



Il sistema modellistico WRF-CAMx per la stima degli inquinanti atmosferici in Toscana

C. Busillo, F. Calastrini, F. Guarnieri, G. Messeri

Sesto Fiorentino, 15 Maggio 2013



IL SETTORE METEO-QUALITA' DELL'ARIA

Il Consorzio LaMMA in collaborazione con la Regione Toscana ha sviluppato ed implementato alcuni sistemi di modelli per simulare la dispersione degli inquinanti in atmosfera.

La realizzazione di questi sistemi operativi è stata possibile grazie al supporto scientifico del CNR nelle attività di ricerca e sviluppo, ed alla disponibilità di banche-dati necessarie per le applicazioni modellistiche come:

- l'Archivio Meteorologico (modelli numerici);**
- database territoriali (settore GIS);**
- l'Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissioni (IRSE)**

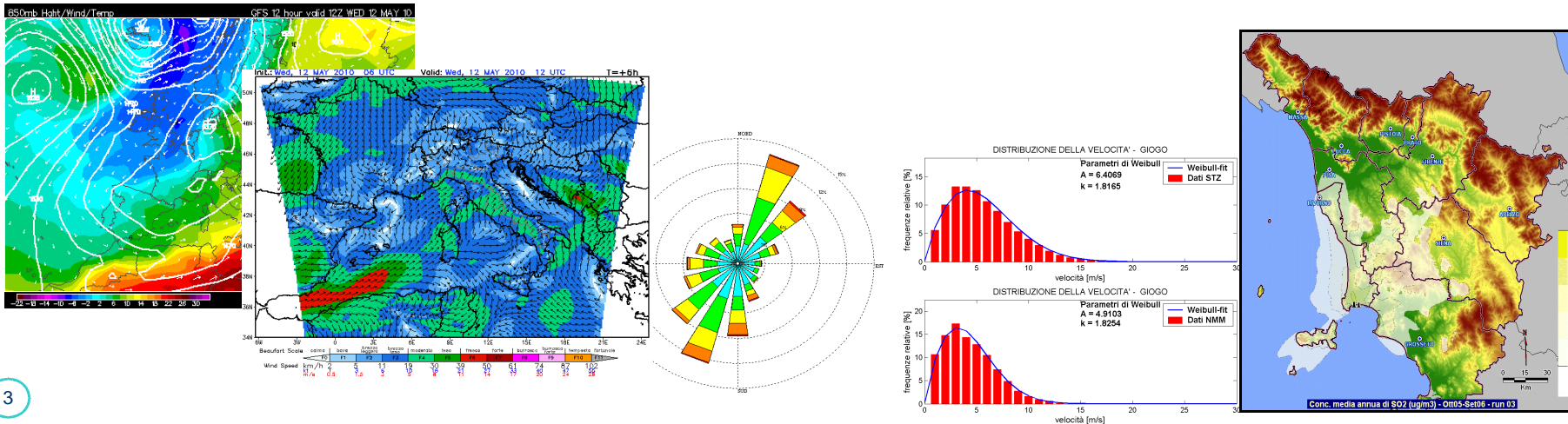


L'ARCHIVIO METEOROLOGICO

L'Archivio è costituito da variabili meteorologiche estratte dai campi simulati dal modello prognostico WRF operativo presso il Consorzio Lamma.

L'archivio sta alla base delle attività del settore per:

- fornire l'input meteo per modelli di dispersione degli inquinanti
- integrare le misure ottenute da stazioni meteo
- effettuare studi climatologici
- individuare siti idonei all'installazione di impianti eolici





MODELLI DI DISPERSIONE

I modelli di dispersione degli inquinanti sono utilizzate per:

- **Valutare l'impatto degli inquinanti atmosferici inerti e fotochimici.**
- **Analisi di scenario: supporto per la pianificazione di interventi di riduzione delle emissioni inquinanti.**
- **Previsioni di inquinanti atmosferici, a valle delle previsioni meteo operative.**

Sistema di modelli RAMS/WRF-CAMX

- **Impatto inquinanti in Toscana: inquinanti secondari PM10, PM2.5, NO2, SO2, O3.**
- **Contributo delle polveri desertiche (sahariane), specifica catena modellistica (RAMS-CAMX).**
- **Analisi di scenario - Previsioni: attività in fase di sviluppo.**

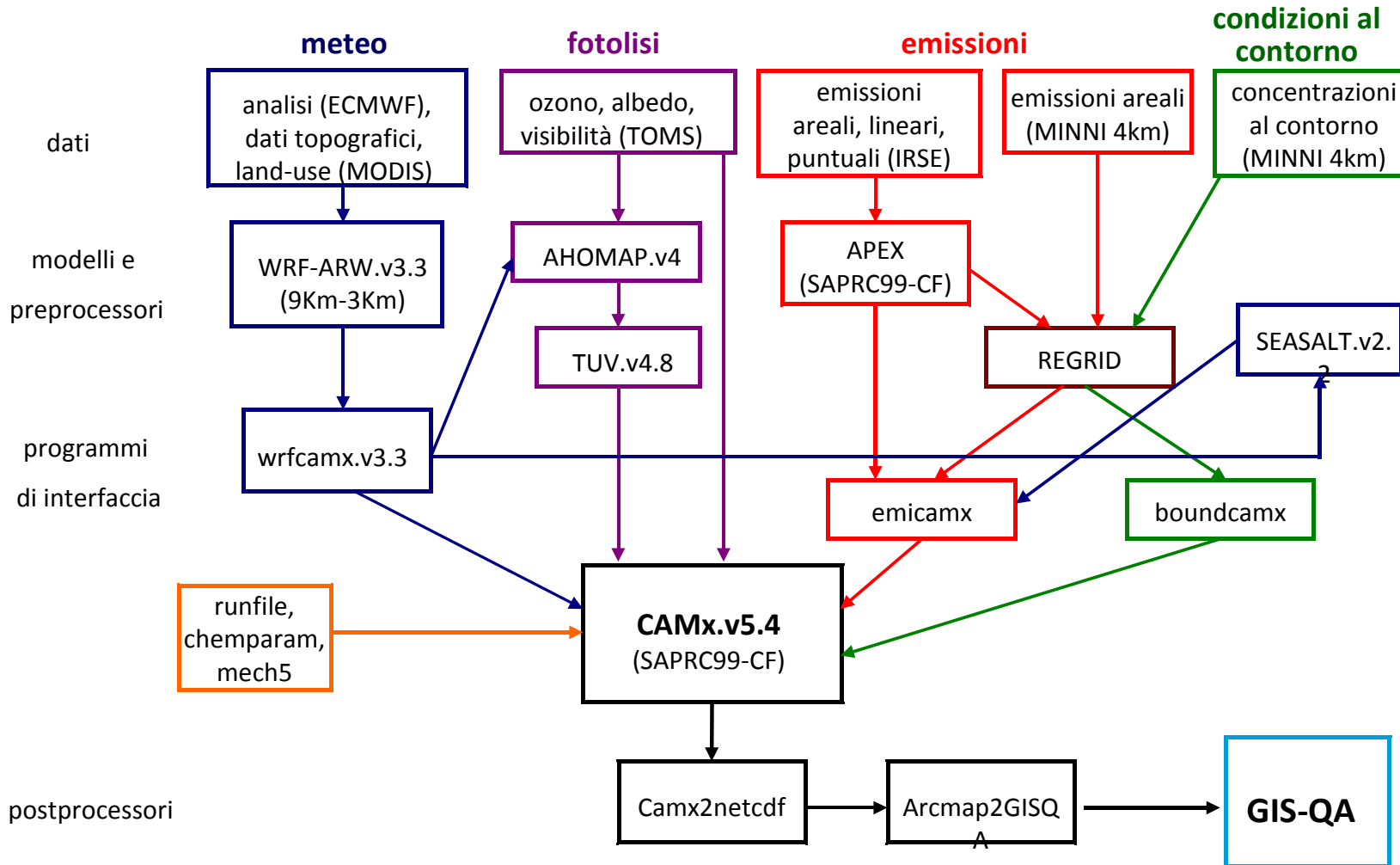
Sistema di modelli WRF-CALMET-CALPUFF/CALGRID

- **Impatto inquinanti: sorgenti puntuali, inquinanti inerti o debolmente reattivi (CALPUFF); tutte le sorgenti, inquinanti inerti, O3 (CALGRID).**
- **Previsioni – servizio sperimentale (estate 2007): O3 (CALGRID).**



SISTEMA DI MODELLI WRF-CAMX

Il sistema di modelli WRF-CAMX è stato sviluppato per la stima dell'impatto degli inquinanti atmosferici in Toscana e in prospettiva per le analisi di scenario e per le previsioni.





PRE E POST PROCESSORI

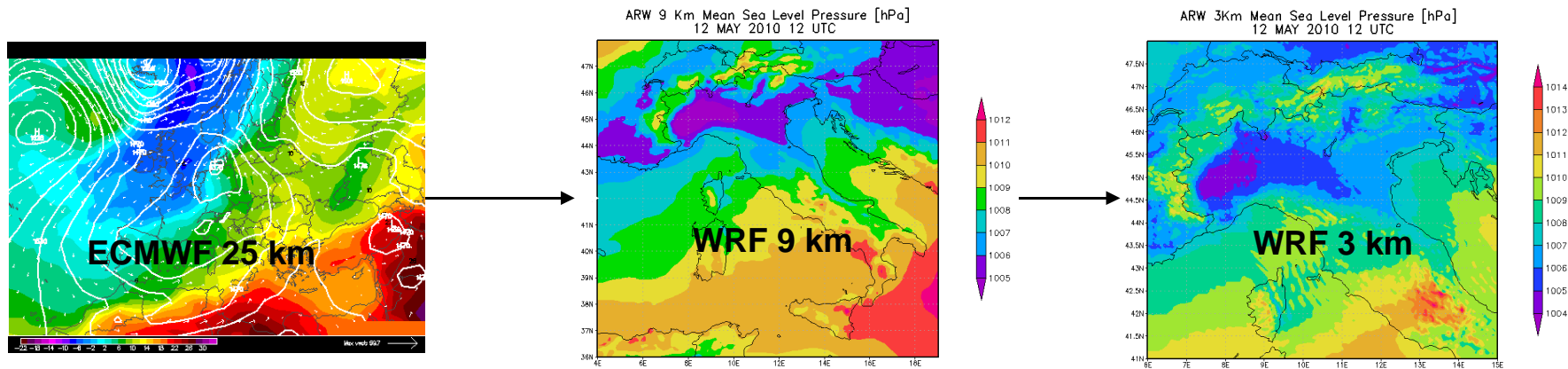
- **L'implementazione della catena modellistica ha richiesto l'allineamento delle versioni dei modelli, dei preprocessori e dei moduli di interfaccia.**
- **Moduli forniti da ENVIRON (wrfcamx, ahomap, TUV, seasalt): sono stati modificati e personalizzati (es. per land-use da MODIS).**
- **Moduli di interfaccia per emissioni e condizioni al contorno (REGRID, emicamx, boundcamx): sono stati sviluppati appositamente. La catena di modelli può utilizzare sia emissioni ottenute da IRSE o dal modello nazionale MINNI (ENEA); le condizioni al contorno derivano da MINNI.**
- **Postprocessori per le elaborazioni grafiche e di analisi (camx2netcdf, arcmap2GISQA): sono stati sviluppati appositamente. Con questi moduli possono essere estratte serie storiche puntuali, effettuate medie temporali su tutto il dominio, realizzare layer informatici per la piattaforma GIS_QA.**



INPUT METEOROLOGICO

L'input meteo è fornito dal nuovo Archivio meteo, che prevede l'utilizzo modello WRF-ARW, inizializzato con dati di analisi ECMWF, configurato ad una risoluzione di 9 Km sull'intero territorio nazionale e a 3 Km su un dominio che comprende l'Italia centro-settentrionale.

