ATTIVITÀ DI RICERCA E SVILUPPO NELL'AMBITO DELLA MODELLISTICA INTEGRATA PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA (AERA/ALCOTRA)

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

G. Calori, P. Radice (Arianet S.r.l.) - L. Pallavidino, R. Prandi (Simularia S.r.l.)

La Provincia di Torino, con D.D. 132-40251 del 28/11/2011 diventata efficace il 2/12/2011, ha aggiudicato alle società SIMULARIA Srl e ARIANET Srl (costituite in R.T.I. nelle proporzioni 55% e 45% rispettivamente) l'incarico di realizzare un'attività di ricerca e sviluppo nell'ambito della modellistica integrata per la valutazione della qualità dell'aria a supporto del Progetto Strategico "Aera – Air Environnement Regions ALCOTRA".

Come stabilito dalla stazione appaltante nel Capitolato d'Oneri, l'appalto riguarda la fornitura di servizi per le seguenti attività:

1. approfondimento su scala provinciale per quanto riguarda i principali comparti emissivi (sorgenti industriali, traffico veicolare, riscaldamento domestico) dell'inventario delle emissioni redatto dalla Regione Piemonte (IREA 2007);
2. realizzazione di simulazioni con discesa di scala a livello della Provincia di Torino, con il modello diagnostico tridimensionale attualmente in uso in Regione Piemonte;
3. predisposizione di servizi di previsione delle concentrazioni e dell'Indice di Qualità dell' Aria, con l'utilizzo di modelli prognostici sul territorio della Provincia di Torino.

Il documento descrive in maniera sintetica le attività svolte per il conseguimento degli obiettivi descritti (indicati con A1, A2 e A3), seguendo la suddivisione in specifiche sotto-azioni, nelle due lingue di riferimento (italiano e francese).

Per una descrizione più approfondita dei risultati raggiunti si rimanda alla relazione finale consegnata a gennaio 2013 (G. Calori et al., 2012b, Rif. SIMULARIA.R2012.17), che contiene anche i risultati relativi ai test di periodo effettuati separatamente con l'aggiornamento delle informazioni sui singoli comparti emissivi: le emissioni industriali, le emissioni del traffico stradale (in due varianti, incrementando anche la frazione di NO_2 emesso direttamente), il riscaldamento e l'agricoltura.

A supporto del servizio di previsione delle concentrazioni nell'area metropolitana svolto da Arpa Piemonte sono anche presentate le proposte di lavoro finalizzate a migliorare, in un'ottica 'dinamica', la trattazione delle emissioni predisposte per la catena prognostica a partire dai dati di inventario, , in maniera da rendere più realistica la stima dell'inquinamento almeno in quelle parti che vengono a dipendere dalle variabili meteorologiche (riscaldamento vs. temperatura ambiente, risospensione vs. precipitazioni). Infine, è stata elaborata una proposta di estensione dell'Indice Previsionale di Qualità dell'Aria su tutto il territorio provinciale, attraverso l'accorpamento di comuni ricadenti in zone omogenee, sia dal punto di vista territoriale che emissivo.

APPROFONDIMENTO DELL'INVENTARIO DELLE EMISSIONI (A1)

Lo scopo principale di questa attività è la raccolta di informazioni aggiornate e di dettaglio, utili a migliorare l'attribuzione delle emissioni di inquinanti atmosferici alla realtà del territorio provinciale dal punto di vista della modellistica della qualità dell'aria.

Nel corso di questo lavoro è stata prestata una particolare attenzione alla definizione di fattori di emissione specifici per alcuni impianti, utilizzabili per l'aggiornamento annuale dell'inventario, e di una base emissiva più adatta all'analisi di scenari evolutivi della qualità dell'aria (traffico, riscaldamento), che possa essere impiegata dagli enti preposti non solo per le attività di valutazione ma anche per quelle di pianificazione.

Sorgenti industriali

Per aggiornare ed incrementare le informazioni sulle sorgenti puntuali si è deciso di fare riferimento principalmente agli impianti soggetti ad Autorizzazione Integrata Ambientale, procedimento autorizzativo in capo alla Provincia di Torino. L'AIA, infatti, essendo autorizzazione suscettibile di rinnovo con una frequenza tra i cinque e gli otto anni, fornisce una base dati rinnovata con regolarità, eventualmente integrabile con informazioni relative ai cicli temporali di lavorazione

(modulazioni), essenziali per una corretta modellazione della dispersione degli inquinanti in atmosfera.

L'attività ha richiesto l'analisi delle informazioni disponibili, la selezione degli impianti più rilevanti, la caratterizzazione emissiva degli stessi (numero e caratteristiche fisiche dei punti di emissione, flussi di massa e modulazioni temporali), l'assegnazione di codici SNAP[33] di attività (in sostituzione dei codici IPPC[34], NOSE-P[35] e NACE[36]), il confronto con i dati preesistenti per la modifica dei dati contenuti in IREA e l'eventuale eliminazione, anche parziale, di emissioni diffuse imputabili alla stessa attività produttiva.

Gli impianti IPPC censiti su tutto il territorio provinciale sono 185. Molte aziende tuttavia non hanno emissioni in atmosfera rilevanti, ma impatti consistenti su altre matrici ambientali. Sono stati considerati in definitiva 57 impianti industriali al di sopra della soglia di 20 t/a di NOx o 10 t/a di PM10, sia introducendo nuove sorgenti sia revisionando quelli già esistenti nell'inventario regionale, aggiornando al 2008 le loro caratteristiche emissive.

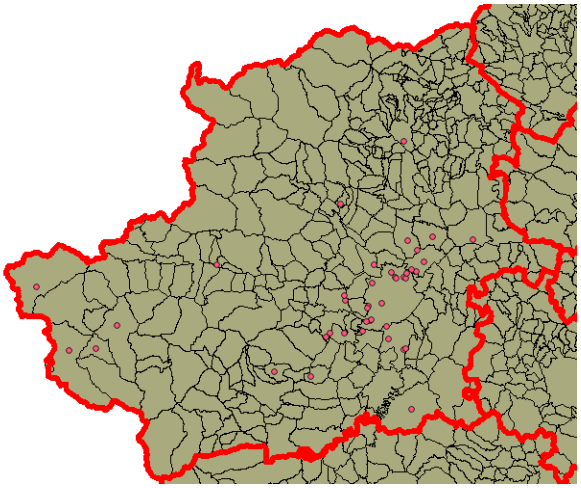

FIGURA 64: Sorgenti puntuali presenti nel nuovo inventario provinciale.

Su ogni impianto analizzato sono state prodotte delle schede conoscitive, raccolte in un documento indipendente (G. Calori et al., 2012, Ref. SIMULARIA.R2012.08), che contiene dati sensibili.

Rispetto all'inventario 2007, l'aggiornamento ha comportato una riduzione di tutti gli inquinanti, eccetto il biossido di zolfo. Le riduzioni più consistenti riguardano le emissioni di particolato primario (-10% del totale provinciale).

CO (t/a)	NH_3 (t/a)	NMVOC (t/a)	NO_x (t/a)	SO_2 (t/a)	PM10 (t/a)	
82606	11484	39879	33058	2217	6537	TOTALE IREA07
-2947 (-3.6%)	-12 (-0,1%)	-359 (-0,9%)	-1585 (-4.8%)	113 (5.1%)	-660 (-10,1%)	AERA – IREA07

TABELLA 32: Bilancio emissivo a valle delle modifiche apportate alle sorgenti industriali.

Nel corso degli anni passati la Provincia ha realizzato una piattaforma informatica appositamente progettata per inserire, consultare e aggiornare i dati relativi ad ogni impianto autorizzato, compresi i report ambientali di controllo e autocontrollo che periodicamente le aziende IPPC devono trasmettere all'Ente. Entro la fine di aprile di ogni anno è previsto che le aziende carichino i dati richiesti in maniera autonoma.

Per facilitare l'aggiornamento dell'inventario anche negli anni futuri, i dati necessari per il dimensionamento emissivo degli impianti sono stati inseriti in un database MS-Access, che contiene

33 Selected Nomenclature for Air Pollution

34 Integrated Pollution Prevention and Control

35 Standard NOmenclature for Sources of Emission

36 Nomenclature statistique des Atività économiques dans la Communauté Européenne

i fattori di emissione definiti specificatamente per ogni azienda considerata. Per i dettagli sulle caratteristiche e sulle funzionalità del database si rimanda alla relazione di accompagnamento (Prandi R. e Pallavidino L., 2013, Ref. SIMULARIA.R2013.02).

Trasporto su strada

La stima delle emissioni del trasporto stradale con metodologia bottom-up è basata sulla conoscenza dei flussi veicolari ricostruiti dal modello di traffico in uso presso la Provincia di Torino, che estende al di fuori dell'area metropolitana torinese i dati di flusso associati al grafo della società 5T (Pallavidino et al., 2011).

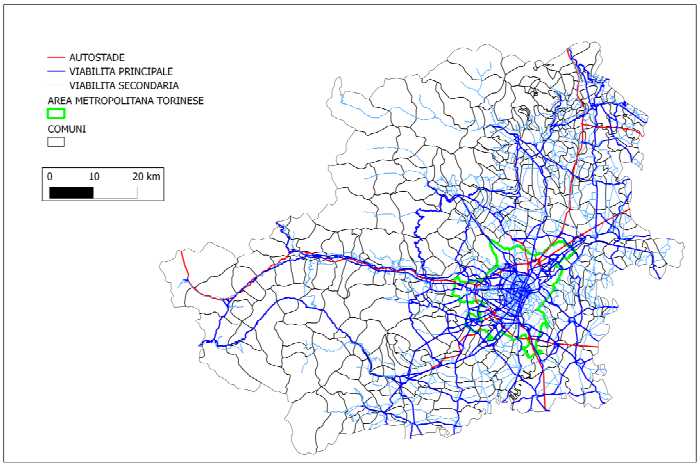

FIGURA 65: Grafo della mobilità privata nella provincia di Torino.

