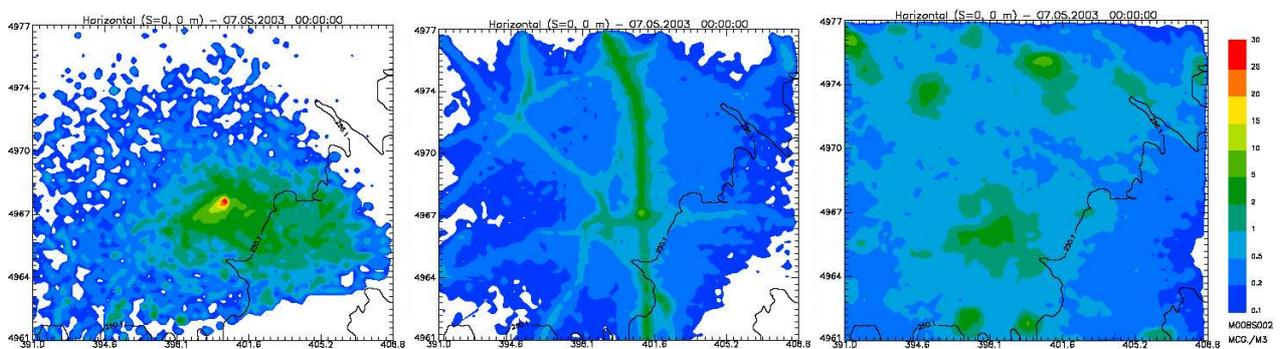


Figura 33. Mappa della concentrazione media al suolo di PM₁₀ primario sul dominio "locale"; a partire da sinistra: contributo di sorgenti "puntuali", "lineari" ed "areali".

Come già accennato, le emissioni delle sorgenti areali diverse da quelle originate dal traffico della rete principale, derivano dall'Inventario Regionale delle Emissioni; escludendo dunque il riscaldamento (inattivo nel periodo considerato) ed il traffico veicolare di strade extraurbane ed autostrade (direttamente rappresentato sulla rete stradale) le rimanenti emissioni di ossidi di azoto e di PM10 primario del macrosettore 7 (quindi relative al solo traffico urbano) rappresentano, rispettivamente, il 43% e poco meno del 30% del totale. Il macrosettore 8 (altre sorgenti mobili, in massima parte macchine agricole) raggiunge invece il 49% del totale dei NO_x e il 40% per quanto riguarda il PM10. L'assenza del macrosettore relativo al riscaldamento domestico aumenta il contributo percentuale di tali attività, che sarebbero comunque le dominanti nell'area in esame anche nella stagione invernale. In Figura 34 e 35 sono rappresentati i contributi percentuali delle diverse tipologie di sorgenti. Si osserva come le sorgenti puntuali abbiano un peso relativo

maggiore per il PM₁₀ (con un contributo superiore al 70% del totale ad una distanza di circa 2 km) di quanto non facciano per gli ossidi di azoto, di cui rappresenta il 60% nella zona del punto di emissione, mentre sul resto del dominio si attesta su una percentuale per lo più compresa tra il 10 ed il 20% del totale.

Per quanto riguarda le sorgenti lineari il contributo alle concentrazioni totali di NO_x si attesta quasi ovunque oltre il 20% e raggiunge valori tra il 70 e l'80% sull'intero tratto autostradale. Il contributo relativo al particolato risulta essere invece meno marcato, scendendo in alcuni tratti di autostrada fino al 40%.

Il contributo delle sorgenti areali infine presenta un *pattern* complementare a quanto detto fin'ora; in particolare nella zona centrale del dominio i contributi per il PM₁₀ risultano più bassi di quelli relativi agli ossidi di azoto, proprio a causa della dominanza in quella zona delle emissioni dell'impianto industriale.

