

**REGIONE
TOSCANA**



**VERIFICA DEL SISTEMA MODELLISTICO
WRF-CAMX ATTRAVERSO IL CONFRONTO CON
LE MISURE DI SPECIAZIONE CHIMICA DEL
PARTICOLATO**

Responsabile Scientifico: Francesca Calastrini

Collaboratori: Caterina Busillo, Francesca Guarnieri

Maggio 2015

Indice

Ringraziamenti	3
Introduzione	4
1. Il sistema di modelli WRF-CAMx	5
1.1 Il modello meteorologico WRF-ARW	6
1.2 Il modello di chimica e trasporto CAMx	7
1.3 Moduli di interfaccia per CAMx	9
2. Risultati	10
2.1 Analisi meteorologica	10
2.2 Le concentrazioni medie stimate	13
2.3 Validazione con dati della rete di monitoraggio	15
2.6 Confronto con i dati di PM2.5 specciati	26
Conclusioni	40
Bibliografia	41

Ringraziamenti

Per la realizzazione di questo studio si ringraziano i gruppi di ricerca di Fisica (prof. Franco Lucarelli) e di Chimica (prof. Roberto Udisti) dell'Università di Firenze, che hanno fornito i dati di concentrazione di PM2.5, ottenuti nella campagna di campionamento prevista nel progetto PATOS2.

Ringraziamo la Dr.ssa Bianca Patrizia Andreini, Responsabile del Centro Regionale Tutela Qualità dell'ARIA di ARPAT, per la fornitura delle misure registrate nelle stazioni di monitoraggio presenti sul territorio della regione Toscana.

Per la fornitura delle condizioni al contorno per la catena modellistica WRF-CAMx si ringraziano l'Unità Tecnica Modelli, Metodi e Tecnologie per le Valutazioni Ambientali dell'ENEA (UTVALAMB) nella persona del responsabile Dr. Gabriele Zanini e la Dr.ssa Luisella Ciancarella, responsabile del Laboratorio qualità dell'aria (UTVALAMB-AIR) e i loro collaboratori.

Introduzione

Da alcuni anni è stato implementato e configurato sul territorio della Regione Toscana un sistema di modelli numerici in grado di fornire campi tridimensionali di concentrazione dei principali inquinanti atmosferici, sia primari che secondari.

Il sistema modellistico è basato sulle stime prodotte dal modello meteorologico WRF-ARW e dal modello CAMx, con cui viene simulato il trasporto, la dispersione, le trasformazioni chimiche e la deposizione secca e umida di inquinanti gassosi ed aerosol. Le emissioni sono fornite dall'inventario regionale IRSE, con passo temporale orario e con speciazione chimica. Le emissioni relative alle aree esterne alla regione Toscana che ricadono nel dominio di calcolo e le condizioni al contorno sono fornite da ENEA (modello di riferimento nazionale MINNI).

La catena di modelli, applicata all'anno 2007, è stata sottoposta ad un processo di validazione e verifica utilizzando un dataset di misure dei principali inquinanti relativi alle stazioni di monitoraggio di qualità dell'aria presenti sul territorio toscano, gestite da ARPAT. I risultati della simulazione, confrontati anche con quanto ottenuto dal modello di riferimento nazionale MINNI, sono coerenti, sia nella buona capacità di riprodurre l'andamento di alcuni inquinanti, sia nei limiti nel simularne altri, limiti peraltro comuni in ambito modellistico a livello internazionale.

Scopo del presente lavoro è quello di effettuare una verifica della capacità del sistema WRF-CAMx di simulare adeguatamente i principali componenti del particolato fine, attraverso il confronto con le misure dei composti chimici che formano la frazione PM_{2.5}. Infatti, nell'ambito del progetto PATOS2, i gruppi di ricerca di Fisica e di Chimica dell'Università di Firenze hanno svolto uno studio finalizzato a individuare e a quantificare la composizione dell'aerosol: in particolare è stata determinata la concentrazione dei composti organici, del carbonio elementare, dei nitrati, dei solfati e dell'ammonio, direttamente confrontabili con i composti stimati dal modello CAMx. Il campionamento si è svolto in tre siti di diversa tipologia, presso le stazioni di monitoraggio urbana-fondo (Bassi) e urbana-Traffico (Gramsci) a Firenze e la stazione periferica-fondo (Maurogordato) a Livorno; il confronto è relativo al periodo temporale gennaio-marzo 2010.

1. Il sistema di modelli WRF-CAMx

Il Consorzio Lamma ha sviluppato un sistema di modelli numerici in grado di fornire campi tridimensionali di concentrazione dei principali inquinanti atmosferici (PM10, PM2.5, NO2, O3, SO2) sul territorio della regione Toscana.

La catena modellistica prevede l'uso del modello meteorologico WRF-ARW e del modello CAMx per la simulazione della chimica e del trasporto in atmosfera; le emissioni sono fornite dall'inventario regionale IRSE, mentre sul territorio esterno alla regione le emissioni, come anche le condizioni iniziali e al contorno, sono ottenute dal modello di riferimento nazionale MINNI [8], fornite da ENEA.

Inoltre la catena di modelli è costituita anche da numerosi preprocessori, moduli di interfaccia e postprocessori, sviluppati appositamente. Di seguito è riportato lo schema che sintetizza la struttura del sistema modellistico.

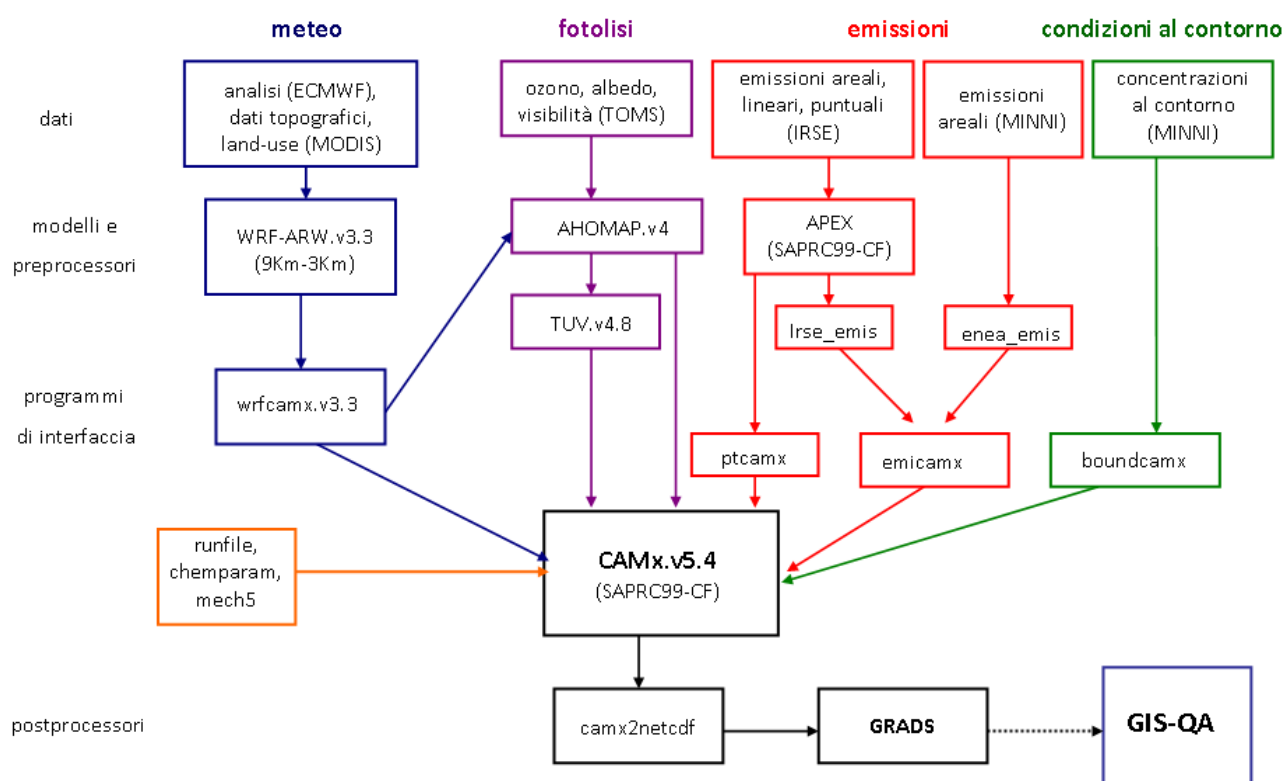


Fig.1 – Schema della catena di modelli WRF-CAMx

1.1 Il modello meteorologico WRF-ARW

Il modello WRF (Weather & Research Forecasting model, www.wrf-model.org, [1]) è stato sviluppato dalla NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e da NCEP (National Centre for Environmental Prediction).

Nella configurazione adottata, il modello WRF-ARW è inizializzato con i dati delle analisi ECMWF (http://www.ecmwf.int/products/data/operational_system/), utilizzati come forcing ogni 6 ore, ed è strutturato su due griglie di calcolo innestate (one-way): la prima ad una risoluzione orizzontale di 9 Km sull'intero territorio nazionale, l'altra ad una risoluzione di 3 Km, su un dominio che comprende l'Italia centro-settentrionale.

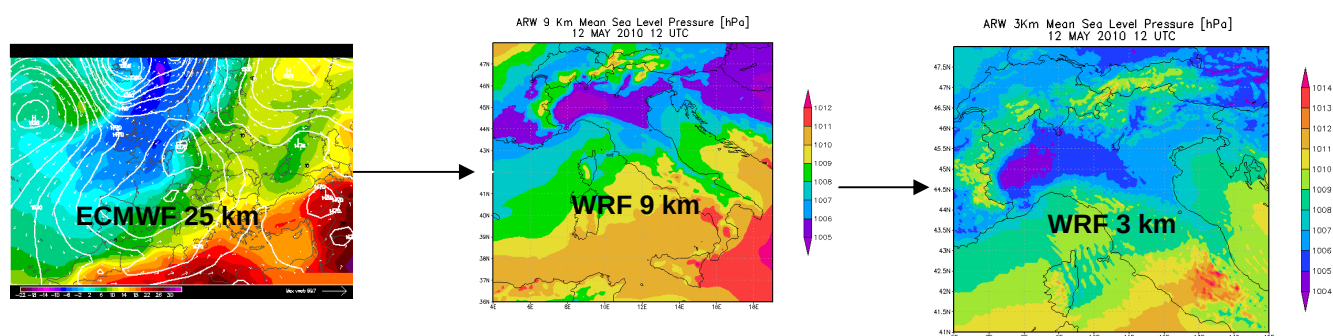


Fig.2 – Schema del modello meteo innestato WRF 9-3 Km inizializzato da analisi ECMWF.

Per quanto riguarda la struttura dei livelli verticali, è stato scelto un sistema di coordinate verticali terrain-following, tale da migliorare la descrizione nei bassi strati, con il primo livello corrispondente a circa 20 metri. Il time-step è pari a 40 secondi.

Di seguito le caratteristiche principali della configurazione adottata.

Tab. 1 - Principali caratteristiche della configurazione adottata.

Numero griglie	2 (200x200 e 283x283)
Tipo di nesting	one-way
Risoluzione orizzontale	9 km e 3km
Parametrizzazione convettiva	Kain-Fritsch per la prima griglia; esplicita per la seconda griglia
Livelli verticali	35 sigma
Time-step	40 s
Parametrizzazione PBL	Yonsei
Parametrizzazione	Monin-Obukhov

superficiale	
Parametrizzazione radiativa (SW/LW)	Dudhia / RRTM
Microfisica	Stony Brook University (Lin and Colle)

1.2 Il modello di chimica e trasporto CAMx

Il modello di chimica e trasporto CAMx [2], Comprehensive Air quality Model with extensions, è stato sviluppato da ENVIRON International Corporation (<http://www.camx.com/>), e rappresenta uno dei modelli di riferimento a livello internazionale per lo studio dell'inquinamento atmosferico.

I processi di trasformazione chimica in fase gassosa sono effettuati sulla base di meccanismi chimici ridotti, in particolare CB4 e SAPRC99 [3], che permettono una trattazione semplificata raggruppando i composti organici in classi omogenee. Inoltre è possibile includere la chimica del particolato sia organico che inorganico, che viene descritto attraverso 20 composti:

- aerosol secondario inorganico: solfato, nitrato, ammonio;
- aerosol marino: sodio, cloro;
- carbonio elementale
- organico primario;
- aerosol crostale (fine e grosso);
- altro aerosol primario inerte (fine e grosso);
- aerosol secondario organico.

La deposizione secca è trattata calcolando per ogni specie una velocità di deposizione, funzione del land use e delle condizioni meteorologiche locali, ed è inclusa nel calcolo della diffusione verticale. In particolare, per quanto riguarda l'aerosol, la deposizione secca avviene per diffusione, impatto e deposizione gravitazionale e viene stimata utilizzando l'approccio di Slinn e Slinn (1980). Per quanto riguarda la deposizione umida, viene utilizzato l'approccio di Seinfeld e Pandis (1998).

L'input meteorologico, costituito da campi tridimensionali di vento, di temperatura, di pressione, dai coefficienti di diffusione verticale, dalla concentrazione media di vapor d'acqua, dalla copertura nuvolosa, dalla pioggia, può essere fornito da un modello prognostico.

Per il calcolo dei ratei delle reazioni fotochimiche sono necessari input relativi a albedo, spessore della colonna di ozono stratosferico, opacità dell'aria; in presenza di copertura nuvolosa il valore dei ratei viene corretto.

Nella catena di modelli è stato adottato CAMx versione 5.4, ed è stato configurato su di un dominio di calcolo che copre l'intera regione Toscana, con una estensione di 220x248 Km². Il dominio, in coordinate UTM (32), è costituito da 110 per 124 celle quadrate di 2 Km di lato. Nella simulazione sono stati considerati 18 livelli verticali, da 20 m a 10500 m, con una risoluzione più alta in prossimità del suolo.

I file che costituiscono l'input meteorologico, forniti da WRF-ARW_v3.3, sono stati interpolati (da circa 3 Km a 2 Km), proiettati in coordinate UTM e opportunamente formattati utilizzando il processore wrfcamx_v3.3. Ciascun file contiene le stime orarie delle variabili per ogni giorno della simulazione.

Tab. 2 - Principali caratteristiche delle simulazioni eseguite.

Modello	CAMx versione 5.4
Periodo	annuale
Risoluzione temporale	oraria (8712 ore)
Dominio di calcolo	Dimensioni: 220x248 Km ² ; 110 x 124 celle Risoluzione spaziale: 2 Km Coordinate: UTM (32) 554 km E; 4677 Km N
Livelli verticali	18 livelli; da 10 m a 10500 m
Input meteo	WRF; variabili su base oraria, risoluzione 3 Km, con interpolazione 2 Km
Deposizione secca	Attivata - Slinn e Slinn (1980)
Deposizione umida	Attivata - Seinfeld e Pandis (1998)
Chimica	SAPRC99+CF (mech 5)
Concentrazioni iniziali e al contorno	MINNI, risoluzione 4 Km, con interpolazione 2 Km
Emissioni areali	IRSE; variabili su base oraria; risoluzione 1 Km, con interpolazione 2 Km, MINNI (area esterna alla Toscana): variabili su base oraria; risoluzione 4 Km, con interpolazione 2 Km
Emissioni puntuali	IRSE; variabili su base oraria;

Specie in output	26 specie: NO, NO ₂ , O ₃ , SO ₂ , HNO ₃ , NH ₃ , PNO ₃ , PSO ₄ , PNH ₄ , POA, PEC, FPRM, CPRM, CCRS, FCRS, SOA ₁ , SOA ₂ , SOA ₃ , SOA ₄ , SOA ₅ , SOA ₆ , SOA ₇ , SOPA, SOPB, NA, PCL
-------------------------	--

Il meccanismo chimico adottato è SAPRC99 più aerosol (mech5). Le emissioni areali, con disaggregazione temporale oraria e speciazione chimica, sono state ottenute dall’Inventario Regionale IRSE, alla risoluzione iniziale di 1Km, poi ricampionate a 2 Km. Sul territorio esterno alla regione Toscana, ma interno al dominio di calcolo, sono state utilizzate le emissioni del modello MINNI, a 4 Km di risoluzione e interpolate a 2 Km. Le emissioni puntuali sono disaggregate su base oraria e sono anch’esse fornite da IRSE.

Infine, i files relativi alle concentrazioni iniziali e al contorno sono state ottenuti dal modello MINNI a 4 Km di risoluzione e successivamente interpolati a 2 Km.

1.3 Moduli di interfaccia per CAMx

L’implementazione della catena modellistica ha richiesto non solo l’allineamento delle versioni dei modelli, dei preprocessori e dei moduli di interfaccia, ma anche la realizzazione di alcuni di questi. Infatti alcuni preprocessori sono forniti direttamente da ENVIRON International Corporation (wrfcamx.v3.3, ahomap.v4, tuv.v4.8), altri sono stati appositamente implementati. I moduli di interfaccia per la gestione delle emissioni e delle condizioni al contorno sono stati invece sviluppati appositamente.

Per la gestione dei file di uscita dal modello è stato sviluppato un postprocessore (modulo camx2netcdf) che permette di trasformare i formati di uscita del modello CAMx; in particolare i file in formato binario (avrg) relativi ai campi di concentrazione degli inquinanti modellizzati sono formattati in netcdf. Attraverso GrADS, Grid Analysis and Display System (<http://www.iges.org/grads/>), un *tool* interattivo sviluppato in ambiente LINUX che consente, attraverso script personalizzati, la gestione e la visualizzazione di grandi quantità di dati, vengono elaborate le mappe medie di concentrazione e le mappe riferite a campi meteorologici ottenuti da WRF. Inoltre, sempre con GRADS, possono venire effettuate estrazioni di serie storiche di singoli punti, in corrispondenza delle centraline di monitoraggio ARPAT, per la validazione del modello. In particolare è stato sviluppato un programma per il calcolo degli indicatori statistici. Infine, gli elaborati grafici e le tabelle di sintesi ottenuti possono essere trasferiti in ambiente MAPGIS, per fornire layer informativi alla piattaforma GIS-QA.

2. Risultati

In questo capitolo sono presentati i risultati ottenuti dalla catena di modelli relativi alla simulazione dell'anno 2010, in particolare mappe relative ad alcuni campi meteorologici, le mappe di concentrazione media mensile, gli indicatori statistici e le elaborazioni grafiche significative per effettuare una validazione del sistema di modelli, attraverso il confronto con le misure della rete di monitoraggio della qualità dell'aria gestita da ARPAT. L'analisi delle simulazioni e il confronto con i dati misurati dalla rete di monitoraggio si riferisce ai primi tre mesi dell'anno, in coincidenza con il periodo di campionamento svolto nell'ambito del progetto PATOS.

Il confronto con le misure di speciazione del PM_{2.5} effettuate dall'Università di Firenze in tre siti di campionamento coincidenti con le stazioni ARPAT di Firenze-Bassi, Firenze-Gramsci e Livorno-Maurogordato, riferito ai primi tre mesi dell'anno, sarà presentato nel paragrafo § 2.4.

2.1 Analisi meteorologica

I principali campi meteorologici stimati dal modello WRF-ARW e utilizzati nella catena di modelli sono stati elaborati per ottenere delle mappe medie di sintesi per temperatura, velocità del vento, pressione a terra, HPBL (altezza di Planetary Boundary Layer): in questo caso sono state elaborate due mappe, una relativa alla media nelle ore centrali del giorno, dalle 10 alle 17, mentre l'altra è relativa alla media dalle 0 alle 9 e dalle 18 alle 23. Queste mappe, insieme alle mappe di concentrazione media degli inquinanti riportate nel paragrafo successivo, permettono di interpretare i risultati ottenuti valutando l'influenza del fattore meteorologico. Vengono riportate le mappe dei campi meteo relativi ai mesi di gennaio, febbraio e marzo.

Nel periodo in esame si riscontrano le tipiche condizioni meteorologiche invernali, caratterizzate da temperature basse nei primi due mesi, mentre in marzo si ha un generalizzato aumento della temperatura e della pressione. Restano sempre bassi i valori di HPBL, nelle ore centrali del giorno. Il vento, molto variabile sul territorio, presenta valori maggiori sul mare e sulla costa nel mese di febbraio.

