



**Regione Toscana**

**CNR-IBIMET / LaMMA**



**Convenzione tra Regione Toscana e CNR-IBIMET per  
l'applicazione di modelli meteodiffusionali nell'ambito del  
Progetto "PATOS"**

***Applicazione del sistema di modelli  
RAMS-CALMET-CALPUFF ad una delle  
principali sorgenti industriali della regione  
Toscana***

**Autori:**

*Caterina Busillo*

*Francesca Calastrini*

*Giovanni Gualtieri*

*22 gennaio 2008*

# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>1. L'approccio modellistico utilizzato</b>	<b>4</b>
1.1 Il sistema di modelli RAMS-CALMET-CALPUFF	4
1.2 Il modello meteorologico RAMS	4
1.3 L'archivio meteorologico RAMS-WRF	5
1.4 Il modello CALMET	7
1.5 Il modello CALPUFF	8
<b>2. Applicazione dei modelli meteorologici RAMS-CALMET</b>	<b>10</b>
2.1 Dominio di studio e periodo di applicazione	10
2.2 Configurazione dei modelli RAMS-CALMET	11
<b>3. Applicazione del modello diffusionale CALPUFF</b>	<b>12</b>
3.1 Configurazione del modello CALPUFF nell'area di studio	12
3.2 Le sorgenti di emissione	12
<b>4. Analisi dei risultati</b>	<b>14</b>
4.1 Le stime di concentrazione media	14
<b>Conclusioni</b>	<b>28</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>29</b>

## **Introduzione**

Il presente lavoro ha per oggetto la realizzazione di uno studio meteodiffusionale finalizzato alla valutazione della dispersione in atmosfera delle emissioni inquinanti derivanti da una delle principali sorgenti industriali del territorio regionale, la centrale termoelettrica Enel, ubicata in località Torre del Sale, nella comune di Piombino (LI).

Il dominio di studio comprende l'intero territorio regionale, con una risoluzione di 2 Km; la base meteo di tale studio è costituita dai dati dell'archivio meteorologico RAMS per un periodo temporale di un anno (anno 2002). Su questa base è stata effettuata l'implementazione e la configurazione sul territorio del modello meteorologico CALMET e la sua esecuzione per l'intero periodo temporale di riferimento.

Di seguito è stato utilizzato il modello di dispersione CALPUFF, finalizzato alla stima delle concentrazioni di biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ ), degli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ), delle polveri ( $\text{PM}_{10}$ ), di  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{HNO}_3$ . Per la stima di  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{HNO}_3$  è stato utilizzato lo specifico meccanismo chimico per inquinanti secondari debolmente reattivi, implementato all'interno del modello CALPUFF (MESOPUFF2), mentre le polveri sono state trattate come inerti.

Il modello CALPUFF è stato utilizzato in modalità *long-term* per un anno (2002), sulla base dei dati di emissione forniti dall'inventario IRSE della Regione Toscana. In particolare sono stati effettuati due run, a fronte dello stesso input meteo, ma di due scenari emissivi diversi, corrispondenti rispettivamente ai dati forniti dall'inventario IRSE aggiornato al 2003 ed al successivo aggiornamento al 2005.

In sintesi, i risultati prodotti riguardano le concentrazioni al suolo di  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NO}_3$  e  $\text{SO}_4$  e consistono in mappe di isoconcentrazione media annua; inoltre, per i soli  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  sono state elaborate le medie mensili.

## 1. L'approccio modellistico utilizzato

### 1.1 Il sistema di modelli RAMS-CALMET-CALPUFF

Presso il LaMMA è stato realizzato un sistema modellistico finalizzato alla valutazione dell'inquinamento atmosferico [1]. Tale sistema è basato sull'implementazione della catena di modelli EPA CALMET-CALPUFF, inizializzati dalle stime fornite dal modello RAMS [7]. Tali stime sono elaborate quotidianamente e riorganizzate in un archivio, di cui di seguito saranno illustrate le principali caratteristiche.

Questo sistema integrato di modelli si propone come strumento per lo studio della diffusione di varie tipologie di inquinanti: il preprocessore CALMET [5], opportunamente interfacciato in modo da riorganizzare i formati delle stime del modello RAMS, fornisce gli *input* meteorologici al modello diffusionale CALPUFF [6], indicato per gli inquinanti inerti o debolmente reattivi.

Nel seguito verranno fornite le caratteristiche del modello meteorologico RAMS, dell'archivio e dei modelli CALMET e CALPUFF.

### 1.2 Il modello meteorologico RAMS

Il modello meteorologico RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) è stato sviluppato a partire dagli anni '70 dalla Colorado State University e dalla Mission Research Corporation-Aster Division [7].

Si tratta di un modello non idrostatico, con una risoluzione che può variare da meno di un metro a centinaia di chilometri.

RAMS utilizza uno schema di *nesting* a griglia multipla; le maglie a risoluzione più fine sono utilizzate per modellizzare i sistemi atmosferici a piccola scala, come i flussi su terreni complessi e su superfici che inducono circolazioni termiche, mentre le maglie più grosse sono utilizzate per fornire le condizioni al contorno al dominio a risoluzione più fine.

L'approccio non idrostatico e lo schema a griglie multiple innestate sono utilizzati per rappresentare i fenomeni atmosferici nella configurazione a due griglie: le due griglie sono innestate in modalità interattiva (*two-way*), in modo da avere un continuo bilancio nei due sensi.

L'interazione tra il suolo e l'atmosfera è descritta utilizzando uno specifico schema, LEAF-2, che considera la presenza del tipo di vegetazione che copre il suolo; in particolare, lo schema utilizza una classificazione di 18 tipi caratterizzati da specifici valori di albedo, rugosità superficiale, conduttività termica, etc. Per creare i campi del land-use è stato usato il *database* U.S.G.S.

Il bilancio radiativo è calcolato attraverso lo schema numerico di Cotton-Chen, sia per lo spettro a onda lunga che per lo spettro a onda corta.

Il modello RAMS, come ogni modello atmosferico prognostico, necessita di dati di condizioni iniziali e condizioni al contorno, sia in atmosfera che al suolo: tali dati sono forniti dal modello globale ECMWF (*European Center For Medium range Weather Forecasts*). Le temperature della superficie del mare con una risoluzione di 1° di latitudine e longitudine sono acquisite dal satellite NOAA.

Presso il LaMMA il modello RAMS è stato utilizzato in modalità operativa per le previsioni meteorologiche regionali; nel corso degli anni sono state adottate varie configurazioni, in modo da ottimizzare la risposta del sistema. In particolare, nel periodo 2002-2003, la configurazione del modello prevedeva una risoluzione spaziale di 4 Km, una struttura verticale dell'atmosfera descritta da 24 livelli, fino a 16 Km con spessori variabili, da 75 metri vicino al suolo fino a 1 Km sopra i 5 Km.

Attualmente il modello operativo in uso presso il laboratorio è WRF.

### 1.3 L'archivio meteorologico RAMS-WRF

Dal dicembre 2000, le variabili meteorologiche di interesse vengono estratte quotidianamente dai campi elaborati dal modello operativo presso il LaMMA per le previsioni meteorologiche - RAMS e successivamente WRF - nella forma di una serie di profili verticali; questo permette di avere una descrizione tridimensionale delle caratteristiche dei bassi strati dell'atmosfera. L'intervallo temporale con cui tali profili vengono forniti è di un'ora. Il numero e il tipo di variabili meteorologiche archiviate sono stati pensati con l'obiettivo di agevolare l'utilizzo di quei modelli diffusionali che richiedono in ingresso un'accurata descrizione dei campi meteorologici [3].

La realizzazione dell'archivio meteorologico RAMS ha richiesto la definizione di una serie di procedure automatiche da porre in sequenza alla catena operativa RAMS-WRF. La prima versione dell'archivio è stata messa a punto alla fine dell'anno 2000 e ha avuto un'operatività di poco superiore ad un anno, coprendo il periodo compreso tra il 15 dicembre 2000 e il 31 dicembre 2001. L'attività di *upgrade* dell'archivio ha portato successivamente alla realizzazione di una seconda versione, in cui è stata

aumentata la risoluzione spaziale, che è stata portata a 4x4 Km<sup>2</sup>, ed il numero dei livelli verticali, da 9 a 12 livelli. L'operatività della versione 2 dell'archivio è decorsa a partire dal 1° gennaio 2002. Le variabili atmosferiche acquisite sono di seguito riportate:

- VV : velocità prevalente del vento orizzontale (m/s)
- DV : direzione prevalente del vento orizzontale (°N)
- w : componente verticale del vento (m/s)
- T : temperatura dell'aria (°C)
- Pres : pressione atmosferica (mb)
- UmR : umidità relativa (%).
- U\* : velocità di frizione (m/s)
- Rsw : radiazione solare ad onda corta (W/m<sup>2</sup>)
- Rlw : radiazione solare ad onda lunga (W/m<sup>2</sup>)
- Rswu : radiazione solare ad onda lunga uscente (W/m<sup>2</sup>)

Da notare che la prima quota si trova a 38 m sul livello del suolo: questo può rappresentare un problema per i parametri relativi al vento, dato che gli standard si riferiscono a misure effettuate a 10 m dal suolo.