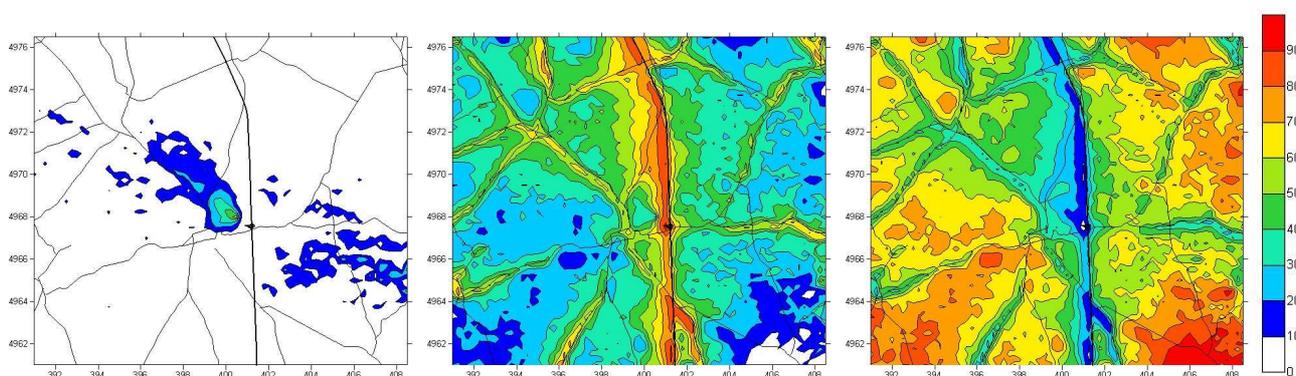


Figura 34. Mappa dei contributi percentuali alle concentrazioni medie al suolo di NO_x da parte delle diverse tipologie di sorgenti, a partire da sinistra: contributo delle sorgenti “puntuali”, “lineari” ed “areali”.

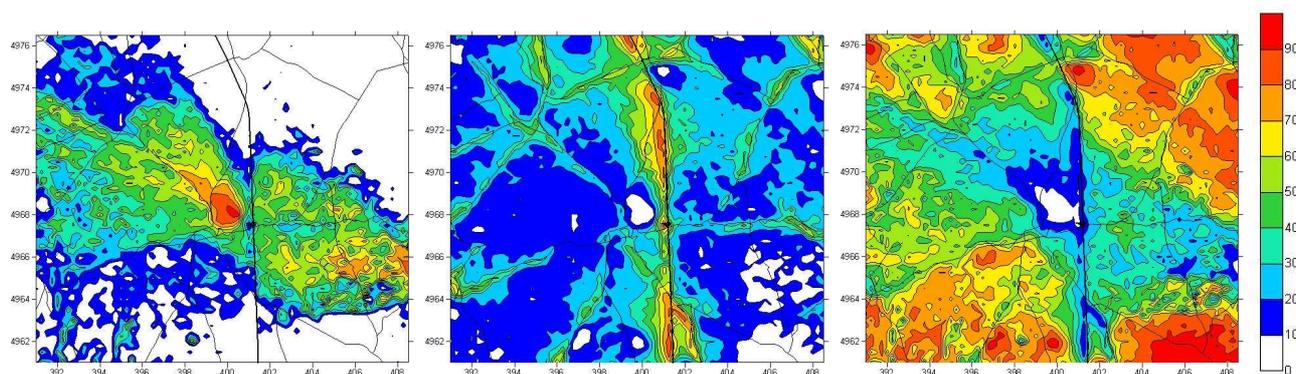


Figura 35. Mappa dei contributi percentuali alle concentrazioni medie al suolo di PM₁₀ primario da parte delle diverse tipologie di sorgenti, a partire da sinistra: contributo delle sorgenti “puntuali”, “lineari” ed “areali”.

4.1.4 Contributo del resto delle sorgenti provinciali

Per stimare sul dominio “locale” il *background* dovuto alle sorgenti poste nel resto della Provincia, visibile negli output di FARM rispetto a quelli di SPRAY, si è effettuata una simulazione specifica con FARM solamente sul dominio “locale”, confrontando poi i risultati con quelli ottenuti sul medesimo dominio utilizzando il *nesting* all'interno del dominio “provinciale”. Le simulazioni sono state effettuate su un periodo della durata di 30 giorni (15 Aprile – 15 Maggio 2003). In tal modo è

possibile ridurre l'influenza di una situazione meteorologica specifica (legata ad una simulazione di pochi giorni) sui valori di concentrazione calcolati, conferendo ai risultati maggiore significatività dal punto di vista statistico. In Figura 36 sono messe a confronto le mappe di concentrazione di NO_x calcolate senza e con la procedura di *nesting* all'interno del dominio "provinciale". Si nota, grazie ai contributi delle sorgenti esterne al dominio, un generale incremento delle medie calcolate sul dominio; in particolare il massimo passa da $53.3 \mu\text{g m}^{-3}$ a $63.5 \mu\text{g m}^{-3}$.