Tale modello, calibrato nel 2006, è stato recentemente aggiornato dalla società milanese Polinomia Srl su incarico della Provincia di Torino (Torriani L. et al., 2012) e restituisce i flussi relativi alla mobilità privata in un giorno feriale. Per la stima delle emissioni complessive del trasporto su strada con metodologia europea COPERT IV (Ntziachristos L. et al., 2009) è stato applicato il modello TREFIC (Nanni A. et al., 2009), ma le informazioni relative alla mobilità delle persone hanno dovuto essere integrate con i rilievi di traffico per includere il trasporto delle merci ed estendere l'analisi a giorni festivi e prefestivi. Le emissioni del TPL (bus urbani di GTT) sono state trattate separatamente e associate alle linee di trasporto pubblico.

Seguendo l'approccio adottato dal CSI Piemonte per la compilazione dell'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera del 2008, la ripartizione in classi COPERT dei veicoli è basata sulla definizione di un parco circolante, in cui i veicoli immatricolati in provincia di Torino nel 2008 sono 'pesati' con dei fattori d'uso indicativi di percorrenze medie (Caserini et al., 2011).

Infine, è stata stimata la risospensione di polveri applicando la metodologia più recente suggerita dall'U.S. EPA (EPA, 2011).

La stima dei consumi ricostruita a partire del grafo costituisce il 63% dei consumi attribuibili alla provincia sulla base dei dati di vendita di combustibili per autotrazione pubblicati sul Bollettino Petrolifero. Il residuo è stato attribuito a traffico urbano diffuso, ripartito tra i comuni in base alla popolazione residente.

	CO [t/a]	CO_2 [kt/a]	NMVOC [t/a]	NH_3 [t/a]	NO_x [t/a]	PM10 [t/a]	SO_2 [t/a]
Trasporto su strada – lineare	16287	2440	1514	294	9009	630	59.6
Emissioni di GTT	176	64.9	89		626	23	0,1
Trasporto urbano su strada – emissioni diffuse	16042	1373	1734	210	4089	328	33.6
TOTALE TRASPORTO SU STRADA ALCOTRA	**32505**	**3878**	**3337**	**504**	**13724**	**981**	**93.3**
Risospensione						2218	

TABELLA 33: nuova stima delle emissioni del Macrosettore 07.

Rispetto alla stima delle emissioni del Macrosettore 07 contenuta nell'inventario regionale, la nuova stima comporta una riduzione di tutti gli inquinanti (tra il -86% del SO2 al -5% del PM10), ad eccezione dell'ammoniaca (+21%).

Se consideriamo il totale delle emissioni della provincia di Torino (TABELLA 34) la nuova stima comporta una riduzione dell'8% delle emissioni di ossidi di azoto, del 2.4% del PM10 ed è superiore al 25% per CO e SO_2.

CO (t/a)	NH_3 (t/a)	NMVOC (t/a)	NO_x (t/a)	SO_2 (t/a)	PM10 (t/a)	
82606	11484	39879	33058	2217	6537	TOTALE IREA07
-22532 (-27.3%)	88 (0,8%)	-6077 (-15.2%)	-2646 (-8.0%)	-556 (-25.1%)	-159 (-2.4%)	AERA – IREA07

TABELLA 34: bilancio emissivo a valle delle modifiche apportate al trasporto su strada.

Combustione non industriale

Le emissioni del Macrosettore 02 sono state ottenute a partire dai consumi di combustibile su base comunale raccolti nel Bollettino Energetico Provinciale (Provincia di Torino, 2010).

Per la legna, si è fatto uso della stima dei consumi e delle informazioni relative ai dispositivi termici raccolti in RENERFOR per la Provincia di Torino (Fracastoro-Crocetta, 2012), mentre sono stati usati i fattori di emissione concordati in AERA (AERA/ALCOTRA, 2012). Rispetto alle categorie SNAP presenti nell'inventario regionale, lo studio RENERFOR attribuisce un maggior consumo di legna al territorio provinciale e una maggior penetrazione di dispositivi più innovativi.

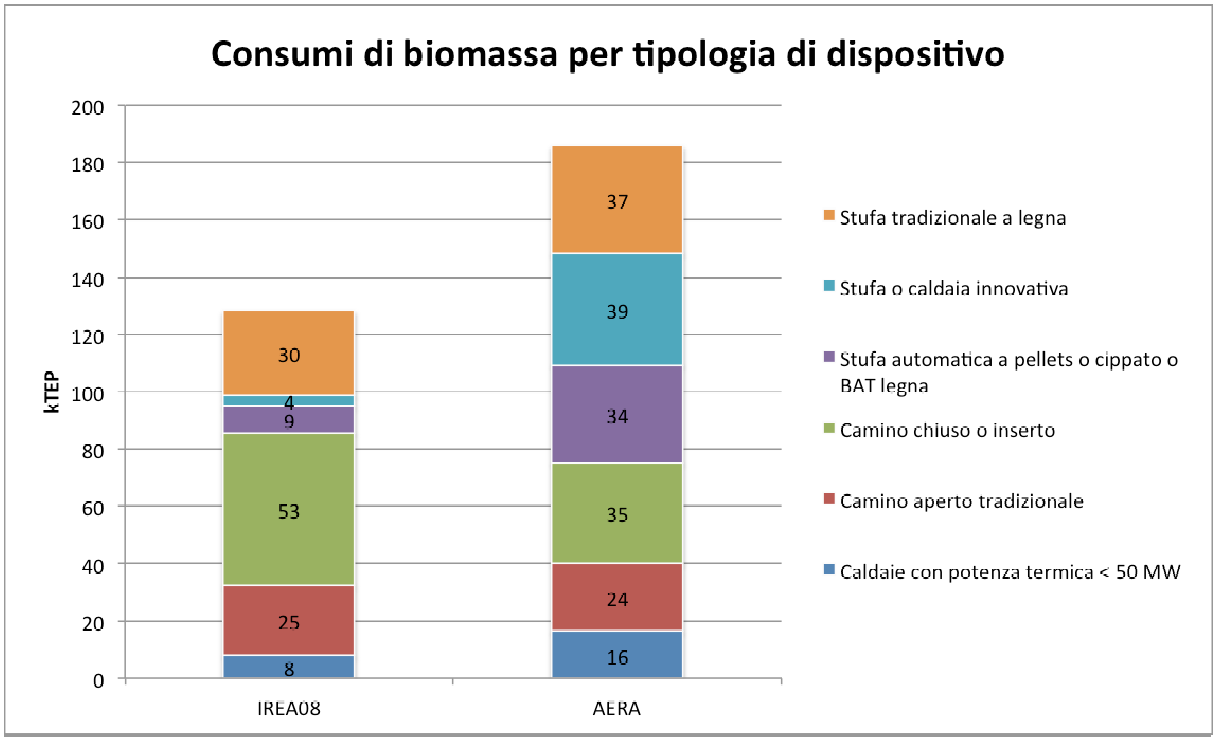

FIGURA 66: ripartizione dei consumi a biomassa nel territorio provinciale in classi SNAP: stima IREA e stima RENERFOR/AERA - Anno 2008.

Le emissioni complessive del riscaldamento sono riportate nella tabella seguente.

IMPIANTO	COMB.	CO	NMVOC	NOx	PM10	PM2,5	SO2
Cal. pot. Termica <50MW	Gasolio	20	3	59	3	3	99
	Metano	1215	243	1847	10	10	24
	Olio comb.	12	7	108	20	18	108
Cal. pot. Termica <50MW	Gpl	29	6	175	1	1	0
Cal. pot. Termica <50MW	Legna	3044	482	46	120	118	10
Camino aperto tradizionale	Legna	6934	2229	59	852	834	11
Camino chiuso o inserto	Legna	7665	1375	91	777	761	17
Stufa automatica a pellets o cippato o BAT legna	Legna	1701	121	128	137	134	16
Stufa o caldaia innovativa	Legna	6072	572	98	448	438	19
Stufa tradizionale a legna	Legna	10192	2195	94	1156	1132	18
TOTALE		**36883**	**7232**	**2706**	**3524**	**3449**	**323**

TABELLA 35: stima delle emissioni degli impianti da riscaldamento domestico e terziario (t/anno)

In questo Macrosettore sono state inserite anche le emissioni delle centrali a biomasse a servizio di piccole reti di teleriscaldamento (Politecnico di Torino/Enea, 2012) ed una stima delle emissioni delle pizzerie con forno a legna.

Per migliorare la spazializzazione delle emissioni, sono state inoltre georeferite le aree servite da reti di teleriscaldamento in modo da allocare più correttamente le emissioni alle aree non raggiunte dal servizio.

Rispetto al Macrosettore 02 presente in IREA07, la nuova stima comporta un aumento consistente di emissioni di tutti gli inquinanti ad eccezione di ossidi di azoto (-10%) e di biossido di zolfo (-43%).

Confronto al totale delle emissioni della provincia di Torino (v. TABELLA 36) si ha un incremento di circa il 40% delle emissioni di PM10, del 34% di quelle di monossido di carbonio e del 14.1% delle emissioni di NMVOC.

CO (t/a)	NH_3 (t/a)	NMVOC (t/a)	NO_x (t/a)	SO_2 (t/a)	PM10 (t/a)	
82606	11484	39879	33058	2217	6537	TOTALE IREA07
28528 (34,5%)	**63** (0,5%)	**5636** (14,1%)	**-322** (-1,0%)	**-244** (-11,0%)	**2651** (40,6%)	AERA – IREA07

TABELLA 36: bilancio emissivo a valle delle modifiche apportate alla combustione non industriale.

Agricoltura: gestione dei reflui zootecnici

L'agricoltura ha un impatto predominante sulle emissioni di ammoniaca, la quale costituisce uno dei precursori del particolato secondario. L'ammoniaca gassosa reagisce in atmosfera con acido nitrico e acido solforico, a loro volta prodotti secondari delle emissioni di ossidi di azoto e di zolfo, con la formazione di sali (nitrato e solfato di ammonio), che costituiscono la frazione inorganica preponderante del PM10.