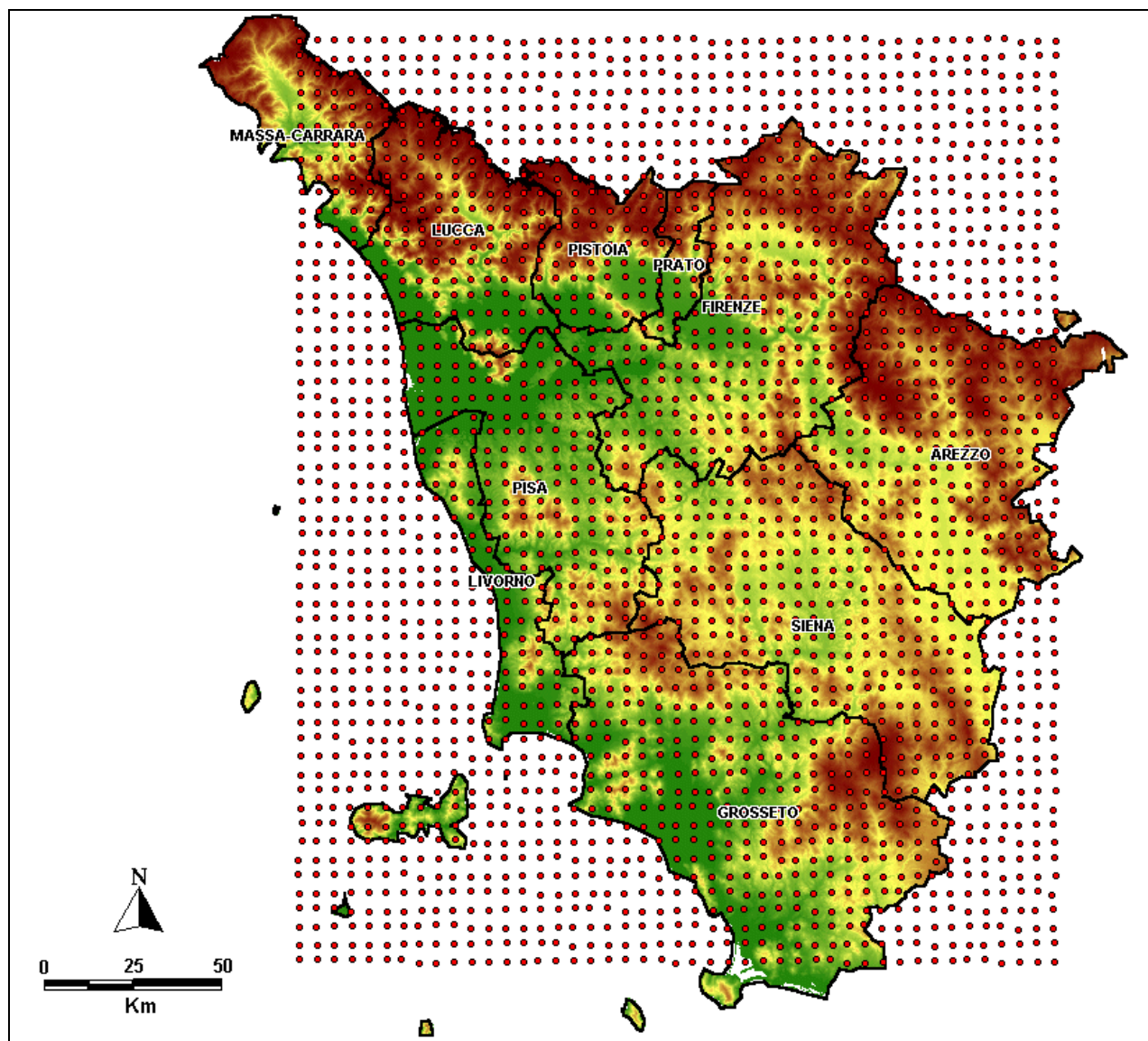
Per ovviare a questo problema, limitatamente al modulo della velocità del vento VV, si può ricorrere al seguente algoritmo, che, a rigore, vale per condizioni atmosferiche neutre [8]:

$$V_{10m} = V_{38m} \frac{\ln(10/z_0)}{\ln(38/z_0)} \quad (1)$$

dove:

- $V_{10m}$  : velocità del vento a 10 m dal suolo;
- $V_{38m}$  : velocità del vento a 38 m dal suolo;
- $z_0$  : rugosità del terreno.

Per quanto riguarda la direzione del vento, viceversa, non è possibile stimare le differenze tra i valori rilevati a 38 e a 10 m, e quindi nelle applicazioni si dovrà tener conto di questa difformità.



**Fig. 1** – Localizzazione geografica dei punti-griglia della versione 2 dell'archivio RAMS, caratterizzata da un passo di 4x4 Km<sup>2</sup>.

Successivamente sono state effettuate varie modifiche all'archivio, in conseguenza alle modifiche del modello operativo; in ultimo, dal settembre 2006, il modello prognostico da cui prende le mosse l'archivio è stato sostituito con WRF.

Nel corso degli anni, tuttavia, per effettuare studi diffusionali in modalità long-term, è stata utilizzata la base dati relativa all'anno solare 2002 – RAMS 4x4 Km<sup>2</sup> – in quanto questa si è rivelata affidabile e caratterizzata da un'alta risoluzione.

## 1.4 Il modello CALMET

Per inizializzare CALMET possono essere utilizzati sia i dati delle variabili atmosferiche acquisite da stazioni a terra e dei radiosondaggi, sia le stime di profili verticali delle variabili ottenute da modelli meteorologici ad area limitata.

Molto spesso non è possibile reperire dati meteorologici adeguati, per la mancanza di stazioni a terra adeguate e per l'assenza di stazioni che misurano profili verticali di vento e temperatura nell'area di studio: l'archivio delle variabili meteo ottenute da un modello prognostico consente allora di ovviare a questo problema.

In realtà, l'utilizzo di stime da modello prognostico rispetto a misure da stazione non compensa semplicemente la mancanza di dati misurati (in particolar modo dati relativi a radiosondaggi), ma porta ad una migliore descrizione dei campi di vento e delle variabili legate alla turbolenza. Infatti, mentre il preprocessore meteo CALMET è un semplice interpolatore, i modelli prognostici (RAMS/WRF) stimano con accuratezza i campi di vento e le variabili che caratterizzano la turbolenza con una buona copertura territoriale e soprattutto anche sulla dimensione verticale, fornendo le stime delle variabili come campi tridimensionali. Questa caratteristica del sistema RAMS/WRF-CALMET risulta particolarmente utile nel caso in cui il dominio di studio sia esteso.

### 1.5 Il modello CALPUFF

Il modello CALPUFF è un modello a "puff" gaussiani, non stazionario, in grado di simulare il trasporto, la diffusione e la deposizione degli inquinanti inerti o debolmente reattivi, anche in presenza di orografia complessa, di interfaccia terra-mare e per calme di vento.

Il modello risulta particolarmente versatile in quanto può operare a scale spaziali molto diverse (da pochi Km a centinaia di Km), sia per applicazioni di tipo *short-term* che *long-term*.

Per applicazioni *short-term*, vengono definiti dei casi di studio relativi ad alcuni giorni, rappresentativi di condizioni meteorologiche ricorrenti o particolarmente significative per le problematiche connesse alla diffusione degli inquinanti: in questo caso le stime di concentrazione degli inquinanti devono essere considerate come concentrazioni tipiche o peggiori, ma non come valori medi. Nel caso in cui si renda necessario stimare valori di concentrazione medi su periodi temporali rappresentativi (ad es. un anno), è possibile applicare il CALPUFF in modalità *long-term*. Si deve considerare che l'esecuzione della modalità *long-term*, anche su un dominio di medie dimensioni, risulta particolarmente onerosa, sia in termini di tempi di calcolo, che in termini di dimensioni dei file di *input/output*.

Il modello CALPUFF, oltre a trattare gli inquinanti come inerti, può trattare alcune reazioni chimiche attraverso due diversi meccanismi chimici: MESOPUFF2, che



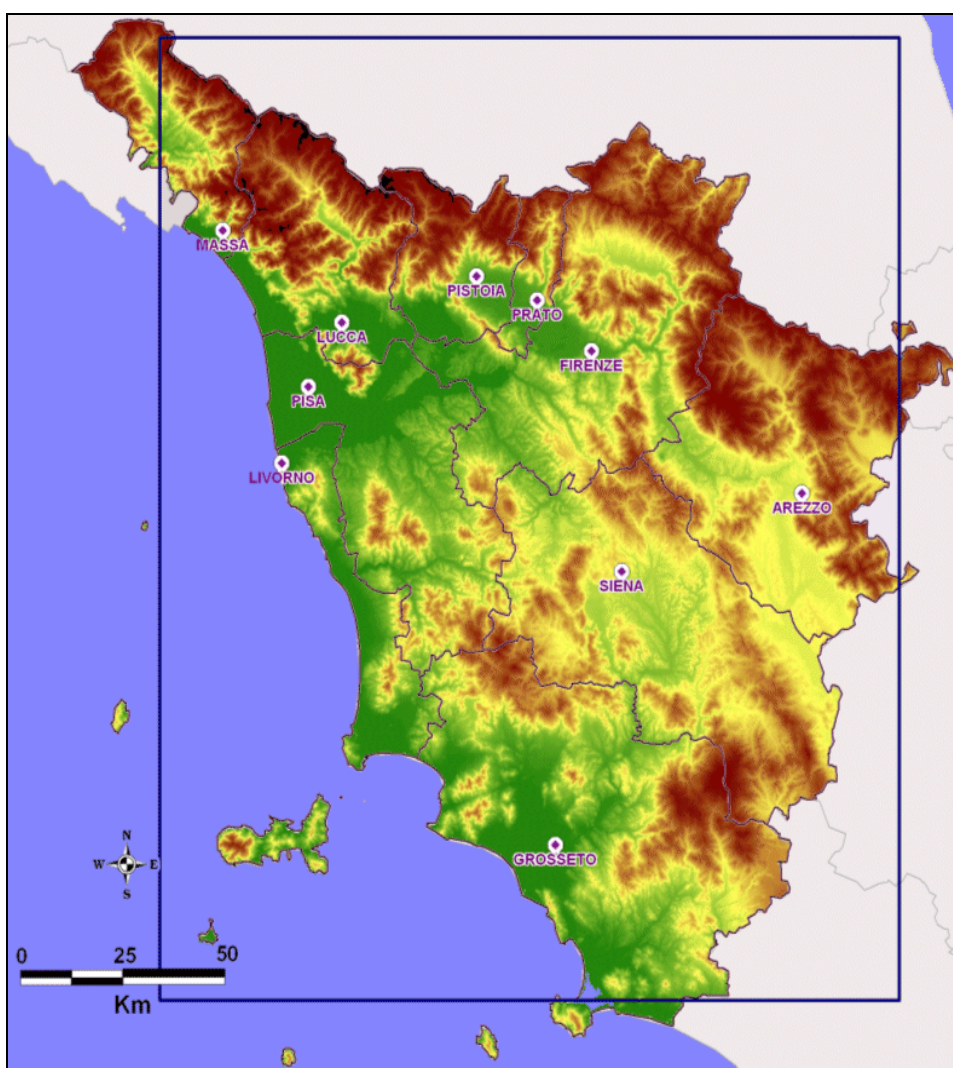
riguarda reazioni che coinvolgono  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_4$  e ARM3/RIVAD, che tratta  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_4$ . Per ciascuno degli inquinanti modellizzati, possono venire fornite sia le stime di concentrazione che i flussi di deposizione secca e umida.

Attraverso il postprocessore CALPOST [6] possono essere eseguite operazioni di estrazione di stime orarie, per un inquinante alla volta, di medie giornaliere, mensili o su di un numero di ore a piacere. Inoltre è possibile ottenere il numero di superamenti di un determinato valore-soglia ed estrarre una serie storica di valori di concentrazione relativa a recettori discreti.

