



**APPLICAZIONE MODELLISTICA BASATA SU SCENARI
DI RIFERIMENTO E DI RIDUZIONE IN SEGUITO
ALL' ATTUAZIONE DEL PIANO REGIONALE DI
RISANAMENTO E MANTENIMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA
(P.R.R.M.) 2008-2010.**

Redazione: S. VERRILLI
Convalida: I. CIUCCI, M. MAZZINI
Approvazione: I. CIUCCI

DICEMBRE 2011



INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. IL PIANO REGIONALE DI RISANAMENTO E MANTENIMENTO (PRRM 2008-2010).....	4
3. IL CODICE CAMx	5
4. CONFIGURAZIONE E APPLICAZIONI DEL CODICE.....	6
5. RISULTATI	11
6. CONCLUSIONI.....	23
7. RIFERIMENTI.....	25

1. INTRODUZIONE

La descrizione, attraverso modelli numerici, del trasporto, della dispersione e delle trasformazioni delle particelle in aria ambiente è diventato uno strumento accettato per aiutare le Autorità competenti nella definizione della qualità dell'aria, tramite la direttiva 96/62/EC, recepita nell'ordinamento italiano dal DM 60 dell'aprile 2002. Le tecniche di modellistica ambientale sono un importante strumento di aiuto per la valutazione della qualità dell'aria e rappresentano uno strumento fondamentale per la definizione di piani e programmi di miglioramento e mantenimento della qualità dell'aria.

L'approccio alla fenomenologia della presenza del particolato in aria ambiente è riconducibile ad una descrizione delle emissioni da sorgente primaria e verifica della concentrazione in aria in conseguenza sia delle emissioni dirette, sia del contributo spesso determinante di particelle di origine secondaria, dovute a fenomeni che interessano il trasporto, la dispersione e la formazione-trasformazione delle particelle in aria. Tali fenomeni sono descrivibili soltanto tramite complessi processi di microfisica [1], relativi all'interazione tra le emissioni di particelle da sorgenti primarie, le emissioni di precursori gassosi e l'atmosfera stessa. In questo ambito, giocano un ruolo determinante le reazioni chimiche, sia in fase omogenea, sia in fase eterogenea, che legano le citate emissioni con la chimica dell'atmosfera attraverso innumerevoli meccanismi e cammini di reazione [2], e che, in particolare per i composti organici, non sono ancora del tutto noti.

Lo studio dei fenomeni di dispersione, formazione e trasformazione di inquinanti al fine di valutare l'inquinamento ambientale atmosferico e stabilire strategie di risanamento necessita quindi di un complesso ed integrato lavoro di ricerca per la realizzazione e messa a punto di una modellistica adeguata. La complessità e la differente natura delle variabili in gioco implicano un approccio sistematico e l'utilizzo di strumenti modellistici e di calcolo appropriati al livello di dettaglio necessario per tenere in conto la fotochimica e la chimica degli aerosols ed in fase gassosa.

Lo schema sottostante descrive sinteticamente l'approccio metodologico per la definizione e l'implementazione del sistema modellistico per la gestione della qualità dell'aria, implementato e concretizzato in questo contesto nell'applicazione del codice CAMx [3] sul dominio della Toscana.

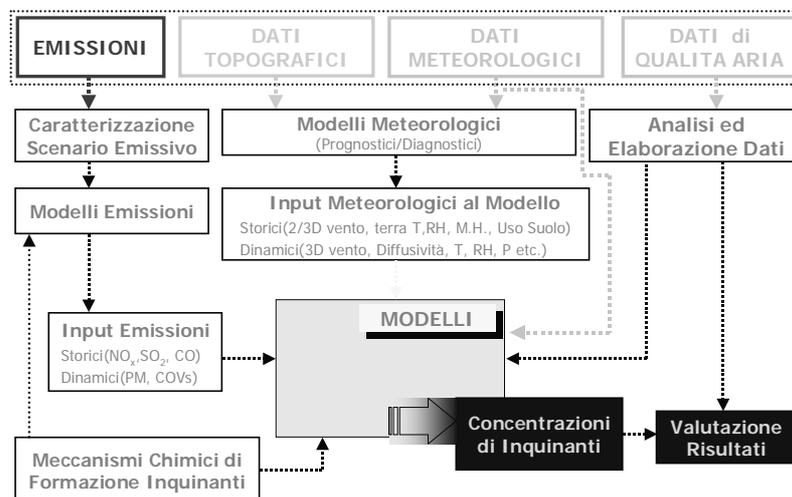


Figura1 - Approccio metodologico di un sistema modellistico per la gestione della qualità dell'aria

Il codice CAMx nell'anno 2004 è stato inserito nella lista dei codici di fotochimica, accreditati dal US-EPA, e applicato su molteplici scenari anche europei [4] per la descrizione dell'inquinamento da ozono e particolato, nonché per la formulazione di strategie di programmazione di interventi di risanamento.

Il presente documento è redatto nell'ambito delle attività relative all'accordo intercorso tra il Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione dell'Università di Pisa e la Regione Toscana, in materia di applicazioni modellistiche, basate su scenari di riferimento e di riduzione, in seguito all'attuazione del Piano Regionale di Risanamento e Mantenimento della qualità dell'aria, P.R.R.M. 2008-2010.



La finalità generale del piano è quella di perseguire una strategia regionale integrata sulla tutela della qualità dell'aria ambiente e sulla riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra (Kyoto) coerente con quella della UE e quella nazionale; P.R.R.M si pone anche come finalità generale la riduzione della percentuale di popolazione esposta ad elevati livelli di inquinamento atmosferico.

L'accordo stabilito prevede un approfondimento di studi e applicazioni modellistiche svolte all'interno del progetto regionale PATOS 1 e 2, grazie ai quali è stato possibile configurare un codice e migliorarne le prestazioni allo scopo di ottenere un modello di dispersione calibrato, utilizzato come strumento per la gestione del territorio in relazione alla valutazione degli episodi acuti di inquinamento e per la pianificazione delle azioni di contenimento delle emissioni in aria ambiente, come descritto nei documenti "REGTOS – DIMNP/DICCSM NT 01e 02 (11)" [12].

Il lavoro è stato sviluppato in due successive fasi:

- La prima fase ha visto l'applicazione modellistica per l'intero anno 2006, effettuata su un dominio comprendente la Regione Toscana, con lo scenario emissivo basato sui dati IRSE 2005. Tale applicazione è stata considerata come "scenario base" per le successive simulazioni in cui vengono applicate le riduzioni alle emissioni conseguenti agli interventi ed all'attuazione del piano regionale di risanamento e mantenimento.
- Nella seconda fase, la costruzione di scenari di emissione ha la finalità di valutare l'evoluzione futura delle emissioni a seguito della realizzazione di misure e interventi già previsti dall'insieme delle norme europee, nazionali, regionali e locali in corso di attuazione o da attivarsi nel prossimo futuro, insieme a quelle che la pianificazione prevede di attuare. Lo scenario emissivo, "scenario PRRM", contiene le stime delle emissioni delle singole sostanze inquinanti per il 2010 nel caso non siano predisposti interventi specifici, in aggiunta per il PM10 primario e ossidi di azoto, si considerano le riduzioni stimate con l'applicazione del PRRM e quelle predisposte dalle amministrazioni comunali (PAC)

Si riportano quindi in questo contesto, sinteticamente i risultati derivanti dalla prima fase sviluppata, già riportati in dettaglio nel documento "RELAZIONE INTERMEDIA-MODELLISTICA AMBIENTALE APPLICATA ALLO SCENARIO PRRM- Giugno 2011", ed i confronti sulle concentrazioni al suolo derivanti da due scenari simulati nella seconda fase.

2. IL PIANO REGIONALE DI RISANAMENTO E MANTENIMENTO (PRRM 2008-2010)

L'Unione europea con la direttiva quadro 96/62/CE in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente e le successive quattro direttive figlie aveva determinato un quadro normativo completo per tutelare la qualità dell'aria europea, che è stato recepito nella disciplina di settore degli Stati Membri.

A livello nazionale il D.Lgs. 351/99, che aveva recepito la direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente, attribuisce alle Regioni la gestione della qualità dell'aria per il rispetto dei valori limite stabiliti dal DM 60/02 e nel D.lgs 183/04 relativamente al biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, le particelle fini, il piombo, il benzene, il monossido di carbonio e l'ozono.

L'attività regionale per l'attuazione dei disposti del D.lgs n. 351/99, che costituisce un programma di azioni coordinate e coerenti, ha già determinato, nel tempo, significativi effetti di riduzione delle emissioni e dei livelli di inquinamento conseguenti. La predisposizione di un Piano Regionale risponde al criterio di perseguire una sempre maggiore strategia integrata delle politiche regionali coinvolte nel risanamento e il mantenimento della qualità dell'aria ambiente ed una organicità strutturale nelle azioni.

La necessità di adottare una strategia integrata, deriva dal fatto che vi è una crescente consapevolezza, sia nelle comunità scientifiche che politiche, sull'importanza di indirizzarsi verso i collegamenti esistenti tra gli inquinanti dell'aria ambiente tradizionali e i gas ad effetto serra. Molti degli inquinanti tradizionali e dei gas ad effetto serra hanno sorgenti comuni, le loro emissioni interagiscono nell'atmosfera e, separatamente o insieme, causano una varietà di impatti ambientali sulla scala locale, regionale e globale.

Le connessioni operano in due direzioni: esse possono controbilanciarsi in modo sinergico positivamente o negativamente. Ne deriva che le strategie di controllo che simultaneamente si indirizzano verso gli inquinanti tradizionali ed i gas serra possono portare ad un impiego più efficiente delle risorse su tutte le scale.

Nelle sue linee di indirizzo il PRRM intende, quindi, anticipare il futuro quadro normativo nazionale, pur sviluppandosi seguendo, per quanto possibile, quello vigente. Il Piano tiene di conto ed assume le linee di indirizzo di politica energetica nazionale e, in particolare, regionale, supportandole con valutazioni relative alle prevedibili riduzioni nelle emissioni di gas ad effetto serra e delle altre sostanze inquinanti, aiutando così ad individuare quelle più efficaci in un'ottica di sinergie tra effetti ambientali e costi. Lo strumento di Piano permette di coniugare in modo più incisivo e integrato gli obiettivi di risanamento a scala regionale e locale (inquinamento atmosferico con effetti sulla salute, sugli ecosistemi e sul patrimonio artistico e culturale) con quelli a scala globale (emissioni di gas clima alteranti con effetti di cambiamenti climatici).

Gli obiettivi per raggiungere tale finalità sono il rispetto dei valori limite di qualità dell'aria per i vari inquinanti, ovvero raggiungere livelli di qualità dell'aria che non comportino impatti o rischi inaccettabili per la salute e l'ambiente secondo il principio di precauzione e prevenzione del danno.

Le azioni per il raggiungimento degli obiettivi consistono essenzialmente nella riduzione delle emissioni degli inquinanti responsabili dei superamenti dei valori limite della qualità dell'aria.

Le misure del piano dovranno essere centrate nella riduzione dei livelli di fondo delle concentrazioni delle sostanze inquinanti (in genere, concentrazioni medie annue) prediligendo le politiche mirate ad una riduzione strutturale delle emissioni su vaste aree del territorio regionale.

Questo modo di procedere favorisce una maggiore solidità agli interventi di gestione della qualità dell'aria perché svincola le azioni stesse sia da situazioni locali (hot spot), sia dalle condizioni meteorologiche che, come dimostrato, giocano un ruolo importante nella determinazione dei livelli di qualità dell'aria.

