

Sistema modellistico multiscala per la qualità dell'aria

Stefano Bande
*Dipartimento tematico Sistemi Previsionali – Qualità dell'aria -
Arpa Piemonte*

Questo documento è rilasciato sotto licenza



Creative Commons ‘Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 3.0 Unported’

Sei libero:



di riprodurre, distribuire, comunicare ed esporre in pubblico quest'opera

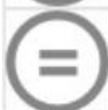
alle seguenti condizioni:



Attribuzione: devi attribuire la paternità dell'opera indicando esplicitamente l'autore e in modo tale da non suggerire che essi avallino te o il modo in cui tu usi l'opera.



Non commerciale: non puoi usare quest'opera per fini commerciali.



Non opere derivate: non puoi alterare o trasformare quest'opera, ne' usarla per crearne un'altra.

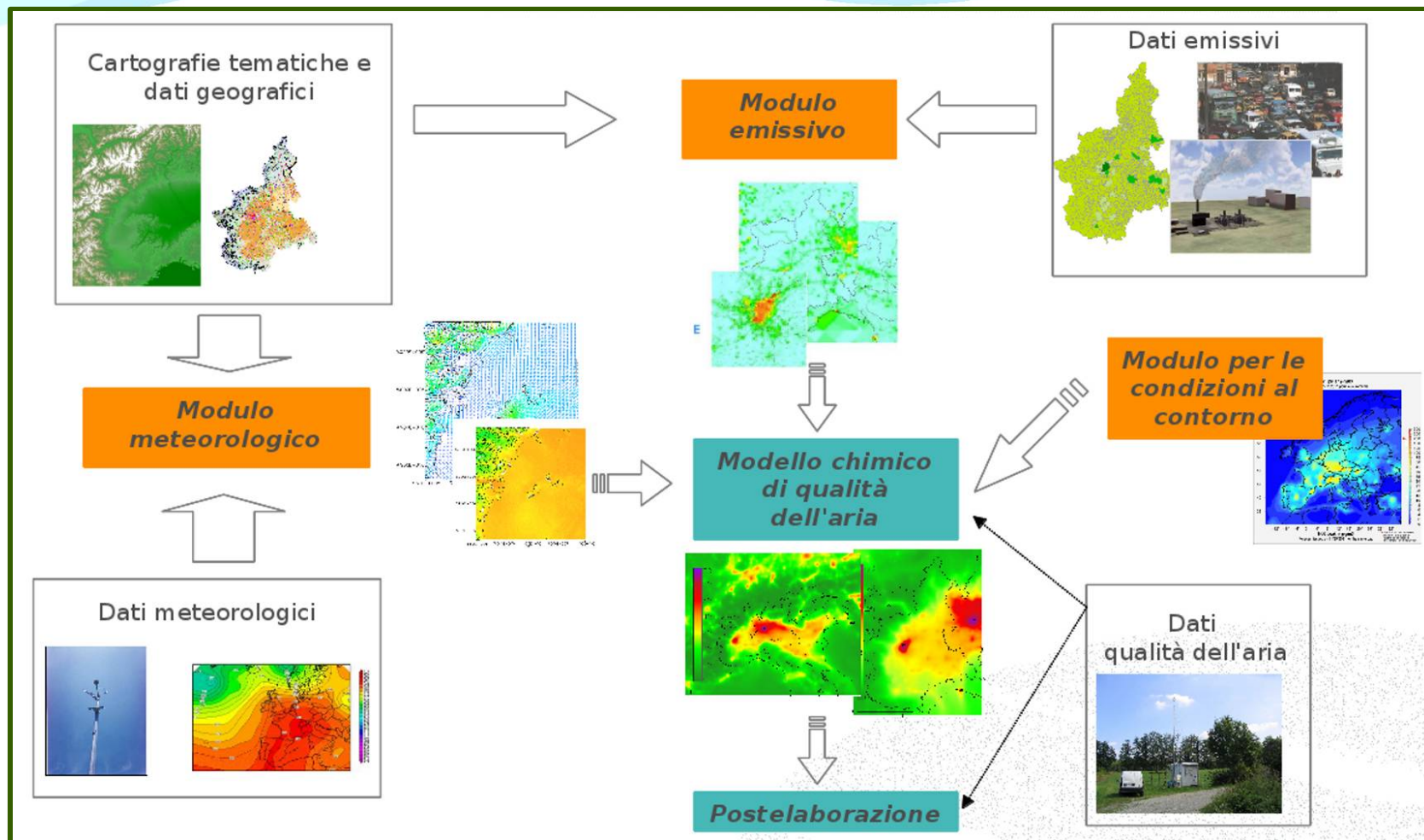
Dettagli sulla licenza utilizzata sono reperibili sul sito <http://creativecommons.org/licenses/>

La Regione Piemonte con *D.G.R 43/2000* ha avviato un processo di *integrazione fra le informazioni derivanti dalla misura degli inquinanti e dall'inventario delle emissioni attraverso l'applicazione di modelli di dispersione*.

ARPA Piemonte, dando seguito al mandato ricevuto ed in collaborazione con **Arianet S.r.l** ha sviluppato specifiche competenze e si è dotata nel corso degli anni di una serie di modelli e di moduli di supporto che coprono i principali ambiti di utilizzo della modellistica:

- ✓ ***modellistica operativa di qualità dell'aria con sviluppo di un sistema basato sull'applicazione dei modelli euleriani di chimica e trasporto, implementato in differenti versioni:***
 - *versione prognostica*
 - *versione diagnostica di lungo periodo*
 - *versione diagnostica near real time.*
- ✓ ***la valutazione dell'incidenza di singole tipologie di sorgenti (puntuali, lineari, areali) a scala locale mediante applicazione:***
 - *di modelli di screening semplificato;*
 - *di un sistema modellistico tridimensionale lagrangiano a particelle o euleriano di chimica e trasporto.*
- ✓ ***analisi di scenario***

Sistema modellistico operativo



Architettura modulare con limitata 'interdipendenza tra le singole componenti
 --> agevoli gli interventi di sviluppo, consolidamento ed ottimizzazione.

Domini di applicazione

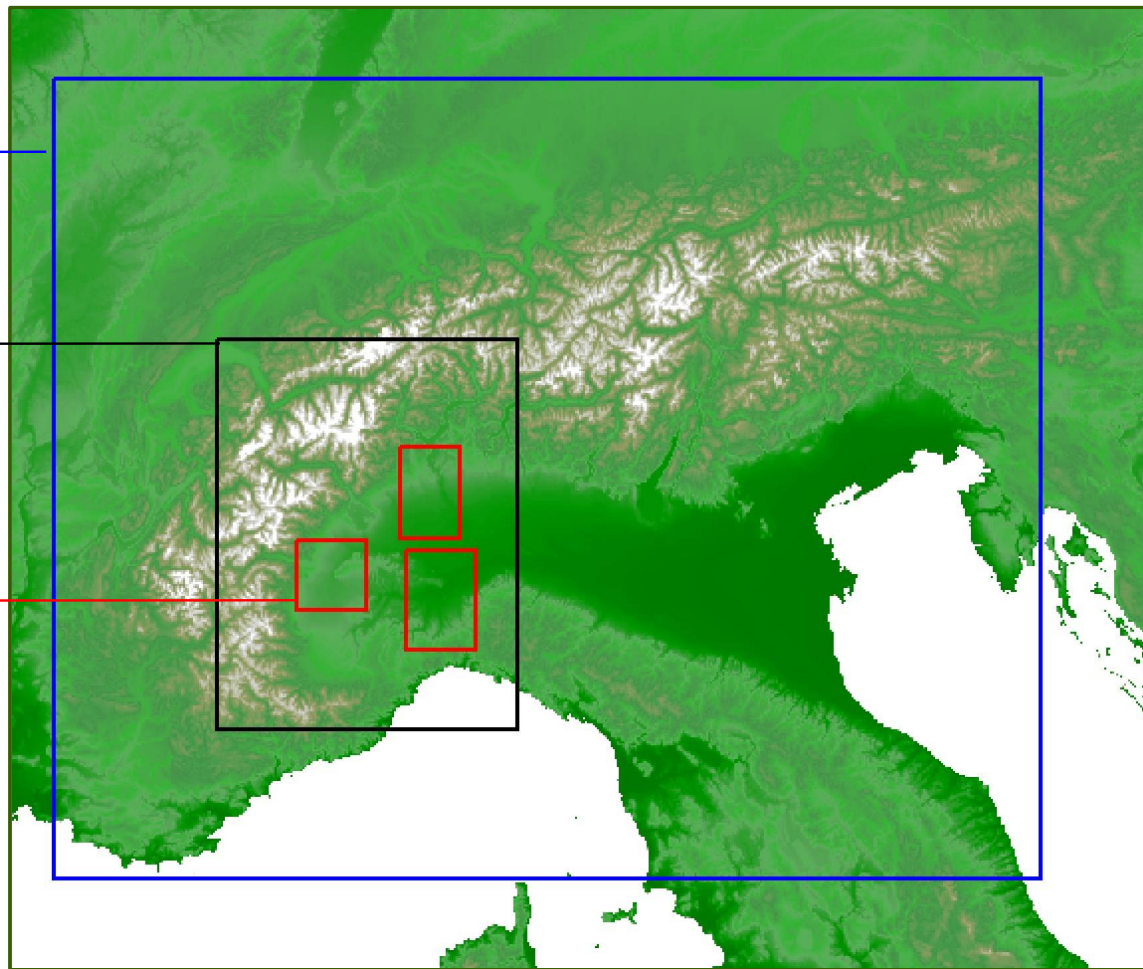
*g1, dominio di background
(risoluzione di 8 km)*

*g2, dominio regionale
(risoluzione di 4 km)*

*g3, Torino, Novara, Alessandria
(risoluzione 1km)*

Griglia verticale:

16 livelli verticali terrain-
following (fino a ~7500 a.g.l)