A partire dai dati presenti in Anagrafe Agricola su base comunale, è stata effettuata una stima delle emissioni di ammoniaca legate alla gestione dei reflui zootecnici, aggiornata al 2008, ed un controllo del bilancio dell'azoto su base comunale, confrontando l'azoto prodotto e la Superficie Agricola Utilizzabile (SAU), tenuto conto dei vincoli imposti allo spandimento nelle Zone Vulnerabili a Nitrati.

Nei comuni in cui risultavano presenti allevamenti con AIA (indicati in giallo nella figura seguente), sono state georeferite le emissioni corrispondenti, stimate considerando le tecnologie di abbattimento impiegate (BAT), e i capi allevati scorporati dal totale comunale.

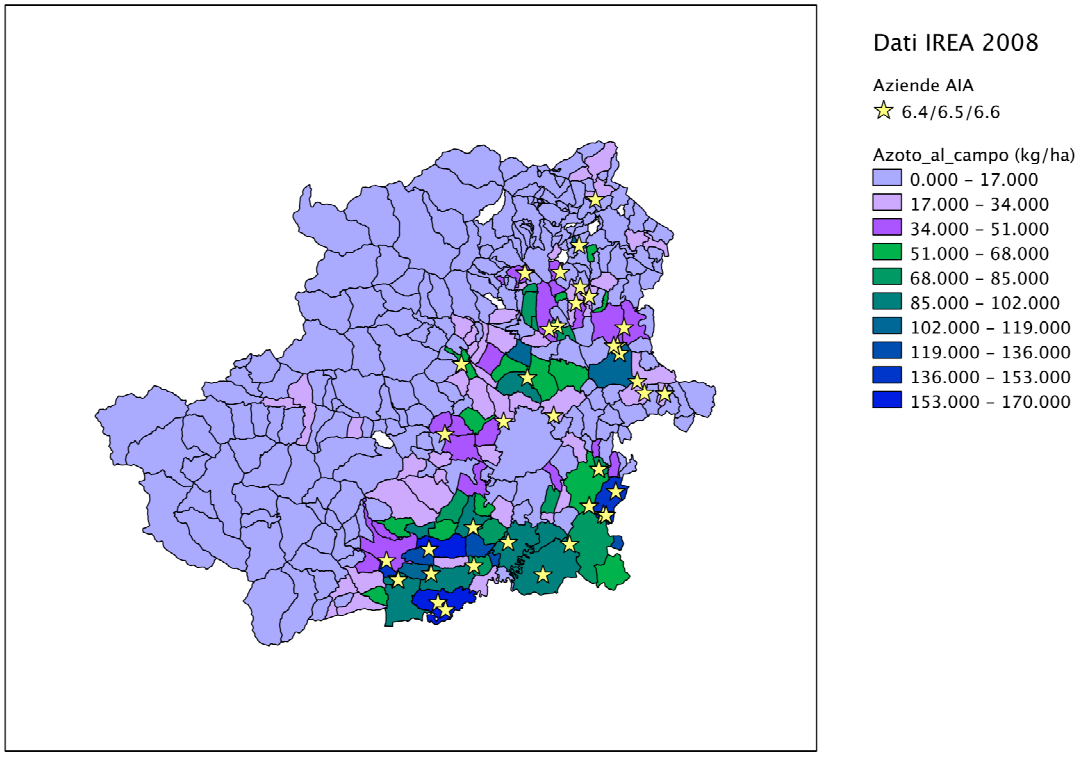

FIGURA 67: quantità di azoto al campo e localizzazione degli allevamenti in possesso di AIA.

Complessivamente, la nuova stima riduce di circa il 3% le emissioni di ammoniaca del Macrosettore 10 (e del 2% le emissioni totali di ammoniaca presenti in inventario).

L'analisi delle informazioni delle aziende in AIA ha mostrato che il 47% delle emissioni da reflui sono associate a stabulazione, il 26% e 27% rispettivamente a stoccaggio e spandimento.

Sulle base delle pratiche agricole locali e dei vincoli normativi, sono stati definiti dei profili di modulazione più realistici per distribuire le emissioni nel corso dell'anno.

Sintesi delle emissioni della Provincia di Torino

Nelle figure seguenti è rappresentato, inquinante per inquinante, il confronto tra la stima AERA e gli inventari IREA07 e IREA08 per le emissioni della Provincia di Torino.

La nuova stima del fabbisogno termico soddisfatta con legna, di fonte RENERFOR, comporta un incremento di emissioni di PM10 e CO, compensando la riduzione delle emissioni da traffico, con ripartizione simile al nuovo inventario regionale IREA08. Anche per i COVNM, rispetto ad iREA07, la nuova stima vede un incremento del contributo del Macrosettore 2 ed un decremento del 7. Nella versione IREA08 invece aumentano i COV di origine naturale, probabilmente per una variazione dei fattori di emissione utilizzati.

Gli ossidi di azoto risultano invece complessivamente ridotti (del 16% rispetto ad IREA07 e del 7% rispetto a IREA08), principalmente a causa della contrazione del Macrosettore 07 nell'approccio bottom-up.

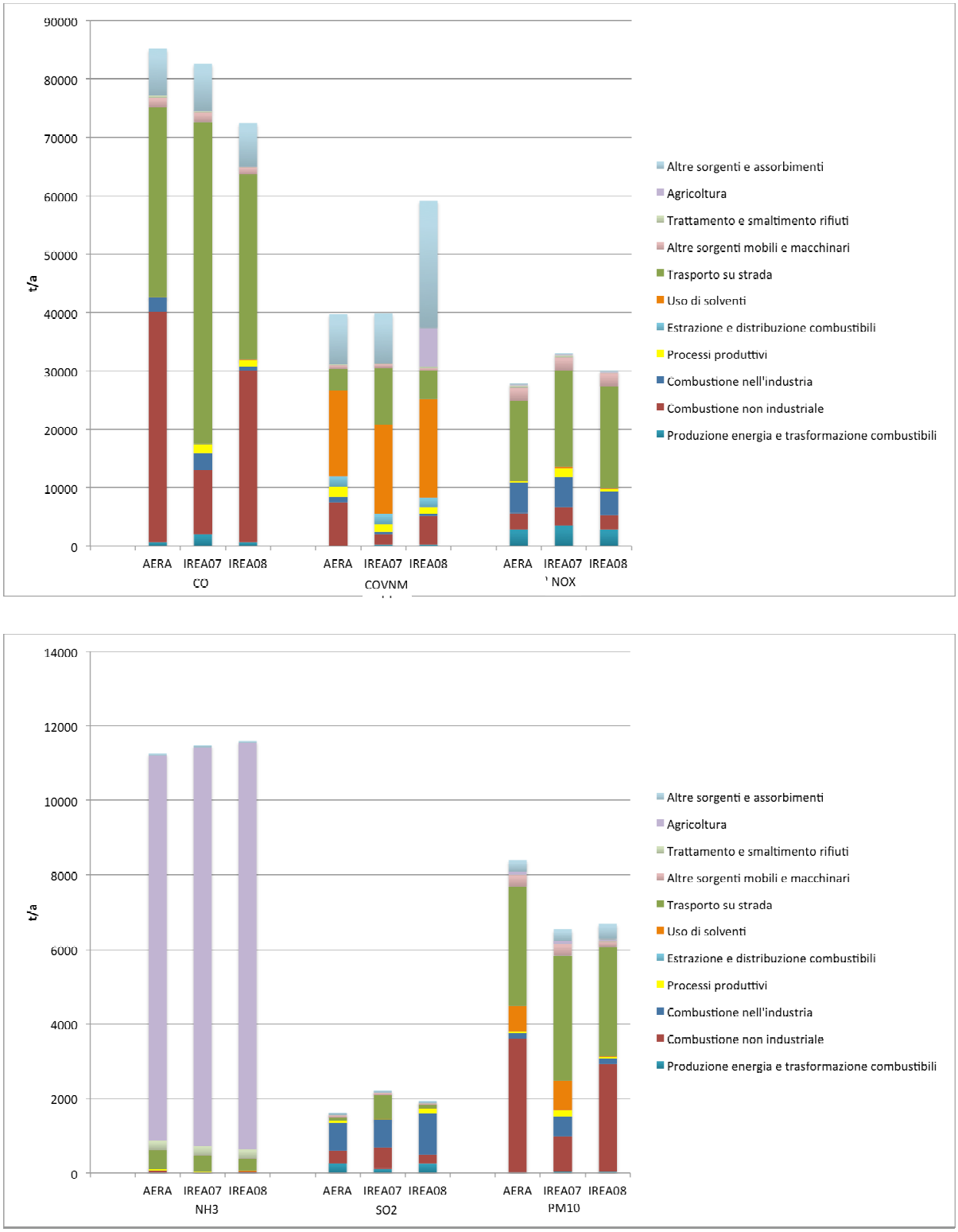

FIGURA 68: Ripartizione delle emissioni totali provinciali per macrosettore SNAP: confronto tra la stima effettuata in questo studio (AERA) e le stime presenti nell'inventario regionale per l'anno 2007 (IREA07) e 2008 (IREA08).

SIMULAZIONI CON DISCESA DI SCALA CON CATENA DIAGNOSTICA (A2)

Lo scopo principale di questa attività è stata:

- la traduzione delle informazioni raccolte e organizzate nel corso dell'attività A1 in un set di dati di input alla catena modellistica utilizzata da Arpa Piemonte per la valutazione annuale e la previsione giornaliera della qualità dell'aria,
- la verifica degli effetti delle modifiche emissive sulla simulazione delle concentrazioni, espressi quantitativamente in termini di indicatori statistici e indicatori di qualità, sia puntuali (confronto con i dati delle centraline di monitoraggio) che spaziali (mappe di concentrazione).

Per i confronti, Arpa Piemonte ha messo a disposizione i dati di input e i risultati orari di due simulazioni annuali relative all'anno 2008, la simulazione a scala regionale sulla griglia a 4 km (VAQ08) e la discesa di scala ad 1 km a parità di input emissivo da inventario regionale (DVQ08).