In questo senso, in coerenza con gli strumenti di programmazione europea e nazionale, l'insieme degli interventi previsti nel PRRM, con lo scopo di rispettare i valori limite di qualità dell'aria alle date prestabilite su tutto il territorio regionale, sono aggregati nel seguente modo:

- Interventi nel settore della Mobilità pubblica e privata
- Interventi nel settore Riscaldamento domestico e nel terziario
- Interventi nel settore delle Attività produttive
- Interventi per il miglioramento della conoscenza e dell'informazione al pubblico
- Interventi Generali di tipo Organizzativo Gestionale

3. IL CODICE CAMx

CAMx (*Comprehensive Air quality Model with eXtensions*, versione 4.03, sviluppato da ENVIRON, California, 2004) è un modello tridimensionale che simula l'emissione, la dispersione, la trasformazione, il trasporto e la rimozione di inquinanti gassosi e di particolato in atmosfera su scale che vanno dall'urbano al globale. Caratteristiche principali sono quelle di essere un modello fotochimico euleroiano a griglia:

- **fotochimico** : implementa meccanismi semplificati di fotochimica atmosferica, centrati sul ciclo NO_x-O₃ con l'intervento di composti organici volatili e radicali liberi; è dotato inoltre di un modulo per la chimica del particolato;
- **euleroiano** : risolve l'equazione generale di trasporto e trasformazione per ogni specie chimica (equazione di continuità), riferendosi ad un sistema fisso di coordinate;
- **a griglia** : suddivide il dominio spaziale della simulazione in una griglia tridimensionale

L'equazione fondamentale su cui si basano CAMx e gli altri modelli di dispersione di natura euleriana, deriva dal principio di conservazione della materia. L'equazione di continuità euleriana descrive la dipendenza temporale delle concentrazioni medie delle specie in ogni volume di cella della griglia come somma di tutti i processi fisici e chimici che operano su quel volume.

I vari termini dell'equazione rappresentano la variazione di concentrazione nel tempo di una singola specie all'interno di ogni singola cella del dominio dovuta rispettivamente a:

- trasporto orizzontale e trasporto verticale che seguono il campo di vento;
- diffusione orizzontale e verticale dovute alla turbolenza;
- cinetica chimica che dipende dal meccanismo chimico scelto;
- emissione delle sorgenti presenti;
- rimozione dovuta a fenomeni di deposizione a secco e a umido.

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = -\nabla_H \cdot \vec{V}_H c_i + \left[\frac{\partial(c_i \eta)}{\partial z} - c_i \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right) \right] + \nabla \cdot \rho K \nabla (c_i / \rho) + \frac{\partial c_i}{\partial t} \Big|_{\text{Chemistry}} + \frac{\partial c_i}{\partial t} \Big|_{\text{Emission}} + \frac{\partial c_i}{\partial t} \Big|_{\text{Removal}}$$

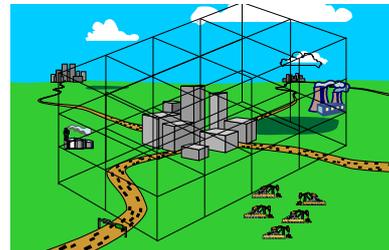


Figura2 - Approccio 3D di CAMx: a) Equazione fondamentale, b) schematizzazione suddivisione dominio

Il codice implementa anche meccanismi chimici di tipo ridotto, che rappresentano uno schema semplificato rispetto ai meccanismi espliciti, che invece tengono conto di un gran numero di reazioni, descrivendo in modo molto più dettagliato la chimica "reale". Tali meccanismi, con un numero di reazioni non molto elevato e raggruppando le specie coinvolte in categorie (lumping), descrivono in maniera semplificata la chimica e fotochimica dell'atmosfera.

Quello che si ottiene ad ogni passo temporale è la concentrazione di ogni specie in ogni punto della griglia, rappresentativa delle concentrazioni medie all'interno delle singole celle.

4. CONFIGURAZIONE ED APPLICAZIONI DEL CODICE

Per effettuare le simulazioni è necessario fornire al modello una grande quantità di dati, con un sufficiente livello di dettaglio, e disporre di dati misurati per la valutazione dei risultati.

Di seguito è riportata una descrizione sintetica della configurazione del codice di calcolo relativamente ai dati in ingresso necessari alle simulazioni nella configurazione completa per la valutazione delle concentrazioni di PM in aria ambiente.

- *Dati territoriali;*
- *Dati meteorologici;*
- *Condizioni al contorno ed iniziali;*
- *Scenario Emissivo;*
- *Parametri chimici e fotochimici.*

4.1. Dati Territoriali

Il dominio su cui sono state fatte girare le simulazioni comprende tutta la Regione Toscana, zone limitrofe e parte della Corsica, con una risoluzione di 6km

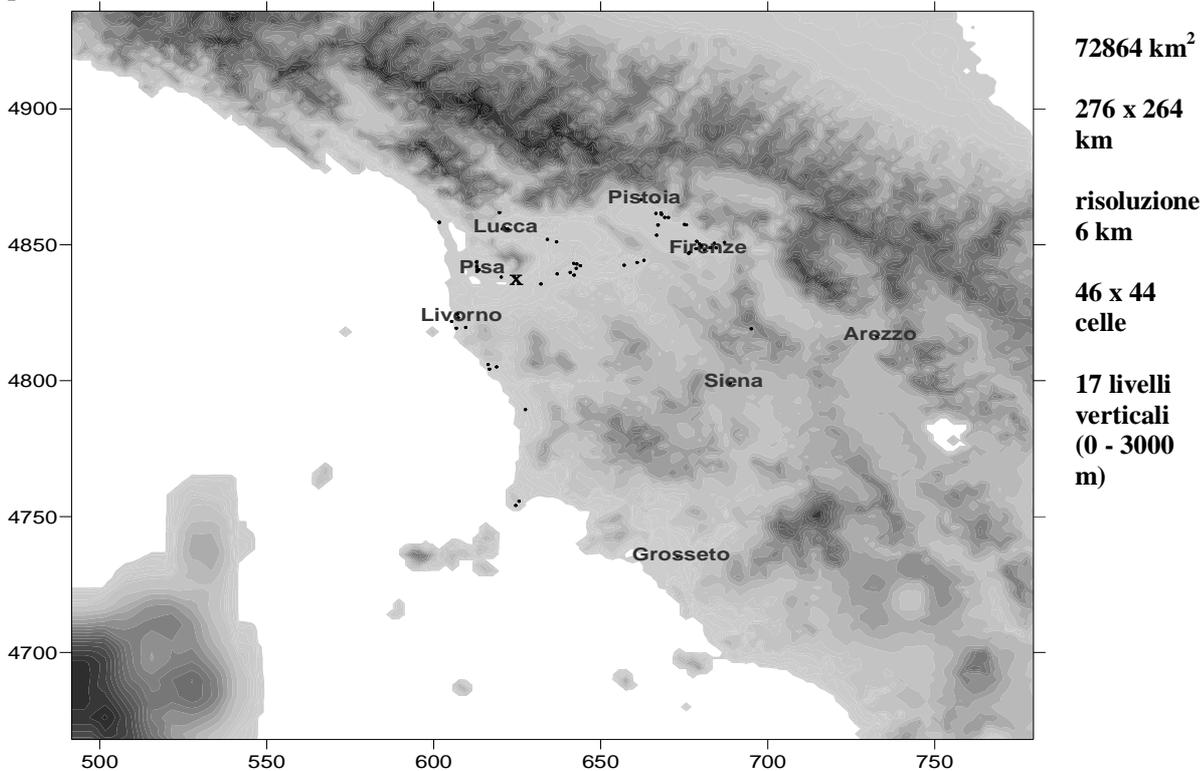


Figura3 - - Caratteristiche del dominio studiato.

4.2. Dati Meteorologici

I dati meteorologici sono stati elaborati a partire da quelli ottenuti da MM5, un modello prognostico non idrostatico sviluppato da NCAR (*National Center for Atmospheric Research della Pennsylvania University*). Il modello è operativo all'Università dell'Aquila da parte del Gruppo di ricerca Cetemps diretto dal Prof. Visconti su un ampio dominio di calcolo che copre tutta l'Europa occidentale. Per ogni punto griglia fornisce informazioni relative a campi di vento, temperatura ed umidità relativa, oltre a numerose altre variabili utili per una corretta caratterizzazione meteorologica dell'area e per la definizione dei parametri di turbolenza. I dati disponibili, con risoluzione dettagliata (1.3kmx1.3km), riferiti all'anno 2006, sono stati utilizzati per la ricostruzione dei campi tridimensionali meteorologici tramite il processore diagnostico CALMET e successivamente elaborati per la determinazione delle variabili necessarie per il funzionamento di CAMx.

4.3. Condizioni iniziali e al Contorno

Per i dati di condizioni iniziali e al contorno, è stato fatto riferimento al modello CHIMERE, anch'esso operativo all'Università dell'Aquila da parte del Gruppo di ricerca Cetemps diretto dal Prof. Visconti su un ampio dominio di calcolo che copre tutta l'Europa occidentale.

Tali dati derivano da simulazioni fotochimiche svolte su domini a larga scala con una risoluzione spaziale di circa 15km e coinvolgono 254 specie di inquinanti suddivise in gas e aerosol.

4.4. Parametri Chimici e Fotochimici

L'applicazione del modello per la valutazione della dispersione di particolato atmosferico (soprattutto di origine secondaria) necessita di disporre dei dati di un numero elevato di parametri chimici e fotochimici, che regolano l'evoluzione di tutte le reazioni in gioco. In CAMx i dati chimici e fotochimici vengono sostanzialmente implementati con files che contengono tutti i parametri che governano le reazioni chimiche, dai valori di albedo, di ozono e di torbidità dell'atmosfera a quelli relativi al contenuto di acqua nelle nuvole, parametro questo molto importante per le reazioni in fase acquosa, e per la rimozione ad umido.

4.5. Sorgenti Emissive

Per quanto riguarda le sorgenti sono stati definiti due scenari emissivi: lo scenario base, facente riferimento ai dati di emissione riportati nell'inventario della regione Toscana dell'anno 2005 e scenario PRRM che contiene le stime delle emissioni delle singole sostanze inquinanti per il 2010 nel caso non siano predisposti interventi specifici ed, in aggiunta per il PM10 primario e ossidi di azoto, anche le riduzioni stimate con l'applicazione del PRRM e quelle predisposte dalle amministrazioni comunali.

Di seguito si dettagliano i dati utilizzati per i due scenari.

4.5.1. Scenario base

I dati di emissione sono stati elaborati (per le emissioni puntuali, diffuse e lineari) per lo scenario base, partendo dai dati forniti dall'inventario delle emissioni della Regione Toscana (IRSE 2005). Nelle tabelle seguenti si riportano le emissioni regionali per gli inquinanti più importanti, suddivise per macrosettore e per tipologia di sorgente (Fonte Regione Toscana).

**Emissioni totali regionali per macrosettore e loro percentuale sul totale regionale- anno 2005
(tonnellate)**

Macrosettore	CO	%	COV	%	NH ₃	%	NO _x	%	PM ₁₀	%	SO _x	%
Combustione nell'industria dell'energia e trasformazione fonti energetiche	2.020,47	1%	752,84	1%	4,97	0%	7.012,07	9%	625,06	5%	15.643,93	54%
Impianti di combustione non industriali	47.323,51	19%	9.878,75	8%	57,17	1%	4.955,59	6%	5.496,94	44%	846,33	3%
Impianti di combustione industriale e processi con combustione	5.404,47	2%	565,20	0%	4,50	0%	14.112,09	18%	1.165,58	9%	9.676,67	33%
Processi Produttivi	52.016,06	21%	6.129,18	5%	88,71	1%	415,43	1%	151,36	1%	1.575,16	5%
Estrazione, distribuzione combustibili fossili	0,00	0%	3.063,78	3%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
Uso di solventi	0,00	0%	39.566,05	34%	2,98	0%	0,00	0%	31,81	0%	0,00	0%
Trasporti Stradali	129.018,54	52%	35.848,66	31%	1.190,64	12%	36.270,24	47%	3.346,97	27%	442,25	2%
Altre Sorgenti Mobili	7.751,79	3%	1.928,69	2%	1,16	0%	14.553,73	19%	1.087,87	9%	750,00	3%
Trattamento e Smaltimento Rifiuti	39,69	0%	1.597,39	1%	971,96	9%	264,45	0%	5,74	0%	34,02	0%
Agricoltura	1.180,62	1%	3.733,85	3%	7.801,68	77%	21,82	0%	436,38	3%	0,00	0%
Natura	2.119,48	1%	14.344,15	12%	0,00	0%	1,00	0%	125,25	1%	0,00	0%
Totale regionale	246.874,63		117.408,52		10.123,77		77.606,41		12.472,96		28.968,37	

Emissioni totali regionali suddivise per tipologia di sorgente (t) - Anno 2005

Tipologia Emissioni	CO	%	COV	%	NH ₃	%	NO _x	%	PM ₁₀	%	SO _x	%
Diffuse	171.076	69%	106.799	91%	9.689	96%	43.864	57%	10.033	80%	1.578	5%
Lineari	18.174	7%	2.016	2%	333	3%	14.878	19%	892	7%	744	3%
Puntuali	57.625	23%	8.594	7%	102	1%	18.864	24%	1.548	12%	26.647	92%
Totale regionale	246.875		117.409		10.124		77.606		12.473		28.968	

Ai fini delle simulazioni, è stato necessario effettuare una disaggregazione spaziale sulla maglia regolare predisposta ed una disaggregazione temporale per riportare i dati da base annuale a base oraria, con il risultato di ottenere un'emissione costante all'interno di ciascuna cella di 6 km x 6 km e variabile a livello orario.

