



Osservatorio Regionale Aria
Via Lissa, 6
30174 Venezia
Tel. +39 041 5445549
Fax +39 041 5445500
e-mail: orar@arpa.veneto.it

**Applicazione modello fotochimico CAMx:
caso di studio PM10 nel periodo febbraio-marzo 2006 e analisi del contributo
locale in area veneziana**

Autori: S. Pillon, F. Dalan, G. Maffeis, F. Liguori, A. Benassi

Maggio 2007

Indice

Introduzione	3
La catena modellistica utilizzata	4
Descrizione dell'applicazione modellistica	5
Il caso base	6
Scenari di emissione.....	13
Mappa 1: Scenario 1 - Traffico	21
Mappa 2: Scenario 2 - Industria.....	22
Mappa 3: Scenario 3 – Porto, Aeroporto e altri trasporti.....	23
Mappa 4: Scenario 5– Riscaldamenti.....	24
Mappa 5: Scenario 6 – Agricoltura	25
Conclusioni	26
Fonti dati e riferimenti bibliografici.....	27
APPENDICE 1: IL MECCANISMO CHIMICO	28
APPENDICE 2: IL DATABASE DELLE EMISSIONI NELLA CATENA MODELLISTICA.....	31

Introduzione

Gli strumenti modellistici attualmente più utilizzati nello studio di inquinanti secondari quali O₃ e PM10 sono i modelli fotochimici euleriani che si caratterizzano per le seguenti proprietà:

- il dominio di calcolo è costituito da una griglia tridimensionale, la cui dimensione orizzontale è regolare e rimane fissata durante il run; in ogni cella la concentrazione degli inquinanti è il risultato dei processi di emissione, di trasporto orizzontale e verticale, della dispersione turbolenta, e delle trasformazioni chimiche (reazioni di fotolisi, reazioni di equilibrio in fase omogenea ed eterogenea, con costanti che variano con temperatura e pressione, e reazioni di coagulazione);
- l'emissione in ogni cella del livello di immissione (nell'applicazione specifica, il primo livello di altezza pari a 20 m) viene, all'inizio di ogni ora di run, omogeneamente distribuita indipendentemente dalle caratteristiche delle sorgenti, tranne per alcuni camini di elevata altezza e portata che vengono trattati come sorgenti puntuali con un modulo specifico: *plume-in-grid*;
- per ricostruire la reattività dell'atmosfera ed effettuare le trasformazioni chimiche, il modello si basa su di un meccanismo chimico¹ che consente di semplificare l'elevato numero di reagenti e di reazioni presenti in atmosfera; l'applicazione del meccanismo richiede una prima speciazione dei COV e del PM10 nelle numerose specie chimiche che li compongono (sulla base di profili di speciazione disponibili in letteratura, diversi per attività produttiva), e successivamente la trasposizione di ogni molecola in "*specie del meccanismo*" sulla base delle caratteristiche di reattività, dei gruppi funzionali o del destino in atmosfera;
- per stimare il flusso di inquinanti che entra nel dominio, ad ogni ora di simulazione, per tutti i livelli compreso il top², vengono fornite le condizioni al contorno, generalmente costituite dall'output di un altro modello fotochimico che simula lo stesso periodo di run su vasta scala e con risoluzione più bassa.

Il modello fotochimico necessita di un insieme complesso di input:

- input meteorologici per ogni cella della griglia 3D, che sono generalmente costituiti dall'output di un modello meteorologico, o sono, come nell'applicazione presente, il risultato di procedure di interpolazione spaziale e temporale a partire dalle misurazioni disponibili;
- input relativi al contenuto di acqua nelle nubi e di precipitazioni per ogni cella della griglia 3D, per la trattazione delle reazioni in fase eterogenea e delle deposizioni;
- tassi di fotolisi per le reazioni considerate dal modello;
- emissioni per ogni cella³ "speciate" (nelle specie del modello e disaggregate temporalmente⁴), almeno per il primo livello, oltre a quelle delle sorgenti puntuali eventualmente inserite;

¹ Il meccanismo chimico utilizzato nella presente applicazione è il Carbon Bond IV, del tipo *lumped structure* (v. appendice I e riferimenti), versione aggiornata da Carter (1996) per la chimica dell'isoprene e con estensione per la chimica dell'aerosol.

² Il top è l'ultimo livello del dominio per il quale è necessario fornire una concentrazione media di parte degli inquinanti trattati (tipicamente NO_x, O₃, PAN, aerosol); tali concentrazioni rimangono costanti in tutti le celle e per ogni ora di simulazione.

³ Il database delle emissioni è disponibile generalmente a livello provinciale; per ricostruire l'emissione cella per cella è stato necessario prima omogeneizzare l'inventario delle emissioni annue di settore a livello comunale attraverso la disaggregazione delle stime TD provinciali utilizzando le variabili proxy note a livello comunale (popolazione, addetti, superficie riscaldata ...) e successivamente applicare una procedura di disaggregazione spaziale basata sull'uso del suolo che attribuisce le emissioni dei differenti settori all'uso del suolo comunale più appropriato (ad esempio, settore riscaldamento domestico sull'urbanizzato).

⁴ Per passare dalle ton/anno all'emissione oraria, si applicano profili di disaggregazione temporale specifici per inquinante e macrosettore, che permettono di ricostruire l'emissione caratteristica di ogni ora del giorno, del tipo di giorno della settimana (feriale, prefestivo e festivo) e del mese; tali profili sono ulteriormente diversificati in funzione della provincia e della fascia climatica (pianura, collina, montagna).

- condizioni al contorno (espresse nelle specie del modello).

L'output di un modello euleriano deve essere considerato rappresentativo di una media di cella (nel caso specifico, di 4000x4000x20mc), quindi il confronto diretto con il dato monitorato risente della diversa rappresentatività della misura rispetto al modello.

Lo stato dell'arte della modellistica fotochimica, da quanto emerge dai più recenti lavori che compaiono in letteratura specialistica, nei convegni e dall'interconfronto con i risultati di diverse agenzie italiane (v. Rapporto Tecnico sulla applicazione di modellistica al Bacino Padano Adriatico http://www.apat.gov.it/site/files/rapporto_modellistica_finale_pdf.pdf) e europee (<http://aqm.jrc.it/citydelta>), è ancora carente per quanto riguarda la modellizzazione del PM10, in particolare per quanto concerne la formazione organica secondaria. Un'ulteriore fonte di incertezza risiede nei profili di speciazione del PM10 in emissione (composizione e presenza di composti organici e carbonio elementare).

La catena modellistica utilizzata

L'Osservatorio Regionale Aria di ARPAV, in seno al progetto SIMAGE I Lotto⁵ ha implementato sul territorio regionale la catena modellistica CALMET-CAMx, sfruttando i codici liberamente distribuiti dall'EPA e costruendo una serie di preprocessori che, a partire dal database delle stazioni meteo del Centro Meteo di Teolo e dalla stima delle emissioni risultato della task 1 del Progetto, ha permesso di ricostruire gli input necessari al modello fotochimico.

Le condizioni iniziali e al contorno sono state fornite dal modello continentale CHIMERE mantenuto operativo dal Servizio francese PREV'AIR di INERIS. CHIMERE utilizza un meccanismo chimico⁶ diverso da CAMx e gira su una griglia in 0.5°x0.5° (circa 40x50 km).

I tassi di fotolisi sono stati calcolati mediante l'applicazione del modello di trasferimento radiativo TUV⁷.

Non avendo a disposizione l'output di un modello meteorologico, il contenuto di acqua in ogni cella è stato ottenuto mediante interpolazione dei dati delle stazioni sinottiche presenti nel territorio, utilizzando alcuni riferimenti di letteratura per associare ad ogni tipo di nube, nei livelli basso medio e alto (là dove è disponibile l'osservazione), il contenuto d'acqua in g/cm³.

Attualmente gli input considerati più critici nella presente applicazione modellistica, con particolare riferimento al PM10 sono:

- le emissioni primarie, in quanto non viene trattato né il risollevarimento né l'aerosol marino, inoltre la componente di trasporto naturale dai bordi è sottostimata (perché non presente nell'output del modello continentale CHIMERE);
- contenuto d'acqua (che si riflette in particolare sulla formazione di solfati).

L'utilità della valutazione modellistica consiste sia nella mappatura che nell'analisi di scenario. Per i risultati inerenti la taratura del modello (concentrazioni di gas e aerosol) si rimanda al rapporto tecnico della task 5 del progetto SIMAGE, mentre l'analisi seguente è focalizzata sulla stima del PM10 nel periodo febbraio-marzo 2006.

⁵ Il Progetto "SIMAGE I Lotto" è stato finanziato dalla Regione del Veneto con DGR n. 4013 del 31.12.2001 e coordinato da ARPA Veneto (Responsabile di progetto ing. Sandro Boato, Responsabile tecnico dr. Alessandro Benassi), con il supporto della Conferenza Permanente di progetto.

⁶ Melchior2 tipo *lumped species*, per dettagli vedi manuale CHIMERE al sito <http://euler.lmd.polytechnique.fr/chimere>.

⁷ Tropospheric Ultraviolet and Visible MODEL vs 4.0 per CAMx, Madronich et al., 1998, distribuito dal National Center of Air Research al sito www.acd.ucar.edu/TUV.

Descrizione dell'applicazione modellistica

Lo scopo del presente studio è ottenere una prima valutazione dell'importanza dell'emissione locale nella formazione del PM10 nell'area veneziana. Lo studio si avvale del 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, che ha permesso di approfondire e interpretare i risultati modellistici ottenuti.

Data la complessità del fenomeno e la scala regionale di formazione del PM10, l'applicazione modellistica è stata condotta su un dominio di 200x168 km comprendente tutta la pianura veneta e una porzione della zona montana (riquadro esterno in figura 1). La risoluzione di calcolo è 4x4km; per un approfondimento del caso base è stata aumentata la risoluzione a 1x1km in una porzione rettangolare del dominio comprendente la provincia di Venezia, gran parte della provincia di Treviso e una porzione di quelle di Padova e Rovigo (riquadro interno in figura1).

In tale porzione sono stati successivamente effettuati degli scenari di emissione focalizzati alla valutazione del contributo di determinati gruppi emissivi sulla formazione del PM10 in area veneziana. Si è ritenuto opportuno comprendere anche le aree urbane di Padova e Treviso, potenziali fonti di precursori del particolato secondario.

Figura 1: Dominio di calcolo



Il caso base

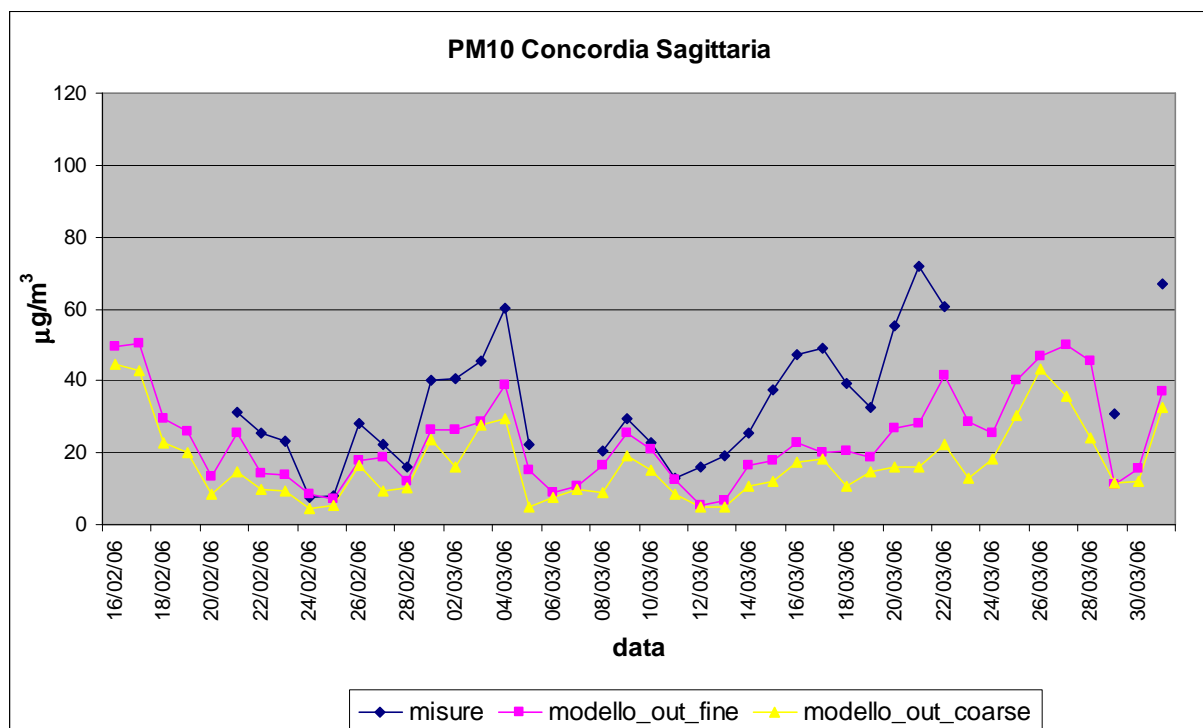
Allo scopo di approfondire la valutazione degli apporti locali, la stima delle emissioni (incrocio *bottom up* – *top down* Task 1 Progetto SIMAGE⁸) è stata parzialmente aggiornata per il macrosettore 8 con la stima *bottom up* del porto e dell'aeroporto effettuata dal DAP VE. Inoltre nella sola provincia di Venezia la disaggregazione *top down* del macrosettore 7 (traffico) è stata sostituita dalla stima *bottom up* effettuata da ORAR mediante applicazione della metodologia COPERT III. In questo caso la ripartizione delle emissioni su cella è stata fatta mediante sovrapposizione della griglia di lavoro con il grafo provinciale (le celle su cui viene assegnata l'emissione da traffico sono solo quelle in cui ricade una porzione del grafo). Il vantaggio atteso nell'introduzione del nest (che comporta però un aumento significativo dei tempi di calcolo) è relativo ad una più realistica distribuzione delle emissioni.

Si rimanda all'allegato 2 per il dettaglio sul database delle emissioni implementato.

PM10: confronto modello/misura

I risultati dell'applicazione modellistica sono visualizzati nei seguenti grafici in cui si presenta il confronto tra concentrazioni misurate e medie giornaliere degli output orari di PM10⁹, estratti nelle celle in cui ricadono i siti di monitoraggio: Concordia Sagittaria, sito di background rurale in figura 2, Noale sito di traffico urbano, in figura 3, Mestre, sito di background urbano in figura 4, e Marghera, sito di background industriale in figura 5. Nei grafici sono tracciati i due output modellistici: quello ottenuto con griglia di risoluzione 4x4kmq ("out-coarse") e quello ottenuto con griglia 1x1 kmq ("out-fine").

Figura 2: Concordia Sagittaria, confronto misura/modello.



⁸ Per una descrizione dettagliata della stima delle emissioni regionali si rimanda al rapporto tecnico della task 1 SIMAGE.

