

UNIVERSITA' CA' FOSCARI DI VENEZIA  
DIPARTIMENTO DI CHIMICA-FISICA  
DIPARTIMENTO DI INFORMATICA  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AMBIENTALI

## **Stima della dispersione di inquinanti atmosferici nell'area di Venezia**

Prof. Flavio Sartoretto, Prof. Achille Giacometti,  
Dott.ssa Eliana Pecorari

4 aprile 2008

## Sommario

Questo rapporto raccoglie i risultati di un primo studio riguardante la dispersione in aria degli inquinanti nell'area di Venezia.

Mediante un modello di dispersione di tipo gaussiano, l'ISC3, è stata simulata la dispersione del particolato fine di origine industriale in un dominio avente centro sulla zona industriale di Marghera. Le simulazioni sono state suddivise su base stagionale, in due anni consecutivi.

Uno studio effettuato dall'ARPAV mediante un altro modello di dispersione, CAMx, ha considerato ulteriori fonti di inquinamento (traffico, riscaldamento civile e la produzione di inquinanti secondari).<sup>1</sup>

Analizzando i risultati di entrambi i modelli abbiamo formulato qualche indicazione sulle dinamiche della dispersione di inquinanti.

---

<sup>1</sup>Solo questa parte del report è stata gentilmente curata dal Gruppo Modelli ARPAV.

# Capitolo 1

## Dispersione degli inquinanti

### 1.1 Introduzione

La nostra ricerca ha come obiettivo l'analisi della dinamica degli inquinanti primari e secondari in un'area di Venezia comprendente la zona Industriale di Marghera; particolare attenzione viene dedicata alla formazione del particolato fine ( $\phi < 2.5\mu m$ ).

Una prima parte della ricerca consiste nella simulazione della dispersione in aria degli inquinanti di origine industriale nella zona circostante Marghera, l'area industriale di Venezia. La simulazione è stata effettuata dal personale dell'Ente Zona (<http://www.entezona.it>) utilizzando dati propri e il modello gaussiano ISC3 sotto la nostra supervisione. La simulazione consente di individuare alcuni scenari possibili nel periodo tra fine 2005 e fine 2007.

A questi scenari abbiamo aggiunto quelli gentilmente forniti dall'ARPAV (<http://www.arpa.veneto.it>) ottenuti mediante un altro modello di dispersione euleriano, CAMx, che fornisce informazioni su: a) contributi da parte di sorgenti di inquinamento quali traffico o riscaldamento civile; b) effetti fotochimici che conducono alla formazione di inquinante secondario.

# Capitolo 2

## ISC3

### 2.1 Descrizione del modello

Il modello ISC3 è un modello Gaussiano *Plume* (a pennacchio). In quanto modello stazionario, ipotizza che l'evoluzione del fenomeno di dispersione sia una sequenza continua e discreta di scenari temporali di durata sufficiente tale da rendere rappresentativa la stima del valor medio della concentrazione. Durante ogni scenario temporale si ipotizza che:

- il tasso di emissione delle varie sorgenti resti costante,
- le variabili meteorologiche e micrometeorologiche restino costanti e non varino in orizzontale, pur potendo variare con la quota,
- le sostanze non siano soggette a reazioni chimiche.

Le equazioni di base del modello sono quelle classiche che descrivono la dispersione rettilinea di un pennacchio nel PBL (*Planet Boundary Layer*). Per maggiori dettagli si rimanda al manuale del modello [10]. Abbiamo utilizzato l'ISC3 con l'opzione *short-term*: vengono elaborati dati orari per poi effettuare medie sul lungo periodo. I parametri di dispersione orizzontale e verticale del pennacchio sono stati determinati sulla base delle *Classi di Stabilità Atmosferica* e della distanza sottovento. Esse variano a seconda dell'opzione *rural* o *urban* mode, nel primo caso vengono adottate le curve di Pasquill-Gifford, nel secondo quelle di McElroy-Pooler. Il modello tiene conto dell'effetto di scia indotto dalla struttura fisica della ciminiera sul pennacchio (*stack-tip down wash*) mediante la metodologia di Briggs [3] e decide se nel pennacchio prevale l'effetto del galleggiamento termico o del flusso della quantità di moto a seconda che le condizioni atmosferiche siano convettive, adiabatiche oppure stabili. Il modello inoltre considera l'incorporamento di

aria ambiente (*entrainment*).

Il modello gaussiano stazionario permette di effettuare simulazioni per lunghi periodi con tempi di calcolo brevi. L'uso di questa tipologia di modelli comporta diverse limitazioni e permette solo stime di prima approssimazione. Il modello è incapace di tener conto della variabilità del profilo verticale della velocità del vento, oltre che dell'eventuale variazione verticale della sua direzione. La turbolenza atmosferica è molto semplificata e condensata nelle *Categorie di Stabilità di Pasquill*. La velocità del vento viene stimata mediante relazioni semiempiriche. La calma di vento non è trattata e viene posto un limite inferiore alla velocità del vento pari a  $0.5 \div 1 m/s$ ; non è considerata la brezza di mare. Altri effetti non considerati sono l'uscita del pennacchio dal PBL e quelli dovuti allo scambio di calore.

## 2.2 Dominio spaziale e dominio temporale

L'area considerata è costituita da un dominio quadrato 50 x 50 km avente per centro l'Ente Zona all'interno dell'area industriale di Marghera, di coordinate geografiche E 14' 37.900 e N 26' 49.100. Il passo griglia utilizzato è di 1 km (figura 2.1).

Lo simulazione ha riguardato quattro periodi relativi alle quattro stagioni ripetuti per due anni da fine 2005 a fine 2007. I dati meteorologici utilizzati sono quelli forniti dalla Rete di Controllo della Qualità dell'Aria

Entrambi gli inverni non sono stati particolarmente rigidi, con temperature minime e massime superiori alla media; scarti di 2-3 °C; le precipitazioni sono state poco abbondanti.

La primavera dell'anno 2006 ha avuto una maggior frequenza di ondate di freddo rispetto a quelle di calore caratterizzanti gli anni precedenti e seppur presentando un minor numero di giorni piovosi rispetto a quelli medi tipici, ha avuto una piovosità generalmente in linea con quella degli anni precedenti. La primavera del 2007 presenta temperature più alte, con precipitazioni sotto la media.

Durante l'estate 2006 si è verificata un'ondata di calore molto intensa a luglio, il 2007 invece è stato caratterizzato dall'alterarsi di ondate fredde e calde.

