

CNEIA

Commissione Nazionale per l’Emergenza Inquinamento Atmosferico

RELAZIONE DEL GRUPPO DI LAVORO 4 e 5

GRUPPO 4: DELINEARE UN QUADRO CONOSCITIVO A LIVELLO NAZIONALE DELLA ENTITA E DELLA DISTRIBUZIONE SPAZIALE E TEMPORALE DELLE CONCENTRAZIONI DI POLVERI FINI (COMPRESSE QUELLE DOVUTE A FENOMENI NATURALI) E DEI RELATIVI PRECURSORI, A PARTIRE DA METODICHE DI CALCOLO E SIMULAZIONE MODELLISTICA ATTUALMENTE DISPONIBILI E UTILIZZATE, ANCHE IN AMBITO COMUNITARIO, PER LA FORMULAZIONE DI SCENARI EMISSIVI E DI CONCENTRAZIONI ATMOSFERICHE.

GRUPPO 5: METTERE A PUNTO, A PARTIRE DAI MODELLI ATTUALMENTE DISPONIBILI E UTILIZZATI, ANCHE IN AMBITO COMUNITARIO, PER LA FORMULAZIONE DI SCENARI EMISSIVI E DI CONCENTRAZIONI ATMOSFERICHE, STRUMENTI MODELLISTICI VALIDATI CHE CONSENTANO DI EFFETTUARE DELLE PREVISIONI ATTENDIBILI SULLE CONDIZIONI DI RISCHIO DI INQUINAMENTO CHE SI POSSONO VERIFICARE IN FUNZIONE DELL’EVOLVERSI DELLE SITUAZIONI METEOROLOGICHE ED EMISSIVE DELLE AREE URBANE E DI VALUTARE L’EFFETTO DELLE POSSIBILI MISURE DI INTERVENTO E I RELATIVI COSTI, ANCHE AL FINE DI INFORMARE LA POPOLAZIONE SECONDO QUANTO PREVISTO DALLE NORME COMUNITARIE E NAZIONALI.

Ringraziamenti.

Ringraziamo sentitamente quanti ci hanno aiutato inviandoci le informazioni richieste. Senza la collaborazione dei tanti che abbiamo interpellato, il documento sarebbe stato povero. Sappiamo bene quanto sia difficile organizzare cose note in formati pensati all'esterno. E' per questo che il ringraziamento non è formale.

Sommario esecutivo.....	5
1. Perché i modelli: ruolo nella gestione della qualità dell'aria.	7
2. Quali esperienze in Nord America ed Europa	13
2.1 The North American Research Strategy.....	13
2.2 EMEP	14
2.3 I Modelli di Valutazione Integrata (Integrated Assessment Model - IAM).....	15
2.4 Progetto Environmentally Sustainable Transport dell'OCSE	17
2.5 Applicazione di modelli in campo previsionale in Europa.....	19
3. Quali esperienze in Italia	21
3.1 Modellistica a Scala Nazionale	22
3.1.1 ENEA - Il sistema modellistico di MINNI.....	22
3.1.2 L'esperienza CESI.....	28
3.2 Esperienze presso le Regioni e le ARPA/APPA	32
3.2.1 La raccolta delle.....	32
3.2.2 Il quadro generale	32
3.2.3 Disamina dettagliata dei contributi forniti	34
4. Sommario dei risultati: cosa dicono i modelli ?.....	38
4.1 Esperienze a scala nazionale	38
4.2 Esperienze in Regione Lombardia /ARPA Lombardia	38
4.3 Esperienze in ARPA Valle d'Aosta.	44
4.4 Esperienze in ARPA Emilia Romagna.....	46
4.5 Esperienze in Regione Piemonte /ARPA Piemonte	47
5. Per non piangere nel 2010.....	51
Appendice.....	54
A.1 Esperienze in Italia	55
A.2. Esperienze presso le Regioni e le ARPA/APPA	56
A.2.1 Regione/ARPA Liguria	56
A.2.2 ARPA Basilicata	56
A.2.3 ARPA Valle d'Aosta.....	57
A.2.4 ARPA Toscana.....	58
A.2.5 ARPA Veneto	59
A.2.6 Regione Umbria	60
A.2.7 Regione/ARPA Lombardia.....	61
A.2.8 Regione/ARPA Piemonte	62
A.2.9 Regione/ARPA Emilia Romagna	63

Sommario esecutivo

- I modelli atmosferici sono strumenti potentissimi, se opportunamente verificati con le misure sperimentali, per le analisi di scenario e le previsioni.
- Possono quindi aiutare i decisori politici nella definizione di politiche efficaci per la riduzione delle emissioni e delle concentrazioni.
- La non linearità fra emissioni e concentrazioni e l'implicazione di scale spazio temporali diverse a seconda dei fenomeni, impone l'uso di strumenti modellistici validati per scegliere i provvedimenti più appropriati a contrastare i fenomeni di inquinamento atmosferico.
- In Europa e nel Nord America l'utilizzo della modellistica atmosferica è consolidato da lungo tempo. Le politiche della CE per la qualità dell'aria ed i Protocolli Internazionali si basano su stime modellistiche.
- Fra le domande che provengono da chi è responsabile delle politiche di controllo della qualità dell'aria i modelli di trasporto multi inquinante possono rispondere, con diversi gradi di confidenza alle seguenti:

- a) Tipi di sorgente e precursori del PM: possono essere individuati e quantificati dai modelli?*
- b) Trasporto da grandi distanze ed emissioni locali: vi è la possibilità di quantificare i contributi e di distinguerli?*
- c) Variabilità stagionale e influenze sul PM: si possono valutare?*
- d) Relazioni fra inquinamento da PM e ozono: ci sono? Sono quantificabili?*
- e) Componenti del PM e effetti sulla salute: si possono valutare?*
- f) E' possibile prevedere gli episodi di PM?*
- g) Utilizzare un modello per le politiche della qualità dell'aria: ci si può fidare?*

Una possibile lista delle abilità dei MTM (Modelli di Trasporto Multi-Inquinante) o CTM (Chemical Transport Models) elencherebbe quanto sinteticamente e qualitativamente espresso in tabella:

Massa e composizione del PM	Abilità nel riprodurre la grandezza
PM ultrafine	Scarsa
PM fine	Buona
PM grossolano (corse)	Buona
Solfati	Alta
Nitrati	Alta
Ammonio	Alta
Carbonio elementare (EC)	Media
Composti organici condensati (OC)	Scarsa
Altre componenti	Scarsa
GAS	
SO ₂ , NO _x	Alta
NH ₃ , COV, HNO ₃	Buona
O ₃	Media

- In generale occorre un'applicazione non episodica allo sviluppo modellistico, confronti con altri modelli e verifica delle prestazioni su dati sperimentali, analisi della variabilità al variare della meteorologia.

Occorrono inoltre :

- risorse finanziarie ed umane costanti tali da permettere alla comunità modellistica di implementare i modelli con i progressi della ricerca in campo atmosferico;
- un numero più grande di punti di misura dove si effettui la caratterizzazione chimico fisica del PM in modo non episodico (fondamentale è la realizzazione della Rete Nazionale Particolato Atmosferico di cui il Ministero ha già il progetto);
- maggiori risorse per l'aggiornamento e l'adeguamento agli schemi chimici modellistici degli inventari delle emissioni che devono raggiungere anche un maggiore dettaglio territoriale;
- maggiori risorse per effettuare intercomparazioni fra modelli e fra modelli e dati sperimentali in modo da esplicitare il livello di incertezza delle simulazioni. La definizione dell'incertezza è fondamentale ed irrinunciabile nelle applicazioni modellistiche orientate all'impostazione delle politiche dell'inquinamento atmosferico. In altre parole occorre conoscere con quale livello di confidenza si determinerà un'azione piuttosto che un'altra anche per valutarne i costi/benefici connessi;
- Per non piangere nel 2010 occorre leggere il capitolo 5

1. Perché i modelli: ruolo nella gestione della qualità dell'aria.

Se puntiamo all'essenza delle norme sulla qualità dell'aria che recepiscono il corpo delle Direttive UE, non può sfuggire l'assetto fortemente "non stazionario" dell'apparato. La valutazione della qualità dell'aria, a qualunque istituzione sia demandata, non è intesa come fotografia istantanea del presente ma come un processo ciclico che evolve per passi: la valutazione preliminare, la zonizzazione, la definizione dei regimi di controllo, la pianificazione degli interventi e il riesame periodico della situazione. In questo quadro non è paradossale pensare che uno degli aspetti più complessi non sia il cosiddetto "piano di risanamento" di una zona con pessima qualità dell'aria ma piuttosto il "piano di mantenimento" di una qualità dell'aria già accettabile secondo gli indicatori vigenti.

Questo risulta chiaro se pensiamo che la qualità dell'aria in un luogo è il risultato di emissioni non solo locali e di scelte che riguardano tutti quei settori che direttamente o indirettamente insistono sul sistema atmosferico con le emissioni e la cui evoluzione può portare a conseguenze non sempre identificabili in modo semplice. Inoltre le sostanze inquinanti che più destano preoccupazione, come l'ozono ed il particolato fine, neppure in prima approssimazione possono essere linearmente correlate con il termine sorgente.

E' altresì vero che le strategie di riduzione volte al contenimento delle emissioni degli inquinanti primari possono agire positivamente anche sul versante del PM₁₀ e PM_{2.5}.

Una delle grandi scommesse del prossimo decennio sta nel riuscire a sviluppare strategie che da questa interdipendenza traggano vantaggio.

Le nuove scoperte scientifiche hanno sempre avuto implicazioni politiche, ma forse l'evoluzione delle conoscenze in materia di processi di formazione dell'ozono e del particolato è quella che meglio si presta ad esemplificare come utilizzando nuove conoscenze si possano attuare politiche di contenimento più efficaci e multi scopo.

Negli anni '60 e '70 si credeva che il solo controllo delle emissioni dei Composti Organici Volatili (COV) avrebbe condotto ad una riduzione netta delle concentrazioni di ozono; successivamente si scoprì che dato un episodio di inquinamento da ozono, su alcune porzioni dell'area in studio era effettivamente efficace la riduzione dei COV mentre in altre porzioni la riduzione delle concentrazioni di ozono si otteneva controllando le emissioni degli ossidi di azoto (NO_x).

Questo implica che la riduzione di COV e NO_x non sarebbe unicamente definita dal luogo o dal tipo di emissione ma dalle caratteristiche chimiche di ogni "volume elementare" di aria, caratteristiche che variano dinamicamente mentre la parcella di aria si muove trasportata dal vento, si disperde e diventa fotochimicamente "vecchia".

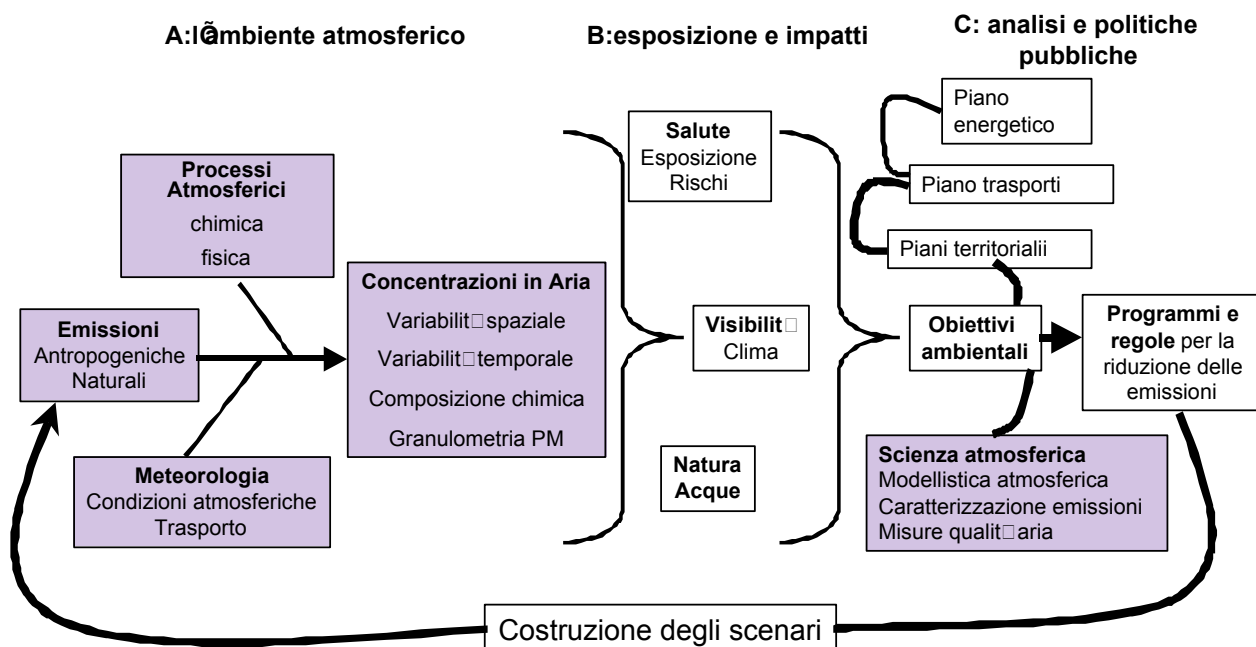
Sempre negli anni '70 in Europa si guardava al problema dell'inquinamento da ozono come ad una questione prettamente urbana e solo successivamente fu evidente il fatto che episodi acuti potevano essere causati dal trasporto da grande distanza dell'ozono e dei suoi precursori.

Fondamentale nell'evoluzione del processo conoscitivo è stato l'impiego di modelli di simulazione in cui vengono riprodotti matematicamente il trasporto e la diffusione degli inquinanti, la loro trasformazione chimica e fisica in atmosfera per giungere infine alla descrizione della distribuzione spazio temporale delle concentrazioni e deposizioni al suolo delle diverse sostanze.

Guardando alle vicende degli ultimi anni, non c'è dubbio che le concentrazioni della maggior parte di inquinanti siano costantemente diminuite, ma è altrettanto vero che la successione di "emergenze" : l'ossido di carbonio, le polveri totali sospese, gli ossidi di azoto, l'ozono, il benzene, il particolato fine, sono state percepite come accadimenti imperscrutabili e inaspettati mentre erano ben prevedibili, almeno fenomenologicamente, se si fossero lette le politiche della mobilità o gli sviluppi motoristici o la politica fiscale dei combustibili in modo integrato invece di rispondere con una specie di "riflesso di

Fedro” per il quale per eliminare un’inquinante se ne introduceva uno diverso, non precisamente più innocuo.

Se affrontiamo il problema dell’inquinamento da PM in modo razionale, lo schema di flusso che dovremmo seguire è il seguente:



L'ambiente atmosferico deve essere compreso per estrarre le interazioni fra emissioni, processi chimico fisici e meteorologia che risultano in concentrazioni e deposizioni rispettivamente in aria ed al suolo variamente distribuite nello spazio e nel tempo.

Questo disegno spazio-temporale ha direttamente implicazioni sull'esposizione potenziale della popolazione, sull'impatto sanitario ma anche sulla visibilità, il clima e la qualità dei corpi idrici o sullo stress degli ecosistemi.

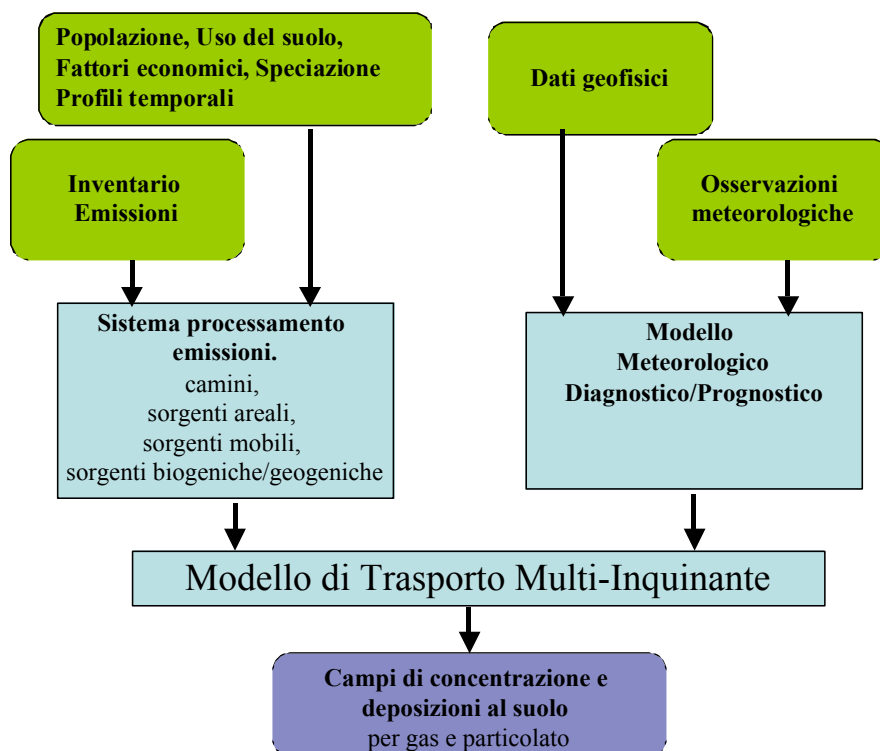
A questo punto la valutazione dei rischi e la definizione di ciò che è accettabile è molto importante e si proietta direttamente nella definizione di obiettivi ambientali da raggiungersi mediante programmi e regole per la riduzione delle emissioni.

Nel presente capitolo si affronteranno brevemente le parti colorate dello schema.

Per valutare quanto le politiche di riduzione delle emissioni siano efficaci nel ridurre le concentrazioni occorre saper collegare le emissioni di PM primario e dei precursori del PM secondario alle concentrazioni effettivamente misurate, riproducendo anche le caratteristiche fisico chimiche del particolato. Attualmente esistono diversi modelli matematici che includono le rappresentazioni del trasporto e dispersione in atmosfera, delle trasformazioni chimiche, dei processi di nucleazione, coagulazione, etc che possono condurre alle concentrazioni in funzione dello spazio e del tempo. In generale, i modelli che includono tutti i processi rilevanti per la descrizione del PM, sono anche in grado di calcolare concentrazioni e deposizioni degli inquinanti fotochimici, acidificanti e nutrienti: per questi si usa il termine di modelli di trasporto multi-inquinante (MTM) o Chemical Transport Models (CTMs). Gli MTM possono essere affiancati da altri approcci quali i modelli a recettore, ovvero un'insieme di tecniche che esaminano le emissioni, le caratteristiche anemologiche, le misure effettuate in un dato punto per trarre indicazioni sulla provenienza dei contributi, evidenziare nessi fra sorgenti specifiche e concentrazioni o particolari composizioni del PM. L'accuratezza di tali metodi dipende fortemente dalla capacità di impostare sequenze di misure non episodiche e frequenti rivisitazioni dell'inventario delle emissioni. Tuttavia, per quanto accurati, questi modelli descrivono la situazione corrente e possono

essere utilizzati per controllare le prestazioni degli MTM ma non consentono impieghi previsionali o analisi di scenario.

Un sistema modellistico in grado di simulare le concentrazioni di PM può essere schematicamente descritto come segue:



Vale la pena di soffermarsi sul rettangolo che contiene il modello meteorologico.

Da come vengono risolti i campi meteorologici dipende una funzionalità importante del modello di PM ovvero la capacità di prevedere le concentrazioni oppure quella di riprodurre una situazione già trascorsa. Il modello meteorologico che crea i campi in input al modello chimico e di trasporto può in altre parole essere lo stesso che prevede il tempo oppure può essere un modello che riconduce campi meteorologici prodotti in passato alla scala spaziale di interesse. Esistono poi variazioni complesse del tema rappresentati dai modelli “in linea” che consentono il feedback fra qualità dell’aria e meteorologia; nel caso del PM sarebbe possibile tener conto dell’effetto della concentrazione sul bilancio radiativo, ad esempio. In termini computazionali e organizzativi non vi è dubbio che la fase previsionale è molto più impegnativa rispetto a quella della ricostruzione a posteriori.

A quali domande, fra quelle che provengono da chi è responsabile delle politiche di controllo della qualità dell’aria, possono rispondere i modelli di trasporto multi inquinante? Come possono essere utilizzati soprattutto a supporto delle politiche di contrasto all’emergenza Particolato Atmosferico e con quale grado di incertezza? Proveremo nel seguito ad elencare le questioni che più frequentemente emergono.

a) Tipi di sorgente e precursori del PM: possono essere individuati e quantificati dai modelli?

Lo schema chimico che descrive il processo di formazione di solfato, nitrato e ammonio in forma particolare è sufficientemente efficace, tuttavia è più facile simulare il solfato che non il nitrato in quanto per quest'ultimo è necessario descrivere l'equilibrio gas/particella che necessita di temperatura, umidità e concentrazione dell'ammoniaca, parametri che a loro volta portano un'incertezza. Il punto tuttavia più dolente è la conoscenza dei Composti Organici Secondari creati dalla condensazione dei composti organici semi-volatili (ad esempio alcani pesanti e aromatici con pressioni di vapore basse e dall'ossidazione dei terpeni).

In generale si può affermare che gli MTM forniscono risposte soddisfacenti per le componenti inorganiche del PM mentre le prestazioni sui Secondari Organici vanno attentamente valutate prima di trarre conclusioni in termini di policy.

b) Trasporto da grandi distanze ed emissioni locali: vi è la possibilità di quantificare i contributi e di distinguerli?

Sì, si tratta di impostare l'MTM in termini di scala spaziale e condizioni al contorno ma in generale è possibile incorporare i contributi del trasporto da grandi distanze sia quelli localmente prodotti. La determinazione delle traiettorie del trasporto da grandi distanze è tanto più incerta quanto più cresce la distanza fra sorgente e recettore, inoltre possono esserci diversi livelli di dettaglio ed accuratezza fra inventari di emissioni inclusi nel dominio di simulazione.

c) Variabilità stagionale e influenze sul PM: si possono valutare?

Certamente sì. E' frequente l'utilizzo dei modelli per simulare stagioni anziché l'anno intero e per le simulazioni episodiche ancora più brevi. Incertezze potrebbero sorgere se non si tiene conto che esistono variazioni stagionali delle emissioni (incendi, risospensione crostale da terreni siccitosi etc), esiste una differenza stagionale nell'equilibrio gas-particella per nitrati ed organici (la fase particolata è favorita in condizioni umide e fredde), i processi di rimozione umida sono più intensi in inverno. Sulla base di tali osservazioni ci si aspetta che le prestazioni dei modelli siano peggiori in inverno rispetto all'estate.

d) Relazioni fra inquinamento da PM e ozono: ci sono? Sono quantificabili?

Ci sono e sono piuttosto complesse. Le particelle interferiscono con la luce solare ed in alcuni casi (le particelle carboniose) l'assorbono modificando il bilancio radiativo quindi il tasso di fotolisi ed in ultima analisi la formazione di ozono. Componenti importanti del PM quali solfati e nitrati in fase gassosa intervengono anche nello schema di formazione dell'ozono. Mentre è certo che riducendo il PM si riducono anche i flussi di deposizione di sostanze acidificanti, migliora la visibilità e si riducono le concentrazioni di metalli tossici e composti organici persistenti è incerta una relazione stretta e non equivoca fra riduzione del PM e riduzione di Ozono.

e) Componenti del PM e effetti sulla salute: si possono valutare?

Attualmente sono stati stimati effetti sulla salute a partire da una generica informazione sulle concentrazioni in massa del PM: tuttavia esiste il ragionevole sospetto che non tutte le componenti del PM siano impattanti allo stesso modo né si possa prescindere dalla concentrazione in numero.

Come abbiamo visto un MTM, oltre alla massa riesce a predire con qualche successo le concentrazioni di solfato, nitrato e ammonio, con meno sicurezza le concentrazioni di organici secondari. Possono essere distinti i contributi di sali marini e polveri crostali ma metalli e altri elementi difficilmente trovano descrizione nei modelli regionali. E' tuttavia possibile aggiungere specie modificando lo schema chimico e adeguando l'inventario delle emissioni.

f) E' possibile prevedere gli episodi di PM?

Come abbiamo detto commentando lo schema teorico, è possibile senza grandi variazioni al corpo del modello ma a patto di intervenire su alcune funzioni correlate. Si tratta di acquisire dinamicamente i campi meteorologici, variare quotidianamente l'inventario delle emissioni, esaltare le capacità di calcolo

per fornire la previsione in tempo utile. Le incertezze connesse all'uso prognostico sono le stesse dell'utilizzo "fuori linea" salvo non introdurre altre nelle fasi di manipolazione dei dati di input.

g) Utilizzare un modello per le politiche della qualità dell'aria: ci si può fidare?

La risposta banale sarebbe : dipende. Lo stesso si può dire se ci domandiamo : ci si può fidare delle misure? Dipende.

E' facile comprendere che per disegnare una politica efficace occorre avere informazioni certe che siano rappresentative di ciò che avviene in un territorio, quindi informazioni non episodiche da cui estrapolare conclusioni sfilacciate. Un modello è una rappresentazione approssimata della realtà: a volte descrive con poca precisione complessi fenomeni che avvengono in atmosfera, ovvero ha un'incertezza intrinseca. Le altre fonti di incertezza sono date dalle misure stesse contro cui il modello si confronta e con le quali si alimenta. E' un circolo vizioso la cui rottura implica dosi massicce di impegno per migliorare gli algoritmi, misure di ottima qualità estese sul territorio nazionale e continue nel tempo, attenzione alla speciazione delle concentrazioni di PM, un lavoro certosino sugli inventari delle emissioni.

Bisogna però essere consci che alcune cause che inducono delle differenze fra concentrazioni misurate e concentrazioni calcolate possono essere eliminate, altre no. Gli strumenti di misura sono progettati per selezionare il diametro aerodinamico (il diametro di una particella sferica con densità 1g/cm³ che si comporta come quella di interesse) mentre i modelli descrivono particelle con diametro pari a quello aerodinamico diviso la radice quadrata della densità della particella. Le misure possono avvenire con strumenti a temperatura e umidità costanti e controllate mentre i modelli "ricordano" la temperatura e l'umidità effettive. Le misure infine avvengono in luoghi precisi e rappresentano ciò che si trova nel volume campionato in quel punto mentre le concentrazioni calcolate rappresentano un valore medio nel volume della cella elementare.