## 2. Applicazione dei modelli meteorologici RAMS-CALMET

### 2.1 Dominio di studio e periodo di applicazione

Il dominio di studio ha un'estensione pari a 178x220 Km<sup>2</sup> che, come si può osservare dalla mappa geografica presentata in Fig. 2, copre quasi per intero il territorio amministrativo della regione Toscana.



**Fig. 2** – Mappa geografica dell'area di studio nella quale è stato applicato il sistema di modelli RAMS-CALMET-CALPUFF.

Il relativo grigliato di calcolo è costituito da 89x110 celle nel piano, caratterizzate da una risoluzione di 2 Km. In verticale, il grigliato è di tipo "terrain-following", e presenta delle quote la cui altezza non varia nel tempo; in particolare, gli strati

verticali considerati sono complessivamente 12, e vanno dalla quota zero fino a 3200 m dal suolo, con un infittimento maggiore in prossimità del suolo.

Per quanto riguarda il periodo temporale, l'applicazione è stata condotta in modalità *long-term*, attraverso un *run* con passo orario che copre l'intero anno 2002.

### 2.2 Configurazione dei modelli RAMS-CALMET

Come già evidenziato nel precedente paragrafo, il dominio di calcolo ha una risoluzione di 2 Km. Per la configurazione del modello CALMET sono stati utilizzati dati di descrizione territoriale, quali il modello digitale del terreno (DTM) e la classificazione di uso del suolo, caratterizzati dal medesimo passo di 2 Km. In particolare, per quanto riguarda il DTM sono stati utilizzati i dati della Carta Tecnica Regionale (CTR), mentre per l'uso-suolo sono stati utilizzati i dati di classificazione "Corine Land Cover" al secondo livello di disaggregazione (15 classi totali).

Utilizzando i dati relativi all'archivio RAMS/WRF dell'anno 2002, sono stati quindi creati i *file* di *input* meteorologici per CALMET. In particolare sono stati elaborati il *file* delle variabili meteo generalmente rilevate da stazioni a terra (SURF.dat), quelli delle stazioni profilometriche (UPn.dat), e infine il *file* del campo tridimensionale di vento e temperatura (MM4.dat), che deve essere fornito da un modello prognostico a scala regionale, come MM4 o, nel caso in esame, RAMS.

## 3. Applicazione del modello diffusionale CALPUFF

### 3.1 Configurazione del modello CALPUFF nell'area di studio

Il modello CALPUFF è stato configurato sullo stesso dominio su cui è stato applicato CALMET, e cioè su di un'area di 178x220 Km<sup>2</sup>, con un passo di 2 Km.

Per la configurazione di CALPUFF, oltre all'*input* meteo ottenuto da CALMET, è necessario fornire alcune informazioni relative alle emissioni: per questo caso-studio sono state prese in esame le emissioni dovute ad una delle principali sorgenti industriali presenti nel territorio regionale, la centrale termoelettrica ENEL localizzata presso Torre del Sale, nel comune di Piombino (LI).

Gli inquinanti oggetto di studio sono le polveri (PM<sub>10</sub>), il biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) e gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>). In particolare, le polveri sono state trattate come inquinanti inerti, mentre per gli ossidi di azoto ed il biossido di zolfo è stato utilizzato lo specifico meccanismo chimico per inquinanti secondari debolmente reattivi MESOPUFF2, implementato all'interno del modello CALPUFF, con cui sono stati stimati anche HNO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub> e SO<sub>4</sub>.

I *file* in uscita da CALPUFF sono stati elaborati attraverso il post-processore CALPOST. Le uscite numeriche fornite da CALPOST, relative alle stime di concentrazione media annua, sono state elaborate dal processore grafico SURFER [2]. Per una più completa visualizzazione territoriale dei risultati grafici ottenuti, le uscite grafiche prodotte da SURFER sono state sovrapposte sulla mappa territoriale dell'area di studio, utilizzando il *software* GIS MAPINFO [4].

In sintesi, i risultati prodotti riguardano le concentrazioni al suolo di PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HNO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub> e SO<sub>4</sub> e consistono in mappe di isoconcentrazione media annua (Figg. 3÷8). Inoltre, per PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> sono state elaborate le medie mensili (Figg. 9÷14).

### 3.2 Le sorgenti di emissione

I dati di emissione, forniti dall'inventario IRSE della Regione Toscana, sono relativi all'aggiornamento 2003 (Tab. 1) ed al successivo aggiornamento 2005 (Tab. 2). Di conseguenza sono stati eseguiti due run, a fronte dello stesso input meteorologico, e di due scenari emissivi differenti, in modo da poter valutare le modifiche apportate dall'aggiornamento dell'inventario.

Di seguito sono riportate le tabelle in cui vengono elencate le principali caratteristiche dei camini richieste da CALPUFF: coordinate geografiche, altezza e diametro del camino, temperatura e velocità dei fumi, ed il rateo di emissione.

Le emissioni, in entrambi i run, sono state considerate costanti nel periodo in esame, cioè nell'arco dell'anno 2002, in quanto mancano informazioni dettagliate relative ai periodi in cui gli impianti sono rimasti inattivi.

Il modello CALPUFF ha la possibilità di utilizzare dati di emissione variabili su base oraria ed è quindi in grado di fornire dei risultati molto dettagliati. Si sottolinea che i risultati ottenuti a fronte di uno scenario emissivo caratterizzato da emissioni costanti possono differire rispetto a quelli ottenuti a fronte di uno scenario emissivo che tiene conto della variazione temporale e che quindi rappresenta più fedelmente la situazione reale. In particolare, nel caso di grandi impianti industriali, sarebbe auspicabile poter utilizzare i dati di emissione misurati allo sbocco dei camini, relativi al periodo della simulazione, piuttosto che emissioni stimate su base annua e semplicemente divise per 8760, in modo da ottenere un rateo orario costante.

**Tab. 1** – Quadro riassuntivo delle caratteristiche delle sorgenti emissive – IRSE 2003 (run 01).

SCENARIO EMISSIVO IRSE run 01									
camino	UTM-32		Altezza camino (m)	Diametro camino (m)	Velocità dei fumi (m/s)	Temp. dei fumi (°K)	PM10 (g/s)	SO2 (g/s)	NOx (g/s)
	X (Km)	Y (Km)							
C1	630.858	4757.201	195	6.42	18.6	398	12.4	156.4	79.1
C2	630.858	4757.201	195	6.42	18.6	398	7.6	162.2	69.8

**Tab. 2** – Quadro riassuntivo delle caratteristiche delle sorgenti emissive – IRSE 2005 (run 02).

SCENARIO EMISSIVO IRSE run 02									
camino	UTM-32		Altezza camino (m)	Diametro camino (m)	Velocità dei fumi (m/s)	Temp. dei fumi (°K)	PM10 (g/s)	SO2 (g/s)	NOx (g/s)
	X (Km)	Y (Km)							
C1	630.858	4757.201	195	6.42	5.9	398	1.1	31.3	17.2
C2	630.858	4757.201	195	6.42	6.6	398	1.2	35.6	19.5

Come si può notare dal confronto tra le Tabb. 1 e 2, i dati relativi ai due aggiornamenti dell'inventario IRSE evidenziano una netta diminuzione delle emissioni e della velocità dei fumi dal 2003 al 2005.

## 4. Analisi dei risultati

Il sistema di modelli RAMS-CALMET-CALPUFF è stato applicato in modalità *long-term* per l'intero anno 2002 su un dominio che copre il territorio regionale toscano (Fig. 2).

Sono stati effettuati due run a fronte dello stesso input meteorologico e di due diversi scenari emissivi, relativi alle stime dell'inventario IRSE aggiornato al 2003 ("run 01") e al 2005 ("run 02").

I risultati ottenuti vengono presentati attraverso le mappe riportate nelle seguenti figure. Nelle stesse figure sono evidenziati anche i singoli camini di emissione della centrale termoelettrica di Torre del Sale.

In particolare, nelle figure 3÷8 sono riportate le mappe delle concentrazioni medie annue di PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HNO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub> e SO<sub>4</sub>, relative allo scenario emissivo 2003 (run 01, a sinistra) ed allo scenario 2005 (run 02, a destra).

Inoltre, per il run 01 e per PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, sono state elaborate le medie mensili, riportate nelle figure 9÷14.

### 4.1 Le stime di concentrazione media

#### *Run 01 – scenario emissivo IRSE 2003*

Osservando le mappe che riportano le stime della concentrazione media annua di PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, si può notare che le concentrazioni delle sostanze emesse interessano una vasta area del territorio regionale, mentre nelle immediate vicinanze dello stabilimento i valori sono decisamente inferiori. L'apparente situazione contraddittoria si può spiegare considerando due elementi: le caratteristiche costruttive e di esercizio della centrale e le condizioni meteorologiche dell'area in cui è localizzato lo stabilimento. In effetti, i camini considerati sono molto alti e la temperatura di emissione è elevata, da cui consegue una notevole dispersione dei fumi che sono emessi ad una quota elevata, tenendo conto anche dell'effetto "*plume-rise*". Inoltre lo stabilimento si trova in prossimità della costa, dove prevalgono venti sostenuti per gran parte dell'anno; da non sottovalutare è poi l'andamento dell'altezza di miscelamento, che nel passaggio dalla terra al mare subisce una drastica riduzione. Ne consegue che i fumi vengono in prevalenza emessi al di sopra della prima quota di inversione termica e sono quindi limitate le ricadute nelle immediate vicinanze: questo fenomeno spiega anche il fatto che nello strato più basso preso in esame le concentrazioni siano molto scarse sul mare.