La stagione autunnale 2006 in Veneto è risultata significativamente più calda e meno piovosa della norma, con anomalie anche marcate come del resto accaduto in molte regioni dell'Europa centro-settentrionale; nel trimestre settembre-novembre del 2006 la media delle temperature massime è risul-

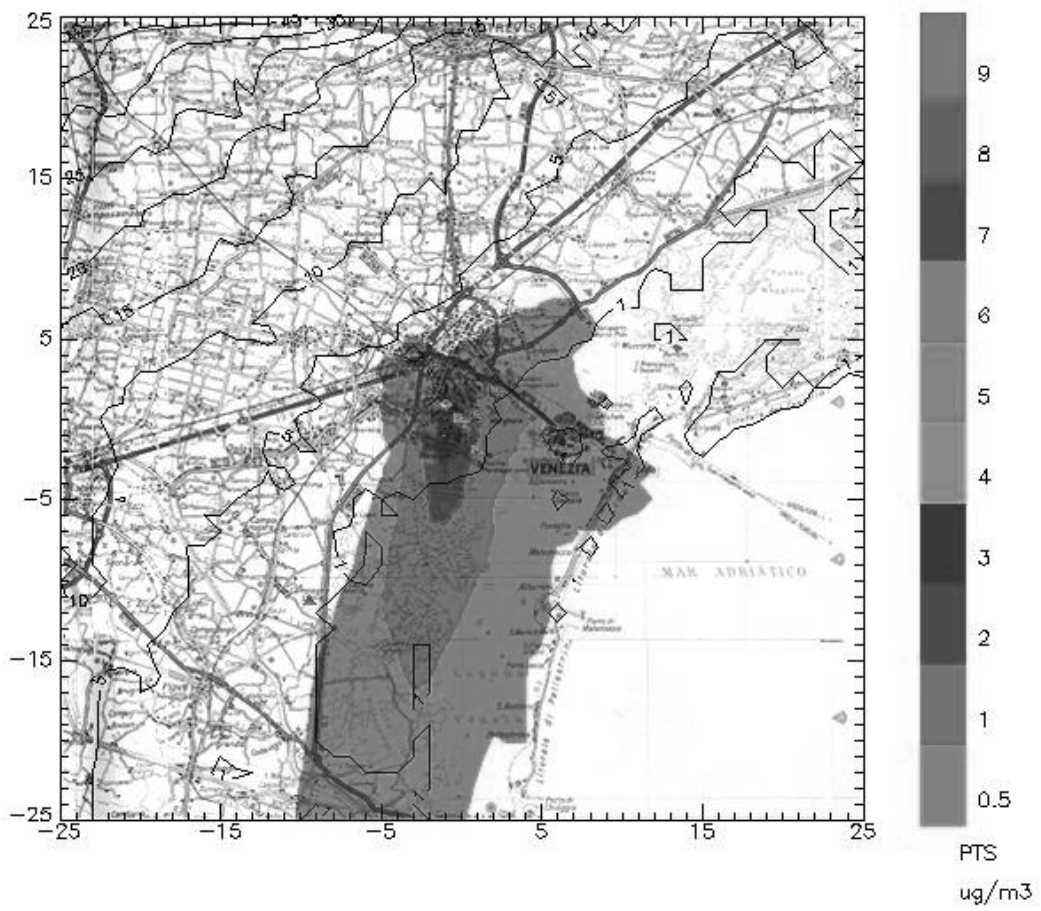


Figura 2.1: Dominio per la simulazione con il modello ISC3.

tata di quasi 2°C sopra la media di riferimento. Le precipitazioni sono state superiori alla media nel mese di settembre, per poi abbassarsi nel resto della stagione.

Lo studio dettagliato dei dati climatici misurati ha permesso di individuare i parametri meteorologici necessari come input del modello ISC3: (campi di vento, temperatura e umidità).

## 2.3 Scenari ISC3

Sono ipotizzabili 8 scenari uno per ognuna delle quattro stagioni, dalla fine del 2005 alla fine del 2007. Durante il periodo invernale come si evidenzia in figura 2.2 2.3 e dalla tabella 2.1 valori minimi, massimi e medi non differiscono molto, mentre varia l'area di dispersione del pennacchio, molto probabilmente a causa della direzione prevalente del vento.

Durante la primavera del 2006 sembrerebbe esserci stata una maggior diffusione verso l'entroterra rispetto al 2007 (figure 2.4 - 2.5), ma non si riscontrano grosse variazioni delle concentrazioni massime, minime e medie nel breve e nel lungo periodo (2.2).

L'estate del 2006 sembrerebbe essere caratterizzata da concentrazioni massime maggiori in tutto il periodo rispetto al 2006 (tabella 2.3). Dalle figure 2.6 2.7 si nota che la dispersione è maggiore nell'estate 2006, con concentrazioni piuttosto alte anche ad una certa distanza dalla sorgente.

Non sembra si presentino grosse differenze tra l'autunno 2006 e l'autunno 2007. Abbiamo valori simili di massimi, minimi e medie (tabella 2.4) e omogeneità nelle direzioni di dispersione delle concentrazioni (figure 2.8 - 2.9).

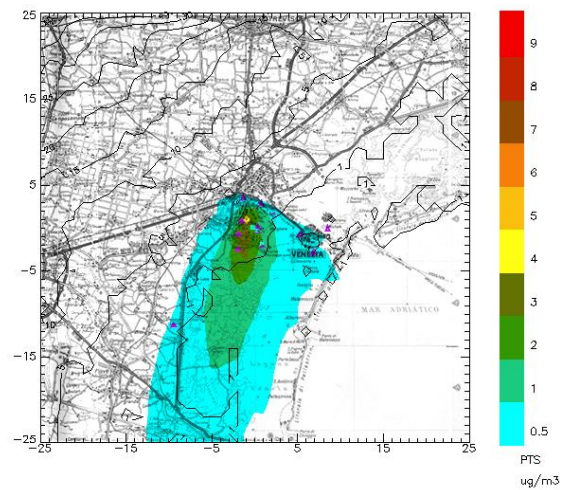


Figura 2.2: Particolato totale in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , inverno 2005 – 2006

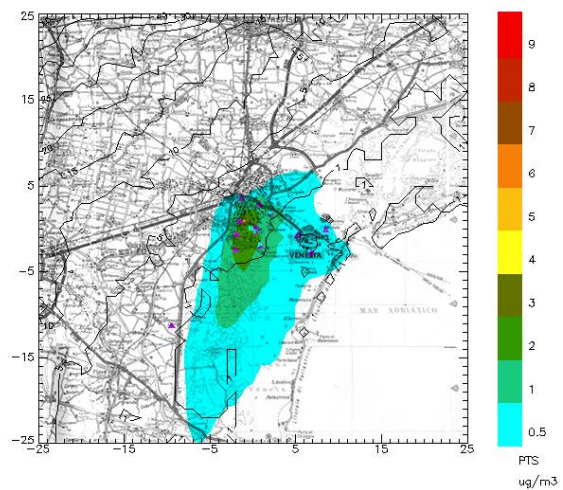


Figura 2.3: Particolato totale in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , inverno 2006 – 2007



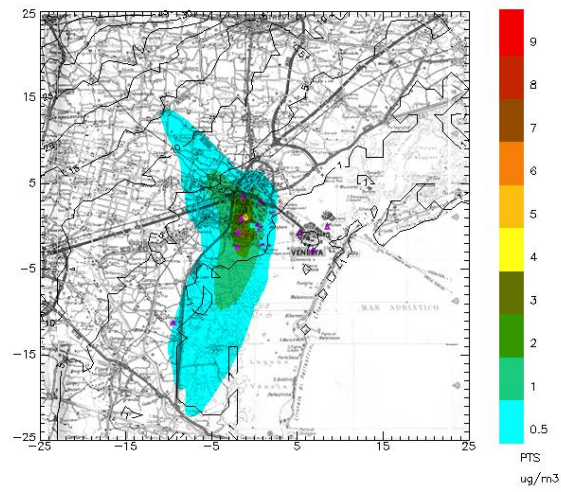


Figura 2.4: Particolato totale in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , primavera 2006