4.5.2. Scenario PRRM

Anche per quanto riguarda lo scenario PRRM la sua definizione parte dalle emissioni stimate nell'Inventario delle Sorgenti di Emissione in aria ambiente (IRSE) relative al 2005, e dalla prospettiva di due differenti scenari:

- il primo scenario, contiene le stime delle emissioni delle singole sostanze inquinanti per gli anni 2010, 2015 e 2020, nel caso non vengano predisposti specifici interventi. In questo scenario si considera quindi, solo la naturale evoluzione dei vari indicatori che incidono sull'emissioni dei singoli inquinanti (es. naturale evoluzione della composizione del parco veicoli) e gli interventi già previsti e programmati dai soggetti istituzionali quali la Unione Europea, lo Stato Nazionale e la Regione Toscana nei vari piani e programmi di settore
- Il secondo scenario, contiene le stime delle emissioni di PM10 primario e di ossidi di azoto relativamente al 2010, considerando, oltre alle misure specifiche del piano, quelle indicate nei vari Piani di Azione Comunale (PAC) predisposti dai singoli comuni

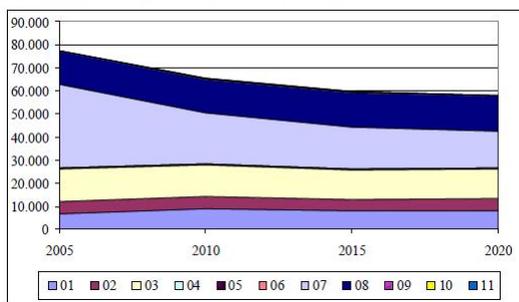
Quindi lo scenario considerato nelle simulazioni modellistiche definito scenario PRRM, deriva sostanzialmente dalla somma dei contributi stimati in base ai due differenti scenari descritti.

Nel primo scenario si sono valutate le stime di riduzione al 2010, attraverso proiezioni basate su fattori tecnologici e socio economici applicati alle varie attività, senza l'attuazione di interventi specifici e porta quindi ad indicare con maggior dettaglio una stima riduttiva complessiva a livello regionale. Le riduzioni derivanti dall'applicazione del piano e degli interventi comunali, considerata la loro varietà, sono più difficilmente quantificabili a livello complessivo, ma è sensato ipotizzare un forte contributo migliorativo in ambito locale, derivante in modo particolare da interventi sui settori di mobilità pubblica e privata e di riscaldamento

Di seguito si riportano a titolo indicativo i grafici che evidenziano le riduzioni totali regionali derivanti dai due scenari presi in considerazione per la definizione dello scenario di riduzione PRRM utilizzato nel contesto modellistico. (fonte Regione Toscana).

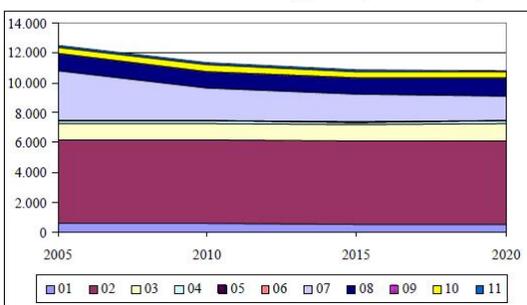
SCENARIO DI RIFERIMENTO al 2010 per NOx e PM10

Scenario di riferimento: emissioni totali di NO_x per macrosettore (tonnellate)



2010 vs 2005 : -16%

Scenario di riferimento: emissioni totali di PM₁₀ primario per macrosettore (tonnellate)



2010 vs 2005 : -9%

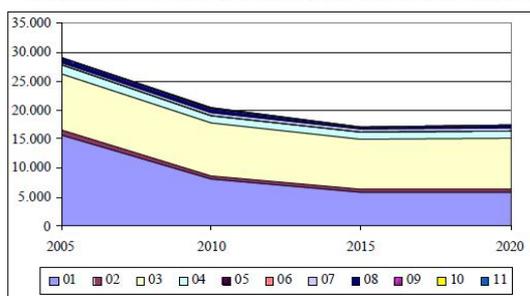
SCENARIO (PRRM+PAC) solo per PM10 e NOx

INTERVENTI PRRM+ PAC	Riduzione NO _x (tonn.)	
	Ipotesi Bassa	Ipotesi Alta
Settore della Mobilità pubblica e privata	-893	-1012
Settore riscaldamento domestico e nel terziario	-532	-1984
Settore delle attività produttive	-156	-467
Totale Riduzione	-1582	-3463
Riduzione su totale regionale	-2,4%	-5,3%

INTERVENTI PRRM+ PAC	Riduzione PM ₁₀ (tonn.)	
	Ipotesi Bassa	Ipotesi Alta
Settore della Mobilità pubblica e privata	-140	-203
Settore riscaldamento domestico e nel terziario	-428	-428
Settore delle attività produttive	-21	-62
Totale Riduzione	-589	-694
Riduzione su totale regionale	-5,2%	-6,1%

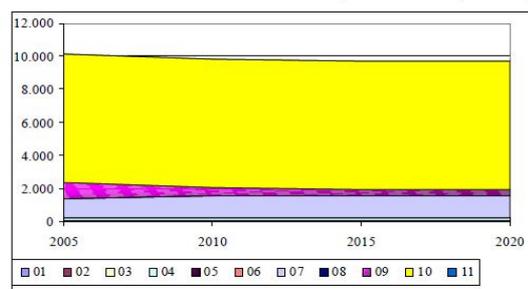
SCENARIO DI RIFERIMENTO al 2010 per principali inquinanti

Scenario di riferimento: emissioni totali di SO₂ per macrosettore (tonnellate)



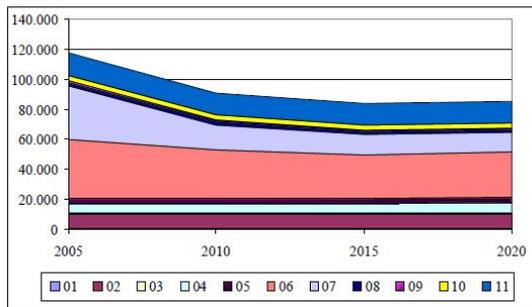
2010 vs 2005 : -30%

Scenario di riferimento: emissioni totali di NH₃ per macrosettore (tonnellate)



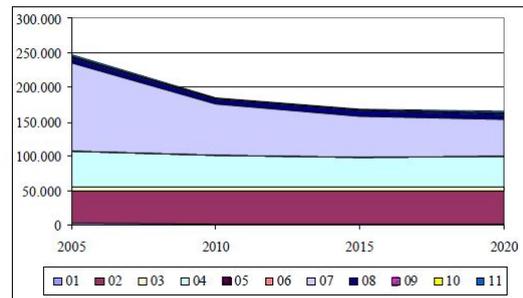
2010 vs 2005 : -3%

Scenario di riferimento: emissioni totali di COV per macrosettore (tonnellate)



2010 vs 2005 : -22%

Scenario di riferimento: emissioni totali di CO per macrosettore (tonnellate)



2010 vs 2005 : -25%

In conclusione è possibile affermare che, considerando le stime di riduzioni future, gli interventi di piano e quelli delle amministrazioni locali, per i due inquinanti maggiormente critici, particolato primario ed ossidi di azoto, si hanno delle riduzioni complessive di emissioni, rispetto ai dati IRSE del 2005, pari circa rispettivamente al 15% ed al 20%. Si fa presente inoltre che le riduzioni stimate per tutti gli inquinanti, influiranno in modo positivo sulle riduzioni delle concentrazioni stesse al suolo, ma anche del PM10, in quanto in modo particolare gli ossidi di azoto, sono tra i contribuenti della parte secondaria di tale inquinante.

Nelle applicazioni del codice le riduzioni apportate per la definizione dello scenario PRRM, sono state definite a livello non di riduzione totale regionale, ma secondo le variazioni riportate dai vari macrosettori, come riportato in dettaglio nell'allegato 6 del documento di piano PRRM, per tener conto di una maggiore variabilità spaziale e temporale alle emissioni.

Di seguito sono riportate in sintesi le configurazioni del codice utilizzate per le simulazioni.

DOMINIO	SCENARIO BASE	SCENARIO PRRM
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Localizzazione ▪ Numero di punti griglia ▪ Risoluzione spaziale ▪ Coordinate origine del dominio (sud-ovest) 	<p><i>Regione Toscana con parte della Corsica</i></p> <p><i>46 x 44 x 17</i></p> <p><i>6km x 6km</i></p> <p><i>Lat. 4668000 Long. 498000</i> <i>(coordinate UTM piane fuso 32)</i></p>	<p><i>Regione Toscana con parte della Corsica</i></p> <p><i>46 x 44 x 17</i></p> <p><i>6km x 6km</i></p> <p><i>Lat. 4668000 Long. 498000</i> <i>(coordinate UTM piane fuso 32)</i></p>
DATI METEOROLOGICI	<i>Modello meteorologico prognostico MM5-anno2006</i>	<i>Modello meteorologico prognostico MM5-anno2006</i>
SCENARIO EMISSIVO:		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sorgenti puntuali ▪ Sorgenti diffuse ▪ Sorgenti lineari ▪ Condizioni iniziali e al contorno 	<p><i>Fonte IRSE (2005)</i></p> <p><i>Dati modello CHIMERE</i></p>	<p><i>Fonte IRSE (2005) + Stime al 2010 per tutti inquinanti + riduzioni PRRM + PAC per PM10 e NOx</i></p> <p><i>Dati modello CHIMERE</i></p>
INQUINANTI TRATTATI	<i>49 specie con reazioni chimiche e fotochimiche</i>	<i>49 specie con reazioni chimiche e fotochimiche</i>
PERIODO DI SIMULAZIONE	<i>1 anno</i>	<i>1 anno</i>

5. RISULTATI

L'analisi dei risultati derivanti dalle applicazioni del codice con le configurazioni sopra descritte ha comportato varie attività:

- confronto degli andamenti temporali dei maggiori inquinanti con i dati misurati dalle centraline della Rete Regionale di monitoraggio della Qualità dell'Aria
- confronti con i valori sperimentali derivanti da campagne di monitoraggio del progetto PATOS, per la validazione dei risultati relativi alle varie componenti del particolato
- confronti delle concentrazioni al suolo dello scenario di riduzione PRRM rispetto a quello base.

I primi due tipi di attività sono state svolte essenzialmente per la validazione del modello di calcolo, compresi i relativi dati di input. Si riportano di seguito i risultati della simulazione annuale con scenario base, confrontati con i valori misurati da alcune centraline del sistema di monitoraggio della qualità dell'aria, sia per il particolato, trattato in maniera più approfondita non solo per gli andamenti ma anche per la composizione, grazie ai dati a disposizione del progetto PATOS, sia per altri inquinanti importanti (SO₂, NO_x, CO, O₃).

Per lo scenario PRRM sono stati analizzati e confrontati i risultati rispetto allo scenario base, per avere una stima delle riduzioni che l'applicazione degli interventi del piano dovrebbero comportare sulle concentrazioni al suolo dei vari inquinanti.

Nella Tabella 1 si riportano le caratteristiche principali di alcune delle Stazioni di Qualità dell'Aria (QA) della Toscana, che sono state prese in considerazione, in base alla disponibilità di dati, per la verifica degli andamenti giornalieri di vari inquinanti e per le analisi sulla composizione del PM₁₀.