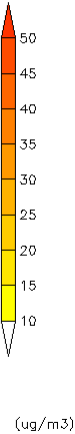
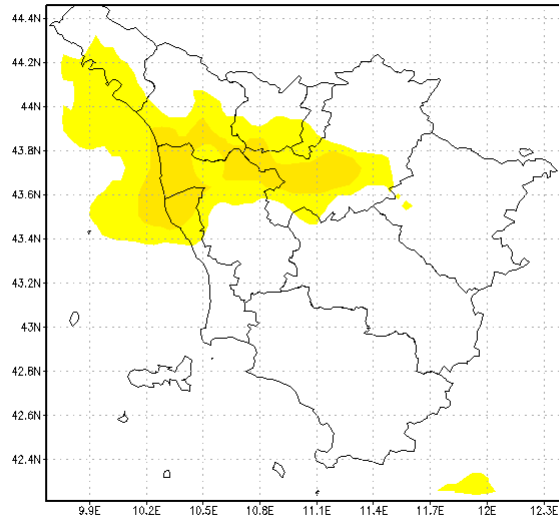
Le stime del modello a 3 Km sono formattate e interpolate alla risoluzione del modello di dispersione (2Km). I livelli verticali considerati sono 18, il primo a una quota di 20 m dal suolo, fino a circa 10 Km.



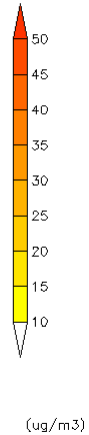
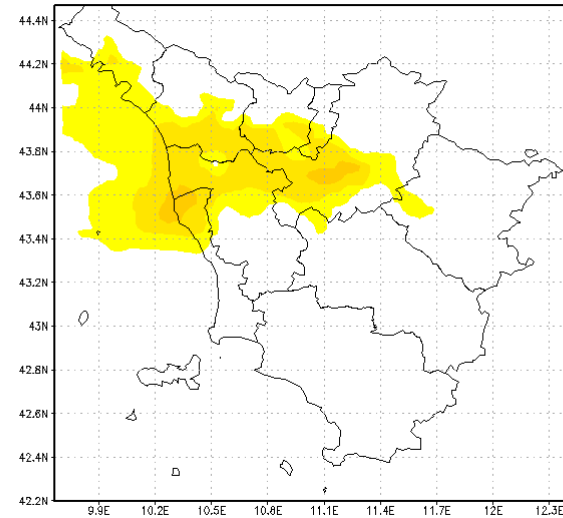


RISOLUZIONE SPAZIALE

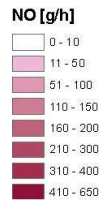
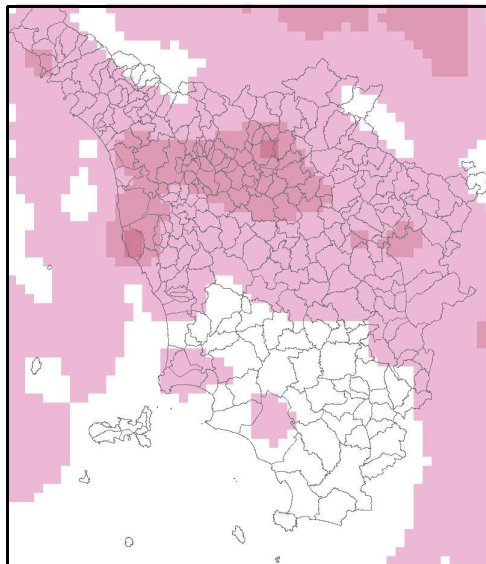
CAMx 4km - no2 - ENEA_new - media 15 GEN 2007



CAMx 2km - no2 - ENEA_new - media 15 GEN 2007



Emissioni NO ENEA 4 Km



Sono state effettuate simulazioni con tre risoluzioni diverse, 4Km, 2Km, 1Km.

Condizioni al contorno ENEA

Periodo: 15 gennaio 2007, 24 h.

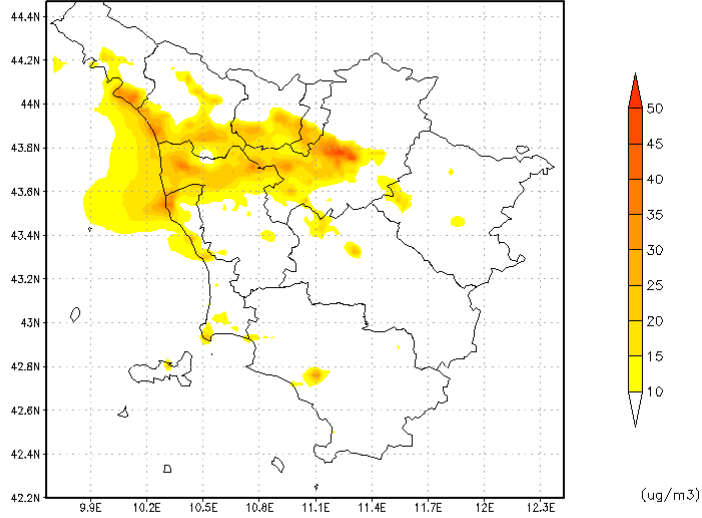
- Emissioni ENEA su base provinciale, disaggregate a 4 km

- Emissioni IRSE su base comunale, disaggregate a 1 km.

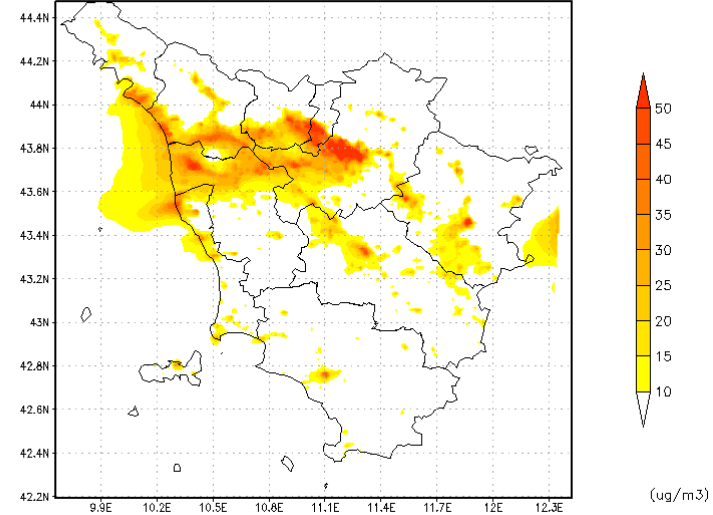


RISOLUZIONE SPAZIALE

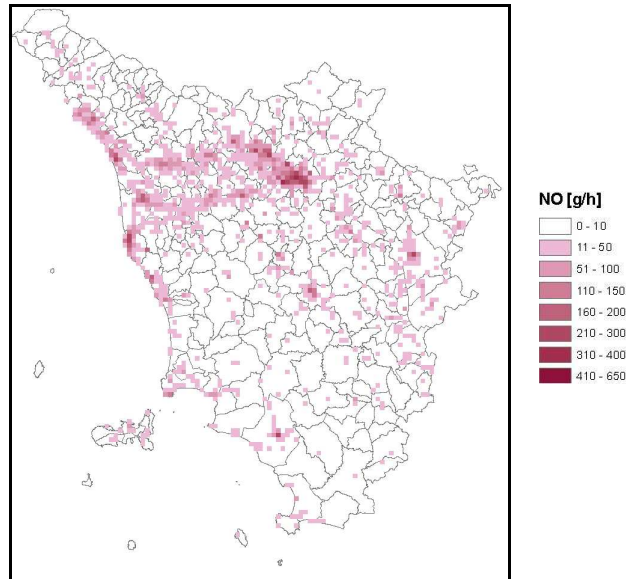
CAMx 2km - no2 - IRSE_new - media 15 GEN 2007



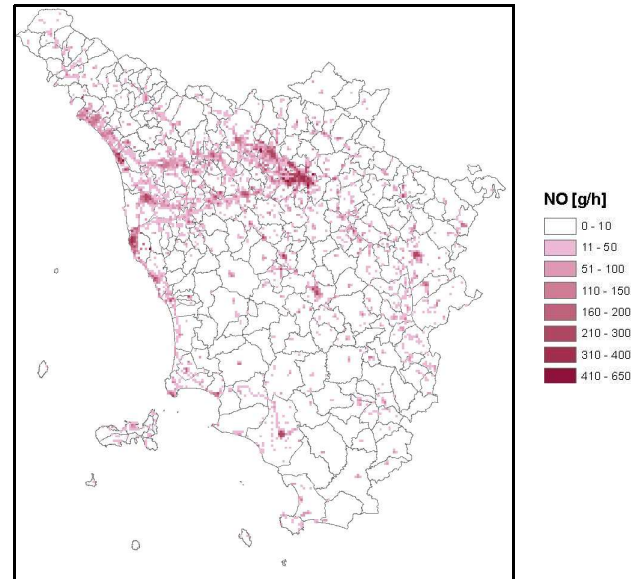
CAMx 1km - no2 - IRSE_new - media 15 GEN 2007



Emissioni NO IRSE 2 Km

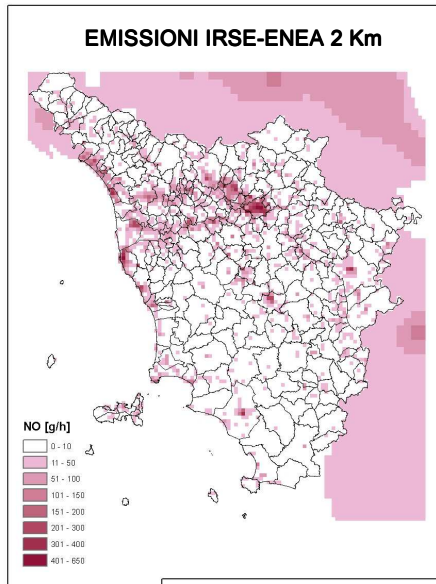


Emissioni NO IRSE 1 Km



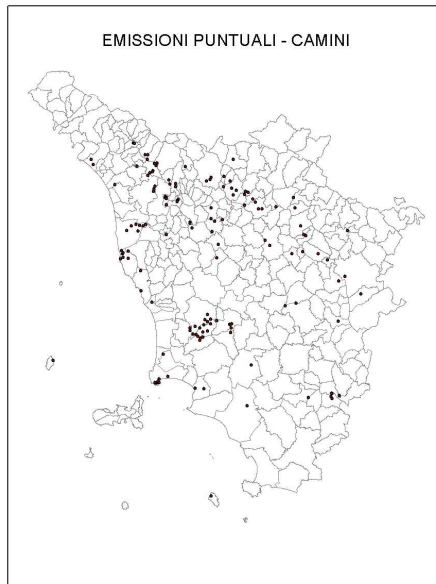


INPUT EMISSIVO



Le emissioni sono fornite dall'inventario regionale IRSE. L'interfaccia sviluppata (LINUX) permette di estrarre file giornalieri (24 h) con disaggregazione spaziale (1Km) e temporale (1 h) e speciazione chimica dei VOC e del PM (SAROAD o SAPRC99), su tutta la regione.