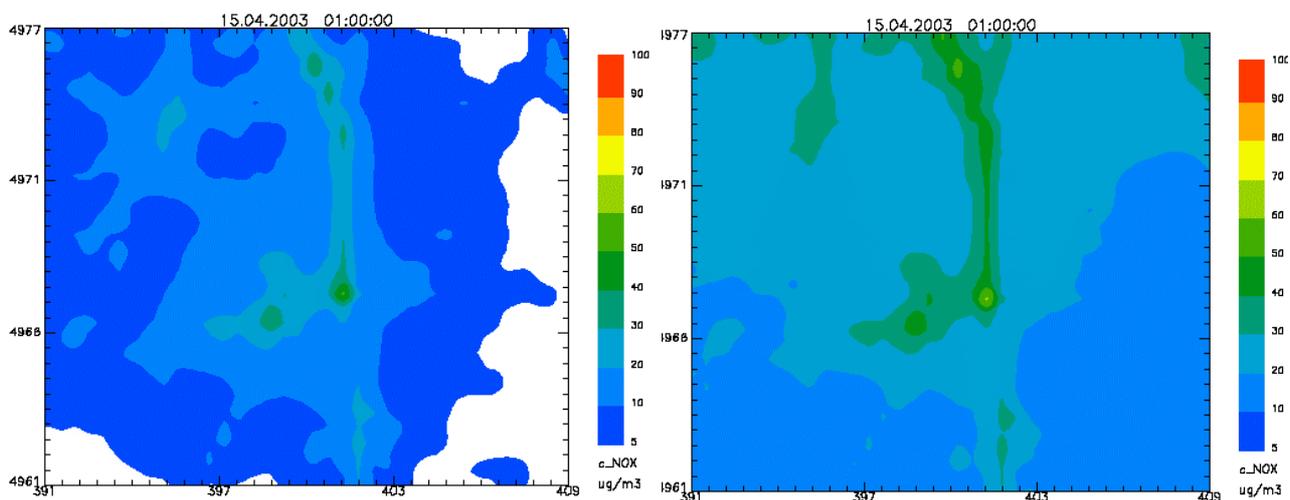


Figura 36. Mappa delle concentrazioni medie al suolo di NO_x sul dominio "locale", calcolate da FARM (500 m di risoluzione), senza (sinistra) e con (destra) il contributo delle sorgenti poste nel resto della Provincia per il periodo di 30 giorni considerato (15 Aprile – 15 Maggio 2003).

In Figura 37 la differenza tra le due mappe è illustrata in termini assoluti e percentuali. In prossimità di Carmagnola la differenza assoluta si attesta attorno ai $12 \mu\text{g m}^{-3}$ per raggiungere valori massimi attorno a $20 \mu\text{g m}^{-3}$ nella parte superiore del dominio, che risente maggiormente dell'influenza dell'area metropolitana torinese. In termini relativi il contributo delle sorgenti "locali" alle concentrazioni di NO_x è dominante nella zona centrale del dominio, nell'intorno dell'abitato di Carmagnola e in corrispondenza dell'autostrada; allontanandosi progressivamente, aumenta invece il contributo delle sorgenti circostanti, in genere dominante a ca. 2-3 km dal centro abitato e a ca. 1 km dall'autostrada.

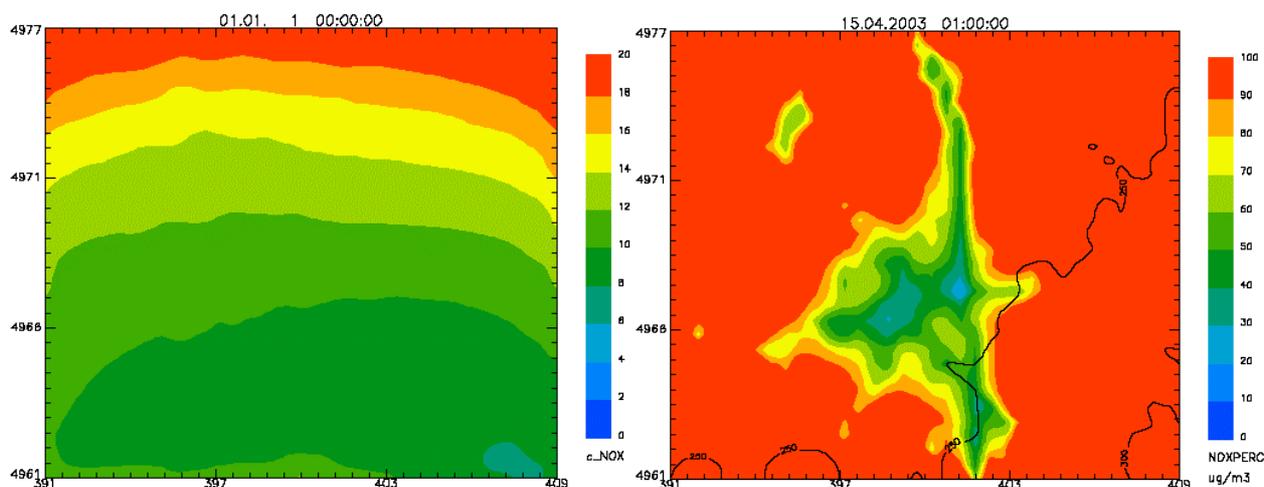


Figura 37. Contributo sul dominio "locale" delle sorgenti poste nel resto della Provincia alle concentrazioni medie di NO_x per il periodo mensile considerato (15 Aprile – 15 Maggio 2003): in valore assoluto ($\mu\text{g m}^{-3}$; a sinistra) e come incremento percentuale (a destra).