NOME	TIPO ZONA	TIPO STAZIONE	ANDAMENTO GIORNALIERO PM10	ANALISI COMPOSIZIONE PM10
AR-VIA-FIORENTINA	URBANA	TRAFFICO		✓
AR- REPUBBLICA	URBANA	TRAFFICO	✓	
FI-BASSI	URBANA	FONDO	✓	✓
FI-GRAMSCI	URBANA	TRAFFICO	✓	
FI-SCANDICCI	URBANA	FONDO	✓	
GR-VIA-URSS	URBANA	FONDO	✓	✓
LI-VILLA-MAUROGORDATO	PERIFERICA	FONDO	✓	✓
LI-GOBETTI	URBANA	INDUSTRIALE	✓	
LI-VIALE-CARDUCCI	URBANA	TRAFFICO	✓	
LU-CAPANNORI	URBANA	FONDO	✓	✓
LU-PORCARI	URBANA	TRAFFICO	✓	
PI-BORGHETTO	URBANA	TRAFFICO	✓	
PI-SANTA CROCE	PERIFERICA	INDUSTRIALE	✓	
PO-ROMA	URBANA	FONDO	✓	
PO-STROZZI	URBANA	TRAFFICO		✓
PT-MONTALE	RURALE	FONDO	✓	
SI-LOC-DUE-PONTI	URBANA	TRAFFICO	✓	

5.1. Tabella 1 -

Caratteristiche delle Stazioni di Qualità dell'Aria della Toscana prese in esame per i confronti con i valori predetti dal codice di dispersione CAMxScenario Base

▪ PM10

L'analisi dei risultati ottenuti dalla prima applicazione del codice CAMx, per la stima delle concentrazioni giornaliere e annuali di PM10, ha mostrato complessivamente risultati coerenti con quelli misurati dalle centraline, anche se si nota una tendenza del codice a sovrastimare in alcuni casi i valori della concentrazione soprattutto nella stagione invernale, ed a sottostimare i valori per la stagione estiva.

Nel documento “RELAZIONE INTERMEDIA-MODELLISTICA AMBIENTALE APPLICATA ALLO SCENARIO PRRM- Giugno 2011” sono riportati in dettaglio gli andamenti delle medie giornaliere di tutte le stazioni in cui i dati sono disponibili, confrontati con quelli ottenuti dal modello. Da un esame più approfondito, si può notare che il codice stima abbastanza correttamente gli andamenti giornalieri del periodo maggio-ottobre per quasi tutte le tipologie di stazioni, con tendenza alla sottostima dei valori medi, mentre per i periodi autunnali ed invernali il codice tende a sovrastimare gli andamenti giornalieri, in modo particolarmente evidente per alcuni giorni e per alcune stazioni. Questo è confermato dai dati riportati in **Figura 4**, relativi al confronto delle medie giornaliere calcolate/misurate in 7 stazioni indicate nella stessa figura.

Come descritto nel documento ora citato, in linea con i risultati derivanti dalle simulazioni dell'intero anno 2006 fatte dal centro Cetemps dell'Università dell'Aquila, si riporta nella **Figura 5** l'andamento della concentrazione media giornaliera di PM10 relativo all'intera Toscana, ottenuto sulla base di tutti i dati estratti dal codice (86 stazioni) e misurati dalle centraline di qualità dell'aria (15 stazioni). La media annuale stimata su tutta la Toscana è pari a $24.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre quella misurata è pari a $33.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, il codice quindi sottostima per circa il 28% il valore ricavato dalle misure.

Infine, nella **Figura 6** e nella **Tabella 2** si riportano a confronto i dati relativi alla medie annuali della concentrazione di PM10 per le stazioni analizzate, la tendenza del codice, per tutte le stazioni tranne Maurogordato, è quella di sottostimare i valori della concentrazione di particolato con variazioni comprese tra 8 e 47%.

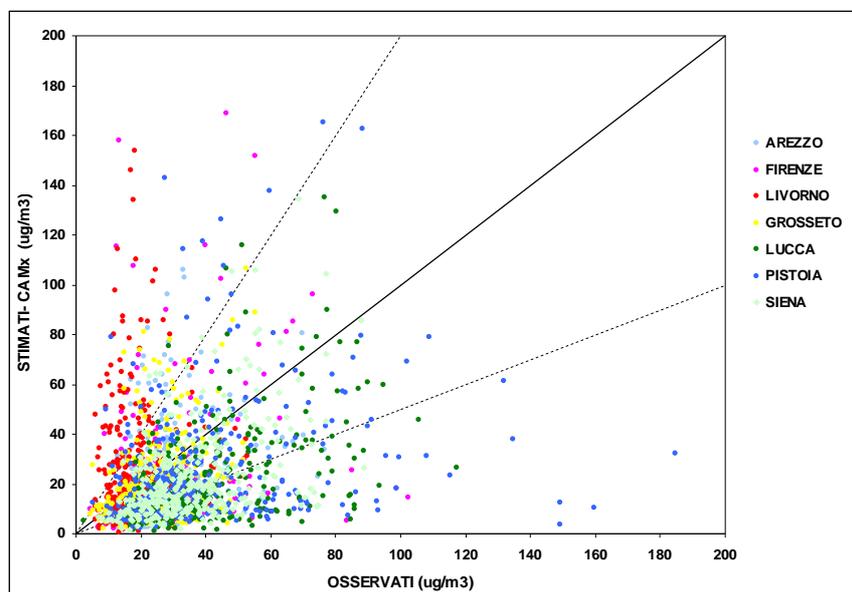


Figura4- Dati misurati vs valori stimati – Medie Giornaliere

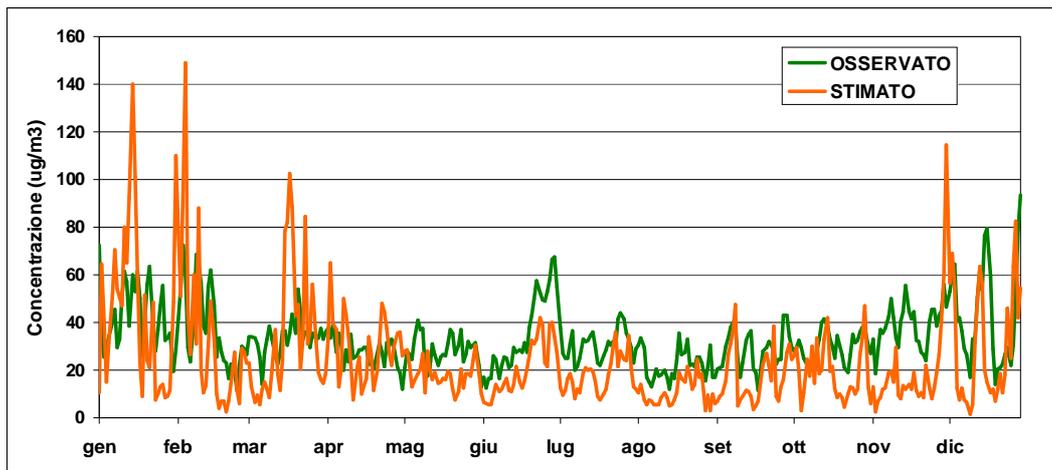


Figura5- Confronto medie giornaliere PM10- Valore Medio sulla Toscana

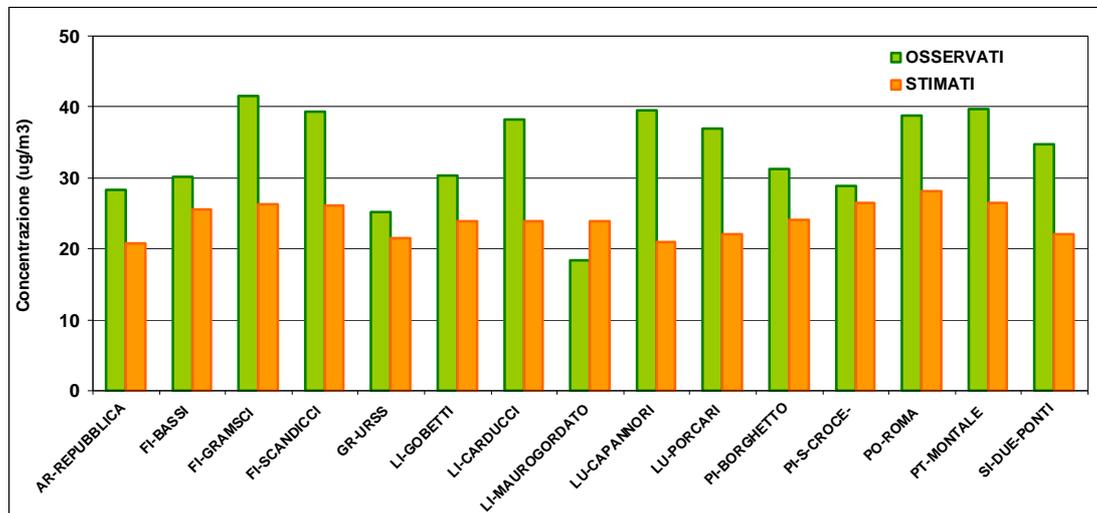


Figura6 - Confronto osservati/stimati delle Medie Annuali di PM10

	dati validi osservati	media anno osservati (ug/m3)	media anno stimata (ug/m3)	variazione %
AR-PIAZZA-REPUBBLICA	354	28.3	20.8	-26%
FI-BASSI	172	30.2	25.6	-15%
FI-GRAMSCI	163	41.5	26.4	-37%
FI-SCANDICCI	338	39.3	26.0	-34%
GR-VIA-URSS	330	25.1	21.5	-14%
LI-VIA-GOBETTI	359	30.3	24.0	-21%
LI-VIALE-CARDUCCI	360	38.1	23.9	-37%
LI-VILLA-MAUROGORDATO	357	18.3	23.9	31%
LU-CAPANNORI	353	39.5	21.0	-47%
LU-PORCARI	359	36.9	22.0	-40%
PI-BORGHETTO	348	31.3	24.1	-23%
PI-SANTA-CROCE-COOP	358	28.9	26.4	-8%
PO-ROMA	330	38.9	28.1	-28%
PT-MONTALE	333	39.7	26.5	-33%
SI-LOC-DUE-PONTI	350	34.8	22.1	-37%
ANNO 2006		33.4	24.2	-28%

Tabella 2 - Medie Annuali e variazione % osservato/stimato

L'analisi dei risultati, ha anche consentito di trarre alcune considerazioni sulla composizione del particolato atmosferico stimata, possibili grazie ai dati ottenuti dal progetto PATOS

Nel grafico di **Figura 7** è riportato l'andamento medio delle varie componenti durante tutto l'anno; si nota che il particolato primario è presente soprattutto nei mesi primaverili ed estivi, mesi in cui sono bassi i valori di componenti organici. Solfati, ammonio e nitrati sono preponderanti nei mesi autunnali ed invernali.