In generale occorre un'applicazione non episodica allo sviluppo modellistico, confronti con altri modelli e verifica delle prestazioni su dati sperimentali, analisi della variabilità al variare della meteorologia. Ricordiamo infine che la recente normativa di origine europea ha introdotto (allegato X D.M. 60/2002 e allegato VII del D. Lgs. n. 183/2004) , analogamente quanto avviene per le misurazioni, una serie di obiettivi di qualità per la modellizzazione. Tali obiettivi di qualità , che sono espressi in termini di massimo scarto percentuale osservato- calcolato, costituiscono di fatto un criterio per la valutazione dell'affidabilità di una applicazione modellistica effettuata a fini istituzionali . Le esperienze italiane raccolte indicano che è possibile raggiungere tali obiettivi di qualità purché si disponga per l'inquinante considerato di dati di ingresso ai modelli adeguati sia in termini di qualità che di quantità (e naturalmente di personale qualificato per l'effettuazione delle simulazioni)

Una possibile lista delle abilità dei MTM direbbe quanto sinteticamente e qualitativamente espresso in tabella:

Massa e composizione del PM	Abilità nel riprodurre la grandezza
PM ultrafine	Scarsa
PM fine	Buona
PM grossolano (corse)	Buona
Solfati	Alta
Nitrati	Alta
Ammonio	Alta
Carbonio elementare (EC)	Media
Composti organici condensati (OC)	Scarsa
Altre componenti	Scarsa

GAS	
SO ₂ , NO _x	Alta
NH ₃ , COV, HNO ₃	Buona
O ₃	Media

2. Quali esperienze in Nord America ed Europa .

2.1 The North American Research Strategy.

Gli USA prima ed il Canada successivamente, sono fra gli antesignani nell'utilizzo di modelli atmosferici. Nel recente passato indagini approfondite su alcuni bacini particolarmente esposti a rischi di inquinamento hanno costituito delle vere e proprie pietre miliari nel cammino di conoscenza e nella storia della modellistica dell'inquinamento atmosferico (Los Angeles e l'inquinamento fotochimico, ad esempio). Per motivi di spazio ma soprattutto per le finalità del presente documento prenderemo in esame solo un'iniziativa che sintetizza bene lo sforzo di conoscenza finalizzato al risanamento che i tre maggiori paesi del Nord America hanno intrapreso. Si tratta del programma NARSTO (North American Research Strategy for Tropospheric Ozone) che coinvolge le agenzie ambientali governative di Messico, Usa e Canada. Nato nel 1994 con l'intento di sostenere la ricerca pubblica e privata sull'inquinamento da ozono, dal 1999 si è focalizzato sul problema del PM, seppur senza modificare il nome originale (Particulate Matter Science for policy Makers, A NARSTO Assessment, Part1 and 2, february 2003)

L'obiettivo del programma è esplicitamente quello di interpretare la complessità e le novità della recente scienza atmosferica ed estrarne chiare indicazioni per chi è deve gestire con scelte politiche appropriate l'inquinamento da particolato atmosferico.

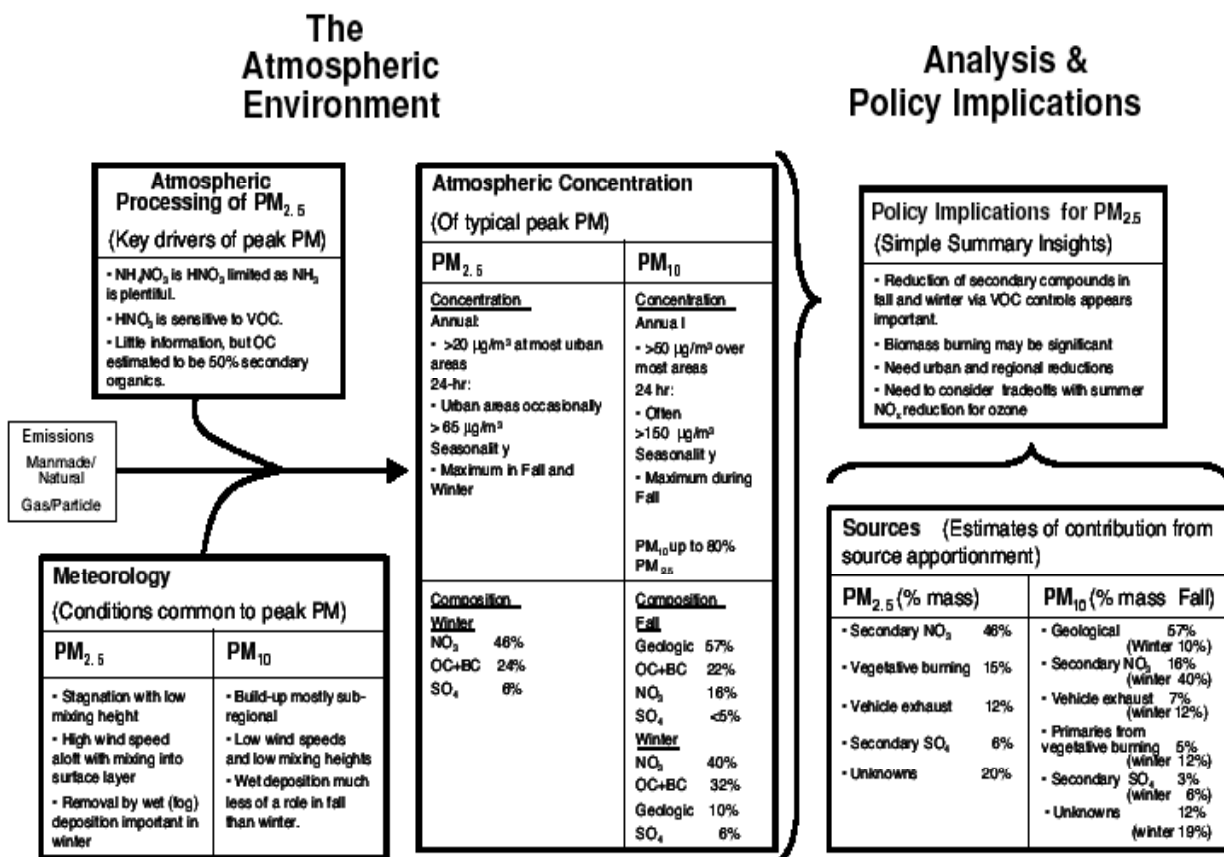
Un aspetto estremamente interessante che emerge dal rapporto NARSTO è quello dei tempi necessari per trasferire le informazioni scientifiche nel corpo delle decisioni politiche. Lo schema sarebbe il seguente:

Acquisizione delle informazioni	Tempo richiesto
Seguire i cambiamenti nelle emissioni	1-3 anni
Seguire i cambiamenti nelle concentrazioni	3-5 fino a 5-10 anni
Pianificazione, esecuzione attività di ricerca a livello nazionale	5-10 anni
Verifica produzione scientifica	2-3 anni
Conoscenza consolidata	6-8 anni

naturalmente a patto che l'impegno nella ricerca sia costante o incrementi nel corso del tempo. Questa tabella dimostra ancora una volta che efficaci azioni nel campo dell'inquinamento da particolato, si basano su conoscenze non improvvisate e sul legame non sporadico con la ricerca scientifica.

Dal programma NARSTO viene la conferma della enorme variabilità delle caratteristiche del PM da luogo a luogo e quindi l'inefficacia di un'unica, universale ricetta per la sua riduzione. Da questa considerazione deriva la costruzione di diversi "modelli concettuali" applicabili alle dinamiche del PM nel Nord America. Un modello concettuale è la rappresentazione delle migliori conoscenze sull'influenza che emissioni, meteorologia e processi atmosferici hanno sulle concentrazioni di PM in una data zona. I modelli concettuali possono anche guidare lo sviluppo dei modelli chimici di trasporto. Esistono 9 modelli concettuali preparati per altrettante zone del Nord America: San Joaquin Valley California, Los Angeles, Mexico City, Sud Est degli USA, Nord Est degli Usa, il corridoio Windsor-Quebec in Canada, la zona dei Grandi laghi, le praterie fra Usa e Canada e la Lower Fraser Valley una regione sul Pacifico .

A titolo di esempio la figura che segue mostra sinteticamente il modello concettuale della San Joaquin Valley.



E' evidente anche in questo caso il ruolo della caratterizzazione chimico fisica del PM e della conoscenza delle sorgenti.

Anche nel nostro Paese la maggiore conoscenza di alcuni bacini come la Valle Padana, le pianure costiere, le grandi isole etc, potrebbero portare ad una maggiore "personalizzazione" dei modelli di simulazione e orientare politiche di intervento più mirate.

2.2 EMEP

EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) nasce nel 1977 nell'ambito della Convenzione sull'Inquinamento Transfrontaliero dell'UNECE (UN Economic Commission for Europe) con l'obiettivo iniziale di studiare delle valide contromisure al fenomeno delle piogge acide.

L'attività di EMEP si sostanzia in tre filoni principali:

- Modellazione e monitoraggio dell'atmosfera
- Sviluppo di inventari di emissioni e loro proiezione futura.
- Modellazione di valutazione integrata (Integrated assessment modelling)

Per quanto riguarda il primo punto, attualmente EMEP ha a disposizione un modello lagrangiano per il calcolo delle deposizioni acide e un modello euleriano ("Unified EMEP model") che dal 2001 è in grado di trattare congiuntamente gli inquinanti acidificanti ed eutrofizzanti (SO_x e NO_x) , gli inquinanti

fotochimicamente attivi (O_3 e relativi precursori) e il particolato atmosferico, sia primario che secondario.

Quest'ultimo modello utilizza una griglia di 132x111 celle della dimensione di 50x50 km² ciascuna e copre l'intero continente europeo e alcune parti di Africa settentrionale, medio oriente e regione caucasica.

Il modello atmosferico è costantemente utilizzato per valutare l'impatto delle singole nazioni europee all'inquinamento complessivo dell'atmosfera del continente ed costituisce la base scientifica sulla quale si fondano alcuni protocolli UNECE relativi all'inquinamento transfrontaliero (Protocollo sulla riduzione delle emissioni di zolfo – 1984; Protocollo sul controllo delle emissioni di ossidi di azoto – 1988; Protocollo sul controllo delle emissioni di VOC – 1991; Protocollo sugli inquinanti organici persistenti – 1998; Protocollo sui metalli pesanti – 1998)

Riguardo al particolato atmosferico, la più recente valutazione del modello (EMEP Assessment Report, Ottobre 2004) ha mostrato come vi siano delle difficoltà ancora da superare per ottenere stime di concentrazione su scala europea. In particolare il rapporto reputa insufficienti le stime di emissione fornite dai singoli stati, la scarsa conoscenza di alcuni processi fisico-chimici, soprattutto relativi al particolato secondario e l'ancora insufficiente numero di stazioni di monitoraggio in grado di fornire informazioni dettagliate sul PM (spettro dimensionale, speciazione chimica e altro).

Nonostante questi limiti rendano le incertezze modellistiche sul PM maggiori di quelle relative agli altri inquinanti, qualche considerazione generale è comunque possibile:

- 1) Modello e misure concordano nel ritenere che la concentrazione di PM sia in significativa diminuzione nell'ultimo decennio.
- 2) La composizione del particolato è eterogenea e le strategie di abbattimento non possono prescindere da nessuna delle sue componenti (Primario, secondario organico e inorganico, carbonio elementare e organico)
- 3) La componente secondaria inorganica del PM mostra anch'essa una diminuzione, ma meno importante della diminuzione dei relativi precursori (SO_x , NO_x e NH_4)
- 4) Il background continentale di PM_{10} è attualmente stimato in circa 20 $\mu g/m^3$
- 5) Per il periodo 2000-2010 l'effetto della variabilità meteorologica sulle concentrazioni di $PM_{2.5}$ è stato stimato pari al 10 ÷ 20 % . L'ordine di grandezza di tale variazione è comparabile alla diminuzione che ci si aspetta di ottenere grazie al controllo delle emissioni.

I dati di concentrazione forniti dal modello EMEP per l'anno 1999 sono stati utilizzati come condizioni iniziali e al contorno per le simulazioni sviluppate con il modello atmosferico inserito nel sistema MINNI.

2.3 I Modelli di Valutazione Integrata (Integrated Assessment Model - IAM)

I modelli di valutazione integrata rappresentano uno strumento semplice ed al tempo stesso efficace di supporto ai decisori politici per valutare e confrontare diverse opzioni per ridurre l'inquinamento atmosferico. Il successo che hanno avuto negli ultimi anni sta da un lato nella semplicità concettuale dello strumento, che rende le valutazioni svolte facilmente comprensibili anche a persone non familiari con i mille aspetti tecnici e scientifici che stanno alla base di quelle valutazioni, dall'altro nella capacità di integrare tra loro tutti quegli aspetti indispensabili per poter fare una politica dell'aria che sia efficace e non velleitaria, compresa soprattutto la capacità di valutare l'efficacia ed i costi delle misure che possono essere introdotte per migliorare la qualità dell'aria che respiriamo. Un modello di valutazione integrata tiene conto dei risultati della ricerca scientifica nei vari campi, rilevanti per lo sviluppo di strategie (economia, tecnologia, scienze dell'atmosfera ed ecologia), combinandoli in un approccio costi-benefici.

Il modello RAINS-Europa e le versioni nazionali (PL, NL)

Il modello RAINS-Europa rappresenta sicuramente il modello più noto ed il più utilizzato tra i modelli di valutazione integrata esistenti su scala continentale. Il modello RAINS-Europa (*Regional Air Pollution Information and Simulation*) e' stato sviluppato da IIASA (*International Institute for Applied Systems Analysis*, Laxenburg, Vienna) ed è utilizzato da oltre 10 anni, a livello internazionale per le analisi di scenario concernenti l'inquinamento atmosferico, in supporto alla definizione di politiche ambientali europee.

Il modello ha subito una notevole evoluzione rispetto alla prima versione che affrontava solamente il problema dell'acidificazione dovuta agli effetti transfrontalieri dell'inquinamento atmosferico.

Nella versione attuale, il RAINS-Europa e' in grado di sviluppare scenari emissivi per gli inquinanti SO₂, NO_x, NH₃, COV, PM e Ozono, partendo da dati dei livelli delle attività produttive, nei vari settori nei quali vengono generate le emissioni (Settore Elettrico, Raffinerie, Combustione nel settore industriale, Domestico e Residenziale, Trasporti, Agricoltura, Allevamenti etc.) e dalla definizione della penetrazione delle tecnologie di abbattimento (Strategia di Controllo). Dagli scenari emissivi, il modello genera quindi delle mappe di concentrazione e deposizione degli inquinanti, attraverso l'utilizzo di opportune matrici atmosferiche che rendono conto della diffusione degli inquinanti in atmosfera. Tali matrici di coefficienti sono generate dal Modello Euleriano Unificato dell'EMEP, un modello atmosferico in grado di riprodurre il trasporto e la trasformazione chimica degli inquinanti sul continente europeo, modello utilizzato ufficialmente dalla Convenzione delle Nazioni Unite sull'Inquinamento Atmosferico Transfrontaliero di Lungo Raggio. I coefficienti rappresentano il flusso di inquinanti tra sorgente (Paese) e ricettore (unità di griglia, 50x50 km²). Le deposizioni e concentrazioni vengono quindi confrontate con i carichi e livelli critici ai fini di determinare l'impatto sull'ambiente in termini di acidificazione ed eutrofizzazione. Nella sua ultima versione il modello ha anche un modulo di impatto sulla salute umana, grazie a correlazioni elaborate dall'OMS, che stabiliscono una relazione statistica tra l'esposizione della popolazione alle concentrazioni di PM e ozono e l'incidenza di malattie gravi che provocano in definitiva una riduzione della aspettativa di vita (PM) o morte prematura (ozono).

Poiché l'entità di applicazione delle tecnologie e' definita dall'utente del modello, e' possibile definire vari tipi di scenari. Tipicamente si definisce uno scenario Baseline che corrisponde alla applicazione delle misure previste dalla Legislazione Corrente (CLE) e uno scenario detto MTFR, di Massima Riduzione Tecnicamente Possibile, che corrisponde alla applicazione al 100% delle tecnologie più efficienti considerate nel modello, offrendo quindi un limite teorico inferiore di emissioni e di impatto. Il modello contiene anche un database con i costi (di investimento ed operativi) delle tecnologie di abbattimento considerate negli scenari. In tal modo, il modello calcola i costi di attuazione delle misure di abbattimento insieme al relativo potenziale di riduzione, permettendo in definitiva analisi di costi efficacia tra varie ipotesi di policy di riduzione.

Il modello e' correntemente utilizzato nell'ambito dei programmi sulla qualità dell'aria della Commissione Europea (CAFE, Direttiva NEC) e in ambito ONU-ECE (Convenzione sull'Inquinamento Atmosferico Transfrontaliero di Lungo Raggio) per il Protocollo di Göteborg.

Versioni Nazionali (IT, PL, NL)

IIASA aveva sviluppato negli anni passati una versione nazionale sperimentale del Modello RAINS-Europa, applicato alla Polonia. Il RAINS-PL manteneva le stesse caratteristiche del RAINS-EU, applicandole al territorio nazionale e alle sue frazioni amministrative. Le potenzialità di tale versione nazionale hanno indotto l'ENEA, nell'ambito di un progetto volto a sviluppare un Modello Integrato per

L'Italia (Progetto MINNI) nell'ambito di un accordo di programma con il Ministero dell'Ambiente, a sviluppare in collaborazione con IIASA, una versione Italiana del RAINS-EU. La nazionalizzazione prevede la caratterizzazione del modello a livello delle regioni amministrative italiane, per ognuna delle quali sono conservate le funzioni del modello RAINS-EU (scenari, concentrazioni, deposizioni, costi di abbattimento, impatto su ambiente e salute). Inoltre la dispersione degli inquinanti e la chimica dell'atmosfera derivano dal modello euleriano sviluppato a livello nazionale, che tiene conto delle peculiarità meteorologiche e morfologiche del paese. Il sistema modellistico MINNI è descritto nel paragrafo successivo.

Sulla scia dell'esperienza italiana, l'Olanda ha commissionato a IIASA, una versione olandese del RAINS-EU, che si differenzia da quello italiano per la struttura di analisi per settori industriali anziché per regioni amministrative e per la risoluzione della griglia a 5x5 km². Anche altri paesi europei, quali ad esempio la Svezia e l'Ungheria, hanno mostrato interesse a seguire l'esperienza italiana e olandese.

2.4 Progetto Environmentally Sustainable Transport dell'OCSE

L'obiettivo di questo progetto, che è stato avviato nel 1994, è stato di sviluppare un approccio che include fin dalle prime fasi il perseguimento degli obiettivi ambientali nell'ambito di un processo pianificatorio, rovesciando in qualche modo l'approccio tradizionalmente seguito in cui la pianificazione prescinde dagli impatti sull'ambiente e si cerca di mitigare questi solo in una fase successiva¹. Quello che si vede è che seguendo l'approccio di considerare fin dall'inizio nel processo di pianificazione la tutela dell'ambiente è possibile raggiungere importanti guadagni in termini di efficienza complessiva.

Il progetto si è concluso con riferimento alle seguenti sei aree del mondo molto diversificate sia intermini di caratteristiche territoriali, ambientali e socio-economiche che in termini di estensione: la "area maggiore di Oslo", la Germania, l'Olanda, la Svezia, la regione alpina (che tocca Austria, Francia, Italia, Svizzera), e il corridoio Quebec-Windsor in Canada.

Con riferimento a queste sei aree il progetto si è svolto in quattro fasi:

Nella prima fase si sono definiti i temi ambientali cui ci si riferisce nelle successive fasi del progetto. Tali temi sono la qualità dell'aria, l'acidificazione ed eutrofizzazione, l'ozono stratosferico ed il cambiamento climatico. L'anno di riferimento è il 1990.

Nella seconda fase sono stati prodotti quattro scenari con riferimento a queste sei aree: un "business as usual" scenario (BAU) e tre scenari (EST 1, 2 e 3) consistenti con gli obiettivi ambientali imposti nell'ambito del progetto. Nello scenario EST 1 gli obiettivi ambientali si raggiungono esclusivamente attraverso misure di tipo tecnologico, assumendo che il livello di mobilità si mantenga uguale a quello dello scenario BAU. In EST 2 la situazione è in qualche modo invertita, in quanto gli obiettivi ambientali si raggiungono attraverso misure che riguardano la modifica della mobilità, restringendola e lasciando invariato rispetto allo scenario BAU lo sviluppo tecnologico. Nello scenario EST 3 la combinazione tra approccio tecnologico e riduzione del traffico per raggiungere gli obiettivi ambientali è stata definita dai gruppi di lavoro, e quindi tale scenario si presenta come quello più bilanciato.

La terza fase si è concentrata sull'elaborazione di una serie di strumenti con i quali i governi possono raggiungere gli obiettivi stabiliti e sull'analisi delle implicazioni socio-economiche.

¹ La differenza sopra evidenziata è quella che tipicamente esiste tra la tradizionale valutazione di impatto ambientale (VIA), che valuta l'impatto e determina le eventuali mitigazioni a valle della definizione di un progetto, e la valutazione ambientale strategica (VAS) che internalizza l'istanza ambientale già nel processo di pianificazione.

La quarta fase, infine, è stata completata nel 2000 ed è consistita nello sviluppo di una bozza di linee guida che può essere consultata dai paesi OCSE e da altri per avvicinare i rispettivi sistemi di trasporto ad un sistema sostenibile.

I risultati del progetto sono sintetizzati nel documento “*EST, environmentally sustainable transport*”, reperibile con tutte le informazioni inerenti al progetto sul sito dell’OCSE.

La figura 2.1 riporta le emissioni al 2030 nelle sei aree selezionate come valori percentuali delle emissioni al 1990 per lo scenario BAU. Nella stessa figura si riportano gli obiettivi per le emissioni che soddisfano i criteri EST per quanto riguarda la protezione dell’ambiente con riferimento ai temi menzionati sopra. Quello che si nota è che per soddisfare i criteri di sostenibilità ambientale posti dal progetto la riduzione delle emissioni inquinanti (PM, ossidi di azoto e composti organici volatili) deve essere radicalmente più elevata rispetto all’andamento previsto dallo scenario BAU dal 1990 al 2030. In particolare per il PM la riduzione dello scenario EST è tra il 60% e il 90% più forte rispetto alle riduzioni che si ottengono rispetto al 1990 nel BAU; per gli ossidi di azoto (NO_x) tra il 75% e l’85%; per i composti organici volatili (VOC) tra lo 0% e il 75%.

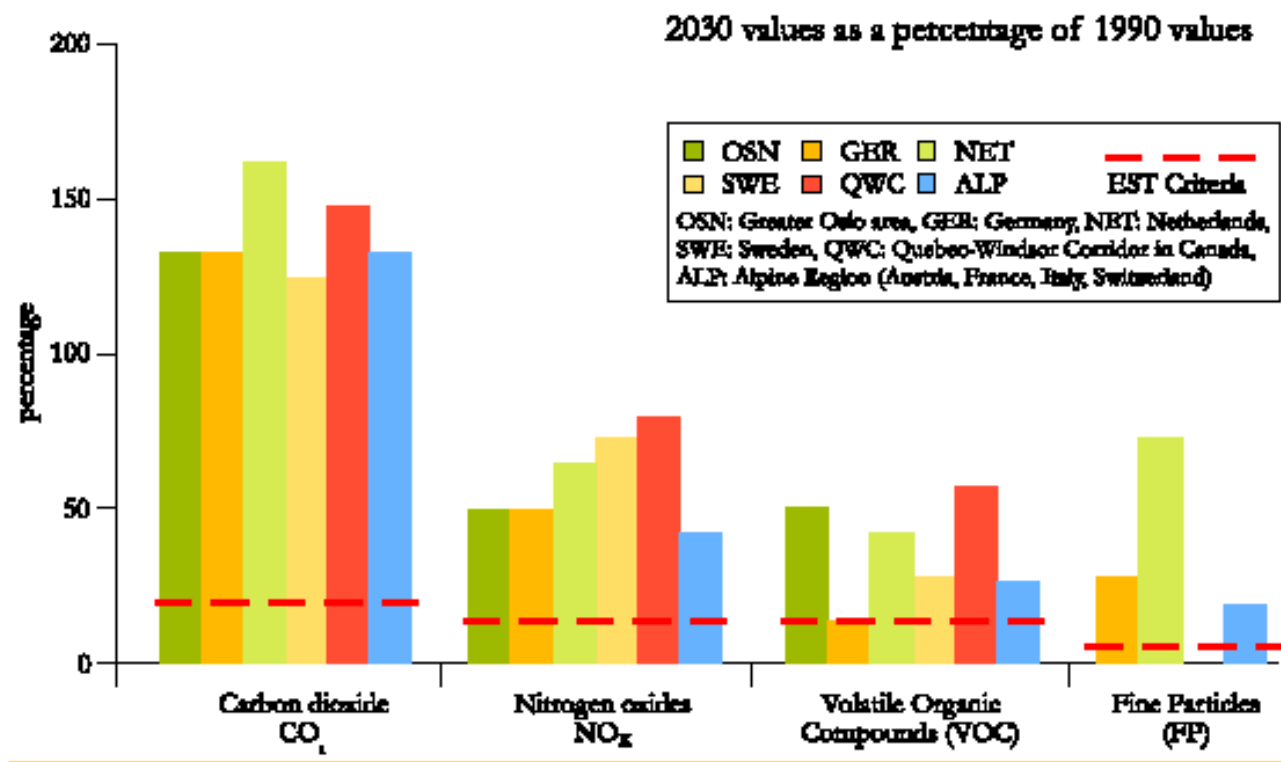


Figura 2.1 Emissioni al 2030 nelle sei aree selezionate per lo scenario BAU (in percentuale sulle emissioni al 1990) comparate con gli obiettivi EST

In generale le caratteristiche dello scenario EST 3 per tutte e 6 le regioni considerate sono: una notevole riduzione delle auto private con concomitante penetrazione di veicoli a emissioni zero o quasi zero (macchine elettriche, ibride, a idrogeno);

un uso più frequente di modalità di spostamento “non motorizzati” (a piedi o in bicicletta) per viaggi di breve percorrenza, con un concomitante aumento delle infrastrutture che permettono gli spostamenti non motorizzati;

una riduzione della quantità di merci trasportate a lunga distanza, con un concomitante aumento della logistica (con conseguente aumento del carico dei TIR) ad un uso maggiore dei trasporti ferroviari. In prospettiva, uso di idrogeno sia direttamente come combustibile che in celle a combustibile;

un aumento della disponibilità e dell'uso dei mezzi di trasporto pubblico e di modalità innovative di trasporto quali car sharing, car pooling, mezzi a chiamata eccetera;

l'utilizzo dei treni ad esclusiva trazione elettrica, con un aumento della capacità e della velocità su tutte le tratte, specialmente nel trasporto delle merci;

maggior utilizzo delle vie d'acqua sia interne che costiere con convogli non inquinanti.