Le emissioni relative alle aree esterne alla regione Toscana sono fornite da ENEA (4 Km di risoluzione).



Le emissioni puntuali sono fornite in un file a parte, insieme alle caratteristiche statiche.

I camini considerati sono 486, appartenenti a 175 stabilimenti industriali.



CONDIZIONI AL CONTORNO

Species Name Description	CAMX_SAPRC99	MINNI_SAPRC90
Nitrogen dioxide	NO2	c_NO2
Nitric oxide	NO	c_NO
Ozone	O3	c_O3
Oxygen atom in the O ₃ (P) electronic state	O	
Nitrate radical	NO3	c_NO3
Dinitrogen pentoxide	N2O5	c_N2O5
Nitric acid	HNO3	c_HNO3
Oxygen atom in the O(D) electronic state	O1D	
Hydroxyl radical	OH	
Nitrous acid	HONO	c_HONO
Hydroperoxy radical	HO2	c_HO2
Carbon monoxide	CO	c_CO
Peroxynitric acid	HN04	c_HN04
Hydrogen peroxide	H2O2	
Sulfur dioxide	SO2	c_SO2
Sulfuric acid (gaseous) H2SO4 or SO3	SULF	c_SULF
Methylperoxy radical	CH2O2	
Formaldehyde	HCHO	c_HCHO
Methyl hydroperoxide	COOH	
Methanol	MEOH	
Organic peroxy radical converting NO to NO2 with HO2 production	RO2R	
Organic hydroperoxide	ROOH	c_ROOH
Organic peroxy radical converting NO to NO2	R2O2	
Organic peroxy radical converting NO to organic nitrate	RO2N	
Organic nitrate	RNO3	c_RNO3
Methylmethyl ketone	MEK	c_MEK
Organic product	PROD	
Acetylperoxy radical	CCO3	
Peroxyacetyl nitrate	PAN	c_PAN
Peroxyacetic acid	CO3H	
Acetic acid	CO2H	c_CO2H
Higher acylperoxy radical (based on propylperoxy)	RCO3	
Higher peroxyacetyl nitrate (based on peroxypropyl nitrate)	PAN2	c_PAN2
Acetaldehyde	CH2O	c_CH2O
Higher percarboxylic acid	RC3H	
Higher carboxylic acid	RC2H	
Peroxybenzoyl radical	BZO	
Peroxybenzoyl nitrate	PBZN	
Phenoxy radical	BZO	
Peroxyacyl radical from methacrolein	MCO3	
compound from methacrolein	MPAN	
Tertiary-butoxy radical	TBUO	
Acetone	ACET	
Nitrophenol	NPHE	
Phenol	PHEN	
Nitrophenol reaction product	BZNO	
Other nitrogen containing product	XN	
Adduct from HO2 plus formaldehyde	HCO3	
Formic acid	HC2H	c_HC2H
Higher aldehyde (based on propionaldehyde)	RCHO	c_RCHO
Glyoxal	GLY	
Methylglyoxal	MGLY	c_MGLY
Biacetyl	BACL	
Cresol	CRES	c_CRES
Benzaldehyde	BALD	
Methacrolein	METH	
Methylmethyl ketone	MVK	
Isoprene product	ISPD	
Aromatic ring opening dicarbonyl product	DCB1	
Aromatic ring opening dicarbonyl product	DCB2	c_DCB2
Aromatic ring opening dicarbonyl product	DCB3	
Ethene	ETHE	c_ETHE
Isoprene	ISOP	c_ISOP
Terpene	TERP	c_TRP1
Lumped alkane 1	ALK1	c_ALK1
Lumped alkane 2	ALK2	c_ALK2
Lumped alkane 3	ALK3	
Lumped alkane 4	ALK4	
Lumped alkane 5	ALK5	
Lumped aromatic 1	ARO1	c_ARO1+c_C6H6
Lumped aromatic 2	ARO2	c_ARO2
Lumped olefin 1	OLE1	c_OLE1
Lumped olefin 2	OLE2	c_OLE2
Ethanol	ETOH	
Methyl tertiary butyl	MTBE	
Methylbutanol	MBUT	
	non assegnati	c_C O2
	non assegnati	c_CCO O2
	non assegnati	c_RCO O2

CAMX_aerosol	MINNI_aerosol
PSO4	PSO4=c_ASO4J+c_ASO4I
PNH4	PNH4=c_ANH4J+c_ANH4I
PNO3	PNO3=c_ANO3J+c_ANO3I
POA	POA=c_AORAH+c_AORAJ+1.167*c_AORPAH+1.167*c_AORPAJ+c_AORBJ+c_AORBI
PEC	PEC=c_AECJ+c_AECI
FPRM	FPRM=c_A25J+c_A25I
CPRM	c_ACORS+c_ASOIL
PH2O	
NH3	c_NH3
CG1	
CG2	
CG5	
CG6	
TOLA	c_ARO1+c_C6H6
XYLA	c_ARO2
NA	c_ASEAS*0.396
PCL	c_ASEAS*0.312

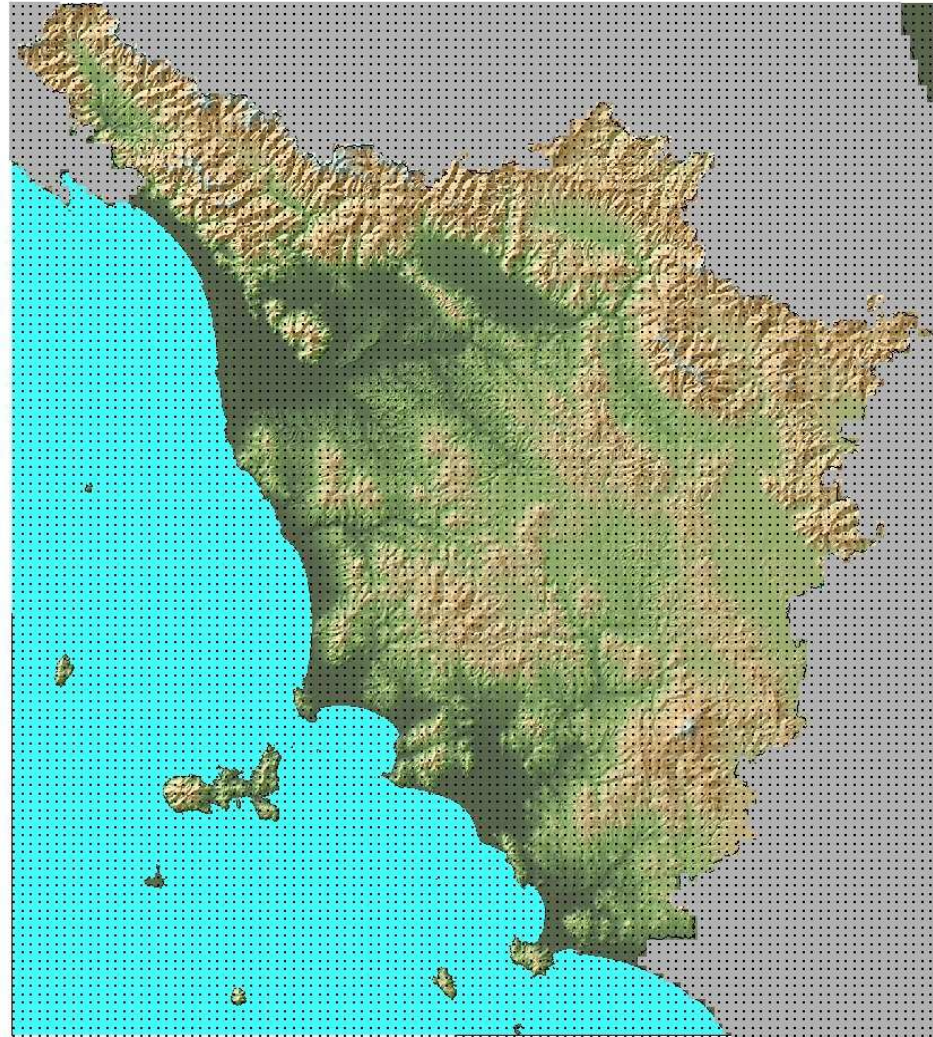
Le condizioni al contorno sono ottenute dal modello nazionale MINNI, fornite da ENEA. Il modello chimico utilizzato è SAPRC90 o SAPRC99 più aerosol. I file sono su base giornaliera, con risoluzione oraria.

Sono necessari due passaggi: utilizzare una tabella per il passaggio dalle specie MINNI (aerosol) alle specie CAMX, ricampionare i file alla risoluzione finale di CAMX.



LA CONFIGURAZIONE SCELTA

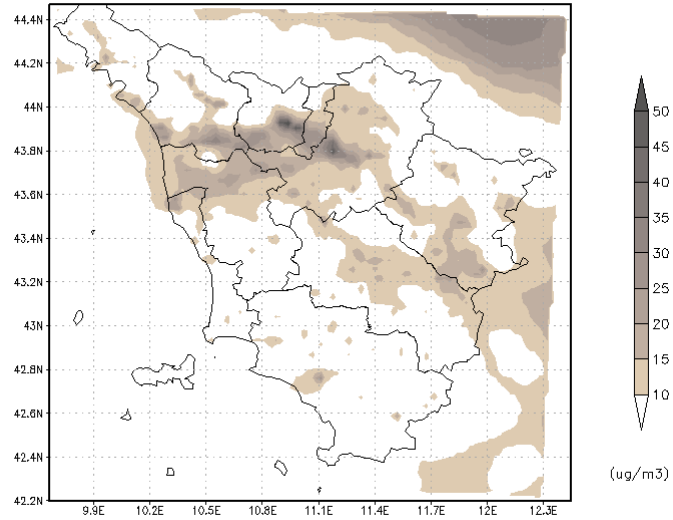
- **Modello:** CAMX versione 5.4
- **Risoluzione temporale:** 1 ora
- **Periodo:** anno 2007
- **Dominio:** 220x248 km²
- **Risoluzione:** 2 km
- **Livelli verticali:** 18 (livello sup. 20 m)
- **Input meteo:** WRF-ARW, 3 km
- **Deposizione secca, umida:** Slin e Slin (1980), Seinfeld e Pandis (1998)
- **Modello chimico:** SAPRC99 + CF (mech5)
- **Condizioni al contorno:** modello MINNI
- **Emissioni:** areali, puntuali da IRSE (MINNI)
- **Output:** concentrazione di NO NO₂ SO₂ O₃ NH₃ PM₁₀ PM_{2.5} (come somma di frazione organica, carbonio elementare, frazione inorganica, primario fine e grosso, crostale fine e grosso, sale marino).