4.1.5 Particolato secondario

Le simulazioni effettuate con entrambi i codici considerati (SPRAY e FARM), considerano gli inquinanti come sostanze "inerti", non soggette in prima approssimazione ad alcuna reazione chimica. Nel caso del particolato ciò corrisponde a rappresentare la sola componente primaria, trascurando quella di origine secondaria che si forma in atmosfera come risultato di complesse reazioni di trasformazione multifase dei composti primari emessi dalle sorgenti anche in forma gassosa. Per completare il quadro dei diversi contributi alle concentrazioni di particolato nell'area di interesse sono stati mutuati alcuni risultati prodotti nell'ambito del Progetto MINNI (Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale sui temi dell'inquinamento atmosferico - Ministero dell'Ambiente ed ENEA), cui ARIANET ha contribuito. Nell'ambito di tale progetto sono state condotte delle valutazioni modellistiche annuali su scala nazionale, nonché uno zoom sul bacino padano a risoluzione 4 km per un periodo invernale ed uno estivo dell'anno 1999, entrambe condotte utilizzando il codice FARM nella sua configurazione più completa, che prende in considerazione la chimica in fase gassosa con la formazione di composti secondari e la dinamica del particolato. Le concentrazioni di PM simulate in tale contesto costituiscono dunque una stima sia della componente primaria sia di quella secondaria, originate dal complesso delle sorgenti poste sul territorio nazionale e nei paesi limitrofi. In Figura 38 è riportata una mappa di una stima della frazione secondaria del PM₁₀, ricavata sulla Provincia di Torino a partire dai risultati delle simulazioni sopra citate.

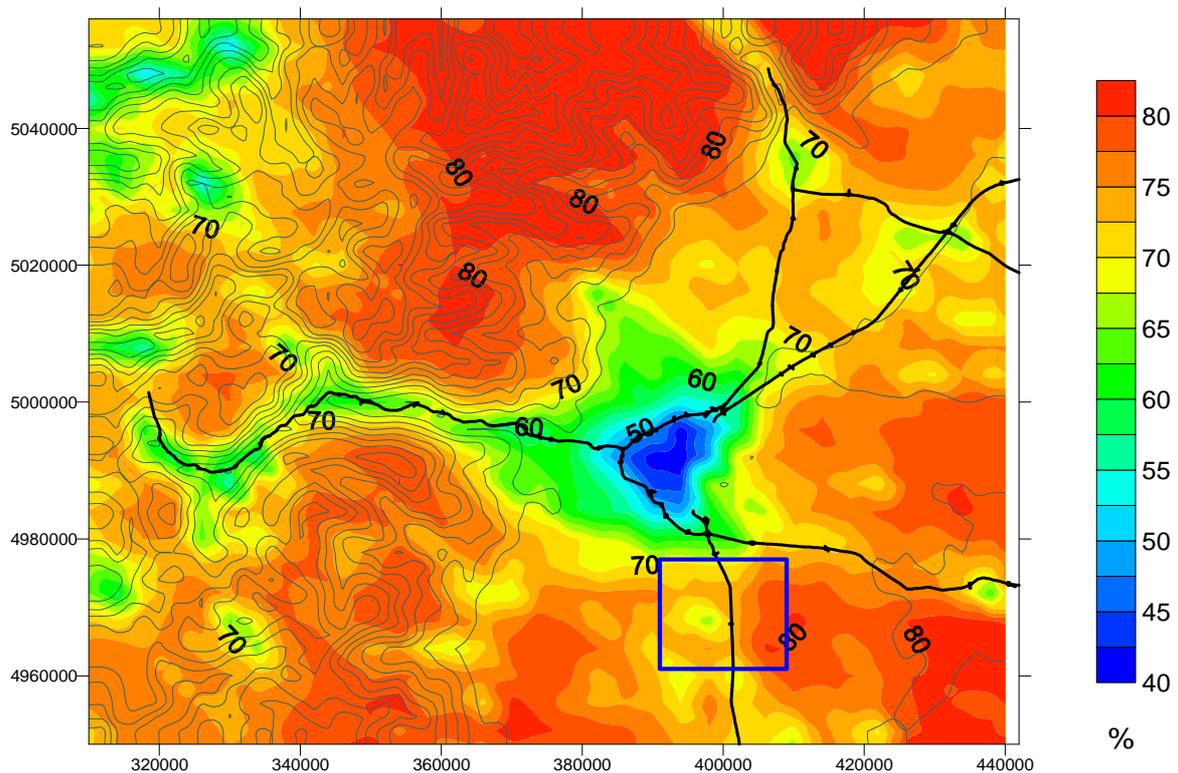


Figura 38. Frazione secondaria nelle concentrazioni di PM₁₀ sul territorio provinciale, stimate a partire dai risultati del Progetto MINNI; in blu è evidenziato il dominio "locale" centrato su Carmagnola considerato in questo studio.