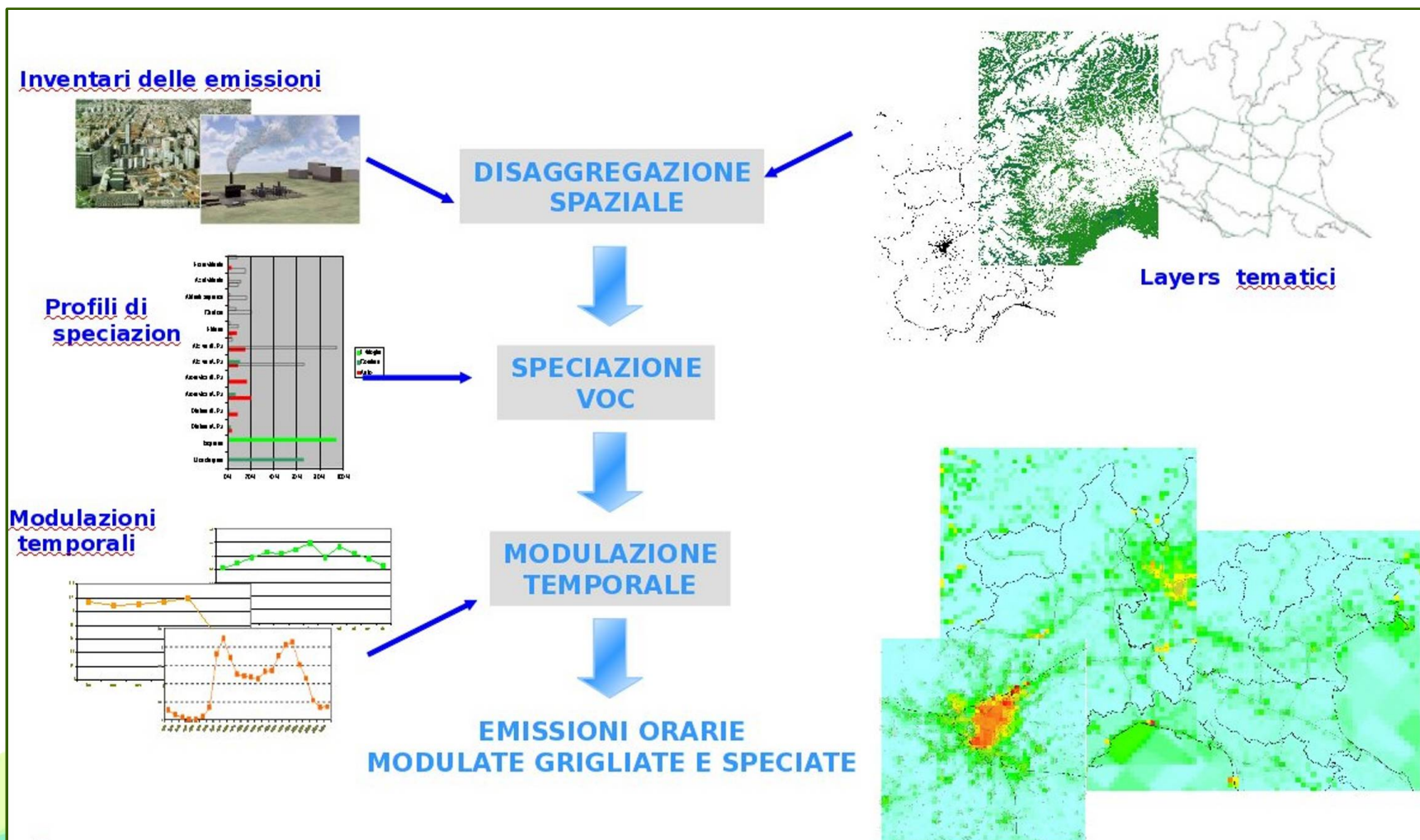


Approccio multiscala:

permette di considerare gli effetti delle sorgenti emissive localizzate al di fuori dei domini *target* e di meglio descrivere i fenomeni caratterizzati da più grandi scale spaziali.

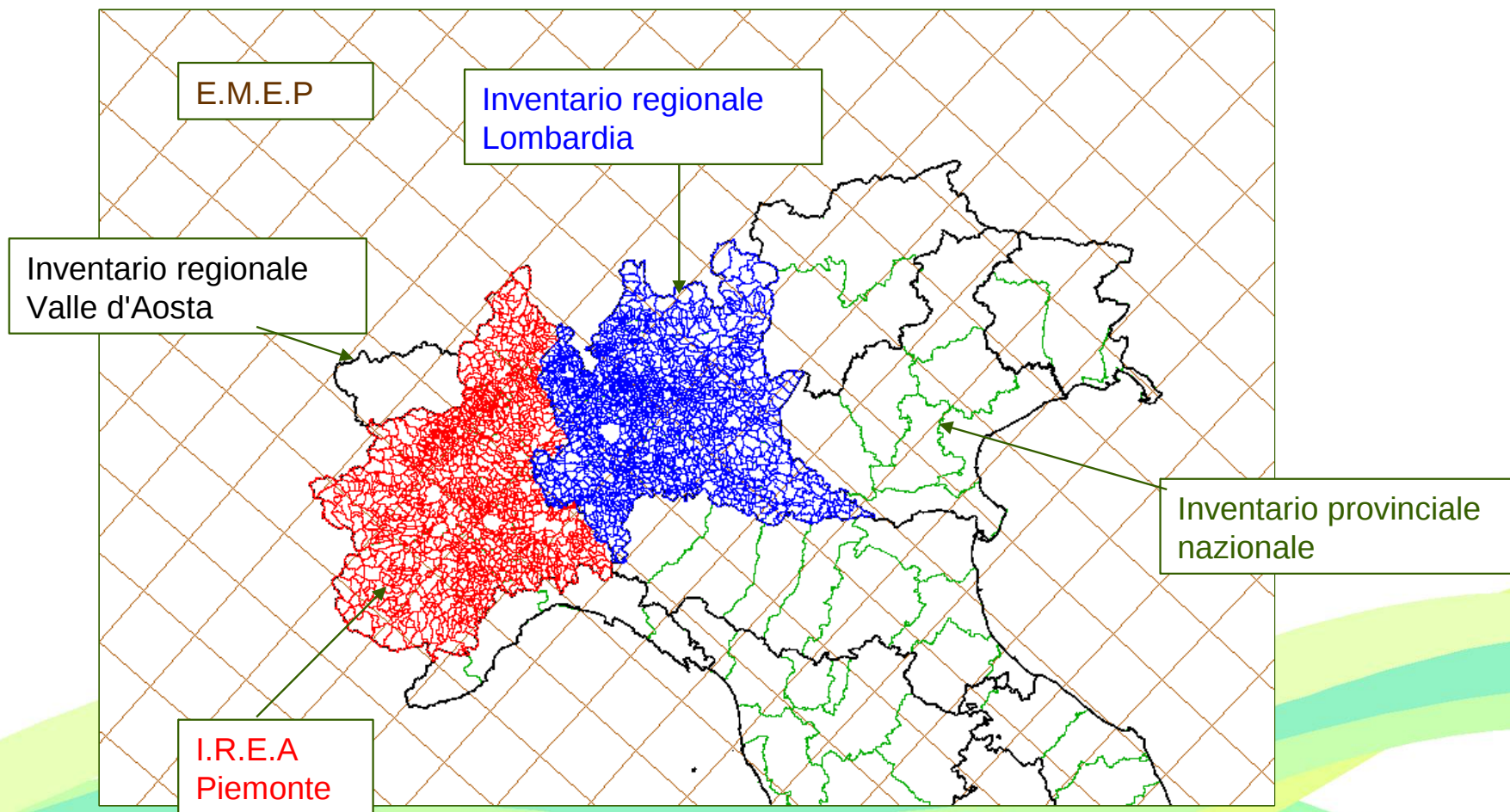
Il modulo emissivo

Le emissioni orarie sulle griglie di calcolo sono prodotte dal modello delle emissioni (EMMA, Arianet) a partire dai dati di inventario disponibili.



Il modulo emissivo

I dati di emissione (puntuali, lineari ed areali) provengono dagli inventari a differente risoluzione disponibili sull'area di interesse:



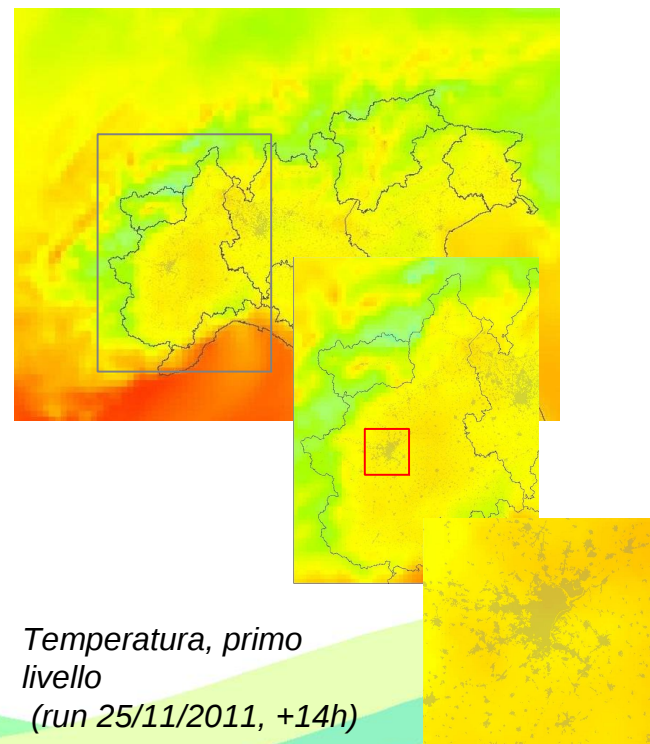
Modulo meteorologico approccio prognostico