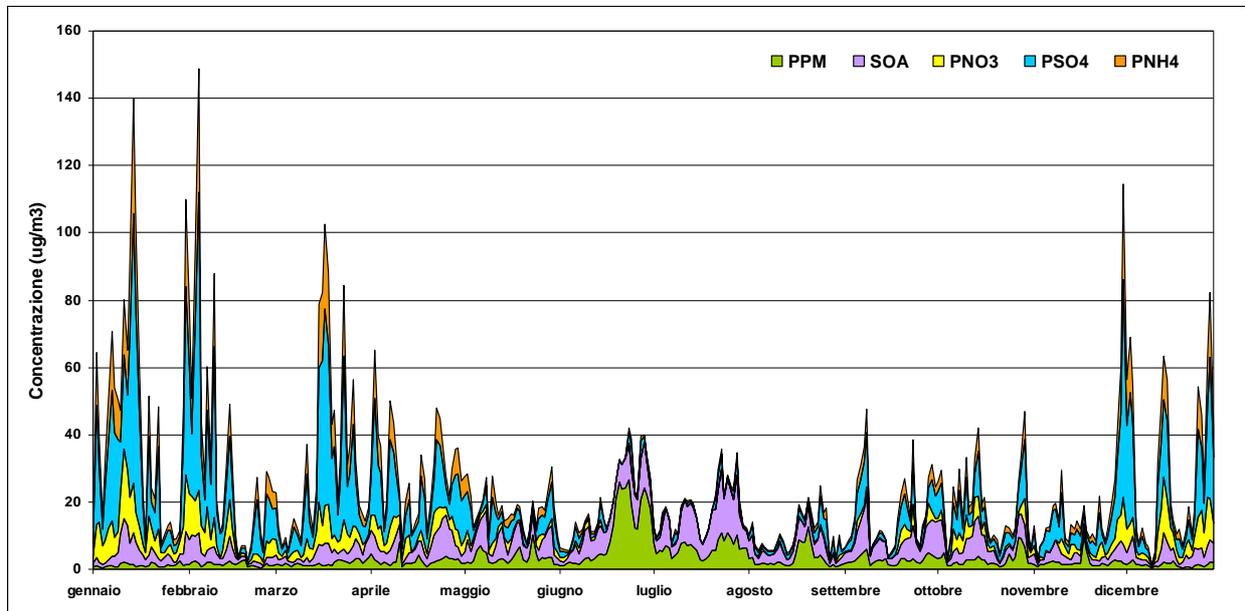


Figura7 - Andamento giornaliero delle componenti stimate del particolato, medie sull'intero anno

Quanto sopra affermato è confermato nel grafico di **Figura 8**, dove sono rappresentate le percentuali medie annue delle componenti il PM10: si nota che è rilevante in percentuale la componente inorganica, superiore al 50% mentre è probabilmente sottostimata la componente primaria, pari solo a circa il 14%

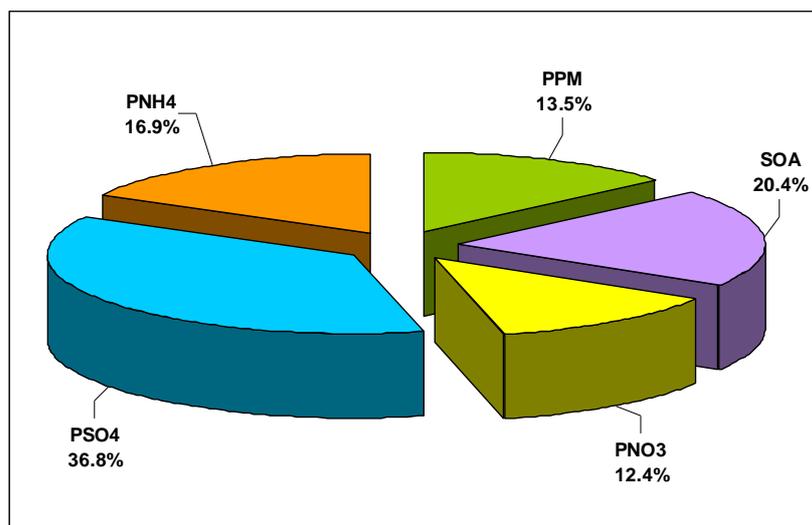


Figura8 - Percentuali delle componenti stimate del particolato, medie su un anno

Per quanto riguarda la composizione del particolato, i dati stimati dal codice sono stati confrontati con i dati elaborati delle analisi derivanti dalla campagna di monitoraggio del progetto PATOS 1.

Per il confronto con i dati derivanti dal campionamento, si deve tenere presente che i dati giornalieri a disposizione coprono circa un 30% del totale di un anno.

Si ottengono i grafici di confronto di **Figura 9** basati sui dati sperimentali disponibili, in cui si nota quanto esposto sopra: il codice stima abbastanza correttamente la componente organica, sovrastima la componente inorganica, soprattutto per quanto riguarda i solfati e la componente ammoniacale e sottostima di gran lunga la componente primaria.

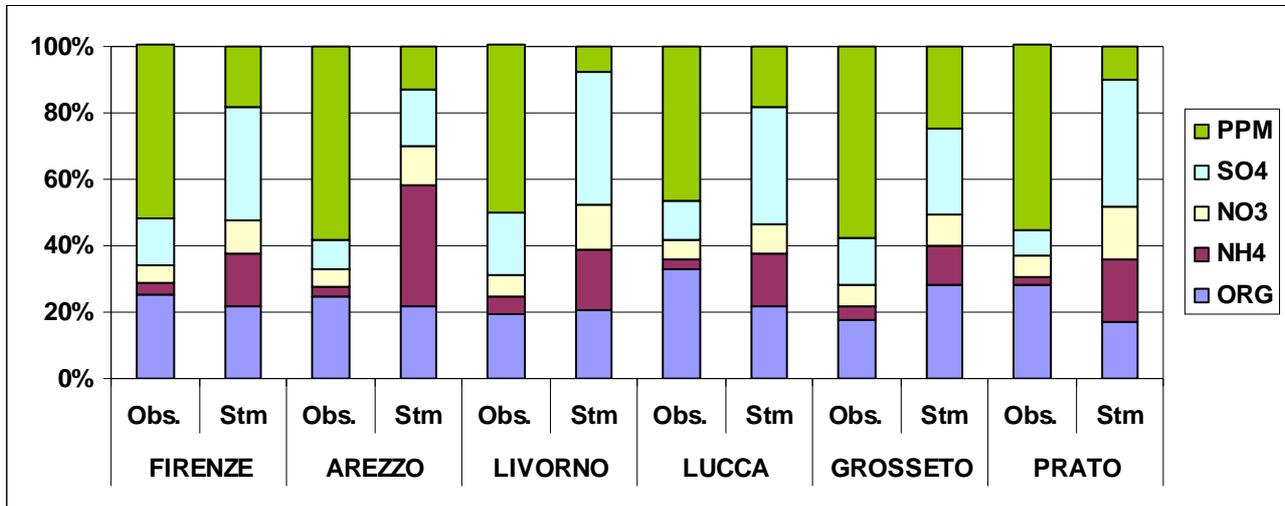


Figura9 - Confronto delle componenti del particolato stimate dal codice e misurate in PATOS 1 (Obs. = osservato - Stm.= Stimato)

Per quanto riguarda il confronto fra i valori medi sempre sul periodo di campionamento, dal grafico di **Figura 10** si ha conferma che il codice tende a sottostimare i valori tranne nel caso di Livorno.

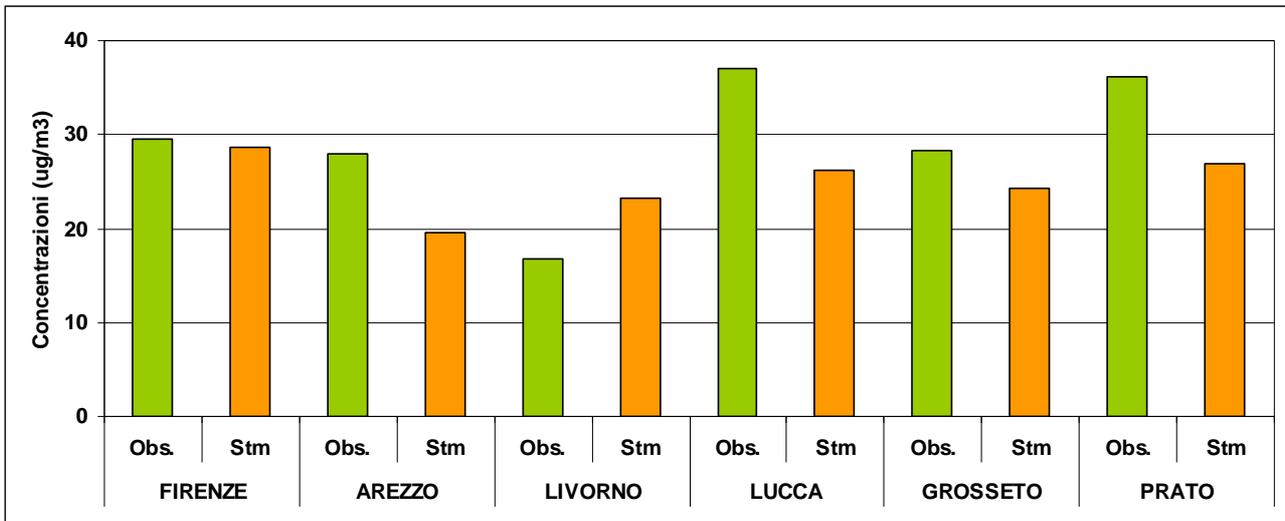
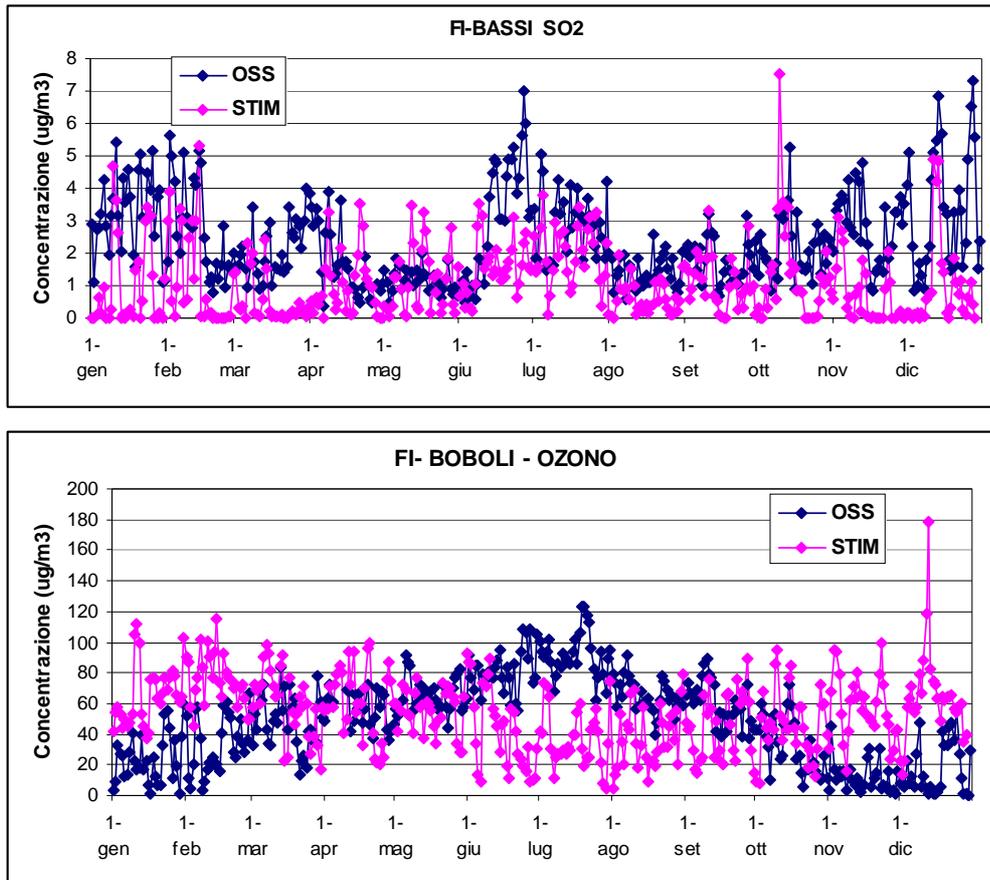


Figura10 - Confronto dei valori medi di PM10 sul periodo campionato (Obs. = osservato - Stm.= Stimato)

▪ **ALTRI INQUINANTI :**

Per quanto riguarda gli inquinanti gassosi, è da specificare che il codice è stato dettagliatamente configurato e studiato per le valutazioni delle stime delle ricadute di particolato, anche grazie agli studi fatti durante il progetto PATOS. Minori informazioni e possibilità di verifica e validazione sono state fatte per gli altri inquinanti gassosi, per i quali il codice riporta andamenti che si discostano significativamente dai valori osservati.

Non avendo molti dati osservati a disposizione si riportano due grafici per avere una indicazione dei confronti degli andamenti delle concentrazioni:



Ozono e NO₂, risentono fortemente della chimica e della fotochimica, con andamenti che divergono dai valori osservati, in modo particolare per NO₂, in tutto il territorio regionale, indicazione questa che indica la necessità di approfondimenti nella configurazione dei parametri fotochimici. Notevole risulta la componente derivante dalle condizioni al contorno per quanto riguarda NO₂, che probabilmente viene “consumata” velocemente e troppo abbondantemente rispetto alle misure osservate dalle reazioni fotochimiche, comportando anche variazioni un ordine di grandezza.