2.5 Applicazione di modelli in campo previsionale in Europa.

L'applicazione dei modelli matematici, seppur consolidata da diversi anni nell'elaborazione delle previsioni meteorologiche, solo recentemente è stata proposta a supporto dell'elaborazione delle previsioni di inquinamento atmosferico.

Analogamente ai sistemi di modelli utilizzati per altre applicazioni (analisi di scenari, riproduzione di un episodio etc.), un sistema per la previsione dell'inquinamento atmosferico si deve comporre dei seguenti moduli: modulo di emissione per l'elaborazione relativa ai dati di sorgenti (lineari, areali, puntuali), modulo meteorologico per la costruzione dei campi di vento e temperatura, delle variabili di turbolenza e dei parametri del PBL, modulo di trasporto e di diffusione. Nel caso di inquinanti secondari un ulteriore modulo deve consentire di trattare il sistema di reazioni chimiche e i complessi processi fisico-chimici (deposizione, accrescimento, coagulazione etc.) nel caso del particolato. A differenza delle altre applicazioni, per supportare le previsioni di qualità dell'aria, il sistema deve essere però in grado di fornire le concentrazioni previste a 1–3 giorni. I dati di ingresso non possono quindi essere ricavati dai dati misurati o da simulazioni di un episodio già avvenuto, “storico”, ma devono essere ricavati anch'essi da previsioni. Solitamente il dato di emissione viene ipotizzato non modificarsi sostanzialmente da un giorno all'altro, al più si considerano profili temporali differenziati per giorno della settimana (lunedì, martedì etc.) o per tipo di giorno (feriale, prefestivo, festivo etc). Diverso è il caso per gli altri dati di ingresso. I dati meteorologici previsti vengono infatti ricavati dai campi forniti da modelli di previsione meteorologica a più scale. Generalmente vi sono più processori che consentono di innestare modelli differenti o lo stesso modello applicati a più scale e di processori per l'interfaccia con i modelli di dispersione (stima dei parametri del PBL, altezza di rimescolamento, diffusività verticale, adattatori di griglia, processori di assimilazione o interpolazione dei dati). I campi delle variabili meteorologiche a scala sinottica vengono generalmente ottenuti da sistemi di modelli operativi presso centri che forniscono previsioni meteorologiche quali l'ECWMF di Reading (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) o l'NCEP/NOAA (National Centers for Environmental Prediction- National Oceanic and Atmospheric Administration). Tali campi alimentano modelli meteorologici prognostici, tra i più utilizzati RAMS e MM5, applicati a scale locale (celle di 1-4 km di lato). In alcuni casi viene anche applicato un modello meteorologico a scala intermedia. Per esempio il NILU (Norwegian Institute for Air Research) utilizza in cascata i modelli meteorologici HIRLAM (10 km) e MM5 (1-3 km) a partire dai dati di un modello sinottico.

L'input meteorologico alimenta un modello di qualità dell'aria solitamente anch'essi multiscale (da continentale a regionale, da 50 a 10-5 km, fino a 1-2 km per la scala a risoluzione più fine). L'applicazione di un modello di qualità dell'aria ad una scala più estesa del dominio di quella del dominio di interesse è necessaria al fine di ricostruire le condizioni al contorno per tutto il periodo di simulazione (24-72 ore). Per quanto concerne i modelli di qualità dell'aria vengono solitamente utilizzati modelli numerici di chimica e trasporto CTM, per i gassosi anche modelli più semplici, per

esempio a puff. Alle volte è lo stesso modello applicato con nesting a scale via via più fini alle volte il modello e l'approccio cambiano a seconda della scala.

L'altro aspetto importante è la gestione temporizzata ed automatizzata nella raccolta ed elaborazione dei dati di ingresso che deve essere impostata in modo tale da garantire che i risultati dell'intera catena siano disponibili in tempi accettabili per consentirne un loro utilizzo da parte del previsore. Per esempio elaborazioni notturne consentono di disporre dei risultati già nel primo mattino.

Le catene utilizzate nelle esperienze in atto sono abbastanza simili, anche perché i modelli su cui si sono orientati i diversi enti sono spesso gli stessi e la disponibilità di dati sulla scala sinottica viene garantita solo da alcuni enti/servizi. I sistemi si differenziano nelle attività di post-processing dei risultati che vengono trattate mediante moduli aggiuntivi. A valle dei modelli di dispersione vengono per esempio utilizzati modelli di stima dell'esposizione della popolazione e degli impatti, in altri casi per la gestione delle emergenze (incendi, emissioni accidentali) e gestione long-term della qualità dell'aria (analisi di scenari, valutazione delle riduzioni delle emissioni), in altri casi moduli per la post processing grafico e statistico dei risultati per esempio per ottenere delle animazioni, degli indicatori (per esempio il AQI, air quality index, o parametri di confronto con le soglie previste dalla normativa). Anche se tali sistemi necessitano ancora di miglioramenti e verifiche, questo campo di applicazione è in evoluzione.

3. Quali esperienze in Italia

Le esperienze di modellazione con modelli deterministici (chimici o meno) attualmente in corso nel nostro Paese sono in numero considerevole e utilizzano strumenti di diversa complessità. Certamente il grande incentivo alle applicazioni modellistiche è venuto dalla necessità di eseguire la Valutazione Preliminare della Qualità dell'Aria o di supportare i Piani di risanamento, tuttavia, in alcuni casi, le applicazioni appaiono sporadiche o limitate a situazioni particolari.

Prima di affrontare la descrizione delle esperienze con modelli a scala nazionale o locale, accenneremo brevemente all'impiego di modelli statistici o fenomenologici che possono fornire indicazioni sulle concentrazioni o su parametri atmosferici intimamente connessi con l'evoluzione dell'inquinamento a scala locale, come l'altezza dello strato di rimescolamento.

Mediante i modelli a rete neurale è per esempio possibile prevedere le concentrazioni in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio a partire dalle serie di dati ivi misurati e dalle previsioni meteorologiche oppure è possibile prevedere le fluttuazioni dello strato atmosferico stabile a partire dalle misure delle concentrazioni di Radon al suolo.

Sempre sulla base dell'andamento temporale della radioattività naturale e delle variazioni biorarie, sono stati studiati e messi a punto degli Indici di Stabilità Atmosferica finalizzati all'interpretazione degli episodi di inquinamento primario (ISA primari). Questi indici, sono in grado di caratterizzare ogni giorno in termini di predisposizione meteorologica all'instaurarsi di un evento di inquinamento primario e in area urbana consentono, ad esempio, di disaccoppiare il contributo del traffico autoveicolare dal fattore meteorologico. Recentemente è stata proposta anche una versione non lineare mediante utilizzo di reti neurali.

Un ulteriore sviluppo degli ISA primari è l'indice di stabilità per il particolato che consente di disaccoppiare il contributo della situazione fisico-meteorologica del boundary layer da fattori esterni (ad esempio trasporto di sabbia dalle aree desertiche nord-africane o di aerosol marino dalle aree costiere) o variazioni nella produzione del PM10 conseguenti, ad esempio, a provvedimenti di limitazione del traffico autoveicolare.

L'insieme di tecniche statistiche, deterministiche, di analisi focalizzate sui recettori (i punti di misura) può mettere in fila una serie di informazioni che costituiscono il cosiddetto modello concettuale del PM, ovvero la serie di con-cause (dinamica atmosferica, caratteristiche dello strato limite, emissioni, evoluzione chimica in atmosfera, trasporto da grandi distanze, etc) che porta al verificarsi di determinate concentrazioni in un area.²

² I. Allegrini, A. Febo, A. Pasini, S. Schiarini (1994) - Monitoring of the nocturnal mixed layer by means of particulate radon progeny measurement, *Journal of Geophysical Research* **99 (D9)**, 18765-18777.

A. Pasini, F. Ameli, A. Febo (2002) - Estimation and short-range forecast of the mixing height by means of box and neural-network models using radon data, in **Proceedings of the Conference "Physical Chemistry 2002"** (S. Anić ed.), Society of Physical Chemistry of Serbia, pp.607-614.

A. Pasini, F. Ameli (2003) - Radon short range forecasting through time series preprocessing and neural network modeling, *Geophysical Research Letters* **30 (7)**, 1386, doi:10.1029/2002GL016726.

A. Pasini, F. Ameli, M. Lorè (2003a) - Short range forecast of atmospheric radon concentration and stable layer depth by neural network modelling, in **Proceedings of the CIMSA 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications**, IEEE, pp.85-90.

A. Pasini, C. Perrino, A. Žujić (2003b) - Non-linear atmospheric stability indices by neural network modelling, *Il Nuovo Cimento* **26C**, 633-638.

C. Perrino, A. Pietrodangelo, A. Febo (2001) - An atmospheric stability index based on radon progeny measurements for the evaluation of primary urban pollution, *Atmospheric Environment* **35**, 5235-5244.

C. Perrino, M. Catrambone, A. Febo, I. Allegrini (2004) - A new tool for the evaluation of the effectiveness of traffic reduction measures, **13th World Clean Air and Environmental Protection Congress**, London, 22-27 August 2004.

3.1 Modellistica a Scala Nazionale

3.1.1 ENEA - Il sistema modellistico di MINNI.

Il modello MINNI (Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziatione Internazionale sui temi dell'inquinamento atmosferico) è un sistema modellistico a scala nazionale in grado di simulare, su lungo periodo (tipicamente un anno), le concentrazioni e le deposizioni (secche e umide) dei principali inquinanti atmosferici. Il modello, tramite l'integrazione di diversi schemi chimici, consente di trattare sia inquinanti primari che secondari, sia in fase gassosa che particellare.

Nato nell'ambito dell'"Accordo di programma ENEA-Ministero dell'Ambiente su Cambiamenti Climatici ed Inquinamento Transfrontaliero", in collaborazione con ARIANET, MINNI si propone di fornire all'Italia un valido strumento di supporto per partecipare, con proprie valutazioni, al negoziato internazionale sui temi della riduzione delle emissioni. Il sistema modellistico, che vede il modello di dispersione e chimica interfacciato con un modello di valutazione integrata di impatto e di costi, consente infatti non solo di simulare concentrazioni e deposizioni dei principali inquinanti, ma anche di valutare i costi e l'efficacia di scenari emissivi alternativi. La comunicazione tra i due modelli, oltre a consentire analisi di scenario, può anche fornire informazioni sull'allocazione ottimale delle misure di riduzione da adottare per il raggiungimento di un prefissato target di deposizioni o concentrazioni (ad esempio il rispetto dei limiti di legge).

Il modulo di dispersione e chimica di MINNI è basato sul modello euleriano FARM (*Flexible Atmospheric Regional Model*), modello che rappresenta il risultato di una intensa attività di aggiornamento del più noto modello di trasporto, trasformazione chimica e deposizione di inquinanti aeriformi STEM-II (Carmichael *et al.*, 1991). Tale attività si è svolta nel corso degli ultimi dieci anni all'interno di progetti di ricerca nazionali e, in ambito europeo, all'interno dei progetti EUROTRAC-1 ed EUROTRAC-2 (www.gsf.de/eurotrac/). L'attuale versione di FARM, messa a punto e distribuita da ARIANET, è caratterizzata da un'ingegnerizzazione ed estensione del codice STEM all'interno di una suite modellistica completa, che include l'interfacciamento con codici meteorologici diagnostici e prognostici, con un sistema di gestione delle emissioni e delle condizioni al contorno e con tools di post-processing e di visualizzazione/animazione bi- e tri-dimensionale.

Prima di essere utilizzato all'interno di MINNI, FARM e il suo predecessore STEM-II sono stati applicati con successo in studi di caso ed analisi di scenari di riduzione delle emissioni in diverse aree negli Stati Uniti, Asia ed Europa (Bulgaria), su domini di dimensione variabile da alcune decine di km a qualche migliaio di km, con una risoluzione variabile da 1 ad 80 km.

In Italia il codice FARM è stato utilizzato in particolare per:

- lo studio di episodi di inquinamento fotochimico in Valle d'Aosta, Piemonte (De Maria *et al.*, 2005), Veneto, Lombardia (Silibello *et al.*, 2001a-b; Deserti *et al.*, 2001; Silibello *et al.*, 2005b), Puglia [Vedi anche paragrafi 4.2 e 4.5]
- la previsione dello stato di qualità dell'aria in due regioni italiane: Piemonte (Finardi *et al.*, 2005) e Puglia;
- a supporto della valutazione preliminare annuale della qualità dell'aria su scala regionale (Silibello *et al.*, 2005a) e l'analisi di relativi scenari emissivi futuri;
- per la valutazione di lungo periodo di scenari emissivi su scala provinciale (Calori *et al.*, 2005);

Nell'ambito del progetto MINNI sono stati finora utilizzati una versione aggiornata del modulo chimico implementato nell'*EMEP Lagrangian Acid Deposition Model* per la simulazione delle concentrazioni e delle deposizioni di inquinanti acidi, lo schema SAPRC-90 per la simulazione delle reazioni fotochimiche e gli schemi AERO3 e AERO0 per la simulazione del particolato.

L'input meteorologico per FARM è stato preparato utilizzando il modello prognostico non-idrostatico RAMS (basandosi sulle condizioni al contorno e i dati sinottici e di superficie forniti da ECMWF (*European Centre For Medium-Range Weather Forecast*)). In output RAMS fornisce campi meteorologici vettoriali e scalari a cadenza oraria (vento, temperatura, copertura nuvolosa, umidità, precipitazioni, radiazione totale e netta).

Il sottosistema emissivo prevede l'utilizzo di un pre-processore, Emission Manager, che, a partire dall'inventario nazionale annuale, disaggregato a livello provinciale (livello NUTS3), consente la preparazione dell'input emissivo per FARM: campi orari, disaggregati sulla griglia di calcolo, con la speciazione (per NO_x, NMVOC e PM) richiesta dal meccanismo chimico in uso. E' possibile trattare a parte le sorgenti puntuali per tenere conto degli effetti causati dall'innalzamento termico del pennacchio. I risultati del run del modello atmosferico di MINNI per il cosiddetto "caso base" (anno meteorologico 1999 e emissioni basate sull'inventario APAT 1999, risoluzione spaziale di 20 x 20 km) permettono di trarre alcune importanti considerazioni sia riguardo all'affidabilità del sistema modellistico che alle caratteristiche del particolato nell'atmosfera italiana.

Il particolato italiano visto da MINNI.

I dati di concentrazione e di deposizione calcolati dal modello atmosferico contenuto in MINNI sono stati confrontati con dati di misura tratti da differenti database: per i dati di concentrazione si è fatto riferimento alla banca dati nazionale BRACE, mentre la rete ConEcoFor ha fornito misure di deposizione settimanale. Sono state inoltre utilizzate per la validazione anche le stazioni della rete EMEP incluse nel dominio di calcolo. Per quanto riguarda il particolato atmosferico, MINNI ha dimostrato un'affidabilità almeno pari a quella dimostrata dal modello Euleriano EMEP e, fatta salva la diversa risoluzione, i risultati da esso prodotti mostrano una capacità di riprodurre il fenomeno del particolato atmosferico per lo meno pari a quella del modello EMEP, incluse le medesime criticità.

A titolo di esempio in figura 3.1 è mostrato il confronto fra simulazioni ottenute con il modello MINNI con differenti moduli di calcolo per il particolato, e alcune misure del background urbano effettuate a Milano che hanno coinvolto il PM_{2.5} totale e i le sue componenti secondarie inorganiche (nitrati, solfati e ammonio). E' evidente come il modello fornisca buoni risultati durante il periodo estivo nella quantificazione del PM_{2.5} totale e delle componenti secondarie, pur con una importante sovrastima dei nitrati. La situazione si modifica in inverno, quando il PM_{2.5} totale risulta sottostimato, pur migliorando la quantificazione delle frazioni secondarie.

Osservando le concentrazioni al suolo stimate da MINNI sull'intero dominio di simulazione (figura 3.2, a sinistra) risulta evidente la situazione difficile di alcune aree della penisola, prima fra tutte la pianura Padana, con picchi di concentrazione ben evidenti attorno alle grandi aree urbane e ad alcune grosse sorgenti puntiformi. Tali picchi di concentrazione corrispondono anche a zone nelle quali la componente primaria del particolato assume la massima importanza, comunque mai superiore al 50%. La componente secondaria del particolato risulta infatti nettamente preponderante su quella primaria (figura 3.2, al centro e a destra), con valori del 70-80% nelle aree lontane dai centri urbani (aree remote o di background).

La figura 3.3, pannello in basso a sinistra, evidenzia aree con una presenza non trascurabile di carbonio elementare, notoriamente indicatore dell'inquinamento prodotto dai motori a combustione interna. Relativamente modesto, soprattutto nell'area Padana, risulta invece il contributo del particolato secondario organico (Figura 3.3, in alto a destra). Le simulazioni ottenute con il modello atmosferico di MINNI dimostrano infatti che buona parte del particolato secondario è inorganico (figura 3.3, in alto a sinistra), soprattutto nelle zone remote dove esso costituisce fino all'80% del secondario complessivo. La figura 3.4 mostra la composizione del secondario inorganico in termini di componenti chimiche da cui risulta una differente specificità geografica di nitrati e solfati, con i primi predominanti al centro-nord (fino al 60% del secondario complessivo) mentre i secondi assumono importanza nell'area delle

grandi sorgenti geogeniche di zolfo (vulcani attivi). Il contributo di ammonio resta limitato, con punte massime del 20% del secondario complessivo nella parte settentrionale della pianura padana.

Matrici atmosferiche

Una volta validato, il modello atmosferico di MINNI sarà utilizzato per calcolare le matrici atmosferiche necessarie per il funzionamento del modello di valutazione integrata. Nel caso del particolato atmosferico, tali matrici rappresentano la variazione della concentrazione al suolo di PM nel dominio che fa seguito a un'ipotetica diminuzione delle emissioni di PM primario o di precursori in una data area (corrispondente con una regione amministrativa) per un dato periodo di tempo. Come descritto nel relativo paragrafo, tali matrici costituiscono la sintesi dei processi atmosferici attraverso la quale è possibile impostare le analisi economiche-energetiche effettuate con RAINS-Italy.

Altri scenari

Le potenzialità del modello atmosferico inserito in MINNI per lo studio di scenari emissivi sono state finora sfruttate per lo studio di alcune semplici ipotesi di riduzione. Ad titolo di esempio in figura 3.5 sono mostrate le riduzioni percentuali della media annuale di PM_{2.5} che si ottengono come riducendo le emissioni di ammoniaca del 30% nelle regioni della Pianura Padana. Altri scenari relativi al controllo delle emissioni da navi, sono in corso.

Sviluppi futuri

La versatilità e l'affidabilità del modello atmosferico descritto ne fanno uno strumento ricco di potenzialità per quanto riguarda ulteriori valutazioni di scenario future. Inoltre è possibile utilizzare gli strumenti modellistici di MINNI per svolgere simulazioni di bacino (è in corso un'applicazione all'area della pianura padana) e a scala regionale (si veda il paragrafo successivo) sfruttando i risultati ottenuti su scala nazionale come condizioni iniziali e al contorno. In questo senso è prevedibile che il sistema descritto si avvia ad essere base di partenza per molte esperienze modellistiche future, similmente a quanto avviene, su scala europea, per il modello EMEP.

Referenze

- Calori G., Finardi S., Nanni A., Radice P., Riccardo S., Bertello A., Pavone F. (2005) Long-term air quality modelling in Ivrea and Torino areas: sources contribution and scenario analysis. Proc. of 5th Int. Conf. on Urban Air Quality, Valencia (Spain), 29-31 March 2005.
- De Maria R., Cascone C., Motta F., Picollo M.E., Clemente M., Bande S., Muraro M., Lollobrigida F., Silibello C. (2005) Simulation of a summer ozone episode: influence of emission resolution and initial/boundary conditions. Proc. of 5th Int. Conf. on Urban Air Quality, Valencia, Spain, 29-31 March 2005.
- Deserti M., Desiato F., Brusasca G., Silibello C., Zanini G. (2001) Photochemical models application in the Po Valley (Italy): critical review and intercomparison. Proc. of 7th International Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Belgirate, Italy, May 28-31, 2001, 67-71.
- Finardi S., D'Allura A., Calori G., Silibello C., De Maria R., Cascone C., Lollobrigida F. (2005) Deterministic air quality forecasting system for Torino urban area: verification on winter and summer episodes. Proc. of 5th Int. Conf. on Urban Air Quality, Valencia (Spain), 29-31 March 2005.
- Silibello C., Calori G., Brusasca G., Giudici A., Angelino E., Fossati E., Peroni E., Buganza E., Degiarde E. (2005b) Modelling of PM₁₀ concentrations over Milano urban area: validation and sensitivity analysis of different aerosol modules. Proc. of 5th Int. Conf. on Urban Air Quality, Valencia, Spain, 29-31 March 2005.
- Silibello C., Calori G., Arduino G., Contardi C., Sordi F. (2005a) Model based yearly air quality evaluation on Piemonte region. Accepted at 10th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Sissi (Malia), Crete, Greece 17-20 October, 2005.

- Silibello C., Calori G., Pirovano G., Carmichael G.R. (2001-a) Development of STEM-FCM (Flexible Chemical mechanism) modelling system – Chemical mechanisms sensitivity evaluated on a photochemical episode. Proc. of *APMS'01*, Parigi 9-13 aprile 2001.
- Silibello C., Calori G., Finardi S., Pirovano G. (2001-b) Sensitivity of Ozone Predictions to Prognostic and Diagnostic Generated Meteorological Fields. Proc. of *A Changing Atmosphere - 8th European Symposium on the Physico-Chemical Behaviour of the Atmospheric Pollutants*, Torino, 17-20 settembre 2001.

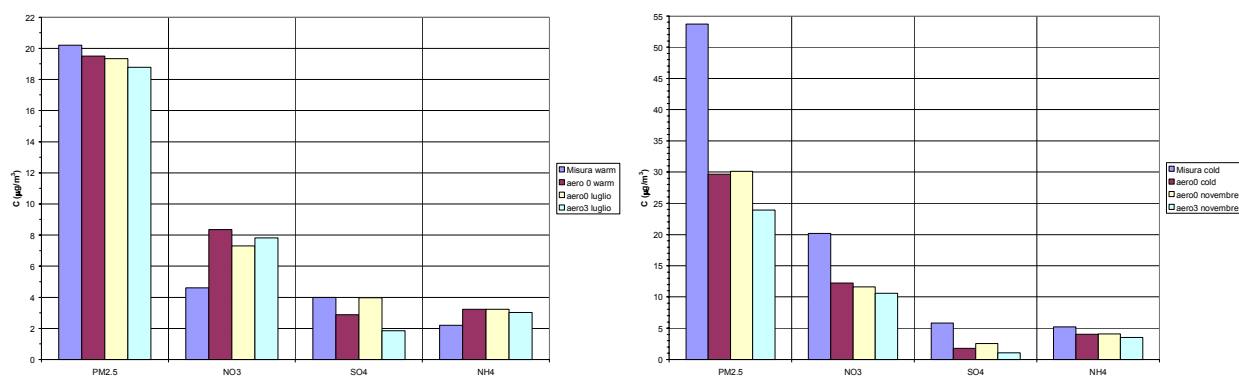


Figura 3.1 Confronto fra concentrazioni di PM2.5 e di alcune sue componenti secondarie inorganiche misurate a Milano in una stazione di tipo “urban background” e valori simulati da MINNI con differenti approcci in un periodo estivo (sinistra) e invernale (destra).