Campi meteorologici forniti dal modello numerico di previsione **COSMO-17**, versione italiana di COSMO-MODEL, modello non-idrostatico ad area limitata sviluppato all'interno del consorzio COSMO(**C**onsortium for **S**mall-scale **M**odelling, www.cosmo-model.org)

Corsa operativa delle 00 UTC (72 ore di previsione)

- ✓ ~7 km di risoluzione orizzontale,
- ✓ 41 livelli verticali (utilizzati i primi 25 livelli verticali)
- ✓ campi tridimensionali trionari di vento, temperatura, umidità e pressione; campi bidimensionali di precipitazione e copertura nuvolosa

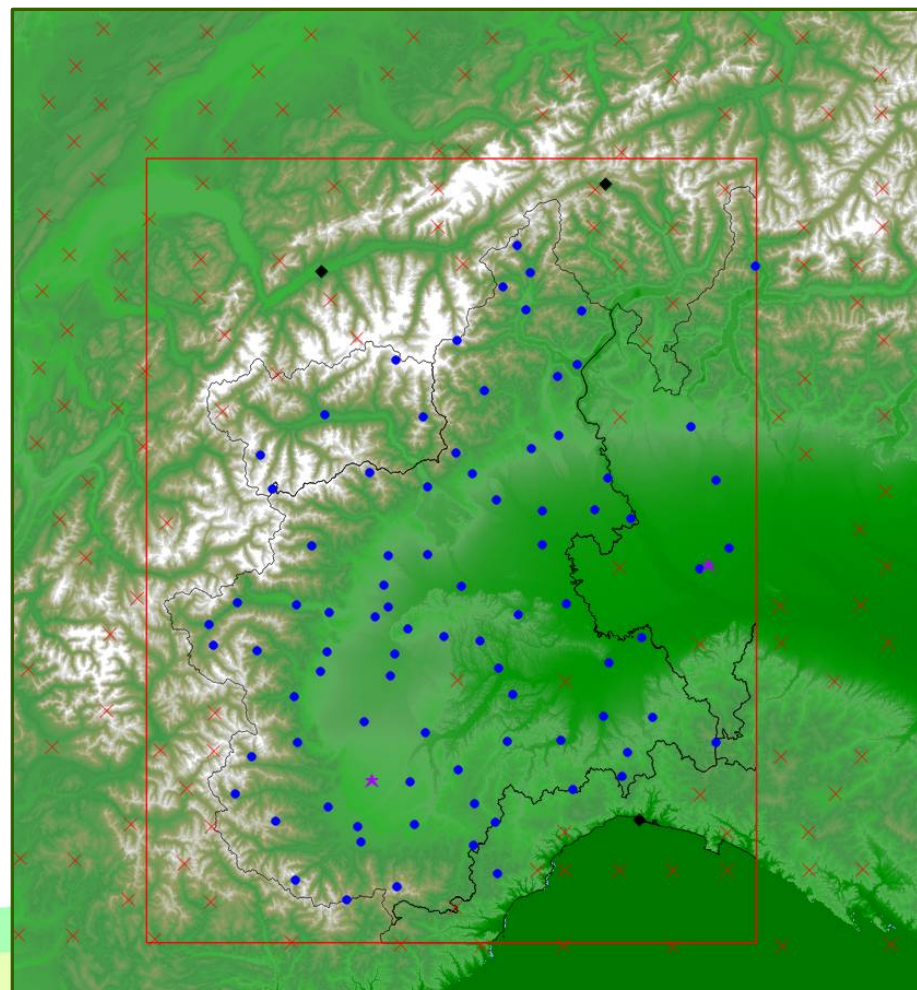
I campi meteorologici di **COSMO-17** sono riportati su tutti i domini di calcolo tramite una opportuna procedura di interpolazione spaziale e temporale (modulo di interfaccia **GAP/TINT**, Arianet).



Modulo meteorologico approccio diagnostico

Le variabili termiche e dinamiche dell'atmosfera sono ottenute con il modello diagnostico **mass-consistent Minerve** (Aria Tech.) basato sulla conservazione della massa e sulla minimizzazione della divergenza del campo di vento, a partire da:

- ✓ **Stazioni al suolo** della rete meteoidrografica di ARPA;
- ✓ **Stazioni al suolo** della rete SYNOP;
- ✓ **Radiosondaggi** di Cuneo Levaldigi e Milano Linate
- ✓ Campi tridimensionali di analisi (risoluzione 0.125°) della **modellistica numerica di E.C.M.W.F** (European Centre for Medium Range Weather Forecasts) sui livelli del modello



Modulo di turbolenza

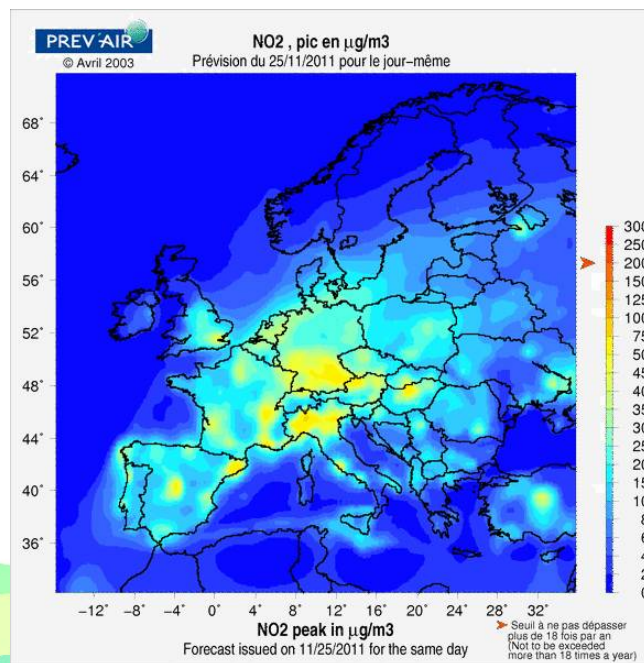
Sia nell'approccio prognostico, sia in quello diagnostico, i parametri di scala della turbolenza, i coefficienti di diffusività turbolento e le velocità di deposizione per ogni dominio sono calcolati dal modello di turbolenza **SurfPRO (Arianet)**, a partire da dati geografici (DEM ed uso del suolo) ad alta risoluzione e dai campi meteorologici.

Modulo per IC/BC

Condizioni contorno sul *dominio di background g1* sono costruite a partire dalle previsioni/analisi a scala continentale prodotte dal modello **CHIMERE** (~50 km di risoluzione orizzontale) messe a disposizione da **Prev'Air European scale air quality system**

(<http://www.prevail.org>)

Nel caso di indisponibilità operativa delle previsioni di CHIMERE, boundary conditions climatologiche a partire dal database PrevAir acquisito operativamente da ARPA a partire dal 2003.



Il modello di chimica e trasporto

FARM (Flexible Air quality Regional Model) modello euleriano di chimica e trasporto sviluppato da Arianet, diffuso a livello nazionale ed internazionale; adottato, tra gli altri, da ENEA, su incarico del MATTM nell'ambito del progetto MINNI (Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale su temi dell'inquinamento atmosferico).

Alcune caratteristiche (http://acm.eionet.europa.eu/databases/MDS/index_html):

- ✓ sorgenti diffuse e le grande sorgenti puntuali con effetto di plume-rise;
- ✓ deposizione secca e di deposizione umida;
- ✓ differenti moduli chimici per la fase gassosa e per il trattamento del particolato, operativamente utilizzato con il meccanismo chimico *SAPRC-99* per la fase gassosa e con il modulo per il particolato *AERO3*, che utilizza un approccio modale, in cui la distribuzione dimensionale delle particelle di aerosol è rappresentata come sovrapposizione di tre distribuzioni lognormali; considera le interazioni tra fase gassosa e particolato (solfati, ammonio, nitrati), nonché i processi dinamici di nucleazione, condensazione e coagulazione delle particelle;
- ✓ One-way e two-way nesting su griglie multiple;
- ✓ Assimilazione on-line dei dati di qualità dell'aria con diverse tecniche;
- ✓ TUV model (Tropospheric Ultraviolet and Visible radiation model; Madronich et al, 1989) per il calcolo dei ratei di fotolisi
- ✓ Parallelizzazione a memoria condivisa con paradigma OpenMp

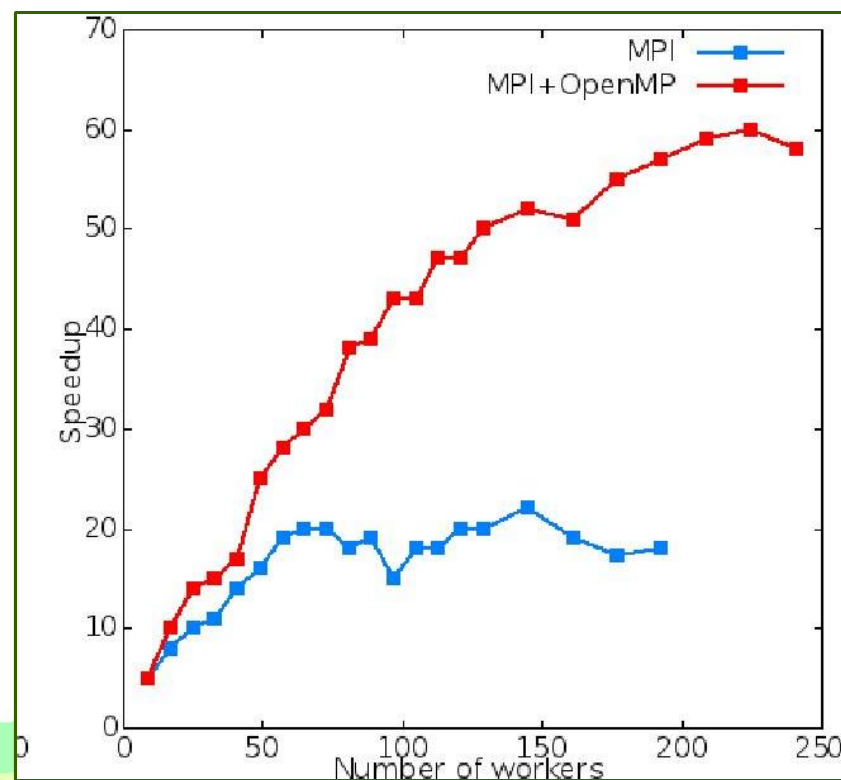
Il modello di chimica e trasporto

ARPA Piemonte si è fatta promotrice di un'iniziativa di collaborazione **con Arianet e con l'High Performance System Group del centro di calcolo CINECA**, per la realizzazione di una più completa versione parallela di FARM, che contempli anche l'utilizzo dei paradigmi MPI e Ibrido OpenMP-MPI.