Per quanto riguarda l’ozono il codice tende a sovrastimare il periodo invernale e sottostimare quello estivo.

Gli andamenti per SO₂ simulato risultano pressoché simili a quelli osservati anche se si nota una sottostima del codice.

In conclusione, il codice rappresenta abbastanza coerentemente le stime di aerosol sulla regione, mentre deve ancora essere messo a punto per quanto riguarda la chimica e fotochimica dei componenti gassosi.

Nonostante ciò nel paragrafo seguente si riportano i confronti tra i due scenari simulati, focalizzando l’attenzione sulle tipologie di area maggiormente sensibili agli interventi del piano e alle efficacia che tali interventi hanno sui valori medi delle concentrazione dei principali inquinanti del territorio toscano.

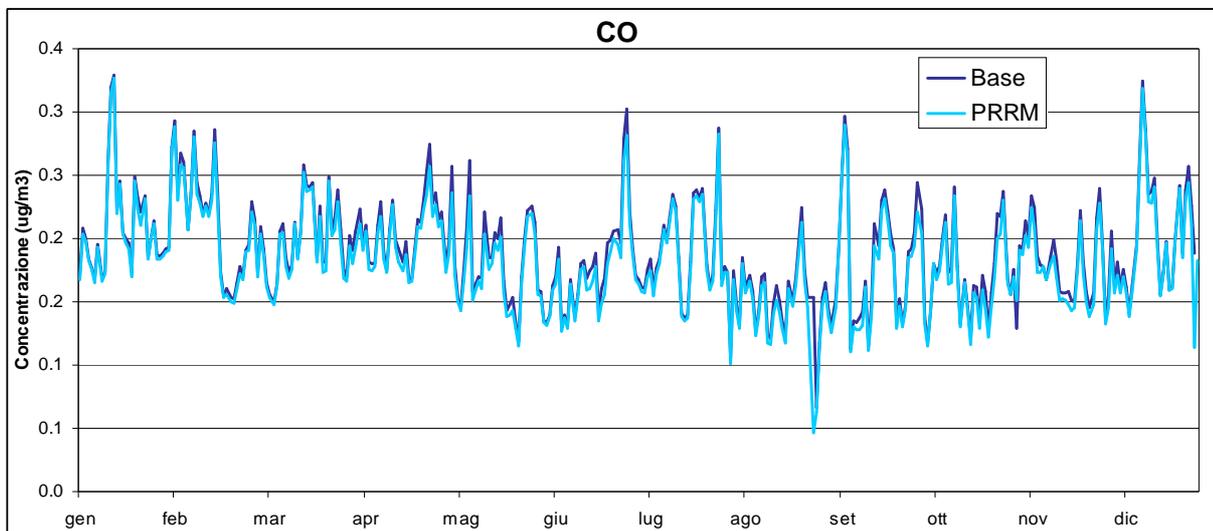
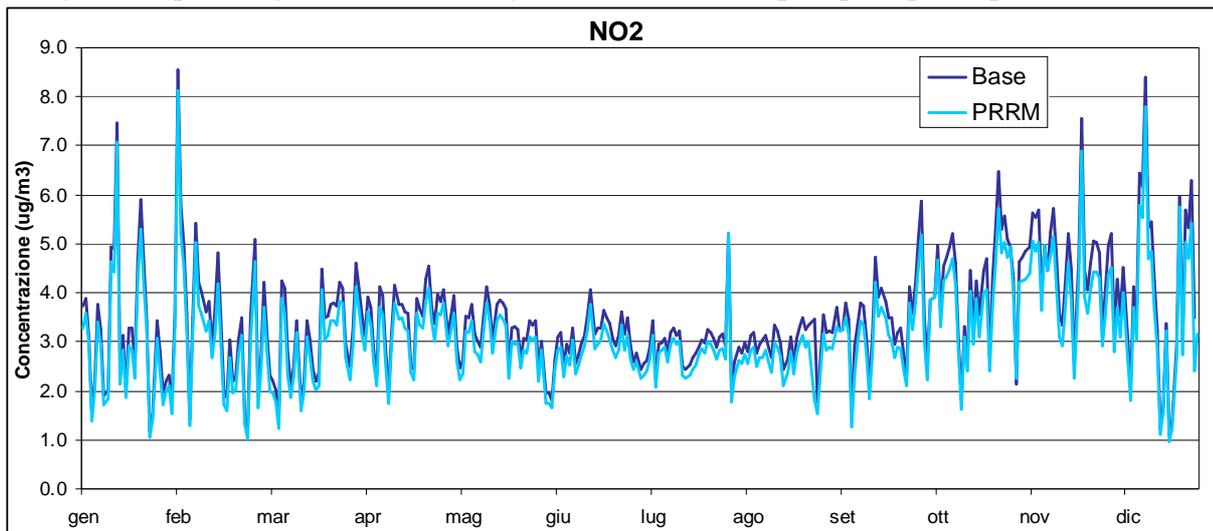
5.2. Scenario PRRM

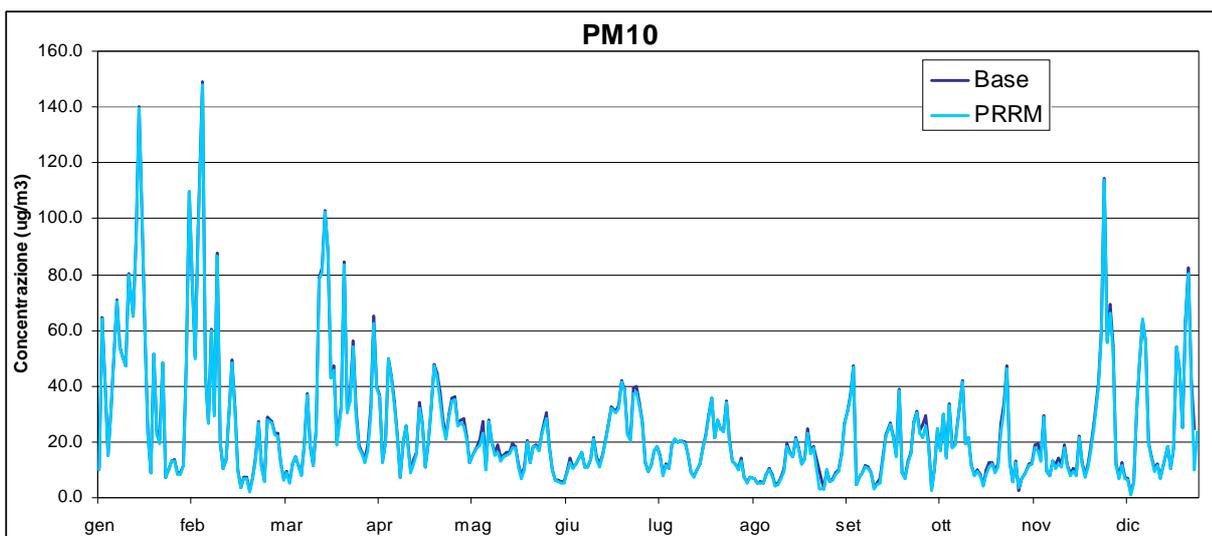
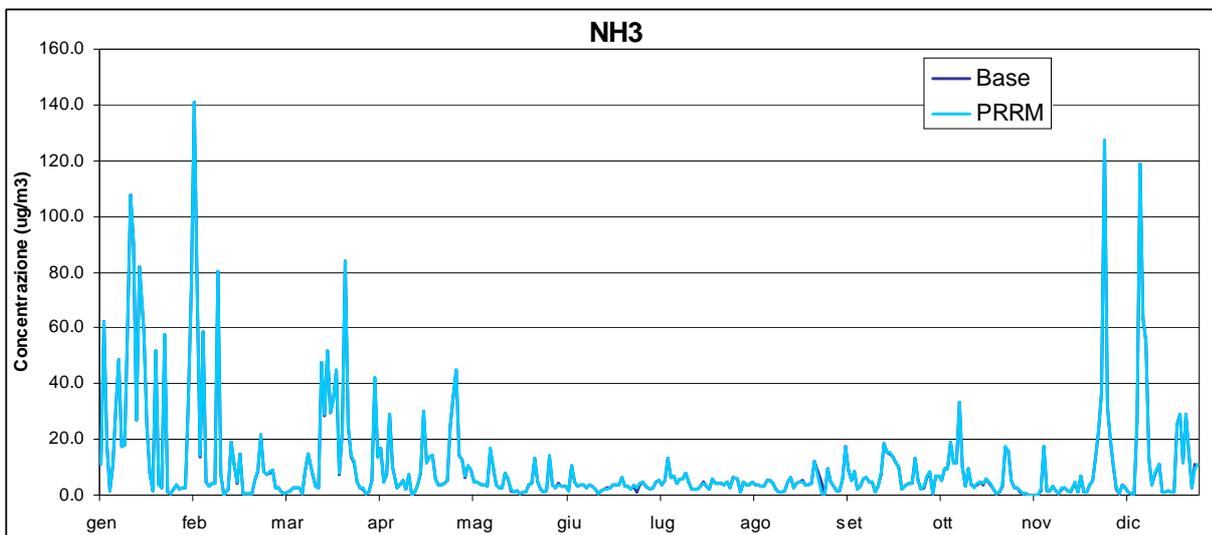
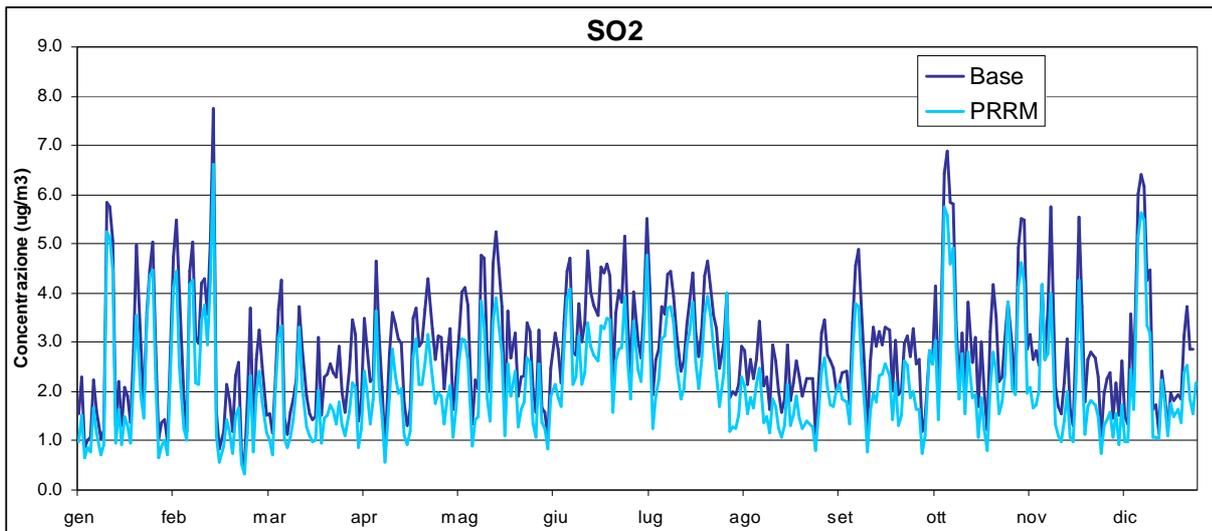
Per elaborare i dati derivanti dalla simulazione configurata con lo scenario emissivo derivante dall’applicazione del PRRM, e stimare una percentuale di riduzione delle concentrazioni al suolo dei

principali inquinanti nella regione Toscana, si riportano di seguito a confronto gli andamenti delle medie giornaliere dei vari inquinanti derivanti dalle due simulazioni, oltre ad una tabella con le variazioni percentuali. Per il PM10 le considerazioni vengono fatte anche sulle sue componenti, inorganica, organica secondaria e primaria.

I dati annuali ottenuti dalle simulazioni sono stati elaborati suddividendoli per zone caratteristiche, periferica, rurale e urbana, e per stagione, calda e fredda, oltre a fare considerazioni sui valori medi di tutta l'area regionale, in modo da tener conto della variabilità spaziale.