E' evidente come la componente secondaria costituisca una frazione importante del particolato atmosferico, variabile da un minimo del 40% in prossimità delle maggiori sorgenti, fino ad oltre l'80 in aree più "remote". Nel dominio "locale" intorno considerato in questo studio la frazione primaria

contribuisce per circa un quarto alle concentrazioni di PM₁₀ (circa un terzo in corrispondenza di Carmagnola).

In Figura 39 è riportata la stima della distribuzione delle concentrazioni di PM₁₀ sul dominio “locale” risultante dalla combinazione delle simulazioni effettuate: le concentrazioni di componente primaria (simulate da FARM tenendo conto sia delle sorgenti locali, sia di quelle del resto della Provincia) riscalate in prima approssimazione con il contributo dato dalla componente secondaria (Figura 38). I valori risultanti nei pressi dell’abitato, pur ottenuti combinando informazioni relative ad un periodo diverso, risultano compatibili con i valori medi rilevati nel periodo 16 Aprile – 12 Maggio 2003 dal campionario ad alto volume del mezzo mobile (43.3 µg m⁻³) e da quello a basso volume della stazione di Carmagnola (49.8 µg m⁻³).

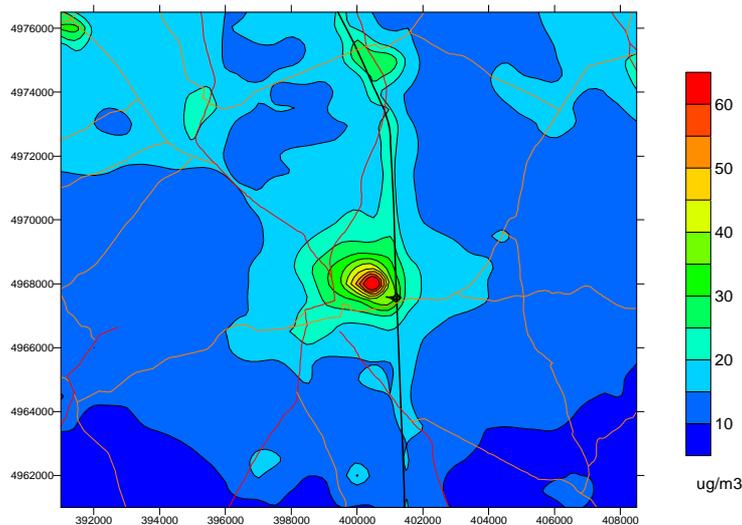


Figura 39. Stima della concentrazioni complessive di PM₁₀ sul dominio “locale”.

4.2 Impatto di scenari emissivi futuri sulle concentrazioni

In una fase successiva, la ricostruzione delle concentrazioni ambientali nell’area di interesse finora discussa è stata utilizzata come base di riferimento per una stima degli impatti derivanti dalla possibile realizzazione di nuovi tratti stradali intorno a Carmagnola. I nuovi flussi veicolari sulla rete stradale previsti con l’ausilio del modello di traffico sono stati quindi “tradotti” in termini emissivi; tali emissioni, considerate come variazione rispetto al quadro attuale, sono state quindi utilizzate in input ad ulteriori simulazioni di dispersione, i cui output sono stati confrontati con quelli relativi alla situazione “di riferimento”. Il confronto è stato condotto sulle concentrazioni al suolo di NO_x, proprio in virtù dell’importanza relativa delle sorgenti lineari sul totale delle concentrazioni di tale inquinante (vedi Figura 34 e 35).