La versione ottimizzata e potenziata del modello FARM, conterà dunque quattro possibili configurazioni di funzionamento:

seriale,
parallelizzazione OpenMP,
parallelizzazione MPI,
parallelizzazione ibrida (OpenMP-MPI).

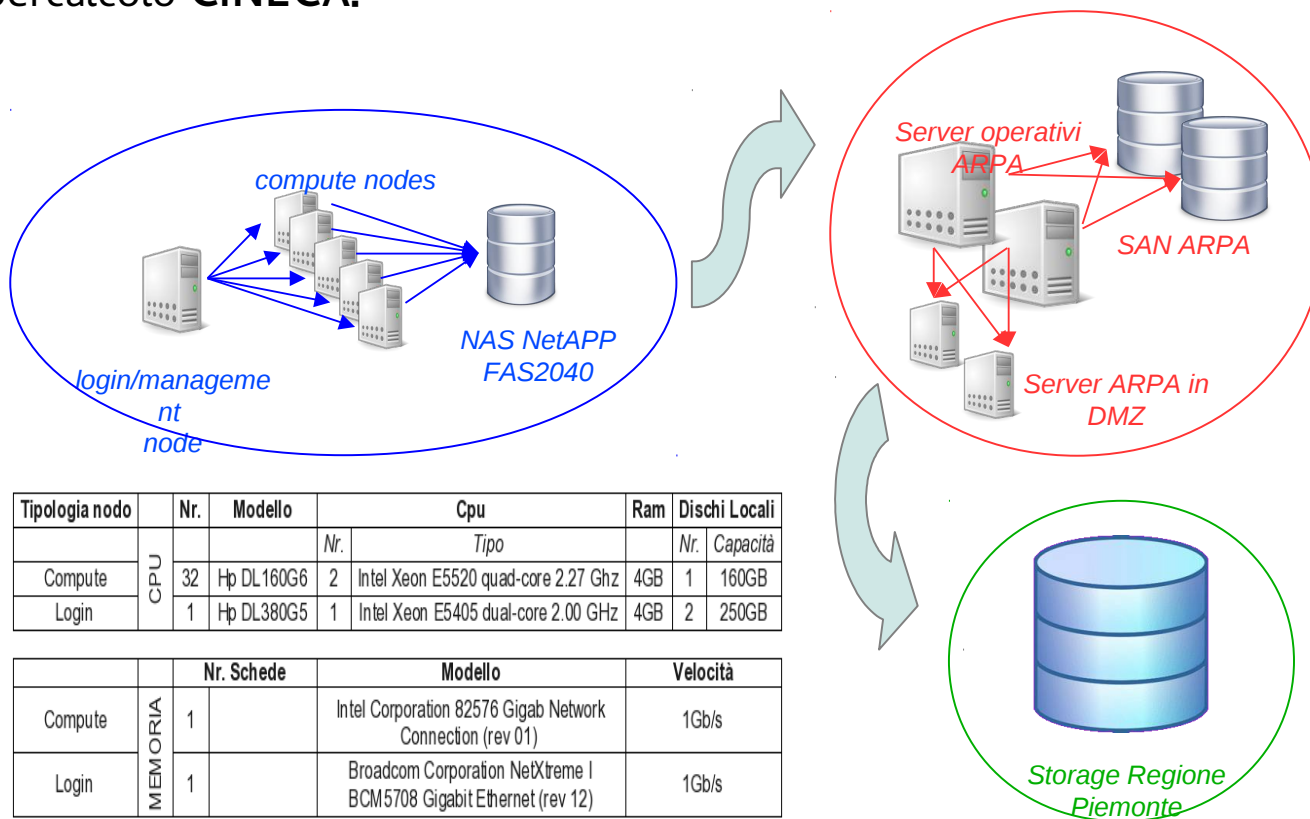
.. e sarà disponibile come **codice sorgente Open-Source**, utilizzabile su differenti piattaforme di calcolo basate su differenti architetture e con diversi compilatori.



Speedup (rapporto tra tempo di calcolo seriale e parallelo) all'aumentare del numero di processi workers (di calcolo)

Il centro di calcolo

Sistema per il calcolo parallelo ad elevate prestazioni di ARPA Piemonte* in housing presso il centro di supercalcolo **CINECA**.

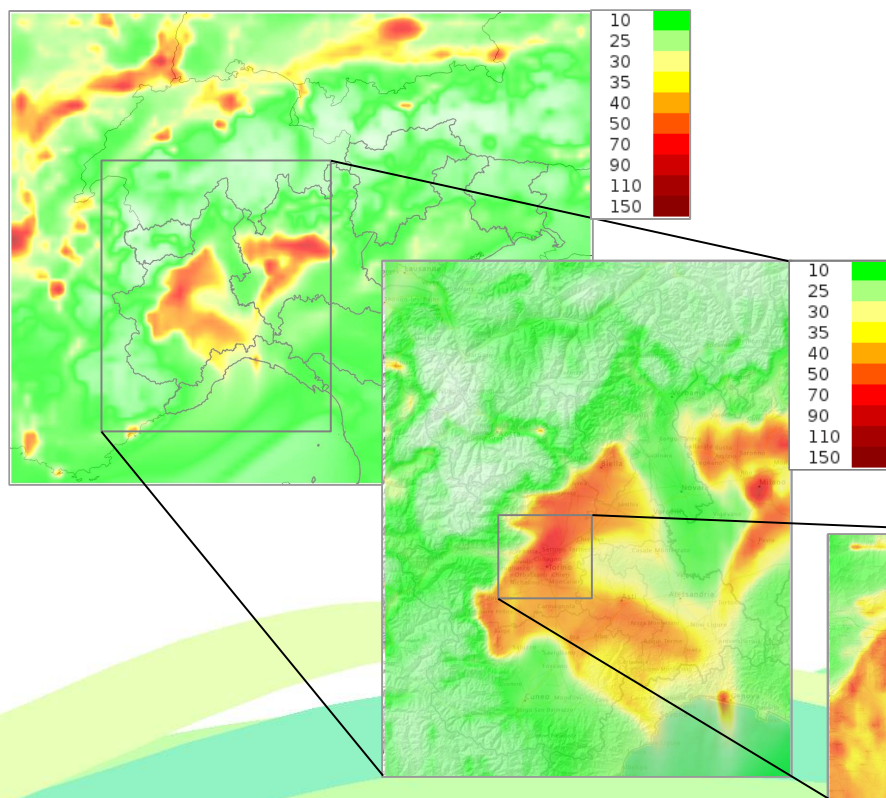


Graduale passaggio a nodi di calcolo dedicati sul nuovo supercomputer PLX-GPU.

**soggetto attuatore del progetto "Sviluppo degli strumenti per la conoscenza, la valutazione e la gestione della qualità dell'aria", finanziato nell'ambito dell'accordo sottoscritto il 31 gennaio 2008 tra Regione Piemonte, Comune di Torino e MATTM*

Sistema operativo prognostico

Il sistema modellistico applicato nella sua versione prognostica è operativo dall'anno 2007 e fornisce quotidianamente ***le previsioni di qualità dell'aria per il giorno in corso ed i due giorni successivi.***



Caratteristiche principali

- ✓ Driver meteorologico: COSMO-I7 per tutti i domini
- ✓ Domini g1, g2, g3 in two-way nesting
- ✓ Corse parallele per ciascun sotto-dominio
- ✓ Configurazioni di FARM: SAPRC-99, AERO3, TUV
- ✓ Inquinanti: SO₂, NO_x, NO₂, CO, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, C₆H₆
- ✓ ***Sistema completamente automatizzato,*** previsioni disponibili entro le ore 08:00 UTC del mattino

Sistema operativo prognostico

Confronto osservato/simulato per il periodo 02/01/2012-31/12/2012, previsioni operative (dominio regionale g2, risoluzione 4km, previsioni +48)

