

Esperienze ed iniziative europee sull'utilizzo della modellistica a supporto della gestione della qualità dell'aria

Sandro Finardi

ARIANET S.r.l., Via Gilino, 9 – 20128 Milano, s.finardi@aria-net.it

Riassunto

Le attività di ricerca e sviluppo supportate dalla Commissione Europea identificano i progressi della modellistica che troveranno successivamente implementazione ed applicazione nelle procedure di gestione della qualità dell'aria. Queste attività costituiscono inoltre uno dei riferimenti scientifici per il miglioramento e l'aggiornamento delle direttive sulla qualità dell'aria. Attraverso l'esame dei progetti di maggior influenza realizzati nel passato recente si sono messe in luce le correlazioni fra le iniziative di supporto alla ricerca e le politiche ambientali europee. Quindi, attraverso la descrizione di alcuni dei progetti più recenti ed innovativi, per contenuto scientifico o metodologie di analisi proposte, si sono individuate le tendenze attuali di maggior possibile influenza: implementazione delle metodiche di valutazione dell'esposizione; diffusione dell'utilizzo di sistemi per la previsione della qualità dell'aria; sviluppo ed applicazione della modellistica di microscala; integrazione fra la modellazione dell'inquinamento atmosferico, dei cambiamenti climatici e dell'impatto complessivo sulla salute umana.

INTRODUZIONE

La nuova direttiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa, oltre ad assumere le prescrizioni delle precedenti direttive quadro (1996/62/EC) e figlie (1999/30/EC, 2000/69/EC and 2002/3/EC) sulla qualità dell'aria per quanto riguarda l'utilizzo degli strumenti modellistici all'interno delle procedure di valutazione della qualità dell'aria, introduce alcune rilevanti novità che richiedono un maggior utilizzo dei modelli da parte delle agenzie di protezione dell'ambiente. In particolare, l'articolo 26 "Informazioni al pubblico", facendo riferimento al punto 4 dell'allegato XVI, prevede che "Gli Stati membri provvedono affinché il pubblico disponga di informazioni tempestive sui superamenti, effettivi o previsti, delle soglie di allarme e di qualsiasi soglia di informazione. I dati forniti devono riguardare almeno le seguenti informazioni: ... b) previsione per il pomeriggio/giorno/i seguenti e/i: - area geografica prevedibilmente interessata dai superamenti della soglia di informazione e/o di allarme, - cambiamento previsto nell'inquinamento (miglioramento, stabilizzazione o peggioramento) e motivo del cambiamento previsto;". I dati dovranno essere corredati da indicazioni sui settori colpiti della popolazione, i possibili effetti sulla salute e le condotte raccomandabili. Queste informazioni, nelle modalità richieste, potranno essere garantite solo attraverso l'implementazione di sistemi modellistici per la previsione della qualità dell'aria a scala regionale ed urbana, che permettano di affiancare le previsioni di inquinamento atmosferico alle previsioni del tempo, che sono entrate da molto tempo nell'esperienza quotidiana delle persone, che hanno imparato ad utilizzarle ed a comprenderne le incertezze intrinseche ed il livello di affidabilità. Diverse ARPA (ad esempio Piemonte, Lombardia, Emilia Romagna e Lazio) ed alcuni istituti di ricerca (CNR/ISAC e Università dell'Aquila) hanno già implementato od hanno in corso di sviluppo sistemi modellistici per l'analisi e la previsione della qualità dell'aria (Bande et al., 2007; Finardi et al., 2009; Mircea et al.,).