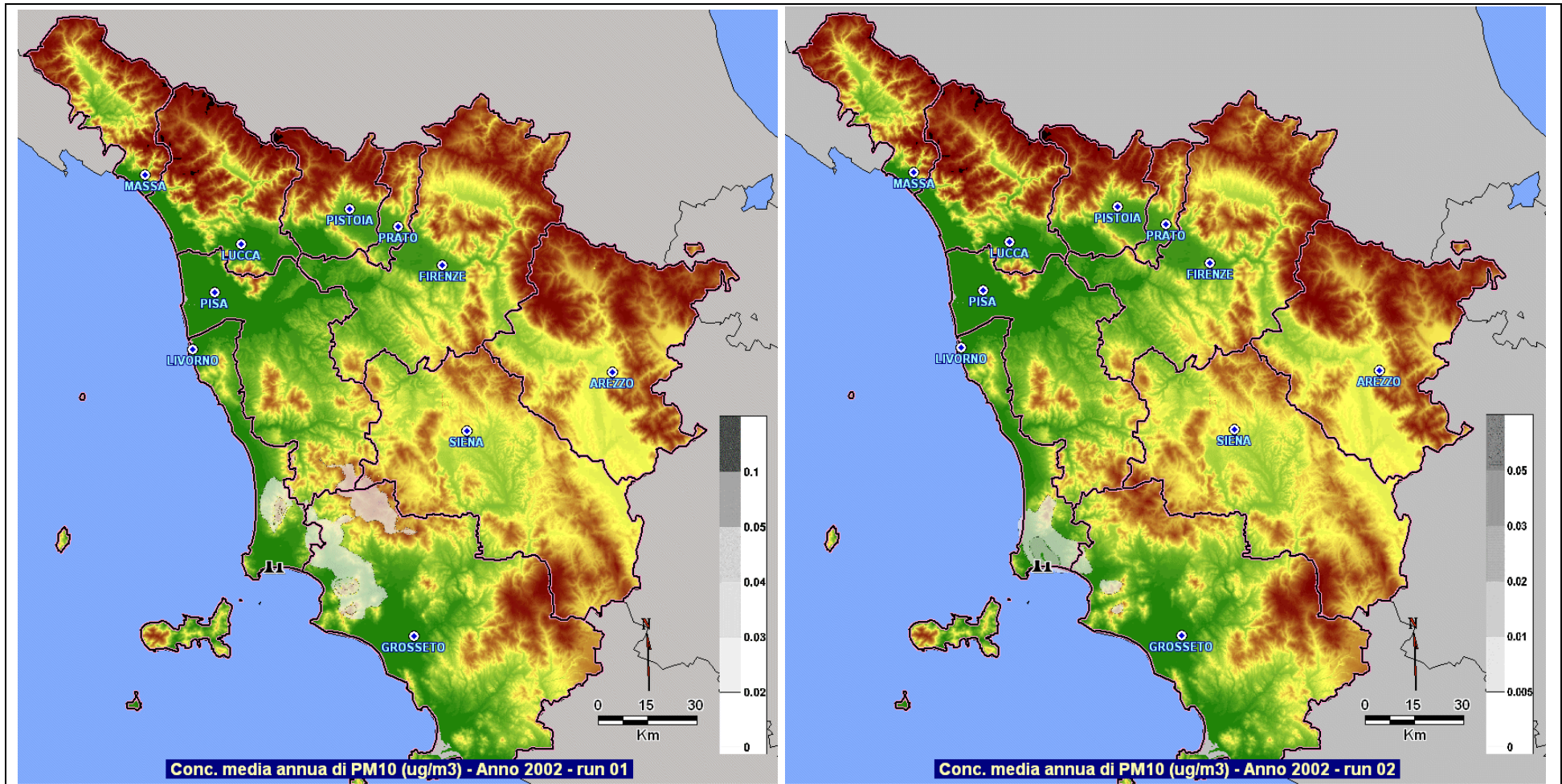
Per completezza, per il solo run 01 (IRSE 2003), sono state elaborate anche le mappe relative alle concentrazioni medie mensili (Figg. 9÷14), in modo da evidenziarne anche il comportamento stagionale.

#### *Run 02 – scenario emissivo IRSE 2005*

Dal confronto tra i risultati ottenuti a fronte dei due diversi run, emerge in modo evidente la notevole riduzione delle concentrazioni di tutti gli inquinanti nel passare dallo scenario emissivo 2003 allo scenario 2005. In effetti, i due scenari emissivi differiscono in modo sostanziale, sia per quanto riguarda il rateo emissivo di PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> ed NO<sub>x</sub>, che per quanto riguarda la velocità dei fumi allo sbocco dei camini. Quest'ultimo parametro è fondamentale per valutare l'effetto "plume-rise": nel primo caso (Tab. 1), la velocità dei fumi è molto alta (circa 18 m/s), per cui l'effetto "plume-rise" è particolarmente sviluppato e, di conseguenza, la ricaduta degli inquinanti non interessa aree vicine agli stabilimenti. I risultati relativi al secondo scenario (Tab. 2), caratterizzato da velocità dei fumi decisamente inferiori (5.9÷6.6 m/s), mostrano invece concentrazioni meno diffuse sul territorio e più concentrate nelle vicinanze dei camini.

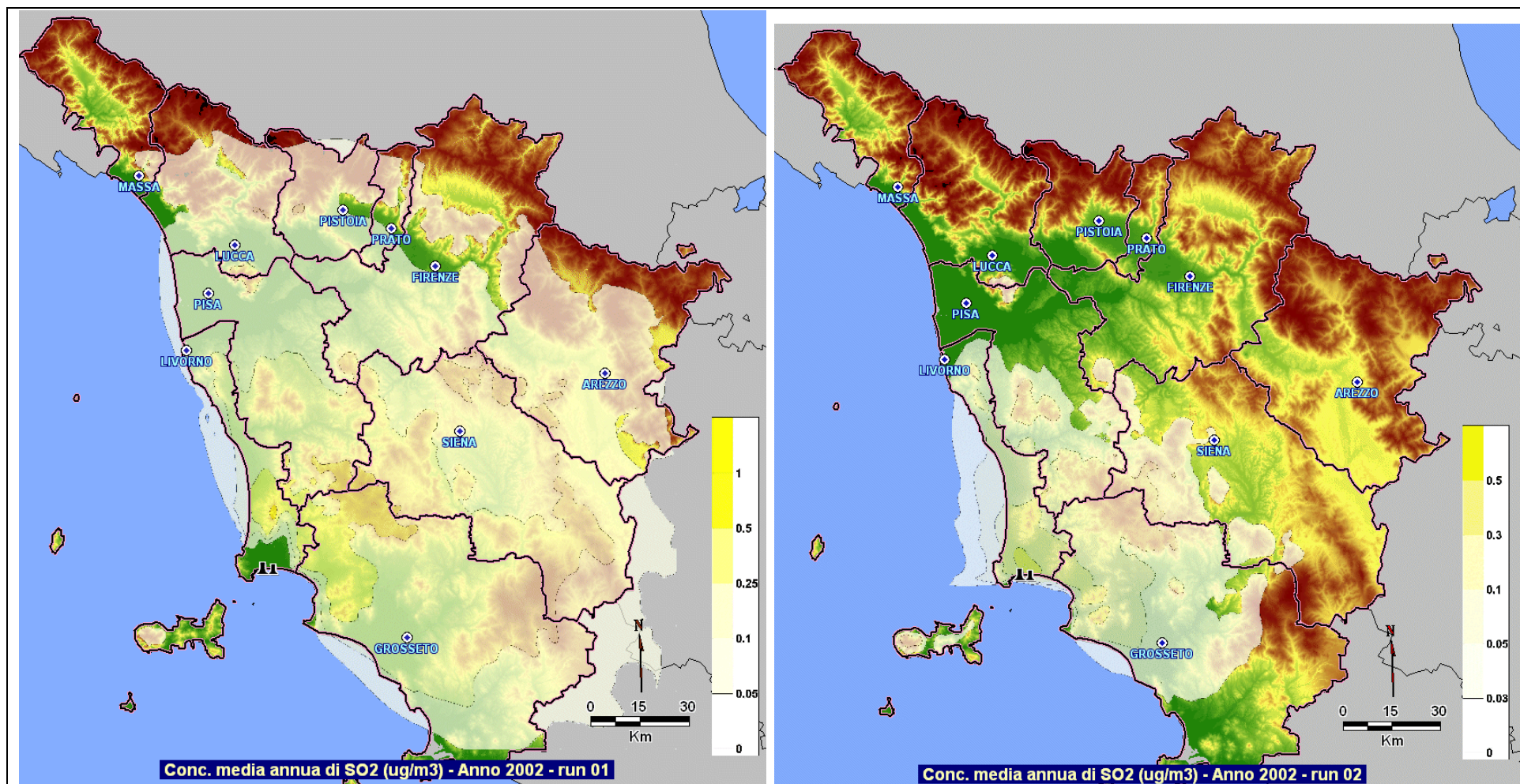
Anche in questo caso, sebbene in misura minore, le concentrazioni di alcuni inquinanti, in particolare dell'SO<sub>2</sub>, interessano un'ampia porzione del territorio regionale.

In generale, le stime ottenute da queste simulazioni modellistiche possono portare a formulare considerazioni di massima, in particolare riguardo al trasporto ed alla diffusione di sostanze inerti. Tuttavia, i valori numerici delle concentrazioni devono essere ritenuti puramente indicativi, in quanto, come già evidenziato, gli stessi dati di emissione sono stime e non valori misurati al camino. Inoltre, a rigore, per trattare correttamente gli inquinanti in esame, non è possibile prescindere dai contributi emissivi derivanti da tutte le altre sorgenti presenti nel territorio, come anche dagli apporti esterni al dominio di studio.