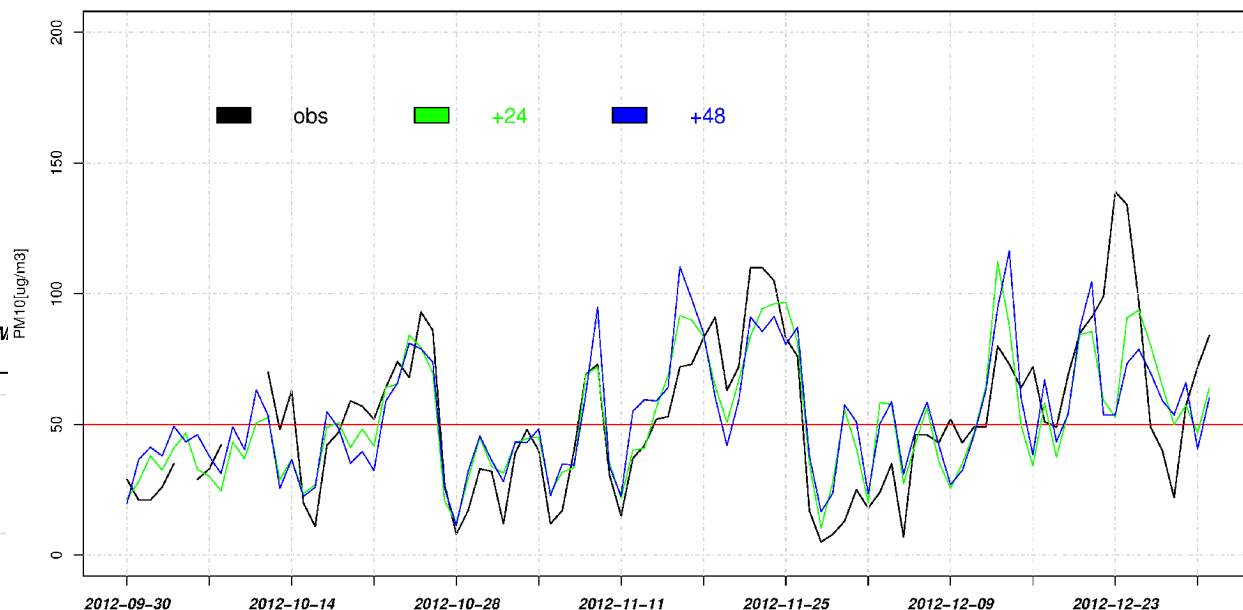
Station	PM ₁₀			NO ₂			O ₃		
	FB	RMSE	ρ	FB	RMSE	ρ	FB	RMSE	ρ
Alba	0,646	25,757	0,528	0,456	18,903	0,596	0,017	23,687	0,852
Alessandria-Volta	0,507	29,968	0,539	0,41	27,266	0,463	-0,069	23,59	0,878
Asti	n.a.	n.a	n.a	0,23	18,231	0,656	0,027	22,758	0,872
Biella	0,312	14,548	0,517	0,11	15,342	0,62	0,09	20,822	0,879
Borgosesia	0,74	19,53	0,497	0,507	15,598	0,526	0,089	24,913	0,844
Cuneo	0,407	19,552	0,323	0,182	20,591	0,327	0,087	20,816	0,847
Cossato	0,599	19,276	0,594	0,424	16,183	0,709	-0,09	23,358	0,823
Dernice	0,385	12,188	0,425	0,4	8,279	0,573	0,014	24,713	0,783
Druento	0,465	20,243	0,426	-0,071	17,899	0,386	0,209	29,943	0,809
Novara-Verdi	0,351	19,863	0,519	0,103	18,729	0,619	0,029	22,923	0,875
Orbassano	n.a.	n.a	n.a	-0,045	21,689	0,535	0,266	31,041	0,808
Torino-Lingotto	0,081	25,222	0,582	-0,394	37,469	0,361	0,309	30,19	0,836
Vercelli-Coni	0,527	24,767	0,478	0,048	16,44	0,555	0,191	26,923	0,873
Verbania	0,587	16,826	0,388	0,427	16,684	0,526	-0,036	21,203	0,862
Vinchio	0,401	19,328	0,583	0,043	9,986	0,685	0,136	30,086	0,802
Vinovo	n.a.	n.a	n.a	-0,02	25,264	0,374	0,143	27,672	0,787
Torino-Consolata	0,245	27,181	0,608	0,006	27,029	0,467	n.a.	n.a.	n.a.

$$FB = 2 \frac{\bar{O} - \bar{P}}{\bar{O} + \bar{P}} ; RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}$$

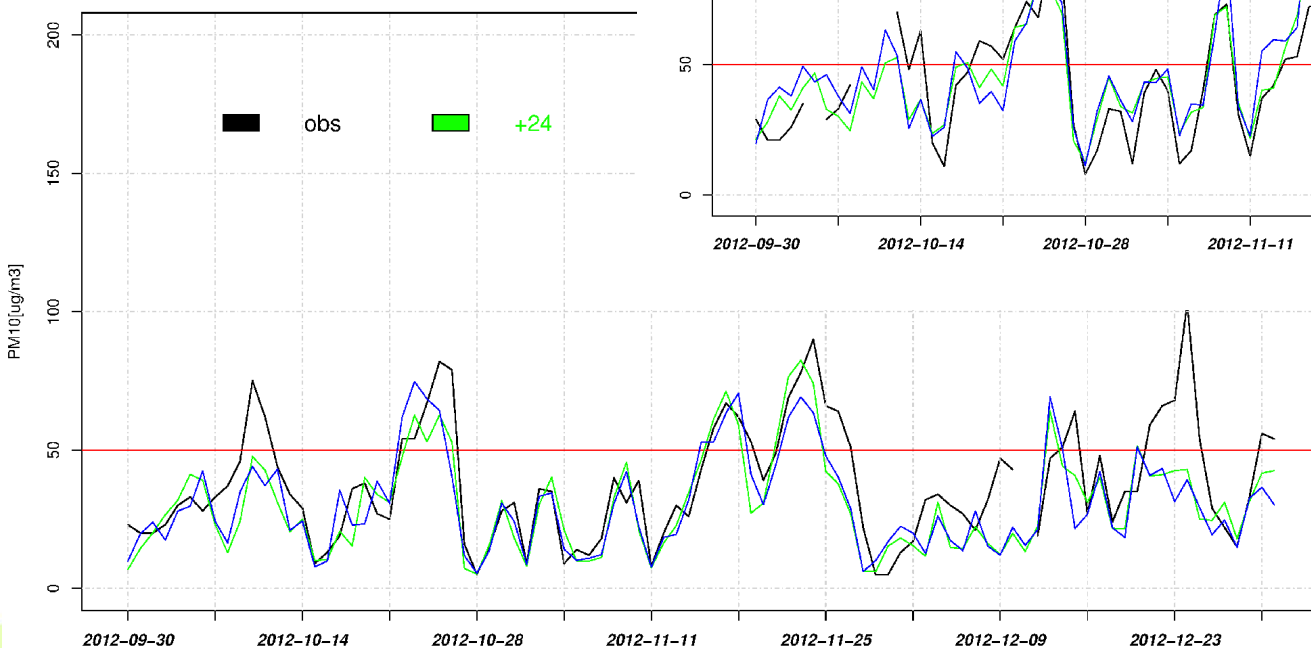
Sistema operativo prognostico

PM10, ottobre-dicembre 2012
 dominio regionale g2, risoluzione
 4km, confronto
 osservato/simulato

Torino Lingotto- PM10 LGV, 01/10/2012 - 31/12/2012



Novara Verdi - PM



Indice Previsionale della Qualità dell'Aria sull'area metropolitana torinese

(in collaborazione con Provincia di Torino - Area Risorse Idriche e Qualità dell'Aria, Servizio Qualità dell'Aria e Risorse Energetiche)



INDICE PREVISIONALE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

L'**IPQA** è un indice di tipo previsionale che esprime in modo sintetico lo stato della qualità dell'aria dell'agglomerato Torinese attraverso un'indicazione numerica e cromatica. L'IPQA viene elaborato sulla base delle concentrazioni dei principali inquinanti presenti in atmosfera (PM10, biossido di azoto e ozono) calcolate da un sistema modellistico gestito da Arpa Piemonte che, a partire dalle previsioni meteorologiche e dalla stima delle emissioni degli inquinanti, simula il trasporto, la deposizione e le trasformazioni chimiche degli stessi, fornendo una **previsione della loro concentrazione**.

Previsione emessa il 20/05/2013.

OGGI MARTEDÌ 21/05/2013	DOMANI MERCOLEDÌ 22/05/2013
3 ACCETTABILE	3 ACCETTABILE

Legenda:

1 - Ottima

La qualità dell'aria è ottima, le concentrazioni previste degli inquinanti sono notevolmente inferiori alle soglie di riferimento relative ai valori limite e obiettivo di breve periodo per la tutela della salute umana.

2 - Buona

La qualità dell'aria è buona, le concentrazioni previste degli inquinanti sono inferiori alle soglie di riferimento relative ai valori limite e obiettivo di breve periodo per la tutela della salute umana.

3 - Accettabile

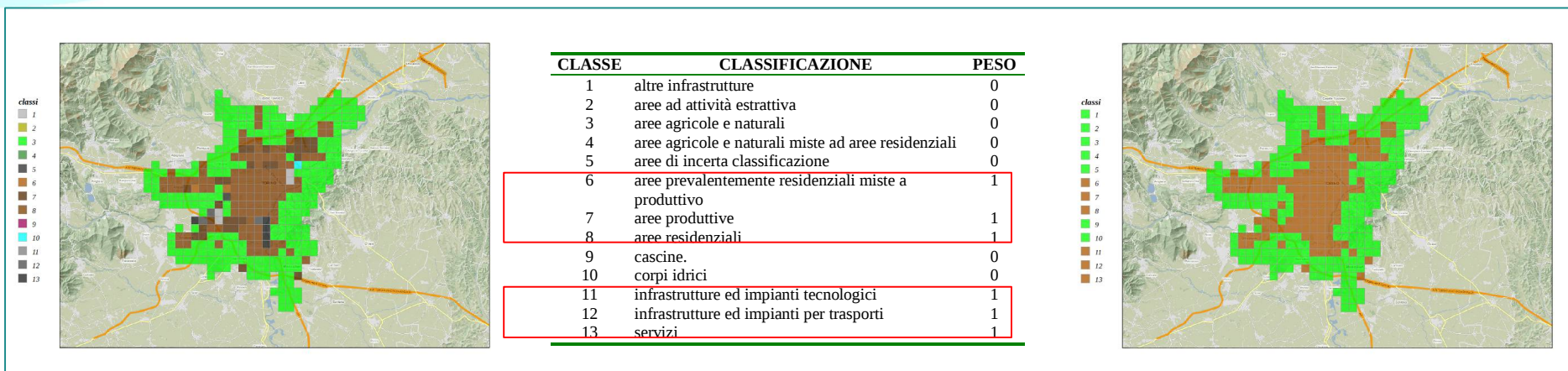
La qualità dell'aria è accettabile, le concentrazioni previste degli inquinanti sono prossime alle soglie di riferimento relative ai valori limite e obiettivo di breve periodo per la tutela della salute umana.