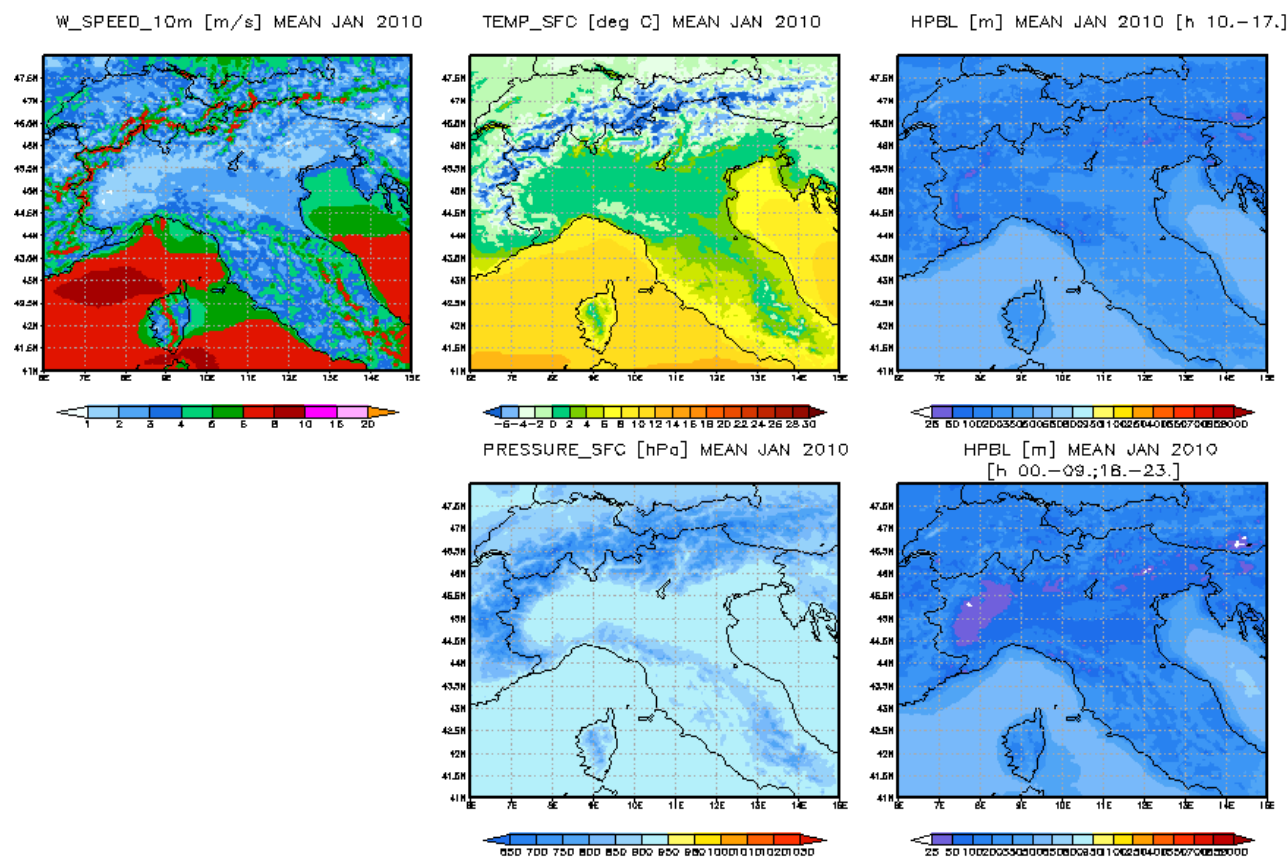


Fig.3 – Mappe dei campi medi mensili di vento, temperatura, pressione, hpbl - gennaio 2010

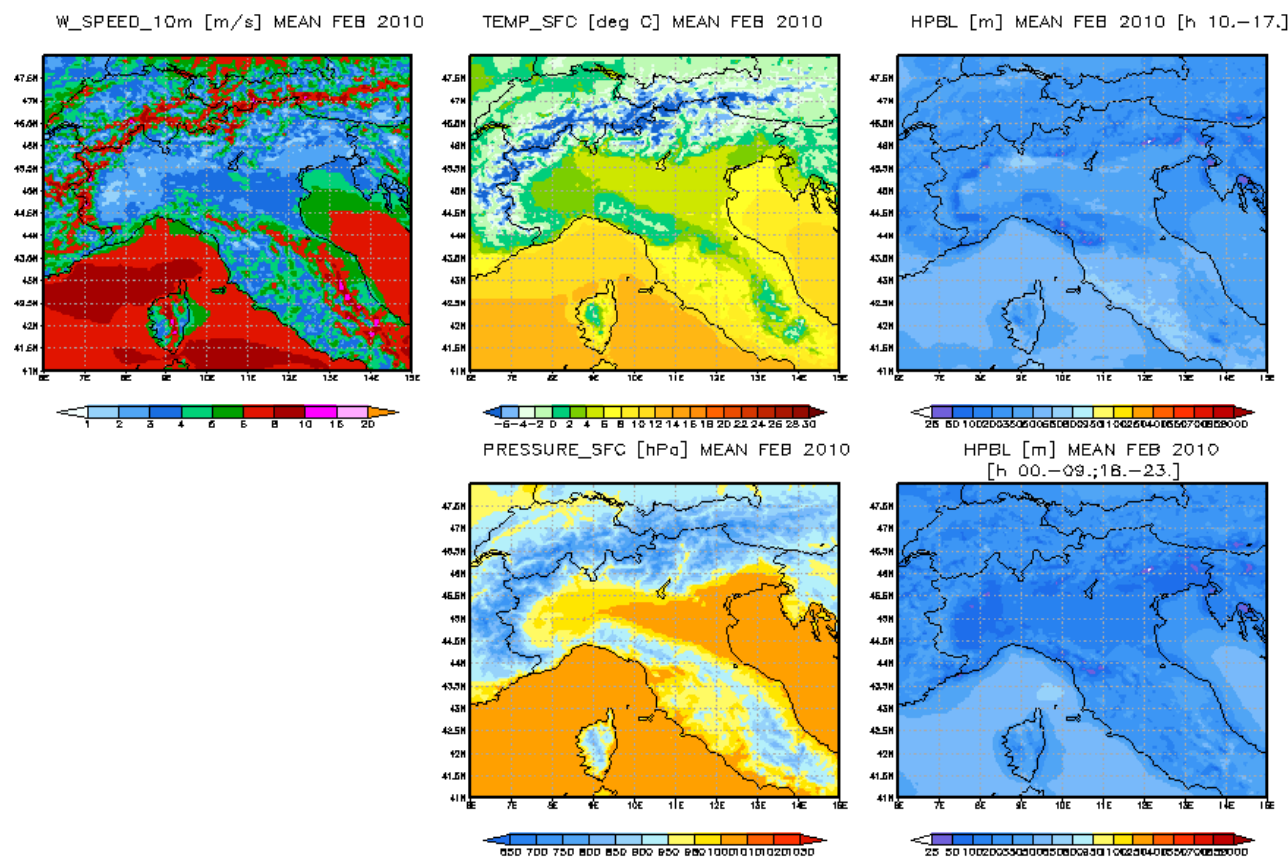


Fig.4 – Mappe dei campi medi mensili di vento, temperatura, pressione, hpbl - febbraio 2010.

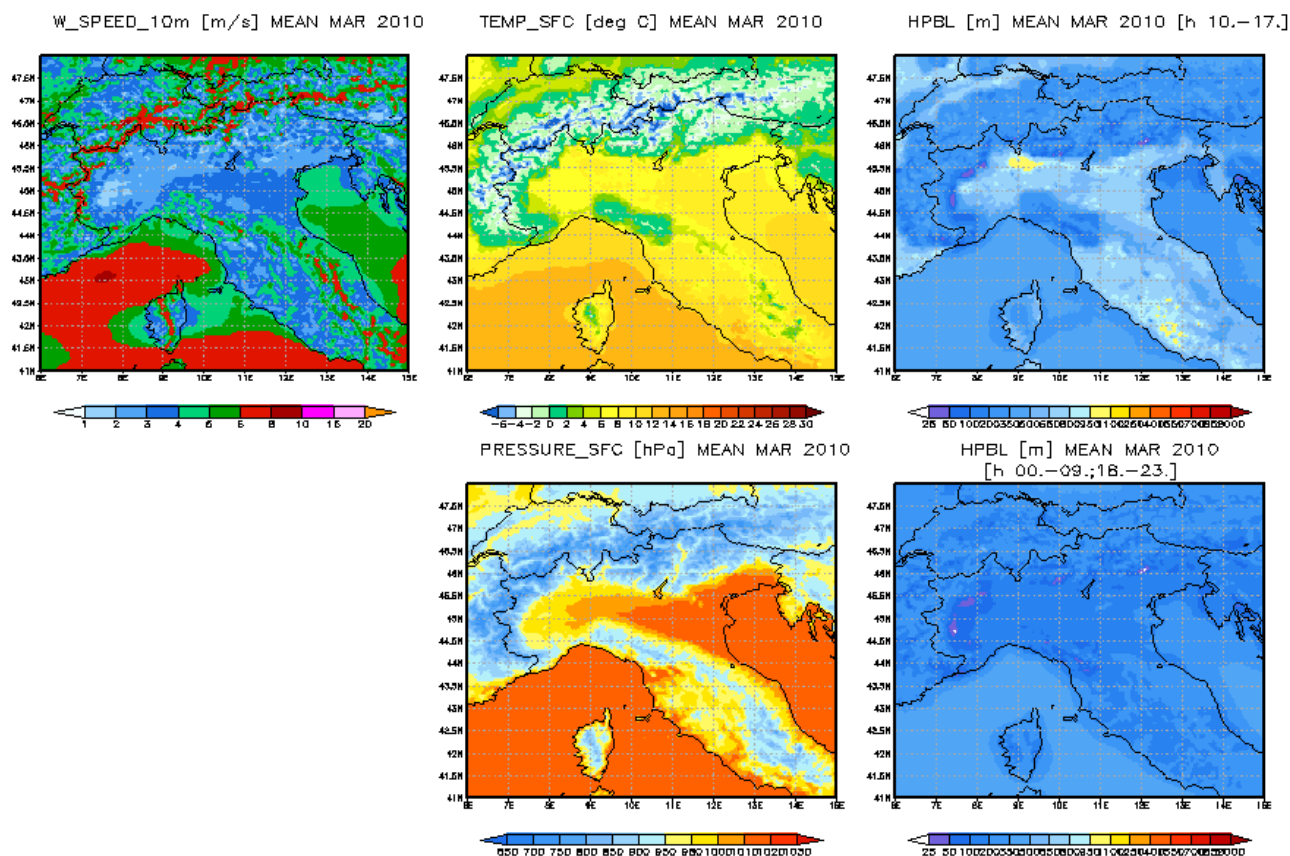


Fig.5 – Mappe dei campi medi mensili di vento, temperatura, pressione, hpbl – marzo 2010.

Per completezza, viene riportato un confronto tra la temperatura e la velocità media giornaliera stimata dal modello WRF e misurate nella stazione sinottica di Firenze-Peretola.

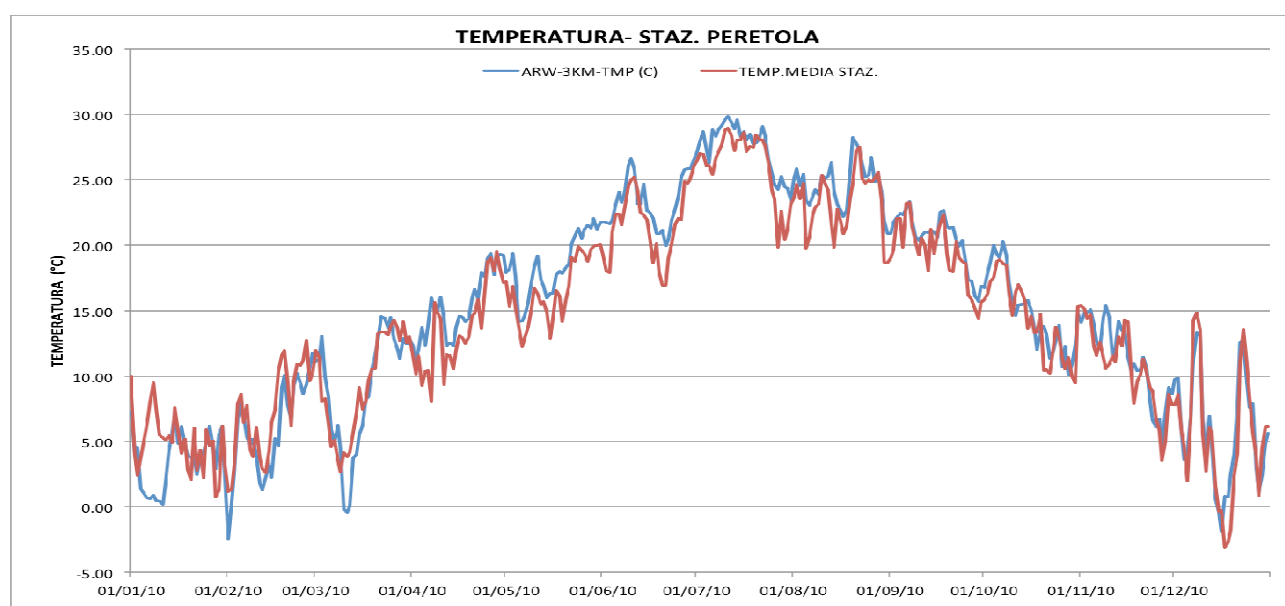


Fig.6 – Confronto tra la temperatura media giornaliera stimata e misurata presso la stazione sinottica di Firenze Peretola. Periodo gennaio-marzo 2010.

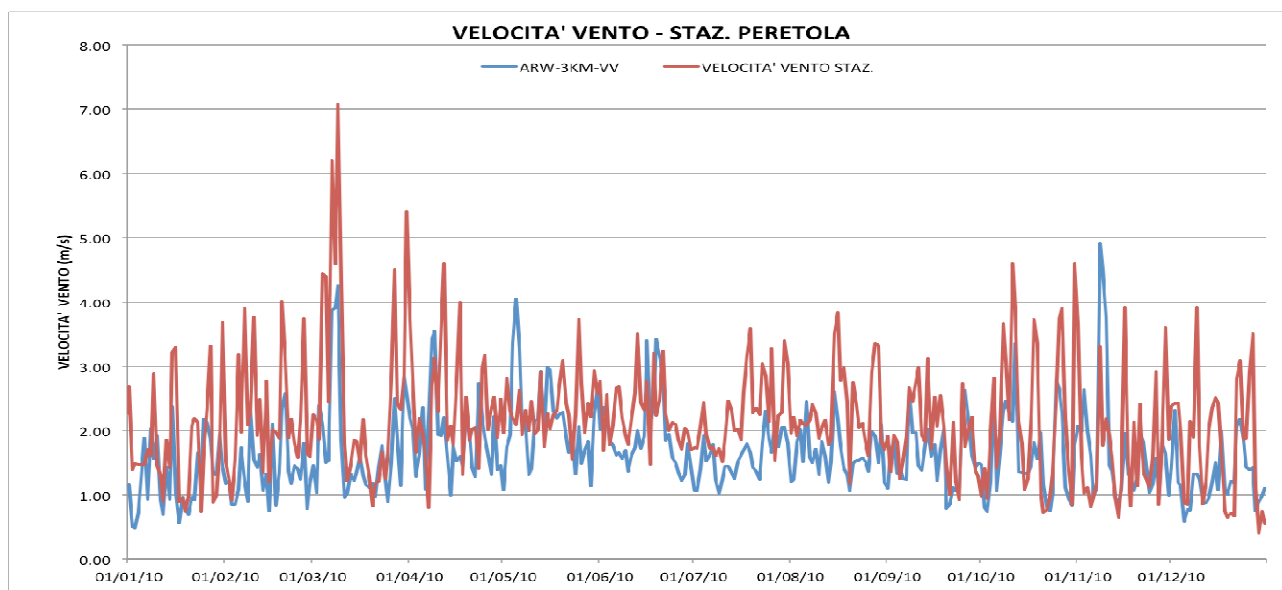


Fig.7 – Confronto tra la velocità del vento media giornaliera stimata e misurata presso la stazione sinottica di Firenze Peretola. Periodo gennaio-marzo 2010.

2.2 Le concentrazioni medie stimate

In questo paragrafo sono riportate le mappe medie mensili delle concentrazioni di PM10, PM2.5, NO2, SO2 per i mesi di gennaio, febbraio e marzo 2010.

In accordo con i risultati ottenuti nella simulazione relativa all'anno 2007, si evidenziano elevate concentrazioni di PM10, PM2.5 e NO2 nei tre mesi invernali, soprattutto nelle aree più densamente abitate della Toscana. In particolare la concentrazione di PM10 è molto estesa nel mese di gennaio, più ridotta negli altri due mesi. Le condizioni meteorologiche tipiche del periodo freddo, caratterizzate da basse temperature e da periodi con scarsa diffusività atmosferica, insieme ad un quadro emissivo in cui è marcato l'effetto della sorgente riscaldamento, determinano un importante aumento delle concentrazioni di questi inquinanti rispetto ai valori riscontrati nel periodo primaverile-estivo o ai valori medi annui.

Per quanto riguarda la concentrazione di SO2, i valori maggiori si evidenziano in corrispondenza dei principali insediamenti industriali (Livorno e Piombino), in misura molto minore in corrispondenza della piana pisana e del bacino di Firenze-Prato- Pistoia.

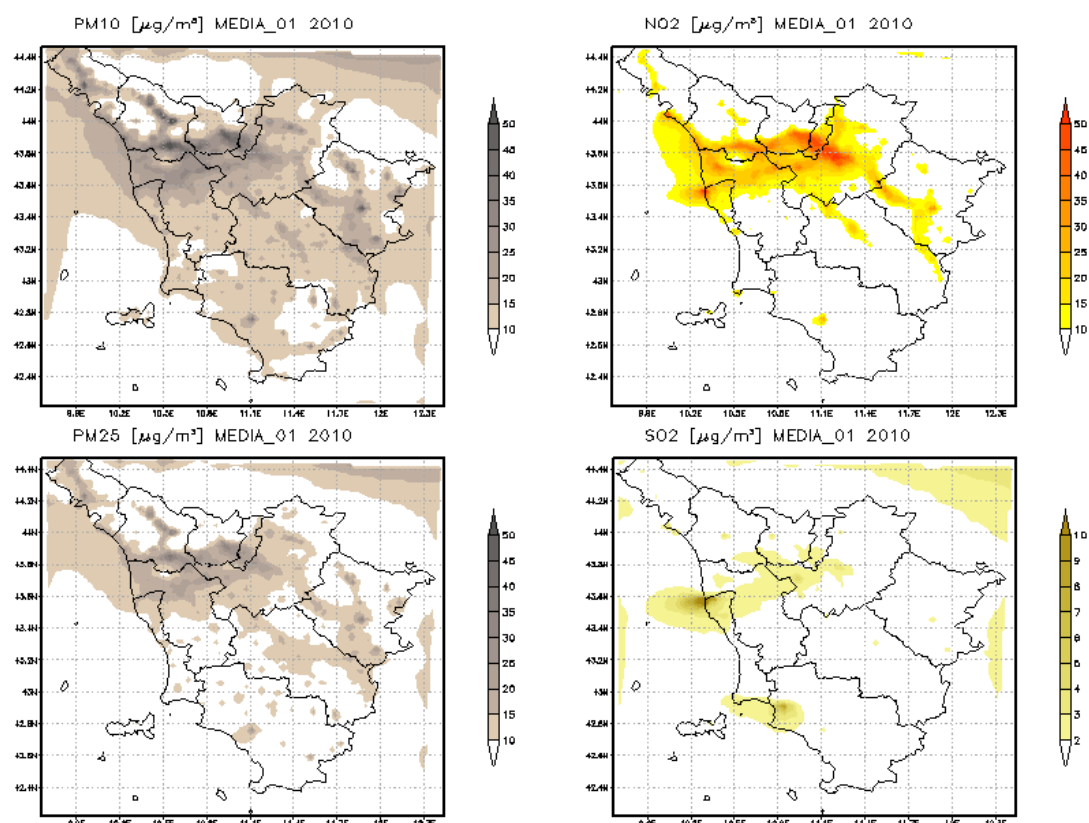


Fig.8 – Mappe delle concentrazioni medie mensili di PM10, PM2.5, NO2, SO2 – GENNAIO.

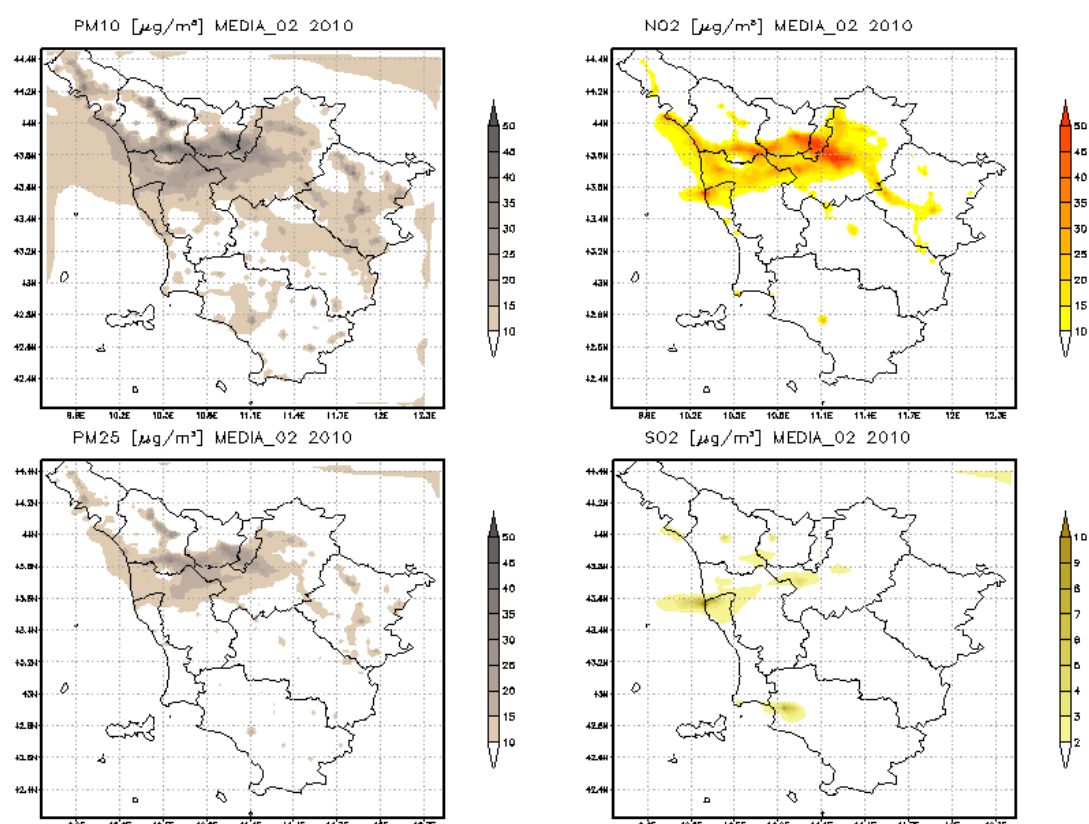


Fig.9 – Mappe delle concentrazioni medie mensili di PM10, PM2.5, NO2, SO2 – FEBBRAIO.