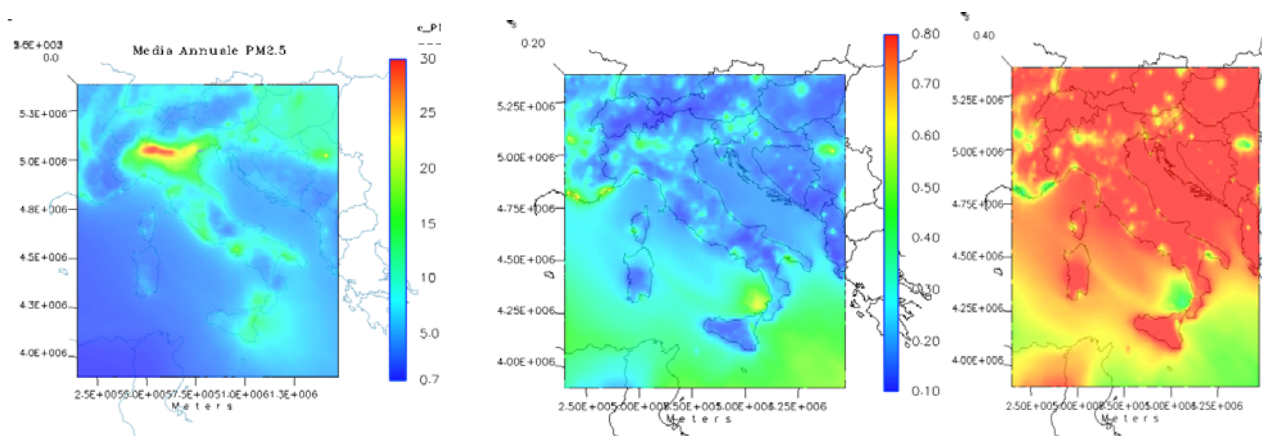


Figura 3.2 Media annuale della concentrazione al suolo di PM2.5 calcolata per il 1999 (a sinistra) e frazioni primaria e secondaria del medesimo particolato (al centro e a destra)

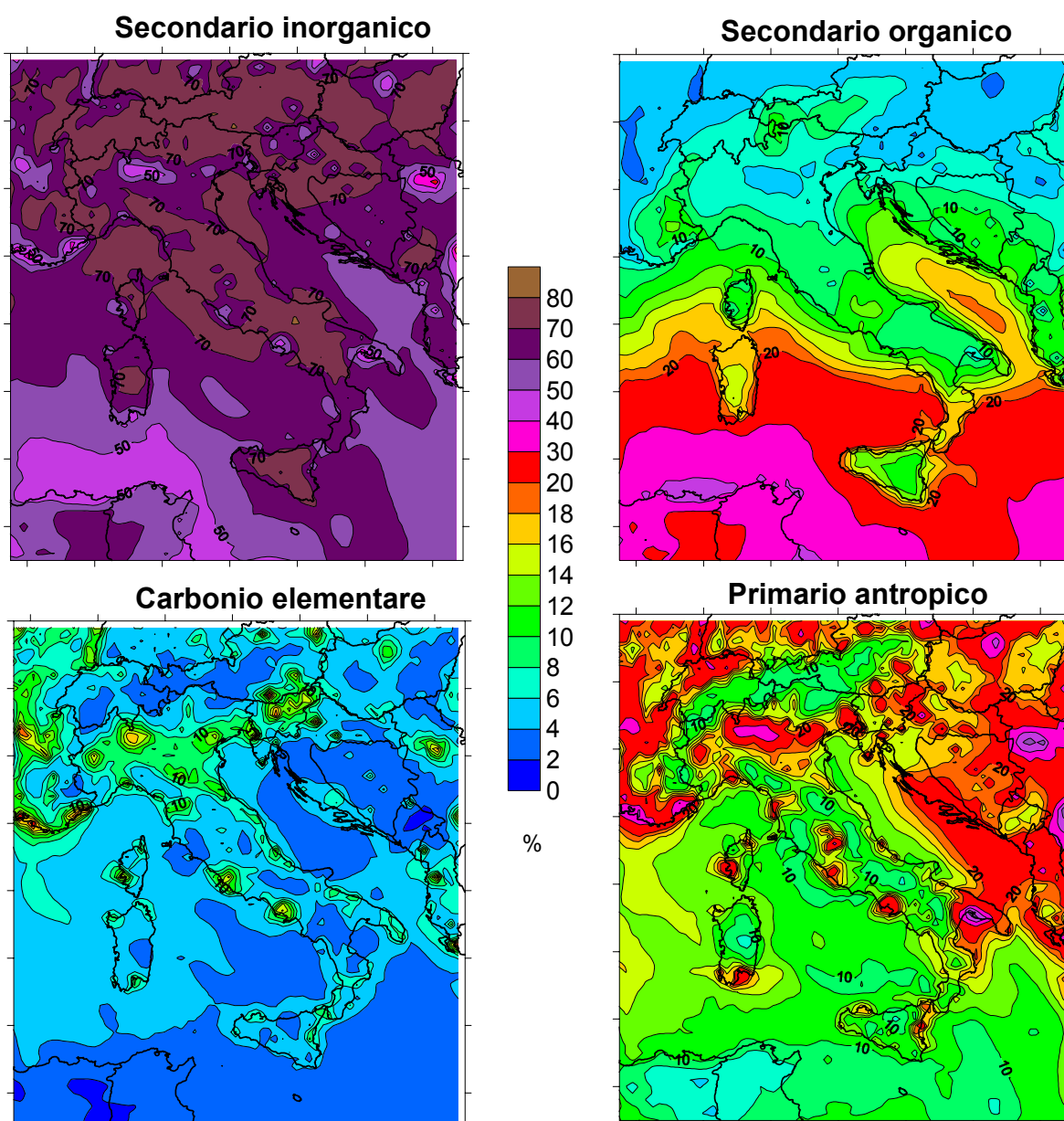


Figura 3.3 Frazione inorganica (in alto a sinistra), organica (in alto a destra) e costituita da carbonio elementare (in basso a sinistra) delle concentrazioni medie al suolo di PM10 nel mese di novembre 1999. In basso a destra l'apporto di primario di origine antropica.

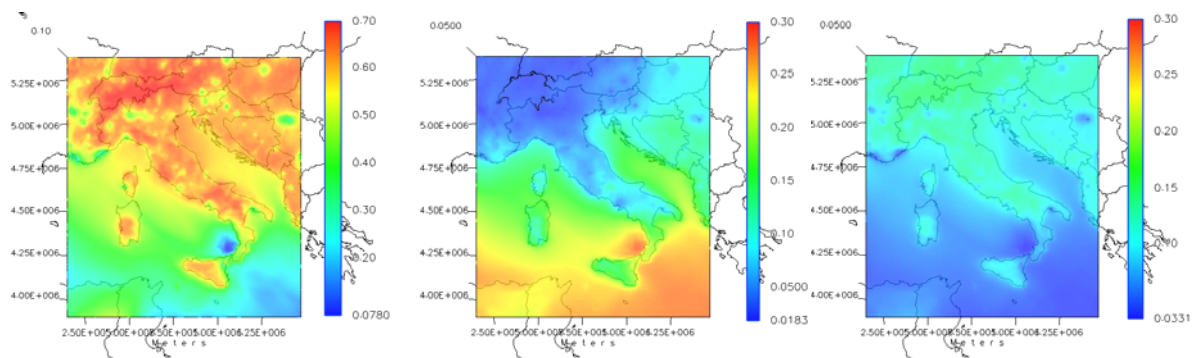


Figura 3.4 Frazione delle concentrazioni medie annuali di PM_{2.5} dovuta a nitrato, solfato e ammonio (da sinistra a destra).

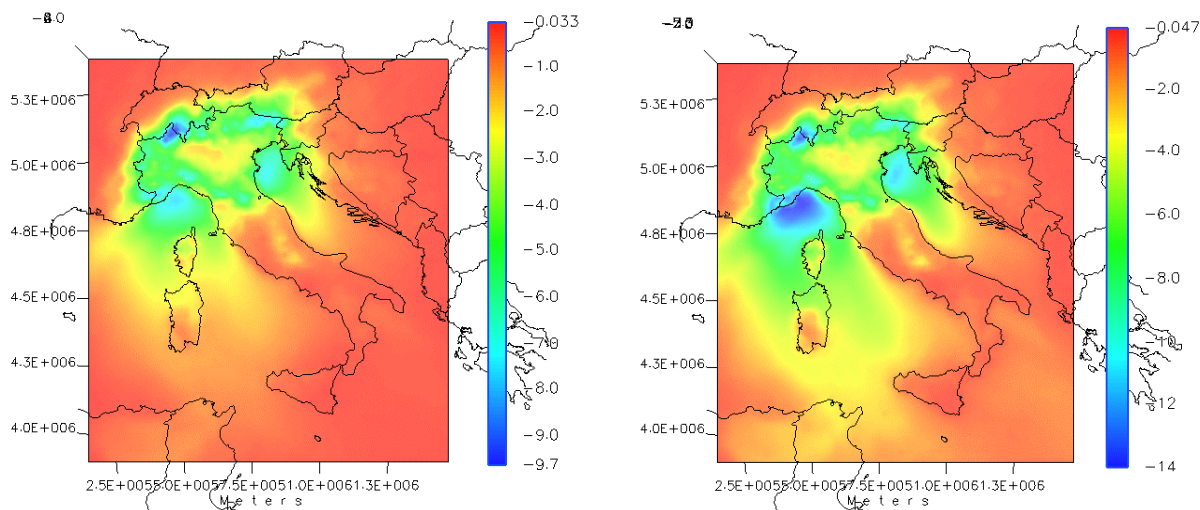


Figura 3.5 Riduzione percentuale della concentrazione media annua di PM_{2.5} (a sinistra) e di ammonio (a destra) ottenuta mediante la riduzione del 30% delle emissioni di ammoniaca del settore agricolo delle regioni del nord Italia.

3.1.2 L'esperienza CESI (Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano, www.cesi.it)

Nell'ambito delle proprie attività di ricerca, in particolare per quelle inerenti la ricerca di Sistema sul Settore Elettrico³, CESI ha sviluppato una significativa esperienza nell'utilizzo dei modelli matematici per lo studio delle problematiche dell'inquinamento secondario, su scala regionale e nazionale, quali acidificazione, eutrofizzazione, ozono troposferico e particolato fine.

Le valutazioni modellistiche vengono realizzate attraverso l'applicazione del codice di chimica e trasporto CAMx (<http://www.camx.com/index.htm>), cuore di un complesso sistema modellistico, recentemente aggiornato con l'introduzione del modello meteorologico RAMS.

Entrambi i codici appartengono all'attuale stato dell'arte nel campo della modellistica, vengono utilizzati a livello internazionale sia in ambito scientifico che applicativo e sono, quindi, soggetti a frequente manutenzione e aggiornamento. Infine, entrambi i modelli sono disponibili gratuitamente.

³ fondo istituito con il Decreto del 26 gennaio 2000 dal Ministero dell'Industria Commercio ed Artigianato (ora Ministero delle Attività Produttive)

Studi su scala nazionale

Lo studio condotto su scala nazionale relativamente all'anno 1999 ha permesso di ricostruire la distribuzione delle concentrazioni e delle relative deposizioni dei principali inquinanti atmosferici sull'intero territorio nazionale (es. ozono, ossidi d'azoto, PM10 e relativi composti). La scelta dell'anno è stata dettata dalla disponibilità dei dati di input, ma ha permesso comunque di esprimere considerazioni di estrema attualità perché, come evidenziato dall'analisi delle serie storiche, l'inquinamento da polveri sottili negli ultimi 5-6 anni non ha subito variazioni significative.

Nella figure 3.6 e 3.7 sono riportate alcune valutazioni relative alla concentrazione di polveri sottili (PM10). Le valutazioni presentate fanno riferimento alla media annuale che, per quanto riguarda il PM10, costituisce uno degli standard di qualità dell'aria. Poiché il modello è stato applicato ad una risoluzione orizzontale pari a 25 km, le concentrazioni ricostruite rappresentano sostanzialmente la stima del termine di "fondo" presente sul territorio italiano, ovvero non direttamente influenzato dalla presenza di sorgenti intense e localizzate (ad es. strade o in generale punti di traffico).

Come si può osservare la concentrazione presenta una distribuzione spaziale piuttosto omogenea, a conferma del carattere secondario dell'inquinamento da polveri sottili. In termini quantitativi la concentrazione varia tra 6 e 24 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], con picchi di poco superiori ai 25 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] in corrispondenza dell'area di Milano e più in generale nella pianura padana.

Una concentrazione di fondo così elevata (si ricorda che lo standard di legge in vigore è pari a 40 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] e nel 2010 scenderà a 20 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]) su un bacino così esteso conferma ovviamente la gravità del problema ed evidenzia ancora una volta la necessità di proporre interventi di risanamento di carattere almeno regionale. In termini relativi (vedi figura 3.6) la frazione secondaria è ampiamente preponderante e rappresenta, generalmente, oltre il 70 % del PM10 totale (si tratta, comunque, di una valutazione probabilmente affetta da leggera sovrastima).

La notevole preponderanza della frazione secondaria è legata al fatto che su scala nazionale, e quindi in termini di concentrazione di "fondo", diventano più rilevanti i processi di trasformazione chimica dei precursori gassosi, rispetto ai processi emissivi, predominanti sulla scala locale. Inoltre il particolato emesso presenta generalmente una granulometria maggiore rispetto al secondario e ciò lo rende più soggetto a processi di deposizione che ne limitano, quindi, il tempo di residenza in atmosfera lontano dalle sorgenti.

La figura 3.7 riporta la composizione della media annuale di PM10 in corrispondenza della stazione EMEP di Ispra (VA). Come si può osservare tutti i composti evidenziano un contributo significativo alla massa complessiva. Poiché l'origine dei principali precursori è diversificata (es. nitrati da processi di combustione, solfati da grandi impianti, ammonio da attività agricola, carbonio organico da trasporto, etc.), ne consegue che la definizione di azioni di risanamento deve investire, almeno in prima ipotesi, l'intero sistema antropico. Si osservi inoltre che la formazione di alcuni composti dipende da processi non lineari (es. equilibrio fra solfati/nitrati e ammonio) che rendono meno immediata la valutazione degli effetti di politiche di riduzione. Sempre in figura 3.7 sono riportate le medie annuali calcolate e misurate dei principali composti inorganici secondari nelle stazioni di Ispra e Montelibretti (Roma). Il confronto evidenzia un eccellente accordo fra misure e simulazioni a conferma della buona affidabilità degli strumenti modellistici come strumenti interpretativi e di supporto alla pianificazione.

Studi su scala regionale

L'attività di studio modellistico più completa svolta da CESI sulla scala regionale è costituita dal progetto CITYDELTA⁴. Il progetto, condotto dal centro di ricerca europeo JRC di Ispra, in collaborazione con EMEP e IIASA, a supporto del programma europeo CAFE⁵ (Clean Air for Europe),

⁴ <http://rea.ei.jrc.it/netshare/thunis/citydelta/>. CESI ha partecipato in collaborazione con altri enti ed istituti italiani

⁵ <http://europa.eu.int/comm/environment/air/cafe/>

è un esercizio di confronto fra modelli di chimica e trasporto orientato a valutare le variazioni della qualità dell'aria nelle aree urbane in risposta all'applicazione di differenti politiche di riduzione delle emissioni rispetto all'anno di riferimento (1999). In particolare, l'esercizio è finalizzato alla valutazione della qualità dell'aria in riferimento all'ozono troposferico ed al materiale particolato (PM), sostanze che costituiscono attualmente i fenomeni di inquinamento di maggiore criticità. Come si può osservare dalla figura 3.8 la simulazione su scala regionale fornisce in primo luogo una conferma della distribuzione spaziale già evidenziata dallo studio su scala nazionale. In termini quantitativi la migliore risoluzione (5 km contro 25 km) ha permesso di mettere maggiormente in luce il ruolo delle sorgenti, costituite dai principali centri urbani, e quindi di ricostruire in modo più netto i gradienti che si sviluppano tra aree urbane, rurali e remote. Una prima considerazione che si può quindi trarre dalla duplice esperienza è che la valutazione sinergica tra scala nazionale e regionale costituisce un potente strumento di analisi della problematica dell'inquinamento da polveri fini. Può essere interessante anche osservare che la simulazione evidenzia un'area molto estesa, compresa fra le province di Milano e Brescia, dove la concentrazione (riconducibile ad un "fondo" urbano) è sempre superiore all'attuale standard annuale di qualità dell'aria.

Infine nella parte destra della figura 3.8 è riportato l'effetto, sempre sulla media annuale, dell'applicazione di uno degli scenari di riduzione delle emissioni messo a punto nel progetto Citydelta e che costituisce una delle principali potenzialità degli strumenti modellistici.

Lo scenario discende dall'applicazione al 2010 della legislazione corrente e prevede una riduzione sull'intero dominio di del particolato primario di circa il 40 % , dei NO_x del 25% e dei SO_x del 40%. In termini di concentrazione si prevede una riduzione della media annua di PM10 variabile fra 5 e 20 µg/m³. In termini relativi, le variazioni ottenute corrispondono a riduzioni della media annua di PM10 dell'ordine del 25-30% .

Si tratta certamente di variazioni significative, ma non risolutive per l'area di Milano e neanche per le province limitrofe se riferite allo standard di legge previsto per il 2010 (20 µg/m³).

Conclusioni e prospettive

Nell'ambito della propria attività di ricerca, CESI ha messo a punto e iniziato ad applicare un sistema modellistico in grado di ricostruire l'evoluzione annuale sull'intero territorio nazionale e su aree specifiche i principali inquinanti atmosferici. Il sistema modellistico è costituito da modelli meteorologici e di chimica e trasporto di riconosciuto valore scientifico.

I risultati ottenuti confermano la validità dell'approccio seguito, degli strumenti applicati e della loro potenzialità nell'affrontare un problema su diverse scale spaziali.

Grazie al modello è stato possibile, in primo luogo, fornire una mappatura della concentrazione di polveri fini (PM10) sull'intero territorio nazionale e su specifiche aree regionali.

- In particolare le mappe hanno evidenziato che, come era ragionevole prevedere, le concentrazioni più elevate si manifestano in pianura padana e che più generale il problema ha un carattere chiaramente regionale se non addirittura di bacino.
- L'analisi sui singoli composti ha permesso di fornire indicazioni quantitative sulla composizione chimica e l'origine del particolato stesso, evidenziando che il termine di "fondo" (sia urbano che nazionale) ha origine principalmente secondaria.
- L'esempio riportato di applicazione di scenari di riduzione ha evidenziato che l'applicazione della sola legislazione corrente può non essere sufficiente per riportare le aree più critiche, come la pianura padana, al rispetto degli standard normativi.

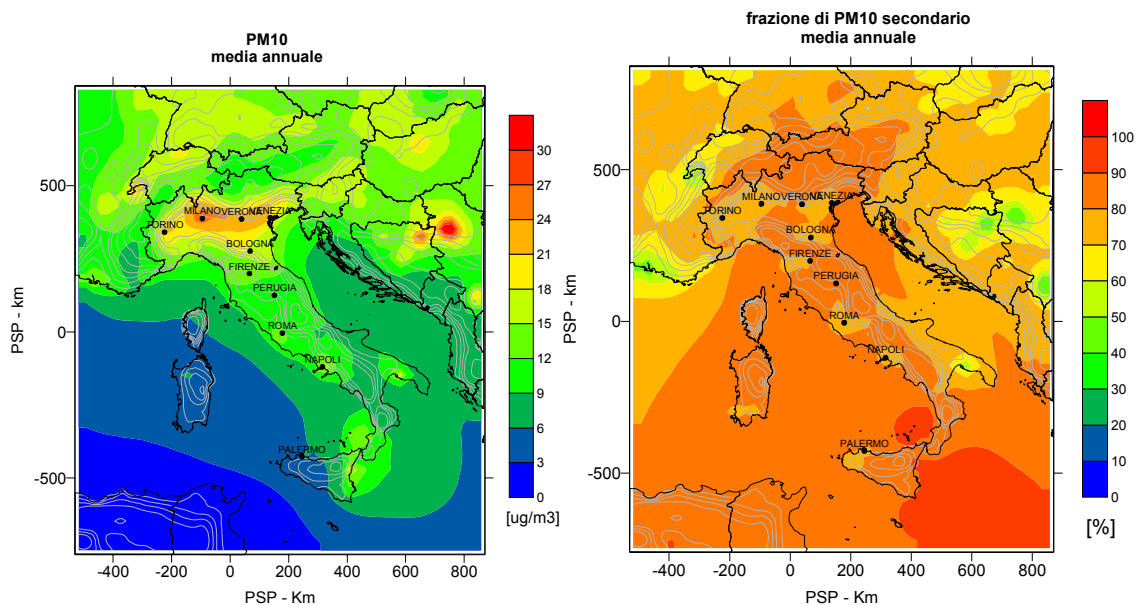


Figura 3.6 CAMx: ricostruzione della media annuale (1999) della concentrazione di PM10 al suolo (sinistra) e della frazione secondaria sulla massa totale (destra).

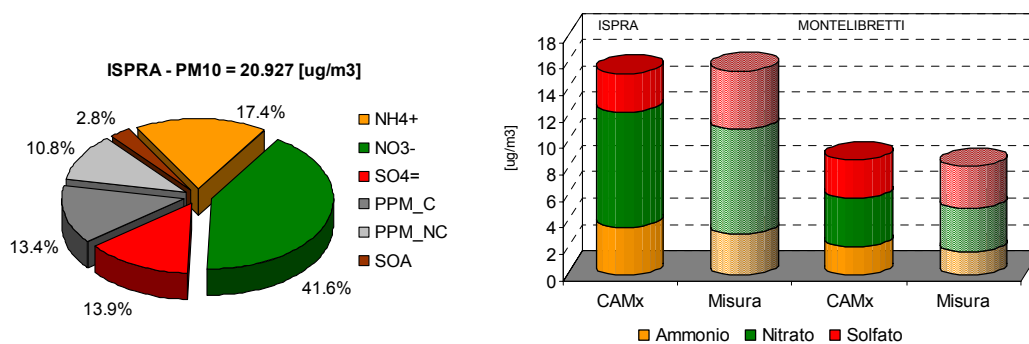


Figura 3.7 Composizione del particolato medio annuo in corrispondenza della stazione EMEP di Ispra (sinistra); confronto fra la media annua calcolata e misurata dei principali composti secondari inorganici nelle stazioni di ISPRA e MONTELIBRETTI (destra).

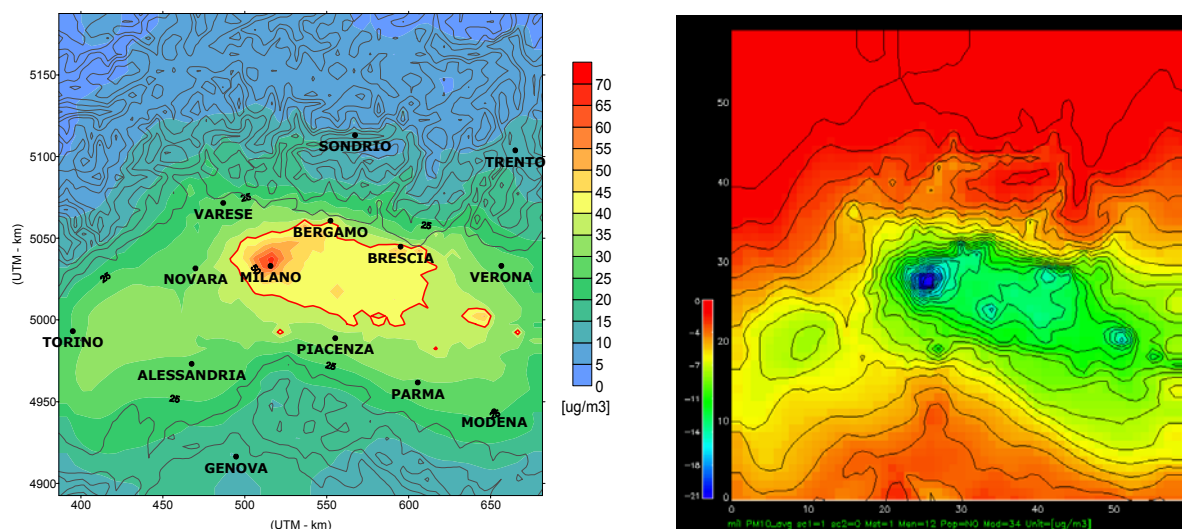


Figura 1.8 Media annuale di PM10 stimata dal modello CAMx per l'anno 1999 (sinistra); effetto dell'applicazione di una politica di riduzione sulla concentrazione media annua (destra)

3.2 Esperienze presso le Regioni e le ARPA/APPA

3.2.1 La raccolta delle informazioni

Ulteriori esperienze di utilizzo di modelli di qualità dell'aria sono portate avanti sia all'interno delle amministrazioni regionali che delle componenti regionali e provinciali del sistema agenziale (ARPA e APPA). Si è quindi ritenuta necessaria una ricognizione delle esperienze modellistiche relative al particolato svolte o in corso presso queste entità.

A tal fine, ARPA Lombardia, Regione Lombardia e Regione Piemonte hanno inviato a regioni ed Agenzie una scheda di richiesta di informazioni sulle caratteristiche delle simulazioni da loro svolte, con particolare riferimento al particolato. I destinatari, per la maggior parte, hanno risposto restituendo una tabella di sintesi relativa a ciascuna esperienza, talvolta accompagnata da un breve commento. In alcuni casi la risposta è pervenuta anche se per applicazioni modellistiche non concernenti il particolato.

Nel presente documento non sono al momento descritte attività modellistiche riguardando la sola scala urbana. A partire dalla seconda metà degli anni '90, molte Amministrazioni Comunali hanno intrapreso progetti di modellistica per la simulazione delle concentrazioni di inquinanti a supporto della pianificazione del traffico, per la gestione delle emergenze o per la localizzazione delle centraline di monitoraggio. Per quanto riguarda la simulazione del PM sembra accertata una sottostima generalizzata dovuta all'impiego di modelli che considerano la dispersione del solo PM primario (senza trasformazioni chimiche). Il risultato della simulazione a scala locale con modelli inerti potrebbe essere "corretto" con i valori di fondo forniti dai modelli chimici di trasporto a scala regionale o nazionale.

3.2.2 Il quadro generale

I modelli utilizzati

Dall'analisi dei contributi emerge che, nonostante un crescente utilizzo dei modelli di dispersione sia presso le Regioni che presso le APPA/ARPA, le esperienze che includono simulazioni del particolato totale e della componente primaria e secondaria, sono ancora poco numerose.

In effetti, i modelli CTM (Chemical Transport Model), che consentono di valutare entrambe le componenti che tengono conto dei processi fisici (accumulazione, accrescimento, coagulazione) e chimici che coinvolgono le particelle e che sono quindi in grado di riprodurre in modo più completo la dinamica di formazione, trasporto, diffusione e rimozione del particolato, sono utilizzati solo in pochi casi dato l'elevato onere di dati di ingresso, competenze specialistiche, risorse di calcolo richieste.