⁹ L'output del modello è costituito dai campi orari delle diverse specie del modello; per il confronto con la misura, la stima di PM10 si ottiene sommando per ogni cella e per ogni ora le diverse specie che rappresentano l'aerosol nel modello. Si veda l'appendice 1 per informazioni di dettaglio.

Figura 3: Noale – pz.tta del grano, confronto misura/modello.

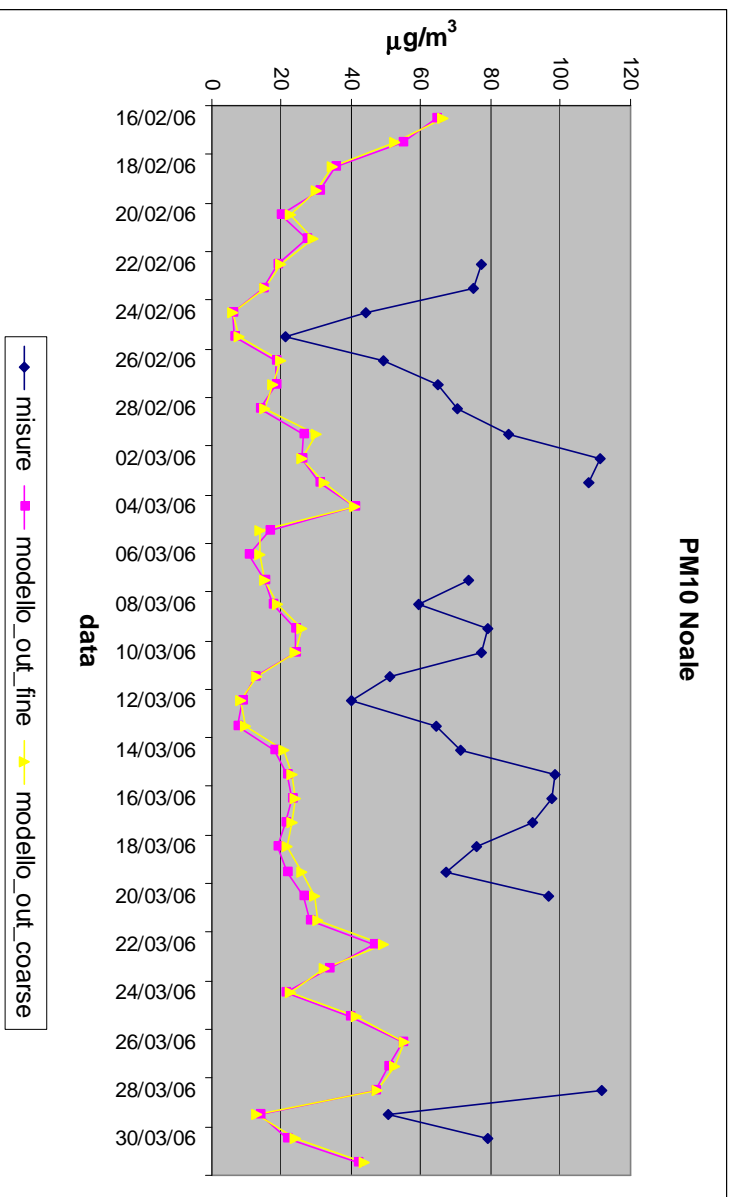


Figura 4: Mestre, via Lissa, confronto misura/modello.

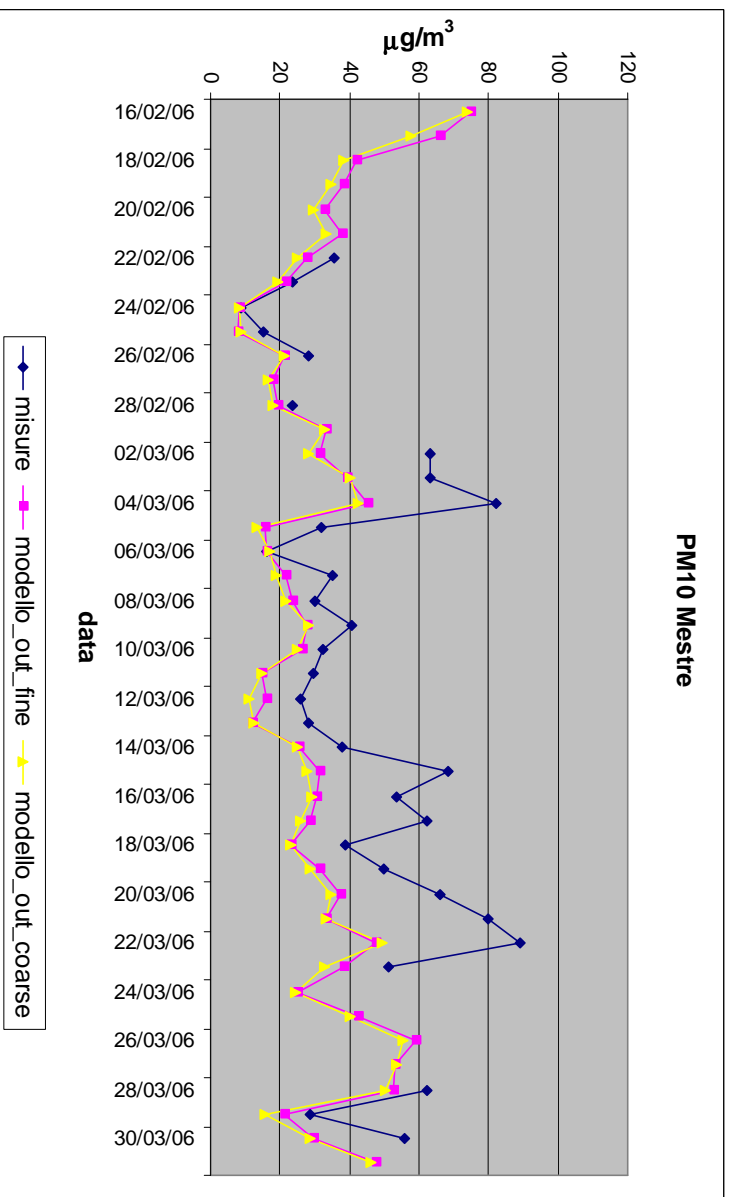
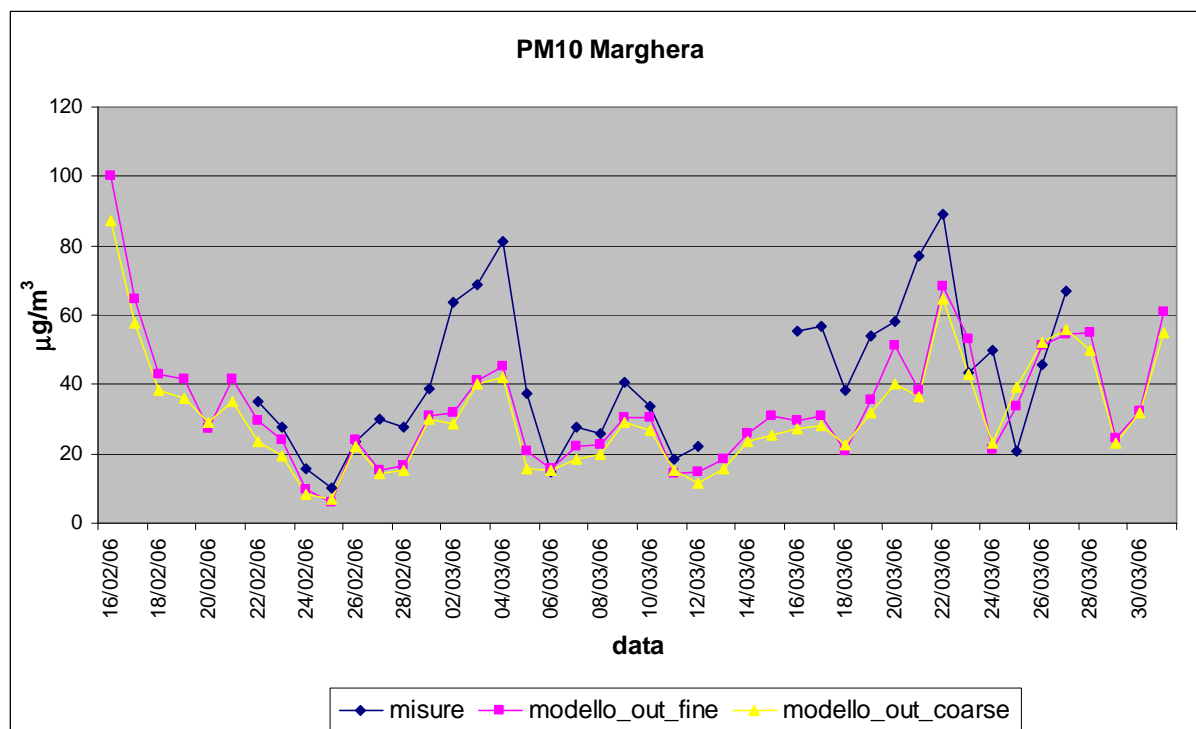


Figura 5: Marghera – loc. Moranzani, confronto misura/modello.



L'introduzione di un input emissivo di maggior dettaglio (nest e *bottom up* macrosettore 7) gioca un ruolo positivo su Concordia Sagittaria, probabilmente perché permette di riconoscere l'area urbana rispetto alla zona rurale circostante, mentre non migliora sostanzialmente l'output negli altri 3 siti, comunque inseriti in un'area densamente antropizzata (l'emissione media per cella di 1x1kmq non differisce sostanzialmente da quella di cella 4x4kmq).

Il confronto con i dati del monitoraggio evidenzia l'ottima correlazione tra osservato e calcolato (con coefficienti di correlazione tra 0.8 e 0.9) e la buona riproduzione delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 durante i momenti di "pulizia dell'atmosfera" (24-25/02, 6 e 11/03). All'aumentare della "saturazione" dell'atmosfera invece il gap tra misura e modello incrementa.

Il sito meglio riprodotto è Marghera in area di ricaduta industriale dove è maggiore la componente primaria antropica, mentre Noale risulta il meno riproducibile dal modello, a causa della scarsa rappresentatività spaziale del sito di misura, inserito in un contesto topografico che non può essere riprodotto neanche alla scala 1x1 kmq (incrocio cittadino, circondato da edifici di 2 piani, che creano un canyon quadrato con caratteristiche di scarsa ventilazione).

La speciazione in anioni/cationi e carbonio totale effettuata dal DAP VE nel periodo in esame, ha permesso un ulteriore confronto tra modello e misura, relativamente alla componente inorganica secondaria, costituita nella maggior parte da nitrati, solfati e ammonio. In questo caso, v. figure da 6 a 9, il modello mostra un'ottima riproduzione sia dei livelli di concentrazione che degli andamenti temporali. Si nota comunque una tendenza alla sovrastima del nitrato, mentre le medie giornaliere di solfato sono generalmente sottostimate, probabilmente a causa della scarsa disponibilità di acqua in input al modello. La componente che risulta meglio descritta è l'ammonio: è probabile quindi che in condizioni di scarsa disponibilità di acqua rispetto alle condizioni reali, il modello produca preferenzialmente nitrato d'ammonio piuttosto che solfato d'ammonio. In ogni caso l'errore nella stima della componente inorganica secondaria è molto contenuto, specie in relazione alla sottostima del PM10 in periodi di crescita delle concentrazioni in atmosfera. Nonostante la scarsa rappresentatività di Noale, l'errore relativo alla componente inorganica è paragonabile agli altri tre siti. La dinamica di formazione del particolato inorganico secondario sembra dunque essere ben descritta dal modello.

Figura 6: Componente inorganica del PM10 a Concordia Sagittaria, confronto misura/modello