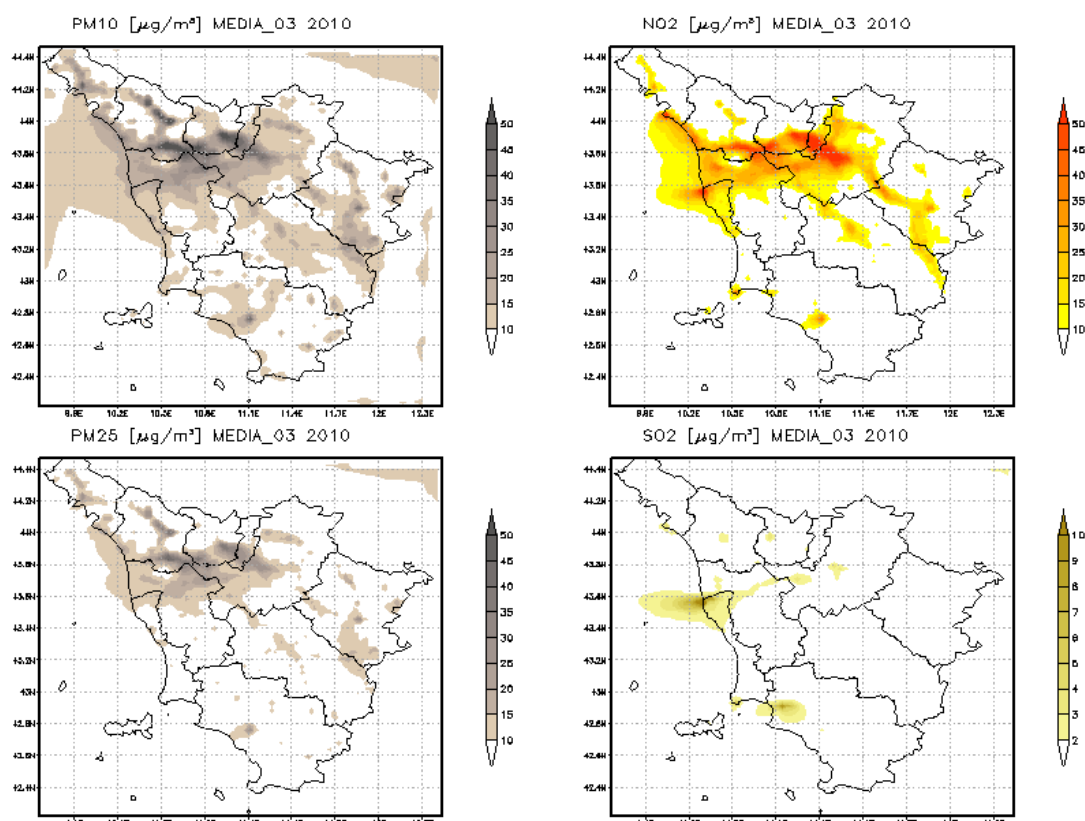


Fig.10 – Mappe delle concentrazioni medie mensili di PM10, PM2.5, NO2, SO2 – MARZO.

2.3 Validazione con dati della rete di monitoraggio

Il data-set utilizzato per la validazione del modello per l'anno 2010 è costituito dalle misure effettuate in 60 stazioni di monitoraggio, ciascuna delle quali misura almeno uno degli inquinanti in esame. Nella tabella sono riportate le principali caratteristiche di queste stazioni: il codice identificativo (codice Lamma), il nome, la provincia, le coordinate geografiche, se appartiene o no alla rete regionale, il tipo di stazione (fondo, traffico, industriale), il tipo di zona (urbana, periferica, rurale), per ogni inquinante misurato la percentuale di dati validi sull'intero anno (in rosso se inferiori al 75% nell'intero anno 2010).

Per quanto riguarda le 54 stazioni che misurano NO2, 52 hanno dati validi superiori al 75%, 27 sono di fondo, 20 di traffico, 7 industriali. Delle 50 stazioni che misurano PM10 49 hanno dati validi superiori al 75%, 21 sono di fondo, 19 di traffico, 10 industriali. Delle 10 stazioni che misurano PM2.5 7 hanno dati validi superiori al 75%, 6 sono di fondo, 3 di traffico, 1 industriale. Delle 16 stazioni che misurano SO2 solo 7 hanno tutti dati validi superiori al 75%, 7 sono di fondo, 4 di traffico, 5 industriali.

ID	NOME STAZ	PROVINCIA	Tipo Zona	Tipo Staz.	Rete Regionale	DATI PRES.(%) NO2	DATI PRES.(%) PM10	DATI PRES.(%) PM2.5	DATI PRES.(%) SO2
1	AL CASA STABILI	AR	Rurale	Fondo	SI	82%	82%		
2	AL VIA ACQUEDU	AR	Urbana	Fondo	SI	90%			
5	PI BASSO	F	Urbana	Fondo	SI	88%	90%	74%	94%
6	PI BOSCHI	F	Urbana	Fondo	SI	95%	98%		83%
10	PI CITTA' N. A. V.	F	Rurale	Fondo	SI	91%			
11	PI SIGNA	F	Urbana	Fondo	SI	93%	97%		
12	PI SCANDICO BLOZZ	F	Urbana	Fondo	SI	92%	92%		89%
14	PI CAMPI BISCIONE	F	Urbana	Fondo	SI	92%	97%		
17	PI MONTELUPO VIA ASIA	F	Urbana	Fondo	SI	92%	95%		
21	GR VIA VINE	GR	Urbana	Fondo	SI	90%	93%	93%	
25	LI VILLA MARFEOGGIATO	L	Periferica	Fondo	SI	93%	94%	40%	
29	LI POGGIO SAN. RECCO ROSSIGNANO	L	Urbana	Fondo	SI	86%	92%	76%	
32	LI CASANUTRI	L	Urbana	Fondo	SI	85%	90%		
33	LI FORCARI	LI	Periferica	Fondo	SI	92%	94%		82%
35	LI JUANTEGRO	L	Urbana	Fondo	SI	91%	96%		74%
36	MS PARCICAGGIO COLOMBAROTTO	MS	Urbana	Fondo	SI	93%	98%		
37	MS VIA SALTANI	MS	Urbana	Fondo	SI	95%	99%		
45	PI PASSO	PI	Urbana	Fondo	SI	94%	92%	91%	
51	PO FONTANILE	PO	Urbana	Fondo	SI	92%			
52	PO N. C. V.	PO	Urbana	Fondo	SI	85%	90%	92%	74%
53	PO SAN PAOLO	PO	Urbana	Fondo	SI	84%			
56	PT MONTALI	PT	Rurale	Fondo	SI	94%	76%		65%
58	PT MONT. VIA MELLINI	PT	Urbana	Fondo	SI	94%	92%		
57	PT S. GIOVANNI	PT	Urbana	Fondo	SI	93%	90%		
58	PO PAPA GIOVANNI	PO	Periferica	Fondo	SI	95%			
57	GR PARCO MARCONIA	GR	Rurale	Fondo	SI	90%			
67	FI CALDIZANO GIOVANNI	F	Urbana	Fondo	SI	84%	99%		
9	AL VIA HILTI N. S.	AL	Urbana	Traffico	SI	94%	99%		
41	AL PIAZZA REPUBBLICA	AL	Urbana	Traffico	SI	84%	85%	95%	
7	FI GIAMSCI	F	Urbana	Traffico	SI	87%	92%	73%	
8	FI MOSSE	F	Urbana	Traffico	SI	85%	97%		84%
15	FI EMPOLI R. D. O. V.	F	Urbana	Traffico	SI	95%	98%		53%
20	GR VIA C. SORINNO	GR	Urbana	Traffico	SI	90%	98%		
23	LI VIALE CAROCCO	L	Urbana	Traffico	SI	94%	98%	98%	65%
27	LI UNITA' F. A. I. A. G. A. N. I. P. I. R. I. N. I.	L	Urbana	Traffico	SI	94%			
30	LI M. C. I. C. C. T. O.	LI	Urbana	Traffico	SI	95%	97%		85%
34	PI F. A. S. P. I. N. A.	PI	Urbana	Traffico	SI	90%	97%		
38	PI N. A. V. A. C. C. I. O.	PI	Urbana	Traffico	SI	94%	97%		
42	PI R. O. S. A. I. T. T. I.	PI	Urbana	Traffico	SI	94%	97%		
43	PI F. A. C. C. I. O.	PI	Urbana	Traffico	SI	90%			
47	PI P. O. N. T. I. D. E. L. A.	PI	Urbana	Traffico	SI	99%	99%		
50	PO F. E. R. R. U. C. C. O.	PO	Urbana	Traffico	SI	88%	90%		
54	PO S. T. I. R. I. Z. Z. O.	PO	Urbana	Traffico	SI	88%	98%		
58	PT Z. A. M. B. I. N. I. F.	PT	Urbana	Traffico	SI	93%	97%		
59	SI L. O. C. D. U. C. P. O. R. T. I.	S	Urbana	Traffico	SI	92%	98%		
63	MS VIA CARBONIA	MS	Urbana	Traffico	SI	92%	99%		
64	MS VIA P. A. S. S. I. A.	MS	Periferica	Traffico	SI	93%	97%		
66	LU T. A. N. G. E. N. Z. I. A. L. E.	LU	Urbana	Traffico	SI	93%	98%		83%

ID	NOME STAZ	PROVINCIA	Tipo Zona	Tipo Staz.	Rete Regionale	DATI PRES.(%) NO2	DATI PRES.(%) PM10	DATI PRES.(%) PM2.5	DATI PRES.(%) SO2
18	F - GREVE PASSO PICCOLA	F	Rurale	Industriale	SI	92%	82%	81%	30%
24	LI VIA GOBETTI	LI	Urbana	Industriale	SI	93%	96%		
28	LI - COTONE ACET. LI	LI	Periferica	Industriale	SI	94%	96%		
29	LI VIA VENETO	LI	Periferica	Industriale	SI	97%			36%
40	PI - I. A. I.	P	Periferica	Industriale	SI	96%			
41	PI - SAN ROMANO	P	Urbana	Industriale	SI	98%			
44	PI - GRATOIO	P	Periferica	Industriale	SI	94%	92%		
48	PI - MONTECARBOLLO S.	P	Periferica	Industriale	SI	95%			37%
48	PI - SAN A. C. H. U. L. L. C. J. O. P.	P	Periferica	Industriale	SI	95%	97%		
49	PI - SANTA CROCE S. MARCO	P	Periferica	Industriale	SI	92%			
62	LI - VIA GLIUCO ROSSI	LI	Periferica	Industriale	SI	89%			81%
70	PI - SAN'A CROCE C. F. R. I.	P	Rurale	Industriale	SI				35%

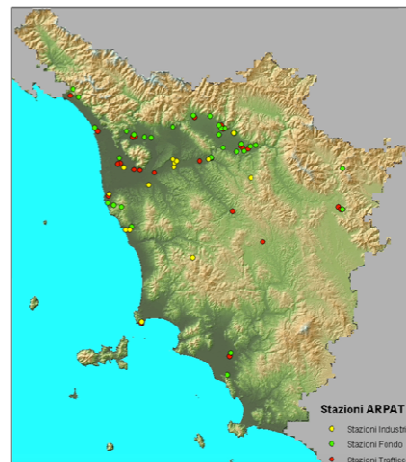


Fig. 11 – Mappa e tabella delle stazioni di monitoraggio ARPAT relative all'anno 2010 con la percentuale di dati validi nell'anno 2010: in verde le stazioni di fondo, in rosso le traffico, in giallo le industriali.

Per avere un'idea, seppur qualitativa, delle prestazioni del modello sono stati elaborati gli scatter-plot relativi al valore medio del periodo gennaio-marzo 2010 per PM10, PM2.5, NO2, SO2 considerando tutte le stazioni con misure superiori al 75%. In rosso sono riportate le stazioni appartenenti alla rete regionale, in blu le altre.

Gli scatter-plot evidenziano l'accordo o il disaccordo tra stime e misure in ciascuna stazione di monitoraggio: nel caso ideale i punti si distribuirebbero lungo la bisettrice. E' possibile tuttavia definire un'area di confidenza, delimitata da due rette con coefficienti angolari stabiliti, all'interno della quale i punti rappresentano una simulazione numerica adeguata [7]. Se i punti ricadono nell'area sopra la retta con coefficiente angolare maggiore si ha una sovrastima, mentre al di sotto della retta con coefficiente minore si evidenzia una sottostima.

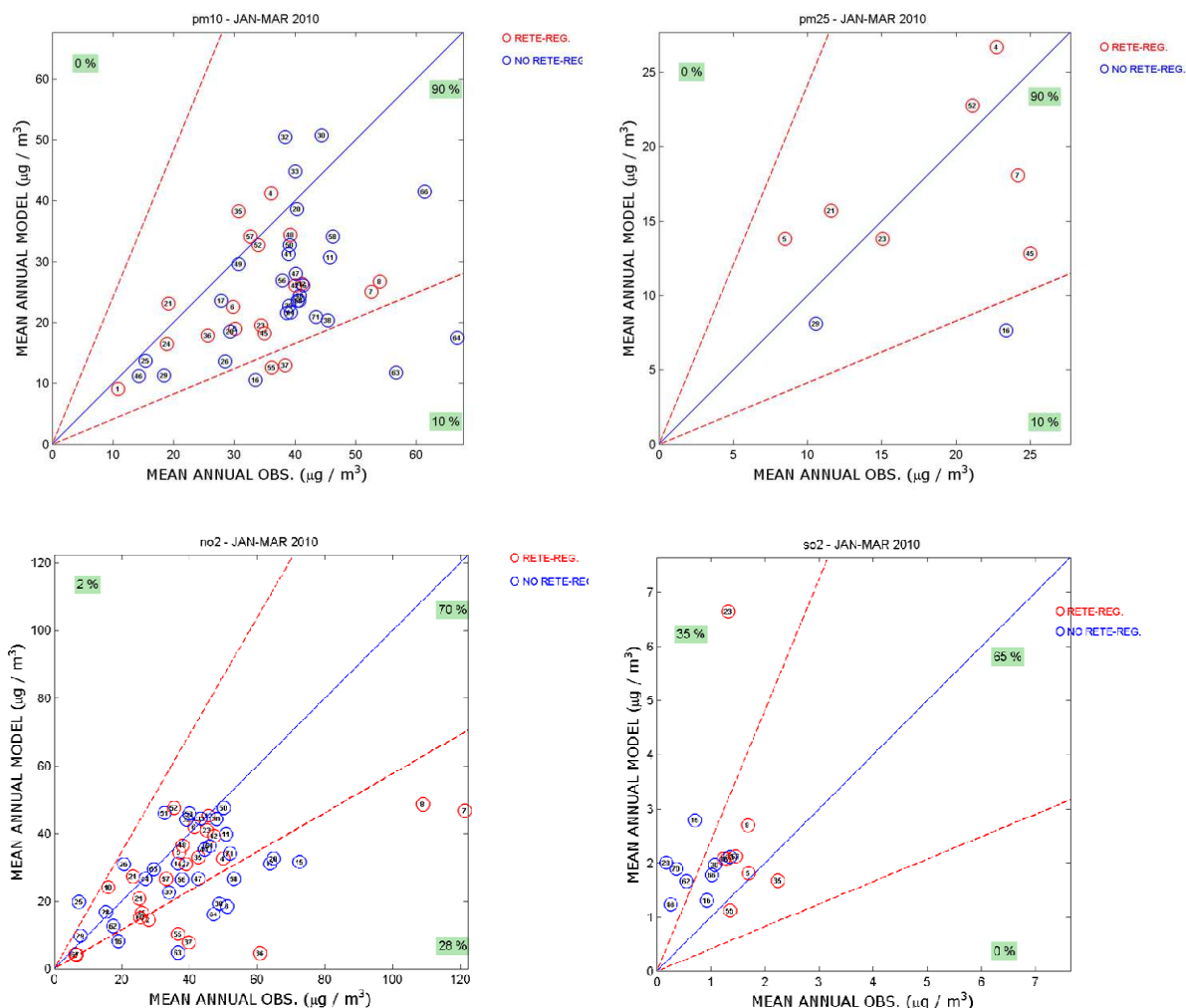


Fig. 12– Scatter-plot di PM10, PM2.5, NO2, SO2 in tutte le stazioni .

I grafici mostrano che per gli inquinanti in esame una buona percentuale di punti, associati alla concentrazione media stimata e misurata nelle stazioni di monitoraggio, cadono all'interno dell'area di confidenza. In particolare, per quanto riguarda il PM10 ed il PM2.5, il 90% dei punti ricade nell'area di confidenza; il grafico relativo al PM10 evidenzia una generalizzata sottostima. Nel caso di NO2 l'area di confidenza è inferiore, i punti contenuti sono comunque il 70%; si evidenzia una sottostima nel caso di una buona parte delle stazioni. Il biossido di zolfo invece, pur ricadendo nel 65% dei casi nell'area di confidenza, è sovrastimato in quasi la totalità delle stazioni.

A titolo di esempio, vengono riportati i grafici degli andamenti delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 (Fig.13), di NO2 (Fig.14) e di SO2 (Fig.15) stimate e misurate nella stazione di Firenze-Bassi, per i primi tre mesi del 2010.

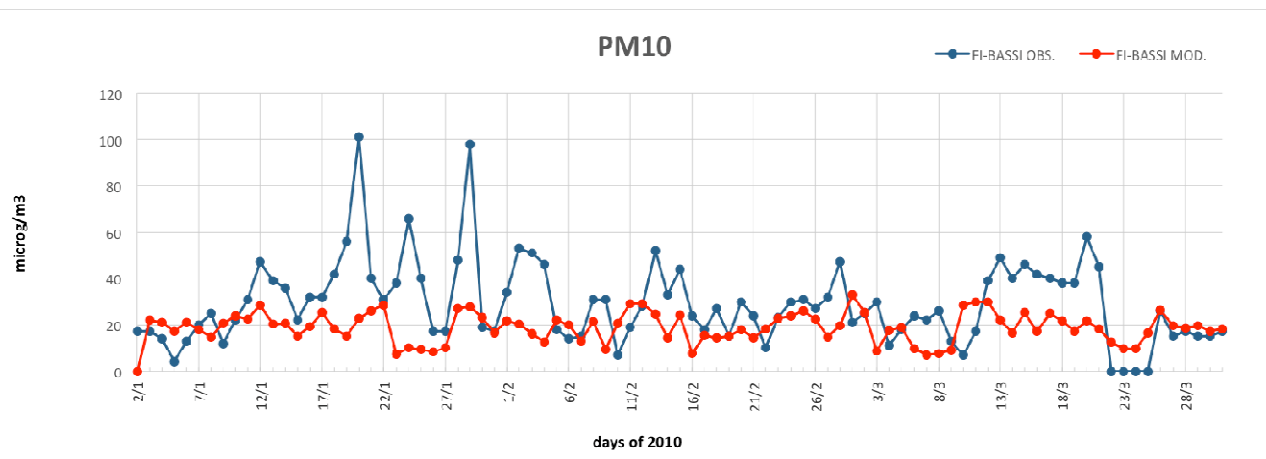


Fig. 13– Concentrazione media giornaliera di PM10, stimata (rosso) misurata (blu), nella stazione Firenze-Bassi.

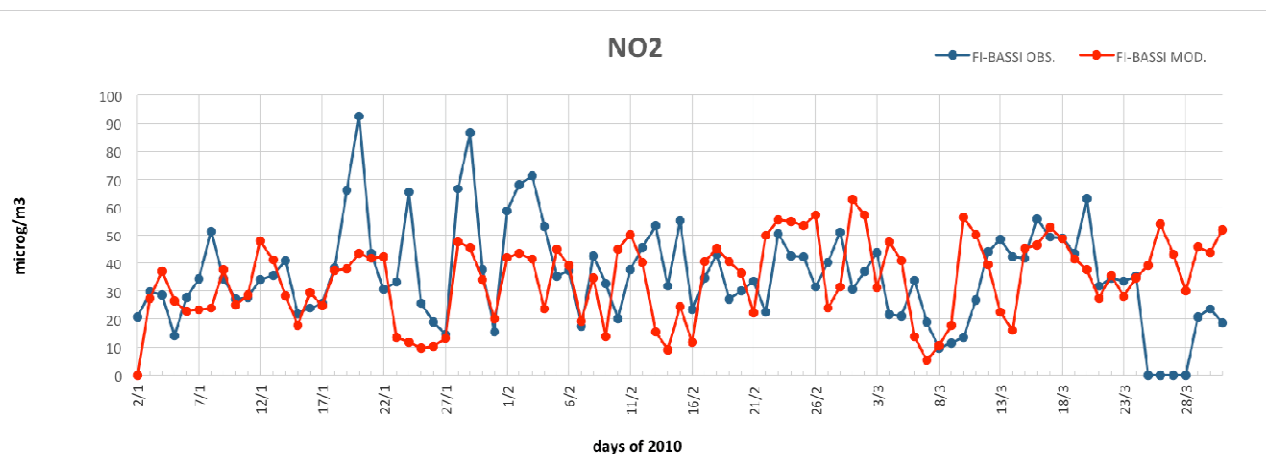


Fig. 14– Concentrazione media giornaliera di NO2, stimata (rosso) misurata (blu), nella stazione Firenze-Bassi.