Per questo motivo, le applicazioni finalizzate alla simulazione del particolato sono abbastanza recenti, nonostante le applicazioni di modelli CTM siano ormai svolte per lo studio dell'ozono sin dai primi anni '90. (Proprio nel 1990 si concludeva la prima applicazione per lo studio dello smog fotochimica nell'area estesa di Milano del modello CTM CALGRID in Italia, svolta dal PMIP di Milano)

Tra i modelli CTM utilizzati si segnala: FARM (ARPA Valle d'Aosta, ARPA/Regione Lombardia, ARPA Piemonte), CAMx (ARPA/Regione Lombardia), CHIMERE regional (ARPA Emilia Romagna), alimentati solitamente con i campi meteorologici in ingresso forniti dai modelli meteorologici diagnostici MINERVE e CALMET o dal prognostico RAMS.

Per la simulazione della sola componente primaria del particolato si segnalano esperienze che coinvolgono il lagrangiano, SPRAY (ARPA Valle d'Aosta, ARPA Piemonte), il modello a puff CALPUFF (ARPA Veneto, ARPA Toscana), i modelli gaussiani ARIA IMPACT (ARPA/Regione Piemonte) e ADMS Urban (ARPA Veneto), CALINE 4 (ARPA Toscana) per lo studio del contributo da traffico, ISC (Industrial Source Complex Model) nella versione ST (short term) e LT (long term) per la ricaduta da fonti puntuali (ARPA/Regione Umbria, ARPA/Regione Liguria).

Sono inoltre state segnalate altre esperienze riguardanti l'uso di modelli gaussiani, (prevalentemente ISC, gaussiani ibridi o CTDM plus) applicati ad inquinanti gassosi ma non ancora al particolato (Regione Marche, ARPA Basilicata, Provincia di Trento).

Finalità e ambiti di applicazione

Per una buona parte le applicazioni citate nei contributi sono state svolte nell'ambito dei Piani di Risanamento della qualità dell'aria o come contributo alla redazione della Valutazione Preliminare della Qualità dell'Aria e sono solitamente finalizzate alla zonizzazione e all'analisi di scenari. Altre esperienze sono state intraprese per valutazioni ante e post-operam connesse alla realizzazione di nuove infrastrutture (ARPAV, ARPA Piemonte) o modifiche di esistenti (ARPA Valle d'Aosta). Altre esperienze, solitamente condotte con gaussiani (ARPA Umbria, ARPA Liguria), sono state finalizzate all'analisi di porzioni del territorio specifiche e più critiche dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico, sia per la presenza di fonti emissive che per la situazione orografica o per le condizioni meteorologiche più favorevoli a condizioni di accumulo.

Per quanto concerne le aree di applicazione di modelli CTM, solitamente i domini di simulazione, sono dell'ordine delle centinaia di chilometri di lato, talvolta sovraregionali (ARPA Emilia Romagna e ARPA Lombardia). Un contributo importante nella predisposizione dei dati di ingresso su scala di bacino è stato recentemente fornito da alcune ARPA (Emilia Romagna, Lombardia, Piemonte e Veneto) nell'ambito del progetto APAT-CTN_ACE tramite la creazione di un dataset comprendente campi meteorologici, emissioni, concentrazioni al bordo e dati di qualità dell'aria per la validazione, relativi a due bacini estesi (bacino padano e bacino mediterraneo) con dettaglio di 5 km per un periodo di un anno (1 Aprile 2003 -30 Aprile 2004).

Al contrario, le applicazioni di altri tipi di modelli (gaussiani, puff, ibridi) sono nella maggior parte dei casi svolte su scala locale, con domini dell'ordine di pochi chilometri di lato, e sono spesso finalizzate a valutare l'inquinamento di centri urbani o la ricaduta di specifiche fonti inquinanti (arterie stradali urbane ed extraurbane, sorgenti industriali più o meno complesse etc.).

Tali simulazioni sono alle volte infine condotte con lo stessa catena di modelli simulazioni su varie scale, per esempio come nel caso dell'ARPA Valle d'Aosta per consentire di ottenere un dettaglio superiore su aree di maggiore interesse.

Per quanto riguarda la loro durata, le applicazioni dei modelli più semplici possono anche essere estese anche all'intero anno mentre nel caso dei modelli CTM esse sono per la maggior parte ristrette ad episodi e solo in alcuni casi estese all'intero anno (ARPA Lombardia e ARPA Piemonte). In alcuni casi la simulazione sull'anno è stata ottenuta a partire dalle simulazioni di un certo numero di episodi "scenari meteorologi", opportunamente scelti sulla base della caratterizzazione meteo-climatica dell'area e dalla loro distribuzione e frequenza nel corso dell'intero anno (ARPA Valle d'Aosta).

3.2.3 Disamina dettagliata dei contributi forniti

Le esperienze citate nel contributo di **ARPA Veneto** si riferiscono a tre attività tuttora in corso. Le prime due simulazioni sono state intraprese per conto della Regione Veneto con l'obiettivo di investigare le ricadute atmosferiche di micro e macro inquinanti nella Laguna di Venezia. Nella prima di esse il modello CAMx è stato applicato sulla regione mentre nella seconda è stato applicato il modello CALPUFF su una porzione del territorio regionale al fine di approfondire il contributo dovuto all'area industriale di Porto Marghera. Entrambe le simulazioni si riferiscono ad un anno di simulazione (1/8/2004 – 31/7/2005) e utilizzano campi meteorologici ricavati dal modello meteorologico diagnostico CALMET con le condizioni al bordo ricavate con il modello CHIMERE. Nel primo caso le emissioni sono state ottenute dalla disaggregazione APAT CTN_ACE dell'inventario nazionale su base provinciale riferita al 2000, nel secondo da un inventario bottom-up delle principali sorgenti industriali. Completa il quadro delle esperienze venete l'applicazione su un intero anno del modello ADMS Urban per la stima ante e post realizzazione della tramvia e del nuovo assetto viabilistico connesso all'opera, svolta dal Dipartimento ARPAV di Verona per conto dell'AMT (Azienda Municipalizzata Trasporti) di Verona.

Nel contributo fornito da **Regione/ARPA Liguria** vengono citate due esperienze, delle quali solo la seconda include il particolato. Quest'ultima è stata svolta dalla Regione Liguria e da ARPA Liguria col supporto di Techne S.r.l. e si riferisce all'elaborazione della valutazione preliminare per la redazione del piano di risanamento e tutela della qualità dell'aria della Regione Liguria (luglio 2004) ed è finalizzata alla valutazione del contributo delle emissioni puntuali sulla qualità dell'aria in alcune aree industrializzate particolarmente significative del territorio ligure: aree industriali di Genova, La Spezia, Savona-Vado, Valbormida (SV), Busalla (GE). A tal fine si è utilizzata una metodologia statistica per valutare il contributo delle emissioni diffuse e lineari/nodali, mentre il contributo delle emissioni puntuali è stato stimato tramite modellistica diffusionale, applicando il modello gaussiano ISC LT 3 alle più importanti aree industriali liguri (in cui si concentra la quasi totalità delle emissioni "puntuali" della regione) per valutare la ricaduta degli inquinanti e quindi l'incidenza delle emissioni industriali sui livelli di inquinamento. Le simulazioni sono state effettuate sulla base dell'inventario regionale delle emissioni aggiornato al 2001 per gli NO2 e per il PM10 primario.

Le esperienze citate nel contributo fornito da **Regione Marche** sono state svolte nell'ambito del Piano di Risanamento della Qualità dell'aria e hanno riguardato lo studio della diffusione degli inquinanti in alcune porzioni del territorio con problematiche specifiche, legate alla particolare concentrazione di fonti emissive o alla situazione orografica e alle condizioni meteorologiche più favorevoli a condizioni di accumulo: la fascia costiera; le valli del Foglia, dell'Esino, del Chienti e del Tronto; l'area Ancona-Falconara e la bassa valle dell'Esino. Le applicazioni hanno privilegiato lo studio degli effetti dell'inquinamento di origine industriale, rispetto a quello dovuto al traffico veicolare e al riscaldamento civile, anche se per esempio nell'applicazione relativa alla zona di Falconara è stata svolta una

valutazione dell'inquinamento prodotto dal traffico (limitatamente alle vie di maggiore comunicazione), confrontando anche diversi scenari nei quali sono simulate diverse condizioni: maggior percentuale di veicoli catalizzati, diversa formulazione delle benzine, riduzione del traffico pesante.

Il modello gaussiano ISC ST è stato applicato a vari inquinanti: biossido di zolfo, benzene, IPA, Composti Organici Volatili (COV); in particolare nella valle del Foglia sono stati esaminati il toluene e lo xilene e nella bassa valle del Chienti il tetracloroetilene e il dicloropropano. Non risulta tuttavia sia stato simulato il particolato.

La Regione Umbria ha applicato dei modelli di diffusione degli inquinanti (SO₂, NO₂, PM₁₀) ad alcune aree particolarmente critiche in relazione alle emissioni industriali, nell'ambito del Piano regionale per la tutela ed il risanamento della qualità dell'aria, approvato dal Consiglio Regionale con atto n. 466 del 09/02/05 (pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione n. 14 del 30/03/05).

Attualmente sono in corso un aggiornamento ed una estensione ad altre aree dei modelli utilizzati, a cura dell'ARPA Umbria. Nelle tabelle riportate di seguito sono indicate le applicazioni di modellistica di dispersione per NO₂, SO₂ e PM₁₀ che sono, ad oggi, già previste. Queste avranno inizio in concomitanza con la conclusione dell'aggiornamento dell'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera all'anno 2004, previsto per fine anno, e che fornirà i dati di emissione richiesti dai modelli.

Sia gli studi modellistici che l'aggiornamento dell'Inventario, sono misure incluse nel Piano Regionale di Mantenimento e Risanamento della Qualità dell'Aria. In particolare, i primi rispondono all'esigenza di caratterizzare maggiormente lo stato dell'ambiente in alcune zone identificate dal Piano stesso e di prevedere l'efficacia delle misure contemplate dal Piano o di futura messa a punto.

Il materiale inviato da **ARPA Toscana** si riferisce a due applicazioni modellistiche. La prima denominata "PAC-Montelupo-Empoli" si è conclusa nel 2004, è relativa alla valutazione dell'apporto alle concentrazioni di particolato dovuto a due assi viari piuttosto importanti (per la zona oggetto d'interesse) ed è stata svolta con CALINE e CALPUFF.

La seconda applicazione è parte del progetto europeo HEARTS nell'ambito del quale è prevista la valutazione modellistica degli inquinanti, in particolare di PM₁₀, sull'intera città di Firenze.

Nel contributo fornito dalla **Provincia di Trento** si fa riferimento ai risultati della valutazione della qualità dell'aria effettuata mediante l'applicazione del modello di diffusione ISC su alcuni siti specifici (area di Trento, area della bassa Valsugana, area di Rovereto e area di Riva del Garda).

Il modello è stato impiegato in entrambe le opzioni "short term" e "long term", quest'ultima per valutare i valori medi di concentrazione per l'anno di riferimento 2000. Le simulazioni hanno riguardato ossidi di azoto e di zolfo, ma non risulta che lo studio abbia incluso simulazioni del particolato.

Nel contributo fornito da **ARPA Valle d'Aosta** vengono citate quattro esperienze. Le prime due rientrano nel PRQA e riguardano l'applicazione del modello lagrangiano SPRAY supportato dal modello meteorologico Minerve per la simulazione delle concentrazioni di inquinanti in corrispondenza di sette scenari meteorologici caratteristici del clima valdostano (anno 2003) su scala regionale (101 x 67 km) e con approfondimento per l'anno 1998 su scala locale (5 x 3 km).

Con la stessa catena modellistica è stata poi condotta una simulazione di scenario per la valutazione dell'impatto del flusso di veicoli pesanti transitanti nel tunnel del Monte Bianco sulla qualità dell'aria in funzione delle modalità di riapertura del traforo ai mezzi pesanti e della futura entrata in esercizio della discarica di rifiuti speciali a Pontey. Tale analisi di scenario è stata svolta per sette scenari meteorologici riferiti al 2002. Completa il quadro un'analisi dell'inquinamento di fondo della regione, relativa ancora al 2002. Nel corso delle quattro esperienze, condotte in tempi diversi, sono state utilizzate le versioni aggiornate al 2003, 1998, 2002 e 2002 dell'inventario regionale delle emissioni ARPA.

Il contributo fornito da **Regione/ARPA Emilia Romagna** fa riferimento alla modellazione della concentrazione media oraria di ozono per il periodo estivo 2003 (giugno-agosto) eseguita con l'ausilio di un sistema modellistico realizzato da Arpa Emilia Romagna innestando all'interno di un modello continentale un modello regionale che opera sulla pianura padana.

Tale sistema modellistico è basato sulla versione regionale del modello CHIMERE guidato dal modello meteorologico italiano LAMI, e utilizza le condizioni al contorno fornite dal modello continentale Prev'air.

Un modello chimico di trasporto e dispersione che consentirà la simulazione e la previsione anche del PM10 è in avanzato stato di realizzazione da parte dell'ARPA E.R. nell'ambito di un progetto di sviluppo sostenuto dalla Regione.

Tale modello, denominato NINFA, a partire dal 2006 girerà con frequenza quotidiana e verrà utilizzato per valutare la qualità dell'aria nella pianura padana e formularne delle previsioni. Inoltre il modello sarà utilizzato per eseguire analisi di scenario a sostegno della realizzazione di piani e programmi di miglioramento della qualità dell'aria e per fornire condizioni iniziali ed al contorno ai modelli a scala locale ed urbana utilizzati dalle sezioni provinciali di ARPA.

Dal contributo fornito da **Regione/ARPA Lombardia** emerge che applicazioni del modello CTM FARM per la simulazione del particolato sono state condotte nell'ambito di una ricerca del Libro Azzurro della Regione Lombardia. In tale contesto, sono stati simulati da ARIANET s.r.l., in collaborazione con ARPA Lombardia ed IRER, un episodio di inquinamento invernale sulla "Zona Critica Unica di Milano-Como-Sempione" ed un episodio di inquinamento fotochimico estivo sull'intero territorio regionale. In una seconda fase la stessa catena di modelli è stata applicata da ARPA Lombardia per simulare un episodio invernale sull'intero territorio regionale e valutare l'impatto sulle concentrazioni di PM10 di alcuni scenari relativi a diverse modalità di riduzione delle emissioni di particolato primario. Sono attualmente in corso di realizzazione alcune simulazioni sul periodo di un mese aventi il duplice obiettivo di investigare l'influenza di variazioni di primari e sulle concentrazioni di PM10, e di pervenire ad una migliore comprensione della dinamica di formazione del particolato, specie della sua componente di natura secondaria.

Nel 2004 ARPA Lombardia ha utilizzato un altro modello CTM, CAMx, e la catena di preprocessori per esso sviluppata, nel corso dell'esercizio CITYDELTA (fase II relativa al particolato) in collaborazione con il gruppo modellistico italiano che ha partecipato a tale progetto europeo (AMA-Milano, CESI, DEA-Università di Brescia, ARPA Emilia Romagna). L'attività, coordinata dal JRC di Ispra, si inseriva nell'ambito del programma CAFE (Clean Air For Europe) e prevedeva la partecipazione di diversi gruppi di modellisti ad esercizi di simulazione concernenti 8 domini europei. Nel corso di tale esercizio si sono simulati, su un dominio sovra regionale centrato sull'area milanese e comprendente porzioni delle regioni Lombardia, Piemonte, Emilia Romagna, Liguria, Veneto, un caso base e un gruppo di scenari emissivi forniti dallo IIASA.

Per quanto concerne l'utilizzo di modelli a fini previsionali, ARPA Lombardia sta sperimentando da gennaio 2005 la predisposizione quotidiana di mappe di tendenza a supporto della redazione del bollettino di qualità dell'aria, a partire dai risultati di catene modellistiche su scala più ampia (CHIMERE e Prev'air) ed elaborazioni ARPA.

Infine, vale la pena di citare le esperienze condotte nell'ambito del progetto PUMI (Particolato Urbano Milanese) con modelli statistici a recettore finalizzate a valutare i contributi delle varie fonti emissive locali alla concentrazione di particolato e a come tali contributi si modificano in condizioni meteorologiche differenti.

Nel contributo fornito da **Regione/ARPA Piemonte** si sottolinea che la Legge Regionale 43/2000 ha introdotto in Piemonte a livello normativo il concetto per cui la valutazione della qualità dell'aria va effettuata tramite un utilizzo integrato di reti di monitoraggio, inventari delle emissioni e sistemi

modellistici , come previsto dalle Direttive Europee in materia. A partire dal 2000 Arpa Piemonte ha quindi pianificato un percorso di acquisizione di risorse e di sviluppo di specifiche competenze nel campo della modellistica di qualità dell'aria e attualmente dispone di un sistema modellistico di tipo diagnostico per applicazioni sia a scala locale che a mesoscala costituito dai codici meteorologici MINERVE (modello meteorologico mass-consistent) e SURFPRO (modello di ricostruzione dei parametri di turbolenza nel PBL), dai codici dispersivi AriaImpact (analitico gaussiano) , SPRAY (lagrangiano a particelle), e FARM (CTM euleriano a griglia fotochimico), dall'applicativo Emission Manager per la predisposizione dell'input emissivo ai codici dispersivi e da una serie di moduli di supporto e interfacciamento.

Sono documentate nel complesso 20 applicazioni a diversa scala spaziale ; quattro di queste hanno preso in considerazione il PM10.

Le simulazioni a scala regionale costituiscono l'impegno principale dell'Agenzia sulla tematica specifica.. L'Agenzia effettua inoltre approfondimenti a scala locale in riferimento a sorgenti di particolare criticità (centrali termoelettriche, termovalorizzatori). Sono inoltre in atto attività di sviluppo e sperimentazione di sistemi modellistici previsionali a scala locale, in particolare per quanto riguarda l'area urbana di Torino (progetto FUMAPEX– Quinto Programma Quadro Commissione Europea); un analogo progetto avrà inizio nella seconda metà del 2005 per quanto riguarda il territorio della Provincia di Novara. In entrambi i casi la finalità principale , in termini di informazione al pubblico , è l'introduzione nel bollettino giornaliero dell'IQA (Indice di Qualità dell'Aria) ,che attualmente contiene una previsione qualitativa dell'evoluzione delle condizioni meteorologiche(si veda il sito <http://www.sistemapiemonte.it/ambiente/srqa/conoscidati.shtml>) dell'IQA previsto per il giorno di emissione del bollettino e per quello successivo.

Particolare rilievo ha il progetto “Valutazione regionale della qualità dell'aria mediante sistemi modellistici avanzati” , conclusosi nello scorso giugno e che ha previsto l'utilizzo della catena MINERVE-SURFPRO-FARM su un dominio di 220 x 284 km² comprendente l'intero territorio regionale . E' stata effettuata la ricostruzione dei campi di concentrazione orari di CO, PM10, SO₂, NO_x, NO, NO₂, O₃ e benzene per l'intero anno 2004 con risoluzione spaziale sul piano orizzontale di 4 km .

La base dati emissiva utilizzata è costituita dalla versione 2001 dell'inventario regionale delle emissioni; una specifica attività di sviluppo è stata effettuata all'interno del progetto in relazione alla modulazione temporale delle emissioni da traffico autoveicolare. Per l'input meteorologico è stata utilizzata una base dati ad hoc ottenuta selezionando , tra tutti i punti in cui risultavano disponibili misure o dati prodotti da modelli meteorologici a più ampia scala, un sottoinsieme ottimale in termini di tempi di calcolo e di rappresentatività. Per quanto riguarda le condizioni al contorno sono stati utilizzati i campi di concentrazione a scala europea prodotti dal sistema Prev'Air dell'istituto francese INERIS E' stato inoltre messo a punto un tool di post-processamento dati per il calcolo, per ogni punto griglia e per tutti gli inquinanti considerati, degli indicatori previsti dalla normativa vigente (D.M. 60/2002, D.Lgs. 183/2004).

Infine tra le esperienze più recenti viene segnalata la simulazione sul territorio regionale ottenuta mediante un'applicazione di *down scaling* del sistema Minni. Le elaborazioni condotte da ARIANET per la Regione Piemonte si riferiscono all'anno 1999. I dati di emissione sono stati ricavati dai risultati dell'inventario di emissioni regionale al1997, aggiornato per alcune fonti al 1999, le condizioni al bordo e i campi meteorologici sono stati ottenuti rispettivamente dai campi di concentrazione di Minni applicato su base nazionale e da un'applicazione *down scaling* di RAMS.

4. Sommario dei risultati: cosa dicono i modelli ?

4.1 Esperienze a scala nazionale

Delle esperienze a scala nazionale e dei principali risultati abbiamo parlato nel capitolo 3, paragrafi 3.1.1 e 3.1.2. Di seguito riportiamo invece alcune esperienze effettuate presso Regioni e ARPA.

4.2 Esperienze in Regione Lombardia /ARPA Lombardia

Il ruolo di alcune sorgenti

Allo stato attuale non sono state intraprese applicazioni specifiche di CTM finalizzate ad identificare il contributo di singole fonti. A supporto dell'analisi di dati di campagne di misura, si è condotta una preliminare indagine mediante l'uso di tecniche statistiche implementate nei modelli a recettore che, a differenza dei modelli deterministici, partendo dalla conoscenza della concentrazione misurata in ambiente e dalla caratterizzazione chimica della composizione del particolato, possono fornire indicazioni quantitative relativamente al contributo delle varie fonti che presentano ricaduta di particolato sul punto di misura. In particolare tali modelli sono utili nella stima di quelle sorgenti, quali la polvere del suolo, composta da silicio, calcio, alluminio che spesso non sono trattate negli inventari delle emissioni.

ARPA Lombardia ha messo a punto il modello a recettore Chemical Mass Balance (US - EPA) e l'applicazione, non ancora conclusa, consiste nell'individuazione delle fonti più influenti a Milano e nell'associazione di opportuni profili di speciazione chimica. Ai profili chimici presenti in letteratura si stanno affiancando, per alcune sorgenti, profili ricavati da misure raccolte durante campagne molto recenti ed ancora in corso.

Il modello è stato applicato alle misure Aprile – Luglio 2002 in condizioni meteorologiche diverse per valutare l'influenza sulle varie fonti di parametri quali velocità del vento, consistenza delle precipitazioni, etc.. Al fine di minimizzare l'incertezza i campioni sono stati divisi secondo condizioni meteorologiche omogenee. I giorni “con pioggia” sono quelli con precipitazione superiore a 1 mm sulle 24 ore, con “pioggia intensa” sono stati caratterizzati da pioggia con durata superiore a 10 ore e valori giornalieri superiori a 30 mm, con vento si riferisce a un episodio di foehn.

I primi risultati, riassunti in figura 4.1, mostrano l'importanza della componente riconducibile alle polveri del suolo. Tale contributo, che dall'applicazione svolta risulta circa il 15%, è come lecito aspettarsi molto sensibile al variare delle condizioni meteorologiche, aumentando in condizioni di vento particolarmente intenso.

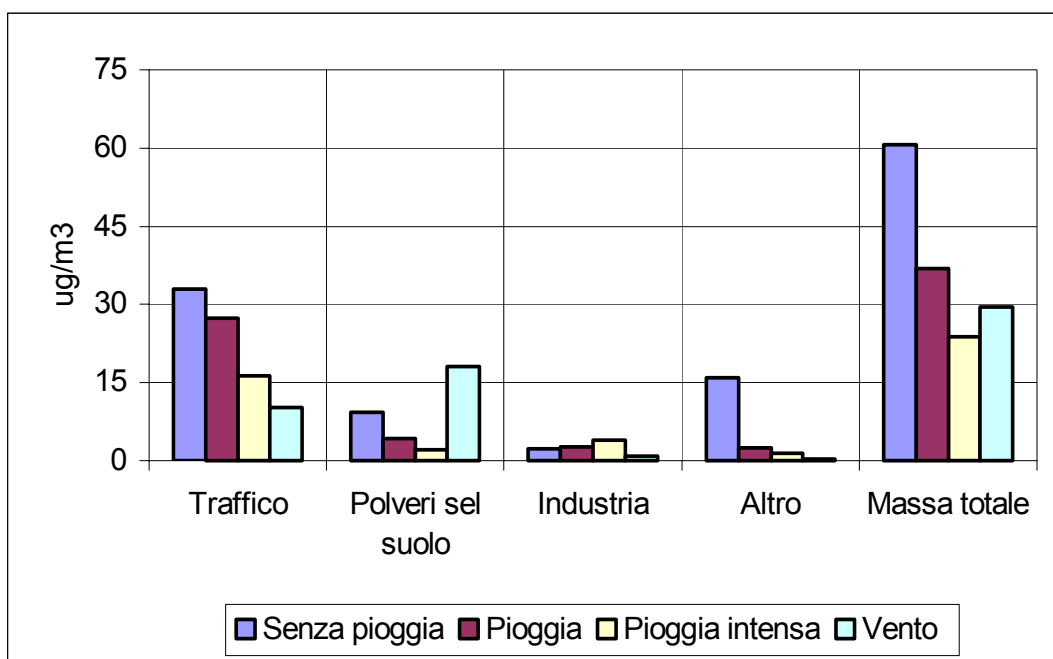


Figura 4.1 Risultati del modello a recettore CMB applicato ai dati di via Messina a Milano

Le componenti di PM primario e secondario

I contributi delle frazioni primario e secondario dipendono generalmente dalle caratteristiche meteorologiche del periodo di simulazione, dall'efficacia dei fenomeni di avvezione e di rimescolamento turbolento ma soprattutto dalle condizioni più o meno favorevoli alla formazione chimico-fisica di particolato secondario. Il peso delle componenti dipende poi dalla porzione del dominio in relazione al profilo emissivo e alle condizioni micrometeorologiche. Infine un ruolo non trascurabile nella stima di tali contributi, e più nello specifico nel peso delle varie componenti (solfati, nitrati, ammonio, frazioni organiche etc.) all'interno della frazione del secondario, può essere rivestito anche dal tipo di meccanismo chimico implementato nel modello CTM. A titolo di esempio si presentano i risultati ottenuti per i valori medi annuali delle concentrazioni nel corso della simulazione condotta con il modello CAMx nell'ambito dell'esercizio di intercomparazione City Delta (anno di riferimento: 1999).