Aspetti metodologici

L'area su cui sono state condotte le simulazioni con inventario 'ottimizzato' (AERA) copre il territorio della Provincia di Torino e ha le seguenti proprietà:

- coordinate UTM32 del punto SW: (310000, 4950000)
- risoluzione orizzontale: 1000 m
- estensione lungo x: 126 km
- estensione lungo y: 106 km

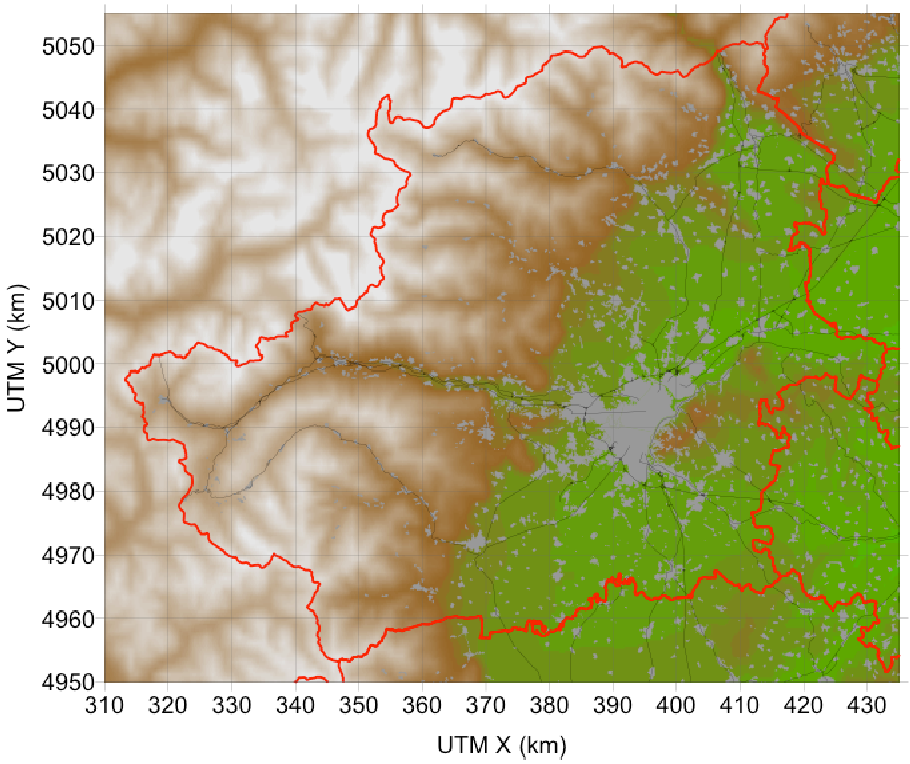

FIGURA 69: Dominio di calcolo: nella mappa sono indicati in rosso i confini provinciali, in nero le principali arterie di comunicazione viaria, in grigio l'estensione delle aree urbanizzate.

Le caratteristiche verticali del dominio sono mutuate dalle simulazioni condotte da Arpa Piemonte: la griglia di calcolo si estende su 16 livelli fino a circa 8000 m di quota, con le altezze di centro cella distribuite rispettivamente a 10, 25, 48, 81, 132, 208, 322, 493, 749, 1133, 1710, 25745, 3872, 5072, 6272, 7472 m rispetto al suolo.

Il codice di calcolo utilizzato è FARM (Flexible Air quality Regional Model) v. 3.1.5, un modello fotochimico euleriano tridimensionale (Silibello et al., 2011), con trasformazioni delle specie chimiche in fase gassosa secondo lo schema SAPRC99 e modulo AERO3 per la trattazione della chimica dell'aerosol (parte inorganica ed organica). La rimozione degli inquinanti avviene per deposizione secca, che dipende dalla meteorologia locale e dall'uso del suolo, e deposizione

umida attraverso i meccanismi di scavenging. Il modello, che perrmette one- o two-way nesting con un numero arbitrario di griglie computazionali, è stato applicato in configurazione one-way e alimentato con le condizioni al contorno provenienti dalla simulazione a 4 km realizzata da Arpa Piemonte.

Le emissioni sono state fornite in input come campi orari di SO_2, NO_x, NMVOC (speciati a seconda dell'attività SNAP nelle classi previste dal meccanismo chimico SAPRC99), NH_3, CO, PM_{10} (speciato e suddiviso nelle classi dimensionali previste dallo schema AERO3), proiettati sulla griglia di calcolo e modulati nel tempo attraverso il pre-processore Emission Manager.

Il modello è alimentato da campi meteorologici orari 2D/3D relativi al 2008 di vento, temperatura, pressione, copertura nuvolosa ed altezza delle nubi, precipitazioni, diffusività orizzontali e verticali, velocità di deposizione ottenuti alla risoluzione orizzontale di 1 km con applicazione del modello diagnostico MINERVE/SWIFT e dal modello di turbolenza SURFPRO.

I campi orari di concentrazione ai bordi e al top del dominio tridimensionale (condizioni al contorno) sono stati preparati a partire dai risultati della simulazione a scala regionale su griglia a 4 km di risoluzione realizzata da Arpa Piemonte (DVQ08).

Simulazione annuale con input emissivo ottimale (AERA) e confronti

Il progetto si proponeva di valutare i benefici che si possono ottenere nella simulazione modellistica della qualità a scala locale (1 km) accompagnando la discesa di scala con un'ottimizzazione dell'input emissivo, in una prospettiva di inventario delle emissioni provinciale.

Sono stati quindi analizzate tre simulazioni di durata annuale: la simulazione a scala regionale di Arpa Piemonte (4 km, VAQ08), la discesa di scala ad 1 km con stesso input emissivo da inventario regionale (DVQ08) e la simulazione ad 1 km con inventario 'ottimizzato' su scala provinciale (AERA). Per evidenziare separatamente l'effetto delle modifiche ai singoli comparti emissivi (industria, combustione non industriale, traffico ed agricoltura) sono stati preliminarmente effettuati dei test di durata mensile (uno estivo ed uno invernale) alterando le emissioni di un comparto alla volta.

I risultati dei test sui diversi comparti emissivi mostrano in sintesi come la nuova stima delle emissioni della combustione non industriale porti ad un miglioramento nella riproduzione dei valori misurati generalizzata all'intero territorio provinciale, mentre la revisione delle sorgenti industriali ha effetti rivelabili presso pochi siti di misura (es. Torino Lingotto), posti più in prossimità delle sorgenti localizzate su cui si è agito. Per quanto riguarda il traffico, la trattazione delle emissioni a partire dal grafo lineare evidenzia un generale peggioramento, particolarmente evidente proprio nei siti di misura di traffico della città di Torino, mentre appaiono limitati miglioramenti nelle stazioni della prima cintura. Il test specifico condotto sulla frazione di NO_2 direttamente emesso dai veicoli mostra una più realistica riproduzione dei picchi orari di concentrazione nelle ore di punta dei mesi invernali. La revisione delle emissioni di ammoniaca associate alla gestione dei reflui zootecnici, con una definizione più puntuale delle aziende più impattanti sul territorio provinciale, una migliore definizione dei profili temporali delle attività di stabulazione, spandimento e stoccaggio e una più precisa attribuzione alle superfici agricole, non conduce invece a variazioni apprezzabili nelle concentrazioni di PM_{10} durante i periodi di test.

Per quanto riguarda invece i run annuali, il confronto con I dati rilevati dalle centraline di monitoraggio (cfr.FIGURA 70) indica come, seppur in presenza di una generale sottostima, in particolare per il parametro PM_{10}, la sola discesa di scala non porti necessariamente ad un miglioramento univoco della descrizione modellistica, in particolare all'estremità dell'area metropolitana, dove a risoluzione più lasca sono presenti in parte le emissioni di Torino.

L'insieme delle modifiche apportate alle emissioni conduce complessivamente ad una migliore descrizione delle concentrazioni nei siti di fondo, urbano e suburbano rispetto alla sola discesa di scala, in particolare nei siti esterni all'area metropolitana.

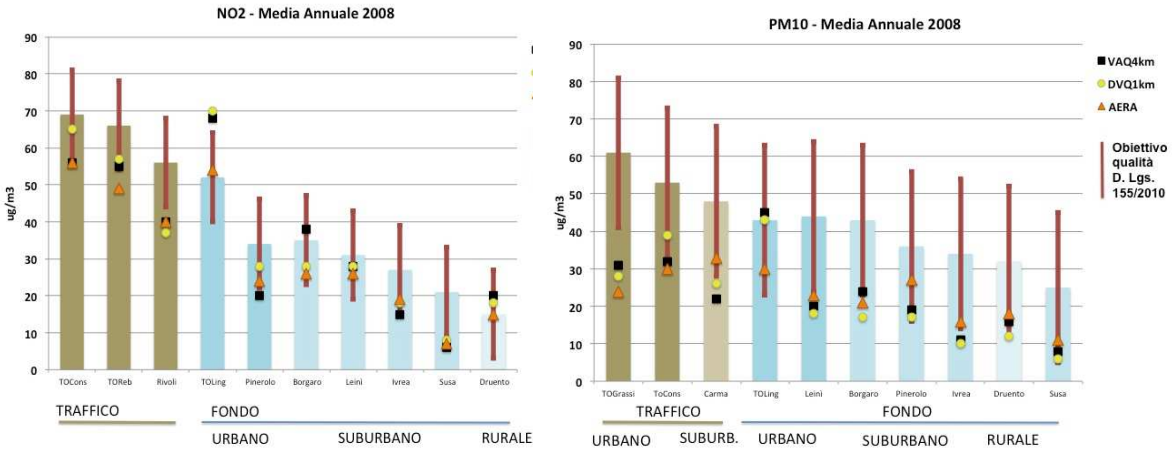

FIGURA 70: Confronto tra I valori misurati e i valori simulati presso le centraline della rete di monitoraggio – Anno 2008.

Nei siti di traffico urbano, invece, si evidenzia un peggioramento rispetto alla semplice discesa di scala, dovuto al ridimensionamento notevole delle emissioni di tutti gli inquinanti derivante dalla stima del traffico a partire dal grafo disponibile presso la Provincia, già evidenziata nelle simulazioni di test; si sottolinea tuttavia l'importanza di una descrizione di dettaglio di tale settore, per correlare in modo verosimile la distribuzione delle concentrazioni nello spazio con i cambiamenti legati alle politiche e alle misure sulla mobilità.