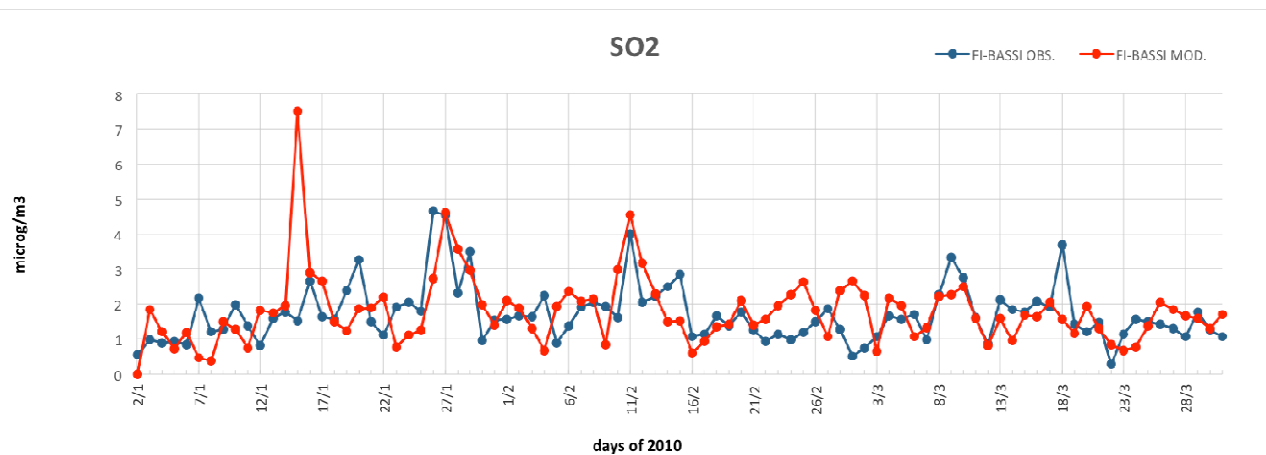


Fig. 15– Concentrazione media giornaliera di SO2, stimata (rosso) misurata (blu), nella stazione Firenze-Bassi.

L'andamento della concentrazione di SO2 è ben riprodotto, eccetto una sovrastima, mentre per quanto riguarda sia NO2 che PM10 il modello, pur riproducendo

discretamente l'andamento, tende a sottostimare, in particolare durante gli episodi con concentrazioni elevate che si verificano nel mese di gennaio.

Per effettuare una valutazione quantitativa delle prestazioni della catena modellistica sono stati utilizzati alcuni indicatori statistici, comunemente utilizzati in letteratura [6,7,8]. Nelle seguenti tabelle sono elencati gli indicatori scelti (Tab. 3), mentre nelle tabelle 4 – 7 sono riportati valori ottenuti per le coppie stime-misure relative a tutte le stazioni di monitoraggio, per PM10, PM2.5, NO2, SO2, relativi ai primi tre mesi del 2010.

Tab. 3 – Indicatori statistici.

NOME	FORMULA	NOTE
MEDIA OSSERVAZIONI	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$	
MEDIA MODELLO	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i$	
STANDARD DEVIATION OSSERVAZIONI	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}$	
STANDARD DEVIATION MODELLO	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}$	
FRACTIONAL BIAS (FB)	$\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)}{\sum_{i=1}^N \frac{(Y_i + X_i)}{2}}$	Valori fra -2 e +2 Valore ottimo=0
FRACTIONAL ERROR (FE)	$\frac{\sum_{i=1}^N Y_i - X_i }{\sum_{i=1}^N \frac{(Y_i + X_i)}{2}}$	Valori fra 0 e 2 Valore ottimo 0
ROOT MEAN SQUARE ERROR (RMSE)	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}$	Valore ottimo = 0
NORMALIZED MEAN SQUARE ERROR (NMSE)	$\frac{1}{N} \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{\bar{X}\bar{Y}}$	Valori tra 0 e inf. Valore ottimo = 0
BIAS	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)$	Valore ottimo = 0
CORRELATION (CORR)	$\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$	Valori tra -1 e 1 Valore ottimo = 1
INDEX OF AGREEMENT di WILLMOTT (IOA)	$1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X} + Y_i - \bar{X})^2}$	Valori fra 0 e 1 Valore ottimo =1

N = numero osservazioni presenti

X_i = dati osservati

$\bar{X}$ = media dei dati osservati

Y_i = dati simulati

$\bar{Y}$ = media dei dati simulati

Tab. 4 – Indicatori statistici, calcolati sui valori medi giornalieri, per PM10. Periodo gennaio-marzo 2010.

PM10 SKILL GIORN. (GEN/DIC)															
ID	NOME STAZIONE	DATI PRESENTI STAZIONE (%)	DATI PRESENTI MODELLO (%)	MEDIA STAZIONE	MEDIA MODELLO	STANDARD DEVIATION STAZIONE	STANDARD DEVIATION MODELLO	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
1	AR-CASA-STABBI	93	100	10.18	6.25	6.04	3.21	-0.49	0.73	7.55	0.90	-4.00	0.15	0.46	-39%
3	AR-VIA-FIORENTINA	99	100	27.26	15.84	14.51	11.76	-0.53	0.65	17.87	0.74	-11.49	0.47	0.59	-42%
4	AR-PIAZZA-REPUBBLICA	96	100	26.77	27.84	13.18	23.92	0.04	0.53	20.28	0.55	1.23	0.53	0.65	5%
5	FI-BASSI	91	100	22.38	14.56	13.64	6.93	-0.41	0.58	15.24	0.70	-7.66	0.32	0.46	-34%
6	FI-BOBOLI	99	100	22.67	15.41	12.95	9.17	-0.39	0.56	14.18	0.58	-7.38	0.44	0.58	-33%
7	FI-GRAMSCI	93	100	38.40	19.44	15.61	9.06	-0.66	0.69	23.92	0.77	-19.03	0.41	0.48	-50%
8	FI-MOSSE	98	100	38.65	21.72	19.07	9.66	-0.58	0.63	24.25	0.71	-17.31	0.46	0.50	-45%
11	FI-SIGNA	98	100	35.45	19.22	21.92	13.19	-0.59	0.67	24.21	0.85	-16.16	0.57	0.58	-46%
12	FI-SCANDICCI-BUOZZI	93	100	32.69	17.79	16.48	10.85	-0.59	0.66	20.83	0.74	-14.87	0.49	0.53	-45%
14	FI-CAMPI-BISENZIO	98	100	32.37	15.45	20.91	9.16	-0.71	0.77	25.08	1.26	-17.01	0.47	0.48	-53%
15	FI-EMPOLI-RIDOLFI	99	100	34.03	17.61	12.65	10.40	-0.64	0.69	20.16	0.68	-16.52	0.51	0.52	-49%
16	FI-GREVE-PASSO-PECORAI	83	100	27.03	7.46	10.75	3.24	-1.16	1.17	22.23	2.57	-19.81	0.35	0.41	-73%
17	FI-MONTELUPO-VIA-ASIA	96	100	22.41	15.45	9.48	8.96	-0.39	0.53	12.08	0.43	-7.24	0.45	0.59	-32%
20	GR-VIALE-SONNINO	97	100	36.57	26.88	9.05	19.43	-0.33	0.63	23.32	0.56	-10.28	0.06	0.34	-28%
21	GR-VIA-URSS	96	100	17.74	17.11	5.58	10.43	-0.04	0.51	10.76	0.38	-0.67	0.21	0.47	-4%
23	LI-VIALE-CARDUCCI	99	100	26.62	16.26	10.36	6.69	-0.48	0.53	14.03	0.45	-10.34	0.45	0.55	-39%
24	LI-VIA-GOBETTI	96	100	18.64	13.01	6.54	5.60	-0.36	0.49	9.36	0.36	-5.65	0.25	0.50	-30%
25	LI-VILLA-MAUROGORDATO	95	100	14.13	10.32	6.37	4.59	-0.30	0.54	8.34	0.47	-3.71	0.10	0.44	-26%
26	LI-COTONE-RETE-LI	98	100	27.26	10.90	13.68	4.22	-0.86	0.87	21.01	1.49	-16.46	0.30	0.46	-60%
28	LI-VIA-VENETO	94	100	27.30	13.33	9.29	6.90	-0.68	0.72	17.48	0.83	-13.87	0.16	0.44	-51%
29	LI-POGGIO-SAN-ROCCO-ROSIGNANO	92	100	17.46	8.81	8.14	3.85	-0.65	0.72	11.65	0.86	-8.56	0.30	0.49	-49%
30	LU-MICHELETTO	98	100	30.53	27.54	16.36	23.34	-0.11	0.50	19.11	0.44	-3.23	0.60	0.73	-11%
32	LU-CAPANNORI	97	100	26.36	28.04	17.66	22.84	0.06	0.49	19.50	0.51	1.67	0.57	0.72	6%
33	LU-PORCARI	95	100	28.09	26.05	17.32	20.37	-0.06	0.48	18.11	0.44	-1.76	0.55	0.72	-6%
35	LU-2VIAREGGIO	97	100	26.11	25.69	10.42	18.82	-0.01	0.65	20.09	0.60	-0.36	0.15	0.44	-1%
36	MS-PARCHEGGIO-COLOMBAROTTO	99	100	21.62	12.04	9.29	8.68	-0.58	0.68	14.14	0.77	-9.68	0.34	0.53	-45%
37	MS-VIA-GALVANI	96	100	26.78	10.76	13.86	6.28	-0.86	0.87	20.39	1.46	-16.09	0.43	0.47	-60%
38	PI-CASCINA	93	100	35.15	13.79	14.89	7.64	-0.86	0.88	25.00	1.27	-21.12	0.44	0.47	-60%
39	PI-NAVACCHIO	98	100	29.60	15.66	13.72	8.86	-0.62	0.68	18.38	0.73	-14.03	0.52	0.53	-47%
40	PI-LARI	96	100	30.80	16.09	15.58	10.56	-0.64	0.71	20.31	0.84	-15.05	0.51	0.55	-49%
41	PI-SAN-ROMANO	99	100	29.34	19.00	12.91	13.46	-0.43	0.58	16.42	0.49	-10.47	0.54	0.63	-36%
42	PI-BORGHETTO	98	100	28.53	20.06	13.63	11.07	-0.35	0.49	14.95	0.39	-8.48	0.52	0.64	-30%
44	PI-ORATOIO	96	100	31.74	16.26	12.83	8.66	-0.64	0.69	19.71	0.76	-15.43	0.40	0.50	-49%
45	PI-PASSI	92	100	24.58	13.13	11.72	7.04	-0.61	0.66	15.24	0.72	-11.43	0.52	0.53	-47%
46	PI-MONTECERBOLI-BIS	96	100	12.61	7.85	5.63	3.92	-0.47	0.61	7.77	0.61	-4.79	0.22	0.48	-38%
47	PI-PONTEREDERA	96	100	29.50	19.78	12.04	12.88	-0.40	0.54	15.84	0.43	-9.78	0.50	0.61	-33%
48	PI-SANTA-CROCE-COOP	97	100	29.74	24.07	14.33	16.77	-0.22	0.48	16.03	0.36	-5.83	0.55	0.70	-20%
49	PI-SANTA-CROCE-SERAO	92	100	23.74	21.02	10.30	13.78	-0.14	0.48	13.23	0.36	-3.15	0.46	0.64	-13%
50	PO-FERRUCCI	97	100	33.20	23.01	20.56	14.60	-0.36	0.62	23.00	0.69	-10.15	0.35	0.54	-31%
52	PO-ROMA	91	100	30.93	23.01	19.87	14.45	-0.31	0.59	21.08	0.63	-8.36	0.40	0.56	-27%
54	PO-STROZZI	89	100	32.28	16.80	18.24	10.66	-0.58	0.68	22.39	0.87	-14.48	0.39	0.50	-45%
55	PT-MONTALE	77	100	28.89	9.56	23.21	5.81	-1.07	1.09	29.56	3.47	-20.17	0.39	0.42	-70%
56	PT-MONT-VIA-MERLINI	92	100	27.81	19.24	16.23	12.96	-0.34	0.54	16.76	0.51	-8.04	0.51	0.64	-29%
57	PT-SIGNORELLI	97	100	25.51	23.42	15.47	21.52	-0.09	0.59	20.23	0.69	-2.28	0.45	0.63	-9%
58	PT-ZAMENHOF	98	100	30.53	23.42	21.78	21.50	-0.26	0.64	23.81	0.80	-7.13	0.45	0.64	-23%
60	SI-LOC-DUE-PONTI	38	100	27.36	12.11	9.87	7.18	-0.75	0.79	18.09	0.96	-14.96	0.32	0.45	-55%
63	MS-VIA-CARRIONA	96	100	36.52	8.91	21.10	5.13	-1.21	1.22	33.97	3.52	-27.64	0.38	0.43	-76%
64	MS-VIA-FRASSINA	98	100	51.38	13.63	26.25	8.09	-1.16	1.17	45.23	2.91	-37.96	0.35	0.44	-74%
66	LU-TANGENZIALE	98	100	44.07	23.31	20.96	19.79	-0.62	0.71	27.83	0.75	-20.89	0.59	0.61	-47%
71	FI-CALENZANO-GIOVANNI	100	100	34.50	14.99	21.41	8.29	-0.79	0.84	27.96	1.51	-19.57	0.36	0.45	-57%
MEDIA SULLE STAZIONI				28.48	17.18	14.27	11.12	-0.51	0.68	19.36	0.91	-11.35	0.40	0.53	-40%

Tab. 5 – Indicatori statistici, calcolati sui valori medi giornalieri, per NO2. Periodo gennaio-marzo 2010.

NO2 SKILL DRARI (GEN/DIC)															
ID	NOME STAZIONE	DATI PRESENTI STAZIONE (%)	DATI PRESENTI MODELLO (%)	MEDIA STAZIONE	MEDIA MODELLO	STANDARD DEVIATION STAZIONE	STANDARD DEVIATION MODELLO	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
1	AR-CASA-STABBI	89	100	6.57	4.19	1.86	2.49	-0.48	0.58	3.82	0.56	-2.56	0.17	0.36	-39%
2	AR-VIA-ACROPOLI	83	100	27.97	14.61	12.20	7.89	-0.65	0.71	18.45	0.83	-13.84	0.32	0.47	-49%
3	AR-VIA-FIORENTINA	100	100	51.17	18.72	16.05	9.91	-0.95	0.96	37.01	1.43	-33.20	0.27	0.39	-65%
4	AR-PIAZZA-REPUBBLICA	99	100	50.01	33.03	16.53	12.72	-0.43	0.49	24.27	0.36	-17.67	0.37	0.53	-35%
5	FI-BASSI	96	100	36.86	34.88	16.23	14.06	-0.09	0.41	19.04	0.28	-3.09	0.23	0.53	-8%
6	FI-BOBOLI	100	100	41.37	42.38	17.84	12.07	0.00	0.32	17.25	0.17	0.03	0.38	0.60	0%
7	FI-GRAMSCI	94	100	121.27	47.37	21.88	13.19	-0.89	0.89	77.82	1.06	-75.18	0.43	0.30	-62%
8	FI-MOSSE	84	100	109.09	49.16	24.82	12.30	-0.77	0.77	65.23	0.80	-60.84	0.35	0.39	-56%
10	FI-SETTIGNANO	90	100	15.89	24.37	7.48	12.89	0.43	0.63	15.46	0.60	8.89	0.32	0.48	56%
11	FI-SIGNA	96	100	50.88	40.24	17.85	13.01	-0.25	0.40	22.33	0.24	-11.64	0.27	0.51	-23%
12	FI-SCANDICCI-BUOZZI	90	100	45.66	45.81	16.27	12.02	0.00	0.27	15.96	0.12	-0.18	0.39	0.60	0%
14	FI-CAMPI-BISENZIO	100	100	36.70	31.42	14.84	10.96	-0.17	0.36	15.61	0.21	-5.96	0.40	0.61	-16%
15	FI-EMPOLI-RIDOLFI	99	100	72.43	32.03	15.33	11.28	-0.78	0.79	43.45	0.82	-40.82	0.41	0.37	-56%
16	FI-GREVE-PASSO-PECORAI	96	100	18.97	8.15	7.42	4.78	-0.82	0.86	13.76	1.23	-11.14	0.18	0.39	-59%
17	FI-MONTELUPO-VIA-ASIA	56	100	63.80	31.42	20.93	11.17	-0.64	0.69	36.45	0.64	-31.07	0.42	0.48	-49%
20	GR-VIALE-SONNINO	100	100	64.85	33.07	9.61	12.55	-0.66	0.66	35.32	0.59	-32.52	0.25	0.30	-50%
21	GR-VIA-URSS	98	100	25.12	21.04	8.14	11.11	-0.20	0.47	13.33	0.34	-4.64	0.18	0.48	-18%
23	LI-VIALE-CARDUCCI	100	100	45.15	41.40	13.51	12.82	-0.11	0.32	16.66	0.15	-4.58	0.26	0.55	-10%
24	LI-VIA-GOBETTI	100	100	23.33	27.63	7.09	11.12	0.15	0.39	12.32	0.24	3.78	0.23	0.48	16%
25	LI-VILLA-MAUROGORDATO	98	100	7.23	20.04	3.25	8.82	0.93	0.94	15.25	1.61	12.56	0.24	0.26	174%
26	LI-COTONE-RETE-LI	100	100	20.63	31.24	6.49	15.22	0.38	0.50	17.74	0.49	9.94	0.29	0.41	48%
27	LI-UNITA-ITALIA-GIARDINI-PUBBLICI	100	100	38.94	31.24	14.52	15.22	-0.24	0.44	18.70	0.29	-8.47	0.37	0.58	-22%
28	LI-VIA-VENETO	100	100	15.23	17.02	8.03	9.07	0.08	0.55	11.79	0.53	1.31	0.06	0.43	9%
29	LI-POGGIO-SAN-ROCCO-ROSIGNANO	99	100	7.69	9.87	3.77	4.70	0.22	0.51	6.18	0.50	1.93	0.05	0.39	25%
30	LU-MICHELETTO	100	100	47.99	44.74	10.58	13.27	-0.09	0.29	16.10	0.12	-4.12	0.16	0.47	-9%
32	LU-CAPANNORI	99	100	39.14	44.64	12.08	14.48	0.11	0.33	17.93	0.18	4.73	0.16	0.47	12%
33	LU-PORCARI	100	100	43.22	44.99	13.73	14.04	0.02	0.36	19.66	0.20	0.99	0.00	0.39	2%
35	LU-ZVIAREGGIO	98	100	42.57	33.33	13.85	9.82	-0.26	0.39	18.09	0.23	-10.01	0.22	0.49	-24%
36	MS-PARCHEGGIO-COLOMBAROTTO	100	100	60.85	4.63	15.72	2.21	-1.72	1.72	59.24	12.45	-56.99	-0.14	0.28	-94%
37	MS-VIA-GALVANI	100	100	39.85	7.88	10.40	4.01	-1.35	1.35	34.43	3.78	-32.46	-0.09	0.30	-81%
38	PI-CASCINA	100	100	48.72	19.53	14.90	6.51	-0.87	0.88	32.93	1.15	-29.71	0.32	0.42	-61%
39	PI-NAVACCHIO	99	100	33.97	22.87	14.97	7.46	-0.41	0.49	18.36	0.44	-11.67	0.35	0.48	-34%
42	PI-BORGHETTO	97	100	47.24	39.67	14.69	9.07	-0.19	0.29	16.15	0.14	-8.17	0.39	0.57	-17%
43	PI-FAZIO	97	100	44.38	35.73	14.08	9.81	-0.24	0.33	16.23	0.17	-9.52	0.44	0.58	-21%
44	PI-ORATOIO	100	100	26.98	26.84	11.49	8.18	-0.03	0.33	11.48	0.18	-0.68	0.36	0.60	-3%
45	PI-PASSI	100	100	25.90	16.84	10.12	5.92	-0.45	0.54	13.73	0.43	-9.54	0.33	0.49	-37%
47	PI-PONTERA	97	100	42.64	26.92	10.95	9.63	-0.47	0.49	20.40	0.36	-16.24	0.28	0.45	-38%
48	PI-SANTA-CROCE-COOP	100	100	37.90	36.88	14.82	10.48	-0.05	0.29	14.16	0.14	-1.86	0.42	0.64	-5%
50	PO-FERRUCCI	100	100	50.07	48.15	20.05	15.23	-0.06	0.36	22.28	0.21	-2.93	0.24	0.52	-6%
51	PO-FONTANELLE	100	100	32.57	46.61	11.25	14.76	0.33	0.41	20.72	0.28	13.17	0.26	0.47	40%
52	PO-ROMA	97	100	35.51	48.15	21.44	15.40	0.27	0.50	25.27	0.38	11.36	0.28	0.55	32%
53	PO-SAN-PAOLO	98	100	40.03	46.49	14.68	15.27	0.12	0.33	17.62	0.17	5.29	0.37	0.62	13%
54	PO-STROZZI	100	100	45.94	36.65	14.96	15.64	-0.24	0.40	20.33	0.25	-10.04	0.33	0.54	-22%
55	PT-MONTALE	100	100	36.57	10.42	14.73	7.34	-1.13	1.15	30.52	2.45	-26.66	0.23	0.39	-73%
56	PT-MONT-VIA-MERLINI	100	100	37.80	26.73	14.42	10.89	-0.36	0.48	19.34	0.37	-11.65	0.28	0.50	-31%
57	PT-SIGNORELLI	100	100	33.09	26.91	8.78	15.88	-0.22	0.46	17.14	0.33	-6.60	0.28	0.48	-20%
58	PT-ZAMENHOF	100	100	53.08	26.91	17.99	15.88	-0.67	0.73	33.20	0.77	-27.01	0.35	0.46	-51%
60	SI-LOC-DUE-PONTI	100	100	25.42	15.33	5.78	9.44	-0.51	0.60	14.15	0.52	-10.45	0.29	0.42	-41%
62	LI-VIA-GUIDO-ROSSA	100	100	17.40	12.76	8.23	6.21	-0.33	0.56	10.60	0.50	-5.04	0.19	0.51	-29%
63	MS-VIA-CARRIONA	100	100	36.61	4.74	10.40	2.67	-1.55	1.55	34.06	6.69	-32.35	0.03	0.32	-88%
64	MS-VIA-FRASSINA	100	100	47.08	16.25	12.04	6.32	-0.99	0.99	33.69	1.49	-31.52	0.28	0.37	-67%
65	PO-PAPA-GIOVANNI	100	100	29.47	29.82	16.20	15.27	-0.01	0.53	19.70	0.44	-0.33	0.22	0.53	-1%
67	GR-PARCO-MAREMMA	98	100	6.38	4.28	2.29	2.45	-0.40	0.53	3.53	0.46	-2.10	0.28	0.52	-33%
71	FI-CALENZANO-GIOVANNI	67	100	51.88	34.12	21.96	15.03	-0.37	0.56	29.48	0.47	-16.09	0.14	0.45	-31%
MEDIA SULLE STAZIONI				39.95	28.34	12.95	10.55	-0.33	0.60	22.85	0.92	-12.17	0.26	0.47	-30%

Tab. 6 – Indicatori statistici, calcolati sui valori medi giornalieri, per PM2.5. Periodo gennaio-marzo 2010.