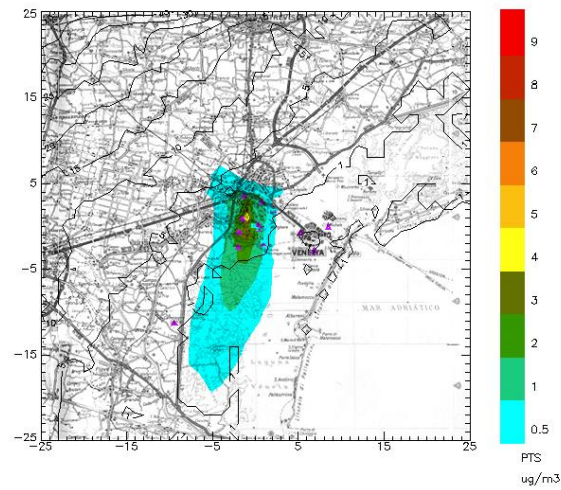


Figura 2.5: Particolato totale in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , primavera 2007

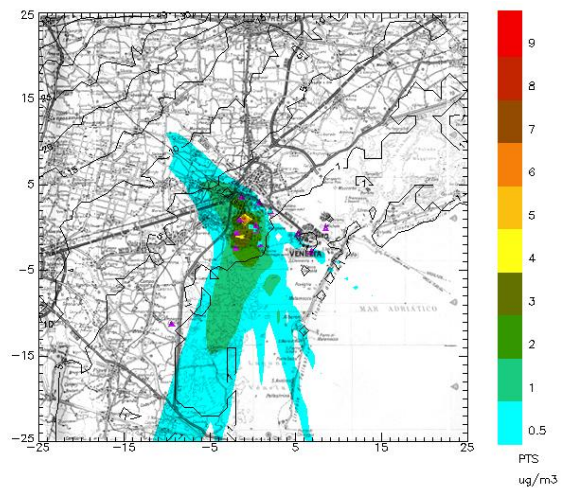


Figura 2.6: Particolato totale in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , estate 2006

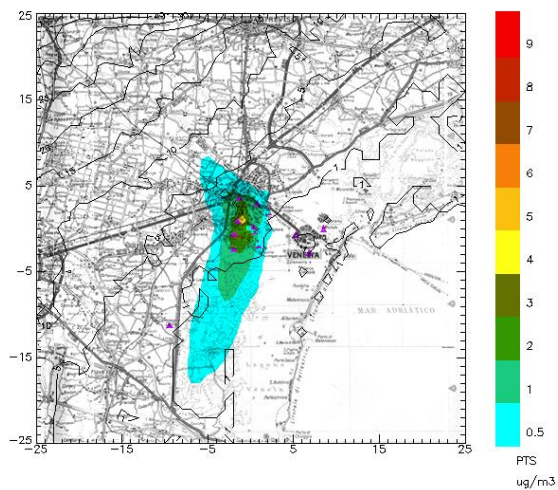


Figura 2.7: Particolato totale in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , estate 2007

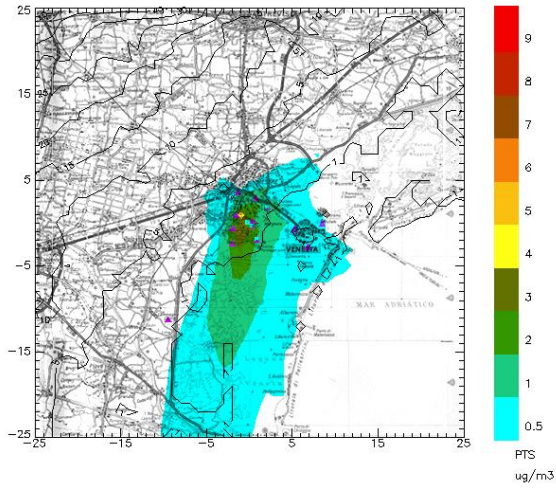


Figura 2.8: Particolato totale in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , autunno 2006

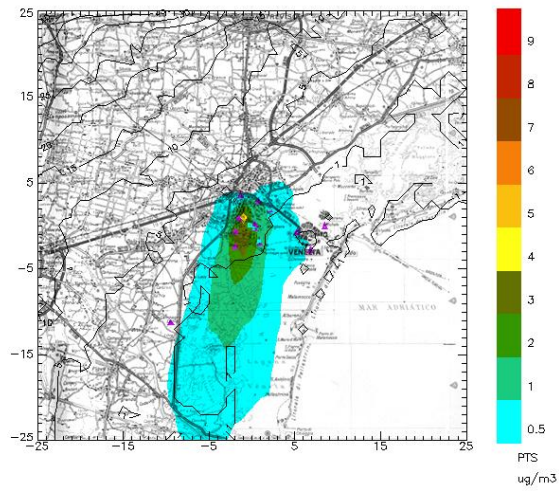


Figura 2.9: Particolato totale in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , autunno 2007

stagione	Inverno 2005+2006			Inverno 2006+2007		
	X	Y	Valore	X	Y	Valore
	m	m	µg/mc	m	m	µg/mc
Valore minimo di periodo	-1000	1000	0,015	-1000	1000	0,027
Valore medio di periodo	-1000	1000	0,286	-1000	1000	0,274
Valore massimo di periodo	-1000	1000	5,367	-1000	1000	4,476
Valore minimo mensile	-1000	1000	0,000	-1000	1000	0,000
Valore medio mensile	-1000	1000	0,294	-1000	1000	0,291
Valore massimo mensile	-1000	1000	5,712	-1000	1000	5,524
Valore minimo giornaliero	-1000	1000	0,000	-1000	1000	0,000
Valore medio giornaliero	-1000	1000	0,286	-1000	1000	0,274
Valore massimo giornaliero	-1000	2000	18,879	-1000	1000	16,127
Valore minimo orario	-1000	1000	0,000	-1000	1000	0,000
Valore medio orario	-1000	1000	0,286	-1000	1000	0,274
Valore massimo orario	0	3000	108,291	-1000	1000	121,353
Valore minimo dei massimi orari	-1000	1000	6,767	-1000	1000	6,357
Valore medio dei massimi orari	-1000	1000	18,669	-1000	1000	19,830
Valore massimo dei massimi orari	0	3000	108,291	-1000	1000	121,353
Valore minimo 90.400 percentile giornaliero	-1000	1000	0,022	-1000	1000	0,062
Valore medio 90.400 percentile giornaliero	-1000	1000	0,857	-1000	1000	0,812
Valore massimo 90.400 percentile giornaliero	-1000	1000	10,454	-1000	1000	10,682
Valore minimo 98.100 percentile giornaliero	-1000	1000	0,226	-1000	1000	0,332
Valore medio 98.100 percentile giornaliero	-1000	1000	1,584	-1000	1000	1,559
Valore massimo 98.100 percentile giornaliero	-1000	2000	15,885	-1000	1000	15,777
Valore minimo dei massimi giornalieri	-1000	1000	0,343	-1000	1000	0,435
Valore medio dei massimi giornalieri	-1000	1000	1,932	-1000	1000	2,026
Valore massimo dei massimi giornalieri	-1000	2000	18,879	-1000	1000	16,127