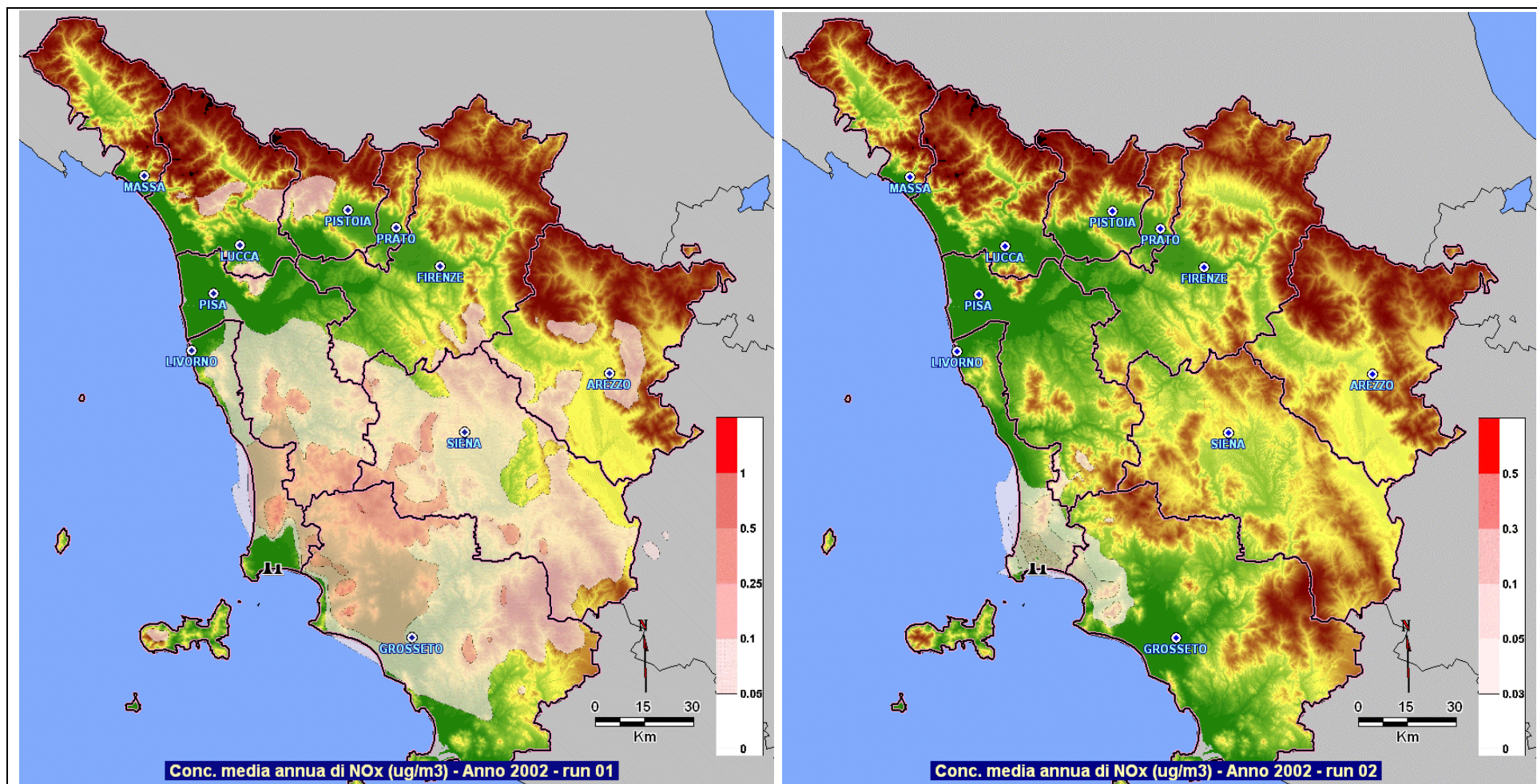


**Fig. 3** – Mappe delle concentrazioni medie annuali di PM<sub>10</sub> stimate da CALPUFF, relative ai due run.  
Run 01: scenario emissivo IRSE 2003(sinistra) - Run 02: scenario emissivo IRSE 2005 (destra).

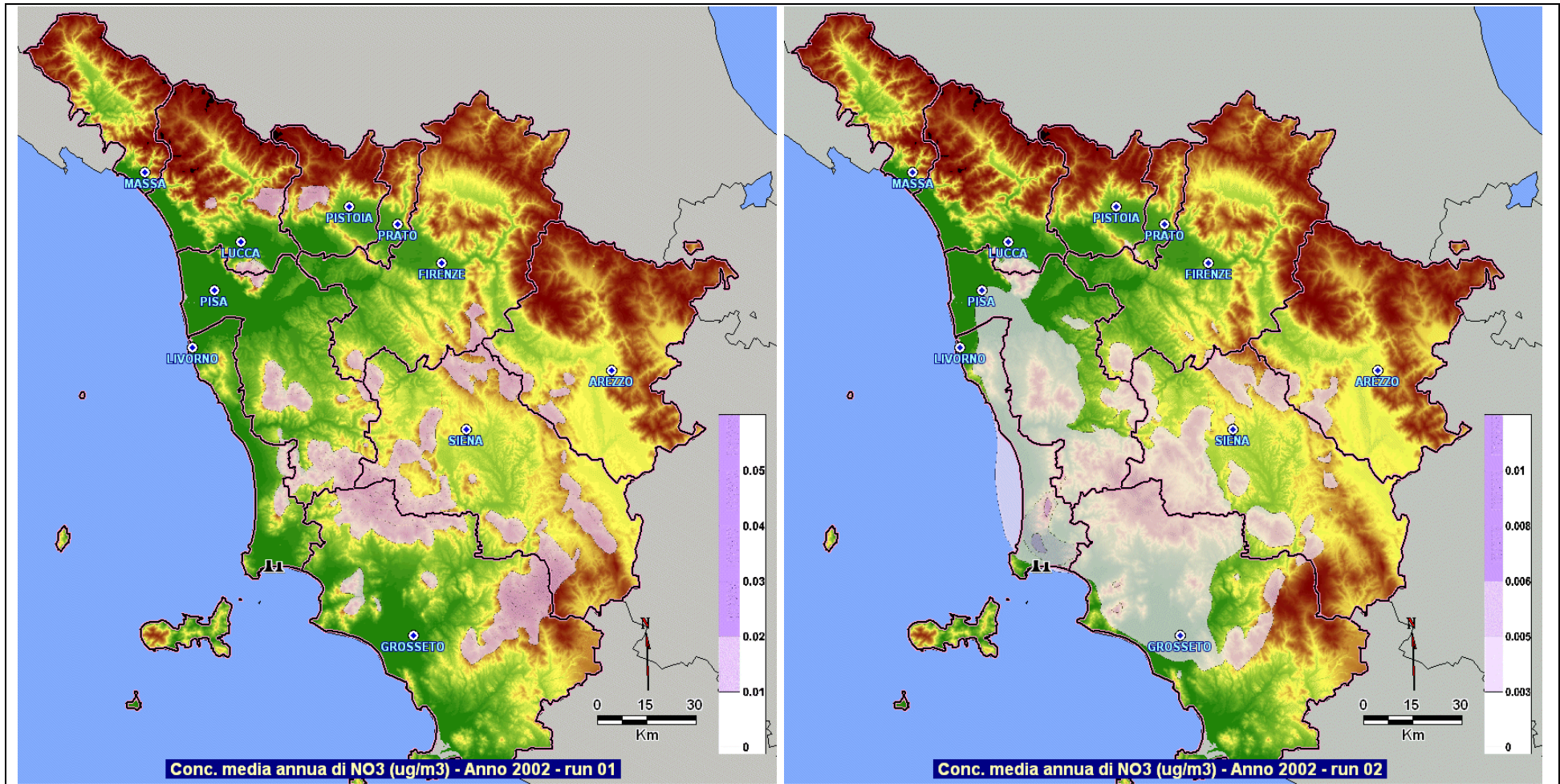




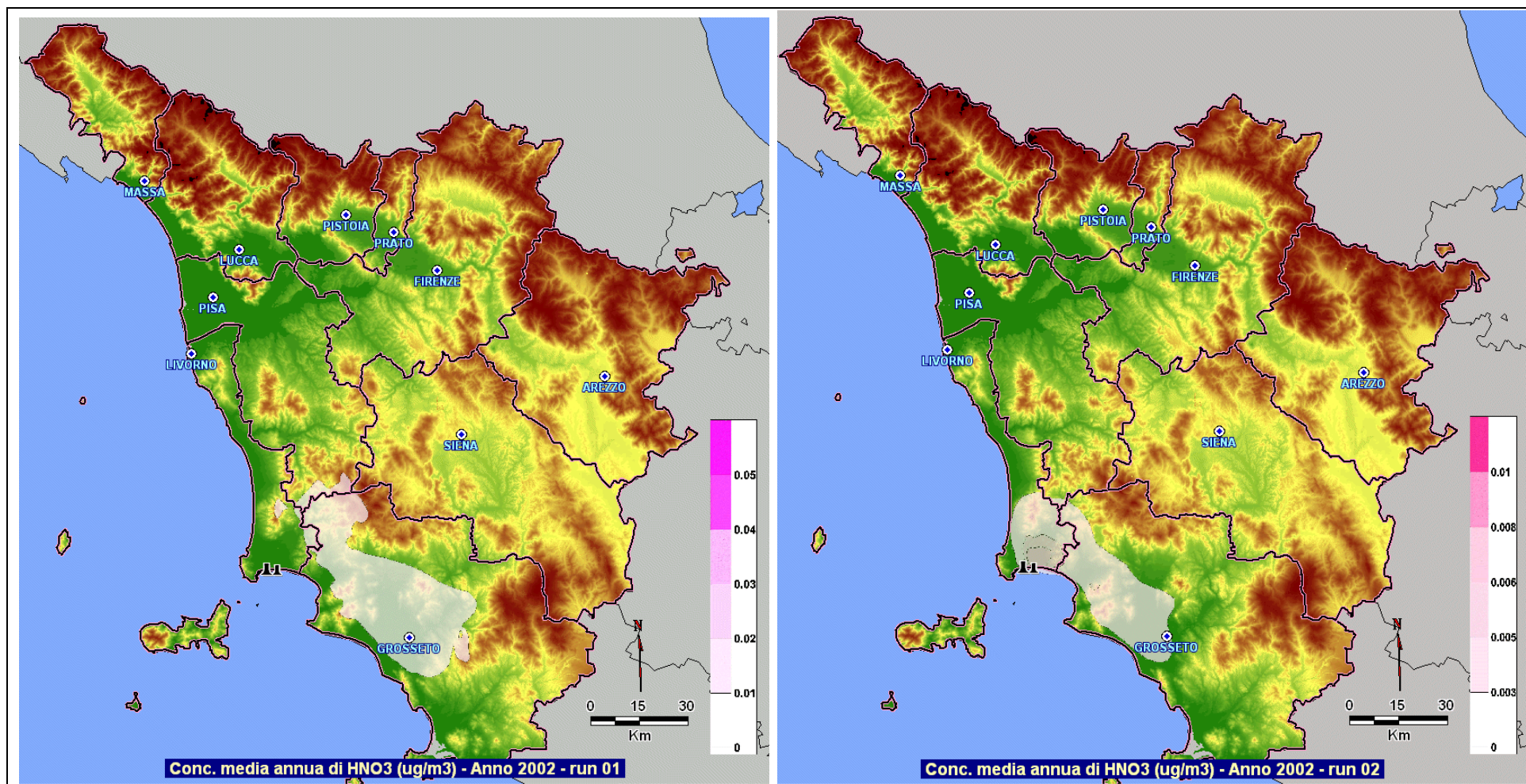
**Fig. 4** – Mappe delle concentrazioni medie annuali di SO<sub>2</sub> stimate da CALPUFF, relative ai due run.  
Run 01: scenario emissivo IRSE 2003(sinistra) - Run 02: scenario emissivo IRSE 2005 (destra).