PM2.5 SKILL GIORN. (GEN/DIC)															
ID	NOME STAZIONE	DATI PRESENTI STAZIONE (%)	DATI PRESENTI MODELLO (%)	MEDIA STAZIONE	MEDIA MODELLO	STANDARD DEVIATION STAZIONE	STANDARD DEVIATION MODELLO	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
21	GR-VIA-URSS	94	100	11.58	15.88	5.41	5.86	0.29	0.47	7.87	0.34	3.93	0.27	0.51	34%
23	LI-VIALE-CARDUCCI	99	100	15.24	13.97	7.08	6.41	-0.1	0.34	7.07	0.24	-1.46	0.48	0.69	-10%
29	LI-POGGIO-SAN-ROCCO-ROSIGNANO	73	100	10.73	8.21	8.36	3.23	-0.37	0.65	8.15	0.84	-3.34	0.45	0.54	-31%
45	PI-PASSI	89	100	25.01	12.97	14.03	5.27	-0.63	0.69	17.02	0.89	-11.98	0.53	0.55	-48%
52	PO-ROMA	89	100	21.11	22.76	16.1	7.6	0.07	0.55	16.25	0.54	1.55	0.23	0.45	7%
MEDIA SULLE STAZIONI				16.73	14.76	10.20	5.67	-0.15	0.54	11.27	0.57	-2.26	0.39	0.55	-14%

Tab. 7 – Indicatori statistici, calcolati sui valori medi giornalieri, per SO2. Periodo gennaio-marzo 2010.

SO2 SKILL GIORN. (GEN/DIC)															
ID	NOME STAZIONE	DATI PRESENTI STAZIONE (%)	DATI PRESENTI MODELLO (%)	MEDIA STAZIONE	MEDIA MODELLO	STANDARD DEVIATION STAZIONE	STANDARD DEVIATION MODELLO	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
5	FI-BASSI	94	100	1.32	1.45	0.65	0.82	0.09	0.46	0.89	0.41	0.13	0.3	0.56	10%
6	FI-BOBOLI	96	100	0.99	1.57	0.52	0.84	0.44	0.56	0.99	0.64	0.57	0.36	0.5	58%
8	FI-MOSSE	94	100	1.13	2.1	0.74	1.13	0.59	0.68	1.43	0.86	0.96	0.42	0.5	85%
12	FI-SCANDICCI-BUOZZI	89	100	1.11	1.63	0.66	0.83	0.38	0.61	1.12	0.69	0.52	0.14	0.42	47%
30	LU-MICHELETTO	95	100	1.79	1.52	0.8	0.88	-0.17	0.63	1.3	0.62	-0.28	-0.14	0.33	-16%
33	LU-PORCARI	92	100	1.01	1.59	0.55	1.03	0.44	0.62	1.07	0.72	0.57	0.47	0.56	56%
55	PT-MONTALE	66	100	0.8	1.01	1.09	0.58	0.23	0.86	1.19	1.74	0.21	0.13	0.35	26%
66	LU-TANGENZIALE	92	100	1.15	1.43	0.74	0.8	0.21	0.57	1.01	0.62	0.27	0.21	0.49	23%
MEDIA SULLE STAZIONI				1.16	1.54	0.72	0.86	0.28	0.62	1.13	0.79	0.37	0.24	0.46	32%

2. Risultati

Tab. 8 – Indicatori statistici, calcolati sui valori medi giornalieri, per PM10. Periodo gennaio-marzo 2010. Solo stazioni di fondo.

PM10 SKILL GIORN. (GEN/DIC)															
ID	NOME STAZIONE	DATI PRESENTI STAZIONE (%)	DATI PRESENTI MODELLO (%)	MEDIA STAZIONE	MEDIA MODELLO	STANDARD DEVIATION STAZIONE	STANDARD DEVIATION MODELLO	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
1	AR-CASA-STABBI	93	100	10.18	6.25	6.04	3.21	-0.49	0.73	7.55	0.90	-4.00	0.15	0.46	-39%
3	AR-VIA-FIORENTINA	99	100	27.26	15.84	14.51	11.76	-0.53	0.65	17.87	0.74	-11.49	0.47	0.59	-42%
5	FI-BASSI	91	100	22.38	14.56	13.64	6.93	-0.41	0.58	15.24	0.70	-7.66	0.32	0.46	-34%
6	FI-BOBOLI	99	100	22.67	15.41	12.95	9.17	-0.39	0.56	14.18	0.58	-7.38	0.44	0.58	-33%
11	FI-SIGNA	98	100	35.45	19.22	21.92	13.19	-0.59	0.67	24.21	0.85	-16.16	0.57	0.58	-46%
12	FI-SCANDICCI-BUOZZI	93	100	32.69	17.79	16.48	10.85	-0.59	0.66	20.83	0.74	-14.87	0.49	0.53	-45%
14	FI-CAMPI-BISENZIO	98	100	32.37	15.45	20.91	9.16	-0.71	0.77	25.08	1.26	-17.01	0.47	0.48	-53%
17	FI-MONTELUPO-VIA-ASIA	96	100	22.41	15.45	9.48	8.96	-0.39	0.53	12.08	0.43	-7.24	0.45	0.59	-32%
21	GR-VIA-URSS	96	100	17.74	17.11	5.58	10.43	-0.04	0.51	10.76	0.38	-0.67	0.21	0.47	-4%
25	LI-VILLA-MAUROGORDATO	95	100	14.13	10.32	6.37	4.59	-0.30	0.54	8.34	0.47	-3.71	0.10	0.44	-26%
29	LI-POGGIO-SAN-ROCCO-ROSIGNANO	92	100	17.46	8.81	8.14	3.85	-0.65	0.72	11.65	0.86	-8.56	0.30	0.49	-49%
32	LU-CAPANNORI	97	100	26.36	28.04	17.66	22.84	0.06	0.49	19.50	0.51	1.67	0.57	0.72	6%
33	LU-PORCARI	95	100	28.09	26.05	17.32	20.37	-0.06	0.48	18.11	0.44	-1.76	0.55	0.72	-6%
35	LU-2VIAREGGIO	97	100	26.11	25.69	10.42	18.82	-0.01	0.65	20.09	0.60	-0.36	0.15	0.44	-1%
36	MS-PARCHEGGIO-COLOMBAROTTO	99	100	21.62	12.04	9.29	8.68	-0.58	0.68	14.14	0.77	-9.68	0.34	0.53	-45%
37	MS-VIA-GALVANI	96	100	26.78	10.76	13.86	6.28	-0.86	0.87	20.39	1.46	-16.09	0.43	0.47	-60%
45	PI-PASSI	92	100	24.58	13.13	11.72	7.04	-0.61	0.66	15.24	0.72	-11.43	0.52	0.53	-47%
52	PO-ROMA	91	100	30.93	23.01	19.87	14.45	-0.31	0.59	21.08	0.63	-8.36	0.40	0.56	-27%
55	PT-MONTALE	77	100	28.89	9.56	23.21	5.81	-1.07	1.09	29.56	3.47	-20.17	0.39	0.42	-70%
56	PT-MONT-VIA-MERLINI	92	100	27.81	19.24	16.23	12.96	-0.34	0.54	16.76	0.51	-8.04	0.51	0.64	-29%
57	PT-SIGNORELLI	97	100	25.51	23.42	15.47	21.52	-0.09	0.59	20.23	0.69	-2.28	0.45	0.63	-9%
71	FI-CALENZANO-GIOVANNI	100	100	34.50	14.99	21.41	8.29	-0.79	0.84	27.96	1.51	-19.57	0.36	0.45	-57%
MEDIA SULLE STAZIONI				25.27	16.46	14.20	10.87	-0.44	0.65	17.77	0.87	-8.86	0.39	0.54	-35%

2. Risultati

Tab. 9 – Indicatori statistici, calcolati sui valori medi giornalieri, per NO2. Periodo gennaio-marzo 2010. Solo stazioni di fondo.

NO2 SKILL TEST ORARI (GEN/DIC)															
ID	NOME STAZIONE	DATI PRESENTI STAZIONE (%)	DATI PRESENTI MODELLO (%)	MEDIA STAZIONE	MEDIA MODELLO	STANDARD DEVIATION STAZIONE	STANDARD DEVIATION MODELLO	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
1	AR-CASA-STABBI	89	100	6.57	4.19	1.86	2.49	-0.48	0.58	3.82	0.56	-2.56	0.17	0.36	-39%
2	AR-VIA-ACROPOLI	83	100	27.97	14.61	12.20	7.89	-0.65	0.71	18.45	0.83	-13.84	0.32	0.47	-49%
5	FI-BASSI	96	100	36.86	34.88	16.23	14.06	-0.09	0.41	19.04	0.28	-3.09	0.23	0.53	-8%
6	FI-BOBOLI	100	100	41.37	42.38	17.84	12.07	0.00	0.32	17.25	0.17	0.03	0.38	0.60	0%
10	FI-SETTIGNANO	90	100	15.89	24.37	7.48	12.89	0.43	0.63	15.46	0.60	8.89	0.32	0.48	56%
11	FI-SIGNA	96	100	50.88	40.24	17.85	13.01	-0.25	0.40	22.33	0.24	-11.64	0.27	0.51	-23%
12	FI-SCANDICCI-BUOZZI	90	100	45.66	45.81	16.27	12.02	0.00	0.27	15.96	0.12	-0.18	0.39	0.60	0%
14	FI-CAMPI-BISENZIO	100	100	36.70	31.42	14.84	10.96	-0.17	0.36	15.61	0.21	-5.96	0.40	0.61	-16%
17	FI-MONTELUPO-VIA-ASIA	56	100	63.80	31.42	20.93	11.17	-0.64	0.69	36.45	0.64	-31.07	0.42	0.48	-49%
21	GR-VIA-URSS	98	100	25.12	21.04	8.14	11.11	-0.20	0.47	13.33	0.34	-4.64	0.18	0.48	-18%
25	LI-VILLA-MAUROGORDATO	98	100	7.23	20.04	3.25	8.82	0.93	0.94	15.25	1.61	12.56	0.24	0.26	174%
29	LI-POGGIO-SAN-ROCCO-ROSIGNANO	99	100	7.69	9.87	3.77	4.70	0.22	0.51	6.18	0.50	1.93	0.05	0.39	25%
32	LU-CAPANNORI	99	100	39.14	44.64	12.08	14.48	0.11	0.33	17.93	0.18	4.73	0.16	0.47	12%
33	LU-PORCARI	100	100	43.22	44.99	13.73	14.04	0.02	0.36	19.66	0.20	0.99	0.00	0.39	2%
35	LU-2VIAREGGIO	98	100	42.57	33.33	13.85	9.82	-0.26	0.39	18.09	0.23	-10.01	0.22	0.49	-24%
36	MS-PARCHEGGIO-COLOMBAROTTO	100	100	60.85	4.63	15.72	2.21	-1.72	1.72	59.24	12.45	-56.99	-0.14	0.28	-94%
37	MS-VIA-GALVANI	100	100	39.85	7.88	10.40	4.01	-1.35	1.35	34.43	3.78	-32.46	-0.09	0.30	-81%
45	PI-PASSI	100	100	25.90	16.84	10.12	5.92	-0.45	0.54	13.73	0.43	-9.54	0.33	0.49	-37%
51	PO-FONTANELLE	100	100	32.57	46.61	11.25	14.76	0.33	0.41	20.72	0.28	13.17	0.26	0.47	40%
52	PO-ROMA	97	100	35.51	48.15	21.44	15.40	0.27	0.50	25.27	0.38	11.36	0.28	0.55	32%
53	PO-SAN-PAOLO	98	100	40.03	46.49	14.68	15.27	0.12	0.33	17.62	0.17	5.29	0.37	0.62	13%
55	PT-MONTALE	100	100	36.57	10.42	14.73	7.34	-1.13	1.15	30.52	2.45	-26.66	0.23	0.39	-73%
56	PT-MONT-VIA-MERLINI	100	100	37.80	26.73	14.42	10.89	-0.36	0.48	19.34	0.37	-11.65	0.28	0.50	-31%
57	PT-SIGNORELLI	100	100	33.09	26.91	8.78	15.88	-0.22	0.46	17.14	0.33	-6.60	0.28	0.48	-20%
65	PO-PAPA-GIOVANNI	100	100	29.47	29.82	16.20	15.27	-0.01	0.53	19.70	0.44	-0.33	0.22	0.53	-1%
67	GR-PARCO-MAREMMA	98	100	6.38	4.28	2.29	2.45	-0.40	0.53	3.53	0.46	-2.10	0.28	0.52	-33%
71	FI-CALENZANO-GIOVANNI	67	100	51.88	34.12	21.96	15.03	-0.37	0.56	29.48	0.47	-16.09	0.14	0.45	-31%
MEDIA SULLE STAZIONI				34.10	27.63	12.68	10.52	-0.23	0.59	20.20	1.06	-6.91	0.23	0.47	-20%

2. Risultati

Tab. 10 – Indicatori statistici, calcolati sui valori medi giornalieri, per PM2.5. Periodo gennaio-marzo 2010. Solo stazioni di fondo.

PM2.5 SKILL (GIORN./GEN/DIC)															
ID	NOME STAZIONE	DATI PRESENTI STAZIONE (%)	DATI PRESENTI MODELLO (%)	MEDIA STAZIONE	MEDIA MODELLO	STANDARD DEVIATION STAZIONE	STANDARD DEVIATION MODELLO	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
21	GR-VIA-URSS	94	100	11.58	15.88	5.41	5.86	0.29	0.47	7.87	0.34	3.93	0.27	0.51	34%
29	LI-POGGIO-SAN-ROCCO-ROSIGNANO	73	100	10.73	8.21	8.36	3.23	-0.37	0.65	8.15	0.84	-3.34	0.45	0.54	-31%
45	PI-PASSI	89	100	25.01	12.97	14.03	5.27	-0.63	0.69	17.02	0.89	-11.98	0.53	0.55	-48%
52	PO-ROMA	89	100	21.11	22.76	16.1	7.6	0.07	0.55	16.25	0.54	1.55	0.23	0.45	7%
MEDIA SULLE STAZIONI				17.11	14.96	10.98	5.49	-0.16	0.59	12.32	0.65	-2.46	0.37	0.51	-14%

Tab. 11 – Indicatori statistici, calcolati sui valori medi giornalieri, per SO2. Periodo gennaio-marzo 2010. Solo stazioni di fondo.

SO2 SKILL (GIORN./GEN/DIC)															
ID	NOME STAZIONE	DATI PRESENTI STAZIONE (%)	DATI PRESENTI MODELLO (%)	MEDIA STAZIONE	MEDIA MODELLO	STANDARD DEVIATION STAZIONE	STANDARD DEVIATION MODELLO	FB	FE	RMSE	NMSE	BIAS	CORR	IOA	ER
5	FI-BASSI	94	100	1.72	1.81	1.17	1.4	0.05	0.63	1.59	0.82	0.09	0.24	0.51	5%
6	FI-BOBOLI	96	100	1.3	2.07	0.99	1.55	0.46	0.75	1.84	1.26	0.77	0.19	0.41	59%
12	FI-SCANDICCI-BUOZZI	89	100	1.24	2.08	1.08	1.51	0.5	0.86	1.97	1.51	0.84	0.08	0.36	68%
33	LU-PORCARI	92	100	1.37	2.12	0.93	1.91	0.43	0.77	1.93	1.29	0.75	0.38	0.49	55%
55	PT-MONTALE	66	100	1.38	1.12	2.3	0.98	-0.21	1.14	2.44	3.85	-0.26	0.08	0.29	-19%
MEDIA SULLE STAZIONI				1.40	1.84	1.29	1.47	0.25	0.83	1.95	1.75	0.44	0.19	0.41	31%

Gli indicatori statistici riportati in tabella 4 relativi al PM10 evidenziano, anche se con una certa variabilità a seconda della stazione, una importante sottostima, dell'ordine del 40%; la correlazione è dell'ordine di 0.40 mentre IOA è pari a 0.53.

In tabella 5 i valori ottenuti per NO2 mostrano una situazione un po' diversa in quanto nella maggior parte delle stazioni il modello sottostima, mentre in alcuni casi si evidenzia una sovrastima: il valore medio dello scarto modello-misura è pari al 30%, la correlazione media è 0.26, IOA è 0.37.

Per quanto riguarda il PM2.5, in tre stazioni il modello sottostima, mentre in 2 sovrastima, per cui il valore medio dello scarto è poco significativo; la correlazione media è 0.39, IOA è 0.55.

Il biossido di zolfo è sovrastimato in tutte le stazioni, ad eccezione di una (Lucca-Micheletto), con un valore medio pari al 30%: la correlazione media è 0.24, IOA è 0.46.

Si sottolinea che sono stati utilizzati tutti i dati, non solo quelli rilevati nelle stazioni di monitoraggio di fondo e che l'analisi solo di queste, con l'esclusione delle stazioni traffico e industriali, porta ad un generalizzato miglioramento dei valori degli indicatori per tutti gli inquinanti in esame (vedi tab. 8-11).

In conclusione, i risultati ottenuti dal sistema modellistico WRF-CAMx applicati all'anno 2010 e in particolare al trimestre gennaio-marzo, confrontati con quanto ottenuto dalla precedente applicazione relativa all'anno 2007, sono coerenti, mostrando valori simili sia in termini di indicatori statistici che in termini di distribuzione delle concentrazioni medie, riportate nelle figure 8-10.

2.6 Confronto con i dati di PM2.5 specati

Nell'ambito del progetto PATOS2 è stata realizzata una campagna di misura volta ad analizzare il particolato fine PM2.5 e la sua speciazione chimica. Le misure effettuate nei tre siti Firenze-Bassi, Firenze-Gramsci, Livorno-Maurogordato, nel periodo aprile 2009-marzo 2010, e le successive analisi che hanno portato ad ottenere i componenti specati del PM2.5 sono descritti nel report redatto dall'Università di Firenze [9].

Il modello CAMx, come descritto nel §1.2, descrive la chimica del particolato attraverso 20 composti, dalla cui somma deriva il PM10, mentre il PM2.5 dalla sola frazione fine. Per effettuare il confronto con le misure ottenute dall'Università di Firenze sono state quindi presi in esame i seguenti composti: solfati, nitrati, ammonio, carbonio elementale, organico (come somma di primario e secondario), oltre che PM2.5. Il modello non ha fornito la stima del particolato crostale fine (primario) in quanto non presente nell'inventario IRSE.

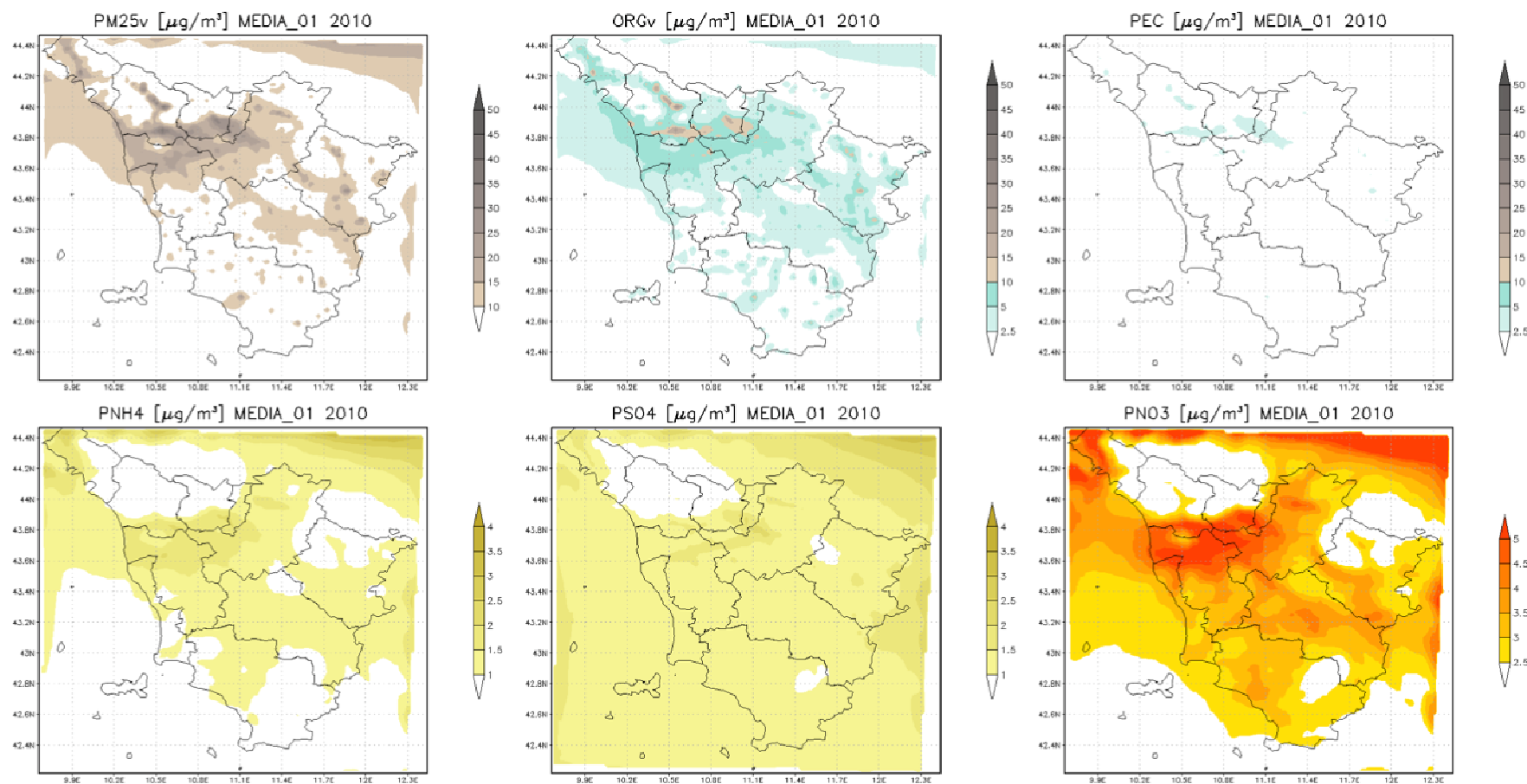


Fig.16 – Mappe delle concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM2.5, composti organici, carbonio elementale, ammonio, solfati, nitrati, relativi a gennaio 2010.