Tabella 2.1: Concentrazione del particolato: periodi invernali, 2005-2006 e 2006-2007

stagione	primavera 2006			primavera 2007		
	X	Y	Valore	X	Y	Valore
	m	m	µg/mc	m	m	µg/mc
Valore minimo di periodo	-1000	1000	0,035	-1000	1000	0,015
Valore medio di periodo	-1000	1000	0,256	-1000	1000	0,193
Valore massimo di periodo	-1000	1000	5,195	-1000	1000	5,477
Valore minimo mensile	-1000	1000	0,013	-1000	1000	0,001
Valore medio mensile	-1000	1000	0,271	-1000	1000	0,192
Valore massimo mensile	-1000	1000	5,709	-1000	1000	5,817
Valore minimo giornaliero	-1000	1000	0,000	-1000	1000	0,000
Valore medio giornaliero	-1000	1000	0,256	-1000	1000	0,193
Valore massimo giornaliero	-1000	1000	15,424	-1000	1000	22,469
Valore minimo orario	-1000	1000	0,000	-1000	1000	0,000
Valore medio orario	-1000	1000	0,256	-1000	1000	0,193
Valore massimo orario	-1000	2000	104,352	-1000	3000	109,747
Valore minimo dei massimi orari	-1000	1000	6,669	-1000	1000	4,870
Valore medio dei massimi orari	-1000	1000	17,190	-1000	1000	16,619
Valore massimo dei massimi orari	-1000	2000	104,352	-1000	3000	109,747
Valore minimo 90.400 percentile giornaliero	-1000	1000	0,128	-1000	1000	0,041
Valore medio 90.400 percentile giornaliero	-1000	1000	0,703	-1000	1000	0,534
Valore massimo 90.400 percentile giornaliero	-1000	1000	8,761	-1000	1000	11,111
Valore minimo 98.100 percentile giornaliero	-1000	1000	0,344	-1000	1000	0,200
Valore medio 98.100 percentile giornaliero	-1000	1000	1,283	-1000	1000	1,015
Valore massimo 98.100 percentile giornaliero	-1000	1000	13,604	-1000	1000	16,127
Valore minimo dei massimi giornalieri	-1000	1000	0,382	-1000	1000	0,289
Valore medio dei massimi giornalieri	-1000	1000	1,681	-1000	1000	1,258
Valore massimo dei massimi giornalieri	-1000	1000	15,424	-1000	1000	22,469

Tabella 2.2: Concentrazione del particolato: periodi primaverili, 2006 e 2007

stagione	estate 2006			estate 2007		
	X m	Y m	Valore µg/mc	X m	Y m	Valore µg/mc
Valore minimo di periodo	-1000	1000	0,005	-1000	1000	0,024
Valore medio di periodo	-1000	1000	0,242	-1000	1000	0,172
Valore massimo di periodo	-1000	1000	7,401	-1000	1000	5,732
Valore minimo mensile	-1000	1000	0,000	-1000	1000	0,000
Valore medio mensile	-1000	1000	0,237	-1000	1000	0,164
Valore massimo mensile	-1000	1000	7,934	-1000	1000	5,766
Valore minimo giornaliero	-1000	1000	0,000	-1000	1000	0,000
Valore medio giornaliero	-1000	1000	0,242	-1000	1000	0,172
Valore massimo giornaliero	-1000	1000	15,559	-1000	1000	18,844
Valore minimo orario	-1000	1000	0,000	-1000	1000	0,000
Valore medio orario	-1000	1000	0,242	-1000	1000	0,172
Valore massimo orario	-1000	2000	118,891	-1000	1000	102,197
Valore minimo dei massimi orari	-1000	1000	4,160	-1000	1000	4,260
Valore medio dei massimi orari	-1000	1000	15,719	-1000	1000	16,614
Valore massimo dei massimi orari	-1000	2000	118,891	-1000	1000	102,197
Valore minimo 90.400 percentile giornaliero	-1000	1000	0,000	-1000	1000	0,063
Valore medio 90.400 percentile giornaliero	-1000	1000	0,497	-1000	1000	0,471
Valore massimo 90.400 percentile giornaliero	-1000	1000	9,914	-1000	1000	10,277
Valore minimo 98.100 percentile giornaliero	-1000	1000	0,015	-1000	1000	0,227
Valore medio 98.100 percentile giornaliero	-1000	1000	0,982	-1000	1000	0,919
Valore massimo 98.100 percentile giornaliero	-1000	1000	11,493	-1000	1000	16,335
Valore minimo dei massimi giornalieri	-1000	1000	0,212	-1000	1000	0,295
Valore medio dei massimi giornalieri	-1000	1000	1,427	-1000	1000	1,206
Valore massimo dei massimi giornalieri	-1000	1000	15,559	-1000	1000	18,844

Tabella 2.3: Concentrazione del particolato: periodi estivi, 2006 e 2007

stagione	autunno 2006			autunno 2007		
	X	Y	Valore	X	Y	Valore
	m	m	µg/mc	m	m	µg/mc
Valore minimo di periodo	-1000	1000	0,033	-1000	1000	0,024
Valore medio di periodo	-1000	1000	0,313	-1000	1000	0,252
Valore massimo di periodo	-1000	1000	5,208	-1000	1000	5,712
Valore minimo mensile	-1000	1000	0,000	-1000	1000	0,000
Valore medio mensile	-1000	1000	0,309	-1000	1000	0,236
Valore massimo mensile	-1000	1000	6,756	-1000	1000	7,033
Valore minimo giornaliero	-1000	1000	0,000	-1000	1000	0,000
Valore medio giornaliero	-1000	1000	0,313	-1000	1000	0,252
Valore massimo giornaliero	-1000	1000	30,901	-1000	1000	25,959
Valore minimo orario	-1000	1000	0,000	-1000	1000	0,000
Valore medio orario	-1000	1000	0,313	-1000	1000	0,252
Valore massimo orario	-1000	2000	120,340	-1000	1000	124,994
Valore minimo dei massimi orari	-1000	1000	4,039	-1000	1000	5,164
Valore medio dei massimi orari	-1000	1000	20,140	-1000	1000	19,181
Valore massimo dei massimi orari	-1000	2000	120,340	-1000	1000	124,994
Valore minimo 90.400 percentile giornaliero	-1000	1000	0,069	-1000	1000	0,017
Valore medio 90.400 percentile giornaliero	-1000	1000	0,895	-1000	1000	0,725
Valore massimo 90.400 percentile giornaliero	-1000	1000	11,579	-1000	1000	13,652
Valore minimo 98.100 percentile giornaliero	-1000	1000	0,223	-1000	1000	0,307
Valore medio 98.100 percentile giornaliero	-1000	1000	1,582	-1000	1000	1,393
Valore massimo 98.100 percentile giornaliero	-1000	1000	21,073	-1000	1000	23,102
Valore minimo dei massimi giornalieri	-1000	1000	0,286	-1000	1000	0,458
Valore medio dei massimi giornalieri	-1000	1000	1,938	-1000	1000	1,731
Valore massimo dei massimi giornalieri	-1000	1000	30,901	-1000	1000	25,959

Tabella 2.4: Concentrazione del particolato: periodi autunnali, 2006 e 2007

# Capitolo 3

## CAMx

1

Nell'ambito di uno studio sull'importanza delle varie fonti di emissione locali nella formazione del PM10 nell'area veneziana [5] l'Ufficio Modellistica Aria (UMA) dell'Osservatorio Regionale Aria (ORAR) di ARPAV ha svolto un'applicazione modellistica con il modello fotochimico euleriano CAMx [8] [2] per il periodo febbraio-marzo 2006.