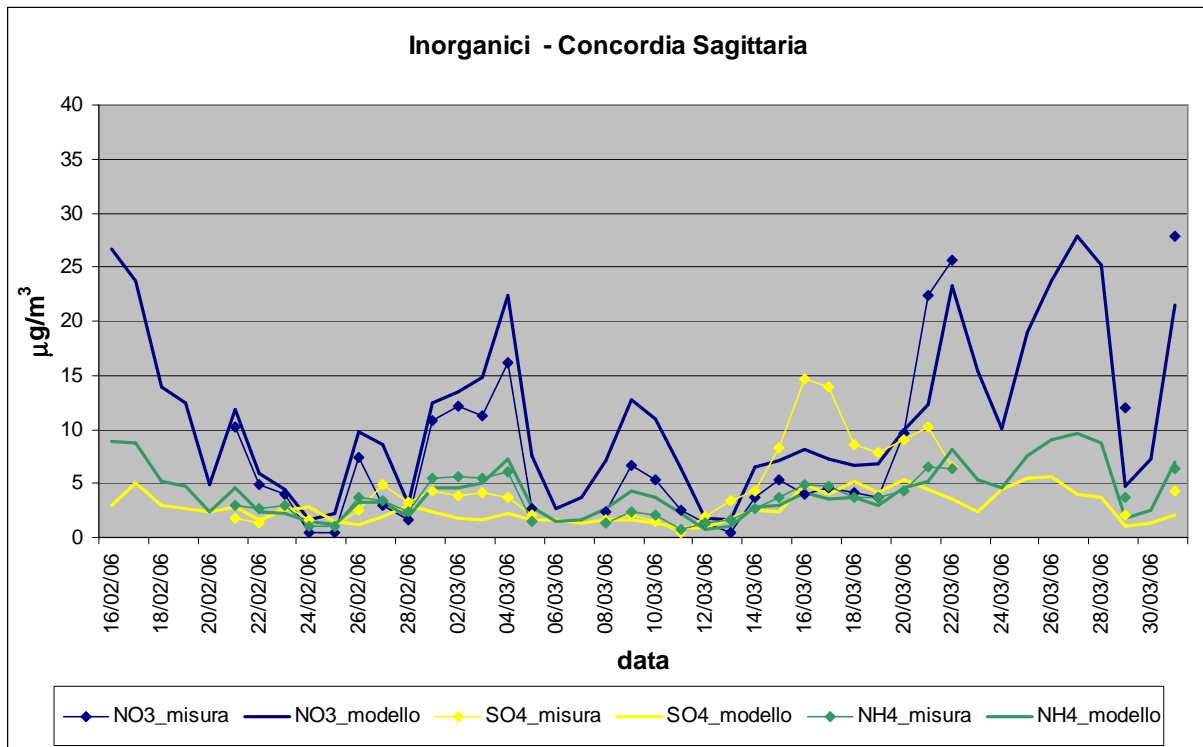


Figura 7: Componente inorganica del PM10 a Noale, confronto misura/modello

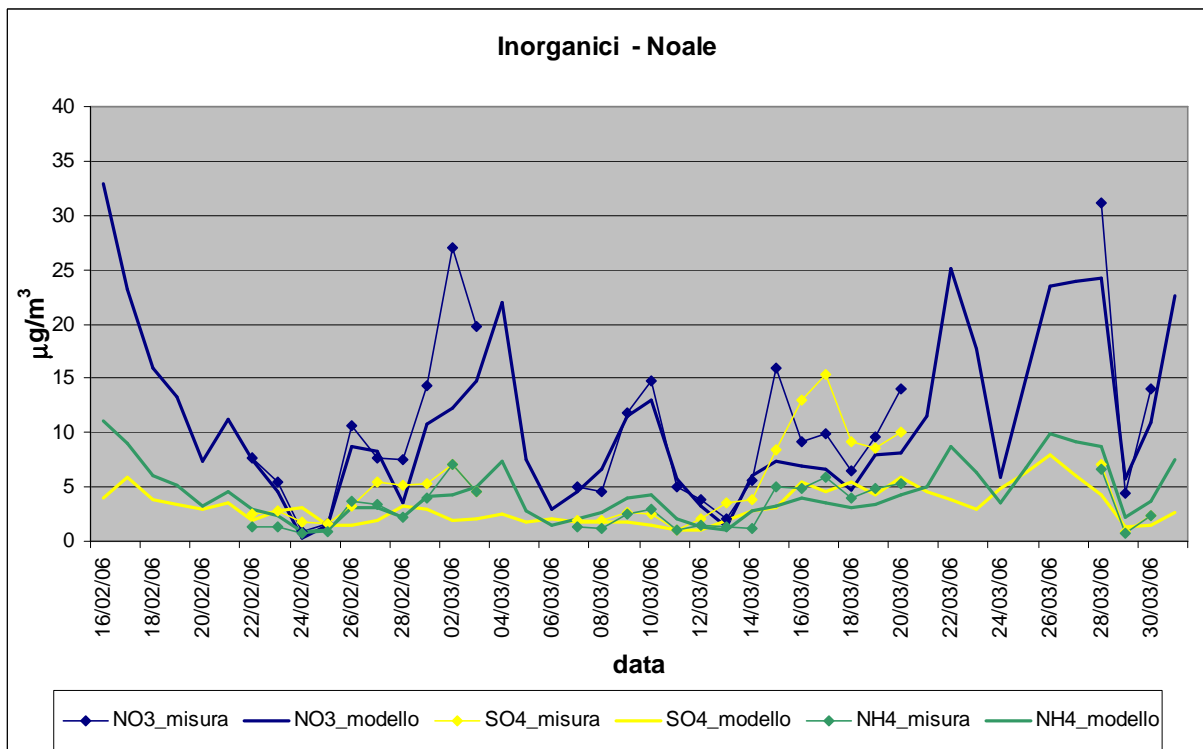


Figura 8: Componente inorganica del PM10 a Mestre, confronto misura/modello

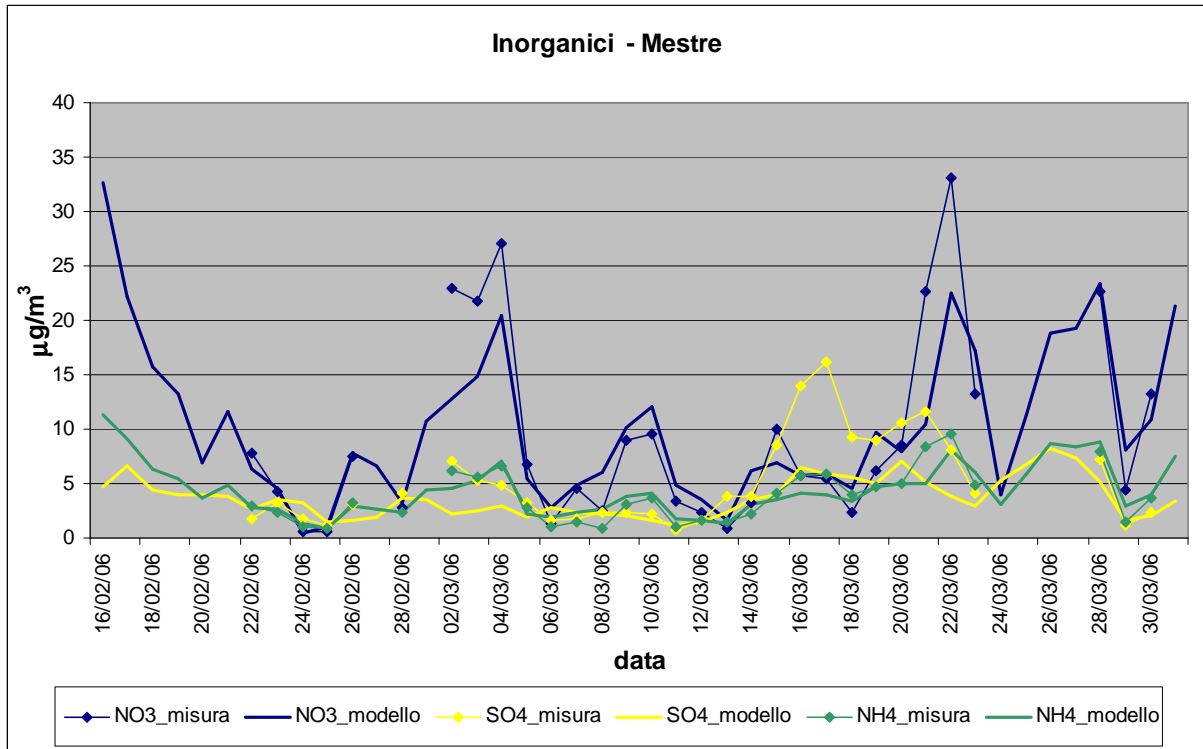
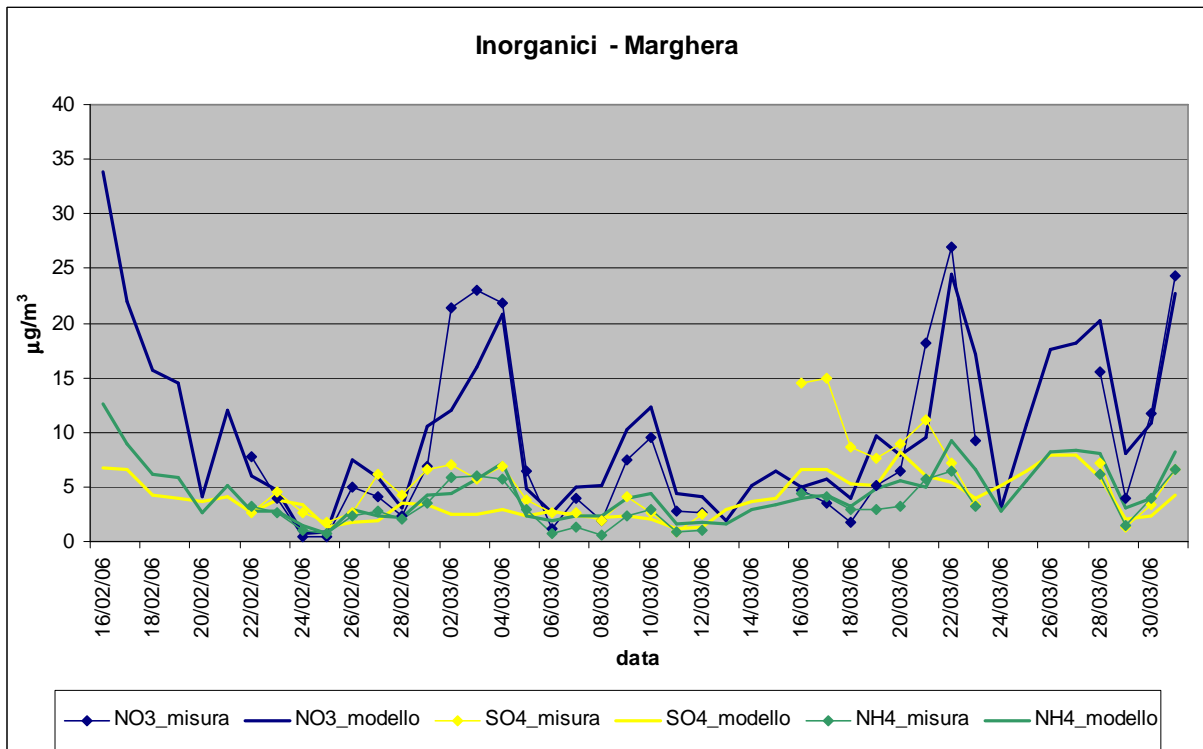


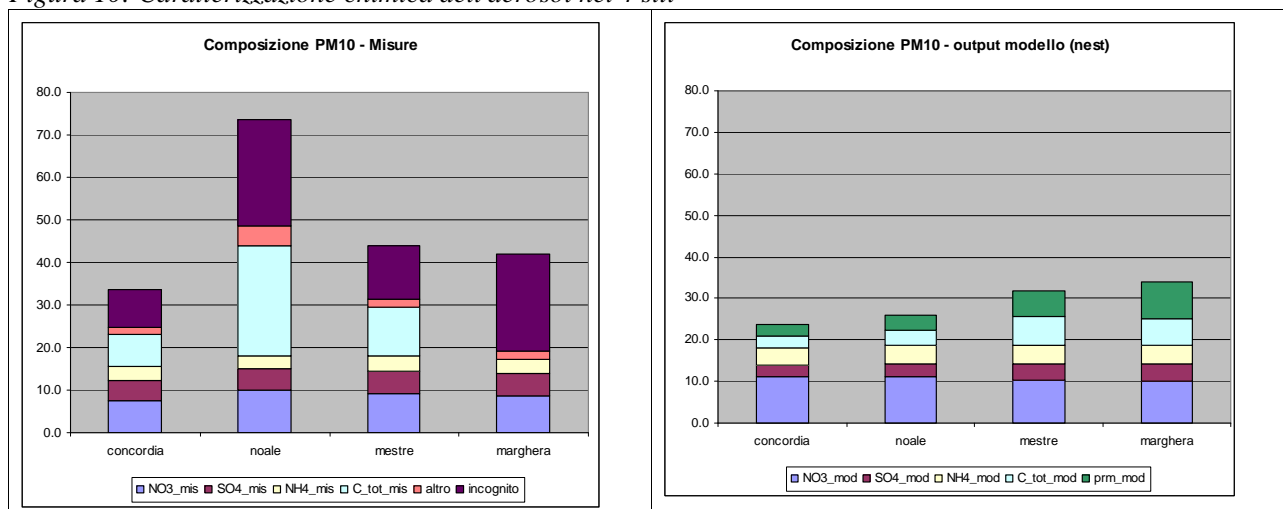
Figura 9: Componente inorganica del PM10 a Marghera, confronto misura/modello



Per quanto riguarda la caratterizzazione dei siti, v figura 10, l'output modellistico, limitatamente alle componenti che il sistema è in grado di riprodurre, conferma la speciazione chimica ottenuta con le misure, all'infuori di Noale, dove la frazione primaria è, come già anticipato sottostimata. Da un punto di vista modellistica, il sito di Noale risulta comunque interessante poiché si configura come una zona di incontro tra le masse d'aria ricche ammoniacale generata dal comparto agricolo (comunque nel mese di febbraio bisogna ricordare che il fattore di emissione è molto meno importante rispetto ai mesi primaverili ed estivi) e NO₂ di origine urbana. Dal confronto risulta evidente che il modello sottostima ampiamente la componente organica del particolato, nonché una quota del primario che comprende tra le altre, quella di origine terrigena (carbonati, alluminosilicati).

Escludendo il sito di Noale, modello e misura concordano nella distribuzione spaziale delle concentrazioni, con valori medi molto simili in tutti i siti per quanto riguarda la componente inorganica, mentre con livelli crescenti di carbonio totale e frazione primaria passando dal sito rurale di Concordia a quelli urbano-industriali di Mestre e Marghera.

Figura 10: Caratterizzazione chimica dell'aerosol nei 4 siti

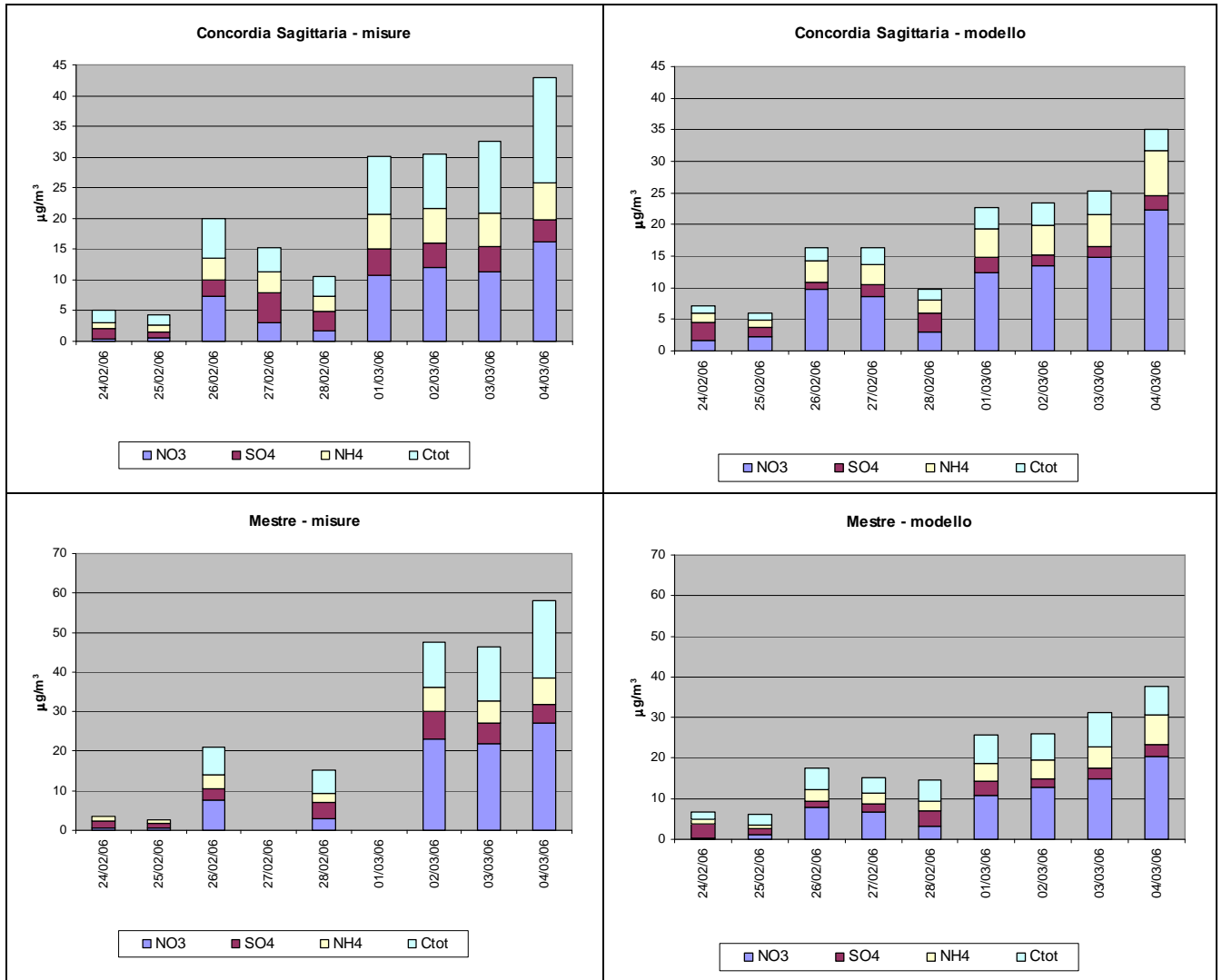


I grafici soprastanti rappresentano le medie di PM10 nei 4 siti relativamente al periodo 16 febbraio – 31 marzo 2006: a destra l'output del modello e a sinistra le osservazioni. Nitrati, solfati, ammonio e carbonio totale di entrambe le figure sono direttamente confrontabili, mentre con il verde viene rappresentata la restante frazione primaria del PM10 del modello, con l'arancio i restanti anioni e cationi misurati (Ca, F, Cl, Na..) e con il viola la frazione incognita (rimasta non specziata) delle misure. Si noti che non è stata effettuata l'analisi del carbonio totale per il sito di Marghera, la cui quota risulta quindi compresa nell'incognito.