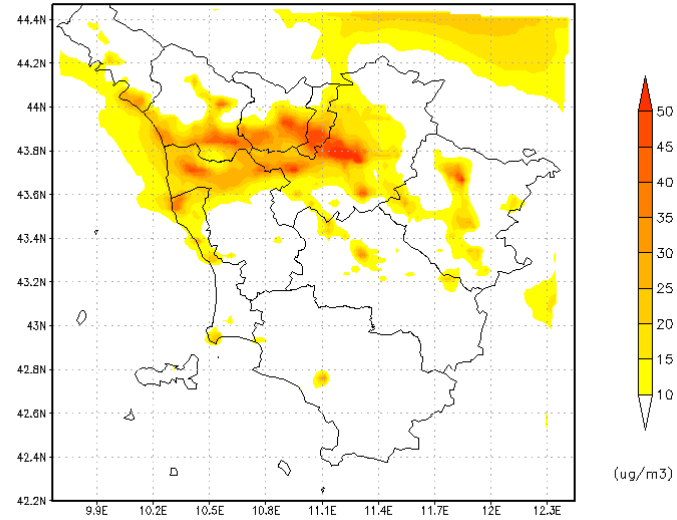


RUN GENNAIO 2007

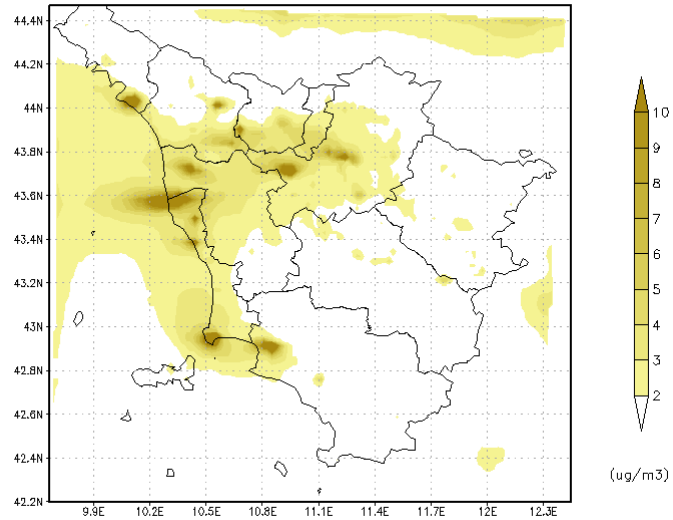
CAMx RES - pm10 - ptirse_mask - media 2-31 GEN 2007



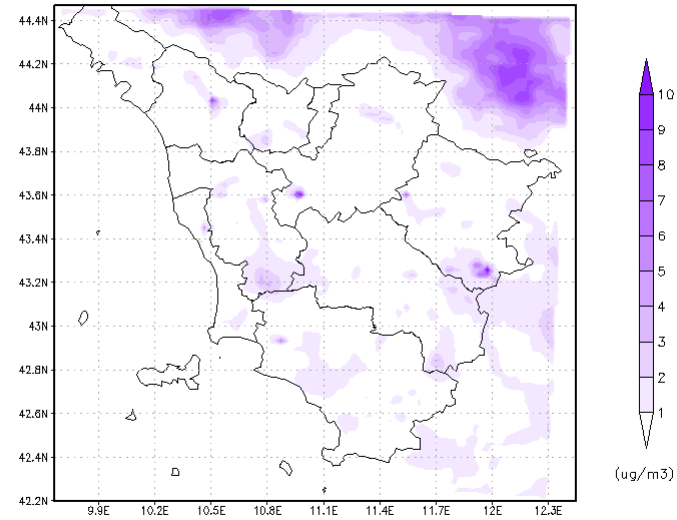
CAMx RES - no2 - ptirse_mask - media 2-31 GEN 2007



CAMx RES - so2 - ptirse_mask - media 2-31 GEN 2007



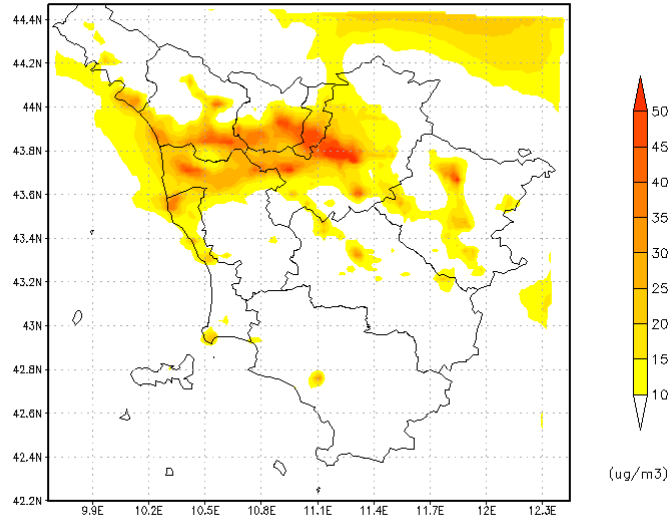
CAMx RES - nh3 - ptirse_mask - media 2-31 GEN 2007



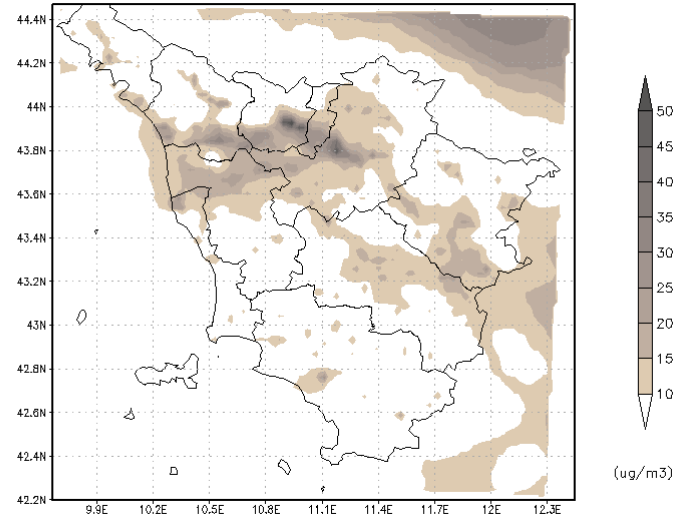


RUN GENNAIO 2007

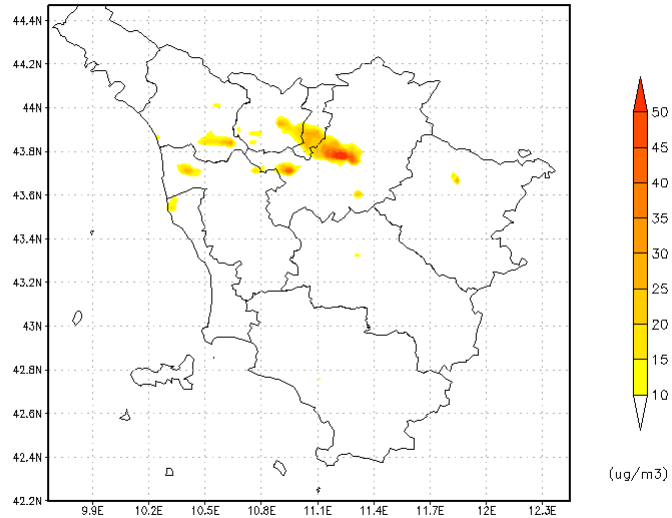
CAMx RES - no2 - ptirse_mask - media 2-31 GEN 2007



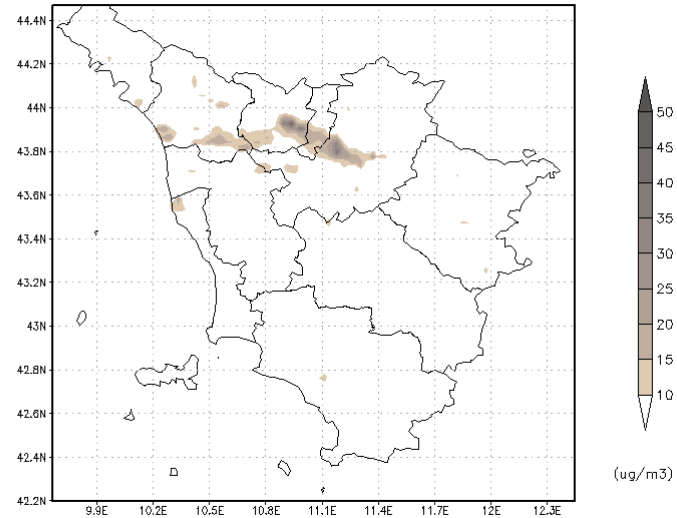
CAMx RES - pm10 - ptirse_mask - media 2-31 GEN 2007



CAMx RES - no - ptirse_mask - media 2-31 GEN 2007



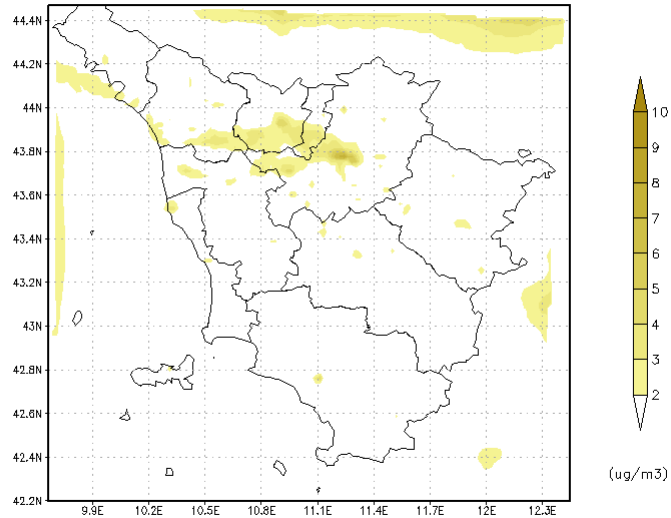
CAMx 2km - PM primario - ptirse - media 2-31 GEN 2007



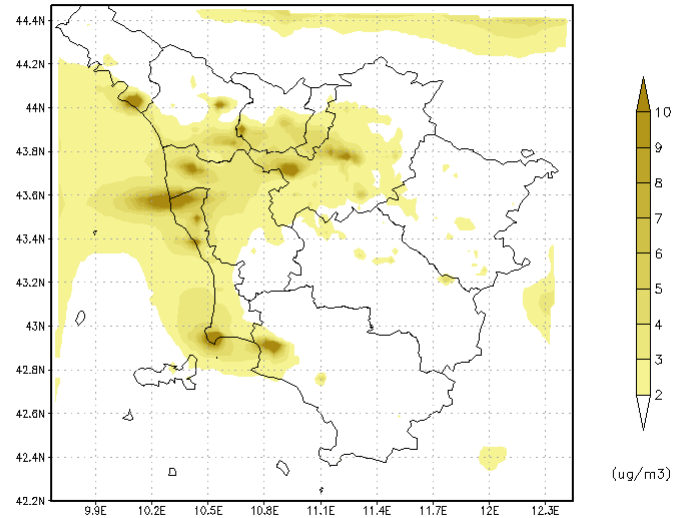


RUN GENNAIO 2007

CAMx RES - so2 - irse_mask - media 2-31 GEN 2007



CAMx RES - so2 - ptirse_mask - media 2-31 GEN 2007



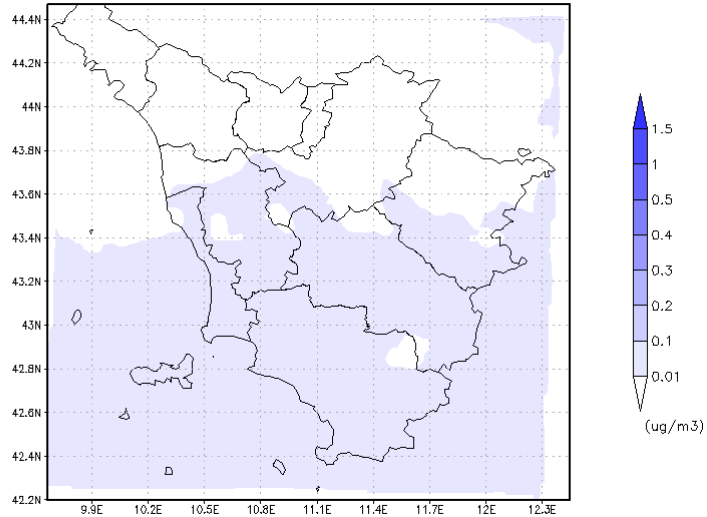
Le concentrazioni di SO₂ variano molto se si include il contributo da sorgenti puntuali.