Il confronto con i campionamenti effettuati nel periodo 22 febbraio - 1 aprile 2006 dal Dipartimento ARPAV Provinciale di Venezia (DAP VE) presso 4 siti rappresentativi di condizioni emissive diverse (sito *hot spot* a Noale, sito in zona di ricaduta industriale a Marghera, sito urbano-industriale in Via Lissa a Mestre e sito di background rurale a Concordia Sagittaria) ha permesso di approfondire e interpretare i risultati modellistici ottenuti.

Il dominio di calcolo, con risoluzione di  $4 \times 4 \text{ km}^2$ , ha interessato un'area di  $200 \times 168 \text{ km}^2$ , comprendente tutta la pianura veneta e parte della zona montana (figura 3.1). Per ricostruire le concentrazioni degli inquinanti presenti nel momento iniziale della simulazione e per quelle presenti ai bordi del dominio di calcolo, sono stati utilizzati gli output del modello continentale CHIMERE (<http://www.prevair.org>). I campi meteorologici sono stati ricostruiti mediante il modello diagnostico CALMET [9], sulla base dei dati di vento, temperatura e precipitazioni registrati dalla rete di monitoraggio del Centro Meteorologico di Teolo.

L'input emissivo al modello è costituito dalla disaggregazione a livello comunale dell'incrocio bottom up – top down effettuato in ambito alla Task 1 Progetto SIMAGE [4]. La procedura di “grigliatura”, che ha portato dall'emissione comunale a quella per cella di  $4 \times 4 \text{ km}^2$ , è basata sull'uso del suolo, mentre la successiva disaggregazione temporale, che porta da emissioni an-

---

<sup>1</sup>Parte sviluppata dal Gruppo di Modellistica ARPAV.



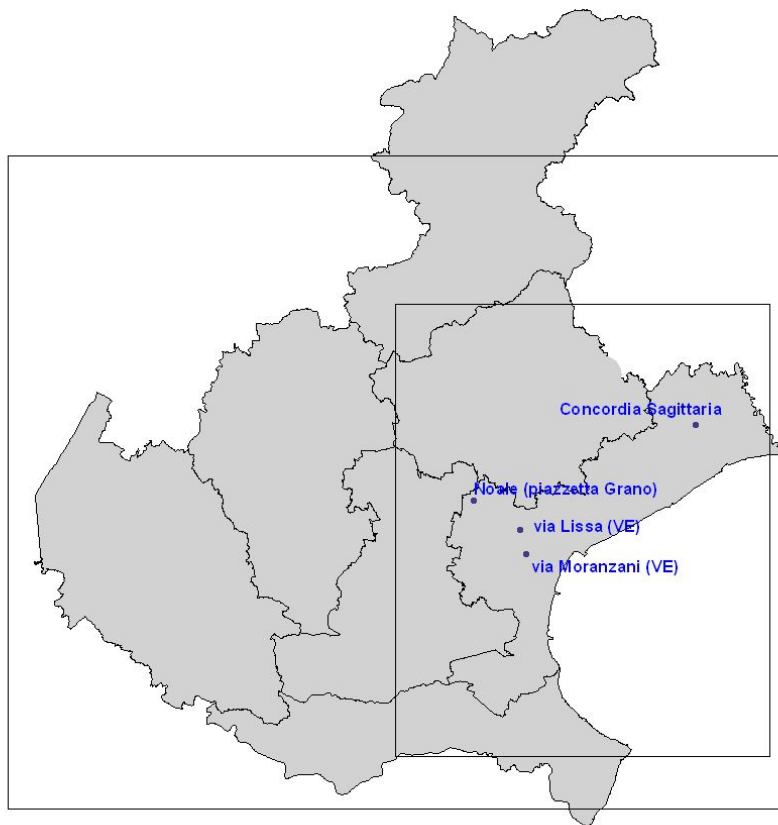


Figura 3.1: Dominio di calcolo del modello CAMx

nuali ad emissioni orarie di PM10 e precursori, è stata ottenuta mediante applicazione di profili specifici per inquinante e macrosettore. Al fine di approfondire la valutazione degli apporti locali, l'inventario è stato parzialmente aggiornato per il macrosettore 8 con la stima bottom up del porto [7] e dell'aeroporto [6]; inoltre, nella sola Provincia di Venezia, la disaggregazione top down del macrosettore 7 (traffico) è stata sostituita dalla stima bottom up effettuata mediante applicazione della metodologia COPERT III [1].

Oltre alle emissioni su griglia, alcune tra le più significative fonti industriali, tra cui le grandi centrali termoelettriche, sono simulate dal modello con l'apposito modulo denominato *plume-in-grid* che permette di tener conto delle modalità di dispersione tipiche di queste sorgenti: spinta di fuoriuscita dei fumi e galleggiamento termico portano infatti ad ampliare il volume verticale entro cui si disperdono i pennacchi di emissione.

Tra gli aspetti critici della catena modellistica usata, che risulta ancora carente per quanto concerne la simulazione della formazione organica secondaria, vi sono in particolare: i profili di speciazione del PM10, derivati da riferimenti bibliografici relativi a realtà diverse da quella veneta; la sottostima di parte delle emissioni primarie (non vengono trattati il risollevarimento, l'aerosol marino, ed il trasporto della componente crostale dai bordi); la sottostima del contenuto d'acqua dell'atmosfera (che influenza soprattutto la formazione dei solfati).

Il confronto con i dati del monitoraggio ha evidenziato un'ottima correlazione tra osservato e calcolato e una buona riproduzione delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 durante i momenti di "pulizia dell'atmosfera"; all'aumentare della "saturazione" dell'atmosfera, invece, la differenza tra misura e modello aumenta. Il sito meglio riprodotto è Marghera, in area di ricaduta industriale dove è importante la componente primaria antropica; al contrario Noale risulta il meno riproducibile dal modello, a causa della scarsa rappresentatività spaziale del sito di misura (sito di *hot-spot* non riproducibile da un modello euleriano).

A titolo di esempio, si riporta il confronto tra PM10 misurato e stimato presso il sito urbano-industriale di Mestre, via Lissa (figura 3.2).

Per quanto riguarda la componente inorganica secondaria, costituita nella maggior parte da nitrati, solfati e ammonio, il modello mostra una buona riproduzione sia dei livelli di concentrazione, che degli andamenti temporali; si nota la tendenza alla sottostima del solfato, probabilmente a causa della scarsa disponibilità di acqua in input al modello, mentre la componente meglio descritta è l'ammonio. Il nitrato mostra mediamente una leggera sovrastima, tranne in alcuni momenti di picco, dove in alcuni siti risulta parzialmente sottostimato (21-22 marzo 2006) (figura 3.3).