Anche a livello di distribuzione spaziale, la simulazione AERA08 mostra al di fuori dell'area metropolitana valori generalmente più alti, in particolare lungo le arterie di comunicazione per l'NO_2 (FIGURA 71) e nei centri abitati per il PM10 (FIGURA 72). A Torino si ha un ridimensionamento dei valori massimi, principalmente legati ad emissioni industriali. Nel caso del biossido di azoto, l'area di superamento del valore limite annuale assume una forma più realistica.

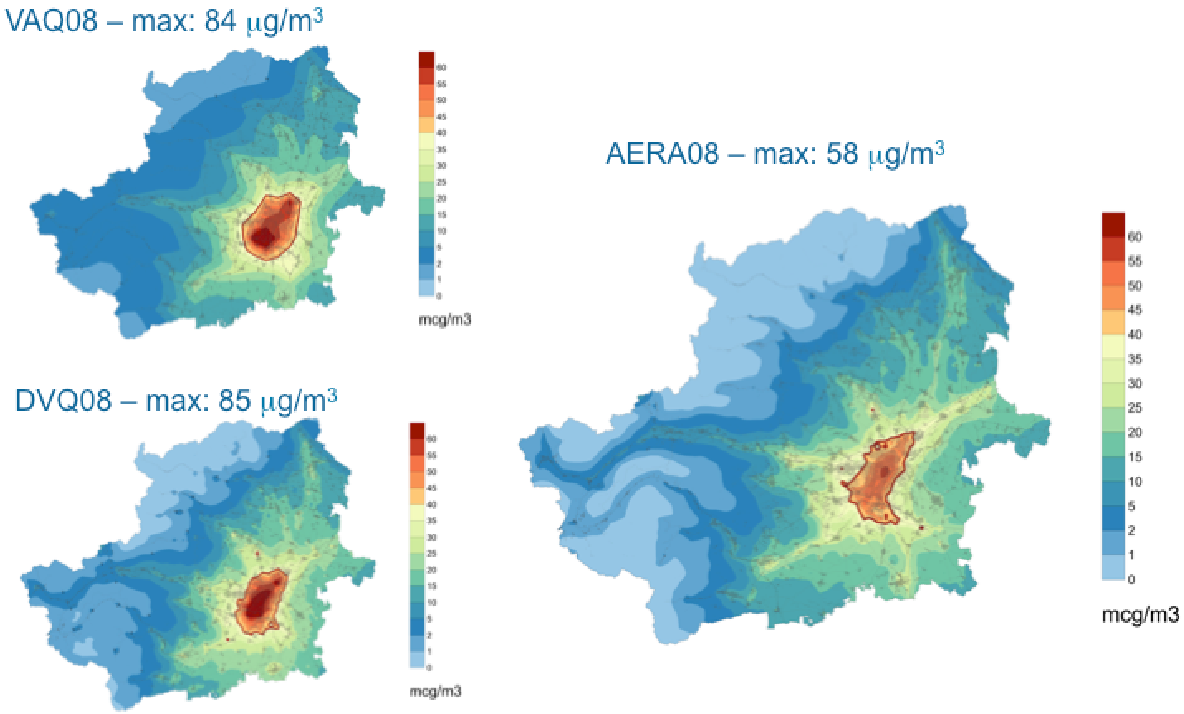

FIGURA 71: Concentrazione media annuale di biossido di azoto – Anno 2008.

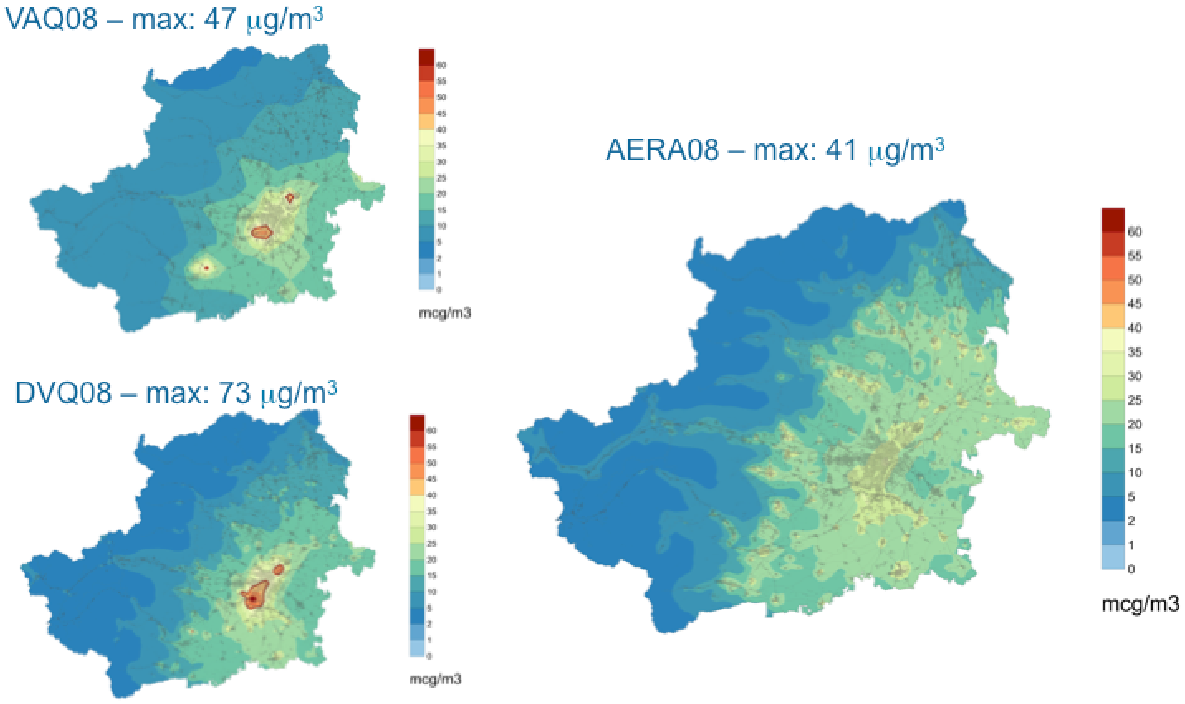

FIGURA 72: Concentrazione media annuale di PM10 – Anno 2008.

Oltre alla riproducibilità dei parametri statistici di lungo periodo, la simulazione 'ottimizzata' mostra una migliore aderenza alla misura in termini della variabilità temporale, sia in termini di distribuzione oraria che mensile nei siti di fondo, come mostrato nella figura seguente.

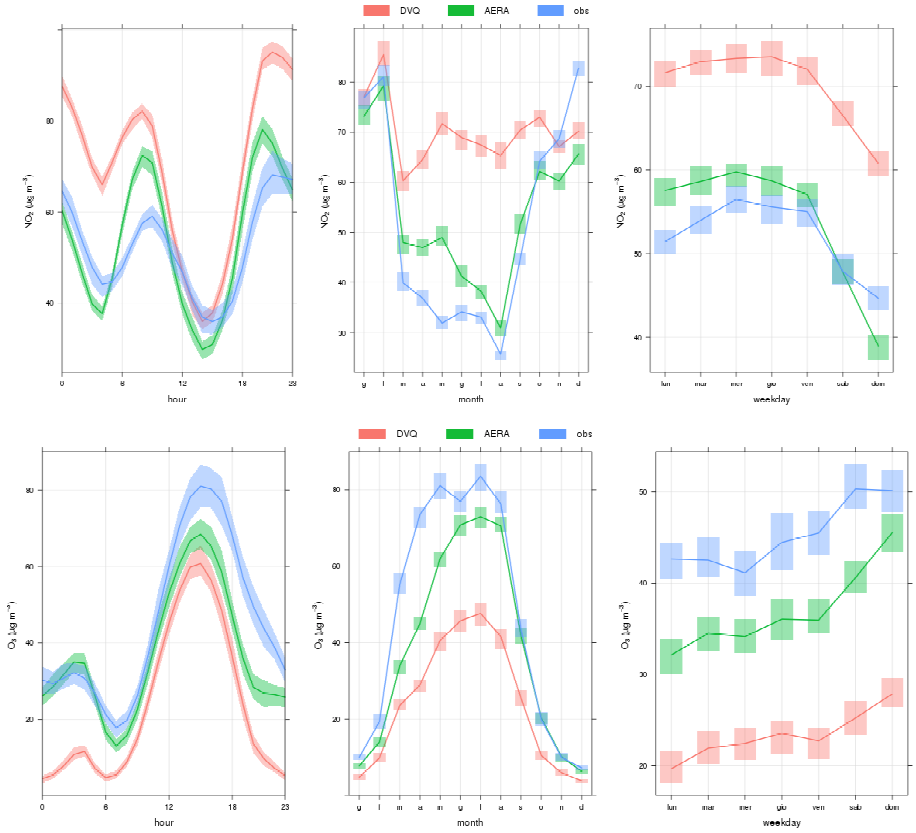

FIGURA 73: Confronto tra le concentrazioni di NO_2 e O_3 misurate (in blu), ottenute a 1 km con l'inventario standard (in rosso) e con l'inventario 'ottimizzato' (in verde) presso il sito di fondo urbano di Torino Lingotto. Da sinistra a destra: giorno medio, medie mensili e settimana media.

IMPLEMENTAZIONI ALLA CATENA OPERATIVA PREVISIONALE (A3)

In collaborazione con Arpa Piemonte, responsabile di una catena prognostica operativa sull'area metropolitana torinese, sono state esplorate alcune possibili integrazioni all'attuale sistema di previsione della qualità dell'aria.

Modellazione dinamica delle emissioni da riscaldamento civile in risposta alle anomalie termiche rispetto alla media climatologica

Nelle simulazioni VAQ e previsionali le emissioni da riscaldamento sono attualmente modulate su base oraria con profili diversificati per fasce altimetriche e basati sull'analisi delle temperature dell'anno tipo. Su base annuale invece, l'emissione dipende dai consumi di combustibili (stimati attraverso i dati di vendita o il fabbisogno energetico) dell'anno rispetto al quale si riferisce l'inventario in uso.