Nei grafici di figura 11 è presentato un approfondimento del confronto tra misura e modello nel periodo dal 24 febbraio (in cui si registrano bassi livelli di concentrazione in tutta l'area in esame a seguito del passaggio di una perturbazione) al 4 marzo (momento massima concentrazione prima del successivo momento di "pulizia" dell'atmosfera). Sono state considerate le due postazioni di Concordia (rurale) e Mestre (urbana – industriale), in cui si ha un diverso peso delle componenti primaria e secondaria, e le sole componenti direttamente confrontabili (nitrati, solfati, ammonio e carbonio totale).

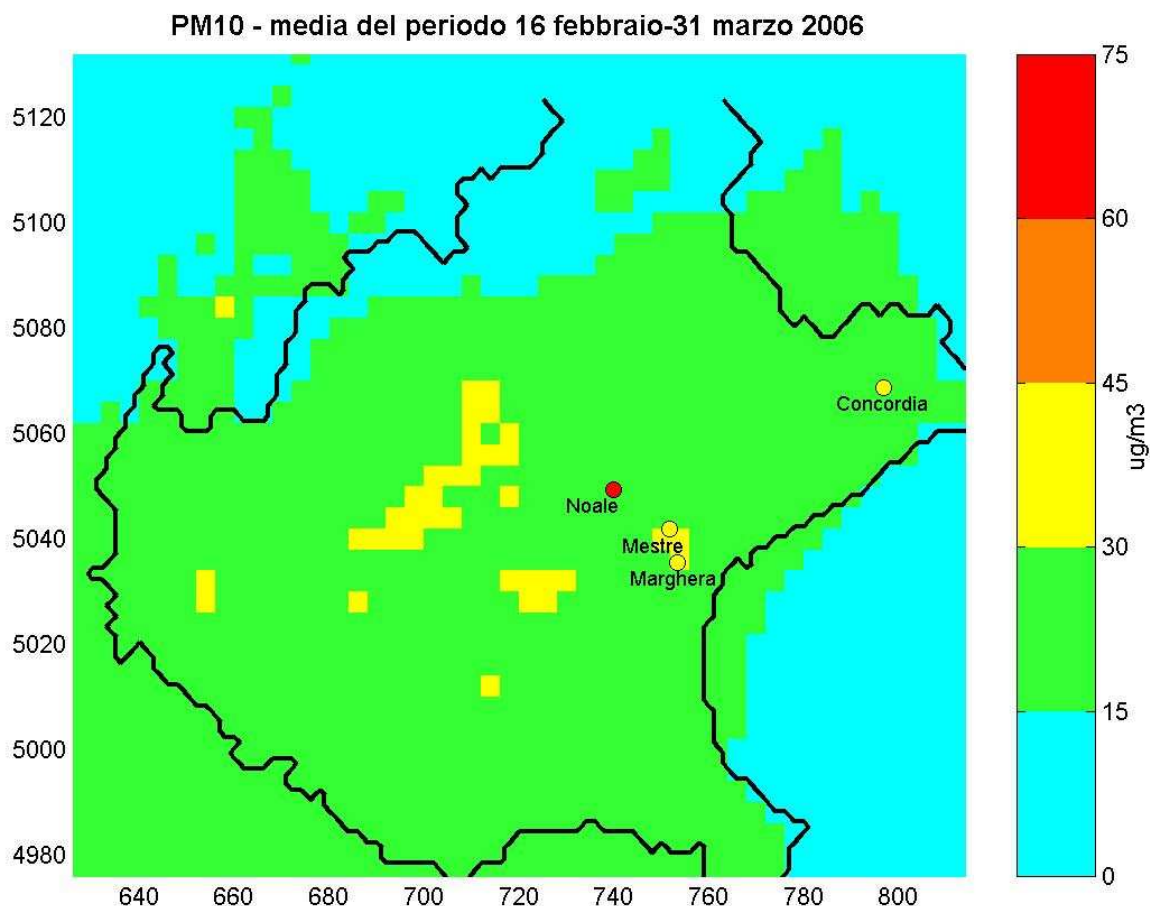
E' evidente dai grafici come il modello riesca a riprodurre correttamente la formazione inorganica (si conferma la tendenza alla sottostima del solfato, per i motivi sopra esplicitati), mentre la componente che non riesce a crescere correttamente è quella relativa al carbonio totale (sia di formazione secondaria, che probabilmente di origine primaria e di risollevarmento).

Figura 11: Caratterizzazione chimica dell'aerosol durante la "ricarica" dell'atmosfera



Nella mappa di figura 12 viene riportata la media durante il periodo di simulazione del PM10 calcolato dal modello, sovrapposta nei siti di misura con la media ottenuta dai campionamenti (entrambe rappresentate con la stessa scala cromatica).

Figura 12: Mappa del PM10 medio nel periodo di simulazione



Scenari di emissione

Data la complessità delle reazioni chimiche gestite dal modello e la conseguente potenziale non linearità delle trasformazioni (emissioni *vs* concentrazioni), la valutazione del contributo di ogni sorgente di emissione sulla formazione del PM10 non può essere semplicemente effettuata eliminando di volta in volta l'emissione di un determinato macrosettore e calcolando la riduzione relativa delle concentrazioni. Per cercare di non modificare sostanzialmente la composizione dell'atmosfera, si è preferito effettuare scenari di riduzione del 50% delle emissioni per gruppi emissivi distinti. La riduzione ha riguardato solamente il dominio interno del nesting, per diversificare l'apporto locale da quello regionale. Tale studio potrebbe comunque risentire in parte della mancata variazione delle condizioni al bordo est (molto vicino alla zona di riduzione, ma per necessità di costruzione della catena modellistica, rimasto invariato nei 6 scenari di emissione).

I risultati devono quindi essere interpretati come segnale dell'importanza relativa di una categoria di emissione rispetto all'altra nel determinare i livelli di concentrazione simulati dal modello.

In tabella 1 si riportano gli scenari di riduzione implementati, mentre in tabella 2 il computo delle emissioni totali in $\text{ton}/\text{giorno}^{10}$ con la variazione tra ogni scenario e il caso base. Con *dominio* si intende la porzione di territorio compresa nel riquadro esterno di figura 1 (che comprende quindi anche parte delle regioni confinanti Lombardia, Emilia Romagna, Trentino e Friuli), mentre con *nest* quella compresa nel riquadro interno.

¹⁰ Tali emissioni sono il risultato dell'applicazione dei fattori di disaggregazione temporale e quindi sono specifici del periodo febbraio-marzo.

Tabella 1: scenari di emissione studiati

Scenario	Riduzione	Macrosettori interessati
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 (comporto agricolo)

Tabella 2: emissioni in ton/day nei diversi scenari(a) e riduzioni relative rispetto al caso base (b)

a)

scenario	ton/day							
	PM10		NOx		SO2		NH3	
	dominio	nest	dominio	nest	dominio	nest	dominio	nest
base	73.6	21.9	501.2	195.6	277.7	100.2	197.3	59.4
sc1	70.4	18.8	463.1	157.5	277.0	99.5	196.4	58.4
sc2	70.0	18.4	466.9	161.3	236.3	58.8	193.9	55.9
sc3	71.8	20.2	487.9	182.2	272.7	95.2	197.3	59.4
sc4	68.7	17.0	449.8	144.1	271.9	94.5	196.4	58.4
sc5	71.4	19.8	489.5	183.9	275.2	97.7	197.3	59.4
sc6	73.6	21.9	501.2	195.6	277.7	100.2	172.4	34.5

b)

scenario	variazione %							
	PM10		NOx		SO2		NH3	
	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%

L'emissione messa in gioco negli scenari 1 2 3 5 e 6 costituisce praticamente la metà del totale dell'emissione di PM10 e precursori all'interno del nest: essendo la riduzione adottata per ogni scenario del 50%, i macrosettori non considerati nelle simulazioni non contribuiscono significativamente alla formazione del PM10 supportata dal modello¹¹. L'introduzione dello scenario 6, che in termini di emissione di PM10 e NOx è trascurabile, è finalizzata alla valutazione dell'importanza del connubio tra masse d'aria urbane cariche di NOx e SO₂ e di quelle rurali potenzialmente ricche di NH₃ (nonostante il periodo esaminato non sia quello di maggior emissione) nella formazione di nitrato e solfato di ammonio.

In tabella 3, 4 e 5 e nei grafici di figura 12 sono riassunti i risultati dell'analisi di scenario in termini di variazione media dei livelli di concentrazione del PM10 e delle diverse componenti.

¹¹ Il macrosettore 5, escluso dalla valutazione presentata, in realtà emette principalmente COV, che in atmosfera contribuiscono alla formazione di particolato organico secondario ma che, come esplicitato in precedenza, il modello non è ancora in grado di simulare correttamente.

Tabella 3: Medie di PM10 e componenti ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del periodo 16 febbraio-31 marzo nei 7 scenari di simulazione.

Concordia	PM10	NO3	SO4	NH4	C_org_prim	C_org_sec	resto
Caso Base	17.23	7.36	2.86	3.13	0.75	0.67	2.44
Sc1	16.67	7.07	2.85	3.05	0.61	0.67	2.41
Sc2	16.94	7.25	2.84	3.09	0.71	0.67	2.37
Sc3	17.03	7.28	2.85	3.11	0.71	0.67	2.42
Sc4	16.43	6.96	2.84	3.01	0.57	0.67	2.38
Sc5	16.89	7.27	2.82	3.09	0.65	0.67	2.37
Sc6	16.31	6.67	2.86	2.90	0.75	0.67	2.44

Noale	PM10	NO3	SO4	NH4	C_org_prim	C_org_sec	resto
Caso Base	26.96	11.67	3.30	4.63	3.23	0.59	3.53
Sc1	25.76	11.33	3.25	4.51	2.68	0.59	3.39
Sc2	25.61	11.45	3.15	4.51	2.91	0.58	3.01
Sc3	26.53	11.57	3.26	4.59	3.08	0.59	3.44
Sc4	25.26	11.17	3.22	4.45	2.53	0.59	3.30
Sc5	26.01	11.62	3.13	4.56	2.85	0.59	3.26
Sc6	26.20	11.14	3.27	4.45	3.23	0.59	3.52

Mestre	PM10	NO3	SO4	NH4	C_org_prim	C_org_sec	resto
Caso Base	29.87	10.60	3.61	4.47	4.85	0.63	5.71
Sc1	27.93	10.18	3.51	4.30	3.84	0.63	5.45
Sc2	27.07	10.23	3.42	4.27	4.25	0.63	4.28
Sc3	28.85	10.46	3.50	4.38	4.40	0.63	5.47
Sc4	26.86	10.01	3.40	4.21	3.39	0.63	5.21
Sc5	29.23	10.51	3.51	4.40	4.62	0.63	5.55
Sc6	29.51	10.34	3.60	4.38	4.85	0.63	5.71

Marghera	PM10	NO3	SO4	NH4	C_org_prim	C_org_sec	resto
Caso Base	31.25	10.33	3.80	4.46	4.86	0.67	7.12
Sc1	30.16	9.91	3.76	4.33	4.47	0.67	7.02
Sc2	27.94	10.01	3.61	4.27	4.14	0.66	5.26
Sc3	28.97	10.17	3.53	4.32	3.80	0.66	6.49
Sc4	27.84	9.71	3.50	4.17	3.41	0.66	6.39
Sc5	30.79	10.23	3.74	4.41	4.72	0.67	7.02
Sc6	30.85	10.04	3.79	4.37	4.86	0.67	7.12

In termini di concentrazioni assolute la variazione tra ogni scenario e il caso base è limitata ad alcuni decimi di $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per Concordia, attorno al $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per Noale e al massimo di un paio di $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per Mestre e Marghera. La variazione tra ciascun scenario e il caso base rappresenta la quota di PM10 (e delle sue componenti) che il modello stima essere imputabile al 50% dell'emissione del gruppo emissivo considerato nello scenario medesimo.

Lo scopo primario delle simulazioni degli scenari, oltre alla verifica dell'efficacia della riduzione delle emissioni, è di cercare di attribuire ad ogni comparto (traffico, industria, porto e aeroporto, riscaldamento e agricoltura) il contributo sui livelli di concentrazione di PM10, in termini almeno di componenti primaria e secondaria inorganica, sulle quali l'incertezza di stima del modello si è dimostrata accettabile. La scelta di effettuare scenari di riduzione del 50% per ciascun comparto, si ribadisce, è determinata dalla necessità di non modificare in maniera significativa (ed irrealistica rispetto al contesto di studio) i rapporti relativi tra gli inquinanti in atmosfera¹².

¹²Si ipotizza infatti, che nell'area di studio la capacità di trasformazione in particolato dei precursori della componente inorganica, in particolare NOx, sia verso un regime di "saturazione" (ovvero non tutte le emissioni di ossidi di azoto divengono nitrati in forma di particolato); in tal senso, una riduzione contenuta delle emissioni di tale precursore comporta una variazione delle concentrazioni di PM10 in proporzione meno intensa di quella che si ottiene con scenari di riduzione delle emissioni più significativi. Dato che, tranne nell'ultimo scenario, i comparti emissivi studiati mettono in gioco sostanzialmente emissioni di NOx e SO₂ (e molto più contenute di NH₃), riduzioni troppo spinte, oltre a produrre scenari poco realistici come politiche locali, possono portare ad una sovrastima del contributo attribuibile ad un determinato comparto rispetto a quello effettivamente ad esso imputabile in un'atmosfera inquinata.

Lo scenario 4 rappresenta la sovrapposizione degli scenari 1 (traffico) e 3 (altro trasporto), ed è stato impostato anche per studiare l'effetto di non linearità delle reazioni chimiche gestite dal modello L'effetto sinergico della riduzione del 50% dell'emissione di tutti gli inquinanti per i due macrosettori 7 e 8 nel nest è risultato molto contenuto: la somma delle variazioni assolute degli scenari 1 e 3 è solo di poco inferiore alla variazione assoluta dello scenario 4¹³.