In tal caso è stato possibile calcolare la frazione di secondario rispetto alla concentrazione media annuale di PM10 totale. Le figura 4.2 riporta le mappe di secondario e totale.

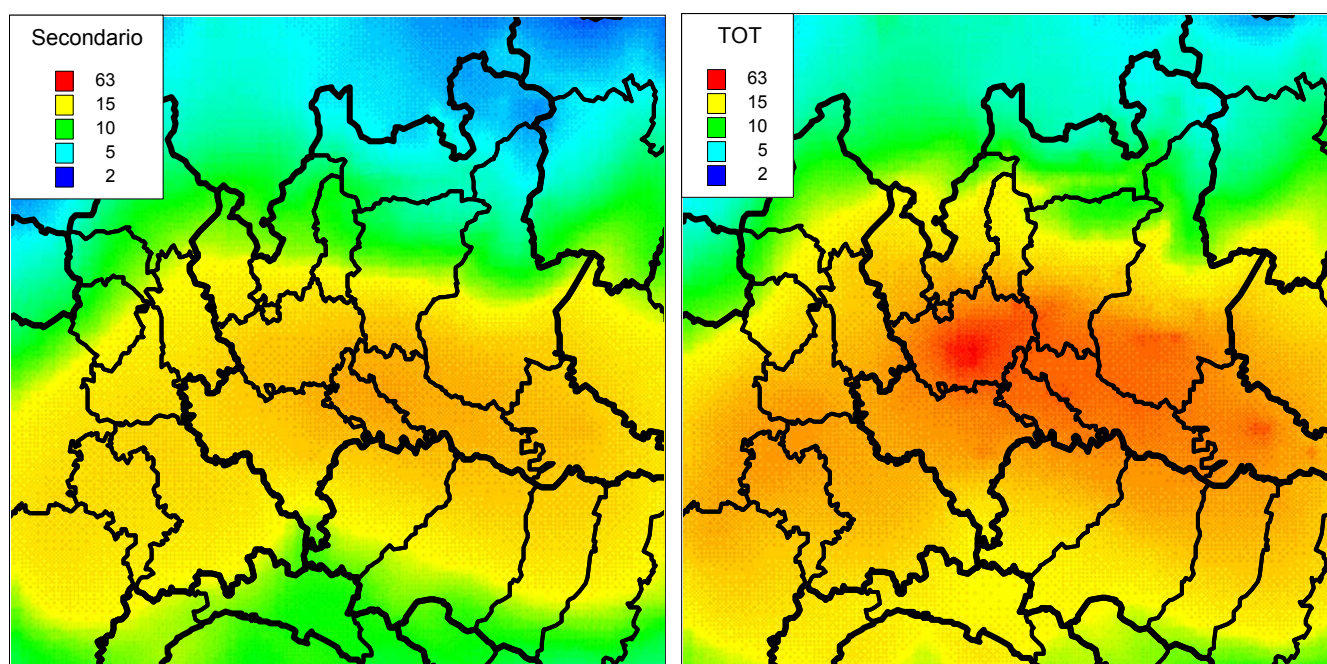


Figura 4.2 Concentrazione media annuale di PM10 totale e della componente secondaria calcolata con il modello CAMx da ARPA Lombardia nell'ambito dell'esercizio City Delta – CAFE

Complessivamente, il contributo del secondario alla media annuale è ben superiore al 50% e non è omogeneo su tutto il dominio, dal momento che, come si può notare, la distribuzione spaziale del totale e del secondario sono diverse. La prima, risentendo del contributo del primario, presenta i massimi in corrispondenza delle aree più urbanizzate (area urbana milanese e capoluoghi di provincia), la seconda mostra al contrario valori più elevati nelle aree extraurbane, generalmente zone rurali con elevata produzione di precursori (quali ammoniaca, derivante dalle attività di allevamento).

Analisi di scenari

In realtà non è stata fatta un'analisi modellistica finalizzata ad individuare le riduzioni emissive necessarie ai fini del rispetto dei limiti di QA, tuttavia, nell'ambito di City Delta CAFE sono stati simulati con CAMx da ARPA Lombardia alcuni scenari di emissione riferiti all'anno 2010.

Tali scenari, preparati dallo IIASA, combinavano le riduzioni su più inquinanti sulla base sia dell'applicazione della legislatura corrente (CLE – Current Legislation) sia dell'adozione della miglior tecnologia. Sulla base del confronto delle concentrazioni medie annue stimate rispetto ai limiti previsti per tale anno è possibile fare alcune considerazioni. Lo scenario CLE ipotizza tra il 1999 e il 2010 riduzioni su più inquinanti (40 % di PM10, 78 % SO_x, 40% CO, 30 % NO_x, 39 % VOC, 43 % PM_{2,5}).

Il confronto delle mappe di concentrazione media annuale di PM10 ottenute per il 1999, scenario base, e per il 2010, scenario CLE, mostra un'evidente riduzione delle concentrazioni localizzata nelle aree caratterizzate da livelli di concentrazioni elevate nello scenario base; la riduzione, pur presente, è molto meno significativa altrove. Sotto le ipotesi di scenario simulato, non risulterebbe comunque garantito su tutto il dominio il rispetto al limite indicativo dei 20 µg/m³ proposto per la concentrazione media annua di PM10 al 2010.

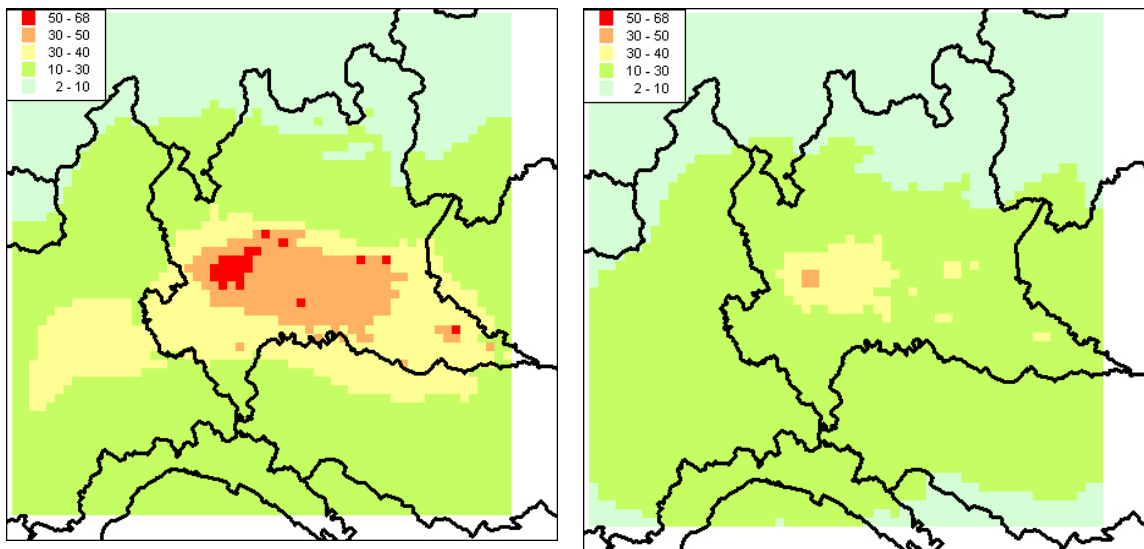


Figura 4.3 Concentrazione media annuale di PM10 riferita allo Scenario Base (a sinistra) e allo Scenario CLE (a destra) calcolata con il modello CAMx da ARPA Lombardia nell'ambito dell'esercizio City Delta – CAFE

Sono state svolte nel corso del 2004 alcune applicazioni del modello chimico e di trasporto FARM, (sistema modellistico ARIA Regional), finalizzate a definire una relazione tra le riduzioni di concentrazione di particolato rispetto alla riduzione delle emissioni di primari o precursori. Le simulazioni sono al momento in corso su un periodo più lungo, tuttavia dai risultati ottenuti su un episodio invernale (18-20 dicembre 2001) è possibile affermare che:

- complessivamente, l'impatto degli scenari simulati appare di portata limitata se si considerano le medie regionali; analizzando la distribuzione dei valori sul territorio, invece, le riduzioni sulle concentrazioni medie giornaliere rispetto al caso base si fanno localmente più apprezzabili;
- in tali simulazioni si è deciso di mantenere invariata la concentrazione degli inquinanti al bordo rispetto al caso base: è ipotizzabile che questo minimizzi l'impatto della riduzione delle emissioni all'interno del dominio. Questa ipotesi sembra confermata dal risultato delle simulazioni, che forniscono, a parità di scenario, diminuzioni più consistenti in aree poste al centro del dominio, rispetto a quanto avvenga nelle zone più adiacenti al bordo. La scelta di utilizzare condizioni al contorno di siffatto tipo è stata però motivata dalla ricerca di una "realistica" simulazione di limitazioni delle emissioni su un territorio regionale o poco più esteso. Ulteriori applicazioni del modello possono chiarire l'impatto effettivo di questa (o di opposte) ipotesi;
- in entrambe le fasi del progetto si sono simulati dei periodi più o meno ampi, ma non superiori a sette giorni. Questo comporta che i valori di riduzione delle concentrazioni che si ottengono possono considerarsi indicativi dei risultati di una limitazione episodica e non continuativa delle emissioni.

Alla luce di quanto sopra si è quindi deciso di consolidare i risultati ottenuti estendendo il periodo di simulazione, specie per quanto attiene all'incidenza della riduzione delle emissioni di precursori del particolato secondario, il cui meccanismo di formazione è non lineare e fortemente dipendente dalle

caratteristiche locali. La simulazione sul periodo più lungo è tuttora in corso. A titolo di esempio si riportano i risultati ottenuti per uno dei giorni dell'episodio invernale.

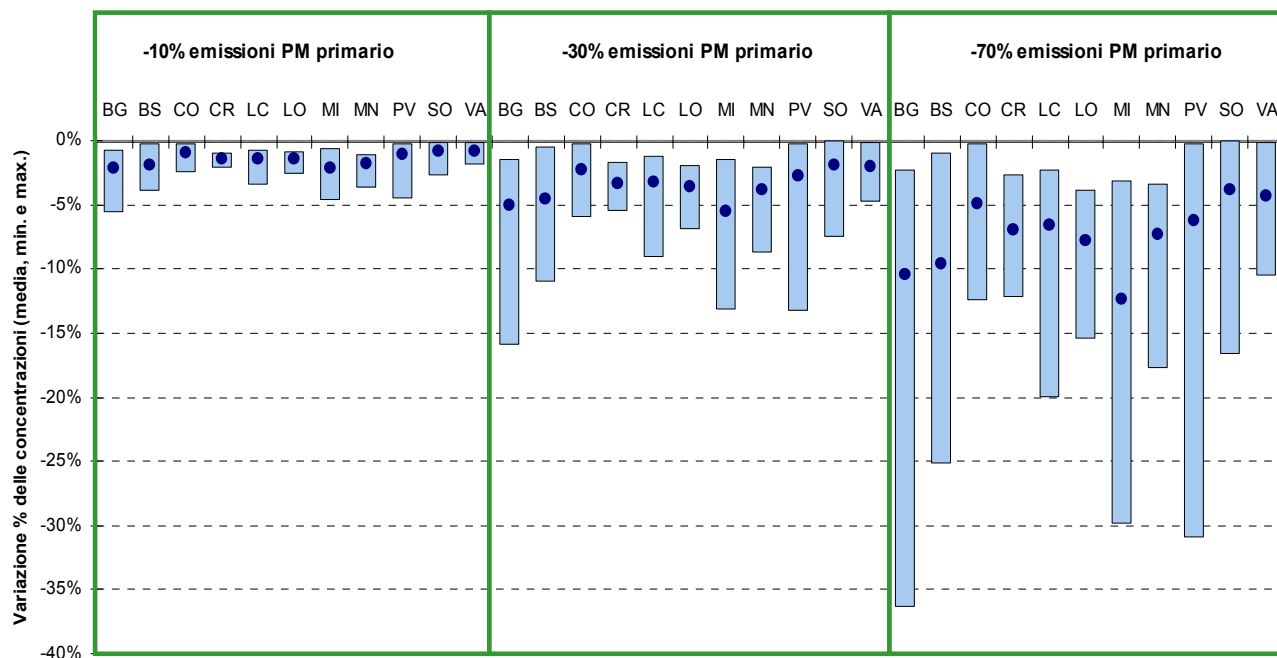


Figura 4.4 Incidenza di diverse riduzioni delle emissioni di PM primario sulle concentrazioni medie giornaliere del 20.12.2001 calcolate con il modello FARM. La barra verticale indica lo spettro di variazione della riduzione per provincia, il pallino indica la variazione media rispetto al caso base

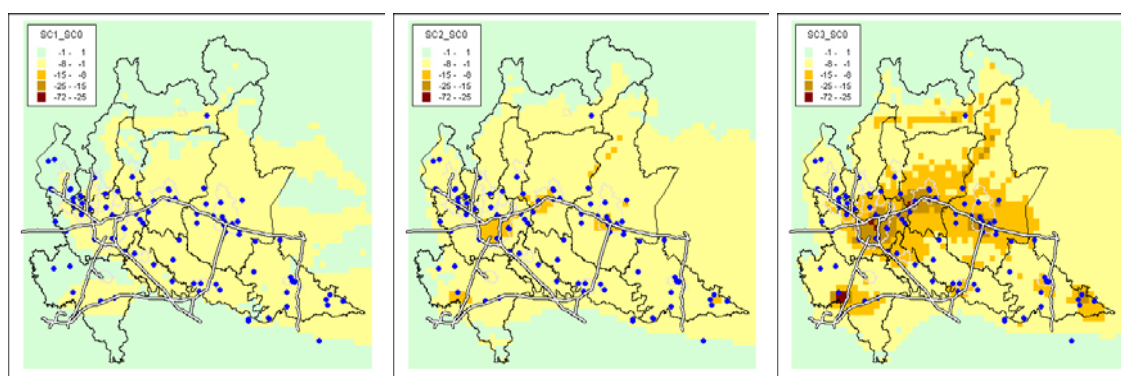


Figura 4.5 Mappe delle variazioni relative alla concentrazioni medie giornaliere di PM10 del 20.12.2001 per cella per vari scenari di riduzione delle emissioni di PM10 primario.

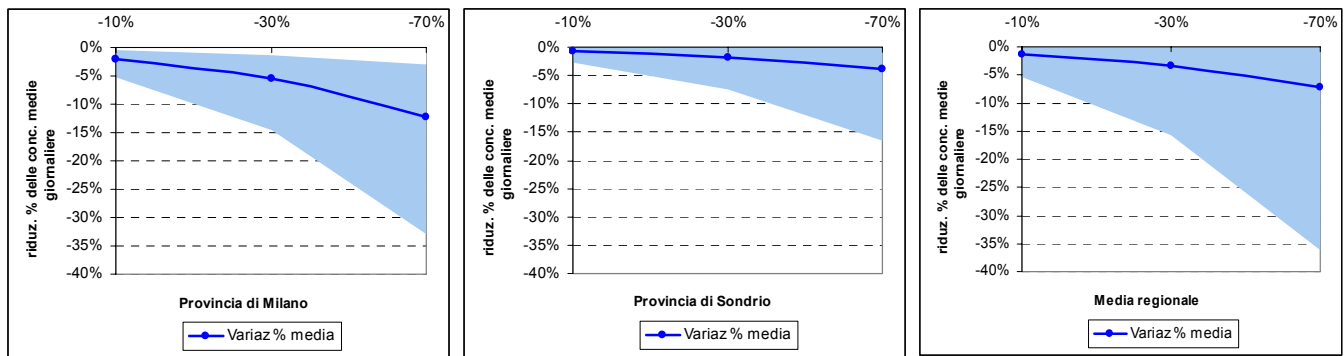


Figura 4.6 Interpolazione delle variazioni percentuali minima media e massima relativa alla media giornaliera del 20.12.2001 in base alla variazione delle emissioni di PM primario riferiti alla media regionale e ad alcune province

Influenza delle condizioni meteorologiche sulla concentrazione.

L'analisi dell'influenza delle condizioni meteorologiche richiederebbe un'analisi più estesa, andrebbe integrata con altre comparazioni di trend delle principali variabili meteorologiche e PM. In figura 4.7 è mostrato un esempio della correlazione, forse la più evidente, fra basse altezze di rimescolamento e accumulo delle concentrazioni di particolato misurate.

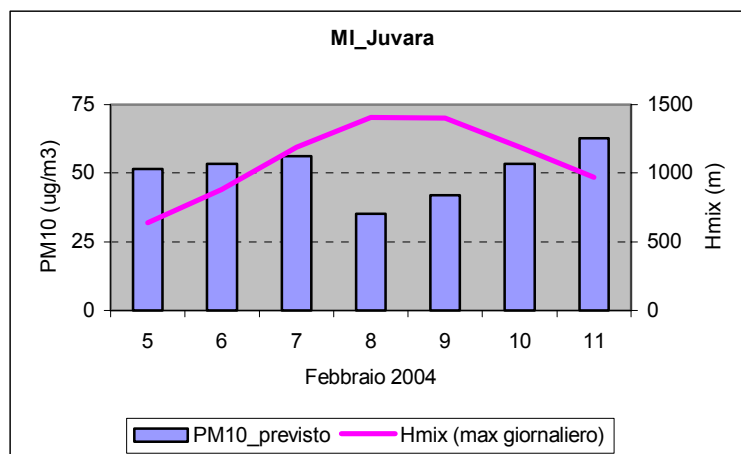
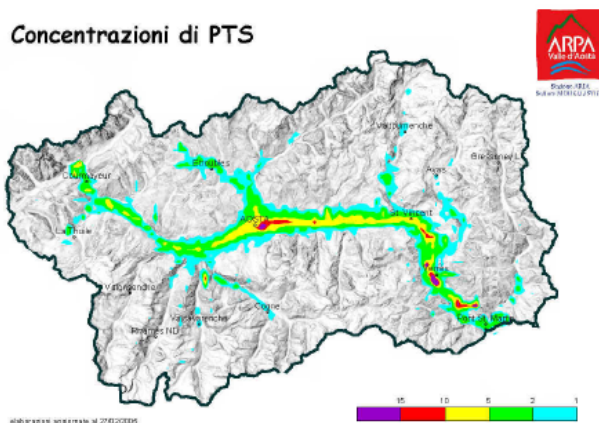


Figura 4.7 Concentrazione media giornaliera di PM10 calcolata con il modello FARM per Milano-Juvara e il valore massimo giornaliero dell'altezza di rimescolamento.

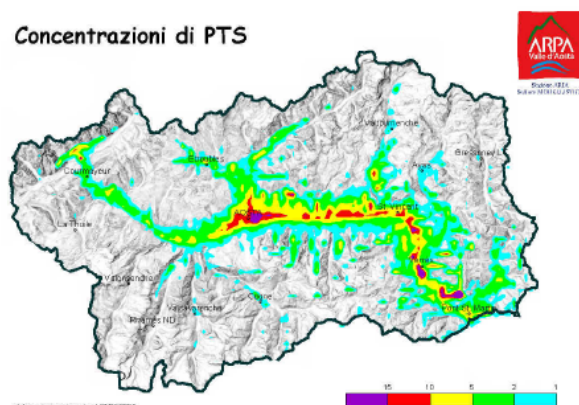
4.3 Esperienze in ARPA Valle d'Aosta.

Concentrazioni di PTS



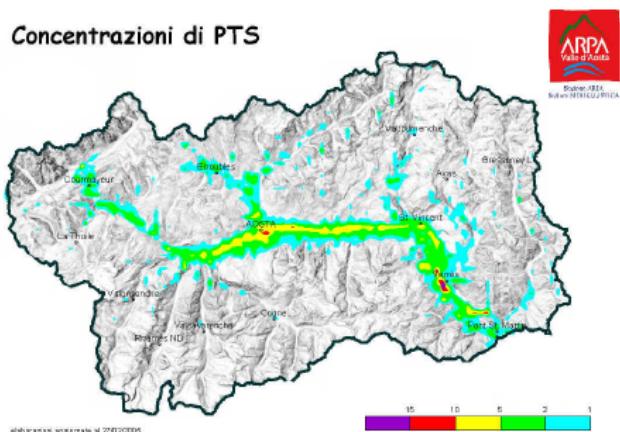
Scenario di brezze estive

Concentrazioni di PTS



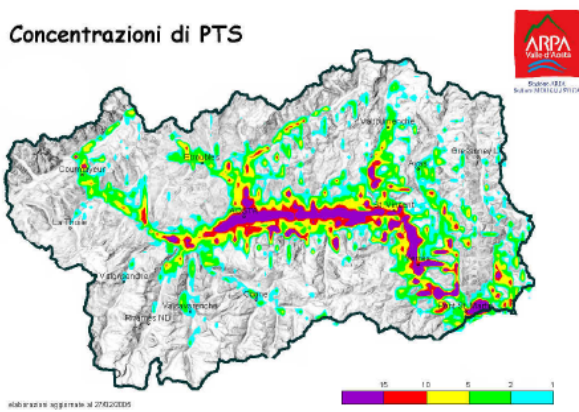
Scenario di brezze invernali

Concentrazioni di PTS



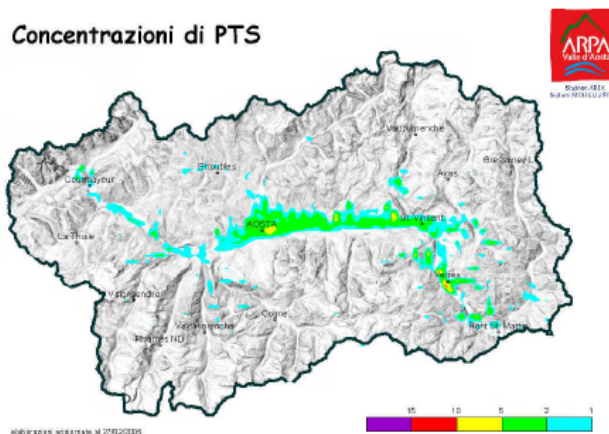
Scenario di perturbazioni estive

Concentrazioni di PTS



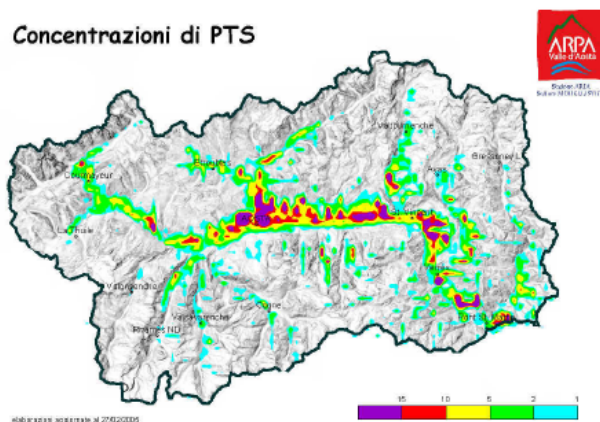
Scenario di perturbazioni invernali

Concentrazioni di PTS

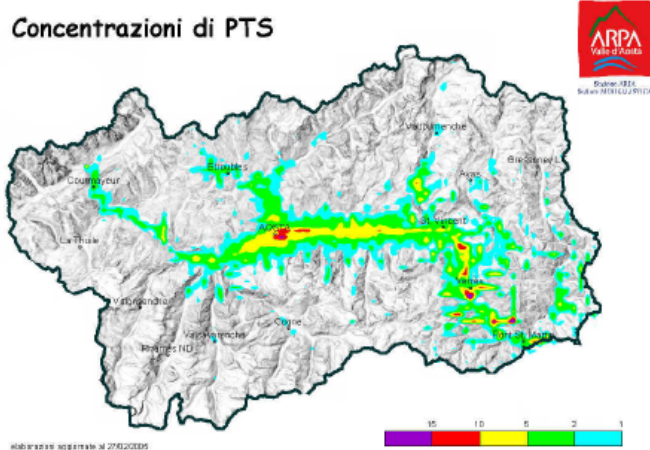


Scenario di venti fu föhn

Concentrazioni di PTS



Scenario di inversione termica



Scenario di venti incanalati occidentali

Figura 4.8 Mappe di concentrazioni di Polveri Totali elaborate da ARPA Valle d'Aosta per i sette scenari meteorologici considerati. Da notare le basse concentrazioni per gli scenari a venti più intensi (venti di föhn e scenari estivi) e quelle più elevate per quelli a calma di vento (inversione e scenari invernali). Il modello utilizzato é SPRAY, lagrangiano tridimensionale a particelle.