La variabilità meteorologica (interannuale e di breve periodo) può provocare invece differenze anche sensibili sia nella distribuzione temporale dei giorni più freddi, sia nella estensione e intensità dei periodi freddi.

In una catena prognostica, che è basata sulla conoscenza anticipata delle condizioni meteorologiche che si presenteranno nei giorni a seguire, è ragionevole cercare di definire una rimodulazione dell'emissione in funzione della temperatura prevista rispetto alla temperatura dell'anno di inventario di base, senza conservazione dell'emissione annuale totale. In questo modo si potrebbe tenere conto del maggiore carico emissivo che si verifica in inverni molto freddi o, al contrario, delle emissioni più contenute durante periodi più caldi della media.

In tale contesto è stata dunque messa a punto e sperimentata una possibile metodologia per la modellazione dinamica delle emissioni in funzione delle anomalie termiche in corso. Il metodo si basa sul calcolo dei gradi-giorno, effettuato su temperature "climatologiche" relative ad un periodo o anno di riferimento, poi corretto per il periodo in corso sulla base delle temperature giornaliere correnti; le temperature "climatologiche" e "correnti" vengono entrambe assegnate sotto forma di campi al suolo su griglia, per omogeneità nel confronto.

La modulazione lungo l'anno delle emissioni da riscaldamento secondo un profilo di temperature di riferimento risulta in tal modo corretta sulla base degli scostamenti delle temperature attuali da quelle di riferimento; le peculiarità climatiche del territorio vengono veicolate attraverso i campi di temperatura. E' preferibile che l'archivio di campi di temperature utilizzato per il calcolo dei profili di modulazione "a priori" si riferisca all'anno di riferimento dell'inventario, in modo da legare più strettamente e coerentemente l'andamento delle temperature ai consumi alla base della stima delle emissioni.

Nel calcolo viene considerato l'ulteriore vincolo relativo al periodo di accensione del riscaldamento, dettato dall'appartenenza di ciascun comune ad una determinata fascia climatica, secondo quanto stabilito dalla normativa italiana.

La metodologia è stata sottoposta ad un test funzionale preliminare sul dominio della DVQ08, considerando le emissioni da riscaldamento dell'inventario IREA 2008, come temperature orarie correnti l'archivio messo a punto per la DVQ08 e come temperature 'di riferimento' i dati dell'archivio del Progetto nazionale MINNI relativi al 2005. Le figure successive mostrano l'effetto complessivo per il mese di gennaio: le emissioni medie di ossidi di azoto risultanti dall'applicazione dei profili di modulazioni predefiniti utilizzati finora, associati alle fasce altimetriche, le differenze tra la modulazione 'dinamica' e quella 'a priori', e la differenza tra i valori di temperatura medi 'attuali' e 'di riferimento. Nel caso mostrato la differenza risulta positiva nella parte inferiore del dominio (emissioni 'dinamiche' superiori a quelle 'a priori') e negativa nelle altre aree, concordemente alle differenze tra le temperature 'attuali' e 'di riferimento', che mostrano la parte inferiore del dominio più fredda nel periodo in esame rispetto al riferimento preso, e più calde le altre aree.

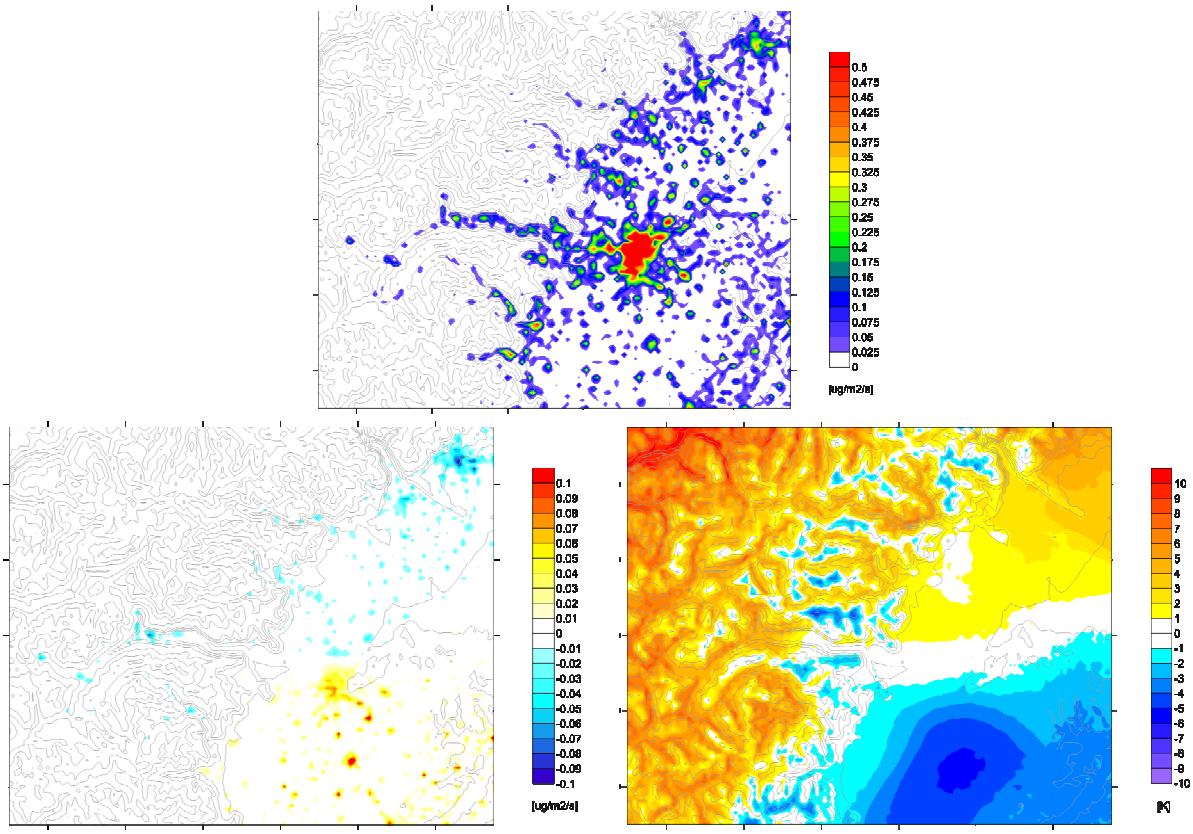

FIGURA 74: In alto: emissioni di NOx dal riscaldamento civile: medie per il mese di gennaio con modulazione 'a priori'. In basso: a sinistra, differenza media per il mese di gennaio tra le emissioni modulate in modo 'dinamico' e 'a priori'; a destra, differenza tra valori 'attuali' e 'di riferimento' per le temperature medie al suolo per il mese di gennaio.

Su periodi specifici le differenze possono risultare consistenti, come mostra il confronto tra le serie temporali delle emissioni complessive giornaliere per l'intero dominio calcolate con il metodo 'a priori' e con quello 'dinamico' (figura successiva).

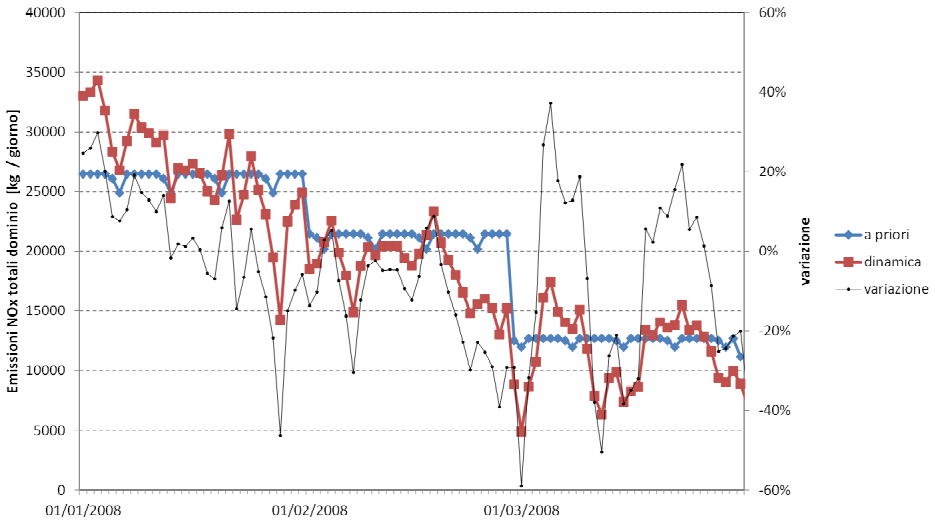

FIGURA 75: Emissioni totali giornaliere di NOx da riscaldamento per l'intero dominio: confronto tra emissioni modulate con i profili mensili 'a priori' e con la correzione 'dinamica' basata sulle temperature.

Un analogo confronto tra ì due metodi in punti specifici del territorio mostra come localmente le differenze posso essere anche superiori. Tuttavia nel caso considerato l'applicazione del metodo 'dinamico' non porta ad una deriva sistematica delle emissioni complessive: la variazione tra le emissioni totali per l'intero dominio calcolate con il metodo dinamico e quelle 'a priori' è pari al +3% per il mese di gennaio -5% per l'intero trimestre.

Dal test preliminare condotto appare dunque come la metodologia delineata possa descrivere in modo coerente nello spazio e nel tempo la dipendenza delle emissioni da riscaldamento civile

dalle anomalie termiche, senza produrre tuttavia derive irrealistiche della massa complessiva emessa su tutto il dominio su periodi lunghi. Risulta dunque potenzialmente utilizzabile nel sistema modellistico previsionale sulla base dei dati routinariamente disponibili al suo interno, nonché nelle simulazioni annuali per la valutazione della qualità dell'aria.