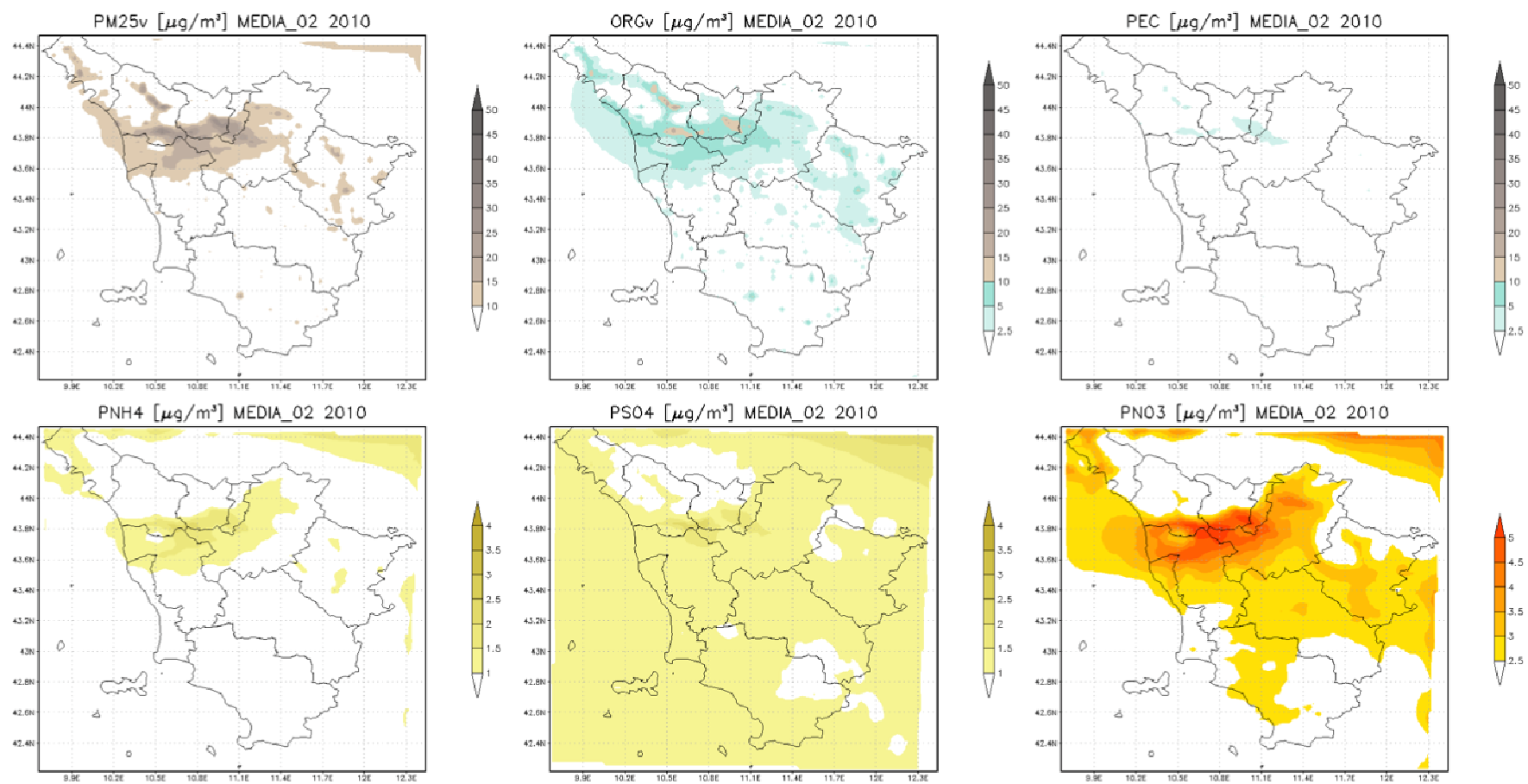


Fig.17 – Mappe delle concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM2.5, composti organici, carbonio elementale, ammonio, solfati, nitrati, relativi a febbraio 2010.

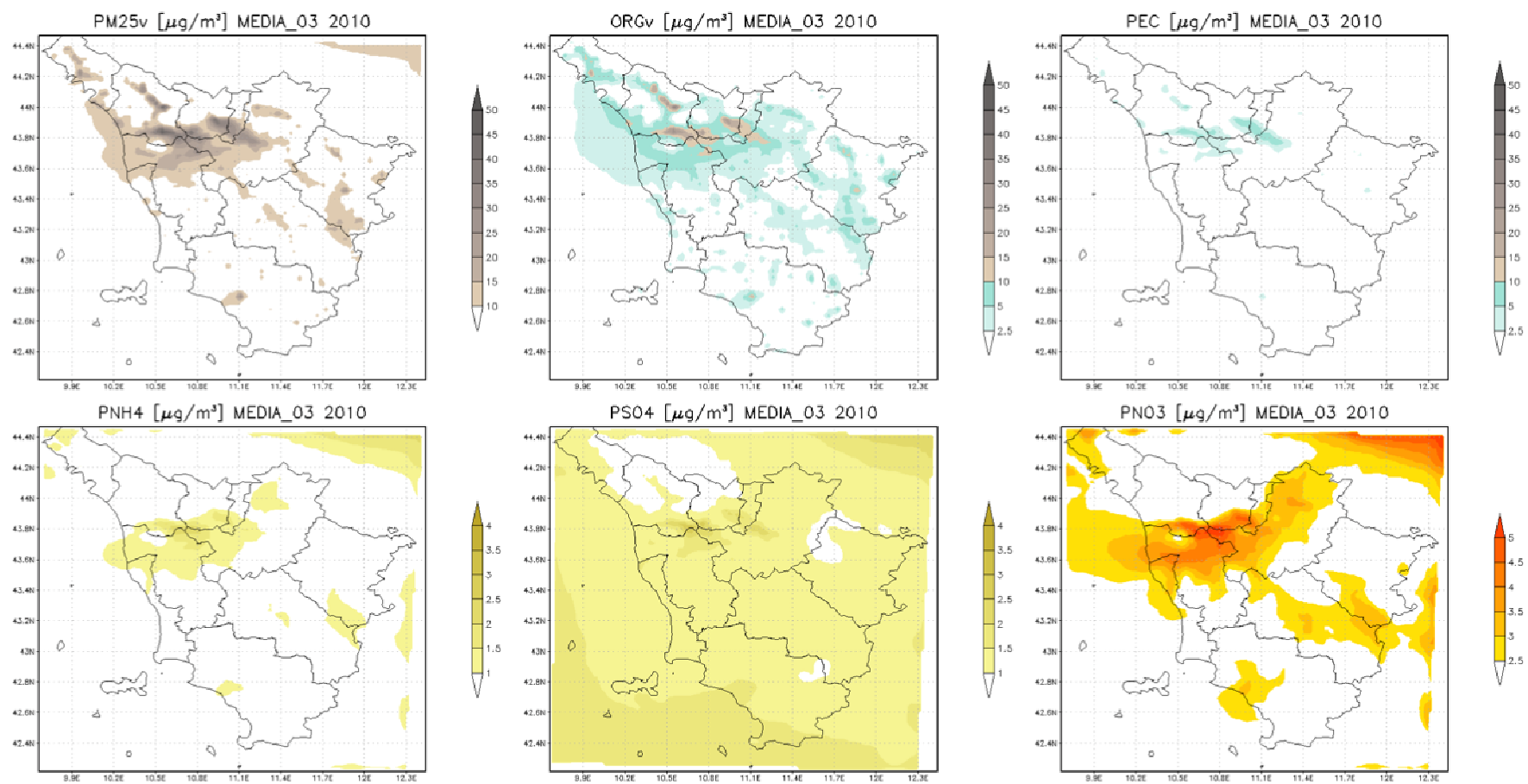


Fig.18 – Mappe delle concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM2.5, composti organici, carbonio elementale, ammonio, solfati, nitrati, relativi a marzo 2010.

In analogia con l'analisi degli inquinanti normati (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂) nelle figure 16-18 sono riportate le mappe della concentrazione media mensile di composti organici, carbonio elementale, ammonio, solfati, nitrati, relative ai mesi di gennaio-marzo 2010; per completezza sono state riportate anche le mappe di PM_{2.5}.

I valori di concentrazione di questi composti sono inferiori di un ordine di grandezza e oltre rispetto ai valori di PM₁₀-PM_{2.5}. Per facilitare il confronto con i composti organici, carbonio elementale e PM_{2.5} sono state aggiunte due classi alla palette delle polveri. I composti organici, sebbene quantitativamente inferiori, hanno una distribuzione spaziale analoga al particolato; il carbonio elementale è ancora minore ed è distribuito nel bacino Firenze-Prato-Pistoia e nella piana del Valdarno inferiore.

I nitrati e l'ammonio sono maggiori nelle aree più antropizzate, mentre i solfati hanno una distribuzione più uniforme sul territorio e varia molto poco nei tre mesi in esame.

Il confronto tra i dati specati ottenuti dall'università di Firenze e le stime modellistiche sarà effettuato principalmente per via grafica. Le misure, intese come medie giornaliere, sono state effettuate a giorni alterni, per cui il campione è dato da 42 coppie di punti.

Nelle figure 19-24 sono riportate le serie temporali della concentrazione media giornaliera di PM_{2.5}, organico, carbonio elementale, nitrati, solfati, ammonio, nella stazione di Bassi.

Il PM_{2.5} e la frazione organica simulata hanno dei valori ed un andamento molto simili alle misure, ad eccezione di tre episodi in cui la concentrazione misurata è molto più alta, analogamente a quanto riscontrato per PM_{2.5} e NO₂ (fig. 19-20).

Il carbonio elementale è correttamente stimato nei primi mesi, sovrastimato nel mese di marzo.

I composti inorganici secondari sono sostanzialmente ben riprodotti nell'andamento temporale anche se i nitrati e l'ammonio sono leggermente sovrastimati, mentre i solfati sono sottostimati nei valori massimi.

Analoga situazione si riscontra nell'analisi delle serie temporali relative alla stazione di traffico Firenze-Gramsci (fig. 25-30); in questo caso il carbonio elementale simulato corrisponde meglio alla concentrazione misurata rispetto a quanto rilevato nella stazione di fondo Firenze-Bassi.

La stazione di Livorno-Maurogordato (fig. 31-36) presenta caratteristiche diverse, in quanto rappresenta una stazione periferica-fondo, in cui i valori di concentrazione del particolato sono decisamente inferiori, in inverno, rispetto ad un tipico fondo urbano come Firenze-Bassi.

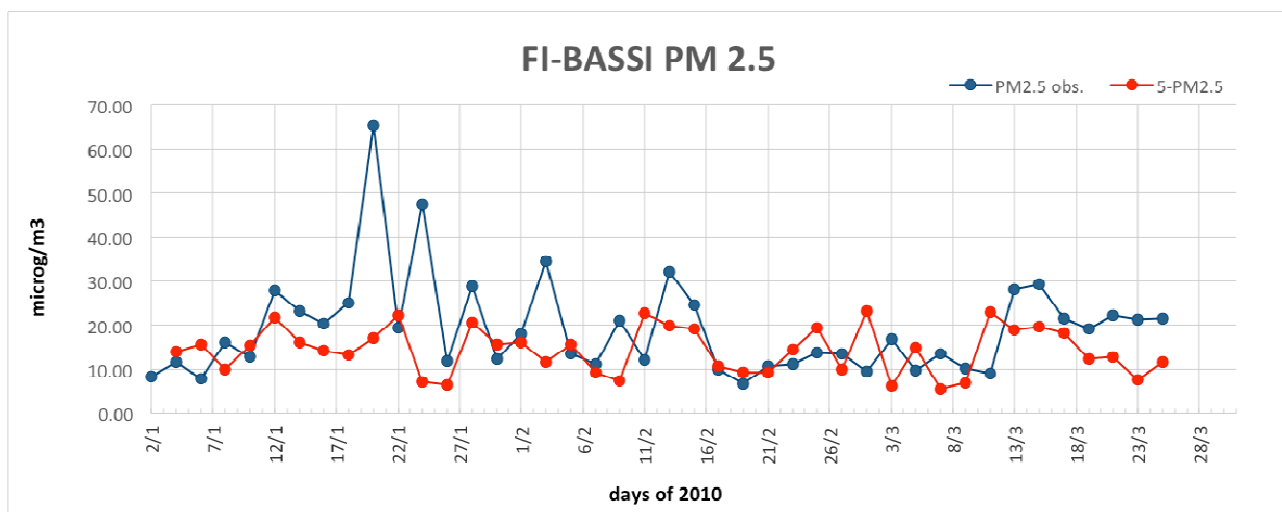


Fig. 19 – Serie giornaliere GEN-MAR di PM2.5 registrate(blu) e simulate (rosso) a FI-Bassi.

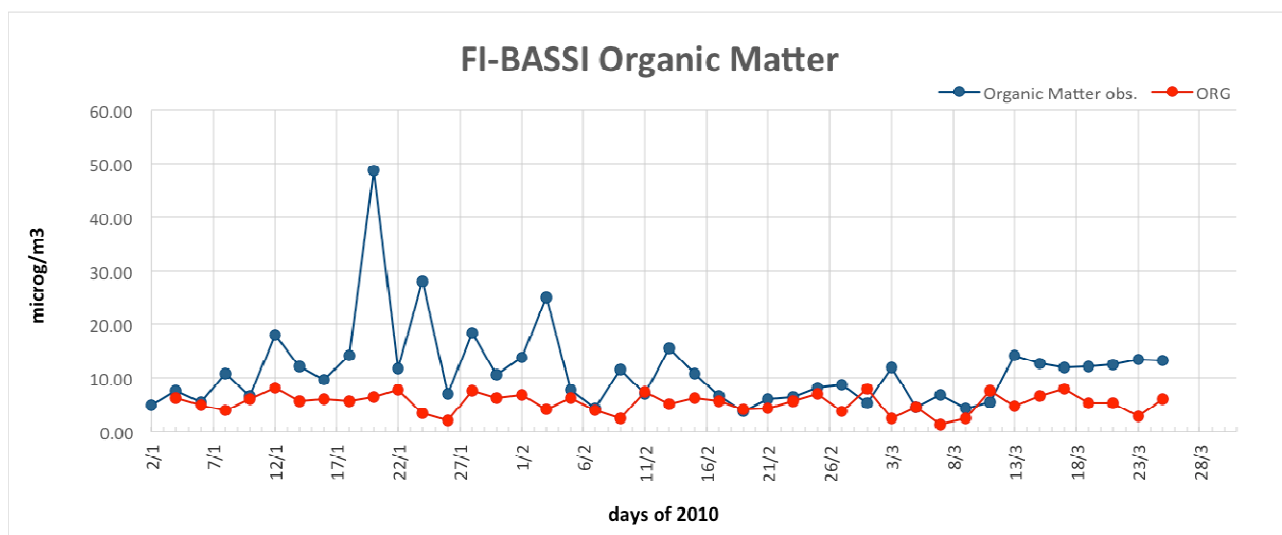


Fig. 20 – Serie giornaliere GEN-MAR di organico registrate(blu) e simulate (rosso) a FI-Bassi.

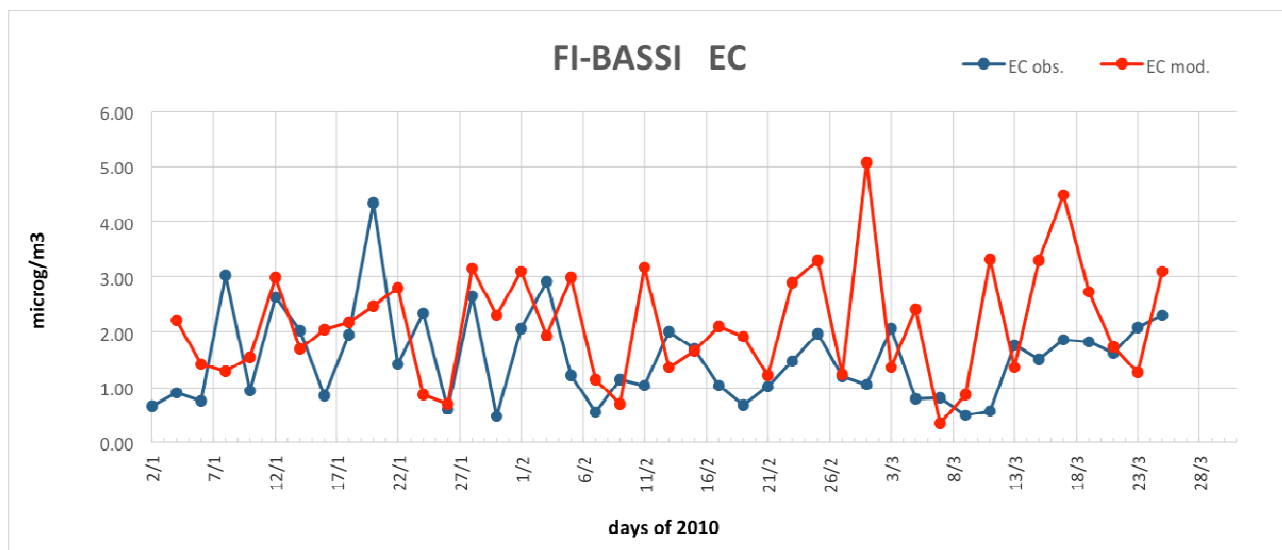


Fig. 21– Serie giornaliere GEN-MAR di carbonio elementale registrate(blu) e simulate (rosso) a FI-Bassi.

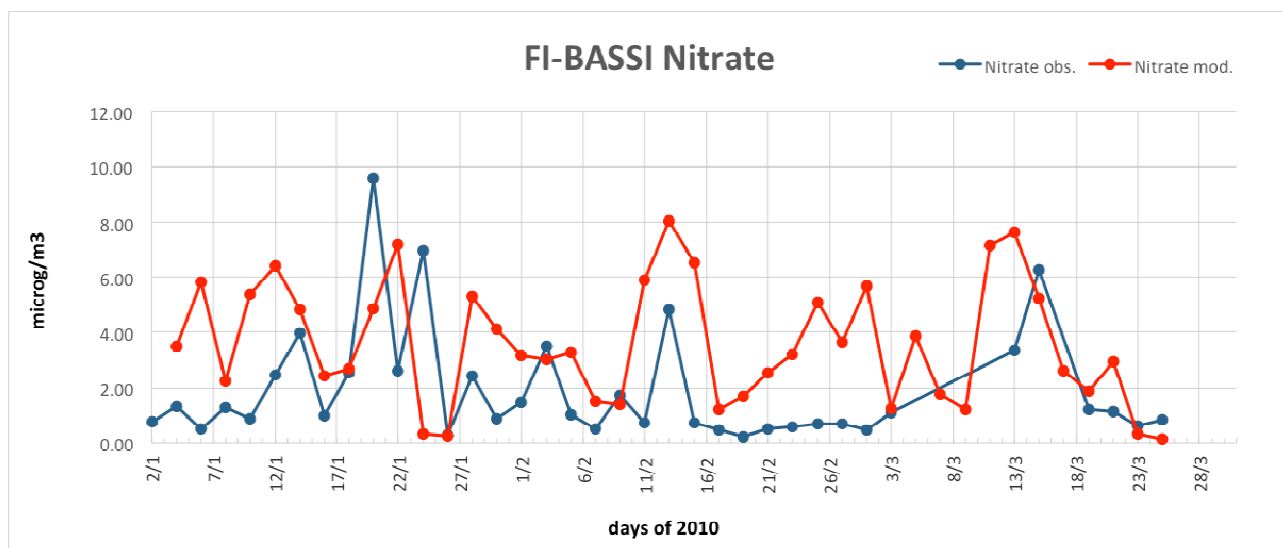


Fig. 22– Serie giornaliere GEN-MAR di nitrati registrate(blu) e simulate (rosso) a FI-Bassi.