In Toscana un apporto ai solfati deriva dalle attività relative allo sfruttamento geotermico. Sarebbe quindi necessario tenere conto del contributo dovuto alle emissioni di H₂S. Il meccanismo chimico SAPRC99 include SO₂, H₂SO₄, SO₃, ma non direttamente H₂S.

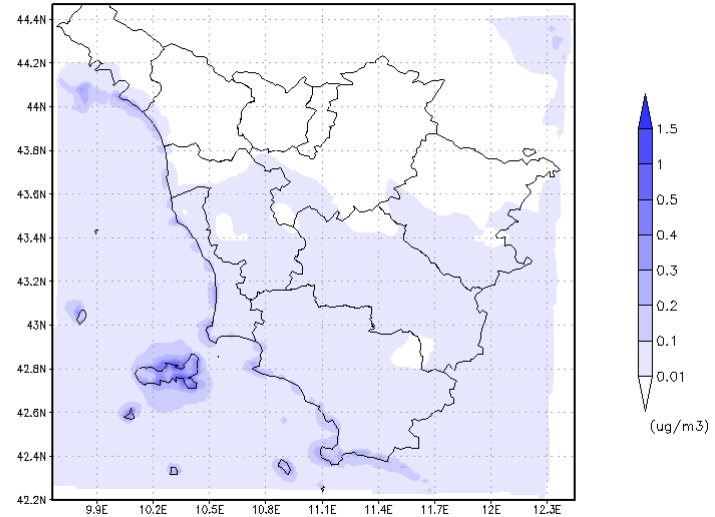


STIMA DEL SALE MARINO

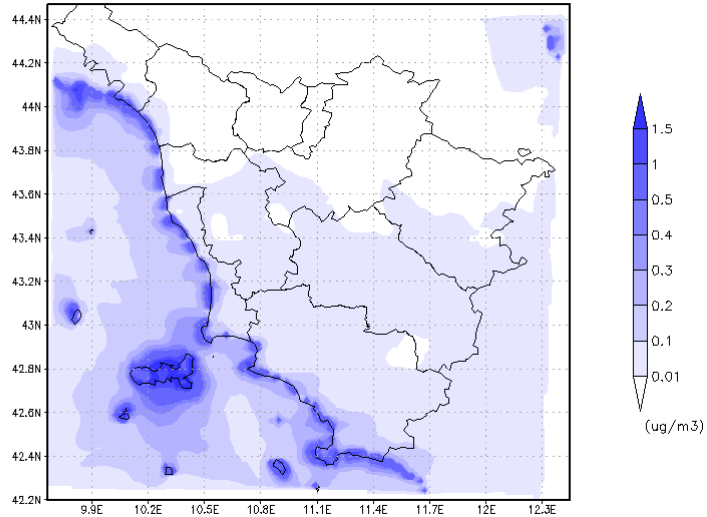
CAMx 2km – Sea salt – SOLO_BOUND – media 15 GEN 2007



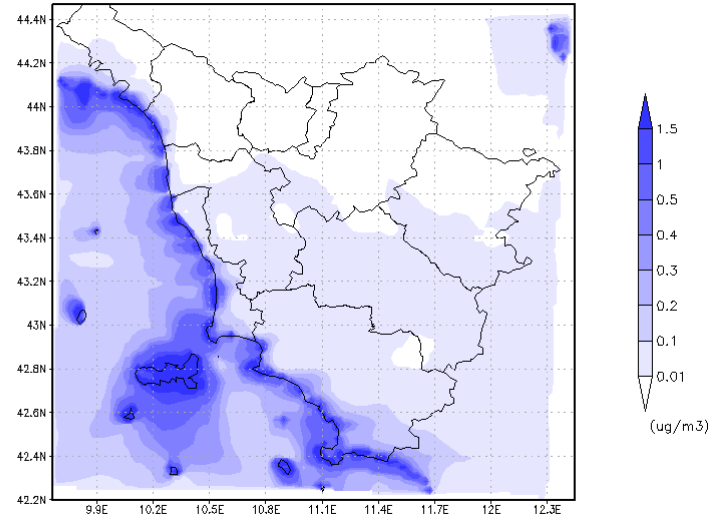
CAMx 2km – Sea salt – SURF_ZONE 10 m – media 15 GEN 2007



CAMx 2km – Sea salt – SURF_ZONE 50m – media 15 GEN 2007



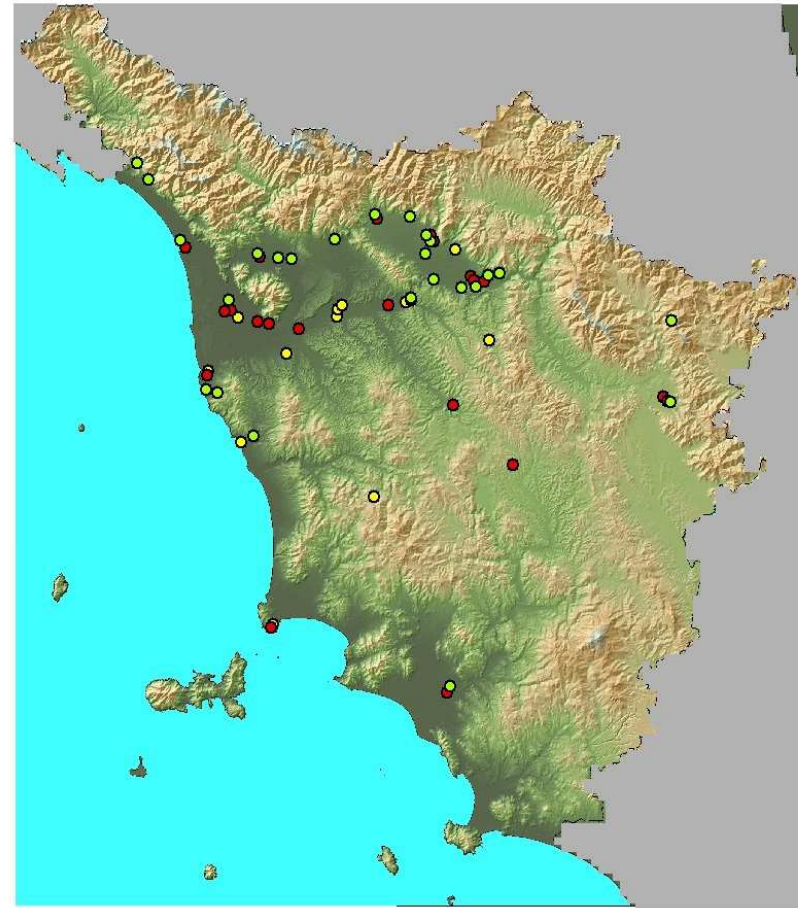
CAMx 2km – Sea salt – SURF_ZONE 100m – media 15 GEN 2007





CONFRONTO CON MISURE

N°	NOME	PROVINCIA	Tipo Zona	Tipo staz.	Rete RFG
25	LI M. GORDATO	LI	Periferica	Fondo	
33	LU Porcari	LU	Periferica	Fondo	
1	AR Casa Stabbi	AR	Rurale	Fondo	SI
10	FI Settignano	FI	Rurale	Fondo	SI
55	PT MONTALE	PT	Rurale	Fondo	SI
2	AR Acropoli	AR	Urbana	Fondo	SI
5	FI BASSI	FI	Urbana	Fondo	SI
6	FI BOBOLI	FI	Urbana	Fondo	SI
12	FI SCANDICCI	FI	Urbana	Fondo	SI
21	GR URSS	GR	Urbana	Fondo	SI
22	LI Cappiello	LI	Urbana	Fondo	SI
35	LU 2VIAREGGIO	LU	Urbana	Fondo	SI
36	MS Colombarotto	MS	Urbana	Fondo	SI
37	MS Galvani *	MS	Urbana	Fondo	SI
45	PI PASSI	PI	Urbana	Fondo	SI
52	PO ROMA	PO	Urbana	Fondo	SI
57	PT SIGNORELLI	PT	Urbana	Fondo	SI
11	FI Signa	FI	Urbana	Fondo	
14	FI Campi-Bisenzio	FI	Urbana	Fondo	
17	FI Montelupo Asia	FI	Urbana	Fondo	
19	FI MONTELUPO VIA MILANI	FI	Urbana	Fondo	
29	LI Poggio San Rocco	LI	Urbana	Fondo	
31	LU PASSAGLIA	LU	Urbana	Fondo	
32	LU CAPANNORI	LU	Urbana	Fondo	
51	PO FONTANELLE	PO	Urbana	Fondo	
53	PO San Paolo	PO	Urbana	Fondo	
56	PT MERI INI	PT	Urbana	Fondo	
48	PI SANTACROCE COOP	PI	Periferica	Industriale	SI
26	LI COTONE	LI	Periferica	Industriale	
28	LI VENETO	LI	Periferica	Industriale	
40	PI LARI	PI	Periferica	Industriale	
44	PI ORATOIO	PI	Periferica	Industriale	
46	PI MONTECERBOLIBIS	PI	Periferica	Industriale	
49	PI SANTACROCE SERAO	PI	Periferica	Industriale	
13	FI CALENZANO	FI	Rurale	Industriale	
16	FI Passo dei Pecorai	FI	Rurale	Industriale	
18	FI MONTELUPO PRATELLE	FI	Rurale	Industriale	
24	LI GOBETTI	LI	Urbana	Industriale	SI
41	PI SANROMANO	PI	Urbana	Industriale	
4	AR REPUBBLICA	AR	Urbana	Traffico	SI
7	FI GRAMSCI	FI	Urbana	Traffico	SI
8	FI MOSSE	FI	Urbana	Traffico	SI
23	LI CARDUCCI	LI	Urbana	Traffico	SI
27	LI Giardini pubblici	LI	Urbana	Traffico	SI
42	PI BORGHETTO	PI	Urbana	Traffico	SI
59	SI CAMPIDOGLIO	SI	Urbana	Traffico	SI
60	SI DUEPONTI	SI	Urbana	Traffico	SI
3	AR FIORENTINA	AR	Urbana	Traffico	
9	FI ROSSELLI	FI	Urbana	Traffico	
15	FI EMPOLI RIDOLFI	FI	Urbana	Traffico	
20	GR SONNINO	GR	Urbana	Traffico	
30	LU MICHELETTO	LU	Urbana	Traffico	
34	LU 1VIAREGGIO	LU	Urbana	Traffico	
38	PI CASCINA	PI	Urbana	Traffico	
39	PI NAVACCHIO	PI	Urbana	Traffico	
43	PI FAZIO	PI	Urbana	Traffico	
47	PI PONTEDERA	PI	Urbana	Traffico	
50	PO FERRUCCI	PO	Urbana	Traffico	
54	POSTROZZI	PO	Urbana	Traffico	
58	PT ZAMENHOF	PT	Urbana	Traffico	