Tabella 4: Variazione media % delle concentrazioni di PM10 e componenti

Concordia	PM10	NO3	SO4	NH4	C_org_prim	C_org_sec	resto
Sc1	-3%	-4%	0%	-3%	-18%	0%	-1%
Sc2	-2%	-2%	-1%	-1%	-6%	0%	-3%
Sc3	-1%	-1%	0%	-1%	-6%	0%	-1%
Sc5	-2%	-1%	-2%	-1%	-13%	0%	-3%
Sc6	-5%	-9%	0%	-7%	0%	0%	0%
somma scenari	-13%	-17%	-3%	-14%	-43%	0%	-9%
Sc4	-5%	-5%	-1%	-4%	-24%	0%	-3%

Noale	PM10	NO3	SO4	NH4	C_org_prim	C_org_sec	resto
Sc1	-4%	-3%	-2%	-3%	-17%	0%	-4%
Sc2	-5%	-2%	-5%	-3%	-10%	-1%	-15%
Sc3	-2%	-1%	-1%	-1%	-5%	0%	-3%
Sc5	-4%	0%	-5%	-2%	-12%	0%	-8%
Sc6	-3%	-5%	-1%	-4%	0%	0%	0%
somma scenari	-17%	-11%	-13%	-12%	-43%	-1%	-29%
Sc4	-6%	-4%	-3%	-4%	-22%	0%	-7%

Mestre	PM10	NO3	SO4	NH4	C_org_prim	C_org_sec	resto
Sc1	-7%	-4%	-3%	-4%	-21%	0%	-5%
Sc2	-9%	-3%	-5%	-4%	-12%	-1%	-25%
Sc3	-3%	-1%	-3%	-2%	-9%	0%	-4%
Sc5	-2%	-1%	-3%	-1%	-5%	0%	-3%
Sc6	-1%	-2%	0%	-2%	0%	0%	0%
somma scenari	-23%	-12%	-15%	-13%	-47%	-1%	-37%
Sc4	-10%	-6%	-6%	-6%	-30%	0%	-9%

Marghera	PM10	NO3	SO4	NH4	C_org_prim	C_org_sec	resto
Sc1	-3%	-4%	-1%	-3%	-8%	0%	-1%
Sc2	-11%	-3%	-5%	-4%	-15%	-1%	-26%
Sc3	-7%	-2%	-7%	-3%	-22%	0%	-9%
Sc5	-1%	-1%	-2%	-1%	-3%	0%	-1%
Sc6	-1%	-3%	0%	-2%	0%	0%	0%
somma scenari	-24%	-13%	-15%	-14%	-48%	-1%	-38%
Sc4	-11%	-6%	-8%	-7%	-30%	0%	-10%

In termini %, il modello così come è stato implementato, stima che il 50% dell'emissione locale del traffico contribuisce a determinare la concentrazione media di PM10 in quote pari a circa il 3% a Concordia, il 4% a Noale, il 7% a Mestre a 3% a Marghera.

Il 2% della concentrazione media del PM10 simulata a Concordia, il 5% a Noale, il 9% a Mestre ed il 11% a Marghera può essere attribuito al 50% dell'emissione del settore industriale (rappresentato sia da emissione su griglia che da camino, v. allegato 2).

Il 50% dell'emissione del macrosettore 8 conta un 1% sulle concentrazioni medie di Concordia, 2% di Noale, 3% e 7% rispettivamente a Mestre e Marghera. Il porto sembra avere un impatto

¹³ Ad esempio a Marghera, la variazione della media del PM10 dello scenario 1 rispetto al caso base è pari a 1.09 µg/m³, quella relativa allo scenario 3 è di 2.28 µg/m³, che sommate danno 3.37; la variazione della media di PM10 nello scenario 4 rispetto al caso base è 3.41 µg/m³. Tale differenza è da considerarsi trascurabile.

strettamente locale (maggiore a Marghera che a Mestre), mentre Noale e Concordia risentono principalmente dell'emissione degli altri settori, tra cui in particolare dei mezzi impiegati durante le pratiche agricole (l'importanza relativa di tale macrosettore in questi siti potrebbe quindi aumentare nei periodi primaverili e di fine estate).

Il riscaldamento domestico sembra contribuire in misura ridotta ai livelli di concentrazione, nonostante sia un'emissione praticamente diffusa su tutto il territorio regionale. Gli output modellistici riflettono l'elevato grado di metanizzazione del Comune di Venezia e lo scarso utilizzo di combustibili solidi, che giustificano il contributo del macrosettore 2 sul PM10 più basso a Mestre e a Marghera nonostante la densità abitativa maggiore.

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.

Nell'ipotesi di che la riduzione delle emissioni studiata non abbia significativamente alterato la composizione dell'atmosfera a livello locale, il contributo dell'emissione locale sulle concentrazioni di PM10 può essere stimato indicativamente pari al doppio della somma dei contributi attribuibili ai diversi comparti emissivi. E' necessario ribadire ulteriormente che questa stima risente sia della complessità delle trasformazioni in atmosfera, che non garantisce la linearità nella risposta del modello, sia della sottostima della componente organica del particolato.

Tenendo conto di queste incertezze, dai risultati modellistici si può stimare che l'emissione locale influisca sul 27% (13.4 x 2) delle concentrazioni di PM10 a Concordia, il 34% a Noale, il 46% a Mestre ed il 48% a Marghera.

Per quanto riguarda i nitrati, che costituiscono la maggior parte della componente secondaria calcolata dal modello, l'emissione locale influisce con un 34%¹⁴ a Concordia, mentre nei siti urbani questa quota scende attorno al 22-26%. In termini di concentrazioni assolute però il nitrato assume livelli maggiori in area urbana, dove probabilmente alla quota trasportata dall'area rurale si somma quella di formazione locale dovuta all'emissione urbana; in tal senso è interessante notare che c'è più nitrato a Noale che a Mestre e a Marghera nonostante le concentrazioni stimate di PM10 siano leggermente inferiori.

Per quanto riguarda la componente primaria di origine carboniosa, è interessante notare sia che risulta quasi totalmente di origine locale in tutti i siti, sia che a Concordia e Noale i settori che maggiormente contribuiscono ai livelli di concentrazione di questa componente sono il traffico e i riscaldamenti, mentre nel Comune di Venezia oltre al traffico, diventano importanti industria e porto. La restante emissione primaria non speciata si arricchisce principalmente nell'area urbana, con quota maggiore a carico del comparto industriale.

In tabella 5 è riportata la variazione percentuale di ogni componente non più rispetto alla concentrazione di tale componente nel caso base (es: $(NO_3 \text{ sc1} - NO_3 \text{ base})/NO_3 \text{ base}$), ma rispetto alla concentrazione media di PM10 sempre nel caso base (es: $(NO_3 \text{ sc1} - NO_3 \text{ base})/PM10 \text{ base}$). Le percentuali calcolate rispetto ai singoli scenari sono state dunque sommate e moltiplicate per 2 per essere riferite alla totalità dell'emissione locale di PM10 e precursori¹⁵.

Tabella 5: Suddivisione del contributo locale del PM10 nelle sue componenti

Sito	NO3	SO4	NH4	C_org_prim	C_org_sec	resto	totale
Concordia	-14.64%	-1.01%	-4.97%	-3.75%	-0.01%	-2.42%	-26.79%
Noale	-9.33%	-3.24%	-4.10%	-10.41%	-0.03%	-7.63%	-34.75%
Mestre	-8.43%	-3.53%	-3.96%	-15.35%	-0.03%	-14.04%	-45.34%
Marghera	-8.33%	-3.63%	-3.97%	-14.82%	-0.05%	-17.34%	-48.14%

¹⁴ La somma delle differenze delle concentrazioni di nitrato tra scenario e caso base, escludendo sempre lo scenario 4, costituisce la quota di nitrato attribuibile alla metà delle emissioni locali. Nelle ipotesi sopra esplicitate, è possibile estrapolare il contributo attribuibile al totale delle emissioni, moltiplicando per 2.

¹⁵ La colonna "totale" della tabella infatti, che riporta la somma per ogni riga delle celle precedenti, coincide con il doppio delle "somme scenari" del PM10 riportate in tabella 4.

Il PM10 di produzione locale a Concordia è costituito principalmente da nitrato, mentre nei siti urbani aumenta la quota di primari con valori più elevati in area di ricaduta industriale. Nei grafici di figura 13 si riportano le medie del periodo di run rispettivamente per PM10, nitrati e componente primaria (somma della componente carboniosa primaria e della restante frazione inerte) differenziate per scenario e sito. Vi si può notare che la variazione indotta sul sito rurale è molto blanda per ogni scenario, con un valore medio più elevato per lo scenario 6; le variazioni più significative si registrano per il sito industriale e sono principalmente legate al settore trasportistico (porto + traffico) e industriale. La variazione della componente nitrato tra i diversi scenari è invece più evidente per il sito rurale e quello urbano di Noale, mentre il PM10 messo in gioco nei vari scenari per il sito urbano-industriale di Mestre e industriale di Marghera è tendenzialmente di origine primaria.

Figura 13 a: Concentrazione del PM10 medio per sito e scenario

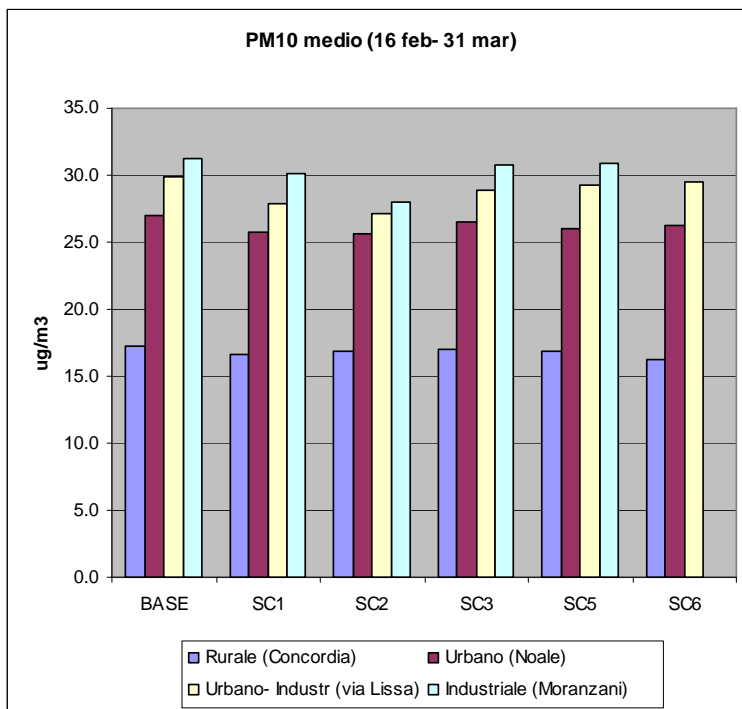


Figura 13 b: Concentrazione del nitrato medio per sito e scenario

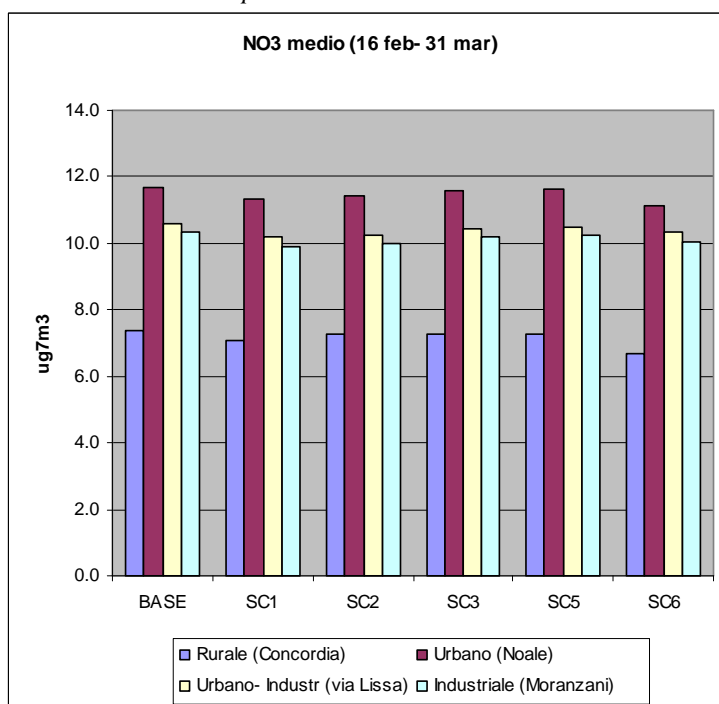
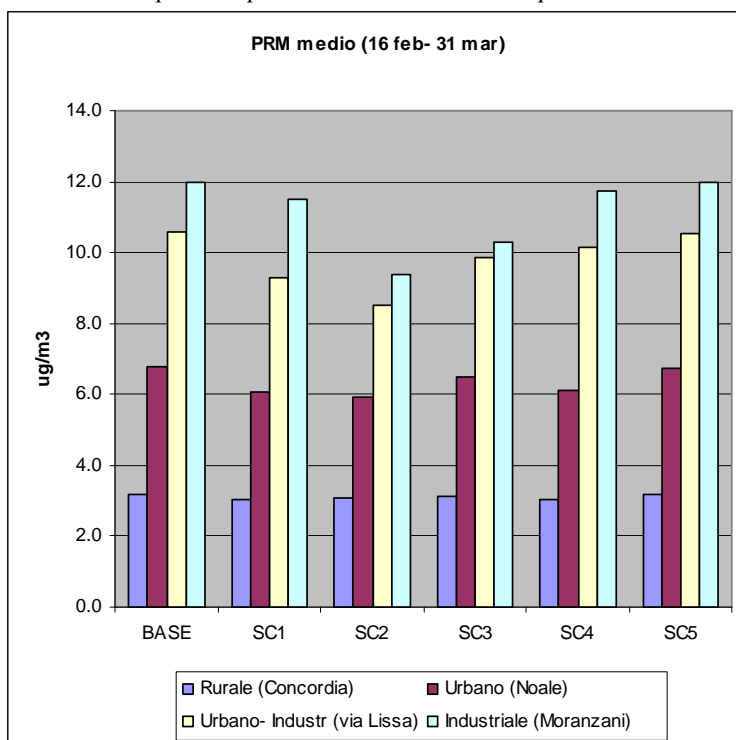


Figura 12 c: Concentrazione della componente primaria media del PM10 per sito e scenario



Considerando la sola componente di produzione locale, attribuita cioè alle emissioni dell’area di nest, la ripartizione del peso delle sorgenti nelle componenti del PM10 descritte dal modello, può essere calcolata a partire dalle differenze assolute tra ciascun scenario ed il caso base, ed è presentata in tabella 6. Tali quote rappresentano il PM10 “locale”¹⁶, che in precedenza abbiamo stimato indicativamente essere una percentuale attorno al 30% a Concordia e Noale e al 50% nel Comune di Venezia.