Per analizzare la ripartizione del peso dei diversi comparti emissivi del-

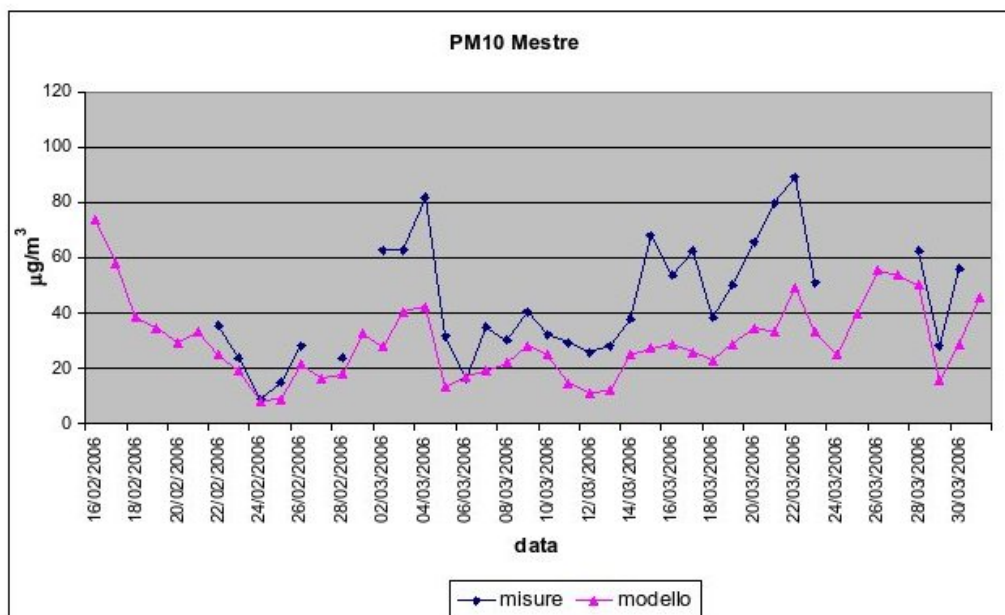


Figura 3.2: Confronto misura/modello presso il sito di Mestre - via Lissa

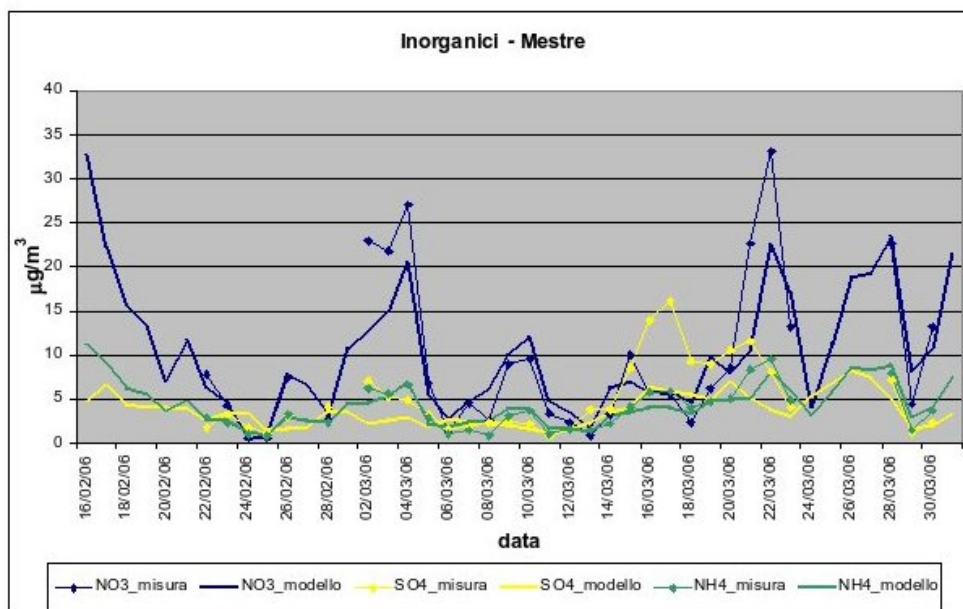


Figura 3.3: Confronto misura/modello sulle componenti inorganiche del PM10 presso il sito di Mestre - via Lissa

Scenario	Riduzione	Macrosettori interessati alla riduzione
base	-	-
Scenario 1	50% nel nest	7 (trasporti su strada)
Scenario 2		1 3 4 6 (industria)
Scenario 3		8 (porto, aeroporto e altri trasporti)
Scenario 4		7 8 (combinazione di 1 e 3)
Scenario 5		2 (riscaldamenti)
Scenario 6		10 (comparto agricolo)

Tabella 3.1: Scenari di emissione

l'area veneziana sulle concentrazioni stimate di PM10 sono stati impostati degli *scenari di emissione* in una porzione del dominio (nel seguito denominata *nest*) comprendente ampiamente la provincia di Venezia e parte delle province di Treviso, Padova e Rovigo.

Per evitare di modificare sostanzialmente la composizione dell'atmosfera, si è adottata la strategia di considerare *scenari di riduzione del 50% delle emissioni per gruppi emissivi distinti, all'interno del sottodominio (nest)*. I risultati sono quindi stati interpretati come segnale dell'importanza relativa di una categoria di emissione rispetto all'altra, nel determinare i livelli di concentrazione simulati dal modello. Nella tabella 3.1 si riporta l'elenco delle simulazioni effettuate.

L'entità della riduzione complessiva per ogni scenario delle emissioni di PM10 e precursori nel dominio completo e nel *nest* è riportata nella successiva tabella 3.2.

I risultati ottenuti con le simulazioni di scenario sono sostanzialmente di due tipi:

a) una prima quantificazione del contributo "locale" (relativo all'area di *nest*); nell'ipotesi che la riduzione delle emissioni non abbia significativamente alterato la composizione dell'atmosfera, il contributo dell'emissione locale sulle concentrazioni totali di PM10 (dovute cioè sia alle emissioni locali che agli apporti esterni all'area del *nest*) è stata stimata indicativamente pari al doppio della somma dei contributi dei diversi comparti emissivi (questo perché gli scenari di riduzione abbaavano di volta in volta del 50% le emissioni del singolo comparto).

b) la valutazione del peso dei diversi comparti emissivi sul PM10 di produzione *locale*; lo scopo primario delle simulazioni degli scenari, oltre alla verifica dell'efficacia della riduzione delle emissioni, è stato di cercare di identificare il contributo di ogni comparto (traffico, industria, porto e aeroporto,

scenario	variazione % delle emissioni							
	PM10		NO <sub>x</sub>		SO <sub>2</sub>		NH <sub>3</sub>	
	dominio	nest	dominio	nest	dominio	nest	dominio	nest
sc1	-4.3%	-14.5%	-7.6%	-19.5%	-0.3%	-0.7%	-0.5%	-1.6%
sc2	-4.8%	-16.0%	-6.8%	-17.5%	-14.9%	-41.3%	-1.8%	-5.8%
sc3	-2.3%	-7.9%	-2.7%	-6.8%	-1.8%	-5.0%	0.0%	0.0%
sc4	-6.7%	-22.4%	-10.3%	-26.3%	-2.1%	-5.7%	-0.5%	-1.6%
sc5	-3.0%	-9.9%	-2.3%	-6.0%	-0.9%	-2.5%	0.0%	0.0%
sc6	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-12.6%	-41.9%

Tabella 3.2: Rduzioni relative delle emissioni rispetto al caso base, nei diversi scenari

riscaldamenti, agricoltura) ai livelli di concentrazione di PM10, in termini almeno di componenti primaria e secondaria inorganica, sulle quali l'incertezza di stima del modello si era dimostrata accettabile.