4 - Cattiva

La qualità dell'aria è cattiva, le concentrazioni previste degli inquinanti sono superiori alle soglie di riferimento relative ai valori limite e obiettivo di breve periodo per la tutela della salute umana.

5 - Pessima

La qualità dell'aria è pessima, le concentrazioni previste degli inquinanti sono ampiamente superiori alle soglie di riferimento relative ai valori limite e obiettivo di breve periodo per la tutela della salute umana.



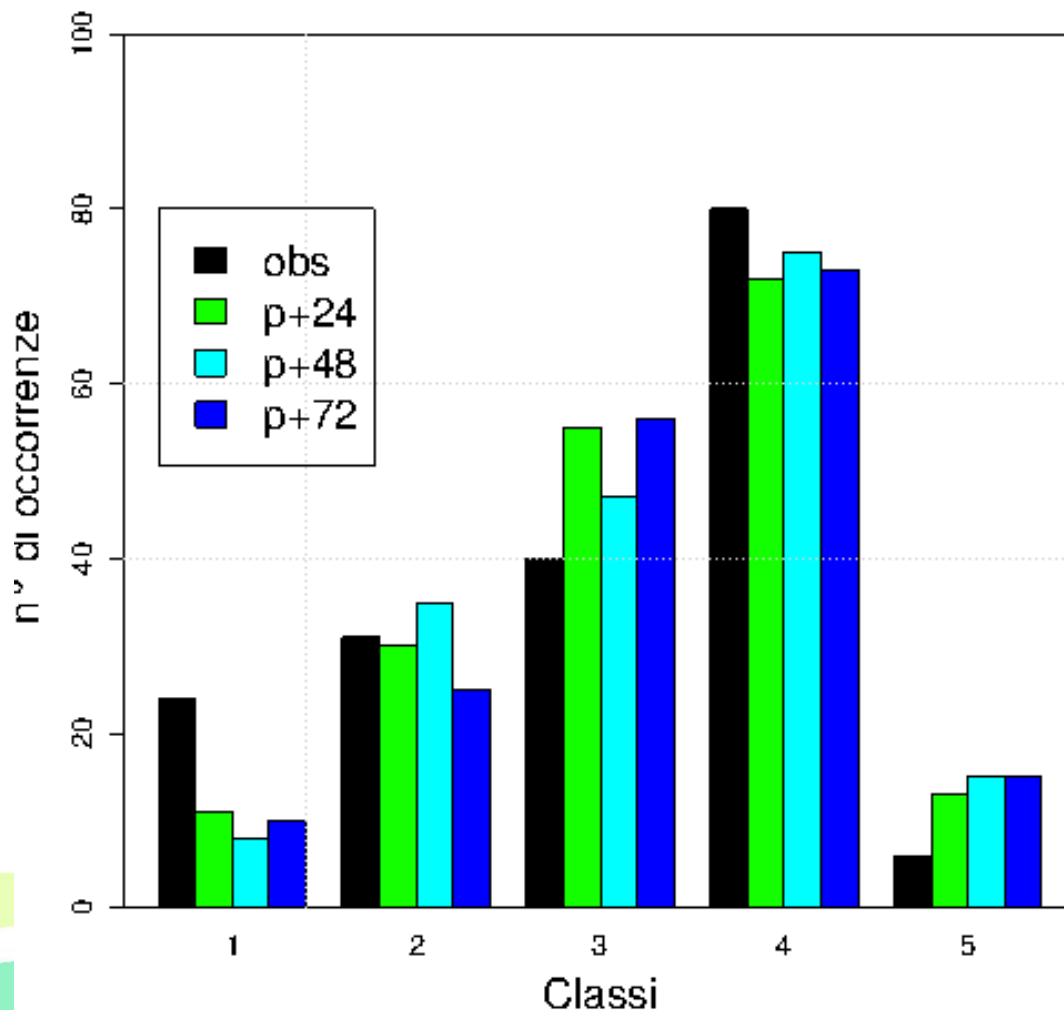
Individuazione delle le celle di calcolo che fanno parte dell'agglomerato torinese;

Assegnazione ad ogni cella della classe prevalente di uso del suolo a partire dalla CTR (Carta Tematica Regionale) 1:10000

Solo le aree (celle) a forte antropizzazione sono utilizzate per il calcolo dell'indice.

$$\left. \begin{aligned}
 I_{PM10} &= \frac{\overline{V_{i_{med\ 24hPM10}}}}{\overline{V_{rifPM10}}} \times 100 \\
 I_{NO_2} &= \frac{\overline{V_{i_{max\ hNO_2}}}}{\overline{V_{rifNO_2}}} \times 100 \\
 I_{O_3} &= \frac{\overline{V_{i_{max\ 8\ hO_3}}}}{\overline{V_{rif\ 8\ hO_3}}} \times 100
 \end{aligned} \right\} I_{IPQA} = \max(I_{PM10}, I_{NO_2}, I_{O_3})$$

Confronto tra IPQA emesso quotidianamente ed indice calcolato utilizzando le stazioni di qualità dell'aria presenti nell'area metropolitana, 01/10/2012–31/03/2013



Sistema diagnostico di lungo periodo

Il sistema modellistico nella versione diagnostica di lungo periodo viene utilizzato per effettuare le ***simulazioni annuali – con cadenza oraria – sull'intero territorio regionale a supporto della attività istituzionali della Regione Piemonte ex. Art. 5 del d.lgs 155/2010***

Il sistema, in costante evoluzione, è stato utilizzato operativamente dall'anno 2005, per effettuare le simulazioni relative alle Valutazioni degli anni 2004, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2012 (in corso).

Configurazioni:

- ✓ BC per il dominio regionale da simulazioni su dominio di background (one-way nesting);
- ✓ meteorologia diagnostica, con utilizzo dei campi ECMWF sui livelli del modello (dominio g1 e g2);
- ✓ FARM con SAPRC-99 ed AERO3 su entrambi i domini (TUV dal 2012);
- ✓ S.M.E per i grandi impianti;
- ✓ ***assimilazione off-line delle misure della rete di qualità dell'aria mediante Kriging with external drift (PM10, PM2.5)***
- ✓ ***assimilazione on-line misure della rete di qualità dell'aria con observational nudging (NO2, NOx, O3)***

Inquinanti:

SO2, NOx, NO2, CO, O3, PM10, PM2.5, componenti del particolato,..

Risultati:

- ✓ Campi orari (2D e 3D) di concentrazione, vento e temperatura, parametri di scala della turbolenza, ratei di emissione.
- ✓ Indicatori ***di legge e superamenti dei valori limiti*** ed accessori previsti dalla normativa ***sul dominio di simulazione e su base comunale (aggregazione con superficie urbanizzata del comune)***.
- ✓ ***Aree di superamento e popolazione esposta***

Simulazioni per *Valutazione Annuale Qualità dell'aria anno 2011, PM10 media giornaliera*

Valutazione annuale della Qualità dell'aria - anno 2011
PM10, media giornaliera
numero di superamenti del valore limite

Legenda

Zone di Piano

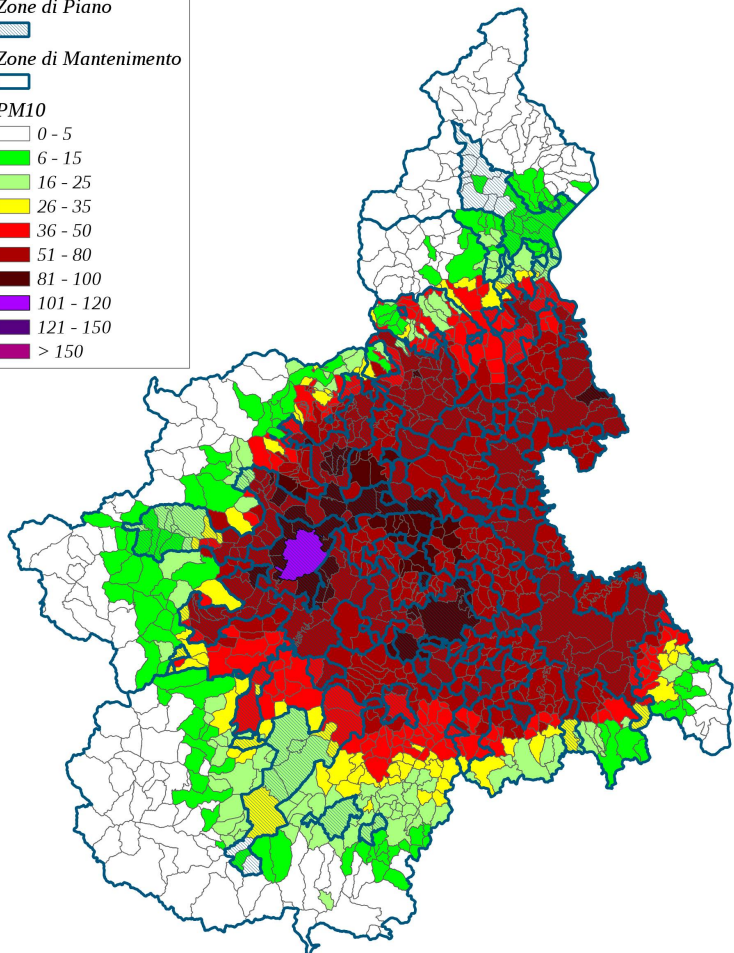


Zone di Mantenimento



PM10

- 0 - 5
- 6 - 15
- 16 - 25
- 26 - 35
- 36 - 50
- 51 - 80
- 81 - 100
- 101 - 120
- 121 - 150
- > 150