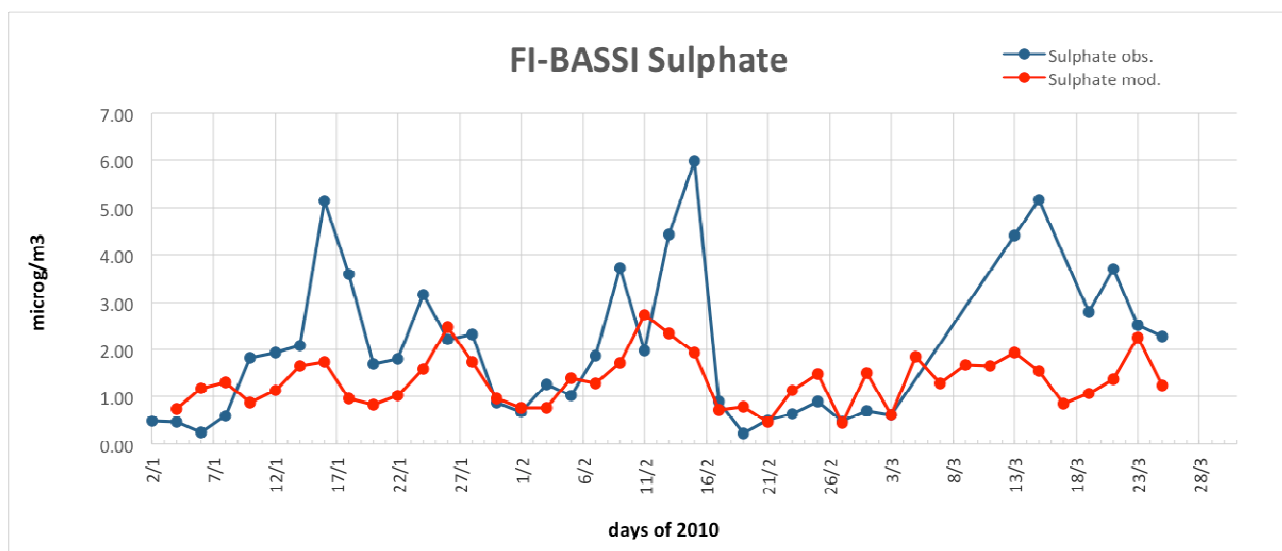


Fig. 23– Serie giornaliere GEN-MAR di solfati registrate(blu) e simulate (rosso) a FI-Bassi.

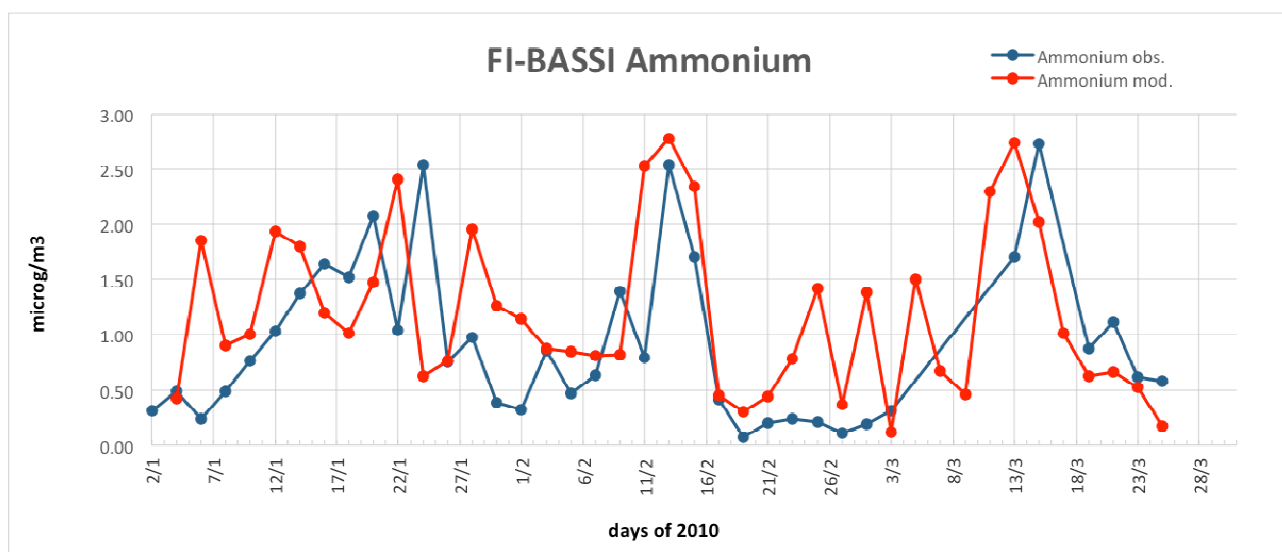


Fig. 24– Serie giornaliere GEN-MAR di ammonio registrate(blu) e simulate (rosso) a FI-Bassi.

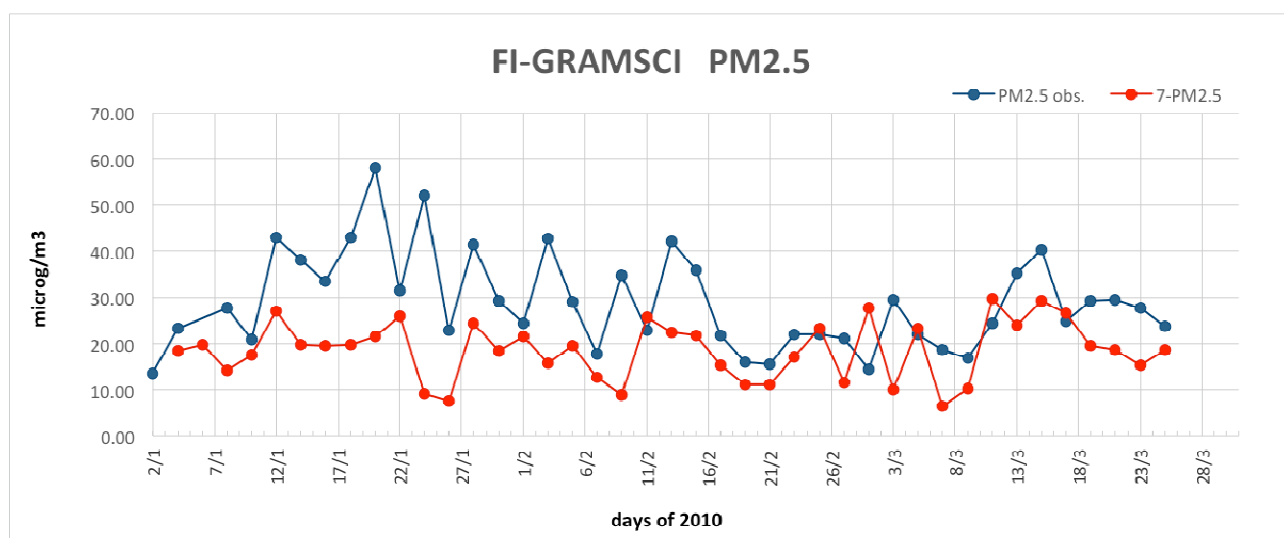


Fig. 25 – Serie giornaliere GEN-MAR di PM2.5 registrate(blu) e simulate (rosso) a FI-Gramsci.

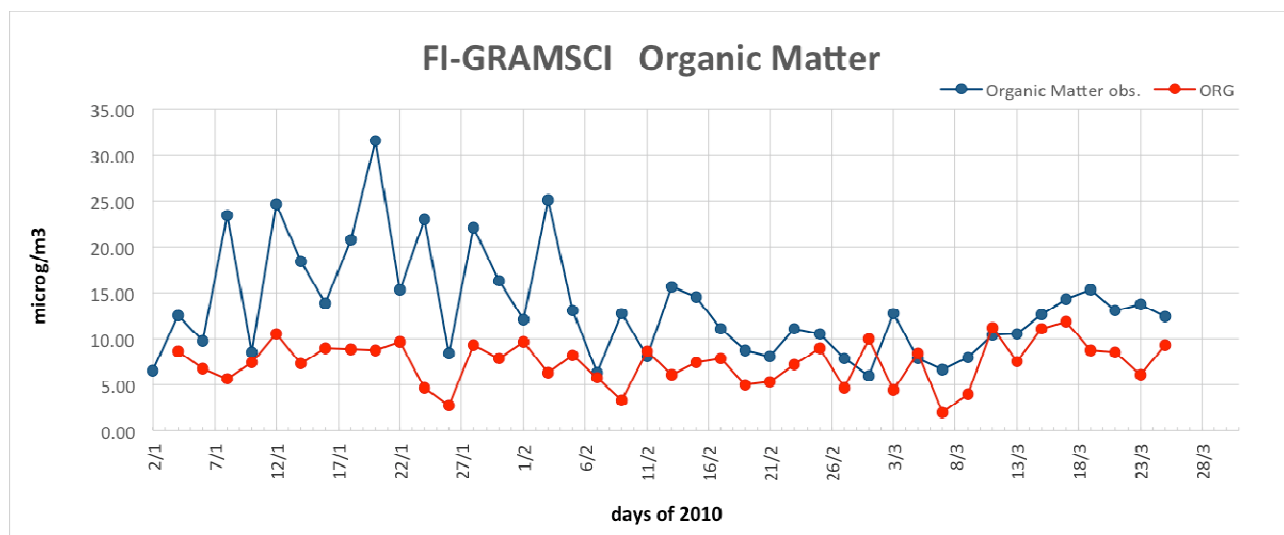


Fig. 26– Serie giornaliere GEN-MAR di organico registrate(blu) e simulate(rosso) a FI-Gramsci.

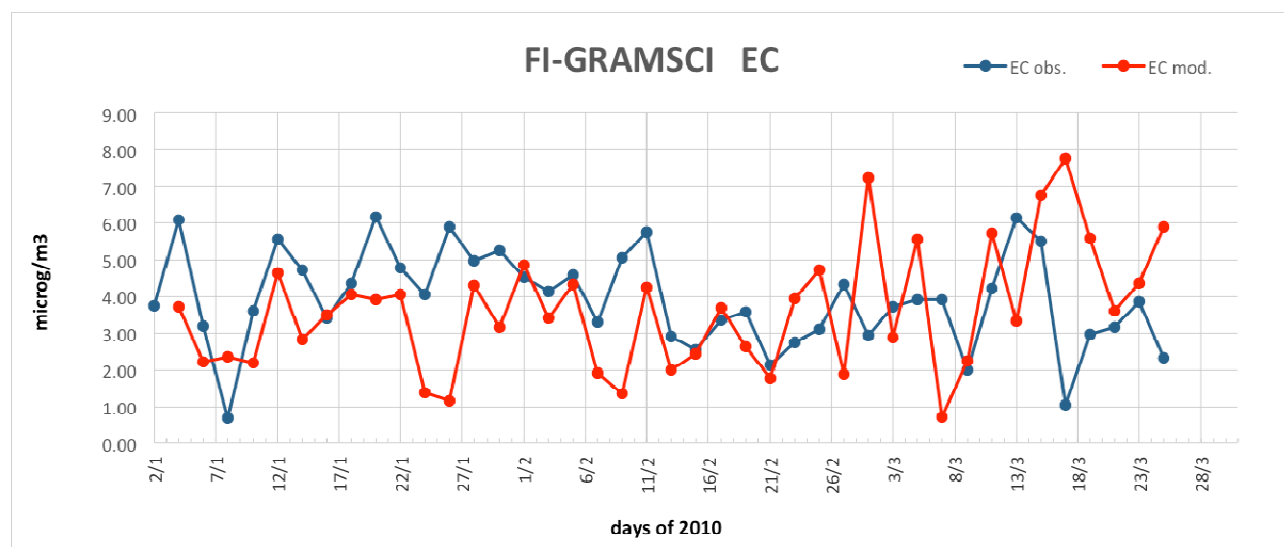


Fig. 27– Serie giornaliere GEN-MAR di carbonio elementale registrate(blu) e simulate (rosso) a FI-Gramsci.

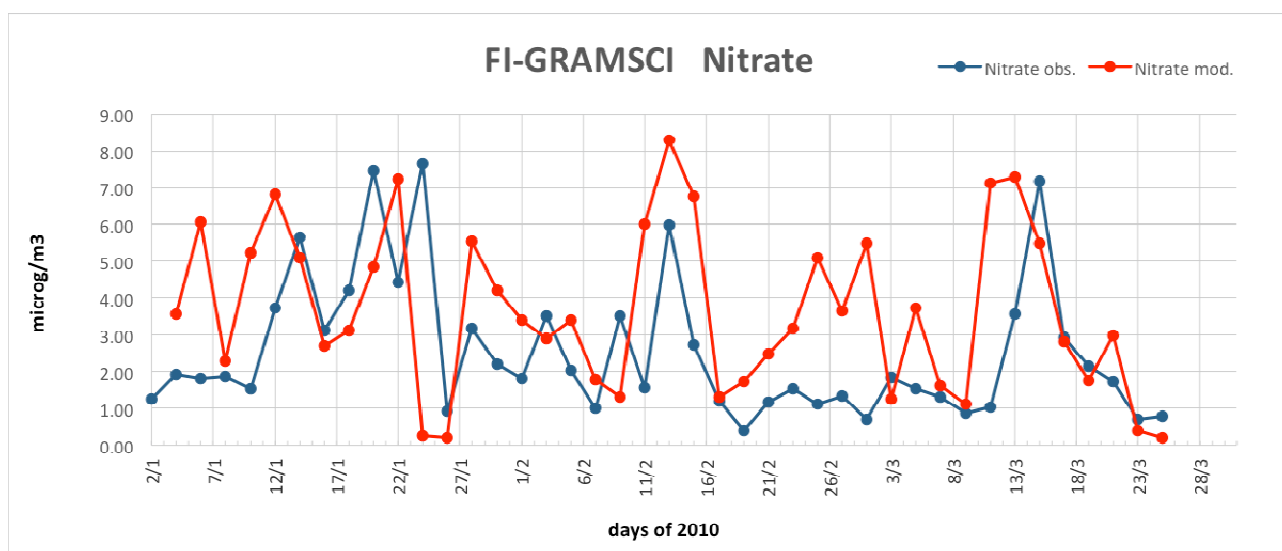


Fig. 28– Serie giornaliere GEN-MAR di nitrati registrate(blu) e simulate (rosso) a FI-Gramsci.

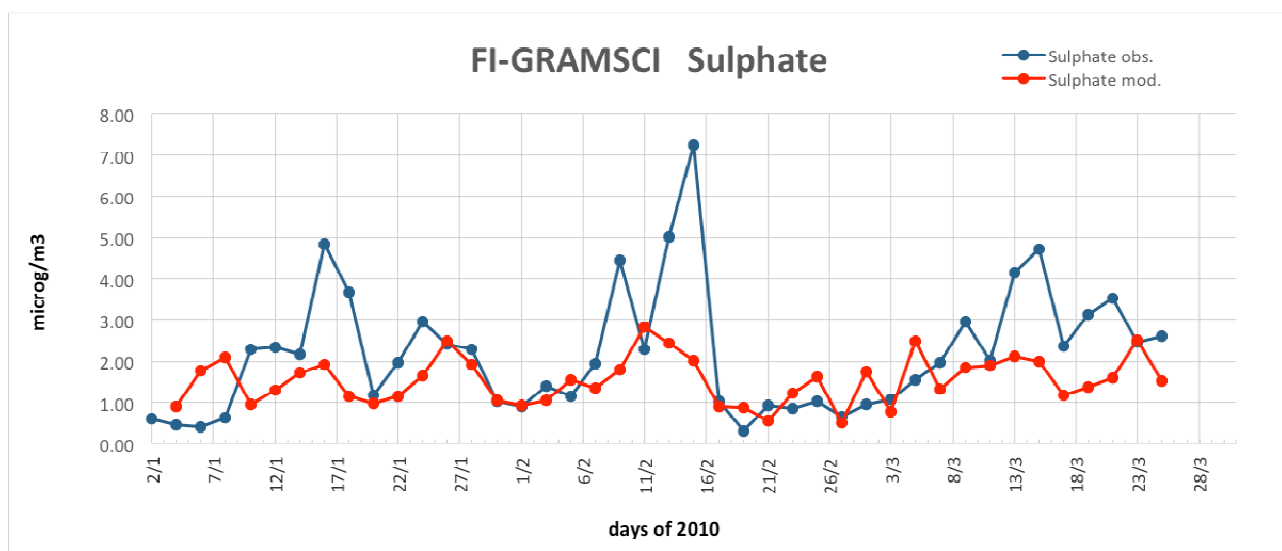


Fig. 29– Serie giornaliere GEN-MAR di solfati registrate(blu) e simulate (rosso) a FI-Gramsci.

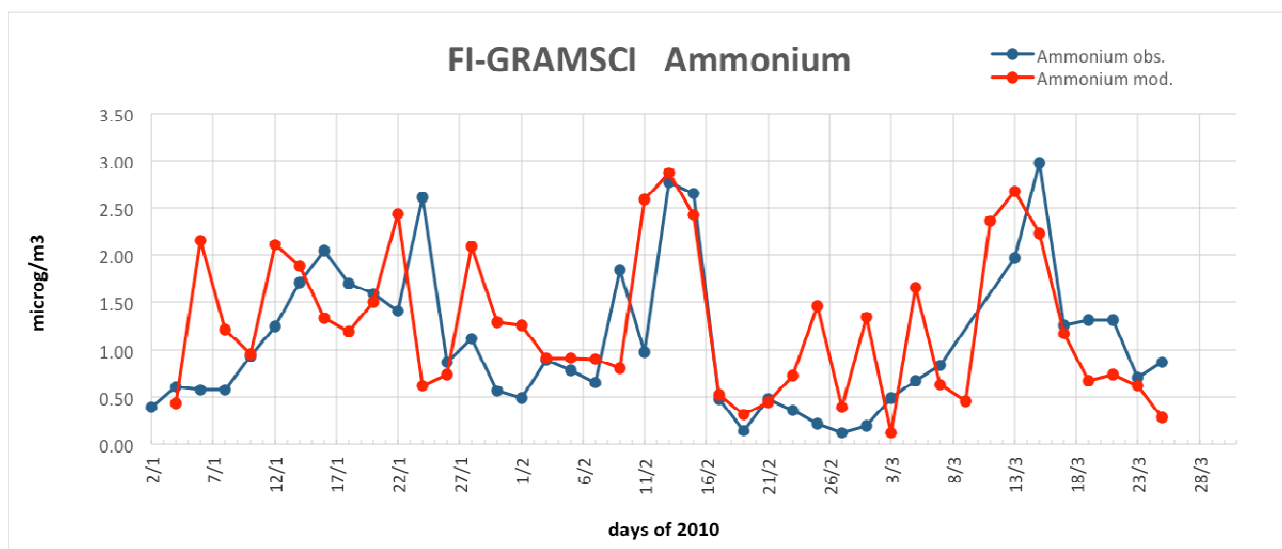


Fig. 30– Serie giornaliere GEN-MAR di ammonio registrate(blu) e simulate (rosso) a FI-Gramsci.

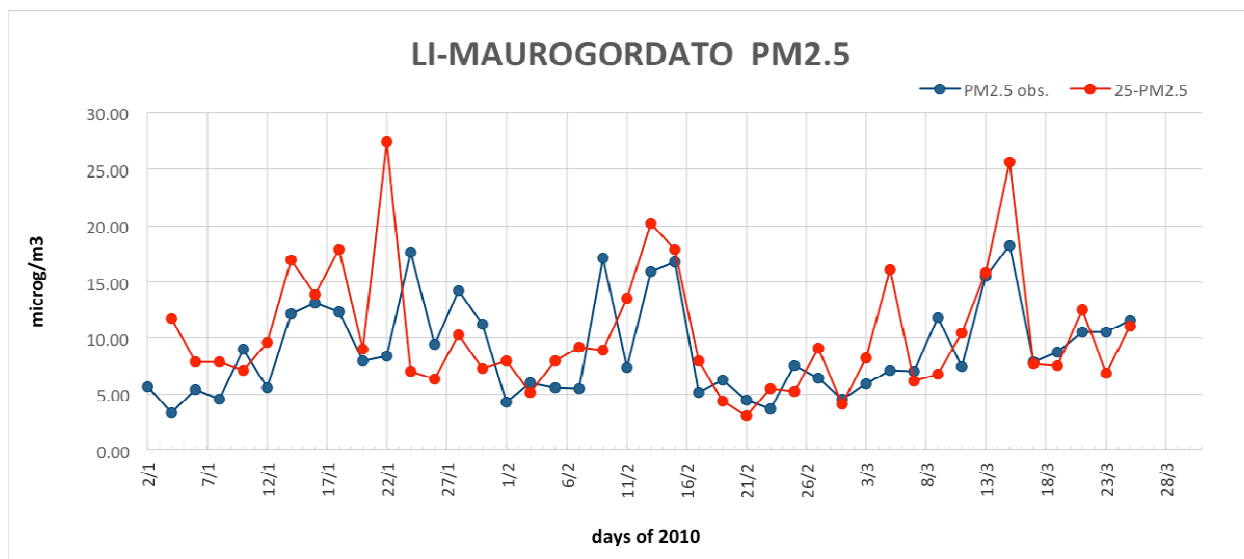


Fig. 31– Serie giornaliera GEN-MAR di PM2.5 registrate(blu) e simulate(rosso) a LI-Maurogordato.

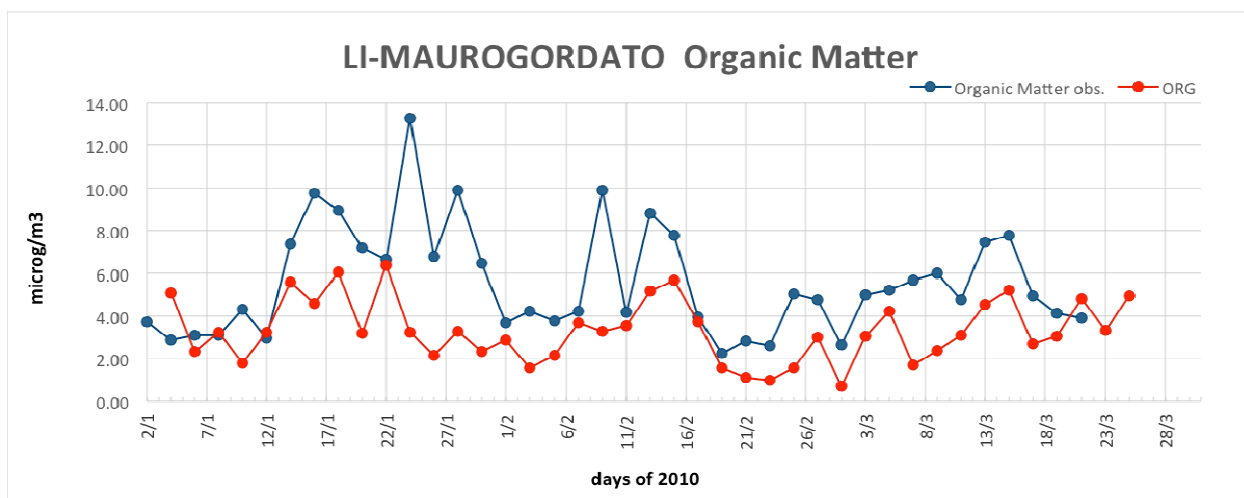


Fig. 32– Serie giornaliera GEN-MAR di organico registrate(blu) e simulate (rosso) a LI-Maurogordato.