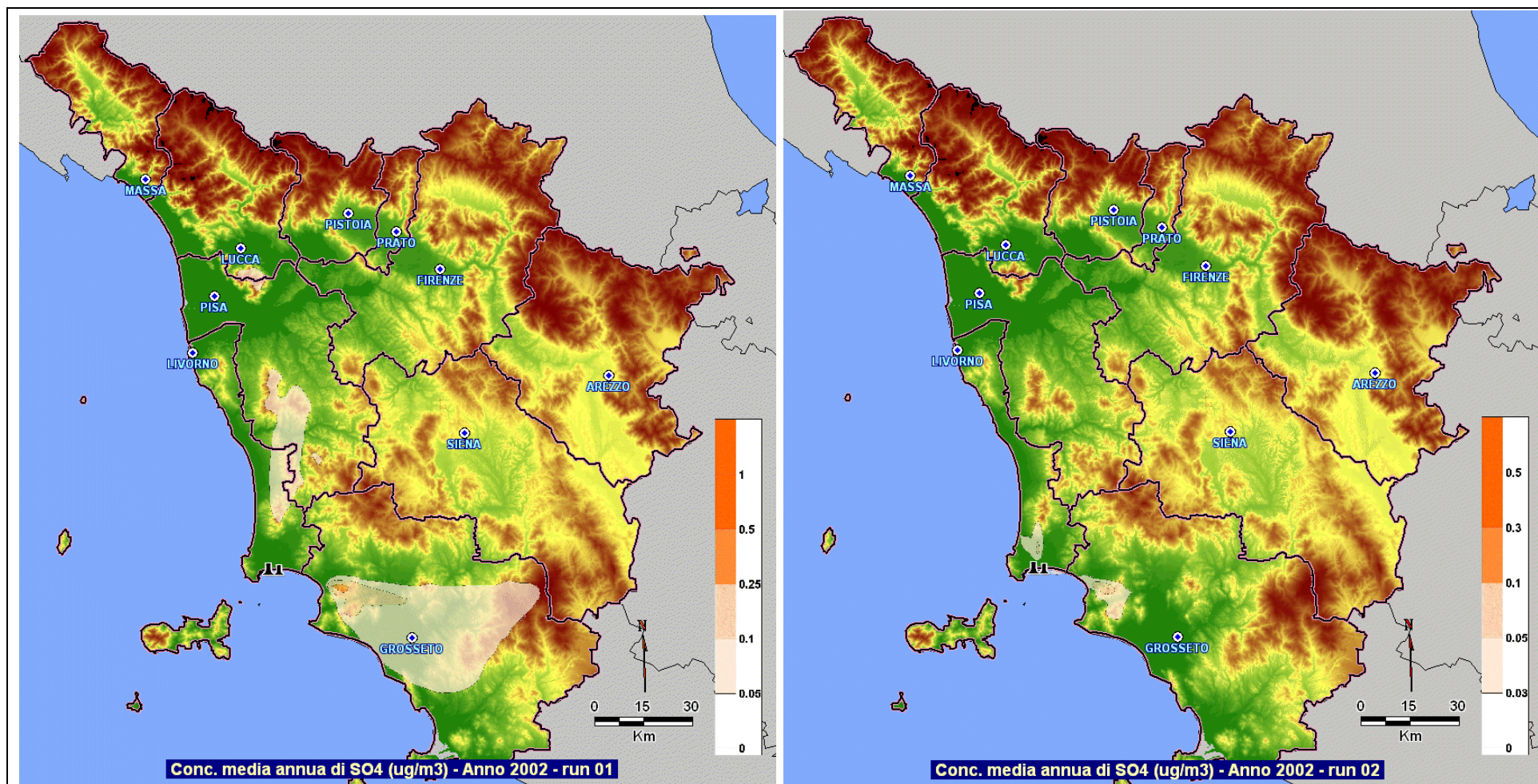
**Fig. 5** – Mappe delle concentrazioni medie annuali di NO<sub>x</sub> stimate da CALPUFF, relative ai due run.  
 Run 01: scenario emissivo IRSE 2003(sinistra) - Run 02: scenario emissivo IRSE 2005 (destra).



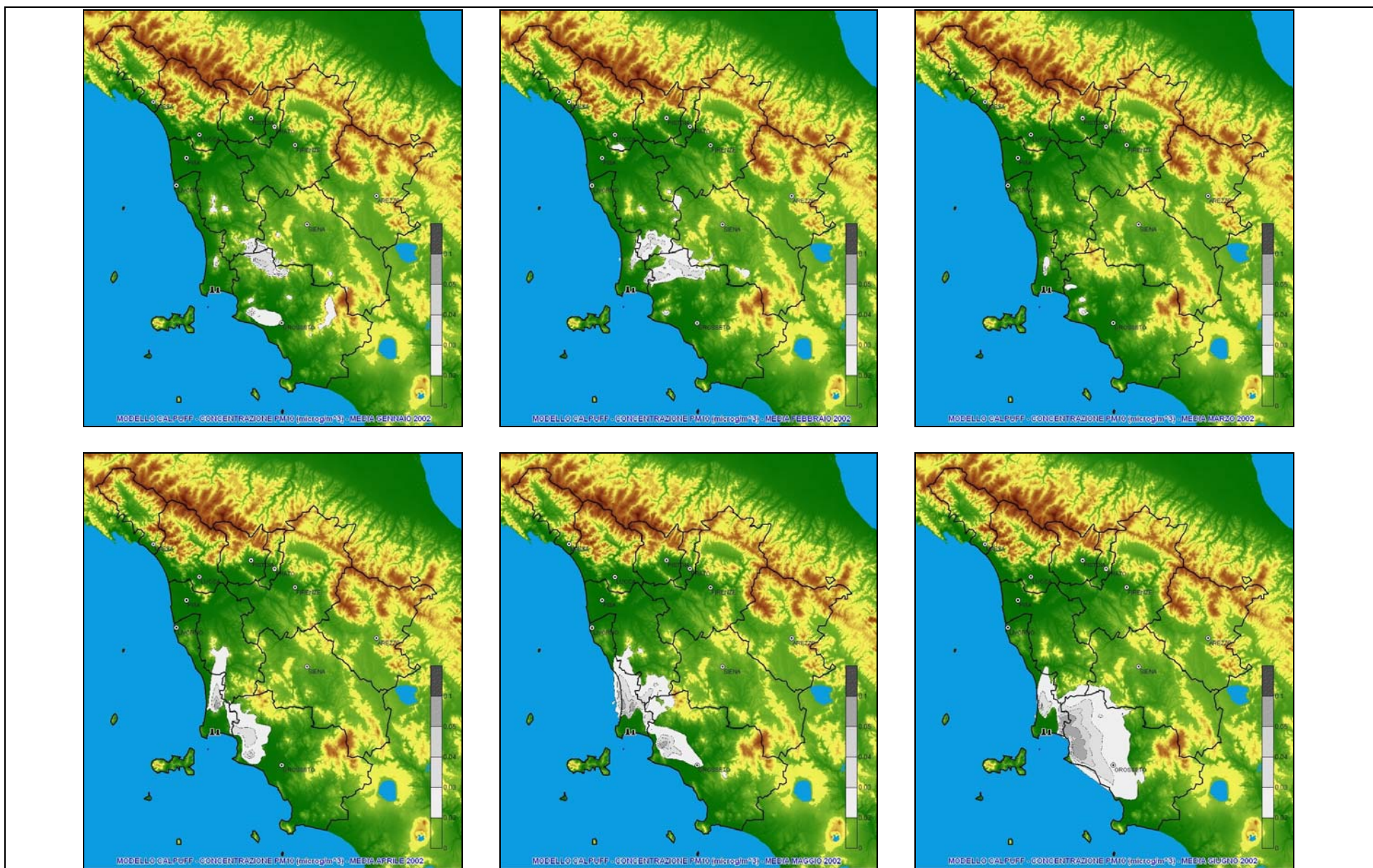
**Fig. 6** – Mappe delle concentrazioni medie annuali di NO<sub>3</sub> stimate da CALPUFF, relative ai due run.  
Run 01: scenario emissivo IRSE 2003(sinistra) - Run 02: scenario emissivo IRSE 2005 (destra).



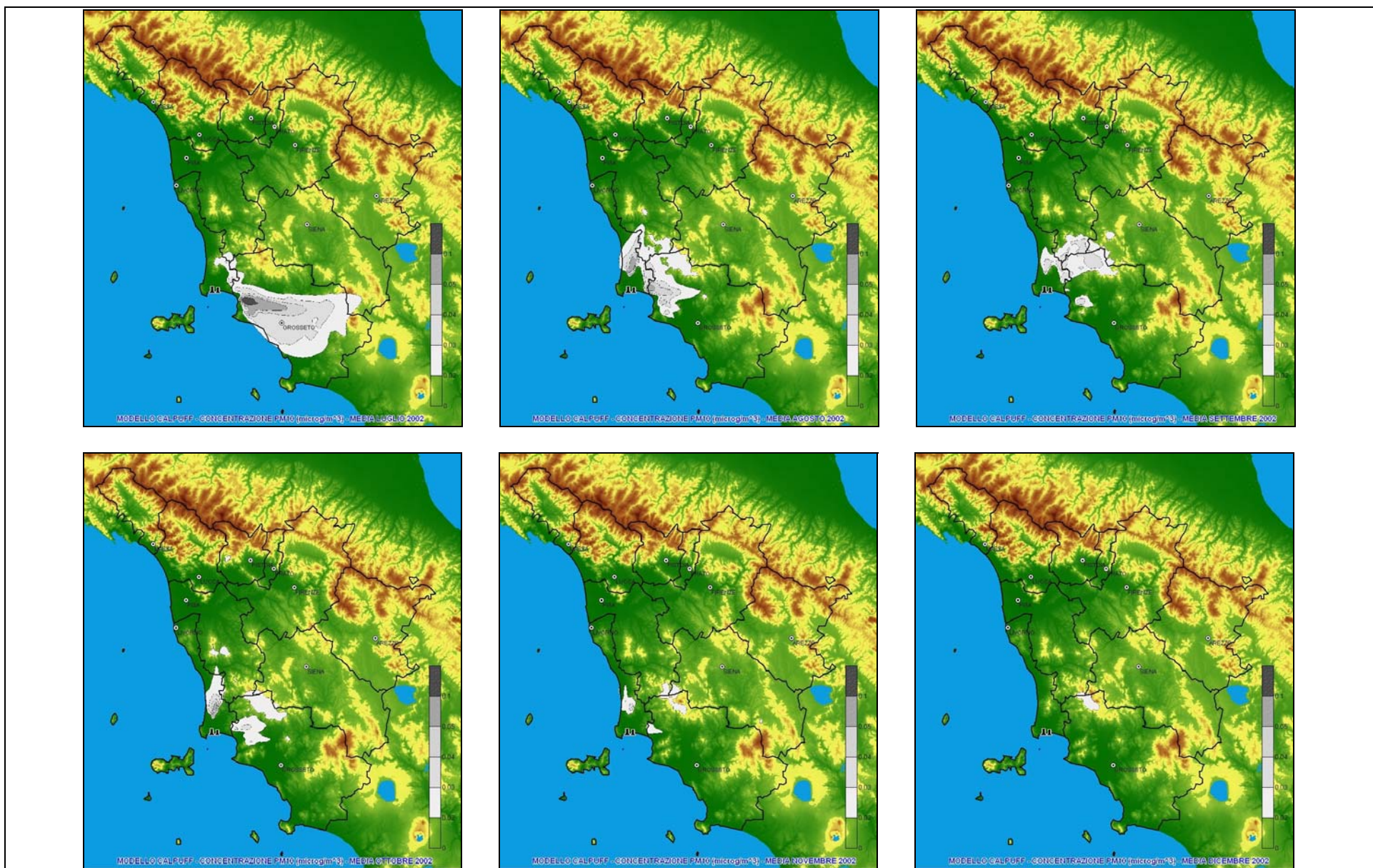
**Fig. 7** – Mappe delle concentrazioni medie annuali di HNO<sub>3</sub> stimate da CALPUFF, relative ai due run.  
Run 01: scenario emissivo IRSE 2003(sinistra) - Run 02: scenario emissivo IRSE 2005 (destra).