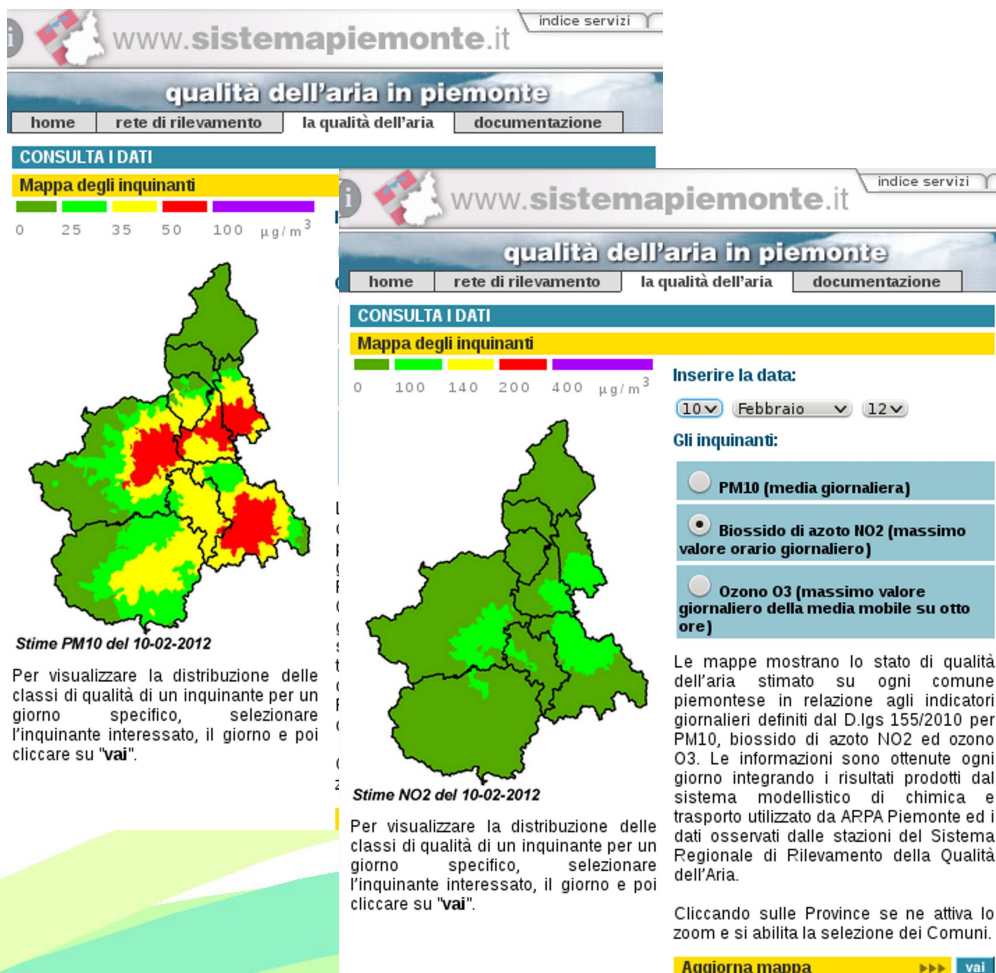
PM10 media giornaliera

Stazione	Tipo stazione	Incertezza [%] d.lgs 155/2010 50 µg/m³	(LIM)	FB [num]	RMSE [µg/m³]	PEARSON [num]
Alba	Fondo	30		0,32	13,99	0,93
Alessandria - Volta	Fondo	8		0,07	11,46	0,92
Asti - Acquisto	Fondo	2		-0,08	8,60	0,96
Biella - Sturzo	Fondo	17		-0,11	7,85	0,94
Borgosesia	Fondo	8		0,07	8,51	0,91
Cuneo - P.zza Alpini	Fondo	4		0,07	7,19	0,92
Cossato	Fondo	3		0,06	9,46	0,91
Dernice	Fondo	23		-0,35	12,69	0,70
Druento	Fondo	10		0,03	7,12	0,94
Novara - Verdi	Fondo	8		-0,01	10,00	0,90
Pinerolo	Fondo	6		0,12	12,95	0,82
Saliceto	Fondo	28		0,26	13,10	0,82
Torino - Lingotto	Fondo	15		0,12	19,20	0,83
Vercelli - Coni	Fondo	27		0,21	16,15	0,81
Verbania*	Fondo	18		0,06	4,23	0,97
Vinchio	Fondo	5		-0,01	5,62	0,97
Acqui Terme*	Fondo	13		0,03	13,65	0,82
Baldissero*	Fondo	19		-0,24	15,41	0,75
Borgaro	Fondo	31		0,29	15,06	0,94
Cerano	Fondo	13		0,07	11,85	0,90
Ivrea	Fondo	24		0,22	12,73	0,92
Susa	Fondo	48		-0,08	22,65	0,40
Torino - Rubino	Fondo	9		0,06	11,53	0,96
Alessandria - Lanza*	Fondo	5		-0,02	10,25	0,91
Serravalle Scrivia	Industriale/Fondo	41		0,34	18,49	0,70
Arquata Scrivia*	Industriale/Fondo	16		0,22	11,62	0,86
Torino - Consolata	Traffico	20		0,16	12,73	0,95
Biella - La Marmora	Traffico	19		0,20	10,77	0,92
Novara - Roma	Traffico	16		0,18	10,12	0,96
Oulx*	Traffico	31		0,42	11,16	0,77
Borgo S. Dalmazzo	Traffico	23		0,21	9,20	0,92
Tortona	Traffico	21		0,22	13,80	0,92

Confronto osservato/simulato, *cross-validazione*
leave-one-out

Sistema diagnostico near real time

Il sistema modellistico applicato nella sua versione diagnostica near real time fornisce quotidianamente informazioni circa lo stato di qualità dell'aria relativo al giorno precedente il giorno di emissione su tutto il territorio regionale (*Informazione al pubblico ex art. 26. 2008/50/CE e art. 18 d.lgs 155/2010*).



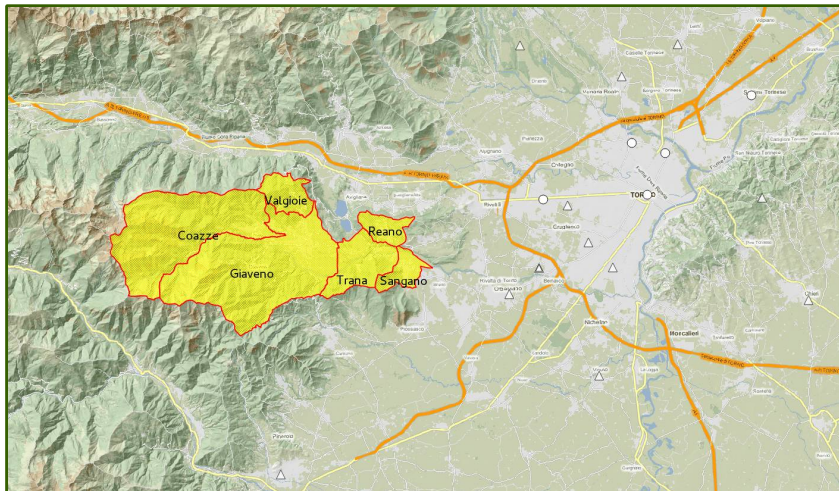
Mappe di analisi su griglia e su base comunale per
PM10 (media giornaliera)
NO2 (massimo giornaliero)
O3 (massimo giornaliero della media mobile su otto ore)

ottenute assimilando *mediante kriging with external drift* i dati misurati di qualità dell'aria nei campi degli indicatori prodotti quotidianamente dal sistema prognostico.

Operativo dall'anno 2009

Sistema diagnostico near real time

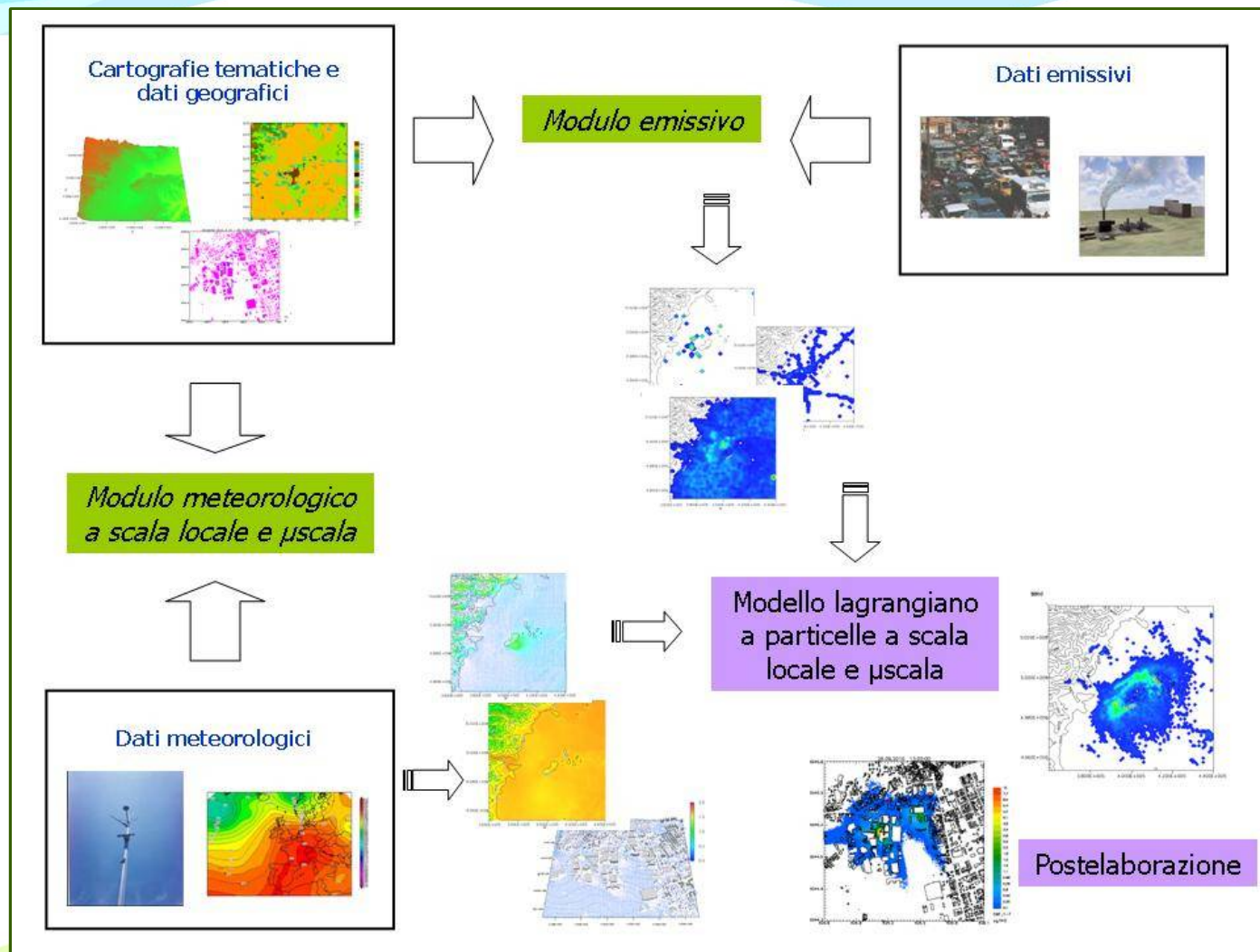
Confronto tra stime modellistiche prodotte dal sistema near real time e dati della campagna di misura con il mezzo mobile condotta nel comune di Sangano (TO) nel periodo novembre-dicembre 2013