4.2.1 Scenario 2: costruzione della Tangenziale Sud

Le stesse simulazioni viste per lo scenario attuale sono state dunque effettuate per lo scenario in cui si ipotizza la costruzione della Tangenziale a Sud di Carmagnola (vedi Figura 15). La Figura 40 mostra le mappe delle differenze di concentrazioni medie al suolo di NO_x sul dominio “locale”, calcolate tra lo “scenario 2” e quello “di riferimento”. L’impatto dello scenario è positivo o negativo a seconda della zona considerata, con le zone di massima variazione in corrispondenza dei principali assi stradali su cui sono previsti i cambiamenti di flusso più rilevanti. Nell’analisi della

mappa, così come in quelle successive, si tenga conto della relativa brevità del periodo di simulazione considerato (un episodio di 5 giorni), cosa che contribuisce a dar luogo a variazioni a piccola scala dei *pattern* di impatto. Incrementi medi di concentrazione superiori a $2 \mu\text{g m}^{-3}$ si registrano nelle vicinanze della nuova tangenziale e dell'autostrada; nella zona a sud del casello gli incrementi raggiungono i $5 \mu\text{g m}^{-3}$. In corrispondenza dell'abitato di Carmagnola si verifica invece una diminuzione, dell'ordine dei $2 \mu\text{g m}^{-3}$, legata ad un alleggerimento dei flussi sugli archi stradali che lo attraversano (SS 20, SS 393 e SP 661).

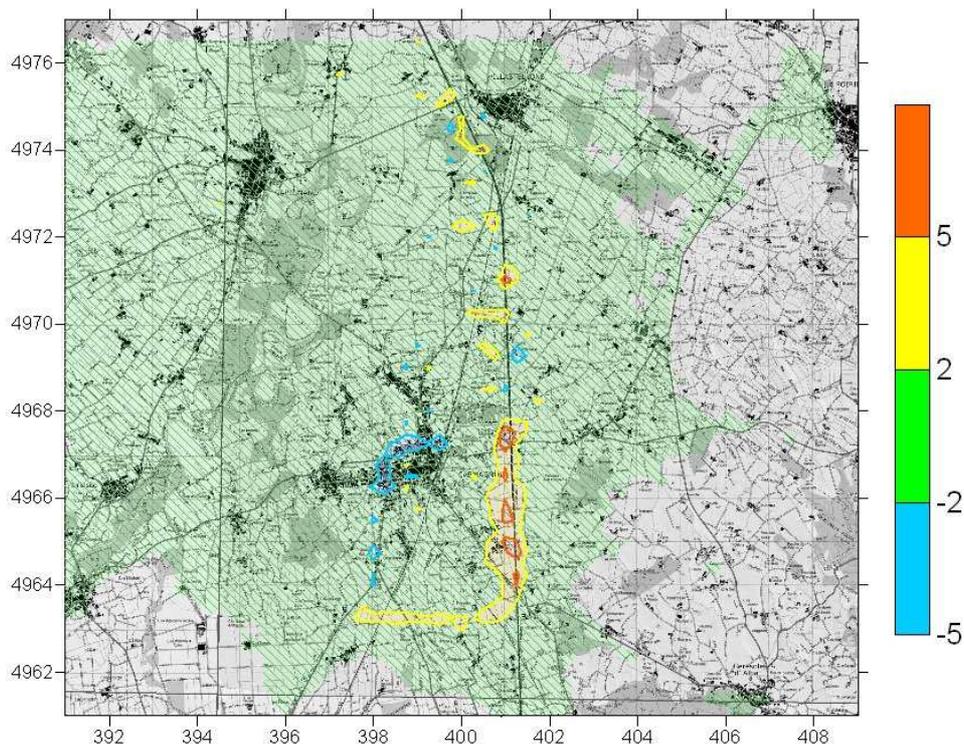


Figura 40. Mappa delle differenze delle concentrazioni medie al suolo di NO_x ($\mu\text{g m}^{-3}$) sul dominio "locale", calcolate tra lo "scenario 2" e quello "di riferimento".

4.2.2 Scenario 3: costruzione della Tangenziale Nord-Est

Ulteriori simulazioni sono state condotte in corrispondenza dell'ipotesi di costruzione dei tratti orientale e settentrionale di tangenziale (vedi Figura 15). Le corrispondenti variazioni delle concentrazioni medie di NO_x , calcolate rispetto allo "scenario 2", sono riportate in Figura 41. Le variazioni risultano più modeste rispetto a quelle provocate dalla Tangenziale Sud ("scenario 2") nei confronti dello scenario "di riferimento". Le variazioni di entrambi i segni superano di poco i $2 \mu\text{g m}^{-3}$, con incrementi in prossimità dei nuovi tratti stradali e lievi decrementi nell'intorno dell'abitato.

Le variazioni complessive rispetto allo scenario "di riferimento" risultanti dall'ipotesi di costruzione di entrambi i tratti di tangenziale (Sud e Nord-Est) sono riportate in Figura 42. Come da attendersi dalle valutazioni riportate finora, l'effetto risultante corrisponde ad un beneficio per il centro abitato di Carmagnola, legato al trasferimento ai nuovi archi stradali di parte dei flussi di traffico di attraversamento ed un conseguenziale incremento delle concentrazioni nelle zone circostanti.