Tabella 6: PM10 “locale” e peso relativo dei diversi comparti emissivi

Concordia	PM10	quota "locale"	ripartizione
caso_base	17.23		
sc1 - traffico	16.67	0.56	24%
sc2 - industria	16.94	0.29	13%
sc3 - porto	17.03	0.19	8%
sc5 - riscaldam.	16.89	0.34	15%
sc6 - agricoltura	16.31	0.92	40%
somma scenari		2.31	100%

Noale	PM10	quota "locale"	ripartizione
caso_base	26.96		
sc1 - traffico	25.76	1.20	26%
sc2 - industria	25.61	1.35	29%
sc3 - porto	26.53	0.43	9%
sc5 - riscaldam.	26.01	0.95	20%
sc6 - agricoltura	26.20	0.75	16%
somma scenari		4.68	100%

Mestre	PM10	quota "locale"	ripartizione
caso_base	29.87		
sc1 - traffico	27.93	1.95	29%
sc2 - industria	27.07	2.80	41%
sc3 - porto	28.85	1.02	15%
sc5 - riscaldam.	29.23	0.64	9%
sc6 - agricoltura	29.51	0.36	5%
somma scenari		6.77	100%

Marghera	PM10	quota "locale"	ripartizione
caso_base	31.25		
sc1 - traffico	30.16	1.09	14%
sc2 - industria	27.94	3.31	44%
sc3 - porto	28.97	2.28	30%
sc5 - riscaldam.	30.79	0.46	6%
sc6 - agricoltura	30.85	0.39	5%
somma scenari		7.52	100%

¹⁶ In tabella questa quota è direttamente calcolata a partire dalle medie di PM10 calcolate dal modello e quindi riferita al 50% delle emissioni: il contributo relativo di ogni sorgente (sempre per le componenti del PM10 descritte dal modello) infatti non varia se viene mantenuto inalterato il rapporto relativo all’emissione.

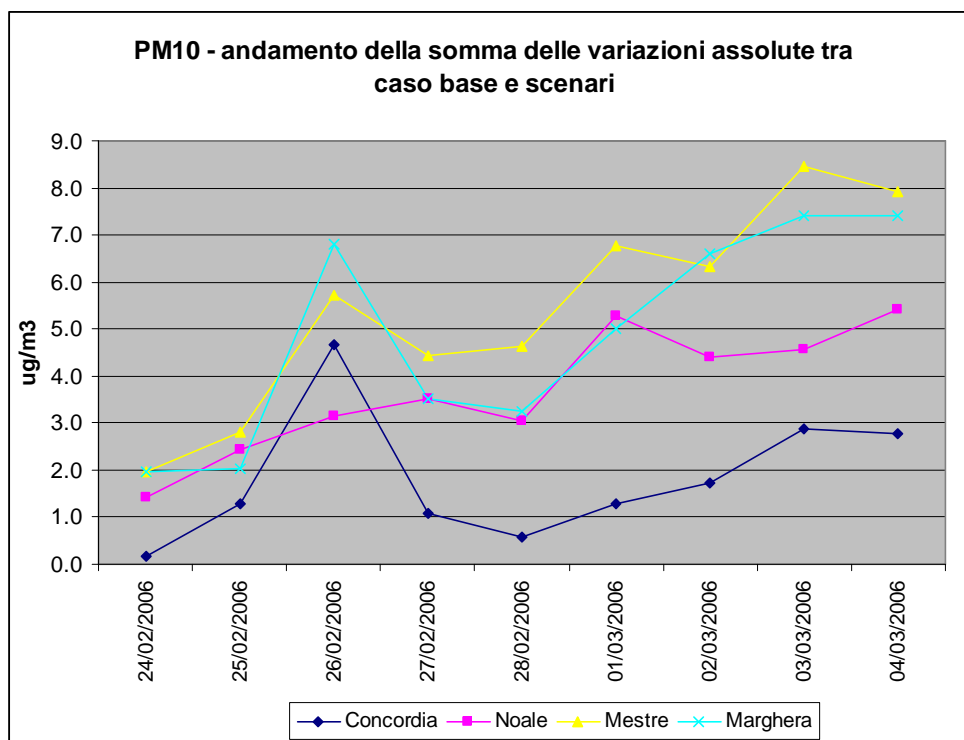
Analizzando infine il periodo 24 febbraio - 4 marzo, già approfondito per il caso base, si verifica che nei giorni immediatamente seguenti la pulizia dell'atmosfera il contributo locale pesa maggiormente sui livelli medi di PM10, con percentuali che si aggirano (già estrapolando al 100% del contributo emissivo) attorno al 60% del totale simulato.

In termini di concentrazioni assolute sono invece i giorni "di saturazione" a registrare i quantitativi maggiori di PM10 imputabile a fonti di emissione locali.

Tabella 7: variazione della percentuale di PM10 imputabile all'emissione nell'area di nest durante la ricarica dell'atmosfera

giorno	Concordia	Noale	Mestre	Marghera
24/02/2006	-8%	-46%	-48%	-47%
25/02/2006	-49%	-62%	-63%	-57%
26/02/2006	-56%	-31%	-53%	-61%
27/02/2006	-23%	-40%	-53%	-50%
28/02/2006	-11%	-40%	-51%	-42%
01/03/2006	-11%	-35%	-41%	-34%
02/03/2006	-22%	-34%	-45%	-46%
03/03/2006	-21%	-28%	-42%	-37%
04/03/2006	-19%	-27%	-37%	-35%

Figura 14: Frazione dei PM10 di origine locale nel periodo di ricarica dell'atmosfera



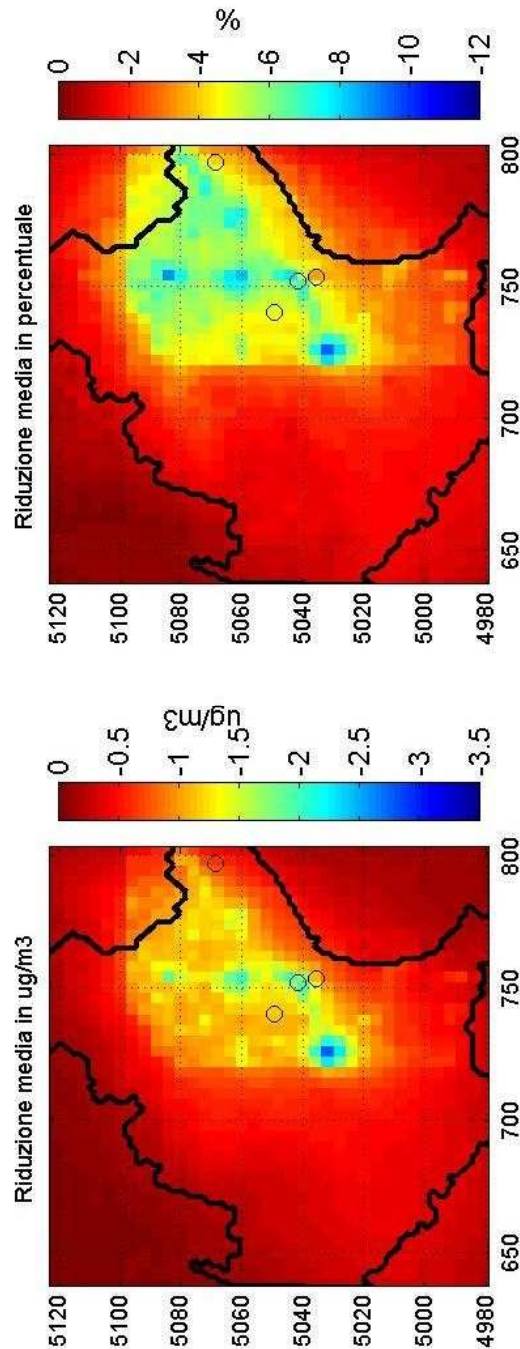
Le mappe presentate nel seguito sono il risultato della differenza, calcolata in ogni cella, tra PM10 medio nello scenario e nel caso base. Le mappe di sinistra rappresentano le differenze assolute, mentre quelle di destra le differenze relative.

Per facilitare il confronto tra scenari le scale in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e % si mantengono costanti nelle diverse figure.

Mapa 1: Scenario 1 - Traffico

A fronte di una riduzione delle emissioni nell'area di nest pari al 15% del PM10 e del 20% di NOx, la variazione dei livelli concentrazione medi nel periodo di simulazione è pari al 4-7 % con riduzioni più intense lungo le grandi direttrici stradali (autostrade, Tangenziale di Mestre, Terraglio) e nelle aree urbane. In particolare i valori di riduzione massimi si rilevano presso Padova; tale effetto, legato al maggior peso percentuale del traffico a Padova, potrebbe in parte essere dovuto alla diversa metodologia adottata per la stima delle emissioni (disaggregazione del *top down* macrosettore 7, e non stima *bottom up*). La variazione media massima è comunque limitata al di sotto del 10%, ed è più intensa dove la riduzione della componente secondaria si combina con la riduzione primaria. Al di fuori dell'area di nest, dove sono state ridotte le emissioni, la variazione del PM10 è limitata a circa 1-2%, con valori massimi nella zona SO del dominio.

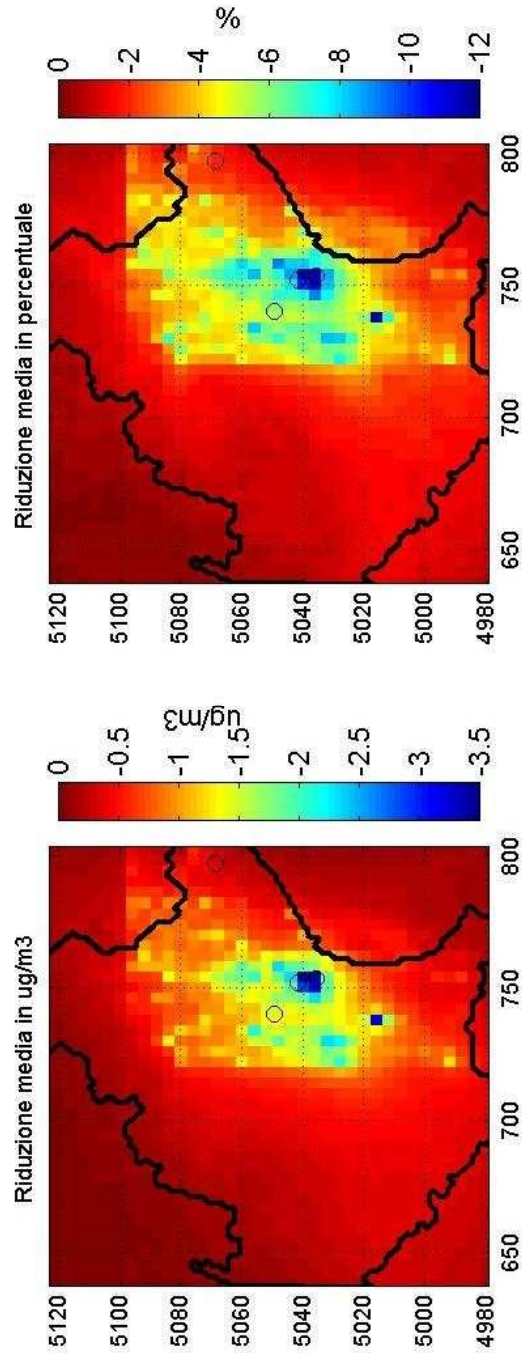
PM10 scenario 1 - Riduzione media nel periodo 16 feb-31 mar 06



Mapa 2: Scenario 2 - Industria

La variazione del PM10 medio rispetto al caso base è essenzialmente legata alla distribuzione delle emissioni con percentuali più intense attorno alla zona industriale di Porto Maghera. In questo caso l'effetto di riduzione nell'area esterna al nest è più limitato nel territorio e localizzato principalmente nell'area S-SSO.

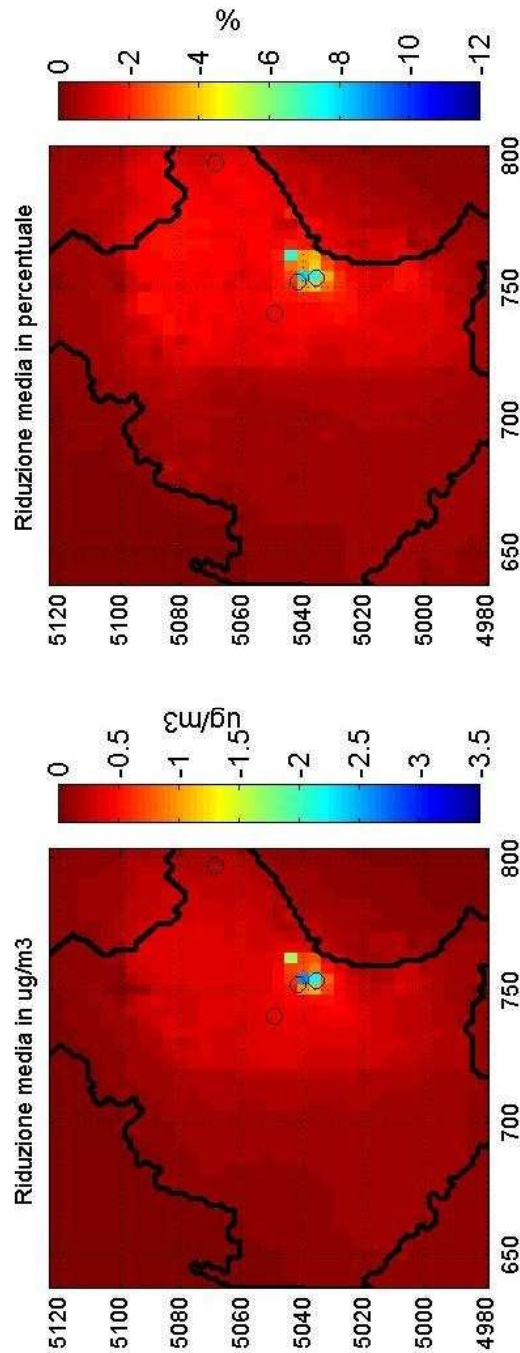
PM10 scenario 2 - Riduzione media nel periodo 16 feb-31 mar 06



Mapa 3: Scenario 3 – Porto, Aeroporto e altri trasporti

E' certamente lo scenario meno impattante sul dominio in quanto la variazione dei livelli medi di PM10 è fortemente limitata spazialmente, con percentuali attorno al 7-8% nella zona del Comune di Venezia, e attorno al 2-3% in area rurale, per effetto della riduzione delle emissioni associate ai mezzi agricoli. E' interessante notare che esternamente all'area di riduzione delle emissioni, l'effetto di variazione del PM10 si avvicina velocemente a zero: in questo caso il PM10 messo in gioco nello scenario è principalmente di origine primaria (infatti dal bilancio delle emissioni di tabella 2, risulta che la variazione di NOx è contenuta e quella di NH₃ nulla; si evidenzia una più significativa diminuzione di SO₂, ma nelle simulazioni la componente solfato di cui questo inquinante è il precursore tende ad essere sottostimata e nell'area di più intensa riduzione, il porto di Venezia, resta in gioco una grande quantità di SO₂ di origine industriale).