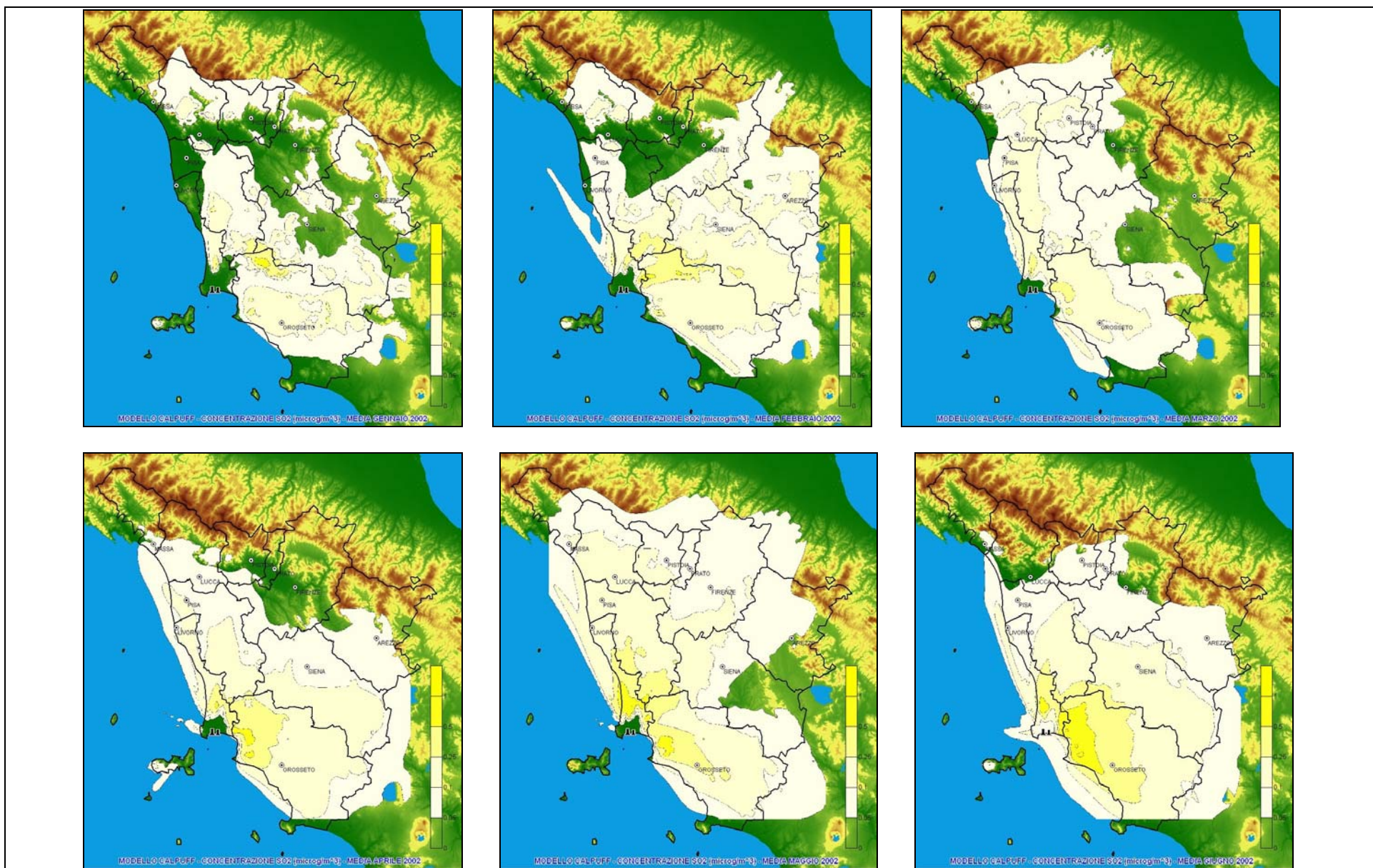
**Fig. 8** – Mappe delle concentrazioni medie annuali di SO<sub>4</sub> stimate da CALPUFF, relative ai due run.  
Run 01: scenario emissivo IRSE 2003(sinistra) - Run 02: scenario emissivo IRSE 2005 (destra).



**Fig. 9** - Run 01: andamento delle concentrazioni medie mensili al suolo di PM<sub>10</sub> stimate da CALPUFF (gennaio-giugno 2002).

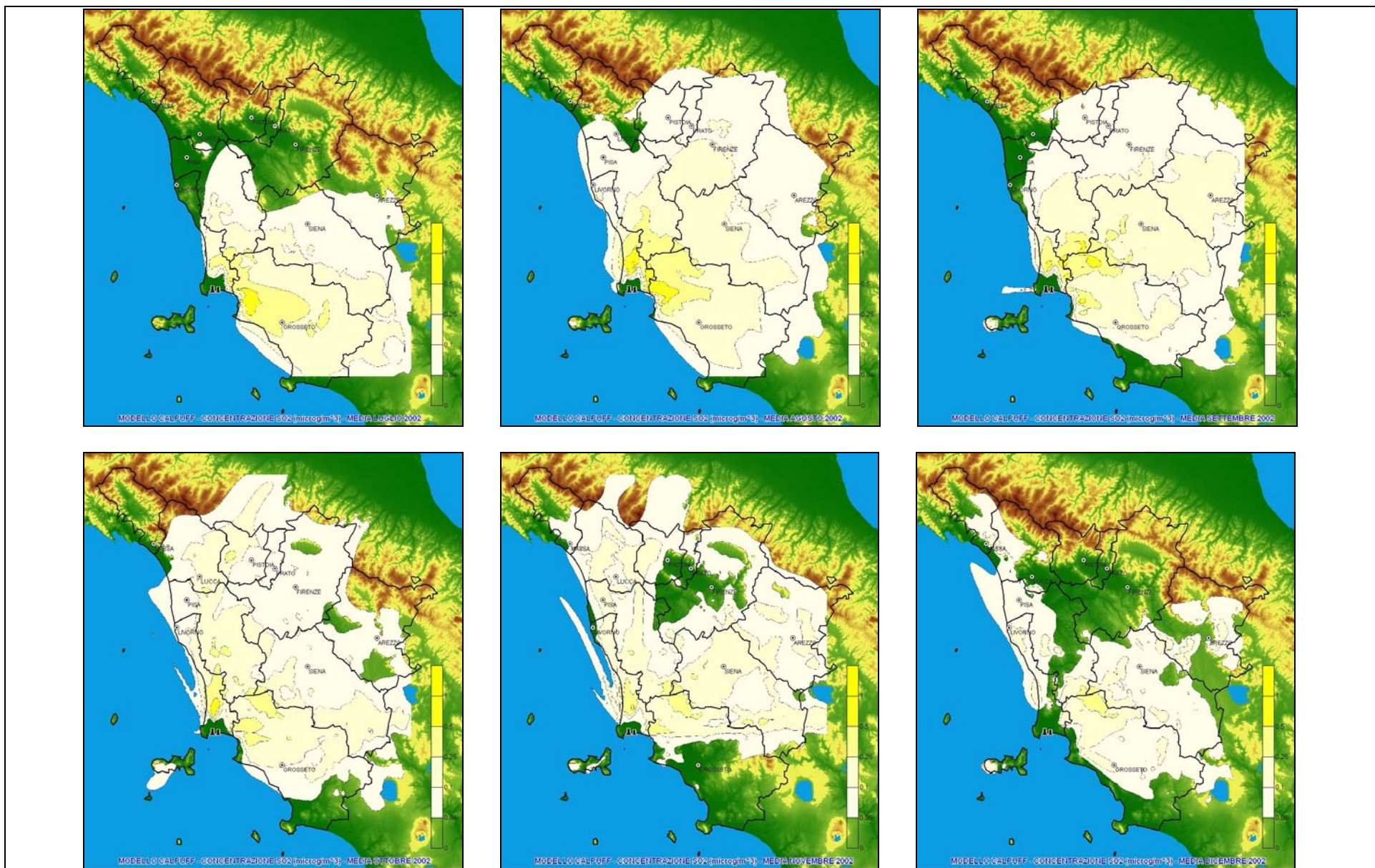


**Fig. 10** - Run 01: andamento delle concentrazioni medie mensili al suolo di PM<sub>10</sub> stimate da CALPUFF (luglio-dicembre 2002).