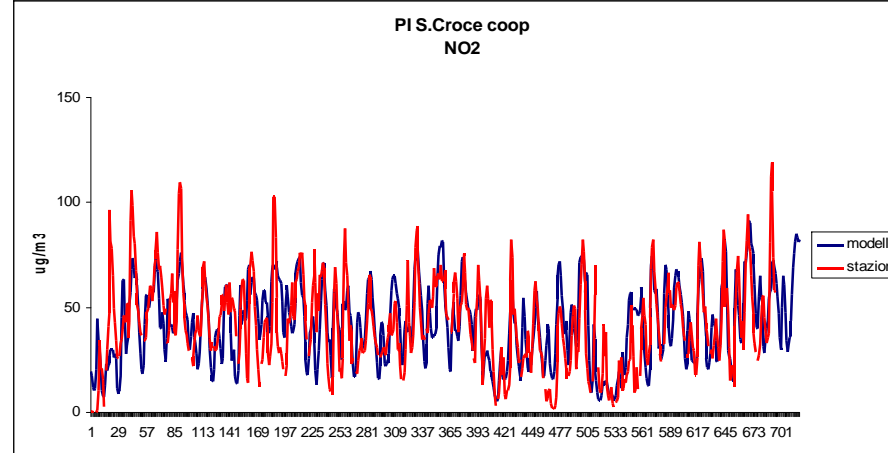
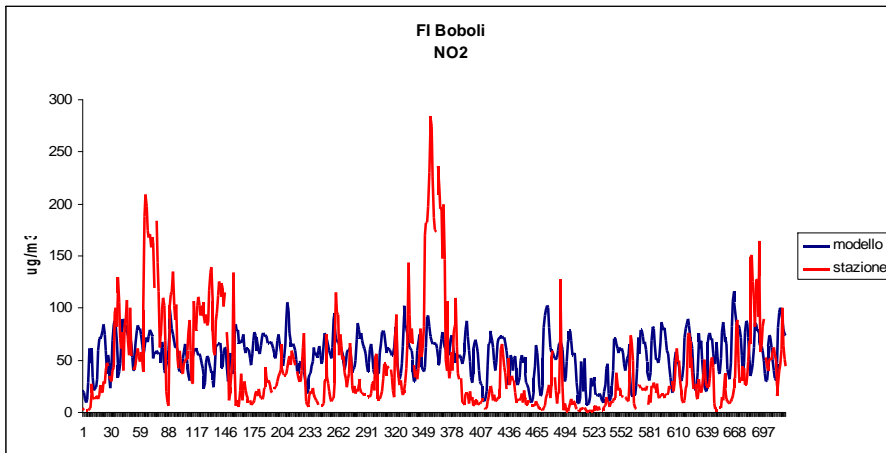
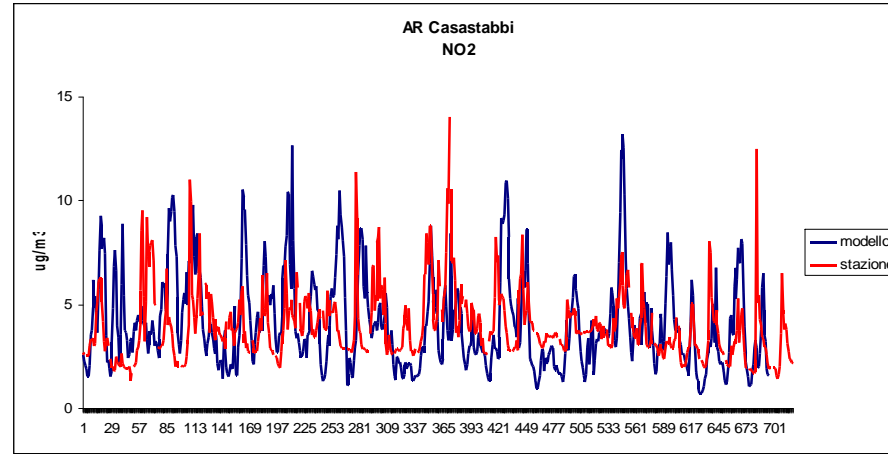
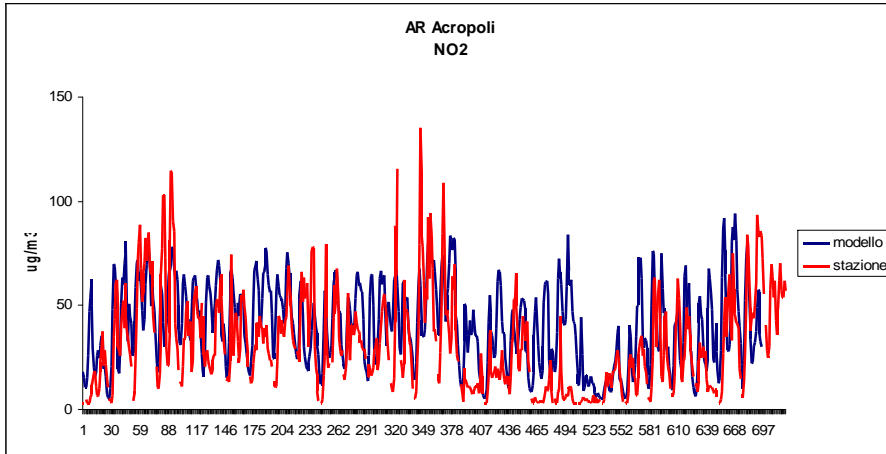


Stazioni ARPAT

- Stazioni Fondo
- Stazioni Traffico
- Stazioni Industriali

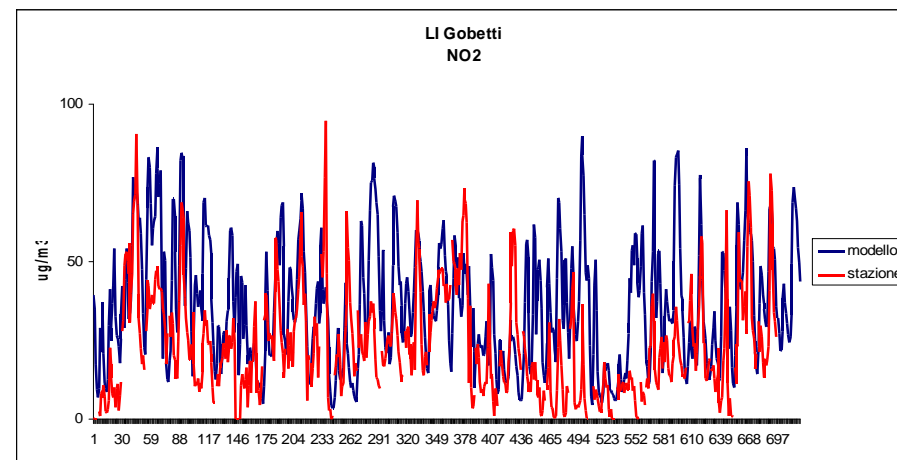
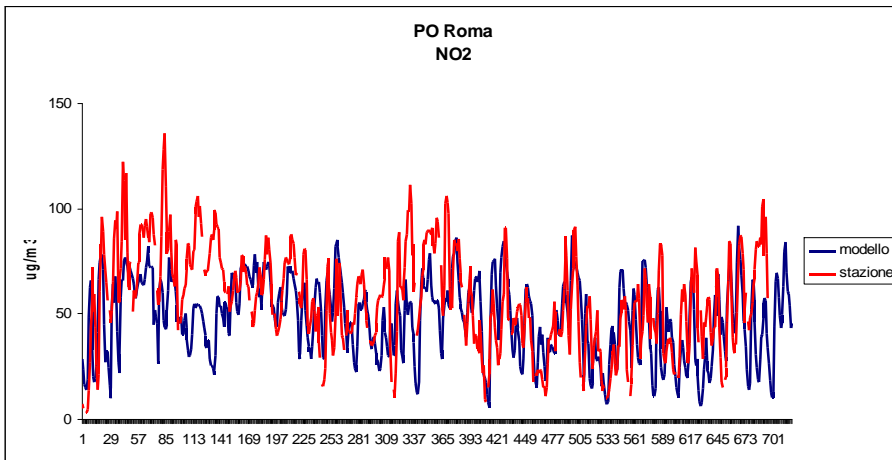
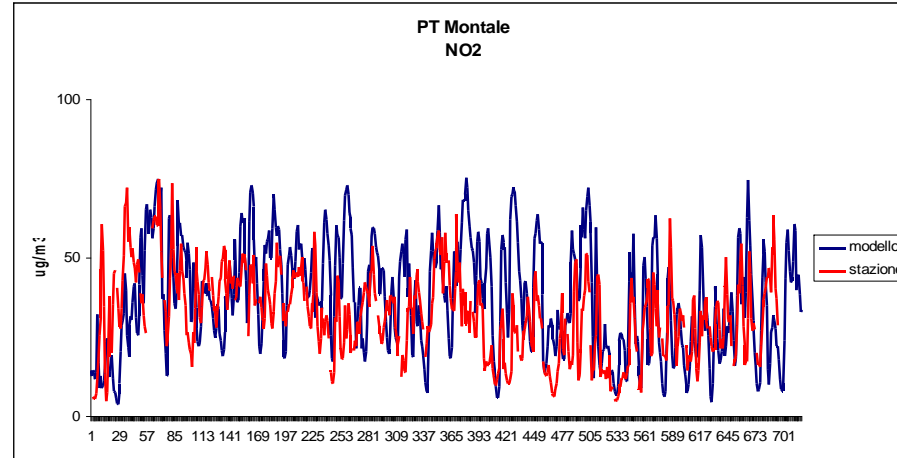
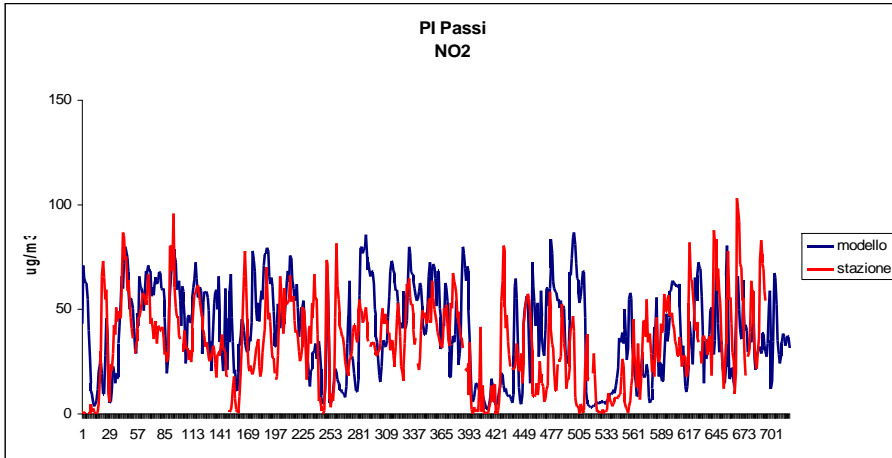