4.4 Esperienze in ARPA Emilia Romagna

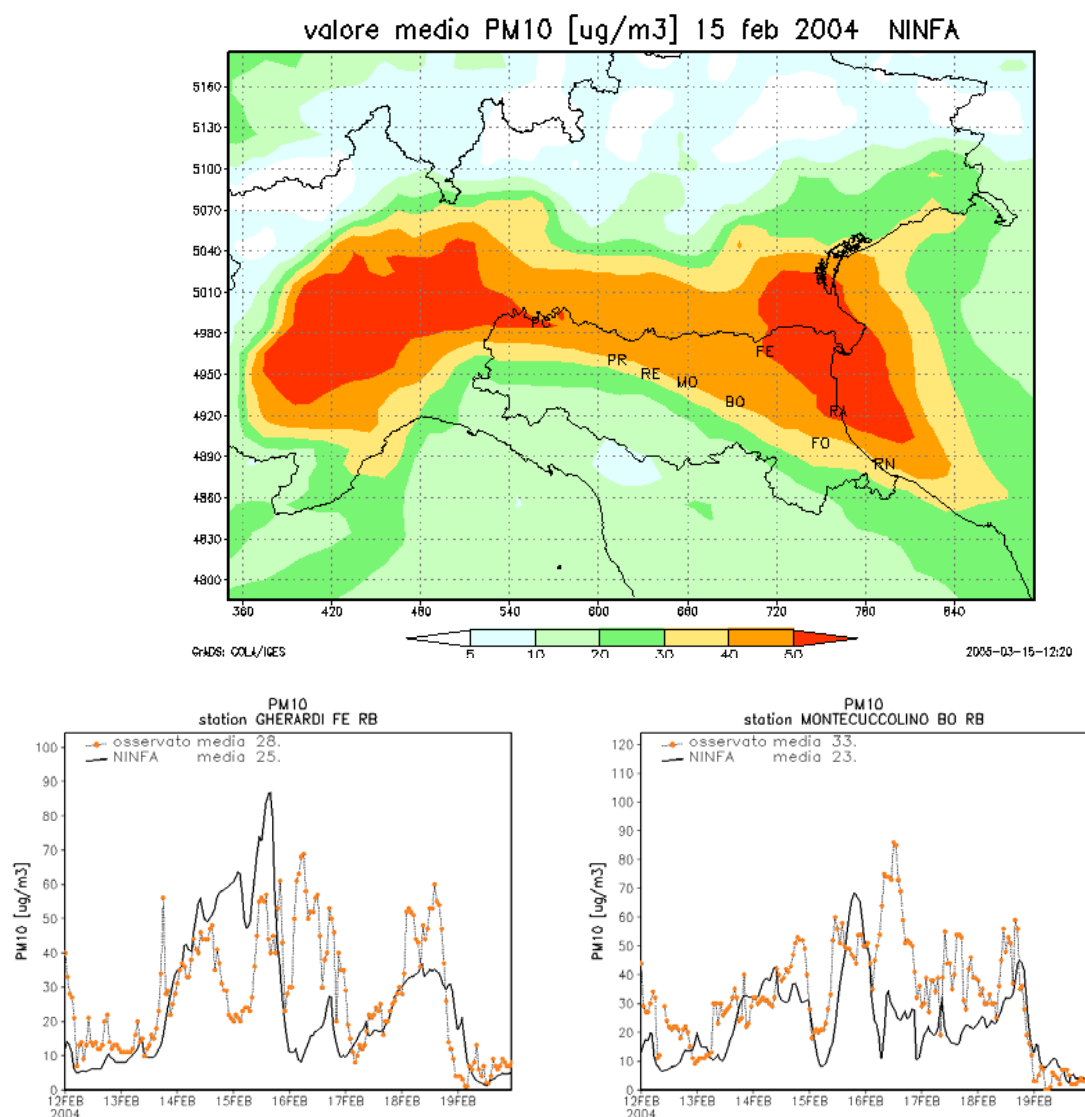


Figura 4.9 Simulazione modellistica dell'episodio di inquinamento da PM10 ottenuta mediante il modello NINFA(fonte ARPA-SIM). In alto campo di concentrazione media giornaliera sulla pianura padana del 15 febbraio 2004, in basso confronto con i dati misurati nelle stazioni di fondo dell'Emilia Romagna dal 12 al 20 febbraio 2004.

4.5 Esperienze in Regione Piemonte /ARPA Piemonte

La valutazione regionale della qualità dell'aria relativa all'anno 2004

La Regione Piemonte ha recentemente incaricato ARPA, con la collaborazione della società *Arianet*, di realizzare, a supporto della valutazione regionale della qualità dell'aria, un'analisi dello stato della qualità dell'aria su tutto il territorio regionale per l'intero anno 2004. Il progetto è stato svolto attraverso l'utilizzo di una catena modellistica, *Minerve-GAP-SurfPRO-EMMA-Emission Manager-FARM (Aria – Arianet)*, in grado di compiere una simulazione completa, tanto per la componente meteorologica che per quella di trasformazione chimica, trasporto e diffusione. Le simulazioni sono state condotte con cadenza oraria su un dominio con risoluzione orizzontale di 4 chilometri e che copre l'intera regione Piemonte, la Valle d'Aosta, si spinge fino alle province di Genova e Savona a sud ed include ad est la parte più orientale della Lombardia, fino all'area milanese. La scelta del dominio è stata guidata dall'esigenza di tener conto sia degli effetti, in termini di emissioni e di trasporto, delle sorgenti poste al di fuori del territorio regionale, sia delle peculiarità meteorologiche legate alla presenza dell'arco Alpino.

La componente meteorologica viene ricostruita a partire dall'ampia dotazione di dati provenienti dalle osservazioni della rete di rilevamento meteoidrografica di ARPA Piemonte, dall'acquisizione delle misurazioni delle stazioni del Global Telecommunication System (GTS) e dalle elaborazioni della modellistica numerica di European Centre for Medium range Weather Forecast (ECMWF) con l'ausilio del modello mass-consistent *Minerve*. Le grandezze di scala del PBL (Planetary Boundary Layer), i coefficienti di diffusione e le velocità di deposizione per le specie chimiche modellizzate vengono prodotte dal processore *SurfPRO*, a partire dai campi tridimensionali ad alta risoluzione di *Minerve*, e dai dati orografici e di uso del suolo (*Corine Land Cover*).

La componente emissiva è stata predisposta a partire dall'inventario regionale aggiornato all'anno 2001, con dettaglio su macrosettore, settore ed attività secondo le categorie SNAP (classificazione CORINAIR), opportunamente integrato con le informazioni riguardanti le sorgenti areali e puntuali dei territori confinanti e compresi nel dominio di calcolo. I codici *EMMA-Emission Manager* sono stati utilizzati per produrre un input emissivo sulla griglia di calcolo, modulato temporalmente su base oraria e compatibile con il meccanismo chimico del modello CTM *FARM* (SAPRC90, che prevede VOC speciatati e particolato PM_{10} e $PM_{2.5}$).

Le condizioni iniziali ed al contorno sono state generate a partire dai risultati delle concentrazioni orarie ottenute dalle simulazioni su scala continentale del modello CTM *CHIMERE*, messe a disposizione dal servizio *Prev'Air* dell'Istituto francese *INERIS* (<http://www.prevoir.org>).

Le simulazioni sono state condotte con il CTM euleriano a griglia *FARM*, in grado di considerare i processi di trasporto, trasformazione chimica e deposizione degli inquinanti atmosferici; il modello è stato utilizzato con il modulo *aero0* (derivato dal quello presente nello *Unified EMEP Model*) per la trattazione del particolato. Per tenere conto dei processi di deposizione umida è stato sviluppato un apposito processore in grado di fornire informazioni relative alla precipitazione ed all'estensione verticale delle nuvole, utilizzate poi dal modello per modellizzare i processi di dilavamento dell'atmosfera sottostante (valutazione dei termini di rimozione e di deposizione al suolo).

I primi risultati delle simulazioni evidenziano le criticità legate all'inquinamento da PM_{10} nell'area metropolitana torinese.

Nel contesto di un buon accordo con i dati osservati, in particolare nell'area urbana torinese, le prime valutazioni sulle simulazioni condotte evidenziano una sottostima delle concentrazioni di PM_{10} imputabili in prima istanza alla presenza di un valore di fondo sul territorio regionale di cui il modello non sembra avere adeguata informazione.

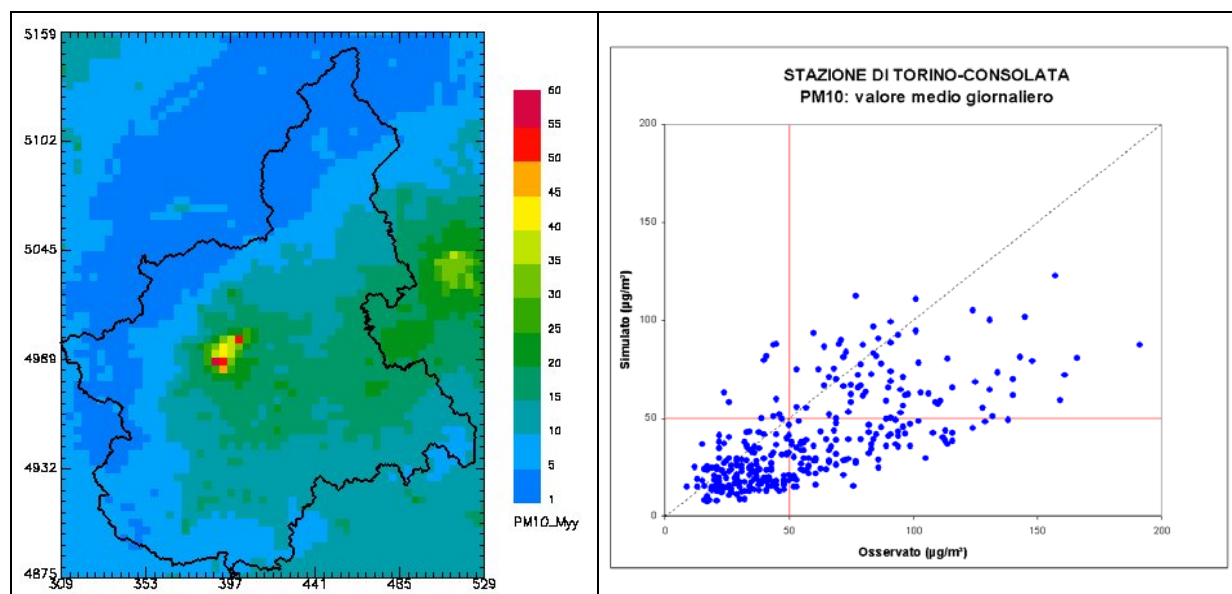


Figura 4.10 : Mappa di concentrazione media annuale di PM10 ottenuta con il modello FARM (sinistra) e confronto osservato/simulato per i valori medi giornalieri di PM10 presso la stazione di Torino-Consolata.

Inoltre, la risoluzione orizzontale di 4 chilometri (scelta come compromesso fra una sufficiente risoluzione delle caratteristiche orografiche del territorio e tempi di calcolo accettabili) non sembra essere ottimale per una buona descrizione delle emissioni nelle aree urbane di medie e piccole dimensioni, specie per quanto riguarda il contributo legato alla produzione di particolato atmosferico.

A titolo di esempio si riporta il confronto fra le concentrazioni osservate e simulate in corrispondenza di un episodio di inquinamento invernale (12-18 dicembre 2004) caratterizzato da elevate concentrazioni di PM₁₀ in alcune stazioni della rete di monitoraggio torinese.

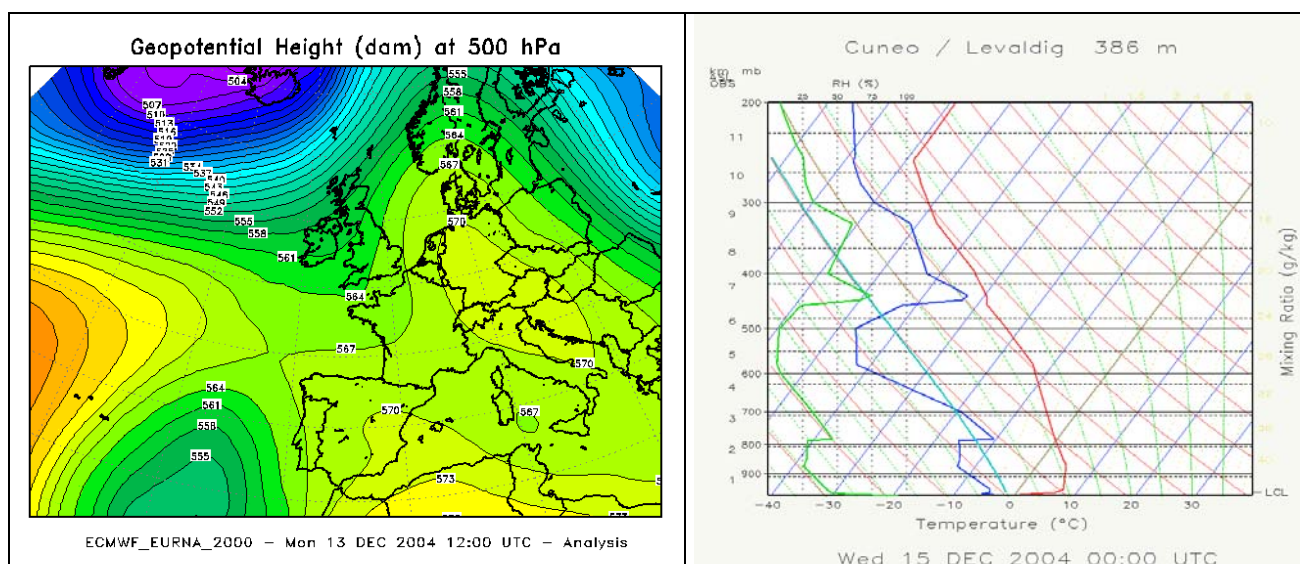


Figura 4.11 : Mappa di altezza di geopotenziale ad una quota di 500 hPa per le 12 UTC del 13 Dicembre 2004 (Analisi di ECWMF, sinistra) e profili termici osservati dal radiosondaggio di Cuneo-Levaldigi delle 00 UTC del 15 dicembre 2004 (destra).

L'episodio analizzato è caratterizzato dal punto di vista meteorologico dal progressivo consolidamento di un'area di alta pressione sull'Europa centro-meridionale che determina condizioni elevata stabilità atmosferica, con marcate e frequenti inversioni termiche; dalla giornata del 16 dicembre l'anticiclone si indebolisce gradualmente sotto la spinta di perturbazioni di origine atlantica e, il 18 dicembre, il passaggio di un fronte freddo sull'arco alpino favorisce estese condizioni di foehn sul Piemonte. Il periodo esaminato presenta le caratteristiche meteorologiche tipicamente associate ad episodi di intenso inquinamento da PM_{10} che si verificano nelle maggiori aree metropolitane del nord Italia (Finardi et al., 2005), con marcate condizioni di stabilità atmosferica, ben ricostruite dalla componente meteorologica (*Minerve-SurfPRO*) utilizzata nella simulazione.

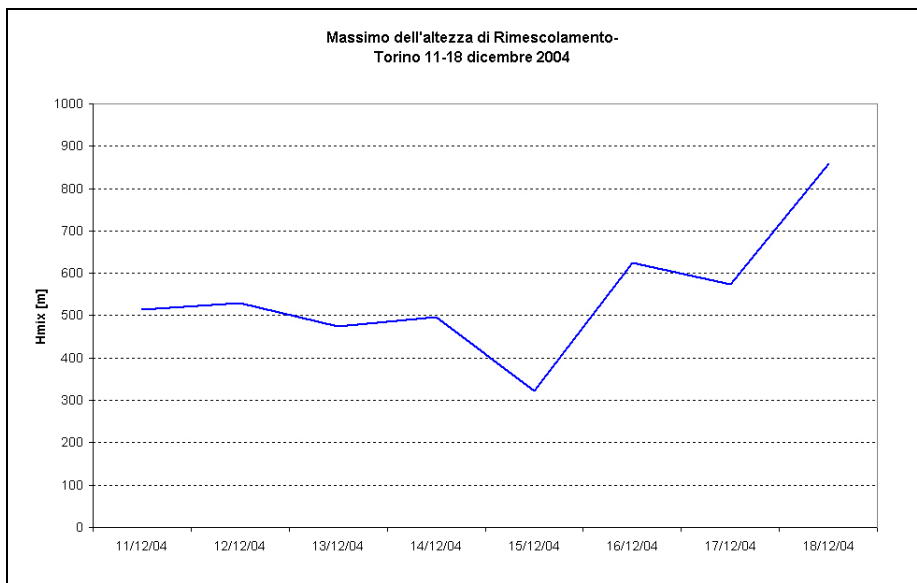


Figura 4.12: Massimo dell'altezza di rimescolamento calcolata da SurfPRO su un punto griglia corrispondente alla città di Torino per il 12/18 dicembre 2004

L'episodio risulta ben riprodotto dalla catena modellistica, in particolare come evoluzione temporale. La concordanza tra i valori di concentrazione simulati ed osservati è buona, particolarmente nel sito di Piazza Rivoli; in Torino Consolata la maggior differenza tra osservato e simulato è attribuibile a caratteristiche locali, non solo emissive, non risolvibili alla risoluzione adottata nella simulazione.

Finardi. S., Kukkonen. J., Pohjola M., Sokhi R. S., Luhana L., Kitwiroon N., Fragkou L., Rantämaki M., Berge E., Ødegaard V., Slørdal L. H., Denby B., 2005. Analysis and evaluation of selected local-scale PM_{10} air pollution episodes in four European cities: Helsinki, London, Milan and Oslo. *Atmospheric Environment* 39, p. 2759-2773.

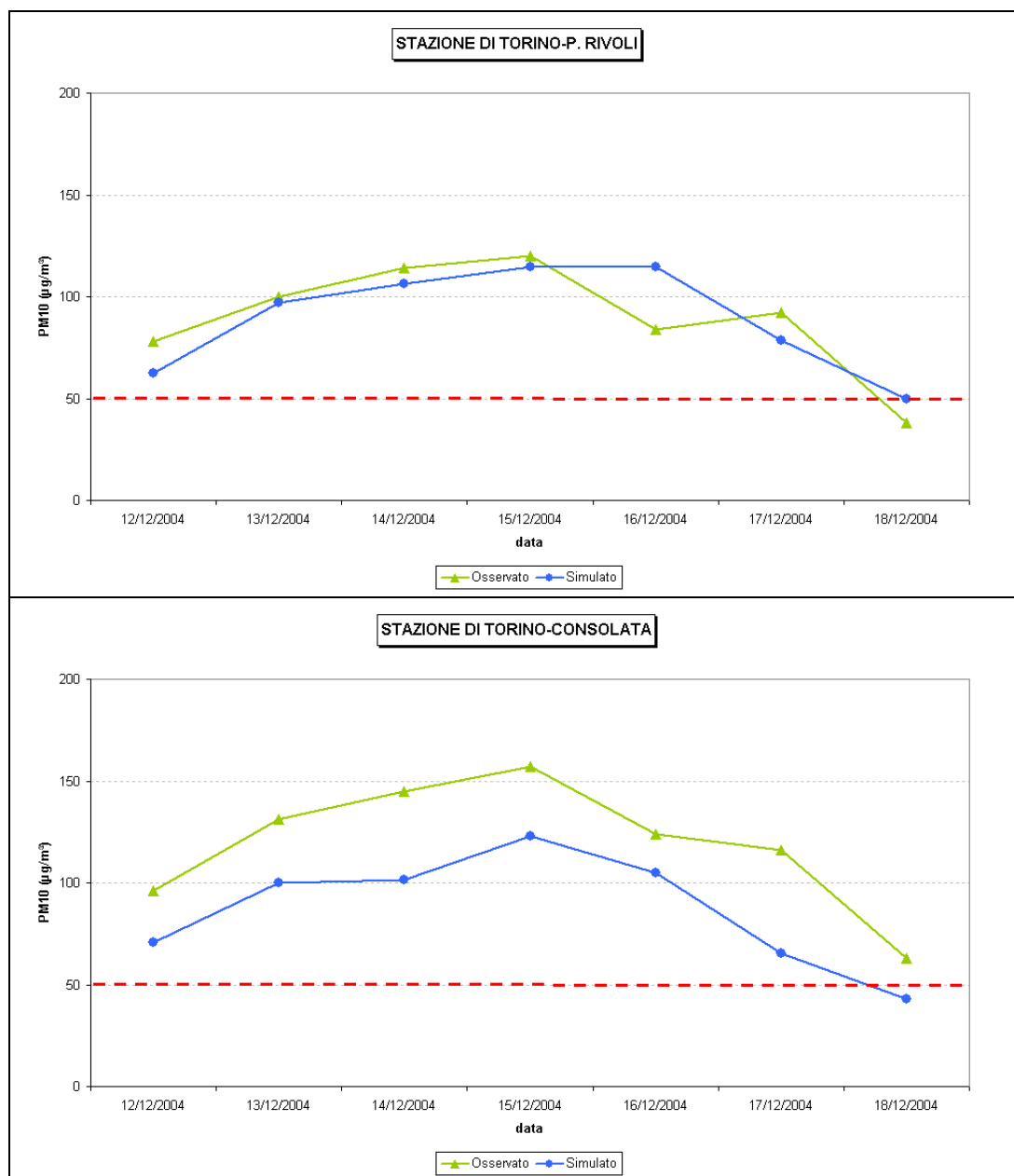


Figura 4.13 Medie giornaliere di PM10: confronto osservato-simulato nelle stazioni di Torino-P.zza Rivoli e Torino-Via della Consolata.

5. Per non piangere nel 2010...

I modelli per simulare le concentrazioni di PM e degli altri inquinanti atmosferici sono fondamentali per valutare i livelli di inquinamento in luoghi dove non esistono stazioni di misura, per disegnare razionalmente le stesse reti di misura, per effettuare analisi di scenario su assetti futuri del sistema emissivo, per valutare la potenzialità ed i costi, quando sono integrati da un modulo apposito, delle diverse opzioni mitigatrici delle emissioni.

Se messi a punto correttamente e opportunamente testati con i dati sperimentali possono diventare uno strumento formidabile per guidare le politiche di qualità dell'aria e per rispondere alle domande più pressanti dei diversi livelli interessati, istituzioni, media, cittadini.

Tuttavia, la complessità degli strumenti di calcolo non permette attenzioni episodiche ma necessita di :

- risorse finanziarie ed umane costanti tali da permettere alla comunità modellistica di implementare i modelli con i progressi della ricerca in campo atmosferico;
- un numero più grande di punti di misura dove si effettui la caratterizzazione chimico fisica del PM in modo non episodico (fondamentale è la realizzazione della Rete Nazionale Particolato Atmosferico di cui il Ministero ha già il progetto);
- maggiori risorse per l'aggiornamento e l'adeguamento agli schemi chimici modellistici degli inventari delle emissioni che devono raggiungere anche un maggiore dettaglio territoriale;
- maggiori risorse per effettuare intercomparazioni fra modelli e fra modelli e dati sperimentali in modo da esplicitare il livello di incertezza delle simulazioni. La definizione dell'incertezza è fondamentale ed irrinunciabile nelle applicazioni modellistiche orientate all'impostazione delle politiche dell'inquinamento atmosferico. In altre parole occorre conoscere con quale livello di confidenza si determinerà un'azione piuttosto che un'altra anche per valutarne i costi/benefici connessi.

Nel nostro Paese le attività in campo modellistico (si intendono i modelli deterministici) sono state guardate fino a qualche anno fa con sufficienza o con sospetto, forse complice una legislazione che poneva l'attenzione più agli aspetti emergenziali e che aveva attivato un meccanismo automatico fra valore della misura ed azione mitigatrice.

Lo stesso meccanismo ha fatto sì che le reti di misura si sviluppassero enormemente e non sempre in modo armonico mentre il ruolo dei modelli non veniva pienamente colto e anche quando se ne tollerava l'esistenza, i risultati erano slegati dalla pratica quotidiana. Questo ovviamente non ha impedito la nascita di gruppi importanti e di livello tecnico-scientifico internazionale nelle Università, negli Enti di Ricerca Nazionali, nelle Agenzie Ambientali e fra alcuni, pochi, attori industriali ma ha certamente impedito un flusso di risorse costante ed il formarsi di un chiaro obiettivo da perseguire.

Solo con l'avvento della legislazione europea, che individua il ruolo dei modelli come supporto alle misure o come suo sostituto in alcuni particolari casi, l'attenzione è salita anche nel nostro Paese.

Il divario fra la nostra esperienza e quella del Nord America (USA e Canada) e del Nord Europa è tuttavia significativa. In quei Paesi da anni le politiche sull'inquinamento atmosferico si fanno mediante l'utilizzo dei modelli ed anche la legislazione Europea o i protocolli internazionali sul trasporto a lunga distanza sono stati indirizzati dagli outputs di modelli atmosferici e modelli integrati di varia complessità. L'esperienza cooperativa di EMEP, descritta precedentemente, è la testimonianza forse più forte del ruolo della modellistica e della strada da percorrere nel Paese.

Oggi, a partire dalle esperienze che esistono e della nuova consapevolezza sulla potenza di questi strumenti e sull'urgenza di portarli ad una maturità operativa per affrontare il risanamento del nostro Paese ma anche per sostenere, alla pari, il confronto in sede internazionale e comunitaria abbiamo di fronte almeno due strade che corrispondono a due impostazioni anche organizzative.

Approccio US-EPA

Un modello nazionale comune: ovvero una struttura modellistica open-source che viene aggiornata continuamente dalla comunità scientifica nazionale che propone nuovi algoritmi, nuove parametrizzazioni, nuove soluzioni: una sorta di sistema comunitario di analisi modellistica con regole stabilite e con l'obiettivo di concentrare tutti gli stimoli esterni.

Il modello nazionale si scarica dalla rete e viene corredato da manuali, aggiornamenti, banche dati, meteorologia, topografia etc. L'approccio è il risultato di una lunga tradizione dell'US-EPA che fin dagli anni '60 scelse di predisporre un sistema di supporto alle analisi modellistiche fino all'introduzione di "regulatory models", la cui esecuzione conteneva implicita una sorta di "certificazione" automatica del lavoro.

Il grande sforzo attuato negli ultimi anni e con finanziamenti pari a 8 milioni di dollari in un triennio ha consentito di produrre un modello di riferimento per ozono e particolato al servizio delle politiche a scala federale e dei singoli stati dell'unione che viene alimentato dalla ricerca, usato da chi ne ha necessità, garantito da un'autorità centrale.

Il successo di questo schema risiede nella suddivisione chiara delle responsabilità, nella continuità dei flussi finanziari, nell'accentrimento intelligente di alcune funzioni e nel "decentramento" di altre senza sovrapposizione di ruoli e senza duplicazioni, nell'imparzialità ed autorevolezza del soggetto centrale e nel riconoscimento di una sola autorità.

Approccio EMEP.

Del programma EMEP abbiamo già detto nell'apposita scheda; quello che in questa sezione vogliamo approfondire è lo schema delle relazioni fra diversi soggetti.