*PM10 basso volume, campagna di misura Sangano
 13 novembre–11 dicembre 2012*



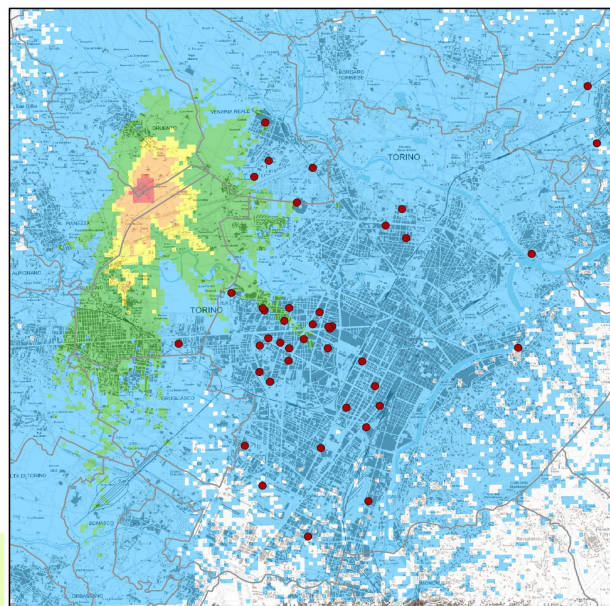
Sistema a scala locale e microscala



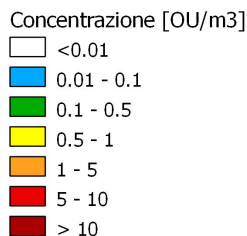
Il sistema permette di stimare concentrazioni a diverse risoluzioni, dalla scala locale alla microscala (da 500 a 5m), in condizioni orografiche e meteorologiche molto complesse.

Scala locale: esempi applicativi

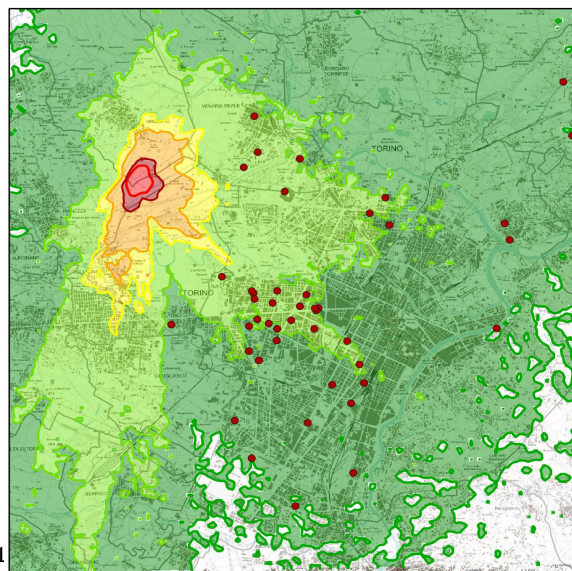
- ✓ *Simulazioni modellistiche a scala locale (modello lagrangiano SPRAY, Arianet) per la valutazione dell'impatto, su base annuale o su periodo, di singole sorgenti o distinti comparti emissivi (riscaldamento, traffico, sorgenti puntuali) → Applicazioni sull'area torinese e sulla Valle di Susa, in Valle Scrivia, nel cuneese*
- ✓ ***Simulazioni modellistiche a scala locale (modello lagrangiano SPRAY, Arianet) per valutare l'impatto di sorgenti di odore (impianti di compostaggio, discariche) → Applicazione sull'area torinese per la stima del 98° percentile delle concentrazioni orarie di picco e del rapporto di diluizione***



98° percentile
 concentrazioni
 orarie di picco



Segnalazioni di febbraio 2011



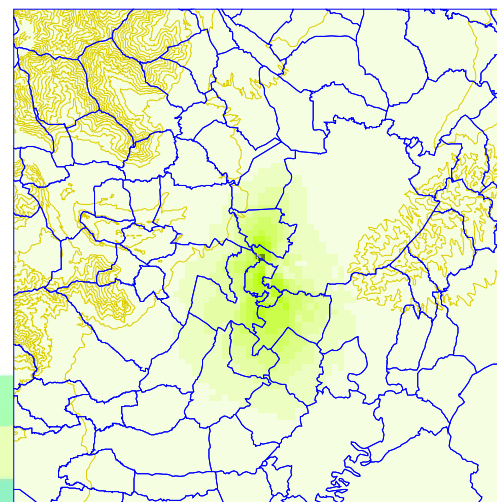
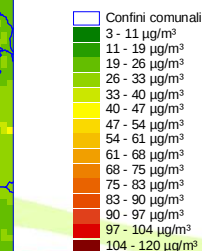
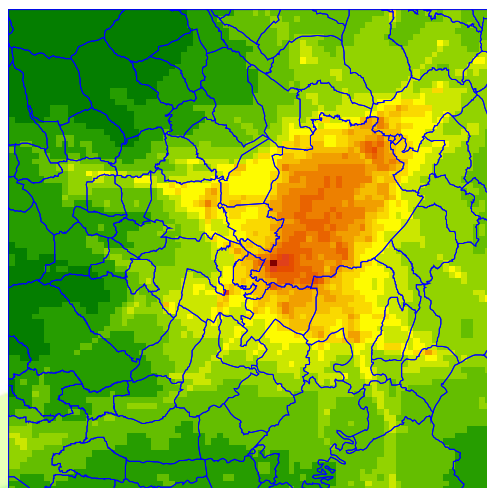
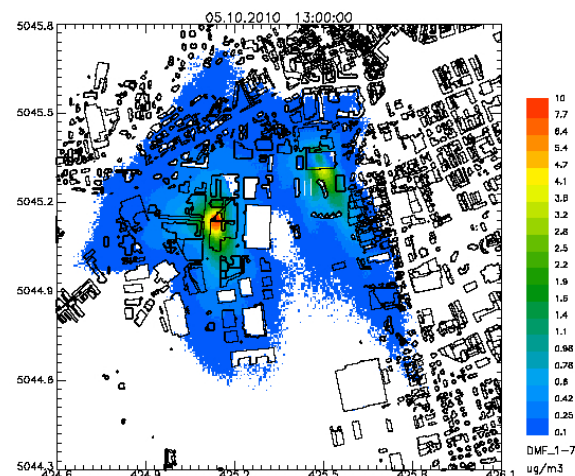
98° percentile
 mappa di diluizione



Segnalazioni febbraio 2011

Scala locale: esempi applicativi

- ✓ *Simulazioni modellistiche a microscala (modello micro Spray, **5m di risoluzione**) per la valutazione dell'impatto di inquinanti emessi da due distinti impianti in ambito urbano e confronto con misure condotte a diverse altezze dal suolo --> Applicazione nel biellese*
- ✓ *Simulazioni modellistiche a scala locale e con modello fotochimico per la stima dell'impatto del futuro impianto di trattamento rifiuti nell'area torinese*



- ✓ Sviluppo della catena near real time con introduzione delle corse di analisi di COSMO- I2 (attività in sviluppo) e dell'assimilazione dati in FARM;
- ✓ Utilizzo di un modello prognostico (WRF) nella componente meteorologica del sistema diagnostico;
- ✓ Estensione delle simulazioni a supporto delle Valutazione della Qualità dell'Aria a IPA e metalli pesanti;
- ✓ Utilizzo di COSMO-I2 come driver meteorologico sui domini ad alta risoluzione del sistema prognostico;
- ✓ Utilizzo nel sistema prognostico operativo del modello TREFIC per il calcolo delle emissioni inquinanti da traffico veicolare;
- ✓ Utilizzo nel sistema prognostico operativo della suite previsionale QualeAria per la costruzione delle boundary conditions sul dominio g1 (in alternativa a Prev'Air)

Gruppo di lavoro per la modellistica di qualità dell'aria

*Bande Stefano, Francesca Bissardella, Monica Clemente, Roberta De Maria,
Valeria Garbero, Stefania Ghigo, Sara Riccardo, Mauro Grossa (responsabile)
Dipartimento tematico Sistemi Previsionali – Qualità dell'aria - Arpa Piemonte*

*Massimo Muraro
Dipartimento tematico Sistemi Previsionali – staff*

*Matteo Giorcelli e tutto lo staff di
Arianet S.r.l*

Grazie per l'attenzione!!!!