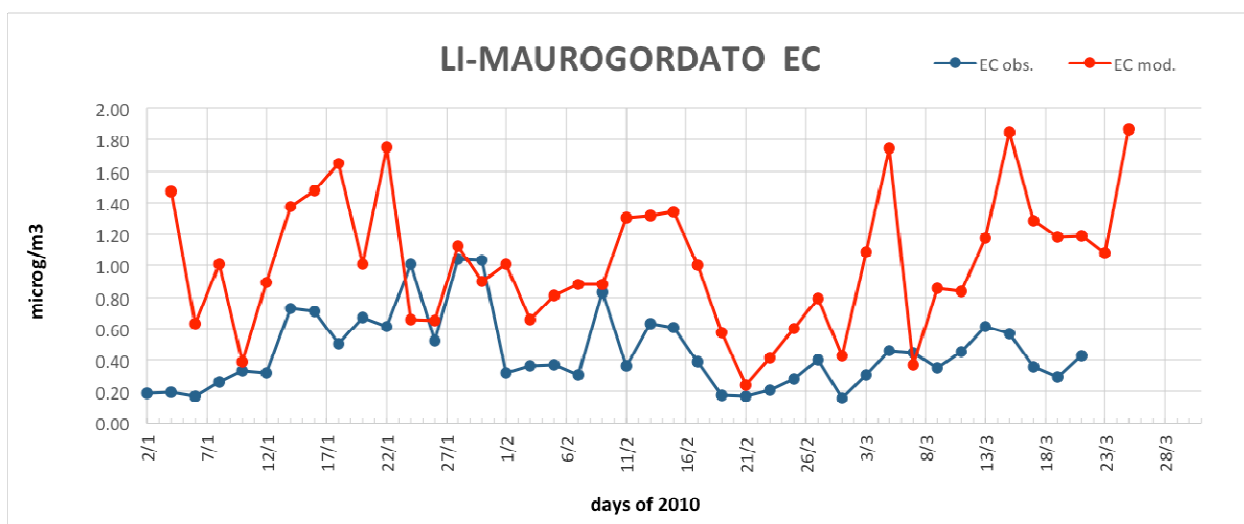


Fig. 33– Serie giornaliera GEN-MAR di carbonio elementale registrate(blu) e simulate (rosso) a LI-Maurogordato

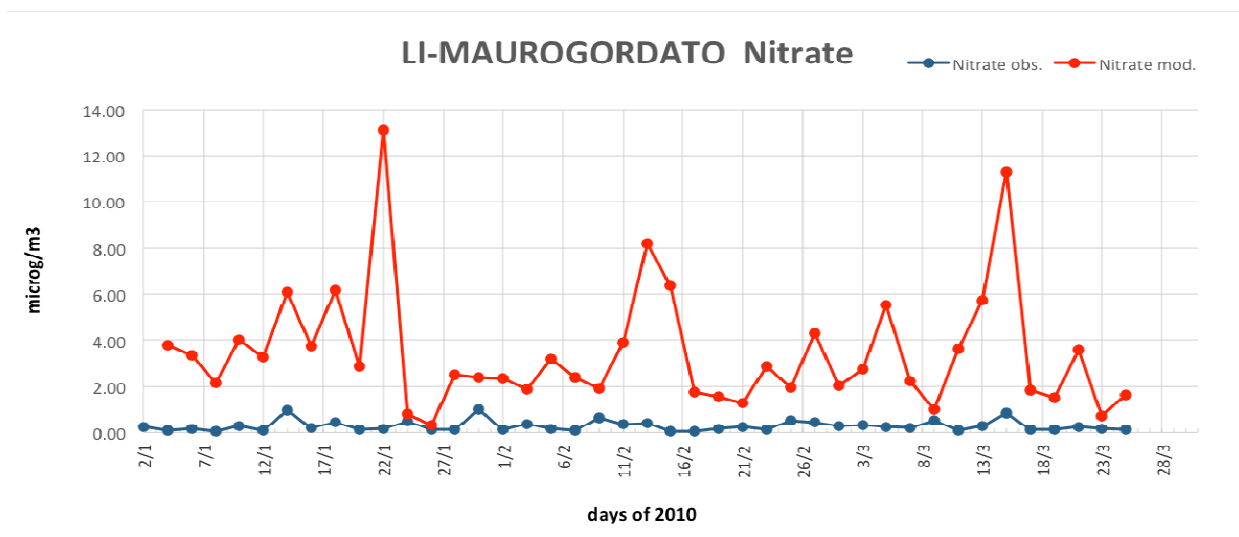


Fig. 34– Serie giornaliere GEN-MAR di nitrati registrate(blu) e simulate (rosso) a LI-Maurogordato

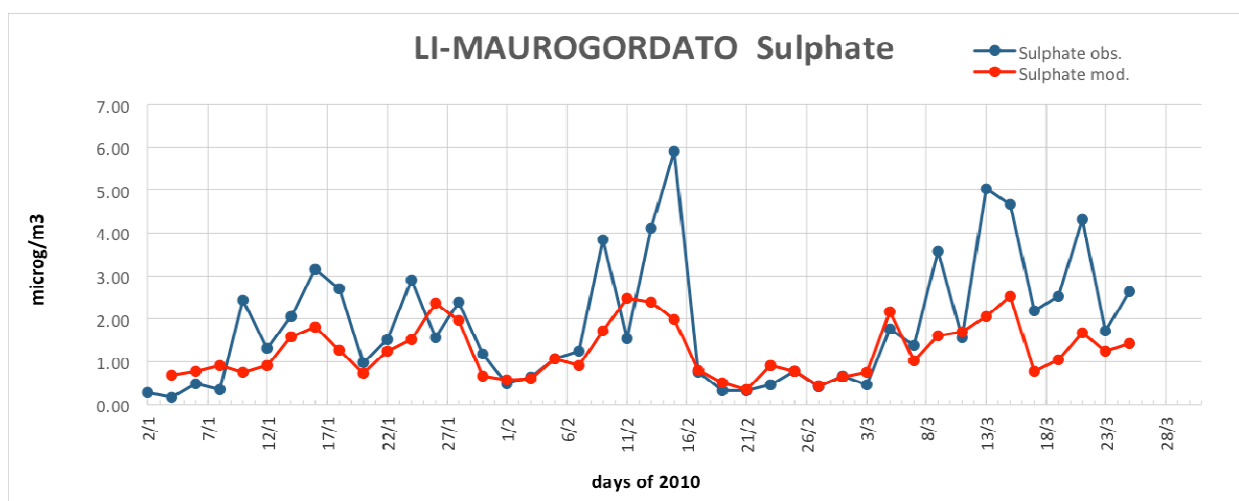


Fig. 35– Serie giornaliere GEN-MAR di solfati registrate(blu) e simulate (rosso) a LI-Maurogordato

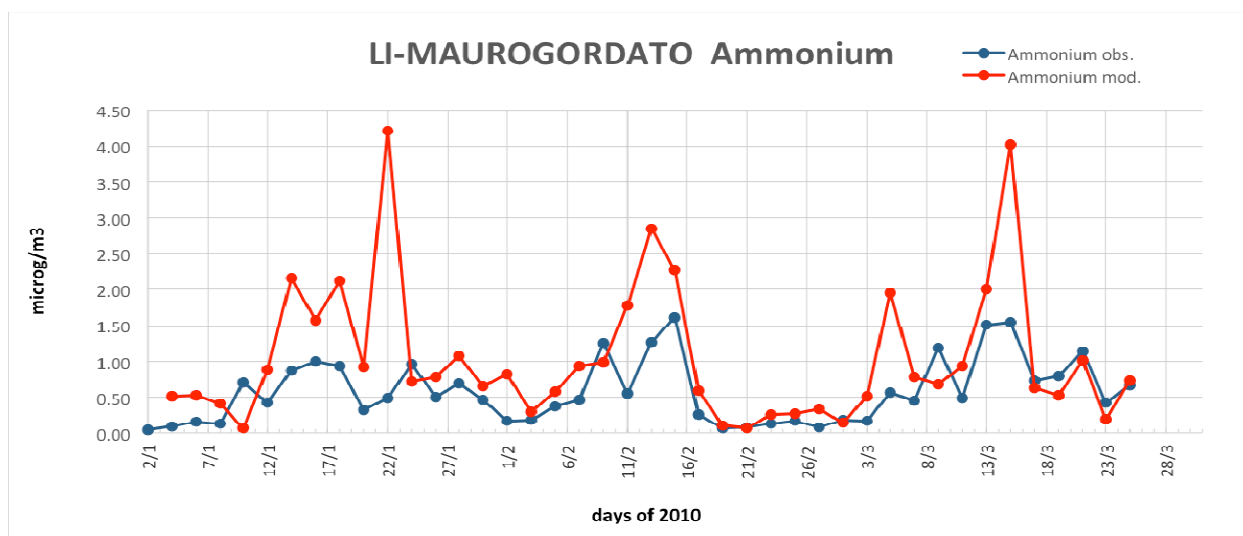


Fig. 36– Serie giornaliere GEN-MAR di ammonio registrate(blu) e simulate (rosso) a LI-Maurogordato

Nella stazione di Livorno-Maurogordato l'andamento del PM2.5 è riprodotto bene, anche se sovrastimato, in particolare in un episodio; la frazione organica, anche questa riprodotta discretamente come andamento, è sottostimata soprattutto nei valori massimi, mentre invece il valore stimato del carbonio elementale è circa il doppio del valore misurato. I composti inorganici mostrano un discreto accordo per quanto riguarda la concentrazione dei solfati (sottostimata nei valori massimi) e dell'ammonio (sovrastimato nei tre episodi con valori maggiori); la concentrazione dei nitrati invece è molto sovrastimata, di quasi un ordine di grandezza, in analogia con quanto riscontrato per la concentrazione di NO₂, in cui a 20 µg/m³ di media annua stimata da modello corrisponde un valore misurato di 7 µg/m³ (la stazione Livorno-Maurogordato ha in assoluto gli indici statistici peggiori per NO₂).

I valori medi del periodo in esame ottenuti dalle misure e dal modello e il corrispondente BIAS sono riportati in tabella 12, per ciascuno dei 5 componenti e del PM2.5 (per il modello sono considerati i valori corrispondenti alle misure, cioè a giorni alterni). Non è stato ritenuto opportuno elaborare altri indici statistici, data l'esiguità del campione.

Tab 12 – Tabella riassuntiva per le stazioni di FI-Bassi, FI-Gramsci e LI-Maurogordato, riportante le medie osservate e simulate ed il BIAS per il periodo GEN-MAR delle 5 componenti.

	FI-BASSI			FI-GRAMSCI			LI-MAUROGORDATO		
	Media Stazione (µg/m ³)	Media Modello (µg/m ³)	Bias	Media Stazione (µg/m ³)	Media Modello (µg/m ³)	Bias	Media Stazione (µg/m ³)	Media Modello (µg/m ³)	Bias
PM2.5	19.11	13.84	-5.27	28.80	18.15	-10.64	9.02	9.86	0.84
ORG	11.34	5.15	-6.20	13.46	7.33	-6.13	5.54	3.18	-2.36
PEC	1.53	2.12	0.59	3.91	3.61	-0.30	0.45	1.00	0.54
NITR	1.90	3.44	1.54	2.53	3.48	0.95	0.28	3.18	2.90
SULF	2.03	1.37	-0.66	2.19	1.56	-0.63	1.85	1.26	-0.59
AMM	0.91	1.13	0.22	1.08	1.19	0.11	0.58	0.95	0.37

Confrontando le serie temporali dei tre siti (fig. 37), le misure confermano che i solfati sono distribuiti sul territorio in modo abbastanza uniforme e che l'andamento temporale della concentrazione è praticamente identico sia in area urbana che sulla costa, come risulta dal modello. Per quanto riguarda il PM2.5, i composti organici e il carbonio elementale le misure indicano che la concentrazione è decisamente minore nel sito sulla costa, mentre nell'area urbana il carbonio elementale è superiore nel sito di traffico, in accordo con quanto simulato dal modello. Tuttavia il modello non riproduce bene la concentrazione dei nitrati sulla costa, che è addirittura maggiore rispetto a quanto stimato per l'area urbana, in antitesi con quanto evidenziato dalle misure.

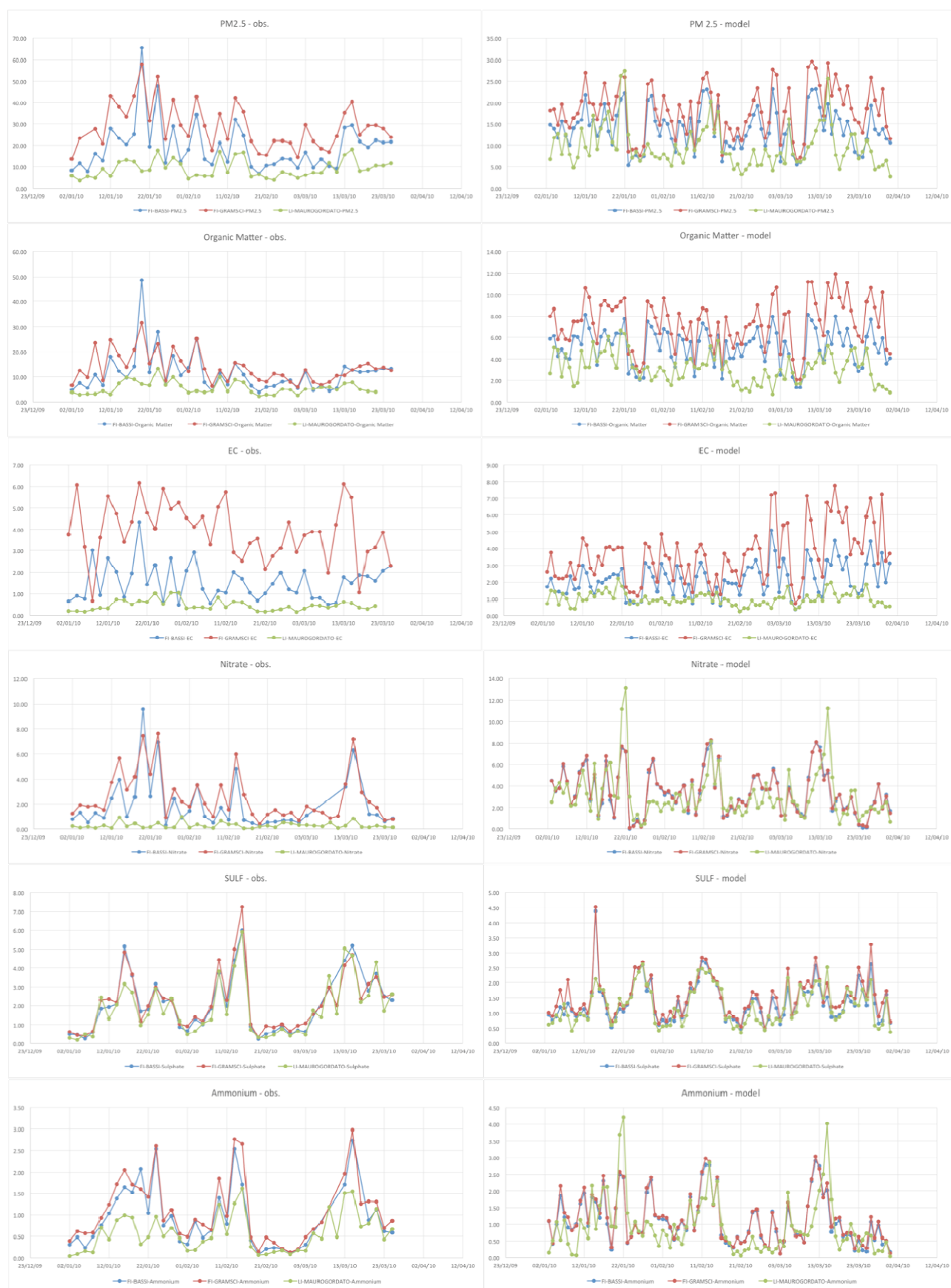


Fig. 37 – Serie temporali di PM2.5, particolato organico, carbonio elementare, nitrati, solfati e ammonio osservati (grafici a sinistra) e simulati (grafici a destra), relativi ai tre siti FI-Bassi (blu) FI-Gramsci (rosso) e LI-Maurogordato (verde).

Una ipotesi di questa evidente discrepanza tra misure e modello, peraltro molto evidente anche nella sovrastima di NO₂ in questa stazione, potrebbe riguardare il contributo delle emissioni puntuali. Infatti nell'area di Livorno sono presenti importanti impianti industriali che influiscono in modo rilevante sulle concentrazioni: una sovrastima delle emissioni da camino potrebbe spiegare questa discrepanza molto evidente proprio nel sito LI-Maurogordato.

In sintesi, dal confronto con le misure di speciazione del PM_{2.5}, i risultati ottenuti dal sistema di modelli sembrano soddisfacenti, in quanto riproducono discretamente l'andamento temporale e l'ordine di grandezza della concentrazione dei composti. Nell'area urbana il PM_{2.5} e la frazione organica sono sottostimati in corrispondenza degli episodi critici caratterizzati da concentrazioni più alte, come pure i solfati, mentre nitrati e ammonio sono riprodotti adeguatamente. Sulla costa, nella stazione di LI-Maurogordato, i nitrati e, in misura minore il carbonio elementale, sono decisamente sovrastimati, mentre gli altri composti sono riprodotti in maniera soddisfacente. Una possibile causa, da indagare, potrebbe riguardare il contributo al carico emissivo apportato dai camini degli impianti industriali presenti a Livorno, contributo ottenuto dalle stime dell'inventario regionale delle emissioni IRSE.

Conclusioni

Questo lavoro si è inserito nell'ambito della prosecuzione del progetto PATOS. Utilizzando i risultati ottenuti dai gruppi di ricerca di Fisica e di Chimica dell'Università di Firenze, che hanno svolto uno studio finalizzato a individuare e a quantificare la composizione dell'aerosol, sono state effettuate verifiche sulla capacità del modello chimico nella simulazione dei composti che formano il particolato fine.

Il periodo di studio è relativo al periodo invernale (gennaio-marzo 2010), in tre siti campione di diversa tipologia, presso le stazioni di monitoraggio urbana-fondo (Bassi) e urbana-Traffico (Gramsci) a Firenze e la stazione periferica-fondo (Maurogordato) a Livorno.

Queste verifiche vanno ad approfondire e completare l'analisi che viene abitualmente condotta sui risultati della catena modellistica attraverso il confronto con i dati derivanti dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria gestita da ARPAT, relativa ai principali inquinanti (PM₁₀, NO₂, SO₂, PM_{2.5}).

I risultati della simulazione, confrontati con i dati di concentrazione dei composti organici, del carbonio elementare, dei nitrati, dei solfati e dell'ammonio, ottenuti nell'ambito del progetto, mostrano una discreta riproduzione dell'andamento temporale e dell'ordine di grandezza della concentrazione dei composti. Tuttavia, nell'area urbana il PM_{2.5} e la frazione organica sono sottostimati in corrispondenza degli episodi critici caratterizzati da concentrazioni più alte. Sulla costa, nella stazione di LI-Maurogordato, i nitrati e, in misura minore il carbonio elementare, sono decisamente sovrastimati. Una possibile causa di questa discrepanza, potrebbe riguardare il contributo al carico emissivo apportato dai camini degli impianti industriali presenti a Livorno, ottenuto dalle stime dell'inventario regionale delle emissioni IRSE.

Questi risultati suggeriscono un'indagine approfondita sulle stime di emissione dell'inventario con particolare attenzione alla speciazione chimica del particolato e ai suoi precursori.

Bibliografia

1. **NCAR TECHNICAL NOTE**, (2008): A Description of the Advanced Research WRF Version3 <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>
2. **ENVIRON**, (2011): CAMx (Comprehensive Air Quality Model with extensions), User's Guide Version 5.40, Internal Report, Environ Int. Corp.
3. **Carter W.P.L.**, (2000): Programs and files implementing the SAPRC-99 mechanism and its associates emissions processing procedures for Models-3 and other regional models. <http://pah.cert.ucr.edu/^carter/SAPRC99.html>
4. **Rapporto CESI** - Progetto di Ricerca di Sistema SCENARI (sotto progetto. EVAMB) L17807K: Messa a punto degli strumenti modellistici RAMS e CAMx.
5. **DECRETO LEGISLATIVO n.155**, (2010): Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria piu' pulita in Europa. (10G0177).
6. **Atmospheric Environment, Uarporn Nopmongcol, Bonyoung Koo, Edward Tai, Jaegun Jung, Piti Piyachaturawat, Chris Emery, Greg Yarwood, Guido Pirovano, Christina Mitsakou, George Kallos** (2012): Modeling Europe with CAMx for the Air Quality Model Evaluation International Initiative (AQMEII). Volume 53, Pages 177-185, ISSN1352-2310:<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.023>; <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231011012064>
7. **APAT-CTN-ACE Marco Deserti et al**, (2005-2006): RAPPORTO TECNICO SULLA APPLICAZIONE DI MODELLISTICA AL BACINO PADANO ADRIATICO.
8. **Progetto MINNI-ENEA**, (2013): PROGETTO MINNI Sistema Modellistico per le politiche di Qualità dell'Aria a supporto di Governo e Regioni. ISBN 978-88-8286-287-9
9. **Progetto PATOS:**
<http://servizi2.regione.toscana.it/aria/index.php?idDocumento=18348>