Di seguito si riportano gli andamenti medi giornalieri a confronto per i principali inquinanti.





Come si nota dai grafici per NO₂, SO₂ e CO si hanno delle variazioni di concentrazione più o meno importanti, cosa che non accade per il particolato. Le simulazioni infatti non indicano significative variazioni delle medie giornaliere per il PM₁₀, né per le sue componenti (i due andamenti sono praticamente simili).



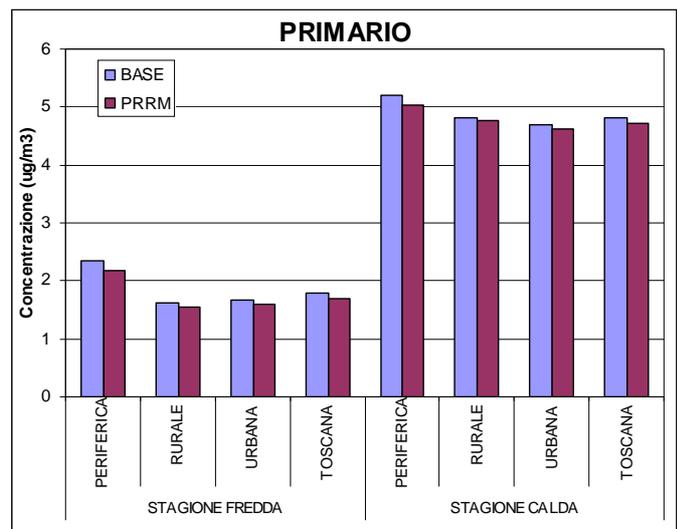
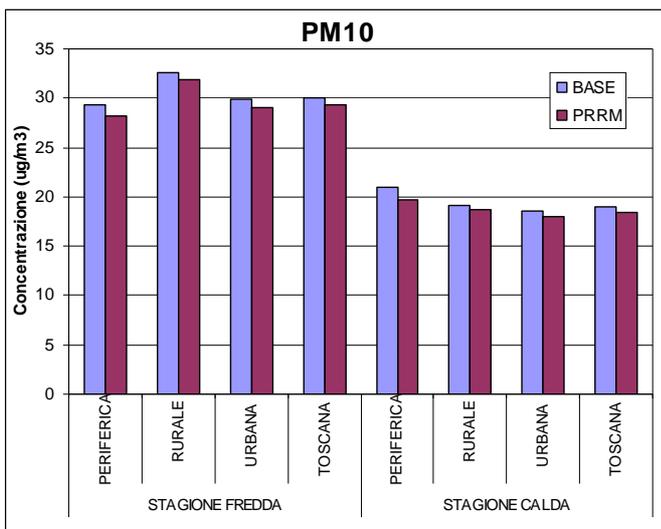
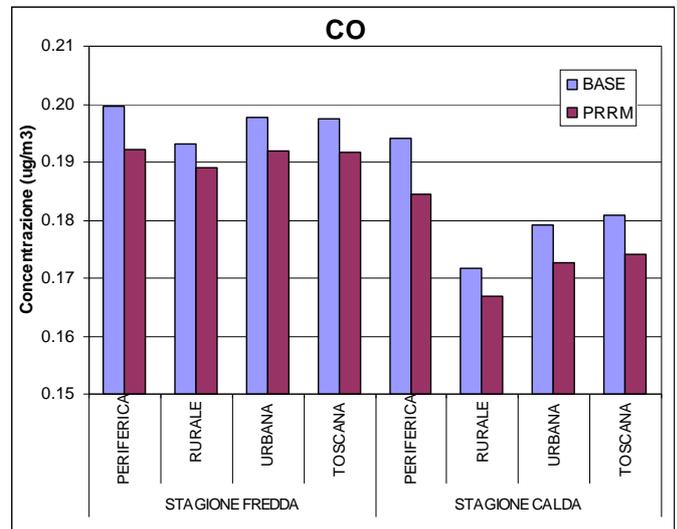
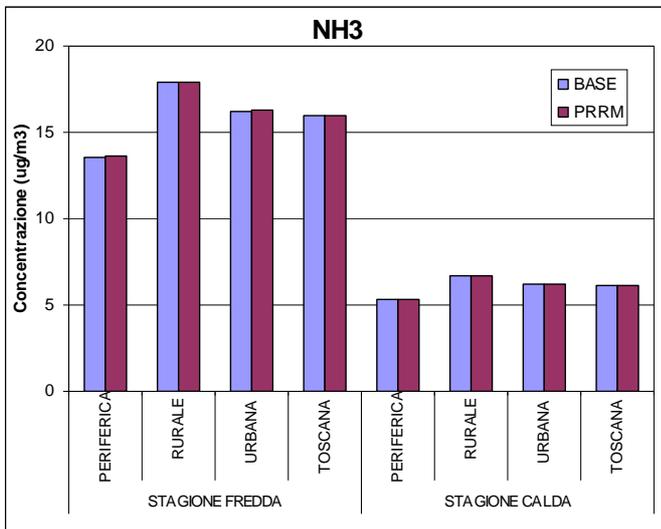
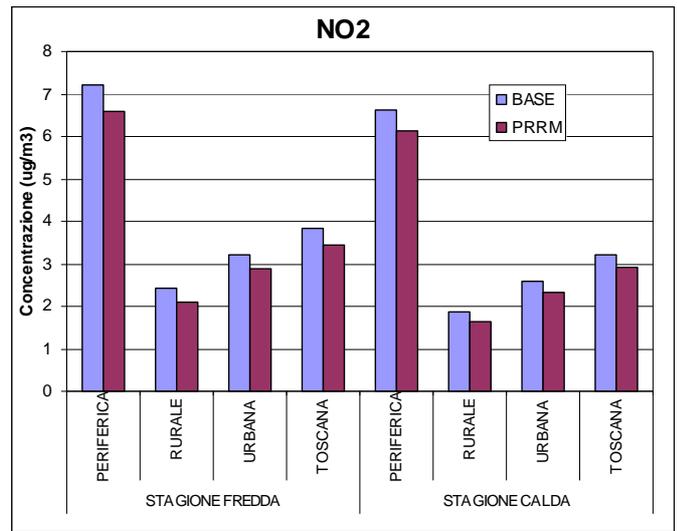
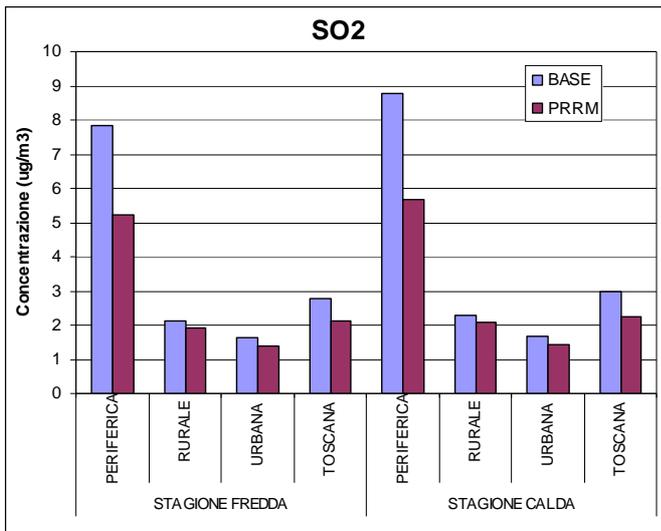
Tale situazione può essere spiegata considerando che, per il particolato primario derivante dalle sorgenti emissive del territorio toscano è una minima percentuale rispetto a quello che viene dalle condizioni al contorno, quindi le applicazioni del piano sulle sorgenti influiscono sulla media annuale in maniera minima.

Dalla tabella seguente si evidenziano le variazioni percentuali sulla media annuale calcolata su tutte le celle del dominio simulato: variazioni significative si hanno per NO₂ e SO₂, rispettivamente con - 9.5 % e -24.5%. Per quanto riguarda il particolato la variazione percentuale è pari al -2.7%.

	BASE	PRRM	VAR %
NO	0.12	0.12	0.25%
NO ₂	3.48	3.15	-9.53%
O ₃	55.56	55.43	-0.23%
CO	0.19	0.18	-3.24%
SO ₂	2.86	2.16	-24.50%
NH ₃	11.01	11.05	0.32%
PNO ₃	3.02	3.01	-0.34%
PSO ₄	8.98	8.74	-2.66%
PNH ₄	4.13	4.06	-1.70%
POA (primario organico)	0.23	0.23	0.06%
SOA1(secondario organico)	1.17	1.11	-4.92%
SOA2 (secondario organico)	0.95	0.81	-14.41%
SOA3 (secondario organico)	2.10	2.07	-1.60%
SOA4 (secondario organico)	0.76	0.76	-0.08%
FPRM (particolato primario fine)	1.57	1.49	-5.57%
CPRM(particolato primario coarse)	0.79	0.78	-1.95%
CCRS (particolato naturale coarse)	0.71	0.71	-0.02%
PM _{2.5}	22.91	22.28	-2.77%
PM ₁₀	24.42	23.77	-2.67%
PRIMARIO	3.29	3.20	-2.85%
SECONDARIO ORGANICO	4.96	4.74	-4.32%
INORGANICO	16.04	15.77	-1.71%

Dai dati derivanti dalle simulazioni sono stati estratti gli andamenti giornalieri di 86 centraline corrispondenti a quelle della rete di monitoraggio della qualità dell'aria ed in seguito sono stati raggruppati per tipologia di stazione (periferica, industriale e rurale) avendo così indicazioni sulle variazioni spaziale, oltre ad un valore stimato per l'intera Toscana e ad un raggruppamento dei dati per stagione.

Analizzando i dati da un punto di vista della variabilità spaziale e stagionale si ottengono i grafici seguenti, elaborati per i principali inquinanti, per il particolato e per le sue principali componenti.(organica secondaria, solfati, nitrati e ammonio e primaria)



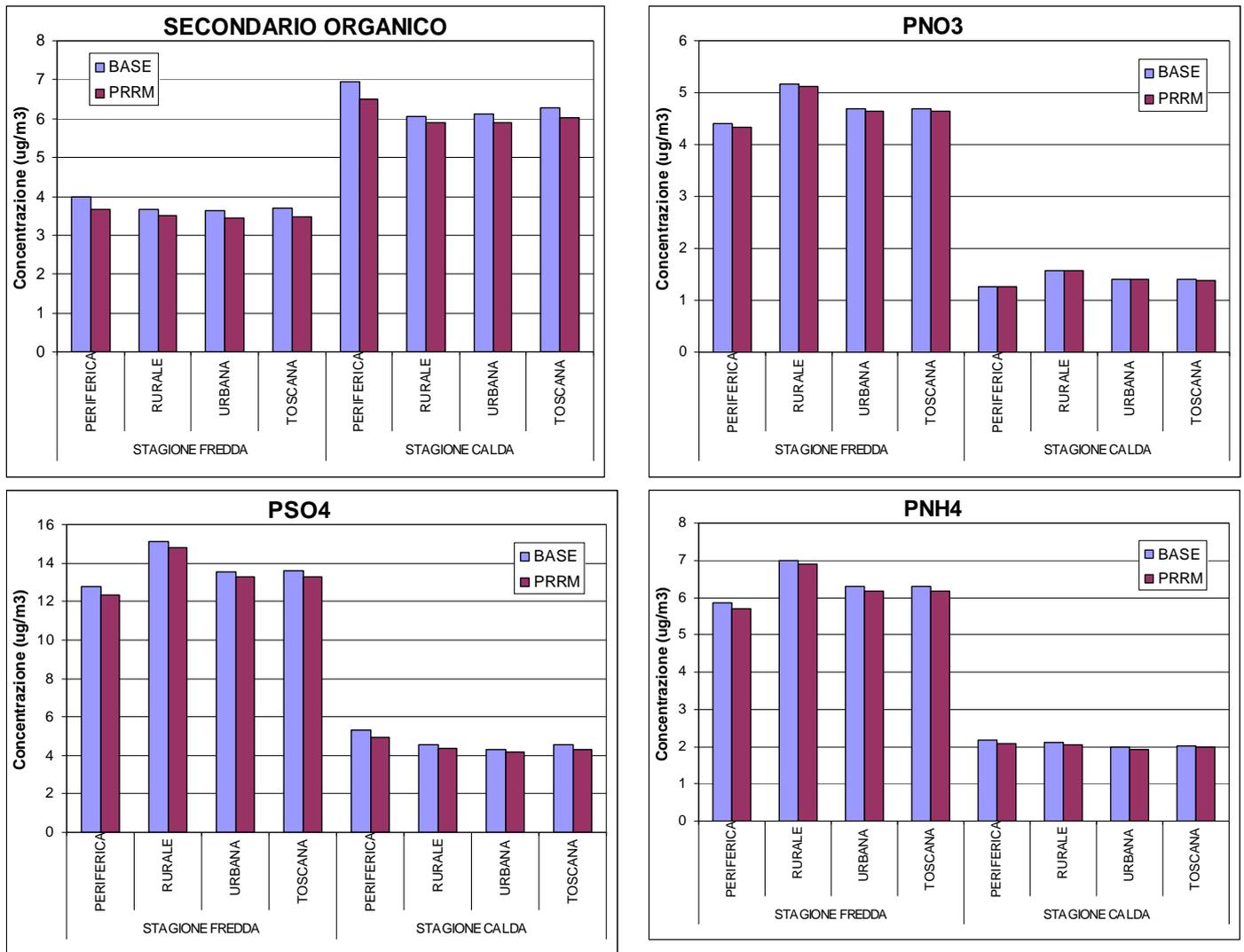


Figura11 - Variazioni stagionali e per tipologia di zona della media annuale dei principali inquinanti e delle principali componenti del PM10

Nelle tabelle seguenti invece si riporta per ogni tipologia di zona e per stagione la variazione percentuale stimata tra i due scenari simulati, per i vari inquinanti e per il particolato con le sue componenti.