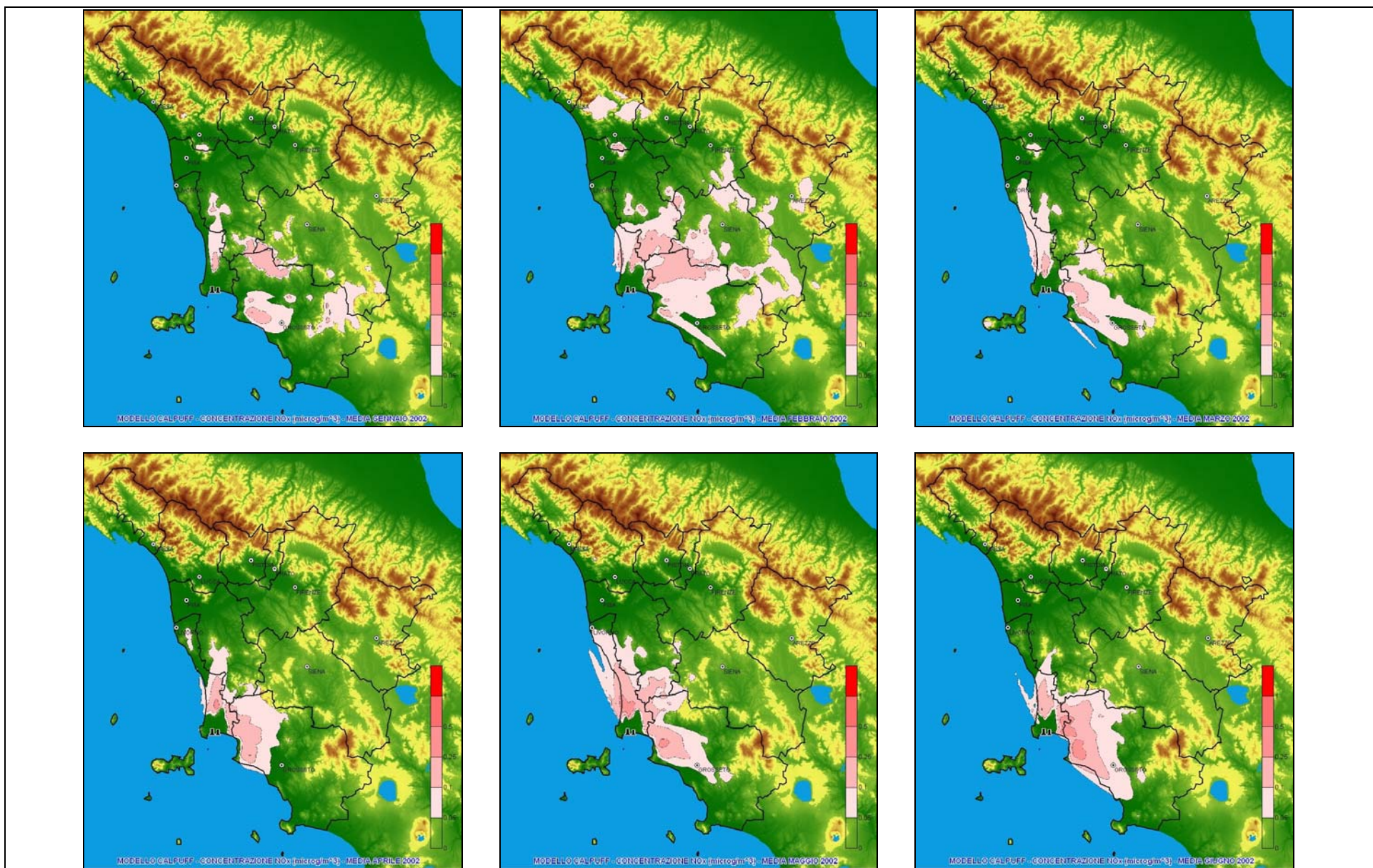


**Fig. 11** - Run 01: andamento delle concentrazioni medie mensili al suolo di SO<sub>2</sub> stimate da CALPUFF (gennaio-giugno 2002).

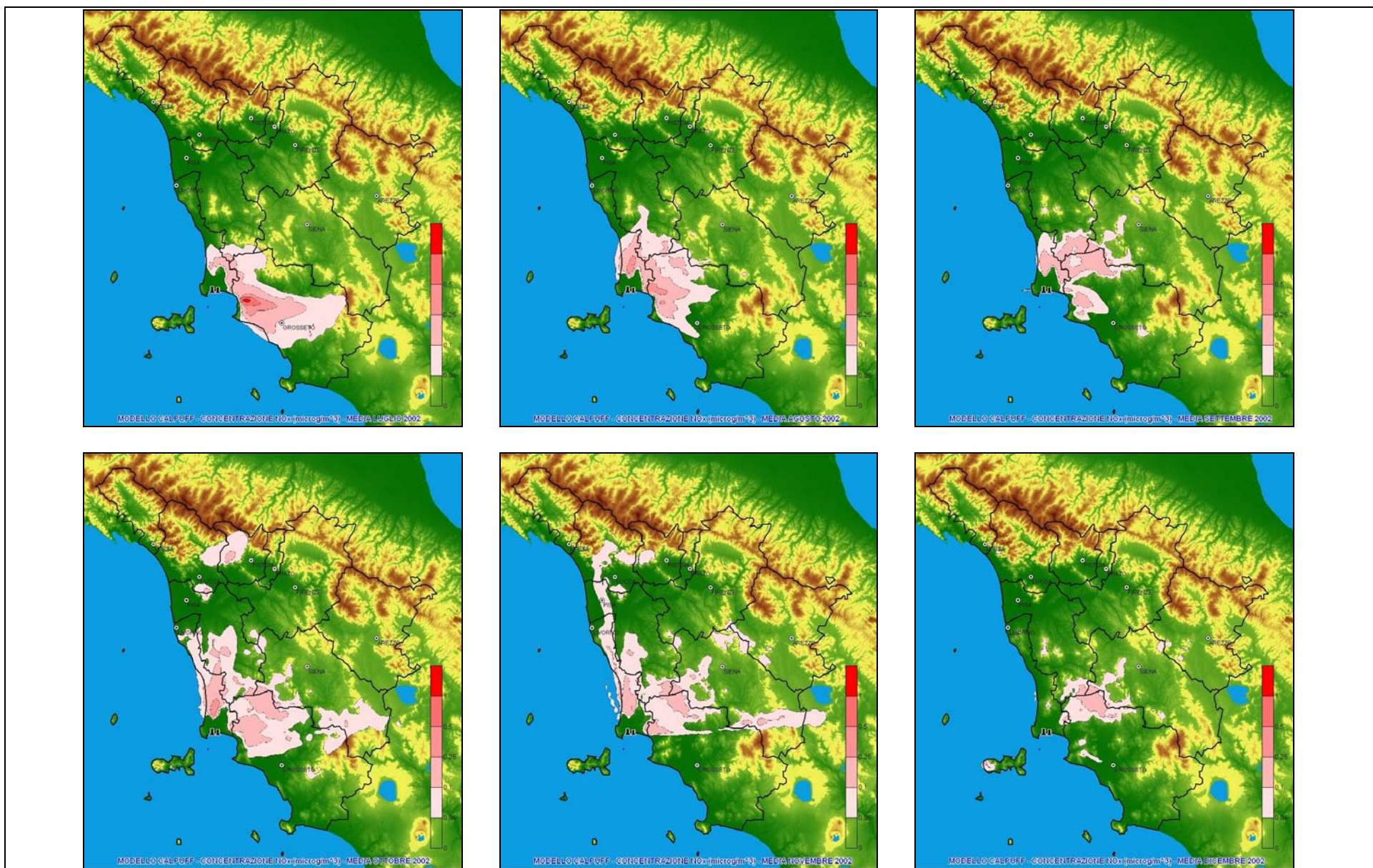




**Fig. 12** - Run 01: andamento delle concentrazioni medie mensili al suolo di SO<sub>2</sub> stimate da CALPUFF (luglio-dicembre 2002).



**Fig. 13** - Run 01: andamento delle concentrazioni medie mensili al suolo di NO<sub>x</sub> stimate da CALPUFF (gennaio-giugno 2002).



**Fig. 14** - Run 01: andamento delle concentrazioni medie mensili al suolo di NO<sub>x</sub> stimate da CALPUFF (luglio-dicembre 2002).

## Conclusioni

In questo rapporto sono stati presentati i risultati dello studio meteodiffusionale finalizzato alla valutazione della dispersione in atmosfera delle emissioni inquinanti derivanti dagli impianti della centrale termoelettrica ENEL, ubicati in località Torre del Sale, nella comune di Piombino (LI).

Dopo una breve sintesi sulla metodologia utilizzata, in cui sono state illustrate le principali caratteristiche del sistema modellistico RAMS-CALMET-CALPUFF, è stata descritta la configurazione sul territorio in esame adottata per gli stessi modelli.

Il modello CALMET è stato configurato su un dominio di studio comprendente l'intero territorio regionale, con una risoluzione di 2 Km; come *input* meteo sono stati utilizzati i dati dell'archivio meteorologico RAMS/WRF, per l'intero anno 2002.

Di seguito è stato configurato il modello di dispersione CALPUFF, per la stima delle concentrazioni di biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ ) e degli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ), delle polveri ( $\text{PM}_{10}$ ), di  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{HNO}_3$ . Per la stima di  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{HNO}_3$  è stato utilizzato lo specifico meccanismo chimico per inquinanti secondari debolmente reattivi implementato all'interno del modello CALPUFF (MESOPUFF2), mentre le polveri sono state trattate come inerti.

Il modello CALPUFF è stato utilizzato in modalità *long-term* per un anno (2002), a fronte di due distinti scenari emissivi, relativi a due successivi aggiornamenti, 2003 e 2005, dei dati di emissione dell'inventario IRSE della Regione Toscana.

I risultati, sebbene puramente indicativi, dato i limiti della presente applicazione, mostrano come alcuni inquinanti emessi dalla centrale, in particolare il biossido di zolfo, interessino gran parte del territorio regionale.

## **Bibliografia**

- 1. Calastrini F., Gualtieri G.** (2003): *An integrated meteo-diffusional modelling system to manage atmospheric pollution in the Tuscany region: a preliminary application in the Livorno industrial area* - Computational Mechanics Publications, Ashurt Lodge, Ashurt, Southampton SO40 7AA, UK - atti del convegno "Air Pollution 2003" organizzato dal Wessex Institute of Technology e tenutosi a Catania nei giorni 17/19 Settembre 2003..
- 2. Golden Software, Inc.** (1999): *Surfer version 7.00* - Golden, CO, USA, 25 Agosto 1999.
- 3. Gualtieri G., Calastrini F.** (2003): *A 3-D meteorological archive based on the RAMS model daily forecasting* - atti del convegno "ECAM 2003", organizzato dall'Ufficio Generale di Meteorologia dell'Aeronautica Militare e tenutosi a Roma nei giorni 15/19 Settembre 2003.
- 4. MapInfo Corporation** (2002): *MapInfo Professional versione 7.0* - Troy, NY, USA, 2002.
- 5. Scire J.S., Robe F.R., Fermau M.E., Yamartino R.J.** (1999): *A User's Guide for the CALMET Meteorological Model (version 5.0)* - Earth Tech Inc., Concord, MA, USA, Settembre 1999.
- 6. Scire J.S., Strimaitis D.G., Yamartino R.J.** (2000): *A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model (version 5.0)* - Earth Tech Inc., Concord, MA, USA, Gennaio 2000.
- 7. Walko R. L., Tremback C. J.** (2001): *RAMS - Regional Atmospheric Modeling System Version 4.3/4.4* - Guida per l'utente.
- 8. Zannetti P.** (1990): *Air pollution modelling*. Computational Mechanims Publications. Southampton, UK.