Proposta metodologica per la predisposizione di servizi di previsione della qualità dell'aria al di fuori dell'area metropolitana torinese

L'articolo 26 "Informazioni al pubblico" della direttiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa prevede che siano rese disponibili previsioni relative alle aree territoriali potenzialmente interessate dal superamento delle soglie previste per gli inquinanti coperti dalla normativa, nonché la tendenza dei livelli di concentrazione per i giorni a venire (miglioramento, stabilizzazione o peggioramento), il motivo del cambiamento previsto, nonché informazioni relative all'esposizione ed ai possibili effetti sulla salute dei gruppi di popolazione a rischio.

L'attuale Indice di Qualità dell'Aria (IQA) per l'Area Metropolitana di Torino è calcolato a partire dalle concentrazioni grigliate prodotte dalla catena modellistica prognostica sul sottodominio di Torino, con un algoritmo analogo a quello utilizzato per il calcolo a partire dai dati osservati, pesando i valori dei diversi punti griglia con una pesatura che privilegia le aree residenziali o produttive.

La possibilità di rendere operativa la catena prognostica su tutto il territorio provinciale e di disporre di uno strumento di comunicazione sullo stato della qualità dell'aria su area vasta fa sorgere la necessità di definire degli indicatori sintetici per aree al di fuori dell'area metropolitana. L'estensione della metodologia all'intero territorio provinciale necessita peraltro di un'analisi preliminare congiunta dell'IQA desunto sia dalle osservazioni alle stazioni della rete di monitoraggio, sia dai valori forniti dalla catena modellistica. L'analisi, svolta su un periodo di un anno, è volta ad evidenziare da un lato l'aderenza dell'indice calcolato in prossimità dei punti di misura, dall'altro la sua articolazione sul territorio.

In tale contesto è stata dunque dapprima elaborata un'ipotesi di estensione alla provincia di Torino dell'IQA, calcolato a partire dai campi di concentrazione prodotti con la simulazione a 1 km. L'approccio utilizzato è stato mutuato da quello utilizzato per l'indice attualmente in uso sull'area metropolitana torinese, valutandone l'applicabilità a realtà diverse dall'agglomerato urbano esteso su cui esso è stato definito, al fine di mantenerne l'utilità informativa al pubblico.

La prima considerazione in questo senso è che il territorio provinciale copre aree diverse fra loro, sia in termini di densità emissiva (dall'area metropolitana ai piccoli centri alpini), sia in termini di meteorologia e qualità dell'aria (zone di pianura o fondovalle con frequenti inversioni termiche invernali e conseguente aumento delle concentrazioni e superamento dei limiti, aree collinari sottovento rispetto alle emissioni, aree remote con insolazione estiva e formazione di ozono, eccetera), sia per identità socioeconomica (comunità montane, aree non direttamente gravitanti su Torino).

In via preliminare si è quindi deciso di suddividere la provincia in zone che avessero caratteristiche di maggiore omogeneità rispetto alla qualità dell'aria, e significative per i destinatari dell'informazione che si intende fornire. Come punto di partenza è stata utilizzata la proposta di nuova zonizzazione regionale elaborata da ARPA Piemonte nel 2011, che si articola nell'agglomerato torinese esteso a tutti i comuni serviti dall'azienda di trasporto GTT, una fascia di pianura, una collinare e una montana. Tali fasce sono poi state ulteriormente divise seguendo un criterio geografico, per ottenere zone più circoscritte e con un'identità riconoscibile. Tali zone sono state infine in parte accorpate (fig. seguente), mantenendo la divisione fra le aree montane e il resto del territorio, ma unendo le aree collinari alle adiacenti porzioni di pianura e ai comuni dell'agglomerato torinese esteso (area GTT) che non ricadono nell'agglomerato ristretto su cui è calcolato l'IQA di Torino. Ne risultano tre zone montane (valli di Lanzo, Orco, Soana e Chiusella; alta Valsusa; valli Chisone, Germanasca e Pellice), la zona collinare a est di Torino (con l'aggiunta dei comuni collinari dell'agglomerato esteso), tutto il nord torinese unito al Canavese ed Eporediese, il sud unito al Pinerolese, la bassa Valsusa unita ai comuni occidentali dell'agglomerato esteso, oltre alla zona dell'IPQA torinese attuale.

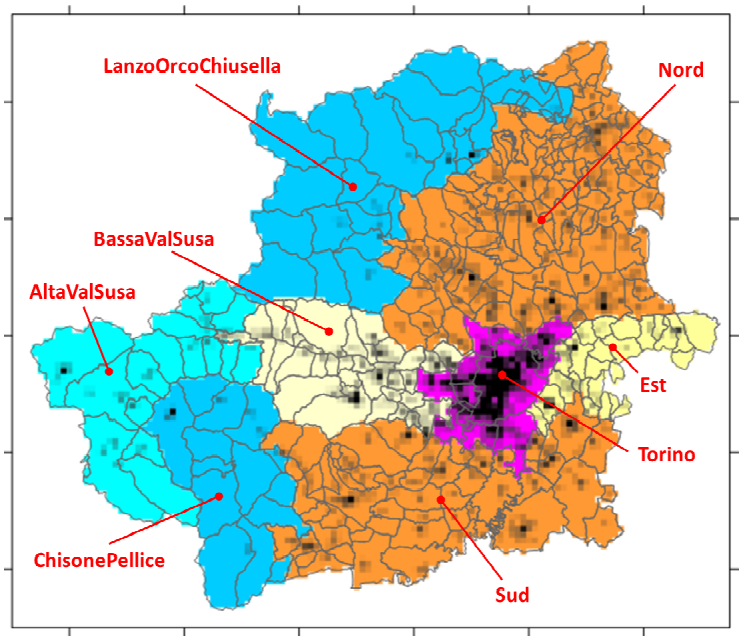

FIGURA 76: Suddivisione in zone proposta per l'indice di qualità dell'aria (in grigio le celle urbanizzate su maglie di 1 km, con gradazione tanto più scura quanto più la percentuale di uso del suolo si avvicina al 100% di urbanizzato).

Oltre alla ridefinizione delle zone, anche il procedimento di calcolo dell'indice di qualità dell'aria subisce una modifica. Il calcolo dell'IQA attuale sulla città di Torino prevede che dei campi di concentrazione calcolati si considerino solamente i valori nei punti griglia che ricadono sulle aree urbanizzate, individuate a partire da mappe di uso del suolo: solo le celle del dominio di calcolo in cui prevale l'edificato sono utilizzate per determinare l'indice, mentre le altre sono scartate. Ciò deriva dall'esigenza di fornire un'informazione che caratterizzi i luoghi dove la maggior parte delle popolazione vive e lavora, ma risulta limitante nel caso delle zone esterne alla città, caratterizzate da maggiori disomogeneità fra urbanizzato ed il resto del territorio, ed a maggior ragione nelle valli alpine, dove la superficie antropizzata è una parte minima del territorio complessivo. Per tenere conto di ciò, l'IQA complessivo per le nuove zone proposte viene dunque calcolato pesando le concentrazioni di tutte le celle comprese nella zona di interesse secondo la frazione di uso del suolo edificato di ciascuna cella.

Una volta calcolati gli IQA sulle diverse zone con il metodo descritto, per valutare quanto gli indici siano rappresentativi nei singoli comuni, è stata confrontata la distribuzione annuale dell'indice di ciascuna zona con quella di ciascuno dei comuni che la compongono. Come termine di paragone sono stati utilizzati i dati di IQA comunale prodotti da ARPA Piemonte, che giornalmente li stima a partire dalla simulazione a 4 km di risoluzione sull'intera regione, con assimilazione dei dati misurati nelle stazioni di monitoraggio (si considera dunque che i campi in questione rappresentino quanto sia attualmente disponibile di più aderente alla realtà riguardo alla qualità dell'aria in provincia di Torino). Il confronto ha evidenziato come nonostante le discrepanze presenti in diverse zone della provincia, le medie annuali degli IQA e delle classi calcolate basandosi sulle due fonti siano coerenti, in particolare nella zona collinare dove non differiscono per più del 20% del limite di legge, corrispondente a circa mezza classe.

Come ulteriore riscontro gli IQA di ciascuna zona sono stati inoltre confrontati con gli analoghi indici calcolati puntualmente a partire dai dati misurati nelle centraline di monitoraggio di ARPA Piemonte in essa situate. Ciò ha confermato la diversa rappresentatività dei due approcci, quello di zona portatore di un'informazione media su un'area vasta, mentre quello relativo ai punti di monitoraggio potenzialmente sempre meno rappresentativi della realtà man mano che ci si allontana dal punto di campionamento.

Nel loro complesso le analisi effettuate mostrano come, al fine della definizione di un indice per la comunicazione sintetica della qualità dell'aria sulle rimanenti aree del territorio provinciale, gli accorpamenti esplorati dei comuni in zone costituiscano insiemi non meno omogenei al loro interno di quanto sia l'agglomerato torinese attualmente impiegato. Ciò accade in particolar modo per le aree di pianura e collina; sulla fascia montana le differenze all'interno delle zone

risultano invece superiori. Queste aree peraltro sono in genere meno affette da episodi critici di inquinamento, se si escludono casi circoscritti a realtà specifiche (es. Susa).

Conclusioni e prospettive

Il progetto si proponeva di valutare i benefici che si possono ottenere nella simulazione modellistica della qualità a scala locale (1 km) accompagnando la discesa di scala con un'ottimizzazione dell'input emissivo, in una prospettiva di inventario provinciale.

L'attività di aggiornamento sulle **sorgenti industriali**, con la definizione di fattori di emissione specifici per ogni impianto analizzato, è confluita nella definizione di un database MS-Access che permette la consultazione delle caratteristiche di impianto e un dimensionamento immediato delle sorgenti negli anni successivi al 2008, sulla base di dati di produzione o di consumo. Su questo fronte sarebbe auspicabile da una parte una piena integrazione con il database che attualmente gestisce l'iter e gli adempimenti autorizzativi presso la Provincia, dall'altra, l'evoluzione verso uno strumento che consenta la definizione di scenari e l'esportazione di file di input emissivi utilizzabili direttamente dal sistema modellistico.