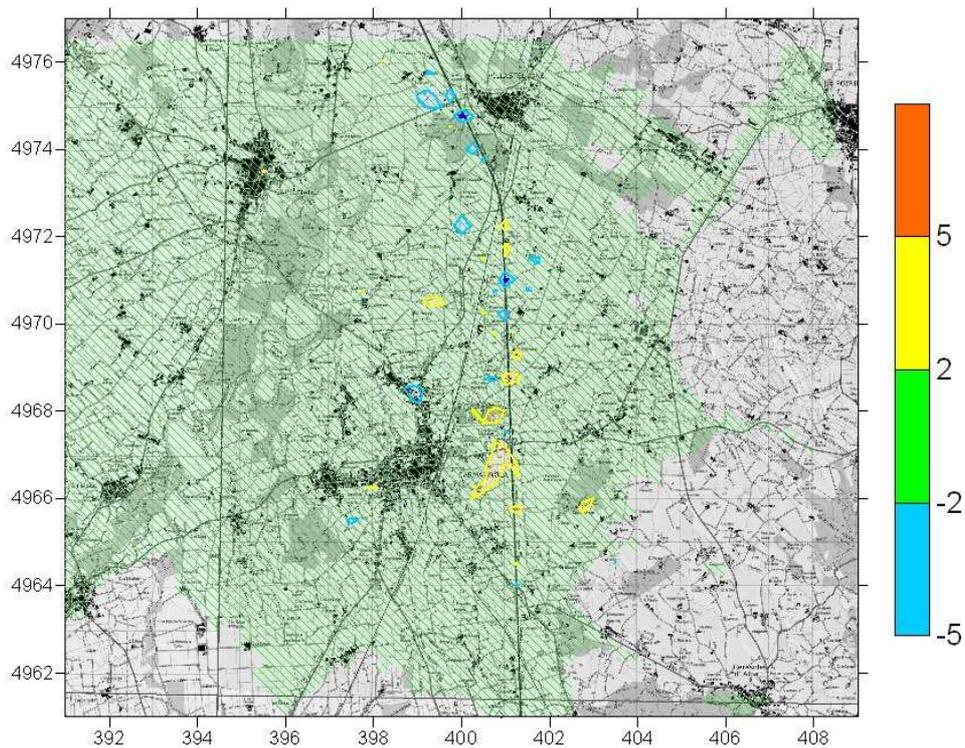


Figura 41. Mappa delle differenze delle concentrazioni medie al suolo di NO_x ($\mu\text{g m}^{-3}$) sul dominio "locale", calcolate tra lo "scenario 3" e lo "scenario 2".

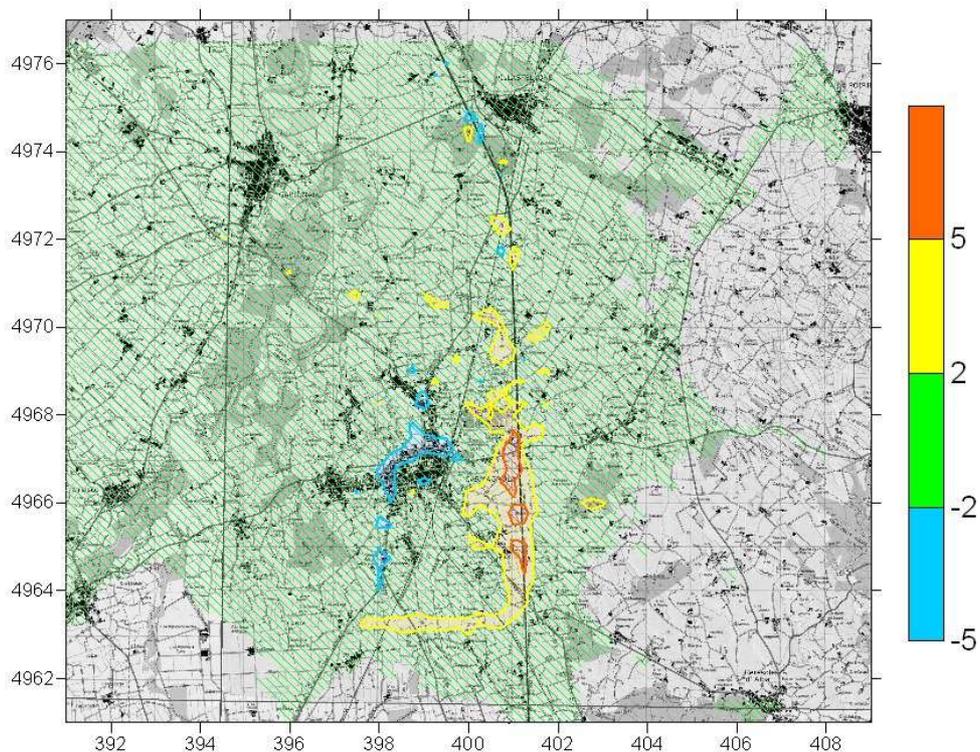


Figura 42. Mappa delle differenze di concentrazioni medie al suolo di NO_x ($\mu\text{g m}^{-3}$) sul dominio "locale", calcolate tra lo "scenario 3" e quello "di riferimento".