Nella galassia EMEP esistono due centri meteorologici di sintesi, Oslo e Mosca, che coordinano le attività di modellistica del trasporto relativamente agli inquinanti convenzionali e a Metalli Pesanti e Composti Organici Persistenti, rispettivamente. Un centro di coordinamento chimico segue gli aspetti relativi alla misura e alla raccolta ed elaborazione dei dati provenienti dalle stazioni della rete EMEP (ospitato da NILU, Norvegia) ed uno per la modellistica integrata che coincide con le attività di IIASA sul modello RAINS. Nel corso degli ultimi 26 anni questa struttura ha fornito stime modellistiche sull'impatto delle politiche di riduzione degli inquinanti nei paesi aderenti all'Unione Europea e a quelli dell'ex blocco sovietico e delle repubbliche balcaniche. Il programma prevede frequenti incontri di diversi gruppi di lavoro in cui esperti nazionali discutono i risultati dei centri tematici e propongono proprie elaborazioni riguardanti ciascuno Stato Nazionale. Il confronto è scientifico e non negoziale (il negoziato si svolge in altre sedi); eventuali discrepanze o disaccordi vengono vagliati dalla comunità scientifica che accetta ciò che ritiene convincente tecnicamente.

Proposta

Il gruppo di lavoro ritiene che organizzando le attività modellistiche similmente a quanto fatto nel Programma EMEP si potrebbero avere buoni risultati in breve tempo con l'impiego contenuto di risorse finanziarie. Il sistema modellistico portante del Programma EMEP è costituito dal modello atmosferico euleriano omonimo e dal modello RAINS (che riporta le analisi di costo per ciascuna nazione) mentre per l'Italia il sistema MINNI rappresenta il Modello di Valutazione Integrata sviluppato per conto del MATT che include sia il modello atmosferico a scala nazionale sia RAINS Italia (che riporta le analisi di costo alla singola regione). Altre iniziative da parte del mondo della ricerca, del sistema agenziale, del sistema industriale pubblico o privato sviluppate in piena libertà e finalizzate all'analisi di scenario o allo sviluppo algoritmico che riguardino la scala regionale o nazionale, dovranno trovare modalità e tempi adeguati per un confronto periodico su risultati delle ricerche e delle simulazioni, per campagne di comparazione fra misure e modelli e fra modelli diversi. Uno o due workshop annuali i cui risultati

sarebbero riportati all'autorità centrale dovrebbero garantire lo scambio di informazioni, la trasparenza e l'efficacia del confronto. Gli esiti attesi da tali interazioni sarebbero molteplici:

- un modello nazionale la cui autorevolezza è riconosciuta dalla comunità scientifica nazionale;
- la coesistenza di attività a scala nazionale che rispondono alle esigenze del MATT sia sul versante interno sia nelle fasi di negoziazione internazionale, con attività a scala regionale o di bacino che rispondono ad esigenze delle Regioni e dell'amministrazione periferica;
- la coesistenza di altre attività a scala nazionale con finalità proprie ma riconducibili ad un quadro d'insieme che corrobori i risultati ;
- un volano per programmi comuni che coinvolgono modellistica e attività sperimentali;
- un sistema di competenze coinvolto ed attento alle esigenze dei responsabili delle politiche della qualità dell'aria;
- un insieme di strumenti coerenti e virtuosamente concorrenti nel determinare le soluzioni modellistiche più nuove ed affidabili, al passo con la comunità internazionale ed aggiornato con l'evoluzione dei modelli concettuali di inquinamento atmosferico;
- un'interazione non solo formale ma sostanziale fra modello nazionale e modelli regionali laddove i secondi si avvalgano delle condizioni al contorno e/o di campi specifici creati dal primo e un salto di qualità per l'applicazione dei modelli semplici (i gaussiani senza chimica) che potrebbero migliorare le loro prestazioni incorporando le condizioni al contorno di precursori e PM e continuare ad essere strumenti di screening sia per le Amministrazioni locali, sia per le Valutazioni di Impatto Ambientale.

Lo sviluppo del modello nazionale dovrebbe essere assicurato in prevalenza da finanziamenti ministeriali a garanzia della "imparzialità" delle elaborazioni.

Si può calcolare che l'ordine di grandezza dell'impegno finanziario annuale per le attività modellistiche a scala regionale e nazionale sia di qualche milione di euro complessivamente da suddividere fra la platea dei possibili finanziatori nella fase di avvio, cui seguirebbero finanziamenti più modesti negli anni successivi.

La consistenza dell'impegno è solo apparente se si considera che con strumenti affidabili si possono evitare provvedimenti costosi ed inconcludenti con pesanti costi diretti sul sistema produttivo/distributivo e il pesante quanto periodico strascico di polemiche che mina la credibilità delle Istituzioni preposte alla gestione della qualità dell'aria.

Appendice

TABELLE DI SINTESI DELLE SIMULAZIONI MODELLISTICHE

A.1 Esperienze in Italia

Committente	Esecutore	Finalità	Scala	Modelli	Inquinanti	Periodo simulato	Risoluzione Spaziale e temporale	Emissioni	Condizioni al contorno	Meteo	Validazione
Ministero dell'ambiente	ENEA Aria-net IIASA	Analisi di scenario economico - energetico	Nazionale	MINNI (RAMS FARM RAINS-Italia)	SOX Ozono NOX- VOC PM10 e i suoi composti NH3-HNO3-SO2	1/1/1999 – 31/12/1999	20 x 20 km 1h	inventario provinciale APAT aggiornato al 1999 + EMEP 1999 + rotte navali	EMEP 1999	Analisi ECMWF + Synop ECMWF	BRACE EMEP ConEcoFor Letteratura
MICA - RdS	CESI	Valutazione di lungo periodo dell'inquinamento fotochimico	Regionale Lombardia	CALMET STEM-FCM	Ozono, Ossidi d'azoto, VOC	1/4/1999 – 30/9/1999	5 x 5 km 1h	inventario provinciale APAT 1990 aggiornato al 1999	EMEP lagrangiano 1996	Analisi ECMWF + Synop SMAM + reti regionali	Rete regionale Lombardia Rete Enel EMEP
MICA - RdS	CESI	Progetto CITYDELTA	Regionale Lombardia	CALMET STEM-FCM CAMX	Ozono NOX- VOC PM10 e i suoi composti NH3-HNO3-SO2	1/1/1999 – 31/12/1999	5 x 5 km 1h	INEMAR Lombardia 1997 + EMEP	EMEP 1999	Analisi ECMWF + Synop SMAM + reti regionali	Rete regionale Lombardia e Piemonte
MICA - RdS	CESI	Valutazione di lungo periodo di inquinamento secondario su scala nazionale	Nazionale	RAMS CAMx	Ozono NOX- VOC PM10 e i suoi composti NH3-HNO3-SO2	1/1/1999 – 31/12/1999	25 x 25 km 1h	inventario provinciale APAT 2000 + EMEP 1999 + EPER	CHIMERE 1999	Analisi ECMWF	AIR-BASE EMEP Rete deposizione ENEL/CESI

Tabella A.1 Caratteristiche delle simulazioni nazionali

A.2. Esperienze presso le Regioni e le ARPA/APPA

A.2.1 Regione/ARPA Liguria

Committente	Esecutore	Finalità	Scala	Modelli	Periodo simulato	Risoluzione Spaziale e temporale	Emissioni	Condizioni al contorno	Meteo	Validazione
Regione Liguria	ARPAL	Valutazione Preliminare ex art.5 d.lgs.351/99	Locale 10 x 10 km	ISC long term	1/1/2001 – 31/12/2001	1 x 1 km	Inventario Regione delle Emissioni in atmosfera aggiornamento al 2001		Analisi di dati storici meteorologici	

A.2.2 ARPA Basilicata

Committente	Esecutore	Finalità	Scala	Modelli	Periodo simulato	Risoluzione Spaziale e temporale	Emissioni	Condizioni al contorno	Meteo	Validazione
	ARPAB	Analisi sulle ricadute di inquinanti primari da sorgente industriale su territorio orograficamente complesso	Regionale	ARPA_PBL (pre-processore meteo), CTDM	1/1/2003 – 31/12/2003	30 x 30 km 1 h	Dati del Dipartimento Provinciale di Potenza		Dati centraline + pre-processamento	

A.2.3 ARPA Valle d'Aosta

Committente	Esecutore	Finalità	Scala	Modelli	Periodo simulato	Risoluzione Spaziale e temporale	Emissioni	Condizioni al contorno	Meteo	Validazione
Iniziativa ARPA Valle d'Aosta	ARPA Valle d'Aosta	Piano Regionale di risanamento della qualità dell'aria	Regionale 101 x 67 km	MINERVE (meteorologia), SURFPRO (turbolenze), SPRAY (concentrazioni)	Sette scenari meteorologici caratteristici del clima valdostano (anno 2003)	500 x 500 m 1 ora	Inventario Regionale delle Emissioni ARPA aggiornato al 2003	Non applicato	Dati stazioni ARPA + profilo verticale ricostruito da Milano Linate	Confronti con le concentrazioni orarie e medie annuali delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria
Iniziativa ARPA Valle d'Aosta	ARPA Valle d'Aosta	Piano Regionale di risanamento della qualità dell'aria	Locale 5 x 3 km Simulazioni e nell'area di Aosta	MINERVE (meteorologia), SURFPRO (turbolenze), SPRAY (concentrazioni)	Sette scenari meteorologici caratteristici del clima valdostano (anno 1998)	62.5 x 62.5 m 1 ora	Inventario Regionale delle Emissioni ARPA aggiornato al 1998 + dati censimento flussi di traffico in Aosta (1997-1998)	Non applicato	Dati stazioni ARPA + profilo verticale ricostruito da Milano Linate	Confronti con le concentrazioni medie annuali delle stazioni urbane
Iniziativa ARPA Valle d'Aosta	ARPA Valle d'Aosta	Valutazione dell'impatto del flusso di veicoli pesanti transitanti al tunnel del monte Bianco sulla qualità dell'aria	Regionale 101 x 67 km	MINERVE (meteorologia), SURFPRO (turbolenze), SPRAY (concentrazioni)	Sette scenari meteorologici caratteristici del clima valdostano (anno 2002)	500 x 500 m 1 ora	Inventario Regionale delle Emissioni ARPA aggiornato al 2002 + tre scenari di flussi di veicoli pesanti (1000, 2000 e 4000 TIR)	Non applicato	Dati stazioni ARPA + profilo verticale ricostruito da Milano Linate	Non applicato (simulazione di scenario ipotetico)
Amministrazione Regionale	ARPA Valle d'Aosta	Valutazione delle zone di maggior impatto e descrizione delle condizioni della qualità dell'aria di fondo per la futura entrata in esercizio della discarica di rifiuti speciali a Pontey	Locale 10 x 8 km	MINERVE (meteorologia), SURFPRO (turbolenze), SPRAY (concentrazioni)	Sette scenari meteorologici caratteristici del clima valdostano (anno 2002)	250 x 250 m 1 ora	Inventario Regionale delle Emissioni ARPA aggiornato al 2002	Non applicato	Dati stazioni ARPA + profilo verticale ricostruito da Milano Linate	Non applicato (simulazione di scenario ipotetico)

A.2.4 ARPA Toscana

Committente	Esecutore	Finalità	Scala	Modelli	Periodo simulato	Risoluzione Spaziale e temporale	Emissioni	Condizioni al contorno	Meteo	Validazione
OMS	ARPAT – Dipartimento di Firenze per “caso studio Firenze”	Valutazione dell’esposizione ai rischi e degli effetti sulla salute legati alle politiche di trasporto; Progetto HEARTS (in corso, fine prevista e certa settembre 2005)	urbana 10 km x10 km	Per canyon: OSPM, per contributo di fondo urbano: ISCST3 o, meno probabile, CALPUFF	Anno 2003 e scenario emissivo anno 2010 (meteo uguale al 2003) Giornaliera, mensile, annuale	Qualche centinaio di m (recettori su ogni strada), dettaglio del territorio con incertezza di qualche m. 1h	Modello TEE alimentato con risultati modello di traffico EMME2 e altri dati reperiti da fonti locali (ARPAT, Comune Firenze) e nazionali (APAT, ACI)	nessuna	Dati rilevati localmente	Confronto con dati misurati da rete di rilevamento
Comune Empoli, Comune Montelupo F.no, Regione Toscana	ARPAT – Dipartimento di Firenze e Dipartimento Energetica Univ. Firenze	Individuazione e calibrazione di modelli per la stima delle concentrazioni dovute a sorgenti lineari e valutazione del contributo alle concentrazioni di particolato dovute agli assi stradali SGC FI-PI-LI e SS67 Progetto PAC-Comuni Montelupo-Empoli	Locale 12 km x 5 km	CALPUFF, CALINE4	Anno 2001 e periodi (alcune settimane) del 2003	Recettori posti in corrispondenza dei punti di misura degli inquinanti (bordo strada) e delle stazioni della rete di rilevamento (a distanza di qualche centinaia di m dalle sorgenti) 1h	Derivate da COPERT III e con l’impiego di dati reperiti da fonti locali (ARPAT) e nazionali (APAT, ACI) e misure di traffico veicolare	nessuna	Dati rilevati localmente	Confronto con dati misurati

A.2.5 ARPA Veneto

Committente	Esecutore	Finalità	Scala	Modelli	Periodo simulato	Risoluzione Spaziale e temporale	Emissioni	Condizioni al contorno	Meteo	Validazione
Regione Veneto - Italia	ARPA Veneto – Osservatorio Regionale Aria	Mappatura regionale della Qualità dell'aria funzionale alla stima delle ricadute atmosferiche di micro e macro inquinanti nella Laguna di Venezia.	Regionale	CAMx	01/08/2004 – 31/07/2005	4 x 4 km 1h	Disaggregazione a livello comunale dell'Inventario provinciale APAT aggiornato al 2000	Dati orari del modello CHIMER E su scala 0.5° x 0.5°	modello diagnostico CALMET (input dati ARPAV + Synop Aeronautica militare + radiosondaggi i Milano e S. Pietro Capofiume)	In corso. Il progetto comprende l'acquisto della strumentazione di misura e 12 campagne mensili di monitoraggio entro il periodo di simulazione
Regione Veneto - Italia	ARPA Veneto – Osservatorio Regionale Aria	Stima dell'apporto delle ricadute atmosferiche di micro e macro inquinanti nella Laguna di Venezia con particolare approfondimento del contributo dovuto all'area industriale di Porto Marghera	Sub-regionale 60 x 60 Km	CALPUFF	01/08/2004 – 31/07/2005	2 x 2 km 1h	Inventario Bottom-Up delle principali sorgenti industriali		modello diagnostico CALMET (input dati ARPAV + Synop Aeronautica militare + radiosondaggi i Milano e S. Pietro Capofiume)	In corso. Il progetto comprende l'acquisto della strumentazione di misura e 12 campagne mensili di monitoraggio entro il periodo di simulazione
AMT Azienda Municipalizzata Trasporti Verona	ARPAV dipartimento di Verona	Stima delle emissioni ante e post realizzazione della tramvia-stima della dispersione degli inquinanti in alcune arterie maggiormente interessate dall'opera	locale	ADMS Urban - EMIT CERC	1/1/2004 – 31/12/2004	1 ora	COPERTIII		Dati meteo da centraline fisse	Confronto fra stima e dati di misura centraline fisse

A.2.6 Regione Umbria

Committente	Esecutore	Finalità	Scala	Modelli	Periodo simulato	Risoluzione Spaziale e temporale	Emissioni	Condizioni al contorno	Meteo	Validazione
Regione Umbria	Techne Consulting s.r.l.	Piani e programmi ai sensi DM 60	Aree urbane del territorio regionale (definite mediante mappe dell'uso del suolo)	Modello statistico di regressione nel dominio spaziale, sviluppato ad hoc, integrato con modello gaussiano (USEPA ISC) per le aree urbane/industriali	1999	1 km x 1 km 1h	Inventario provinciale Regione Umbria aggiornato al 1999	Non utilizzate	Dati rilevamento	Centraline rete regionale di rilevamento qualità dell'aria (ARPA Umbria)
Regione Umbria	A.R.P.A. Umbria tramite consulenza esterna	Analisi di Qualità dell'Aria nell'area della Conca Ternana, anno 2004. Scenari futuri già previsti nel Piano Regionale	Locale/ Comuni di Narni, Terni e limitrofi.	ISC3-LT e ISC3-ST	Tutto il 2004	Maglie di 1x1 km 1h	Inventario Regionale delle Emissioni all'anno 2004	Nessuna	Dati meteo della rete Provinciale di Terni.	Dati di Qualità dell'Aria della rete Provinciale di Terni.
Regione Umbria	A.R.P.A. Umbria	Analisi di scenario di Qualità dell'Aria nell'intorno della centrale ENEL di Bastardo per l'anno 2004 e ai possibili scenari futuri già previsti nel Piano Regionale o che potranno nascere a seguito dell'analisi stessa.	Locale Dintorni della centrale in un raggio di 5-10 km	ISC3-LT e ISC3-ST	Tutto il 2004	Maglie di 1x1 km o 500x500 m 1h	In prima analisi, dati orari d'emissione della centrale e poi, quando sarà disponibile, l'Inventario Regionale delle Emissioni all'anno 2004	Nessuna	Dati meteo della Centrale ENEL.	Dati di Qualità dell'Aria della Centrale ENEL e delle campagne di misura effettuate da ARPA Umbria nella zona
Regione Umbria	A.R.P.A. Umbria	Analisi di scenario di Q.A. nell'intorno della centrale ENEL di Pietrafitta per l'anno 2004 e ai possibili scenari futuri	Locale/ Dintorni della centrale in un raggio di 5-10 km	ISC3-LT e ISC3-ST	Tutto il 2004	Maglie di 1x1 km o 500x500 m 1h	In prima analisi, dati orari d'emissione della centrale in futuro, l'Inventario Regionale delle Emissioni all'anno 2004	Nessuna	Dati meteo della Centrale ENEL.	Dati di Qualità dell'Aria della Centrale ENEL e delle campagne di misura effettuate da ARPA Umbria nella zona.

A.2.7 Regione/ARPA Lombardia

Committente	Esecutore	Finalità	Scala	Modelli	Periodo simulato	Risoluzione Spaziale e temporale	Emissioni	Condizioni al contorno	Meteo	Validazione
Regione Lombardia	IRER, Arianet, ARPA Lombardia	Analisi episodi critici invernale ed estivo per simulare il comportamento del PM10 e dell'ozono in Lombardia	Area Unica– Milano Como Sempione (invernale)	FARM ¹ – Minerve ² sistema ARIA REGIONAL	17/12/2001-23/12/2001	1 x 1 kmq 1 h	inventario regionale INEMAR 2001 + EMEP	EMEP 1999	Dati misurati rete (invernale)	BRACE EMEP ConEcoFor Letteratura
			regionale (estivo)		9/6/2003-15/6/2003	4 x 4 kmq 1 h				
Regione Lombardia	ARPA Lombardia	Analisi di scenari emissivi per valutare l'influenza di riduzioni delle emissioni di PM10 primario e precursori. Attività in corso	Regionale	FARM ¹ – Minerve ² sistema ARIA REGIONAL	18/12/2001-20/12/2001	4 x 4 kmq 1 h	inventario regionale INEMAR al 2001 + EMEP	per i tre giorni: EMEP 1999; concentrazioni su celle 50 x 50 km di per il mese: CHIMERE da Prevair per ogni ora di simulazione	Analisi ECMWF + dati misurati rete + termosondaggi	Misure rete di qualità dell'aria Letteratura
CCR ISPRA JRC	ARPA Lombardia + CESI, AMA, ARPA ER, Università Brescia,	Intercomparazione di modelli <i>City Delta</i> programma	Sovra regionale 300x300km q	CAMX ^{1,3} TCAM ¹ ; Calmet ² ; Aladin ²	1/1/1999 – 31/12/1999	5 x 5 kmq; 10 x 10 kmq	Inventario regionale INEMAR al 1997 aggiornato da JRC + EMEP	Campi di concentrazione oraria forniti da JRC		Misure rete di qualità dell'aria

Nota

¹ CTM- Chemical Transport Model - modello di trasporto e di dispersione chimico utilizzato; ² modello meteorologico utilizzato; ³ hanno partecipato diversi istituti all'elaborazione di più scenari alle due risoluzioni utilizzando le due catene modellistiche, ARPA Lombardia nello specifico ha applicato CAMx su alcuni scenari

A.2.8 Regione/ARPA Piemonte

Committente	Esecutore	Finalità	Scala	Modelli	Periodo simulato	Risoluzione spaziale e temporale	Emissioni	Condizioni al contorno	Meteo	Validazione	PM10
Regione Piemonte	Arpa Piemonte -Arianet	Valutazione integrata QA regionale ⁶	Regionale	MINERVE-SURFPRO FARM	2004	4 km x 4 km 1 h	Inventario regionale 2001	output sistema Prev'air	Analisi ECMWF + Synop + Stazioni <i>temp</i> circuito GTS + Stazioni rete Arpa Piemonte e regioni confinanti + Profili	Dati stazioni rete QA regionale	Sì (primario + secondario)
Regione Piemonte	Arpa Piemonte -Arianet	Valutazione contributi relativi dei comparti emissivi in caso di episodio critico	Area urbana allargata (80x80 km ²)	MINERVE – SPRAY	28/1/00-31/01/00	1 km x 1 km 1h	Inventario regionale 1997	-	Analisi ECMWF Synop Stazioni rete Arpa	Dati stazioni rete QA regionale	No
Regione Piemonte	Arpa Piemonte -Arianet	Valutazione inquinamento fotochimico	Regionale	MINERVE-FARM	15/7/99-23/7/99	4 km x 4 km 1h	Inventario regionale 1997	Dati osservati	Analisi ECMWF + Synop+ Stazioni rete Arpa e regioni confinanti	Dati stazioni rete QA regionale	No
Progetto Formedozone INTERREG III B	Arpa Piemonte	Valutazione inquinamento fotochimico (danni alla vegetazione)	Regionale	MINERVE-SURFPRO FARM	4/8/2003-15/8/2003	4 km x 4 km 1h	Inventario regionale 1997	output sistema Prev'air dati osservati	Analisi ECMWF + Synop + Stazioni rete Arpa e regioni confinanti	Dati stazioni rete QA regionale	No
Provincia di Torino	Arpa Piemonte Provincia di Torino	Valutazione contributo relativo impianto di incenerimento	Locale	MINERVE-SURFPRO SPRAY	28/1/00-31/01/00	250 m 1h	Dati di impianto	-	Analisi ECMWF Synop Stazioni rete Arpa	⁷	Sì (primario)
Provincia di Torino	Arpa Piemonte Provincia di Torino	Valutazione contributo impianto di incenerimento esistente	Locale	ARIAImpact	2000	250 m 1h ⁸	Dati di impianto	-	Stazioni rete Arpa	⁴	Sì (primario)
Provincia di Vercelli	Arpa Piemonte	Valutazione impianto di incenerimento esistente	Locale	ARIAImpact	2002 2003	250 m 1h ²	Dati di impianto	-	Stazioni rete Arpa	⁴	Sì (primario)
CTN ACE	Arpa Piemonte	Interconfronto modelli	urbana	ARIAImpact	1999	100 m 1h	Archi stradali e sorgenti puntuali	-	Stazione virtuale estratta da ricostruzione campi meteo CALMET	Dati stazione rete QA	No
Regione Piemonte	Arpa Piemonte	Valutazione impatto sinergico di due CTE sottoposte a VIA	Area urbana allargata (80x80 km ²)	MINERVE – SPRAY	28/1/00-31/01/00	1Km 1h	Dati di impianto	-	Analisi ECMWF Synop Stazioni rete Arpa		No
Commissione Europea (progetto FUMAPEX)	Arpa Piemonte Arianet	Sperimentazione di un sistema previsionale di QA sull'area urbana torinese	Area urbana allargata	RAMS ⁹ FARM	19/7/1999-21/7/1999 13/1/2003-15/1/2003	1Km 1h	Inventario regionale 1997	Dati osservati	Previsioni ECMWF	Dati stazione rete QA	Sì

⁴ Non sono state trattate tutte le sorgenti ⁶ Attività in corso. Il termine è previsto per fine maggio 2004

⁷ Non sono state trattate tutte le sorgenti. La validazione del sistema a livello di episodio è stata effettuata con l'esperienza 2

⁸ La simulazione è stata effettuata in modalità short-term per la ricostruzione dei campi di concentrazione annuali

⁹ E' stata sviluppata una specifica interfaccia con il codice dispersivo che permette di utilizzare anche altri codici meteorologici prognostici.

A.2.9 Regione/ARPA Emilia Romagna

Committente	Esecutore	Finalità	Scala	Modelli	Periodo simulato	Risoluzione spaziale e temporale	Emissioni	Condizioni al contorno	Meteo	Validazione
Regione Emilia Romagna	ARPA-SIM	Previsione e valutazione quotidiana qualità dell'aria, analisi di scenario per i piani provinciali	Nord Italia	NINFA (LAMI-Chimere)	10-15 giugno 2003; 12-19 febbraio 2004	10 x 10 km 1 h	CTN-ACE 2004 (corinair 2004)	CTN-ACE 2004 (Prev'air)	LAMA (ARPA-SIM)	CTN-ACE 2004 (dati BPA)
Regione Emilia Romagna	ARPA-SIM	Valutazione inquinamento da ozono in emilia romagna	Regione Emilia Romagna	NINFA (CALMET-CALGRID)	Aprile – settembre 2003	5 x 5 km 1 h	Emilia Romagna disaggregate da EMEP 99	Prev'air	CALMET-SMR	Dati ARPA Emilia Romagna
Varie province dell'Emilia Romagna	Sezioni Provinciali ARPA ER	Supporto a piani provinciali di qualità dell'aria	urbana	ADMS-URBAN	2003-2004	Strade 1h	Inventari locali	NINFA	CALMET-SMR	Dati Locali ARPA