Nelle simulazioni effettuate le emissioni relative all'area di *nest* hanno spiegato una percentuale di PM10 variabile dal 30 al 50% (il peso del PM10 *locale* si è ovviamente dimostrato inferiore nelle zone in cui è inferiore la pressione antropica). Nella tabella 3.3 si riporta la valutazione del contributo locale stimata dal modello nei quattro siti indagati, suddivisa nelle diverse componenti del particolato: nitrati, solfati, ammonio, componente carboniosa, sia primaria che secondaria, (quest'ultima è sottostimata) e restante frazione primaria non reattiva (composta essenzialmente da metalli, ossidi e carbonati).

Dalla tabella risulta come il PM10 *locale* sia costituito principalmente da nitrati nel sito rurale di Concordia, dove sono preponderanti le emissioni di NO<sub>x</sub> e NH<sub>3</sub> rispetto al PM10 primario, mentre nei siti urbani e industriali aumentano la quota carboniosa e la frazione primaria.

Per quanto riguarda l'importanza relativa dei diversi comparti emissivi sulle concentrazioni di PM10, il modello così come è stato implementato, stima che il 50% dell'emissione locale (nel *nest*) del traffico contribuisce a determinare la concentrazione media di PM10 totale (considerando quindi sia la produzione *locale* che gli apporti esterni al *nest*) in quote pari a circa il 3% a Concordia, il 4% a Noale, il 7% a Mestre e il 3% a Marghera.

Il 2% della concentrazione media del PM<sub>10</sub> simulata a Concordia, il 5% a Noale, il 9% a Mestre e l'11% a Marghera può essere attribuito al 50% dell'emissione del settore industriale.

scenario	variazione % delle emissioni							
	PM10		NO <sub>x</sub>		SO <sub>2</sub>		NH <sub>3</sub>	
	dominio	nest	dominio	nest	dominio	nest	dominio	nest
sc1	-4.3%	-14.5%	-7.6%	-19.5%	-0.3%	-0.7%	-0.5%	-1.6%
sc2	-4.8%	-16.0%	-6.8%	-17.5%	-14.9%	-41.3%	-1.8%	-5.8%
sc3	-2.3%	-7.9%	-2.7%	-6.8%	-1.8%	-5.0%	0.0%	0.0%
sc4	-6.7%	-22.4%	-10.3%	-26.3%	-2.1%	-5.7%	-0.5%	-1.6%
sc5	-3.0%	-9.9%	-2.3%	-6.0%	-0.9%	-2.5%	0.0%	0.0%
sc6	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-12.6%	-41.9%

Tabella 3.3: Contributo “locale” e sua speciazione chimica

Il 50% dell’emissione del macrosettore 8 (porto, aeroporto e trasporti agricoli) conta un 1% sulle concentrazioni medie di Concordia, 2% di Noale, 3% e 7% rispettivamente a Mestre e Marghera. Il porto sembra avere, in queste simulazioni, un impatto strettamente locale (maggiore a Marghera che a Mestre).

Il contributo del riscaldamento domestico rispecchia l’elevato grado di metanizzazione del Comune di Venezia e lo scarso utilizzo di combustibili solidi (2% a Mestre, 1% a Marghera, contro un 4% di riduzione a Noale e 2% a Concordia, dove la densità abitativa è inferiore).

Il macrosettore che contribuisce maggiormente alle concentrazioni simulate a Concordia è proprio l’agricoltura (macrosettore 10), al 50% delle cui emissioni si associa una percentuale di nitrati mediamente pari al 9%, che si riflette in circa il 5% delle concentrazioni di PM10. A Noale, dove il modello simula un’area di incontro tra le masse d’aria urbana e quella rurale, il peso del comparto agricolo si stima attorno al 3%. Questa percentuale diminuisce a Mestre e Marghera dove si aggira attorno al 1% del PM10 totale.

Considerando invece la sola quota di PM10 di origine *locale* (relativa alle emissioni nel *nest*), la tabella 3.4 riporta la ripartizione dei contributi emissivi, che ancora una volta varia nel territorio indagato in funzione della distribuzione delle sorgenti.

La mappa in figura 3.4 riporta un esempio di distribuzione delle concentrazioni di PM10 per la zona considerata.

Scenario	Concordia	Noale	Mestre	Marghera
sc1 - traffico	24%	26%	29%	14%
sc2 - industria	13%	29%	41%	44%
sc3 - porto	8%	9%	15%	30%
sc5 - riscaldam.	15%	20%	9%	6%
sc6 - agricoltura	40%	16%	5%	5%

Tabella 3.4: Ripartizione del peso delle sorgenti emissive sul PM10 *locale*

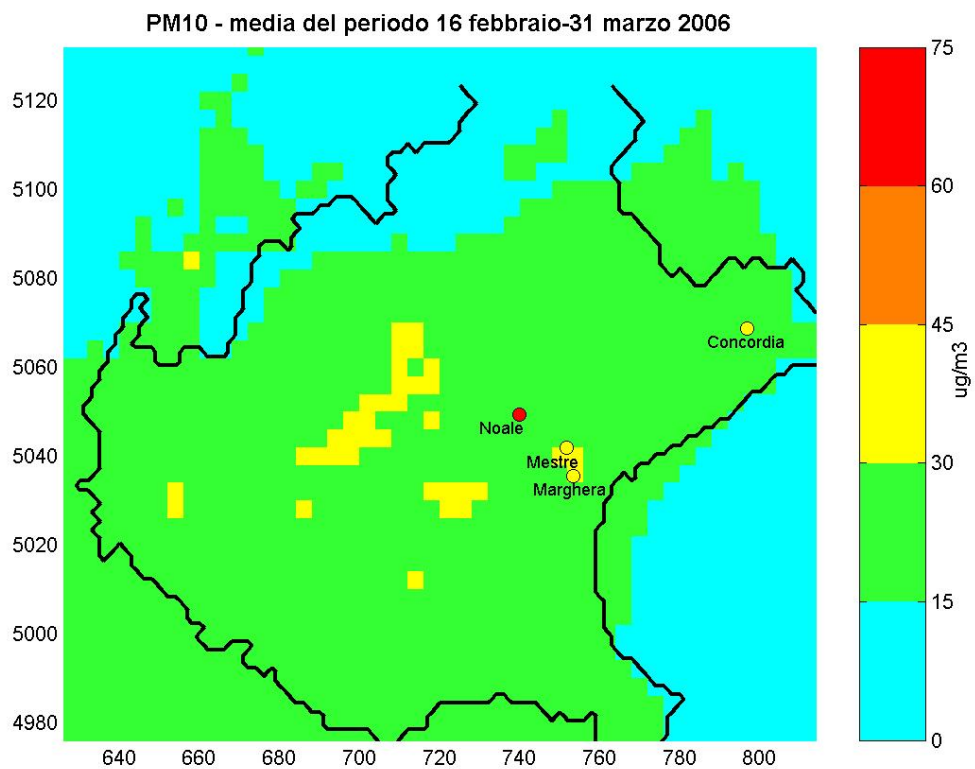


Figura 3.4: Esempio di distribuzione delle concentrazioni di PM10

# Capitolo 4

## Conclusioni

Gli scenari descritti forniscono informazioni in merito a diversi aspetti della dispersione di inquinanti nel comprensorio veneziano.

Il modello ISC3 è un modello di tipo gaussiano, di conseguenza stima le concentrazioni solo al suolo e non può simulare reazioni per la formazione di inquinante secondario. Il modello CAMx è un modello fotochimico euleriano che permette la modellizzazione dell'inquinante secondario oltre che del primario.