Un altro elemento di novità introdotto dalla direttiva 2008/50/CE riguarda la valutazione dei contributi naturali nelle procedure di valutazione della qualità dell'aria e di verifica del rispetto dei limiti di legge per i diversi inquinanti (Articolo 20 "Contributi da fonti naturali"). Tali contributi possono includere le emissioni originate da eruzioni vulcaniche, attività sismiche, attività geotermiche, incendi spontanei, tempeste di vento, aerosol marini o trasporto e risospensione atmosferica di sabbie desertiche. Differenti studi scientifici hanno evidenziato la presenza di episodi di trasporto a lunga distanza di sabbie sahariane e di pennacchi dovuti ad incendi forestali, che possono determinare contributi non trascurabili alle concentrazioni di particolato su alcune regioni della penisola Italiana. La stima della rilevanza di questi fenomeni e la quantificazione del loro contributo allo stato di qualità dell'aria, ed al superamento dei limiti di legge per gli inquinanti normati, necessita l'utilizzo integrato di tecniche di analisi dei campioni sperimentali, di modellistica meteorologica e della qualità dell'aria e di osservazioni da satellite. In particolare lo strumento modellistico può consentire una previsione, o almeno una valutazione in tempo reale, dell'impatto sulla qualità dell'aria di questi eventi. Previsioni di impatto delle polveri sahariane su scala europea sono attualmente rese disponibili dal Barcelona Supercomputing Center (<http://www.bsc.es/projects/earthscience/DREAM>) e dall'Università di Atene (<http://forecast.uoa.gr/dustindx.php>), mentre previsioni dell'inquinamento atmosferico prodotto dagli incendi forestali sono distribuite dall'Istituto Meteorologico Finlandese (http://silam.fmi.fi/AQ_forecasts/v4/index.html).

Le innovazioni introdotte o prospettate dalla direttiva 2008/50/CE trovano fondamento nelle attività di ricerca effettuate nel corso degli ultimi anni in ambito europeo e cercano supporto nelle attività attualmente promosse dalla Commissione Europea all'interno dei differenti programmi di ricerca e innovazione finanziata e cofinanziata ed attraverso programmi di cooperazione scientifica. Considerando quanto introdotto

precedentemente come un punto di partenza ed i temi inclusi nelle iniziative comunitarie è possibile individuare i seguenti argomenti di interesse:

- Il miglioramento della comunicazione fra meteorologia ed inquinamento atmosferico, sia attraverso lo sviluppo di strumenti modellistici innovativi che attraverso l'accoppiamento di quelli esistenti;
- l'integrazione fra l'analisi ambientale e la valutazione dell'impatto degli inquinanti sulla salute umana;
- l'integrazione fra inquinamento atmosferico e clima ed il loro possibile impatto sulla salute,
- la produzione di strumenti integrati di supporto alle decisioni che includano l'impatto sociale e sulla salute di forzanti multiple (meteorologia, inquinamento dei diversi comparti ambientali);
- la modellistica di microscala applicata allo studio degli *hot-spots* urbani o per l'analisi delle emissioni accidentali.

Nei capitoli seguenti sono brevemente richiamati alcuni progetti e iniziative già conclusi, o in fase di conclusione, che hanno prodotto ricadute dirette o di indirizzo sulle attività di modellistica a supporto della gestione della qualità dell'aria. Successivamente sono analizzate alcune delle iniziative in corso e sono introdotti i progetti di maggior interesse potenziale.

PROGETTI CONCLUSI ED ATTIVITÀ IN CORSO

INTEGRAZIONE FRA MODELLI E PREVISIONI DI QUALITÀ DELL'ARIA

Come già accennato precedentemente, uno degli ambiti di ricerca e sviluppo promossi dall'Unione Europea è costituito dall'integrazione fra modelli meteorologici e di qualità dell'aria finalizzato alla previsione della qualità dell'aria. In questo ambito vale la pena di ricordare il progetto del V Programma Quadro (PQ) FUMAPEX (Integrated Systems for Forecasting Urban Meteorology, Air Pollution and Population Exposure, 2002-2005, <http://fumapex.dmi.dk/>), che ha visto, in ambito nazionale, la partecipazione di ARIANET S.r.l., ARPA Piemonte ed ARPA Emilia-Romagna. Tale progetto ha permesso la sperimentazione dell'accoppiamento fra modelli meteorologici e di qualità dell'aria e la costruzione di prototipi di sistemi di previsione dell'inquinamento urbano in 6 città europee. