

Il sistema MINNI, modello integrato nazionale per la valutazione degli effetti dell'inquinamento atmosferico e dell'efficacia delle politiche di riduzione delle emissioni di inquinanti atmosferici

MINNI, the national integrated modelling system for assessing the impacts of atmospheric pollution and the effectiveness of the emissions abatement strategies

Gabriele Zanini

Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente, Bologna

Corrispondenza: Gabriele Zanini; e-mail: gabriele.zanini@enea.it

Riassunto

Le politiche di riduzione delle emissioni sono complesse perché complessi sono i fenomeni che determinano il fato degli inquinanti in atmosfera e perché forte è la connessione con altre istanze, come per esempio quelle del riscaldamento globale. I modelli di simulazione possono fornire un utile aiuto per la valutazione dell'efficacia delle politiche di riduzione delle emissioni e dei costi associati.

Il sistema modellistico integrato MINNI è stato sviluppato per legare *policy* e scienza atmosferica e valutare i costi delle misure. I risultati ottenuti sono accuratamente verificati per individuarne le incertezze e l'insieme dei modelli viene continuamente aggiornato per rappresentare lo stato dell'arte della scienza atmosferica. La definizione spaziale e temporale delle simulazioni è un'utile base per valutazioni di impatto sull'ambiente e sulla salute.

(*Epidemiol Prev* 2009; 33(6) suppl 1: 35-42)

Parole chiave: inquinamento atmosferico, modello integrato di impatto, pianificazione qualità dell'aria

Abstract

Selecting the best emissions abatement strategy is very difficult due to the complexity of the processes that determine the impact of atmospheric pollutants and to the connection with climate change issues.

Atmospheric pollution models can provide policy makers with a tool for assessing the effectiveness of abatement measures and their associated costs.

The MINNI integrated model has been developed to link policy and atmospheric science and to assess the costs of the measures. The results have been carefully verified in order to identify uncertainties and the models are continuously updated to represent the state of the art in atmospheric science. The fine spatial and temporal resolution of the simulations provide a strong basis for assessing impacts on environment and health.

(*Epidemiol Prev* 2009; 33(6) suppl 1: 35-42)

Keywords: air pollution, integrated assessment model, air quality management plans

Introduzione

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 a esemplificare come, utilizzando nuove conoscenze, si possano attuare politiche di contenimento più efficaci e multiscope.

Negli anni Sessanta e Settanta si credeva che il solo controllo delle emissioni dei composti organici volatili (COV) avrebbe condotto a 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 la riduzione dei COV era effettivamente efficace, mentre in altre porzioni la riduzione delle concentrazioni di ozono si

otteneva controllando le emissioni degli ossidi di azoto (NO_x). Sempre negli anni Settanta, in Europa si guardava all'inquinamento da ozono come a 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.

Lo stesso è accaduto per il particolato atmosferico, per il quale sono state messe in luce l'importanza della componente secondaria e le implicazioni complesse che ne derivano in termini di politiche di riduzione delle concentrazioni. Anche per le emissioni ci si sta accorgendo come nuovi motori e nuovi combustibili abbiano ridotto le quantità in gioco ma abbiano anche modificato le caratteristiche chimico-fisiche delle sostanze esauste, oppure come motorizzazioni viste positivamente

mente dai gestori del traffico siano problematiche per il mantenimento di un'accettabile qualità dell'aria.

Fondamentali nell'evoluzione del processo conoscitivo sono state le misure, ma anche l'impiego di modelli di simulazione in cui sono riprodotti matematicamente il trasporto e la diffusione degli inquinanti e 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 degli inquinanti siano costantemente diminuite, ma è altrettanto vero che la successione di «emergenze» (l'ossido di carbonio, le polveri totali sospese, gli ossidi d'azoto, l'ozono, il benzene, il particolato fine) sono state percepite come accadimenti imperscrutabili e inaspettati mentre erano ben prevedibili, almeno fenomenologicamente, se solo si fossero lette le politiche della mobilità, gli sviluppi motoristici o la politica fiscale dei combustibili in modo integrato e razionale, utilizzando conoscenze scientifiche che vanno costruite con uno sforzo coerente e costante nel tempo, e non sollecitate solo in caso di immediata necessità. Le caratteristiche quantitative e qualitative delle emissioni, così come l'ambiente atmosferico, devono essere compresi per estrarre le interazioni fra emissioni, processi chimico-fisici e meteorologia che risultano in concentrazioni e deposizioni, rispettivamente in aria e al suolo, variamente distribuite nello spazio e nel tempo. Questo disegno spazio-temporale ha implicazioni dirette 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 e dei materiali esposti.

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. Essere consci della dimensione internazionale del problema

è di fondamentale importanza perché non esiste forse disciplina dove i confini nazionali contino meno. Ovviamente ciò deriva dal carattere stesso dei fenomeni (non esistono infatti impedimenti che li possano contenere), ma anche dall'impostazione che ormai da 25 anni domina la scena europea e internazionale e informa le politiche in tema di inquinamento atmosferico: forte consapevolezza scientifica da parte dei gruppi nazionali, condivisione dei risultati e definizione di norme e protocolli coerenti con il quadro conoscitivo.

Il modello MINNI

Il modello di impatto integrato MINNI (Modello integrato nazionale a supporto della negoziazione internazionale sui temi dell'inquinamento atmosferico) è il risultato di un progetto ENEA nato nel 2002 e finanziato dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare proprio per dotare l'Italia di un valido strumento di supporto per l'analisi delle politiche di riduzione delle emissioni.¹

Il sistema modellistico è composto di due elementi principali (figura 1):

- SMA: un sistema modellistico dell'atmosfera dedicato alla dinamica dell'inquinamento atmosferico che consente di calcolare le concentrazioni e i flussi di deposizione al suolo degli inquinanti inerti e chimicamente attivi oggetto delle politiche di qualità dell'aria a livello nazionale e internazionale;²

- RAINS-Italy (che diventerà GAINS-Italy, incorporando anche la trattazione dei gas serra): versione nazionale del noto modello integrato europeo sviluppato da IIASA (International institute for applied systems analysis) che consente di elaborare scenari emissivi, costi di abbattimento e scenari di valutazione di impatto.³

Il sistema modellistico atmosferico (figura 2), originariamente nato con una risoluzione di 20x20 km, è stato modificato per descrivere il dominio di calcolo nazionale con una risoluzione maggiore (4x4 km) e un ulteriore modello meteorologico è stato incorporato nello schema per includere i dati locali con maggiore flessibilità e fornire una descrizione dei campi meteorologici più coerente con la maggiore risoluzione.

I modelli meteorologici usati per la creazione dei campi meteo orari alle diverse risoluzioni spaziali sono RAMS (Regional atmospheric modelling system, www.atmet.com) e LAPS (Local analysis and prediction system, <http://laps.fsl.noaa.gov/>), inizializzati con i campi meteorologici provenienti dall'European center for medium weather forecast (ECMWF) di Reading (UK). I parametri turbolenti sono preparati dal processore SURFPRO (SURface atmosphere-interFace PROcessor, www.aria-net.it). Meteorologia ed emissioni, processate da Emission Manager (www.aria-net.it), rappresentano l'input al modello di trasporto chimico FARM (Flexible atmospheric regional model, www.aria-net.it) che, incorporate le condizioni al contorno per le concentrazioni fornite dal modello a scala europea EMEP, calcola sulla griglia di riferimento le concentrazioni orarie dei principali inquinanti normati. In

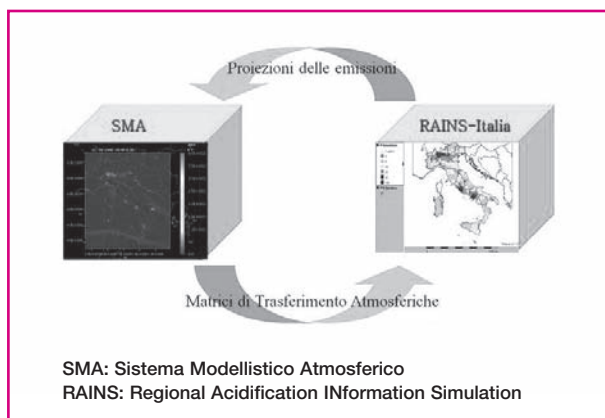


Figura 1. Il sistema modellistico MINNI.

Figure 1. MINNI integrated model.

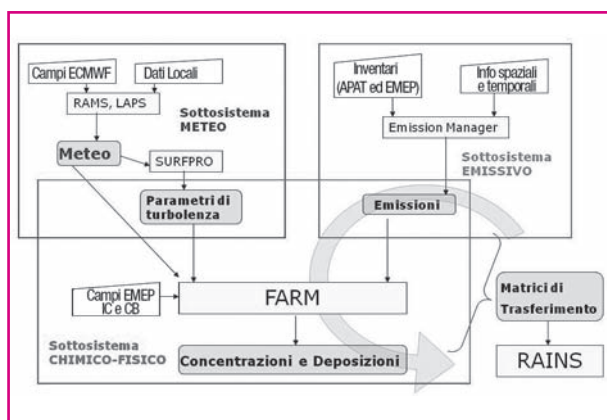


Figura 2. Schema della catena modellistica (modelli, pre e post processori) del Sistema modellistico atmosferico e del legame con RAINS Italy.

Figure 2. Models chain outline (models pre and post processors) of the Atmospheric Modelling System and the link with RAINS Italy.

tal modo le concentrazioni simulate saranno il risultato dei processi che coinvolgono sia le emissioni nazionali sia quelle a scala continentale.

SMA calcola per RAINS-Italy le matrici di trasferimento, cioè relazioni semplificate sorgente-ricettore che esprimono, attraverso opportuni coefficienti, il contributo di ciascuna Regione a ogni singola cella della griglia di riferimento. In questo modo è possibile calcolare in RAINS l'esito di una politica regionale di riduzione delle emissioni di un certo inquinante in termini di riduzione conseguente delle concentrazioni o delle deposizioni misurate in ciascun punto griglia. L'accuratezza di questo modo di calcolare l'impatto di una riduzione delle emissioni di una data Regione è ovviamente inferiore a quella di un *run* completo di SMA, e accettabile solo all'interno di determinate condizioni di applicazione, ma offre una modalità molto potente e veloce di valutazione di misure anche alternative.

Viceversa, mediante un post processore RAINS-Italy fornisce al sistema atmosferico *input* emissivi corrispondenti a scenari energetico-tecnologici futuri determinati dall'applicazione di nuova legislazione o dall'affermazione più o meno rapida di tecnologie di abbattimento nei diversi settori produttivi o dall'applicazione di misure non tecniche che incidano comunque sulla miscela emissiva. In tal modo, lasciando invariata la meteorologia si può simulare quanto uno scenario energetico futuro e nuove strategie di controllo modifichino la qualità dell'aria rispetto allo scenario di riferimento.

Il modello si è dimostrato in grado di riprodurre le caratteristiche fisiche e chimiche dell'inquinamento atmosferico italiano. Tra di esse vale la pena ricordare anzitutto la presenza sul territorio nazionale di una delle aree maggiormente inquinate del continente europeo, la Pianura padana, particolarmente esposta (a causa dell'effetto combinato di un'altissima densità di attività umane e di una meteorologia sfa-

vorevole, caratterizzata da frequenti calme di vento e scarso rimescolamento verticale) a eventi anche persistenti di elevati livelli di inquinamento atmosferico.

Il modello riproduce bene anche la nota stagionalità di alcuni inquinanti atmosferici, in particolare:

- consistenti livelli di inquinamento fotochimico estivo (ozono) dovuto a forte insolazione e alla presenza dei precursori chimici (ossidi di azoto e composti organici volatili);
- alte concentrazioni di particolato atmosferico nella stagione invernale.

L'impiego del sistema modellistico per l'orientamento delle politiche di qualità dell'aria e nelle fasi di negoziazione internazionale impone una continua e profonda azione di sviluppo degli algoritmi e di confronto con i dati misurati e con altri analoghi modelli utilizzati nel contesto internazionale e nazionale. Le azioni di verifica e confronto si concentrano ovviamente sui modelli che compongono l'SMA mediante il confronto dei risultati prodotti dai modelli con le misure. Il confronto passa attraverso l'analisi di diversi indici statistici che determinano non solo lo scostamento del modello dal valore misurato, ma anche la sistematicità dell'errore, la dipendenza da fattori stagionali o dalla posizione geografica. Il confronto non riguarda solo l'*output* finale, ovvero le concentrazioni degli inquinanti, ma anche quello dei modelli meteorologici, i cui risultati sono confrontati con quelli delle stazioni meteorologiche al suolo poste entro il dominio di calcolo e con i sondaggi verticali disponibili entro lo stesso dominio.

Analisi di sensibilità sono effettuate a carico dei meccanismi chimico-fisici di trasformazione degli inquinanti gassosi e del particolato per individuare le parametrizzazioni migliori. Per quanto riguarda la simulazione del particolato, emerge

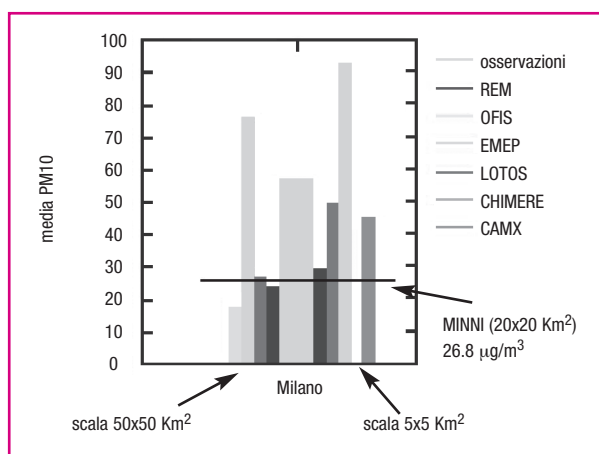


Figura 3. Esercizio City Delta (aqm.jrc.ec.europa.eu/citydelta): concentrazioni simulate da MINNI sull'area di Milano (linea nera) a confronto con altri modelli (barre sottili) e le osservazioni (barra più spessa).

Figure 3. City Delta exercise (aqm.jrc.ec.europa.eu/citydelta): comparison among MINNI calculated concentrations over the Milan area (black line), different models outputs (thin bars) and the observations (thicker bar).

una sistematica sottostima (fino al 30-40%) delle concentrazioni calcolate sulla maglia 20x20 km rispetto a quelle misurate; la tendenza, seppur attenuata in talune circostanze, permane anche con un dettaglio spaziale superiore (4x4 km). Ciò sarebbe principalmente dovuto alla sottostima delle emissioni effettuata dall'inventario nazionale, da problemi nella simulazione del particolato secondario organico e dall'imperfetta incorporazione di contributi biogenici, geogenici e dal risollevamento, nonché dalla difficoltà di confrontare valori medi calcolati su griglie di qualche km² con valori puntuali rappresentativi di un intorno il più delle volte ben più limitato. La **figura 3** mostra come i risultati siano confrontabili con quelli raggiunti da modelli sviluppati negli Stati Uniti e in Europa.

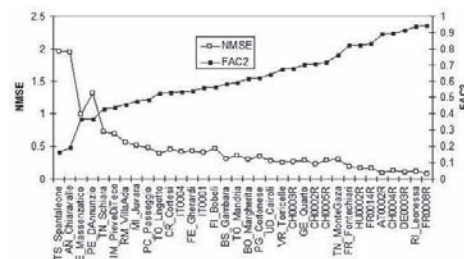
Per quanto riguarda l'ozono, il confronto è ancor più esteso in quanto maggiore è l'abbondanza di misure. Le prestazioni del modello sono accettabili sia per quanto riguarda il calcolo degli indicatori di lungo periodo sia per la distribuzione spaziale e temporale. In **figura 4** sono indicate le stazioni di monitoraggio all'interno del dominio di calcolo con le quali si effettuano confronti.

In **figura 5** si riportano simultaneamente gli andamenti di due indicatori di prestazione, FAC2 (il fattore 2) e NMSE (*normal mean square error*, errore quadratico medio normalizzato). Si osserva l'elevato numero di stazioni con un valore di FAC2 maggiore di 0.5. Per quanto riguarda NMSE, si nota che, per la maggior parte delle misure, la distribuzione non è di tipo normale (NMSE < 1), a eccezione delle prime stazioni che hanno, tra l'altro, un valore di FAC2 basso (si ricorda che quando NMSE è superiore a 1



Figura 4. Posizione delle stazioni EMEP/BRACE usate per la validazione delle simulazioni modellistiche; alcune di queste si trovano oltre i confini italiani.

Figure 4. EMEP/BRACE monitoring stations used for validating the model: a few stations are located beyond the Italian borders.



Il parametro **FAC2** è definito come la frazione dei dati per i quali il rapporto tra le concentrazioni simulate (C_s) e quelle misurate (C_m) è compreso nell'intervallo:

$$0.5 \leq \frac{C_s}{C_m} \leq 2.0$$

Il parametro **NMSE** rappresenta lo scostamento medio tra i dati misurati e simulati:

$$NMSE = \frac{(\overline{C_m} - \overline{C_s})^2}{\overline{C_m} \cdot \overline{C_s}}$$

e può essere a sua volta scomposto nella somma della componente sistematica (NMSE_s) e di quella casuale (NMSE_c), tale che:

$$NMSE = NMSE_s + NMSE_c,$$

con

$$NMSE_s = \frac{4 \cdot FB^2}{4 - FB^2}$$

dove FB (*fractional bias*), è il rapporto tra la differenza dei valori medi misurati e di quelli simulati, normalizzata alla loro media:

$$FB = \frac{(\overline{C_m} - \overline{C_s})}{0.5 (\overline{C_m} + \overline{C_s})}$$

FB è una misura della tendenza del modello a sovrastimare e sottostimare: può variare tra -2 e +2; zero sarebbe il suo valore ottimale. Anche per NMSE zero rappresenta il valore ideale.

Figura 5. Il grafico, ottenuto ordinando in senso crescente le stazioni in funzione del FAC2, mostra l'elevato numero di stazioni in cui il valore di questo parametro superiore a 0.5.

Figure 5. FAC2 parameter is depicted for each site for increasing value of the factor.

la distribuzione delle concentrazioni orarie si avvicina a una distribuzione log-normale, piuttosto che normale). Nella **figura 6** si rappresenta l'andamento della componente casuale (NMSE_c) e sistematica (NMSE_s), di NMSE. Si può osservare che la componente casuale prevale su quella sistematica, a eccezione delle prime stazioni (TS_Spantaleone, AN_Chivaravalle, RE_Massenzatico, PE_DAnnunzio), dove l'errore sistematico è piuttosto elevato. D'altra parte, queste stazioni hanno mostrato un FAC2 inferiore a 0.4 e, naturalmente, un elevato NMSE (**figura 5**). Per le altre stazioni, l'errore casuale domina quello sistematico.

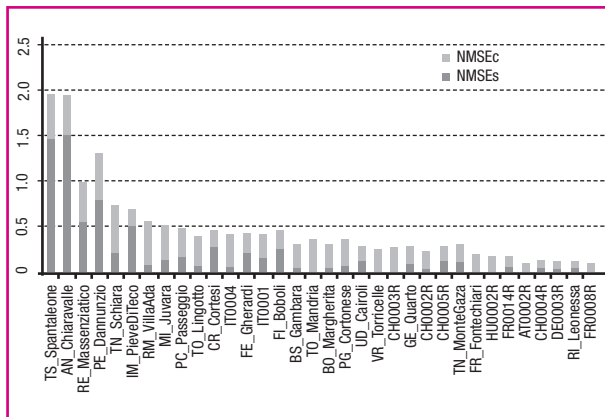


Fig 6. Andamento dei parametri NMSEc e NMSEs. Si osservi come la componente random prevalga su quella sistematica a eccezione delle prime stazioni, dove l'errore sistematico è elevato.

Fig. 6. NMSEc e NMSEs trend. The random component NMSEc prevails over the systematic one NMSEs with the exception of the first sites where the systematic error is relevant.

Risultati

Il modello MINNI ha mostrato la sua validità nell'ambito delle negoziazioni internazionali in corso per la revisione del Protocollo di Gothenburg sull'inquinamento transfrontaliero e della direttiva 2001/81/EC sui tetti di emissione nazionali (direttiva NEC): in questi ambiti MINNI ha infatti permesso all'Italia di elaborare dati quantitativi propri, autentiche «controdeduzioni» da confrontare con i dati-base forniti dalla Commissione europea. Dati, quelli europei, elaborati con modelli a scala continentale, fatalmente meno dettagliati nel descrivere le caratteristiche peculiari dell'inquinamento italiano sopra riassunte.

Nello stesso modo, MINNI ha permesso di dettagliare su scala nazionale gli studi quantitativi su cui è stata basata l'elaborazione della recente strategia tematica europea sull'inquinamento atmosferico, strategia sulla quale si andrà a basare la ristrutturazione della legislazione europea in tema di qualità dell'aria attesa entro fine decennio.

I risultati di MINNI ottenuti in questi primi anni di esistenza si configurano anche e soprattutto come servizio al Paese e ai decisori nazionali e locali, sotto vari aspetti che verranno di seguito descritti.

Mappe nazionali di inquinamento atmosferico prodotte da SMA

MINNI è in grado di fornire mappe di concentrazione e deposizione al suolo dei principali inquinanti normati (ovvero soggetti a imposizione di valori limite e/o soglie) sull'intero territorio nazionale, con la risoluzione di $20 \times 20 \text{ km}^2$ o di $4 \times 4 \text{ km}^2$.

In figura 7 è presentata un'elaborazione dell'indicatore SOMO35 calcolato per l'anno 2005 sul dominio nazionale alla risoluzione di $20 \times 20 \text{ km}^2$. L'indicatore SOMO35 (*sum*

of means over 35) è un indicatore del rischio per la salute da ozono. E' la somma, calcolata per tutti i giorni dell'anno, delle eccedenze al di sopra del valore di *cut-off* di 35 ppb, del massimo giornaliero delle medie su 8 ore.

La figura 8 invece presenta una mappa, alla risoluzione di $4 \times 4 \text{ km}^2$ delle concentrazioni medie invernali di PM10 su un sotto-dominio (Nord Italia).

Tali mappe rappresentano di per sé un contributo conoscitivo sostanziale per l'elaborazione di politiche, tanto più che questa grossa banca dati contiene non solo informazioni temporali e spaziali ma anche, per gli inquinanti secondari, informazioni sulla loro composizione chimica. Il particolato, per esempio, è costituito solo in parte da materiale direttamente emesso dalle sorgenti (componente primaria). Un altro contributo, detto di particolato secondario, è frutto di una serie di reazioni chimiche che avvengono a partire da sostanze emesse (precursori) che in atmosfera si trasformano e posso-

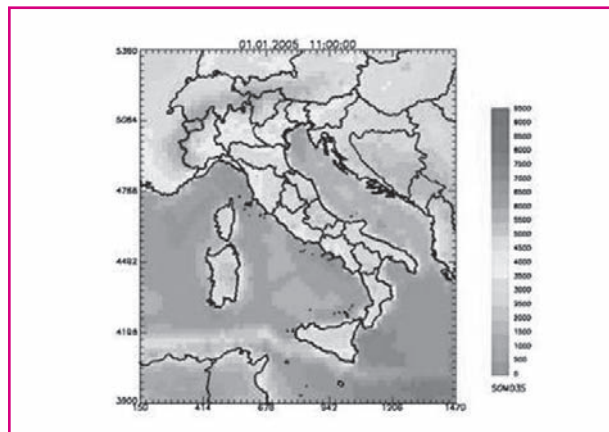


Figura 7. Indicatore SOMO35 calcolato per l'anno 2005 sul dominio nazionale alla risoluzione di $20 \times 20 \text{ km}^2$.

Figure 7. SOMO35 for 2005 over the national domain: model resolution $20 \times 20 \text{ km}^2$.

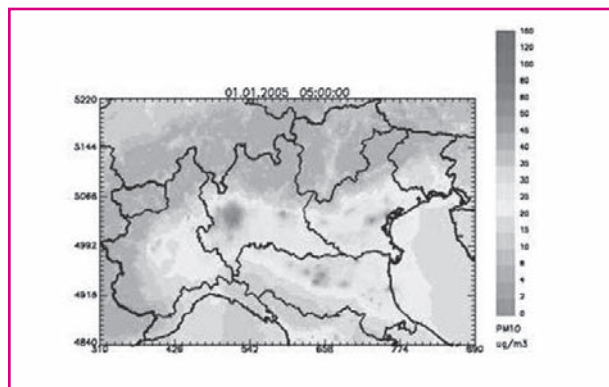


Figura 8. Media invernale del PM10 calcolato per l'anno 2005 sul sotto-dominio del Nord Italia alla risoluzione di $4 \times 4 \text{ km}^2$.

Figure 8. Northern Italy PM10 winter average in 2005: resolution $4 \times 4 \text{ km}^2$.

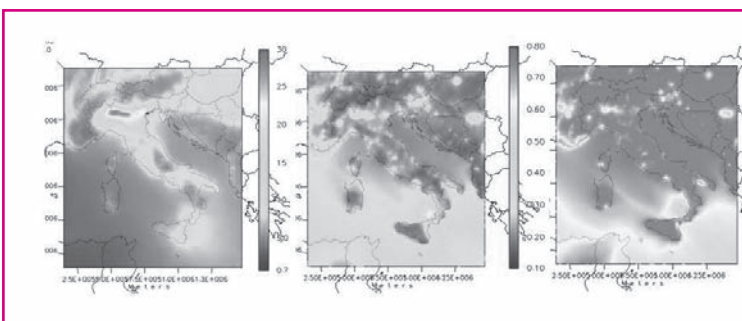


Figura 9. Concentrazione media annuale di PM2.5 (sinistra) e contributi in percentuale della componente primaria (centro) e secondaria (destra).

Figure 9. PM2.5 annual mean concentration (left) and percentage of share between primary (center) and secondary components (right).

no poi passare dalla fase gassosa al particolato. E' possibile una post elaborazione dei risultati che consente di valutare i contributi relativi di particolato primario e secondario.

In figura 9 è presentato un esempio di elaborazione di questo tipo. Nel pannello di sinistra è ricostruita la mappa della concentrazione media annuale delle polveri più fini (PM2.5, diametro inferiore a 2.5 micron); nei pannelli rispettivamente al centro e a destra sono invece presentati i risultati della post elaborazione che ha consentito di calcolare le mappe dei contributi primario e secondario. Si noti come la componente secondaria contribuisca quasi ovunque all'80%. Fanno eccezione le aree urbane, dove maggiori sono le emissioni di primario e le due componenti arrivano a eguagliarsi. I campi di MINNI elaborati per alcuni anni-base, ossia 1999, 2003 (in corso di elaborazione), 2005 e 2007 (in corso di elaborazione) sono stati anche utili ad alcune amministrazioni regionali come «condizioni al contorno» per utilizzare modelli locali a scala più dettagliata.

Valutazione dell'efficacia delle misure contenute nei Piani regionali di gestione della qualità dell'aria

L'elaborazione, attraverso SMA, delle «matrici di trasferimento» consente a RAINS-Italy di riprodurre in modo rapido, seppure con minore accuratezza, mappe nazionali di concentrazione e deposizione al suolo per un dato anno di riferimento. Il ruolo specifico di RAINS-Italy è tuttavia quello di costruire scenari emissivi e valutare l'efficacia, e i costi, di strategie di controllo che possano migliorare la qualità dell'aria nel Paese con l'introduzione di tecnologie di abbattimento delle emissioni più efficienti o con l'attuazione di politiche tese a ridurre consumi e/o emissioni alla fonte. Di questi scenari futuri «con misure» è poi possibile verificare l'impatto rispetto a quanto atteso con il solo rispetto della normativa vigente (scenario *current legislation*, o CLE), per esempio in termini di riduzione delle concentrazioni di alcuni inquinanti critici ai fini del rispetto dei valori limite fissati per alcuni anni *target* o di miglioramento di indicatori di impatto sanitario, quali la riduzione media dell'aspettativa di vita attribuibile alle concentrazioni di PM2.5.⁴

Con questo tipo di approccio negli ultimi anni sono state analizzate tutte le misure contenute nei Piani regionali di gestione della qualità dell'aria e ne è stata valutata l'efficacia. In fi-

gura 10 è evidenziata (lato a) la distribuzione nazionale (su maglia 20x20) dell'indicatore «riduzione media dell'aspettativa di vita» (mesi) attribuibile alle concentrazioni di PM2.5 attese nell'anno *target* 2010 in base allo scenario CLE. A fianco è evidenziato il modesto miglioramento relativo apportato su questo scenario dalle misure previste nei Piani regionali di qualità dell'aria.⁵

Altre applicazioni

Si è fin qui citato il lavoro «istituzionale» svolto da MINNI a beneficio del Paese, secondo le linee inizialmente previste nella messa a punto del progetto. Nella pratica, la disponibilità di uno strumento simile rende anche possibile fornire risposte relativamente rapide a problemi di «pratica quotidiana» dell'attività amministrativa o rispondere a richieste inizialmente non previste, ma imposte all'attenzione del decisore politico da altri soggetti, per esempio l'opinione pubblica o i media. A titolo di esempio si riportano alcuni esercizi svolti con MINNI (e con SMA in particolare) a partire dalla sua messa a punto.

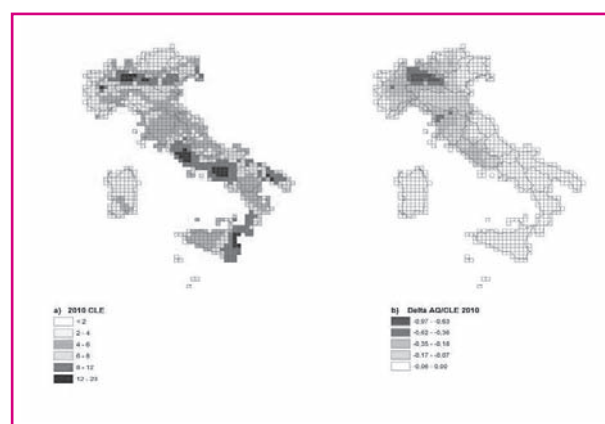


Figura 10. a) Distribuzione nazionale dell'indicatore riduzione media dell'aspettativa di vita (mesi) attribuibile alle concentrazioni di PM2.5 attese nell'anno *target* 2010 in base allo scenario CLE (legislazione corrente); b) miglioramento relativo apportato su questo scenario dalle misure previste nei Piani regionali di qualità dell'aria.

Figure 10. a) national distribution of the average loss of life expectancy (months) due to 2010 PM2.5 concentrations as a results of current legislation scenario; b) relative differences with case a) due to the application of the regional air quality plans.

Valutazione dell'impatto delle navi (rotte nazionali e internazionali) sull'inquinamento da polveri fini e solfato

Lo studio ha quantificato l'impatto delle emissioni delle navi operanti su rotte nazionali e internazionali nei mari italiani.⁶ Fatte salve le approssimazioni imposte dall'incompletezza delle fonti di informazione, si è dimostrato come le emissioni navali diano un contributo che può arrivare al 10-15% delle concentrazioni di PM_{2.5} nelle aree costiere e in prossimità dei principali porti.

Il modello ha permesso di mostrare come tale contributo sia sostanzialmente causato dalla forte presenza di zolfo nei combustibili e nei fumi navali, attualmente tollerata in misura molto superiore a quanto le direttive comunitarie abbiano imposto per i combustibili terrestri. In opportune condizioni di temperatura e umidità i fumi solforosi delle navi vanno a condensarsi e a formare i nuclei semi-liquidi attorno ai quali poi si coagula la parte dell'aerosol più fine.

Studio dell'effetto dell'imposizione di filtri antiparticolato ai veicoli off-road

Su alcuni periodi campione si è studiato l'effetto atteso da un'ipotetica norma che imponesse l'adozione di filtri antiparticolato alla totalità delle sorgenti mobili non da traffico (macchine operatrici, macchine agricole, mezzi per la pulizia delle strade, ecc.). Si tratta di una categoria di veicoli non numerosi, ma molto «sporchi», in quanto alimentati a diesel e solitamente dotati di cilindrata molto alte. Lo studio, limitato al Nord Italia, ha dimostrato come un beneficio di tale misura sarebbe apprezzabile (ancora dell'ordine del 10% del PM₁₀) in buona parte del territorio agricolo del Nord Italia (relazione per il Ministero dell'ambiente, 18.11.08).

A partire dai risultati già prodotti, tenendo conto delle carenze evidenziate dal processo di confronto e valutazione delle prestazioni del modello e divenendo sempre più pressante l'armonizzazione dell'azione amministrativa su questa materia ai diversi livelli istituzionali (nazionale, regionale e, in alcuni casi, provinciale), il programma di sviluppo relativo al triennio 2009-2011 si propone da un lato di affinare gli algoritmi e le simulazioni di scala nazionale, dall'altro di impostare una modalità organica di raccordo e confronto con le autonome funzioni di governo delle tematiche di qualità dell'aria attribuite in Italia alle Regioni.

Nella prima direzione, i punti più rilevanti riguardano:

- l'estensione del modello alla trattazione dei metalli pesanti e dei prodotti organici persistenti (diossine e furani);
- lo sviluppo di nuovi moduli che consentano di migliorare la descrizione del particolato, incorporando anche i contributi di aerosol marino (il particolato liberato dall'azione del vento sul mare o dal frangersi delle onde sulla costa), da sabbie sahariane, particolato crostale dovuto all'erosione eolica della superficie terrestre, incendi boschivi;
- la validazione del modello attraverso un'azione di con-

fronto dei risultati modellistici con i dati forniti dalle reti regionali e nazionali e da mirate campagne di misura;

■ il passaggio da RAINS a GAINS che, includendo i gas a effetto serra, permetterà di evidenziare sia le sinergie sia gli eventuali *trade-off* fra i provvedimenti adottati per ridurre le emissioni di inquinanti e quelli per l'attuazione del Protocollo di Kyoto.

Il supporto alle Regioni, che con le Province autonome rappresentano le autorità competenti per la valutazione e gestione della qualità dell'aria e a cui è affidata la stesura e l'implementazione dei piani di risanamento, implica molteplici linee di attività:

- la messa a disposizione di dati di *input* al modello nazionale che costituiscono le necessarie condizioni al contorno per la realizzazione di autonome simulazioni modellistiche di scala regionale;
- la messa a disposizione di dati di *output* del modello nazionale, inerenti il territorio regionale e le aree limitrofe, a una risoluzione temporale oraria: il fine è l'analisi e il confronto dei risultati delle simulazioni modellistiche relative alla qualità dell'aria realizzate a livello regionale con quelle ottenute attraverso il modello MINNI;
- la condivisione con le Regioni, attraverso opportuni processi di armonizzazione, degli *input* emissivi che alimentano i modelli a un dato anno base;
- la produzione, tramite GAINS-Italy, di scenari emissivi nazionali e regionali per anni futuri quali 2010, 2015, 2020, solitamente anni *target* per le politiche europee;
- il supporto e/o il confronto nella valutazione dell'efficacia delle misure formalmente adottate nei Piani regionali di gestione della qualità dell'aria.

Conclusioni

In generale, gli studi condotti con MINNI, sia quelli qui citati sia molti altri, hanno mostrato con chiarezza un concetto chiave per le politiche relative all'inquinamento atmosferico: non esistono misure prevalenti o «miracolose» per l'abbattimento dell'inquinamento atmosferico, ma la soluzione del problema va cercata in opportuni mix di provvedimenti da studiare a scala di bacino. Ciò accade per due motivi principali.

Il primo è da ricercarsi nella natura stessa degli inquinanti attualmente oggetto dell'attenzione del legislatore, ozono e particolato atmosferico. Si tratta di inquinanti in buona parte «secondari», ovvero non direttamente emessi da una sorgente specifica, ma derivanti da complesse reazioni chimiche che hanno luogo in atmosfera a partire da un ampio numero di loro precursori (ossidi di azoto e composti organici volatili per l'ozono; gli stessi, più ammoniaca e anidride solforica per gli aerosol particolati). Per controllarli è quindi necessario agire su una molteplicità di fonti o settori produttivi il cui peso può variare localmente in maniera sostanziale.

In secondo luogo, il maggiore contributo all'inquinamento tende a non essere più attribuibile a grosse sorgenti localizzate (tipicamente industriali o di generazione di energia), ma prevalgono le piccole sorgenti disperse, per esempio il traffico e altri mezzi di trasporto. Ovviamente, controllare tale molteplicità di sorgenti diventa intrinsecamente più complesso rispetto a sorvegliare i «grandi inquinatori» su cui molte politiche si sono concentrate negli scorsi decenni.

L'attuale risoluzione spazio temporale (4x4 km e 1 ora) costituisce una base di partenza per studi a scale più dettagliate e fornisce condizioni al contorno, per esempio per analisi all'interno degli *street canyon* urbani, e in generale negli aggregati urbani dove alta è la densità di popolazione. La speciazione del particolato, attuata dal modello, può coadiuvare l'interpretazione di evidenze epidemiologiche legate non solo alle quantità di particolato e alla sua dimensione, ma anche alla sua natura chimica.

Conflitti di interesse: nessuno.

Gabriele Zanini è il responsabile scientifico della Convenzione con il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. Del gruppo di lavoro fanno parte molteplici ricercatori

di centri ENEA di Bologna, Casaccia e Pisa; le attività sono state svolte in collaborazione stabile con Arianet srl, Milano.

Bibliografia

1. Zanini G, Monforti F, Ornelli P et al. The MINNI project. 2004. Proc. of 9th Conference on harmonisation within atmospheric dispersion modelling for regulatory purposes, 1-4.6.2004, Garmisch-Partenkirchen.
2. Calori G, Finardi S, Vitali L, Ornelli P. National-scale air pollution in Italy: yearly-based modelling of interregional contributions. 2005. Science and supercomputing at CINECA. 10.1388/SSC (2005)-ES-318.
3. RAINS website, International institute for applied systems analysis, atmospheric pollution and economic development (APD). 2007. <http://www.iiasa.ac.at/rains/index.htm>
4. Mechler R, Amann M, Schöpp, W. A methodology to estimate changes in statistical life expectancy due to the control of particulate matter air pollution. 2002. IR-02-035. IIASA, Laxenburg, Austria.
5. D'Elia I, Bencardino M, Ciancarella L et al. Technical and non technical measures for air pollution emission reduction: the integrated assessment of the regional air quality management plans through the italian national model. *Atmospheric Environment* 2009; doi:10.1016/j.atmosenv.2009.09.003
6. Zanini G, Vialetto G, Vitali L et al. Integrated assessment modelling project in Italy. Case study on the effects of the sea region emissions on air pollutant concentrations over the land. Third International symposium on air quality management at urban, regional and global scales. 26-30 September 2005, Istanbul, Turkey (<http://www.efca.net/shipping.htm>).