PM10 scenario 3 - Riduzione media nel periodo 16 feb-31 mar 06

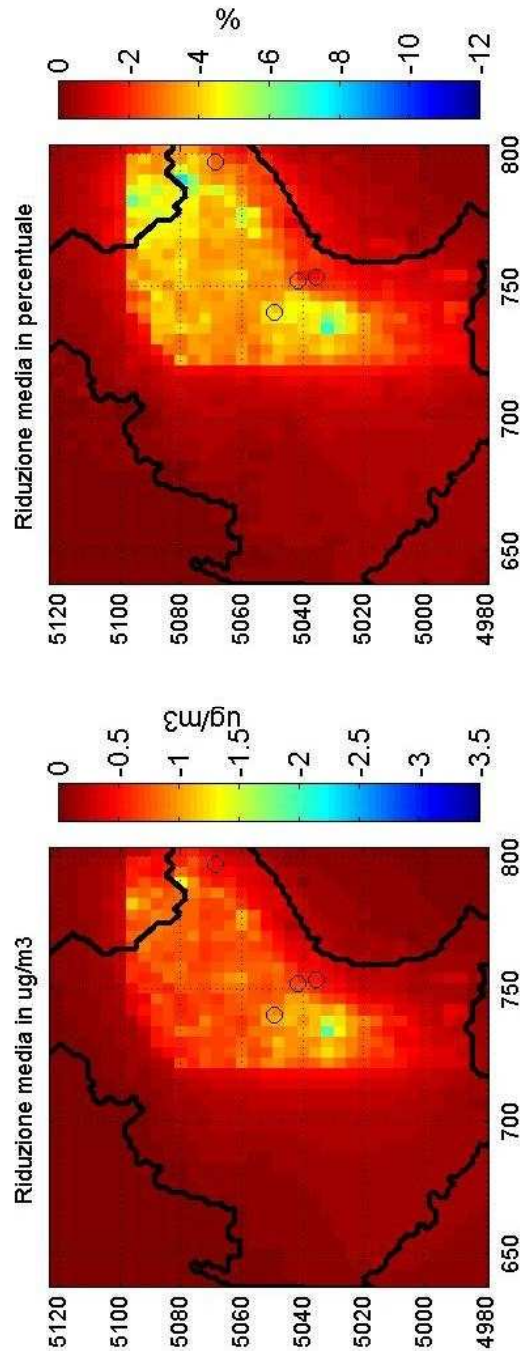


Mapa 4: Scenario 5- Riscaldamenti

La mappa rispecchia solo in parte il grado di urbanizzazione del territorio, e riflette anche l'effetto di disaggregazione comunale che tiene conto delle tipologie di riscaldamento domestico sulla base del censimento ISTAT (gas naturale, gasolio, legna,...). Si ritiene tuttavia che il caso della combustione della legna necessiti di studi approfonditi in quanto solo marginalmente ricompreso nell'inventario delle emissioni utilizzato.

Nonostante si tratti di una fonte diffusa su tutto il territorio, anche in questo caso l'effetto della riduzione delle emissioni sull'area esterna al nest si azzera velocemente.

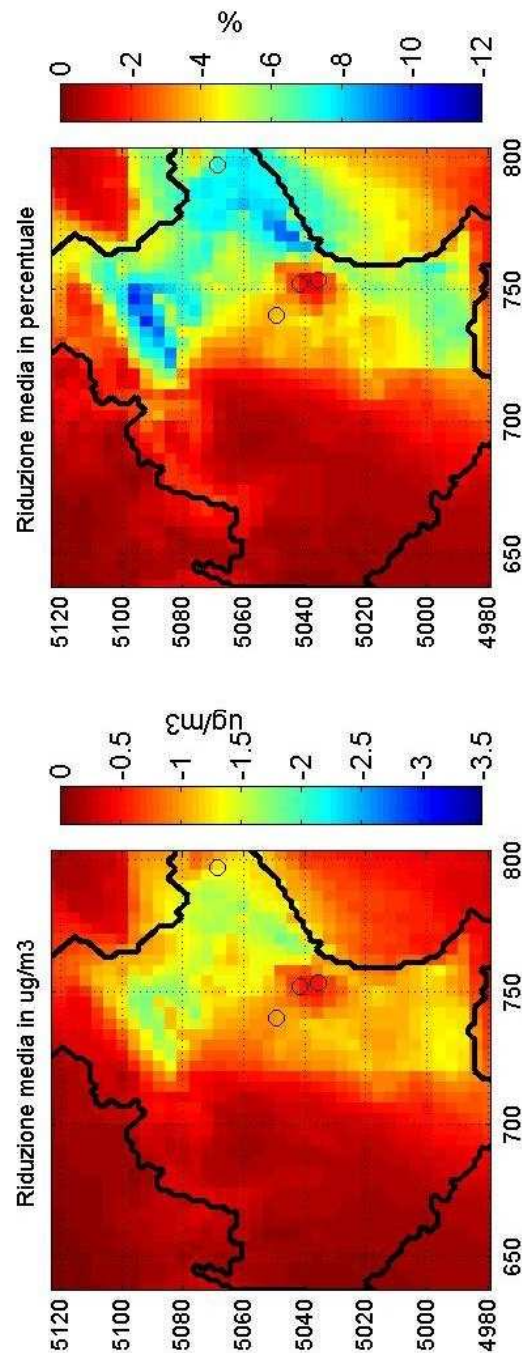
PM10 scenario 5 - Riduzione media nel periodo 16 feb-31 mar 06



Mapa 5: Scenario 6 – Agricoltura

Si tratta forse dello scenario più interessante dal punto di vista modellistico. In questo caso la variazione dell'emissione di PM10, NOx e SO₂ è nulla, mentre è consistente la riduzione dell'NH₃. Si può vedere che nelle porzioni nord e sud del nest questo scenario registra le variazioni assolute e relative più rilevanti. Nell'area del Comune di Venezia, la variazione indotta è limitata al di sotto del 2%: in questa zona infatti la maggior fonte di emissione dell'ammoniaca è rappresentata dal comparto industriale (come nello scenario 3 per il solfato, anche in questo caso non si riduce significativamente la concentrazione del precursore di particolato inorganico secondario). E' interessante che la natura secondaria di questo scenario porta ad un impatto della riduzione delle emissioni di ammoniaca anche al di fuori del dominio di nesting (dominio su cui si sono adottate le riduzioni).

PM10 scenario 6 - Riduzione media nel periodo 16 feb-31 mar 06



Conclusioni

1. la buona performance nei momenti di pulizia (giorni immediatamente seguenti a perturbazioni atmosferiche che esercitano azione dispersiva particolarmente intensa, nonché di dilavamento e deposizione dell'aerosol) e la variazione ridotta delle concentrazioni all'aumentare del dettaglio della disaggregazione spaziale delle emissioni (quantomeno per i settori del trasporto), fa ritenere l'input delle emissioni (database regionale) sufficientemente solido alla scala 1x1kmq; d'altra parte, un maggiore dettaglio spaziale e, come noto a livello europeo, un maggiore dettaglio emissivo di alcuni processi, tra cui in particolare aerosol marino e risollevarimento, potrebbero spiegare una quota della massa di PM10 sperimentale non "nota" che non ha un corrispettivo nel modello;
2. la dinamica di formazione del particolato inorganico secondario risulta essere ben descritta dal modello, mentre la componente sottostimata è quella organica, in gran parte secondaria e/o primaria ma non di produzione locale (trasporto dai bordi, risollevarimento); anche questo è un problema condiviso con i modelli europei.
3. tenendo conto della complessità delle trasformazioni in atmosfera (e quindi della potenziale non linearità nella risposta del modello) e della sottostima della componente organica del particolato, gli scenari di emissione presentati forniscono una prima stima indicativa del contributo dell'emissione locale sui livelli di PM10; tale stima varia nel territorio indagato in percentuali comprese tra circa 30 e 50% del PM10 calcolato;
4. considerando la sola componente di produzione locale (data dalla somma delle variazioni assolute tra ciascun scenario e il caso base), che a Mestre costituisce indicativamente il 45% del PM10 calcolato, si stima che essa derivi per il 29% dal traffico, per il 41% dall'industria, per il 15% dal porto e altro trasporto, per il 9% dai riscaldamenti e per il 5% dal trasporto di NH₃ dal comparto agricolo;
5. sempre considerando il solo PM10 "locale", a Marghera in zona di ricaduta industriale si può stimare che esso costituisca il 48% del PM10 calcolato, e che derivi per il 44% dal comparto industriale per il 30% dal porto, per il 14% dal traffico, per il 6% dai riscaldamenti e per il 5% dal comparto agricolo;
6. a Noale il contributo locale, stimabile attorno al 35%, viene attribuito per il 26% al traffico, per il 29% all'industria, per il 9% al macrosettore 8 (altri trasporti), per il 20% al riscaldamento e per il 16% al comparto agricolo;
7. a Concordia infine, il contributo locale, stimabile attorno al 27%, è dovuto per il 40% al comparto agricolo, per il 21% al traffico, nel 13% all'industria, nell'8% agli altri trasporti e infine per il 15% ai riscaldamenti.
8. la dinamica di formazione degli aerosol avviene certamente alla scala regionale e addirittura di Bacino Padano, come dimostrano le percentuali non elevatissime del contributo locale stimabile nelle ipotesi dettagliate nel testo; in questo lavoro si evidenzia, però, come la variazione locale delle emissioni abbia effetto principalmente sulla scala locale, e con minore intensità all'esterno lungo le direttrici del trasporto avvevativo (S, SO);
9. ad una variazione delle emissioni di una certa intensità 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, mentre la riduzione della componente primaria di origine antropica locale non è sufficiente ad abbassare significativamente i livelli di concentrazione.

Fonti dati e riferimenti bibliografici

ARPAV. Rapporto Task1 SIMAGE I Lotto

Servizio Prev'air di INERIS (Fr), <http://prevair.ineris.fr/en/index.php>. per gli output di Chimere

ARPAV, CMT per i dati meteorologici e il relativo preprocessing per CALMET

ARPAV, DAP Venezia per i dati di monitoraggio di PM10 con relativa speciazione chimica

Environ Inc., 2004, CAMx, Comprehensive Air quality Model with extensions, versione 4.03 (<http://www.camx.com>).

Scire J.S., D.G. Strimaitis, R.J. Yamartino, 2001. *A user's Guide for the CALPUFF Dispersion Model (Version 5.7)*, Earth Tech, Concord, MA.

CNT-ACE, 2007, *Rapporto Tecnico sulla applicazione di modellistica al Bacino Padano Adriatico*, Marco Deserti, Stefano Bande, Elisabetta Angelino, Giordano Pession, Fabio Dalan, Enrico Minguzzi, Michele Stortini, Giovanni Bonafè, Roberta De Maria, Giuseppe Fossati, Edoardo Peroni, Matteo Paolo Costa, Francesca Liguori, Silvia Pillon.

APPENDICE 1: IL MECCANISMO CHIMICO

Per la simulazione della chimica in atmosfera con i modelli fotochimici euleriani è necessario rendere computazionalmente efficiente il set di reazioni¹⁷. Alcune reazioni, tra cui in particolare quelle di fotolisi che coinvolgono generalmente specie inorganiche, possono essere risolte esplicitamente, mentre per altre devono essere individuati degli schemi di semplificazione (raggruppamento in “specie del meccanismo”) che permettano di condensare la grande varietà di specie chimiche coinvolte in un numero limitato di reagenti e prodotti.

I composti organici

In particolare, i composti organici volatili possono essere raggruppati in “specie condensate” secondo tre differenti approcci:

- Surrogate species method (meccanismi a specie surrogate): una singola specie viene individuata come rappresentante di una data classe di composti chimici e le reazioni vengono generalizzate in base a questa specie; sono meccanismi poco diffusi;
- Lumped molecular method (meccanismi a molecola raggruppata): come sopra, le specie organiche di una stessa classe vengono raggruppate in un'unica specie surrogate, ma i parametri associati a questa specie ipotetica sono aggiustati per tener conto delle variazioni nella composizione reale della classe di composti che essa rappresenta; uno dei meccanismi più conosciuti e performanti è il SAPRC;
- Lumped structure method (meccanismi a struttura condensata o *carbon bond method*): ogni composto organico viene distribuito in una o più specie del meccanismo in base ai legami chimici presenti e alla reattività in atmosfera.

A quest'ultima classe appartiene il meccanismo chimico utilizzato nella presente applicazione modellistica. Il CBIV è stato formulato da Gery et al. nel 1989 ed è l'unico meccanismo approvato EPA per scopi normativi.

La versione originale include 36 specie e 93 reazioni, di cui 11 fotochimiche. La versione utilizzata, con aggiornamento sulla chimica dell'isoprene di Carter (1996), include invece 34 specie gassose, 15 aerosoliche, per un totale di 100 reazioni, di cui 6 fotochimiche.

Il meccanismo utilizza, per le reazioni in fase gassosa, 10 specie organiche primarie (cioè direttamente emesse), alcune delle quali rappresentate esplicitamente: isoprene (**ISOP**), etene (**ETH**) e formaldeide (**FORM**), metanolo (**MEOH**) ed etanolo (**ETOH**).

Il raggruppamento in specie condensate si basa sul legame chimico: ogni composto organico viene suddiviso nelle specie del meccanismo sulla base dei gruppi funzionali, della tipologia di legame C-C e della reattività con OH. Le porzioni di ogni molecola contenenti singoli legami di carbonio, sono raggruppate nella specie **PAR** (legami paraffinici), i doppi legami in **OLE** (strutture olefiniche), gli anelli a 7 atomi di carbonio sono rappresentati dal toluene (**TOL**), mentre quelli ad 8 atomi dagli xileni (**XYL**). Infine il gruppo carbonilico e gli adiacenti atomi di carbonio dell'acetaldeide e delle aldeidi superiori vengono raggruppati in **ALD2**.

Nella suddivisione, molte specie organiche vengono ricondotte alle specie meccanismo sulla base solo del tipo di legame: ad esempio il propano è rappresentato da 3 **PAR** in quanto è costituito soltanto da singoli legami, mentre il propene è rappresentato da 1 **OLE** e 1 **PAR**. In altri casi invece, la distribuzione viene fatta sulla base della reattività del composto o dei suoi gruppi funzionali: per

¹⁷ Generalmente in un modello fotochimico euleriano l'80-90% del CPU time è impiegato per l'integrazione numerica delle reazioni e per il calcolo dei tassi di reazione.

esempio, alcune olefine con doppi legami interni vengono suddivise tra ALD2 e PAR piuttosto che OLE e PAR.

L'aerosol

L'implementazione della formazione di particolato secondario nei modelli fotochimici ha previsto un'estensione dei meccanismi chimici già esistenti e non una vera e propria revisione. Questo comporta una maggior incertezza nelle predizioni in confronto alla simulazione di ozono, che attualmente ottiene buoni risultati per pressoché tutti i metodi sviluppati. E' necessario sottolineare che un'ulteriore importante fonte di errore è legata alla carenza di dati relativi alla speciazione del particolato emesso.