5 Conclusioni

Lo studio effettuato sulla qualità dell'aria nell'area di Carmagnola costituisce un consolidamento delle esperienze modellistiche maturate in precedenza in ambito provinciale. Esso si è avvalso delle basi di dati (meteorologiche, emissive e di qualità dell'aria) disponibili presso gli organismi provinciali e regionali, accrescendo il grado di confidenza del sistema modellistico complessivo (traffico, emissioni, meteorologia e dispersione) già utilizzato per l'Eporediese (Provincia di Torino, 2005).

Le simulazioni della dispersione degli inquinanti atmosferici nell'area di interesse sono state alimentate per gli aspetti emissivi a partire dalle ricostruzioni dei flussi veicolari effettuate tramite un modello di traffico, integrate per gli altri settori con i dati dell'Inventario Regionale delle Emissioni, e per gli aspetti meteorologici da una ricostruzione diagnostica tridimensionale. I risultati delle simulazioni, dopo un positivo riscontro con i valori sperimentali rilevati in Carmagnola (postazione fissa della rete provinciale e mezzo mobile ARPA), hanno consentito una mappatura dell'impatto delle sorgenti sul territorio, ad integrazione dell'informazione "puntuale" fornita dalle misure.

Sono stati infine stimati gli impatti sulla qualità dell'aria risultanti dalle variazioni dei flussi veicolari previste a seguito della possibile realizzazione delle tangenziali Sud e Nord-Est di Carmagnola. Entrambi gli assi viari, alleggerendo i flussi di attraversamento, provocano una diminuzione delle concentrazioni in corrispondenza del centro abitato ed un conseguenziale aumento nelle aree circostanti i nuovi tracciati. Quanto all'importanza reciproca dei due nuovi tratti, l'incidenza maggiore sull'abitato risulta legata alle variazioni causate dal tratto Sud.

6 Bibliografia

- ARIA (1999) *Guide utilisateur pour la réalisation d'un inventaire d'émissions à partir des modules de "Emission Manager"*. Rapport ARIA/99.043, ARIA Technologies, Paris, Juin 1999.
- ARIA Technologies (2001) *MINERVE wind field model - General design manual - Version 7.0*.
- Calori G. (2003) *EMMA (EMGR/make) - User's guide – Version 3.2*. ARIANET R2003.16, Milano, Dicembre 2003.
- Calori G., Finardi S., Nanni A., Radice P. (2004) *Studio della qualità dell'aria nell'area Eporediese - Relazione finale*. ARIANET R2004.18, Milano, Dicembre 2004.
- Calori G., Radice P. (2004) *Emission Manager – Reference guide*. ARIANET R2004.29, Milano, Novembre 2004.
- Calori G., Silibello C. (2005) *FARM (Flexible Air quality Regional Model) Model formulation and user manual – Version 2.4*. ARIANET R2005.07, Milano, April 2005.
- EEA MDS (2005) *Model Documentation System*. European Environment Agency, European Topic Centre on Air and Climate Change, <http://pandora.meng.auth.gr/mds/mds.php>.
- IIASA (2001) "RAINS-Europe Homepage". <http://www.iiasa.ac.at/~rains/home.html>
- Nanni A., Radice P., Piersanti A. (2005) *ARIANET TREFIC ("Traffic Emission Factor Improved Calculation") User manual - Version 4.0*. ARIANET R2005.02, Milano, Gennaio 2005.
- Ntziachristos L., Samaras Z. (2000) *COPERT III computer programme to calculate emissions from road transport - Methodology and Emission Factors (version 2.1)*. Technical Report No 49, European Environmental Agency.
- Provincia di Torino (2005) *Uno sguardo all'aria - 2004*. Provincia di Torino ed ARPA Piemonte, Torino, Giugno 2005.
- Silibello C., Finardi S., Calori G. (2003) *SURFPRO (SURrface-atmosphere interFace PROcessor) - User's guide*. ARIANET R2003.14, Milano, Settembre 2003.
- Tinarelli G. (2001) *SPRAY 3.0 - General Description and User's Guide*. ARIANET R2001.11, Milano.