La nuova stima delle emissioni della **combustione non industriale** ha messo in luce differenze notevoli a livello comunale per il gas naturale, dovute all'utilizzo del combustibile erogato e non ripartito con variabili proxy (superfici riscaldate, popolazione residente). La disponibilità di nuove informazioni regolarmente raccolte dai comuni più popolosi aderenti al Patto dei Sindaci suggerisce la transizione verso un metodo misto per la stima delle emissioni di questo comparto, limitando l'uso di variabili proxy ai comuni più piccoli che rappresentano quote di consumo residuale. Sul fronte della biomassa, l'utilizzo di informazioni sul parco di impianti di combustione ha restituito una stima più attendibile e più adatta alla definizione di scenari energetici futuri. Anche in questo caso, resta cruciale la scelta della variabile proxy da utilizzare per la ripartizione del consumo provinciale, che al momento è rappresentata dalle superfici riscaldate mutuate dal censimento ISTAT 2001. Indagini specifiche, anche attraverso il canale scolastico, potrebbero consentire una definizione più realistica dei fattori di utilizzo dei dispositivi nelle diverse zone (area metropolitana, pianura, collina, montagna) e anche della penetrazione della legna in aree tradizionalmente escluse.

L'approccio bottom-up ha restituito emissioni probabilmente sottostimate del **traffico**, evidenziando una notevole sensibilità di questo metodo alla scelta dei parametri quali la velocità di percorrenza sugli archi e le caratteristiche del parco circolante. La possibilità di disporre di informazioni relative alla sola mobilità privata, quali quelle contenute nel grafo provinciale, ha introdotto una certa arbitrarietà nella stima delle emissioni della mobilità commerciale, che costituiscono una percentuale importante delle emissioni complessive. In particolare, riguardo alla stima delle emissioni del traffico urbano diffuso in un territorio così vasto e con caratteristiche di spostamenti non sistematici così diverse, sarebbe opportuno disporre di un grafo multi-modale per differenziare le aree in cui è grande l'offerta di mezzi pubblici. Stante la rilevanza delle emissioni da traffico, anche nella prospettiva dell'utilizzo di modelli di dispersione a risoluzione maggiore o ibridi, è necessario uno sforzo maggiore nella direzione di fonti di informazione più solide e specifiche, quale il ricorso ai dati acquisiti da telecamere in città e tutor fuori città per la conoscenza dei parchi circolanti e delle velocità medie.

Una stima più dettagliata delle emissioni di ammoniaca dal **settore zootecnico** non sembra invece portare apprezzabili benefici nella ricostruzione della qualità dell'aria a scala locale (perlomeno per ciò che riguarda gli inquinanti normati e regolarmente monitorati). Per la rilevanza nella formazione della frazione secondaria del particolato, sarebbe opportuno però affinare la stima delle emissioni di ammoniaca non legate all'agricoltura, sia per quanto riguarda le attività suscettibili di politiche di riduzione (trasporti , industria, rifiuti, etc.), che per quelle umani o naturali, che si concentrano in aree diverse da quelle agricole, dove nella descrizione attuale le emissioni di ammoniaca sono quasi assenti.

Sebbene sia stata prestata una grande attenzione alla distribuzione spaziale e alla modulazione delle emissioni considerate, dal punto di vista del pre-processamento delle emissioni da fornire in input al modello nel prossimo futuro sono auspicabili i seguenti ulteriori miglioramenti:

- trattazione dinamica del plume rise delle sorgenti puntuali tenendo in considerazione temperatura e direzione del vento istantanea;

- predisposizione degli input emissivi di tutte le sorgenti (dunque anche diffuse e lineari) su griglia tridimensionale, per permettere la differenziazione delle diverse tipologie di emissioni (es. riscaldamento, traffico, attività produttive) in termini di altezza media del punto di emissione in atmosfera;
- trattazione "dinamica" delle emissioni da riscaldamento (in funzione delle temperature correnti) e della risospensione da traffico veicolare (in funzione del campo di precipitazione), in questo progetto elaborati solo in termini metodologici.

Per valutare l'effetto delle modifiche sulla simulazione modellistica, sono state analizzate tre simulazioni di durata annuale: la simulazione a scala regionale di Arpa Piemonte (4 km, VAQ08), la discesa di scala ad 1 km a parità di input emissivo da inventario regionale (DVQ08 di Arpa Piemonte) e la simulazione ad 1 km con inventario 'ottimizzato' su scala provinciale (AERA). Per evidenziare separatamente l'effetto delle modifiche ai singoli comparti emissivi sono stati preliminarmente effettuati dei test di durata mensile (uno estivo ed uno invernale), considerando una modifica alla volta.

Complessivamente, l'insieme delle modifiche apportate alle emissioni conduce ad una migliore descrizione delle concentrazioni nei siti di fondo, urbano e suburbano rispetto alla sola discesa di scala, in particolare nei siti esterni all'area metropolitana. Nei siti di traffico urbano, invece, si evidenzia un peggioramento rispetto alla semplice discesa di scala, dovuto al ridimensionamento notevole delle emissioni di tutti gli inquinanti derivante dalla stima del traffico a partire dal grafo disponibile presso la Provincia, evidenziata anche nelle simulazioni di test. Si ritiene tuttavia che l'integrazione delle informazioni legate ad un grafo dettagliato nell'inventario delle emissioni sia fondamentale per correlare in modo verosimile la distribuzione delle concentrazioni nello spazio con i cambiamenti legati alle politiche e alle misure sulla mobilità.

La riproduzione modellistica nelle concentrazioni orarie di biossido di azoto mostra una sottostima dei valori di picco collegati ai flussi di traffico e in generale nelle concentrazioni diurne. Su questo fronte è auspicabile una migliore trattazione delle reazioni fotolitiche, sia utilizzando degli schemi di calcolo dei ratei di fotolisi che tengano conto degli effetti delle particelle di aerosol e gassose presenti in atmosfera, come per esempio il modulo TUV già implementato nel modello FARM ma non utilizzato per questo studio, sia tenendo conto degli effetti 'medi' della canopy urbana (presenza di edifici di varia altezza, rispetto alla larghezza delle strade) sulla radiazione solare rispetto al caso di campo libero.

La tipologia di modello adottata, pur consentendo una completa trattazione della chimica non consente di spingersi alle scale richieste per la riproduzione delle concentrazioni registrate in un sito da traffico, che sono invece rappresentative delle concentrazioni presenti a qualche decina di metri dall'asse stradale. Nell'ottica di integrazione tra misura e modelli delineata dalla Direttiva Europea 2008/50/EU, anche ai fini della progressiva riduzione delle centraline di monitoraggio e dell'ottimizzazione delle reti, è auspicabile l'evoluzione verso un sistema modellistico a multiscala di tipo ibrido che permetta l'individuazione di criticità di tipo hot-spot di traffico.

L'evoluzione verso un sistema di questo tipo non può però prescindere da una trattazione delle emissioni da traffico del tipo 'bottom-up', su grafo lineare anche in ambito urbano, e quindi dall'integrazione di questo approccio di stima delle emissioni con la tradizionale stima 'top-down' degli inventari utilizzati per la valutazione modellistica della qualità dell'aria su scala regionale.

Bibliografia

AERA/ALCOTRA (2012), "AZIONE 4.2 – Risultati dell'armonizzazione delle emissioni di riscaldamento autonomo con il legno", Settembre 2012.

Calori G., Pallavidino L., Prandi R. e Radice P. (2012), "Attività Di Ricerca E Sviluppo Nell'ambito Della Modellistica Integrata Per La Valutazione Della Qualità Dell'aria (AERA/ALCOTRA) - C.I.G. 2380688DDF – Schede tecniche degli impianti industriali - Aggiornamento al 2008", Rapporto SIMULARIA R2012.08.

Calori G., Pallavidino L., Prandi R. e Radice P. (2012b), "Attività Di Ricerca E Sviluppo Nell'ambito Della Modellistica Integrata Per La Valutazione Della Qualità Dell'aria (AERA/ALCOTRA) - C.I.G. 2380688DDF – Relazione finale", Rapporto SIMULARIA R2012.17.

Caserini S., Gaifami M. e Moretti M., (2011), "Stima delle percorrenze di automobili, mezzi leggeri, mezzi pesanti e motocicli in funzione dell'età", http://groupware.sinanet.isprambiente.it/expert_panel/library/ept16/caserini_percorrenze, Expert Panel Emissioni da Trasporti, 20-21 giugno 2011, Milano.

EPA (2011), "AP 42 Section 13.2.1 Paved Roads", Update January 2011.

Fracastoro G. V., Crocetta A. (2012), "Indagine sull'utilizzo di dispositivi termici a fonti energetiche rinnovabili in provincia di Torino", Report RENERFOR, Provincia di Torino/Politecnico di Torino, Settembre 2012.

Nanni A., Radice P. e Smith P. (2009) "TREFIC (Traffic Emiss.ion Factors Improved Caculation) User's guide", Rapporto ARIANET R2009.19.

Ntziachristos L. e Samaras Z. (2009), "Exhaust emissions from road transport", EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2009.

Pallavidino L., Prandi R., P. Costa M., Nanni A., Bertello A., Bracco E., Pavone F., (2011), "Top-down vs. bottom-up approach in delineating traffic role in air quality scenarios", Proceedings of HARMO14 – 14th International Conference on Harmonisation within atmospheric dispersion modeling for regulatory purpose.

Politecnico di Torino/Enea (2012), "Identificazione del parco impianti territoriale degli utilizzi energetici di biomassa legnosa forestale", Rapporto Renerfor 2.1.E, Marzo 2012.

Prandi R., Pallavidino L. (2013), "Attività Di Ricerca E Sviluppo Nell'ambito Della Modellistica Integrata Per La Valutazione Della Qualità Dell'aria (AERA/ALCOTRA) - C.I.G. 2380688DDF - Estensione: Aggiornamento Al 2010 Delle Emissioni Delle Sorgenti Puntuali", Rapporto SIMULARIA R2013.02.

Provincia di Torino (2010), "Settimo Rapporto sull'Energia", Novembre 2010.

Torriani L., Debernardi A. e Ferrara E. (2012), "Sviluppo del modello di simulazione del traffico provinciale (modulo trasporto privato)", Rapporto intermedio, Febbraio 2012.