Le componenti dell'aerosol che il meccanismo deve tener conto sono:

- l'organico primario (composti organici in fase condensata già all'emissione, carbonio elementare, residui organici biogenici);
- l'inorganico primario (metalli, sali, aerosol marino, elementi terrigeni);
- l'organico secondario (condensazione in atmosfera di composti organici primari e secondari);
- l'inorganico secondario (nitrati e solfati d'ammonio).

Come per la chimica in fase gas, le maggiori diversità tra i meccanismi sono relative alla formazione organica secondaria, che prevede la condensazione dei composti organici (partizione tra fase gas e fase condensata), quali alcani, alcheni e aromatici ad elevato peso molecolare.

La versione di CAMx (v. 4.0) implementata, permette la trattazione dell'aerosol solo attraverso il meccanismo CBIV. L'estensione consta essenzialmente nell'introduzione delle emissioni di una nuova specie gassosa organica, **OLE 2** che rappresenta i terpeni (emissione biogenica), e di 11 specie aerosoliche:

- PSO4 (solfato, < 2.5 µm);
- PNO3 (nitrato, < 2.5 µm);
- PNH4 (ammonio, < 2.5 µm);
- NA (sodio, < 2.5 µm);
- PCL (cloro, < 2.5 µm);
- POA (frazione organica antropogenica, < 2.5 µm);
- PEC (carbonio elementare, < 2.5 µm);
- FPRM (altre componenti primarie fini, < 2.5 µm);
- FCRS (componente crostale fine, < 2.5 µm);
- CPRM (altre componenti primarie grossolane, 2.5 - 10 µm);
- CCRS (componente crostale grossolana, 2.5 - 10 µm).

In pratica le frazioni granulometriche considerate sono due: PM *fine* (0 – 2.5 µm) e PM *coarse* (2.5 -10 µm), che sommate danno PM10.

L'emissione primaria di solfati, nitrati e ammonio è in realtà molto scarsa, e tali specie subiscono un notevole accrescimento nel corso della simulazione per formazione in fase omogenea (nitrati, che si formano anche in assenza di acqua) ed eterogenea (nitrati e solfati)¹⁸.

Data la mancanza di informazioni inerenti l'emissione crostale, nell'applicazione presentata le specie FCRS e CCRS sono in realtà presenti nel modello in concentrazioni di fondo (10^{-9} µg/m³).

¹⁸ La formazione inorganica in fase omogenea è basata sul modulo termodinamico ISORROPIA, mentre quella in presenza d'acqua sul modulo RADM.

Per la formazione di particolato organico secondario, è stata inoltre aggiunta la formazione di 4 specie intermedie gassose, definite gas condensabili: CG1-CG3 che si formano a partire da PAR, OLE, FORM, TOL, XYL e altri intermedi di reazione; CG4 che deriva dalle OLE2. Queste specie vengono processate secondo un meccanismo di partizionamento termodinamico tra fase gas e fase aerosol¹⁹, producendo altrettante specie organiche secondarie (SOA1-SOA4).

Integrazione delle equazioni

Nei modelli euleriani, l'equazione di continuità viene formulata e risolta, indipendentemente cella per cella, per ogni specie meccanismo. Poiché i tassi di produzione e di perdita dipendono dalle concentrazioni delle altre specie, l'equazione deve essere risolta come parte del set accoppiato di equazioni differenziali ordinarie (ODE, non coinvolgono le derivate parziali). Generalmente vi sono 2 serie di problemi nell'integrazione numerica di questo set di equazioni: la non linearità (sono coinvolte reazioni fino al terzo ordine) e la coesistenza di tassi di reazione con scala molto diversa (reazioni molto veloci e reazioni "lente").

Il maggiore problema di un sistema di reazioni con velocità cinetiche molto diverse tra loro, definito un set di *stiff differential equation* (equazioni in cui è necessario trattare numeri molto grandi e molto piccoli contemporaneamente), è legato alla precisione numerica nell'integrazione. Generalmente, per risolvere il problema, vengono sfruttate le *specie stazionarie* (data la loro elevata velocità di reazione sono considerate sempre all'equilibrio - $dc/dt=0$; ad esempio, il radicale OH), per le quali l'integrazione si risolve con equazioni algebriche di equilibrio e non vengono considerati il trasporto e la dispersione.

Vengono dunque integrate solamente le reazioni delle specie attive (O₃, NO_x, radicali, ecc.). In tal modo, il time step può essere più lungo e ci sono meno problemi di precisione numerica (dato che le specie più veloci, quelle stazionarie, vengono risolte analiticamente).

Per la risoluzione delle reazioni delle specie attive in ogni cella e in ogni step, i modelli richiedono l'applicazione di speciali metodi numerici (*quasi steady state approximation*, Gear, *sparse matrix vectorised Gear method*, ecc.), per i quali si rimanda a pubblicazioni specialistiche (v. references).

Riferimenti

P.Jimenez, J.M.Baldasano, D.Dabdub, 2003, *Comparison of photochemical mechanisms for air quality modeling*, Atmospheric Environment 37, pp. 4179-4194.

Comprehensive Air Quality Model with Extension version 4.00, User's Guide, Environ, June 2003.

Model 3 CMAQ Science Documentation Chapter 8: Gas-phase Chemistry.

Model 3 CMAQ Science Documentation Chapter 10: Aerosol in Model3 CMAQ.

G.Finzi, G.Pirovano, M.Volta, 2001, Gestione della qualità dell'aria, edizioni McGraw-Hill

CTN-ACE, Linee guida per la pre-elaborazione di dati in ingresso ai modelli tridimensionali di dispersione atmosferica, I meccanismi chimici nei modelli di qualità dell'aria. Documento RTI CTN_ACE 5/2001.

W.P.L.Carter, G.Tonnesen, G.Yarwood, 2002, *Investigation of VOC reactivity effects using existing regional air quality models*, Progress Report to the American Chemistry Council.

¹⁹ Modulo SOAP (Strader et. al, 1998, v. manuale CAMx).

APPENDICE 2: IL DATABASE DELLE EMISSIONI NELLA CATENA MODELLISTICA

Come esplicitato in relazione, lo scopo dell'applicazione risiede nell'individuazione dei contributi dei vari settori di attività sui livelli di PM10 simulati dal modello. Si è ritenuto opportuno ricostruire in modo più dettagliato la distribuzione delle emissioni sulla base del grafo stradale, piuttosto che sulla disaggregazione su cella del dato *top down* comunale basata sulle classi di landuse (in particolare per il traffico sull'edificato urbano) almeno per gli inquinanti che sono, per questo macrosettore, i più importanti precursori del PM10 (PM10 primario e NOx).

Per tale motivo è stato utilizzato l'output del modello di traffico VISUM fornito dalla Provincia di Venezia per precedenti valutazioni sulle politiche di restrizione del traffico durante momenti critici per l'inquinamento urbano da polveri sottili.

Tale grafo risulta però datato al 1996. Per tale motivo è stata fatta una valutazione dei quantitativi totali messi in gioco dalle due metodologie (APAT 2000 – COPERTIII su flussi 1996).

Non essendo la stima *bottom up* effettuata da ORAR, molto differente dalla disaggregazione *top down* provinciale, si è proceduto alla grigliatura dell'output del COPERTIII sul territorio provinciale, nel tentativo di descrivere in modo più appropriato la distribuzione delle emissioni in particolare nell'area veneziana, dove risulta più critico attribuire al meglio la distribuzione dell'emissione urbana rispetto a quella industriale e portuale.

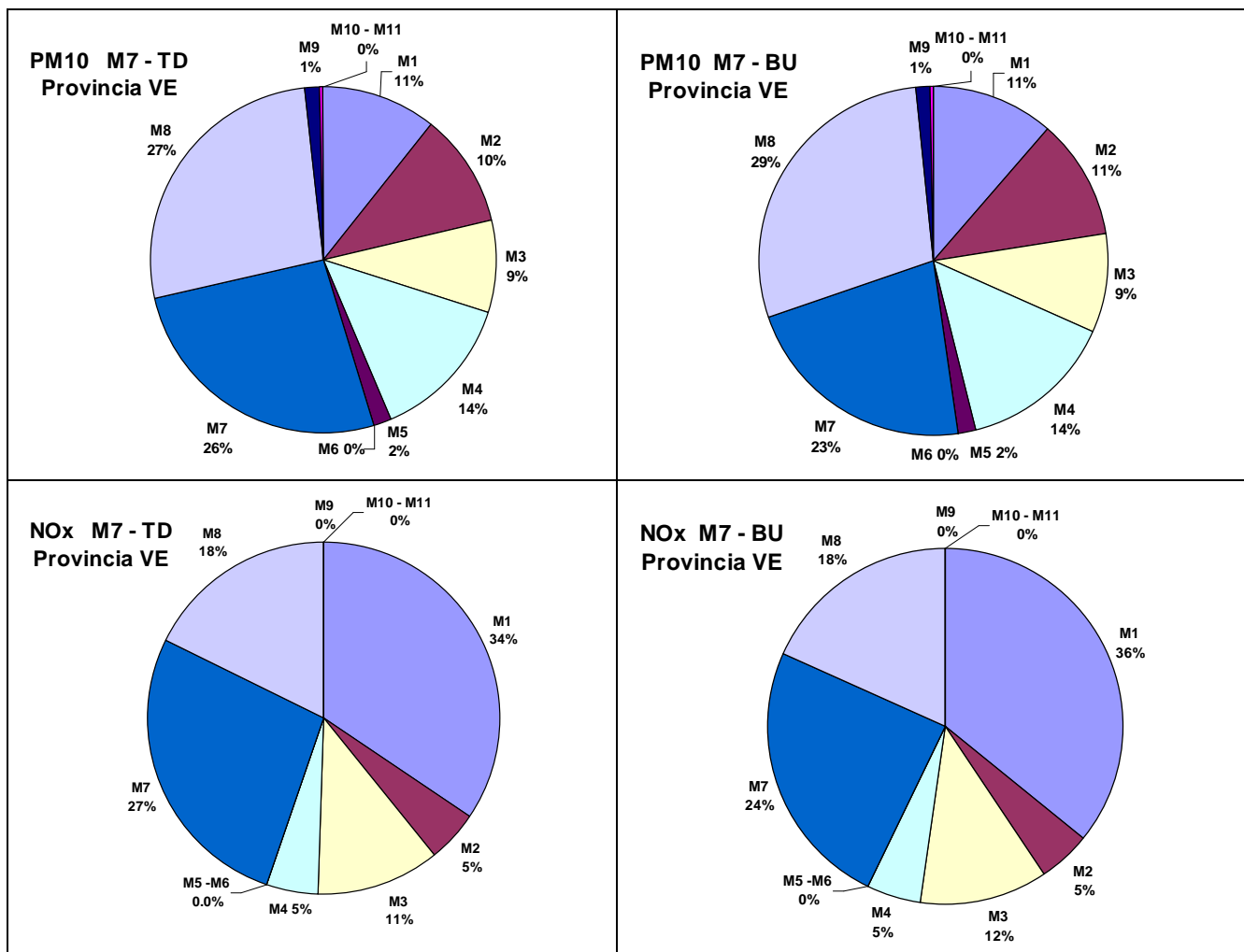
Nella tabella A2.1 si riportano i quantitativi annui stimati per il macrosettore 7 con le due metodologie (top down e bottom up).

I grafici di sinistra della figura A2.1 rappresentano la torta delle emissioni provinciali del PM10 (in alto) e dell'NOx (in basso) con il macrosettore 7 stimato da APAT, mentre quelli di destra con il macrosettore 7 stimato da ORAR. La variazione come si vede è limitata per entrambi gli inquinanti a qualche punto percentuale.

Tabella A2.1: confronto stima macrosettore 7 da top down APAT 2000 (M7 – TD) e da bottom up effettuato da ORAR mediante applicazione del COPERTIII su flussi VISUM 1996.

ton/anno	PM10	NOx
M7- TD	793	9549
M7 - BU	640	8364
Totale provinciale con M7-TD	3048	35375
totale provinciale con M7-BU	2895	34190

Figura A2.1. Torte delle emissioni con M7 – TD (a sinistra) e M7 – BU (a destra)



In tabella A2.2 si riportano le emissioni che hanno costituito l’input dell’applicazione modellistica. Sono riportati totali annuali nel dominio di calcolo, comprendente gran parte della regione Veneto ed alcune porzioni delle regioni confinanti, e nel dominio interno in cui sono stati applicati gli scenari di riduzione presentati in relazione.

Nella sezione (a) della tabella è fornita la ripartizione tra emissione su griglia e puntuali, mentre nella sezione (b) è riportato il dettaglio dei camini considerati.

Infine in sezione (c) si presenta l’effetto dell’applicazione dei fattori di disaggregazione temporale, che produce un’emissione giornaliera superiore a quella media annuale per PM10 primario, NOx e SO₂, mentre l’NH₃, emessa in gran parte dal comparto agricolo, nel periodo di fine inverno ha un’emissione media giornaliera naturalmente più bassa rispetto ad altri periodi dell’anno.

Tabella A2.2 Input emissivo all'applicazione modellistica

A2.2a : totali annui e giornalieri

scenario	ton/year							
	PM10		NOx		SO2		NH3	
	dominio	nest	dominio	nest	dominio	nest	dominio	nest
<i>grigliate</i>	21405	7045	142608	56092	30888	12549	88523	28266
<i>puntuali</i>	2766	526	34772	12994	64586	22241	32	8
<i>totale</i>	24171	7571	177380	69087	95474	34789	88555	28274

A2.2b: emissioni puntuali in ton/anno

Ragione sociale	Macrosettore	PM10	NOx	SO2	NH3	Nest
ENEL Produzione - Fusina	1	193	6686	12562	6	X
ENEL Produzione - Marghera	1	43	2138	4194	2	X
EDISON Termoelettrica	1	0	294	0	0	X
ENI Refining	1	79	851	1474	0	X
ENEL Porto Tolle	1	388	3943	14405	9	
ENEL Ponti sul Mincio	1	79	707	2159	1	
ENEL Sermide	1	985	8771	14795	9	
ENEL Ostiglia	1	730	6496	10646	6	
Alcoa Trasformazioni	4	26	0	356	0	X
AVIR	3	23	456	281	0	X
Italcementi	3	58	1860	340	0	
Pilkington	3	89	1242	370	0	X
Syndial	3	71	1122	2782	0	X
Zignago Vetro	3	2	206	222	0	X

A2.2c: Emissioni giornaliere

scenario	ton/day							
	PM10		NOx		SO2		NH3	
	dominio	nest	dominio	nest	dominio	nest	dominio	nest
<i>caso base</i>	73.6	21.9	501.2	195.6	277.7	100.2	197.3	59.4
<i>giorn_medio</i>	66.2	20.7	486.0	189.3	261.6	95.3	242.6	77.5