Un altro elemento da tenere in considerazione è dato dalle diverse scale, temporali e spaziali, considerate. Nel caso del modello ISC3 lo studio ha considerato le emissioni di due anni, suddivise per stagioni, in un dominio di  $50 \times 50 \text{ km}^2$ . CAMx è stato utilizzato per poter confrontare i dati di un periodo di misurazione di meno di due mesi, per un'area di  $200 \times 168 \text{ km}^2$ . Le sostanziali differenze nei parametri e nei fenomeni descritti dai due modelli e il fatto che sono stati applicati a domini spaziali e temporali differenti non permettono un reale confronto quanto l'analisi di aspetti diversi dello stesso fenomeno.

### 4.1 Scenari ISC3

Riassumiamo le conclusioni ottenute dalle simulazioni con il modello ISC3.

Ricordando che:

- Il modello ISC3 simula solamente particolato di tipo primario.



- La mancanza di informazioni dettagliate sulla quantità di particolato emesso rende difficile interpretare le differenze tra i due anni di simulazione.
- I valori riscontrati si riferiscono alle sole emissioni industriali dell'area di Marghera.
- Il dominio considerato è molto limitato.
- Il modello ISC3 non può simulare profili di vento variabili lungo la verticale (velocità e direzione), dato che utilizza classi di stabilità;
- Fenomeni particolari quali calma di vento e brezza marina non vengono simulati.
- Il modello ISC3 fornisce indicazioni di tipo medio per sua impostazione intrinseca; tali indicazioni vanno integrate con informazioni più dettagliate.

Possiamo affermare che la dispersione di inquinante primario dovuto a sorgenti di tipo industriale della zona di Marghera avviene principalmente in direzione sud-ovest. Nelle singole stagioni la direzione trasversale (nordovest - sudest) del pennacchio cambia e varia anche a seconda degli anni, comprendendo zone più o meno vaste. L'impossibilità di simulare fenomeni quali brezza marina o calma di vento è di per se un forte limite di cui tener conto nell'interpretazione degli scenari. Da ricordare ancora una volta che viene simulato solo particolato primario.

Dovendo effettuare un monitoraggio, questa simulazione può essere vista solo come indicazione di massima per un fenomeno ben più complesso. Ulteriori indagini di campo sono necessarie per definire i parametri utili per la specifica zona di Venezia.

## 4.2 Scenario CAMx

Considerando che:

- La catena modellistica utilizzata (CALMET - CAMx) risulta ancora carente nella simulazione della formazione organica secondaria con aspetti critici relativi a:
  1. profili di speciazione del PM10, derivati da riferimenti bibliografici relativi a realtà diverse da quella veneziana;

2. sottostima di parte delle emissioni primarie;
  3. sottostima del contenuto d'acqua dell'atmosfera;
- Le trasformazioni in atmosfera sono molto complesse e quindi vi è una non linearità nella risposta del modello.

Concludiamo che:

- Il confronto tra risultati modellistici e dati del monitoraggio ha mostrato una buona riproduzione degli andamenti temporali e dei livelli medi giornalieri di PM10 durante i periodi di “pulizia dell'atmosfera” (giorni immediatamente seguenti a perturbazioni atmosferiche che esercitano azione dispersiva particolarmente intensa, nonché di dilavamento e deposizione dell'aerosol), mentre le differenze tra osservato e calcolato crescono durante i periodi di “saturazione” dell'atmosfera.
- La dinamica di formazione del particolato inorganico secondario è ben descritta dal modello, mentre la componente organica è sottostimata.
- Gli scenari di emissione presentati forniscono una prima stima indicativa del contributo dell'emissione locale sui livelli di PM10; tale stima varia nel dominio indagato, in percentuali comprese tra circa 30 e 50% del PM10 misurato direttamente. Questo risultato suggerisce che la dinamica di formazione degli aerosol avviene su scala regionale e di Bacino Padano.
- Ad una variazione delle emissioni corrisponde una variazione dei livelli di concentrazione di intensità minore, con effetti diversificati nelle diverse componenti del PM10; l'effetto di riduzione sulle componenti inorganiche secondarie, che hanno tempi e scala di formazione diverse rispetto all'aerosol primario, è smussato e meno evidente. La riduzione della componente primaria di origine antropica locale non è sufficiente ad abbassare significativamente i livelli di concentrazione.

# Bibliografia

- [1] Kouridis C., Ntziachristos L., and Samaras Z. *COPERT - Version 2.1*. Aristotele University Thessaloniki, 2000. <http://lat.eng.auth.gr/copert> - ultimo accesso 4 aprile 2008.
- [2] ENVIRON International Corporation. *Comprehensive Air Quality Model with extensions (CAMx)*. ENVIRON International Corporation USA, 2004.
- [3] Briggs G.A. *Diffusion estimation for small emissions in environmental research laboratories - Annual report*. Air Resources Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory, 1973.
- [4] Gnocchi A. and Malvasi G. and Maffei G. and Lorenzet K. and Susannetti L. and Benassi A. Stima delle emissioni in atmosfera nella laguna di venezia secondo un approccio integrato Top-Down e Bottom-Up. *Ingegneria Ambientale*, 7:359–368, 2006.
- [5] Biancotto R. and Piovesan M. and Pistollato S. and Rosa M. and Gemello C. *Studio pilota sulla caratterizzazione del PM10 in provincia di Venezia*. 2007. [http://www.arpa.veneto.it/dapve/docs/Studio\\_pilota\\_PM10\\_VE\\_dic2007.pdf](http://www.arpa.veneto.it/dapve/docs/Studio_pilota_PM10_VE_dic2007.pdf) - ultimo accesso 4 aprile 2008.
- [6] Rosa M., Pistollato S., and Zemello C. *Le emissioni aeroportuali*. 2007. [http://www.arpa.veneto.it/dapve/docs/Relazione\\_tecnica\\_emissioni\\_aeroportuali.pdf](http://www.arpa.veneto.it/dapve/docs/Relazione_tecnica_emissioni_aeroportuali.pdf) - ultimo accesso 4 aprile 2008.
- [7] Rosa M., Pistollato S., and Zemello C. *Le emissioni da attività portuale*. 2007. [http://www.arpa.veneto.it/dapve/docs/Relazione\\_tecnica\\_emissioni\\_portuali.pdf](http://www.arpa.veneto.it/dapve/docs/Relazione_tecnica_emissioni_portuali.pdf) - ultimo accesso 4 aprile 2008.
- [8] Pillon S., Dalan F., Maffei G., Liguori F., and Benassi A. *Applicazione modello fotochimico CAMx: caso di studio PM10 nel periodo febbraio-marzo 2006 e analisi del contributo locale in area veneziana*. 2007. <http://www.arpa.veneto.it/dapve/docs/>

Applicazione\_CAMx\_PM10\_relazione\_ORAR.pdf - ultimo accesso 4 aprile 2008.

- [9] Scire J. S., Robe F. R., Fernau M. E., and Yamartino R. J. *A user's guide for the CALMET Meteorological Model*. Earth Tech, USA, 2000.
- [10] U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY Office of Air Quality Planning and Standards, Emissions, Monitoring and Analysis Division. *User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion models*. EPA - U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park North Carolina 27711, 1995.