CONFRONTO CON MISURE NO₂



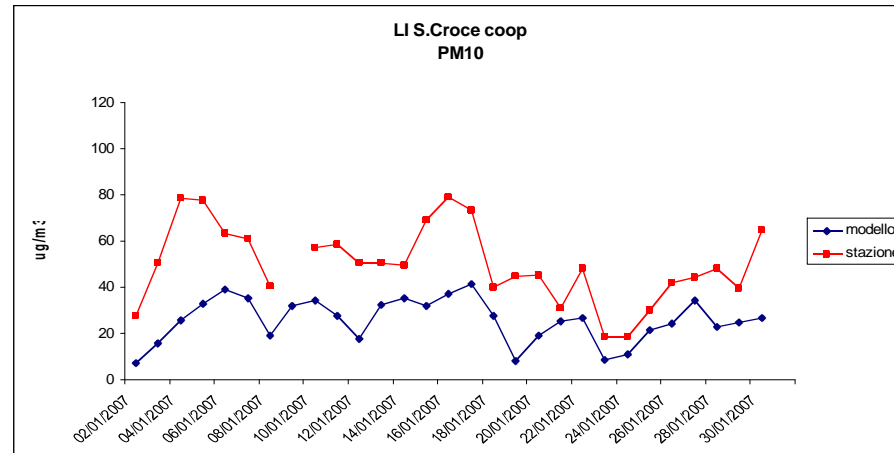
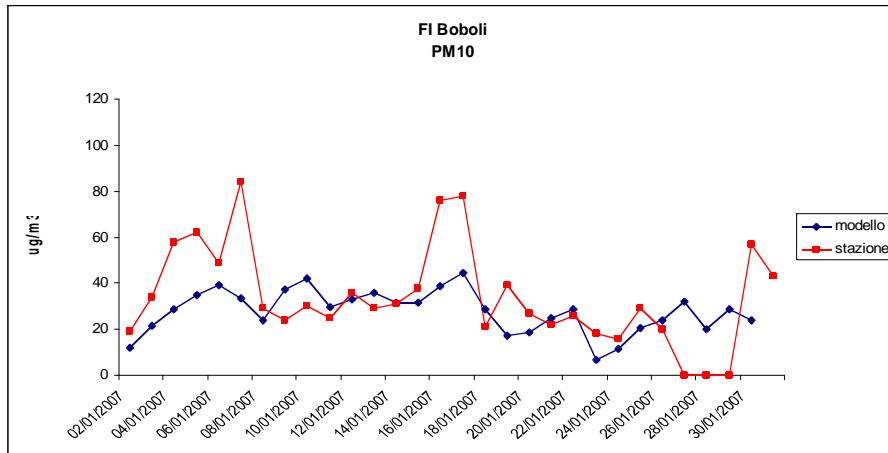
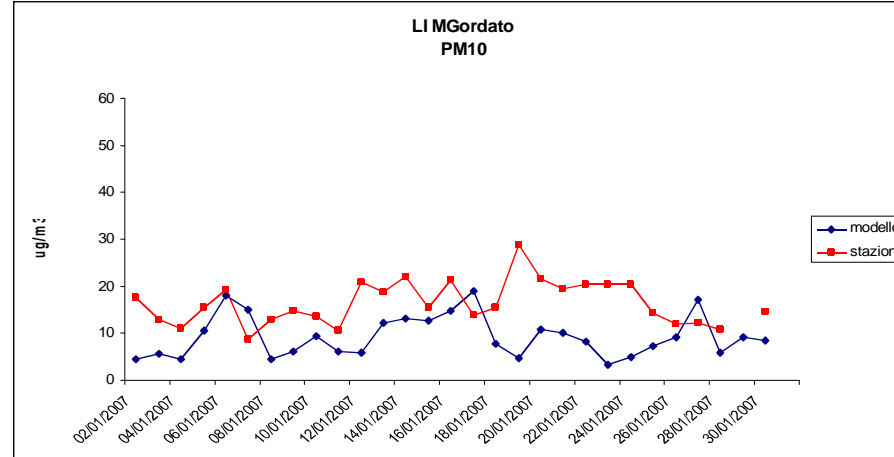
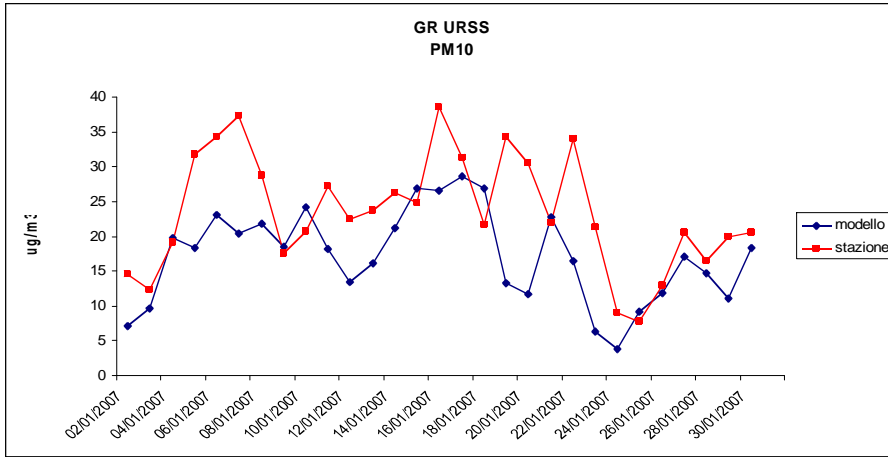


CONFRONTO CON MISURE NO₂



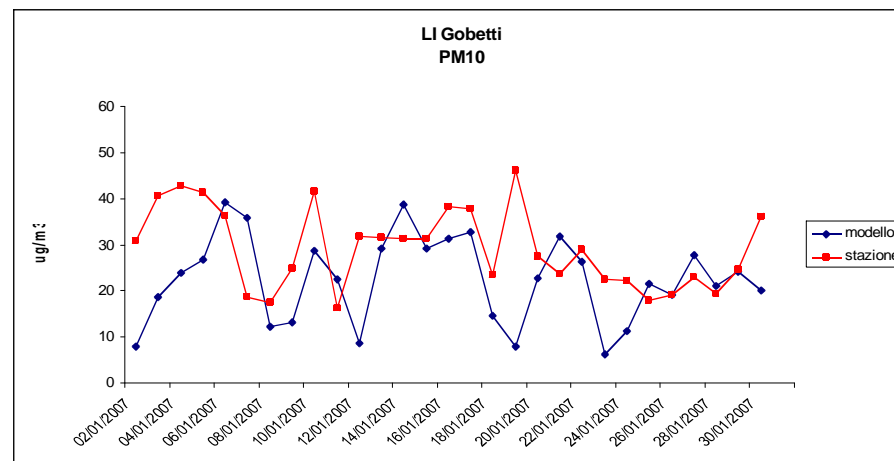
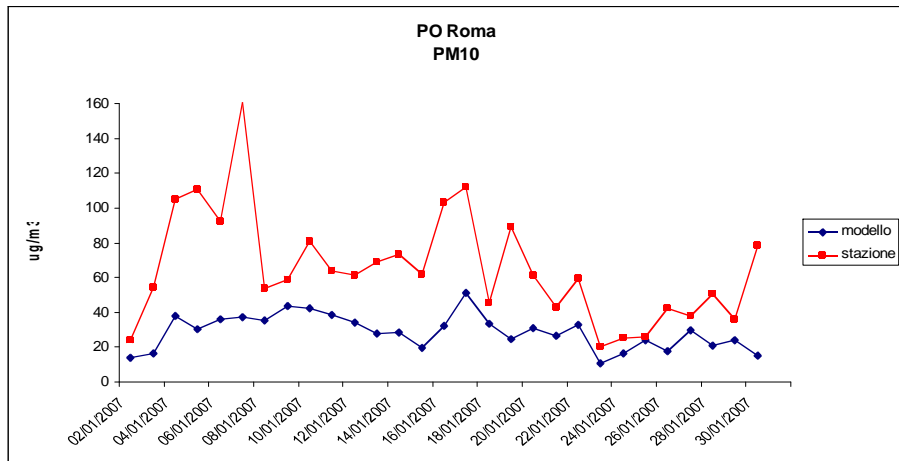
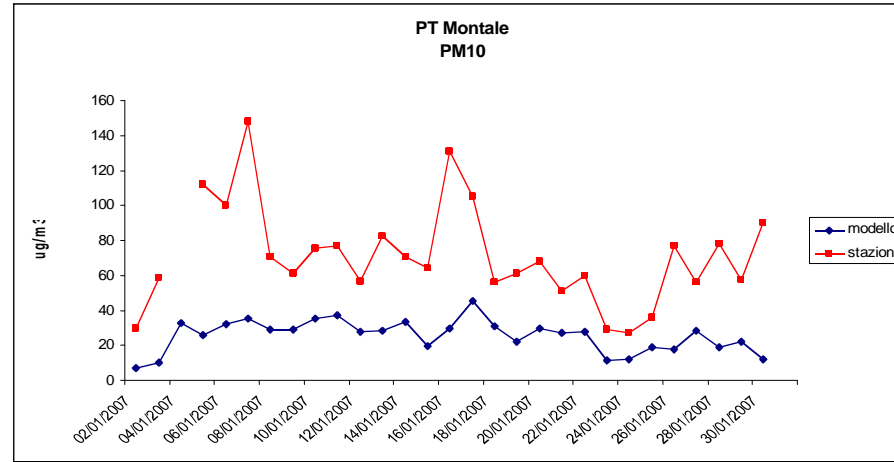
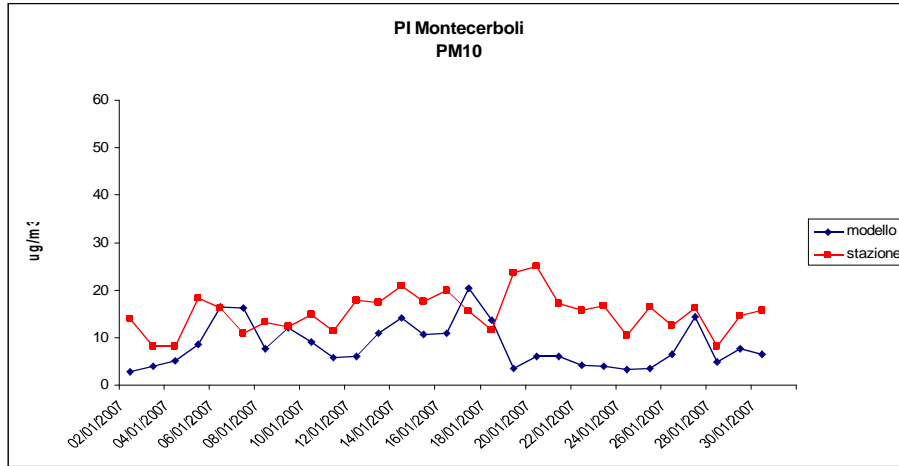