VARIAZIONI %		NO2	O3	CO	SO2	NH3
STAGIONE FREDDA	PERIFERICA	-8.8%	-0.2%	-3.8%	-33.2%	0.3%
	RURALE	-13.4%	0.1%	-2.2%	-8.8%	0.0%
	URBANA	-10.5%	0.04%	-2.9%	-16.2%	0.1%
	TOSCANA	-10.1%	0.004%	-3.0%	-23.9%	0.1%
STAGIONE CALDA	PERIFERICA	-7.4%	-0.9%	-5.0%	-35.4%	0.4%
	RURALE	-12.0%	-0.7%	-2.7%	-9.3%	-0.5%
	URBANA	-9.7%	-0.8%	-3.6%	-16.0%	-0.3%
	TOSCANA	-9.0%	-0.8%	-3.7%	-25.3%	-0.3%

Figura12 - Variazioni percentuali stimate tra i due scenari per i principali inquinanti (base e PRRM)

VARIAZIONE %		PM10	PRIMARIO	SOA	PNO3	PSO4	PNH4	INORGANICO
STAGIONE FREDDA	PERIFERICA	-4.0%	-7.9%	-8.1%	-1.6%	-3.4%	-2.5%	-2.9%
	RURALE	-2.1%	-4.5%	-4.1%	-1.0%	-2.0%	-1.6%	-1.7%
	URBANA	-2.4%	-5.4%	-5.0%	-0.9%	-2.3%	-1.8%	-1.9%
	TOSCANA	-2.7%	-5.9%	-5.5%	-1.0%	-2.4%	-1.9%	-2.0%
STAGIONE CALDA	PERIFERICA	-5.5%	-3.6%	-6.8%	0.0%	-7.8%	-3.8%	-5.7%
	RURALE	-2.2%	-1.2%	-2.6%	-0.5%	-3.3%	-2.0%	-2.4%
	URBANA	-2.8%	-1.6%	-3.6%	-0.4%	-4.0%	-2.4%	-2.9%
	TOSCANA	-3.3%	-1.9%	-4.1%	-0.3%	-4.7%	-2.6%	-3.4%

Figura13 - Variazioni percentuali stimate tra i due scenari per PM10 e componenti (base e PRRM)

Dai grafici e dalle tabelle si nota che :

- Per il SO₂, le variazioni delle concentrazioni al suolo maggiori si hanno nella zona periferica (circa -35%) e costanti per le due stagioni; stima coerente con le variazioni delle emissioni di SO₂ del piano applicate principalmente in ambito industriale.
- Per il NO₂, le variazioni delle concentrazioni al suolo maggiori si hanno nelle zone rurali ed urbane (10-13%) e debolmente superiori per la stagione fredda. La riduzione delle emissioni di NO₂ del piano si attua principalmente nei settori di mobilità e riscaldamento, con una stima pari al 20%, non si ripercuote direttamente sulle concentrazioni al suolo che hanno riduzioni inferiori e pari circa alla metà. Fondamentale per questo inquinante è il contributo della chimica e della fotochimica, che influiscono facendo reagire e ridurre drasticamente l'NO₂, in particolare per quanto concerne la massa molto significativa di questo inquinante derivante dalle condizioni al contorno
- Ozono e NH₃ mantengono praticamente invariati i valori di concentrazione dello scenario base
- Riduzioni consistenti si hanno anche nelle concentrazioni delle zone periferiche per il CO, pari circa ad un -5% (che si riduce ad un -3.5% come riduzione media sull'intero dominio).
- Il PM10, in minima parte deriva dalle emissioni puntuali, mentre è importante il contributo delle condizioni al contorno, e quindi anche dalla chimica con la formazione del secondario. Le riduzioni si notano soprattutto in ambito periferico e sul territorio toscano sono pari in media ad un -3%. La componente primaria ha variazioni significativamente maggiori nella stagione fredda, così come la componente inorganica nella stagione calda.

6. CONCLUSIONI

Il codice CAMx è stato applicato sul dominio dell'intera Toscana con due diverse configurazioni, base e PRRM, con simulazioni della durata di un anno, sia per avere informazione sulla buona rispondenza del modello a simulazioni di lungo periodo, sia soprattutto per confrontare le concentrazioni stimate al suolo nei due differenti scenari simulati: lo scenario con le emissioni riferite all'anno 2005 e quello con le emissioni stimate alla luce degli interventi previsti dal piano regionale di risanamento e mantenimento della qualità dell'aria PRRM 2008-2010 previsto dalla Regione Toscana, oltre ad ulteriori interventi locali delle singole amministrazioni comunali.

Si possono fare le seguenti considerazioni:

1. relativamente agli andamenti giornalieri della concentrazione di PM10, i valori stimati seguono abbastanza bene quelli misurati per quasi tutte le centraline di qualità dell'aria; si notano delle sovrastime nei periodi autunnali e invernali delle concentrazioni di PM10, soprattutto in giorni precisi. E' altresì riscontrabile una generale sottostima delle concentrazioni di PM10 per i periodi estivi. I valori medi annui delle concentrazioni di PM10, stimati dal codice, mostrano una differenza rispetto a quelli misurati dalle centraline che varia dall' 8 al 47%, in generale per difetto;
2. l'andamento delle concentrazioni stimate è in linea con i risultati delle simulazioni effettuate dal centro CETEMPS dell'Università dell'Aquila sullo stesso dominio e per lo stesso periodo;
3. per quanto riguarda la composizione del particolato, la componente primaria prevale nei periodi estivi e primaverili, mentre in quelli invernali è preponderante la componente inorganica, in modo particolare i solfati. La componente organica è praticamente costante per tutto l'anno e pari a circa il 20% sulla media annuale; il codice stima abbastanza correttamente la componente organica, sovrastima la componente inorganica, soprattutto per quanto riguarda i solfati, e la componente ammoniacale; il codice però sottostima in misura notevole la componente primaria.
4. per gli altri inquinanti lo scenario base mostra degli andamenti ampiamente sottostimati soprattutto per NO2. Per l'ozono si tende a sovrastimare in inverno e a sottostimare in estate, mentre per SO2 la sottostima è meno significativa. Tali divergenze sono da imputare ai parametri chimici e fotochimici, che probabilmente necessitano di ulteriori approfondimenti, durante la configurazione del codice, che fino ad ora è stato "studiato" soprattutto per il particolato.
5. le riduzioni derivanti dall'attuazione degli interventi del piano regionale, sono state applicate ad uno scenario di simulazione tenendo conto delle singole variazioni apportate per ogni macrosettore. Si possono riassumere nei punti seguenti:
 - Per il SO2, le variazioni delle concentrazioni maggiori si hanno nella zona periferica circa -35% e costanti per le due stagioni;
 - Per il NO2, le variazioni delle concentrazioni al suolo maggiori si hanno nelle zone rurali ed urbane 10-13% e debolmente superiori per la stagione fredda. La riduzione delle emissioni di NO2 del piano si attua principalmente nei settori di mobilità e riscaldamento, con una stima pari al 20%, ma non si ripercuote direttamente sulle concentrazioni al suolo che hanno riduzioni inferiori e pari a circa la metà di tale valore.
 - Ozono e NH3 mantengono praticamente invariati i valori di concentrazione dello scenario base
 - Riduzioni consistenti si hanno anche nelle concentrazioni delle zone periferiche per il CO pari circa ad un -5%, che si riduce ad un -3.5% come riduzione media sull'intero dominio.



- Il PM10, in minima parte deriva dalle emissioni puntuali, mentre è importante il contributo delle condizioni al contorno, e quindi anche dalla chimica con la formazione del secondario. Le riduzioni si notano soprattutto in ambito periferico e sono pari sul territorio toscano in media ad un – 3%.

7. RIFERIMENTI

- [1] Raes et al. 2000, Formation and cycling of aerosols in the global troposphere, Atmospheric Environment, Volume 34, Issue 25, 26 July 2000, Pages 4215-4240
- [2] Pun e Seigneur 1999, Understanding particulate matter formation in the California San Joaquin Valley: conceptual model and data needs, Atmospheric Environment, Volume 33, Issue 29, December 1999, Pages 4865-4875
- [3] CAMx Environ Corp.
- [4] CITY DELTA web site: <http://rea.ei.jrc.it/netshare/thunis/citydelta/>, Progetto Regionale Particolato Atmosferico Toscana (PATOS 1 e PATOS2)
- [5] Tropospheric Ultraviolet and Visible (TUV) Radiation Model - Chemical Processes and Regional Modeling Group Atmospheric Chemistry Division 3450 Mitchell Lane Boulder, CO 80301
- [6] Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Database – NASA/GSFC
- [7] Jean-P. Putaud et al., A European aerosol phenomenology-2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe - Atmospheric Environment, Volume 38, Issue 16, May 2004, Pages 2579-2595
- [8] S. Verrilli, M. Mazzini; “Prima fase di approfondimento della verifica dei risultati di modellistica per il PM10 con i dati sperimentali nell’ambito del progetto sul Particolato Atmosferico in TOScana (PATOS)”, REGTOS DIMNP NT01 (10); Aprile 2010.
- [9] C. Grassi, S. Verrilli, M. Mazzini; “Attività dell’Università di Pisa per la verifica dei risultati di modellistica per il PM10 con i dati sperimentali nell’ambito del progetto sul Particolato Atmosferico in TOScana (PATOS)”, REGTOS DIMNP NT01 (09); Maggio 2009.
- [10] C. Grassi, M. Mazzini, I. Ciucci, L. Tognotti, Attività dell’ Università di Pisa sulla modellistica per la valutazione del PM10 nell’ambito del progetto sul Particolato Atmosferico in TOScana (PATOS), REGTOS – DIMNP&DICCSM NT 01(06)
- [11] CHIMERE- CETEMPS (Centro di Eccellenza di Telerilevamento E Modellistica numerica per la Previsione di eventi Severi - Università degli Studi dell’Aquila); www.cetemps.aquila.infn.it
- [12] S. Verrilli, C. Leroy, I. Ciucci, L. Tognotti, M. Mazzini ” Verifica dei risultati di modellistica per il PM10 con i dati sperimentali nell’ambito del progetto PATOS” REGTOS – DIMNP/DICCSM NT 01 e 02 (11)
- [13] S. Verrilli, I. Ciucci, M. Mazzini “RELAZIONE INTERMEDIA-MODELLISTICA AMBIENTALE APPLICATA ALLO SCENARIO PRRM-“Giugno 2011