CONFRONTO CON MISURE PM10



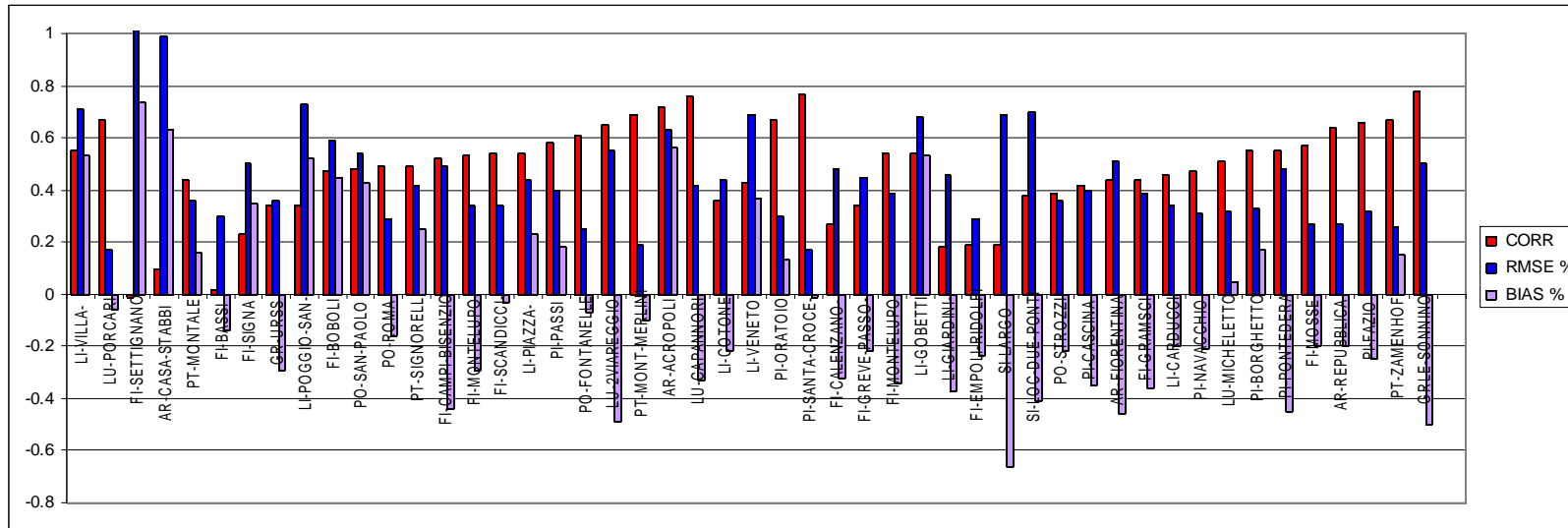
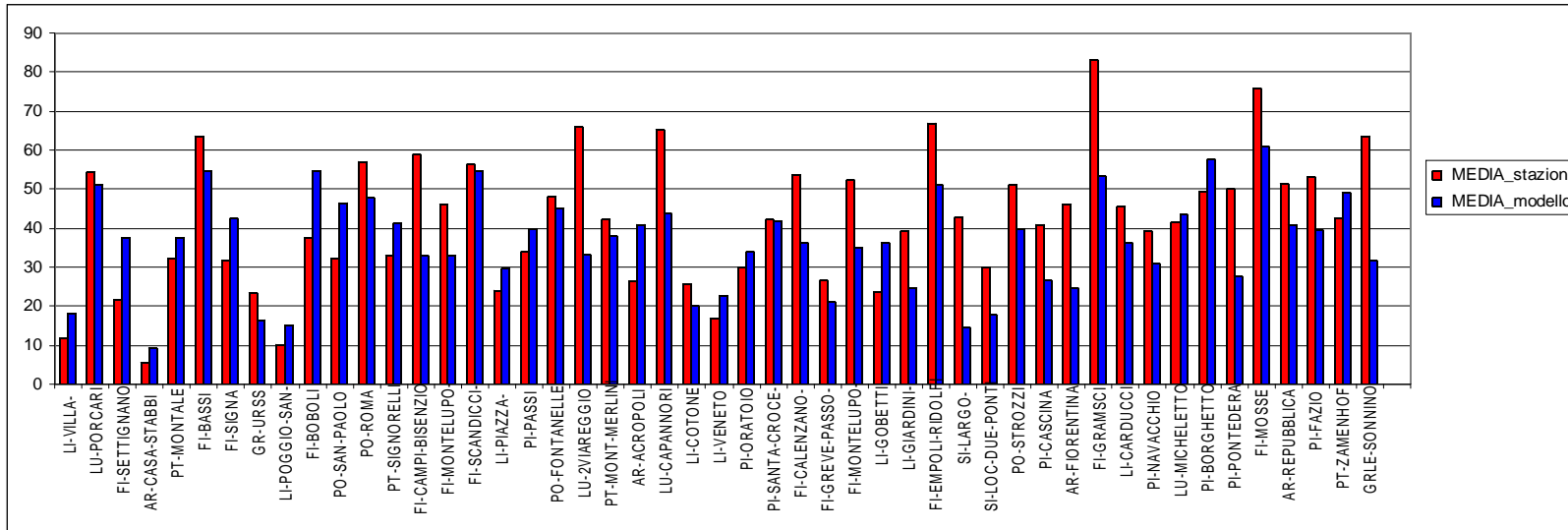


CONFRONTO CON MISURE PM10



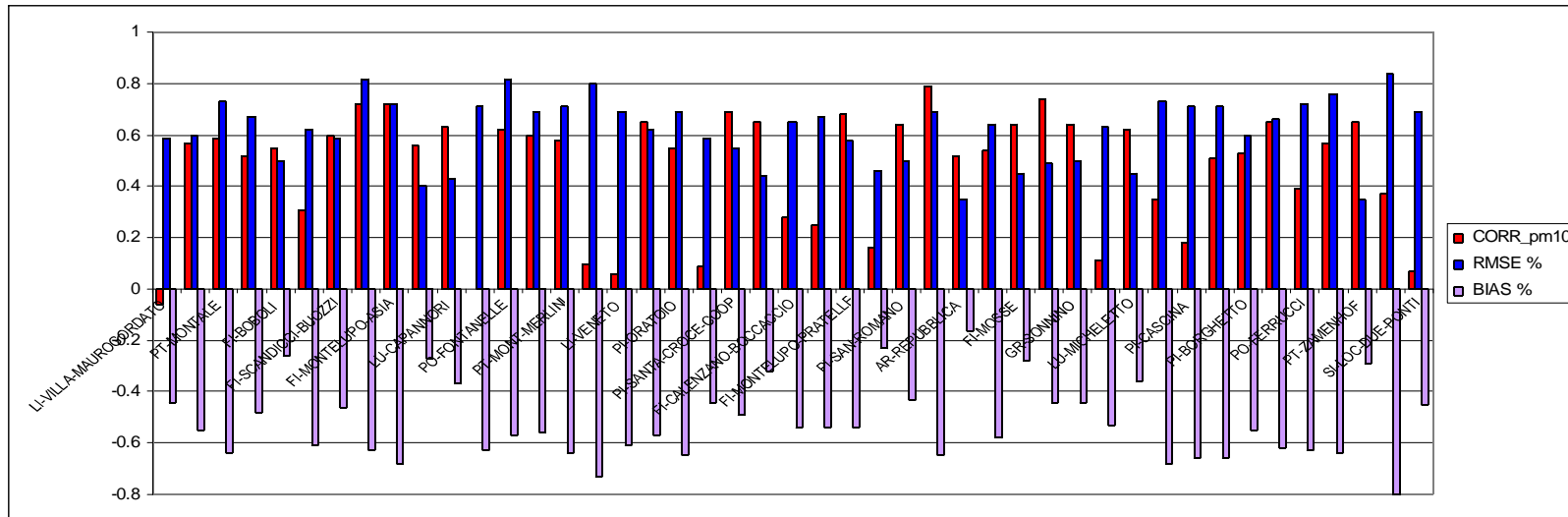
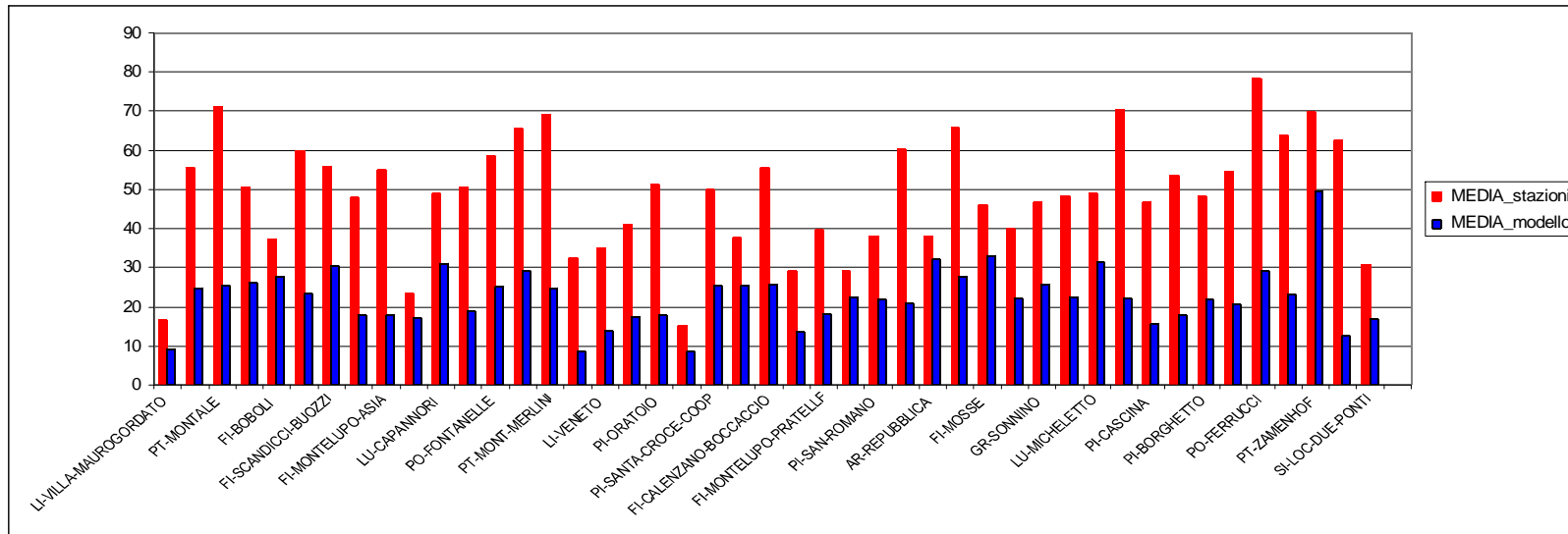


NO2





PM10





CONCLUSIONI

La struttura della catena modellistica è stata completata, anche con l'aggiunta del modulo per il calcolo del sale marino e l'inclusione delle emissioni ENEA sul territorio del dominio di calcolo esterno alla regione Toscana.

Mancano ancora alcune verifiche:

- **Test di alcuni episodi di trasporto di sale marino (confronto con misure specifiche) per settare il modulo seasalt;**
- **Emissioni puntuali di H₂S: come includere questo inquinante in SAPRC99 ?**

Con le specifiche illustrate, verrà effettuata una simulazione per l'intero anno 2007 e le verifiche, confrontando le stime con le misure delle stazioni di monitoraggio.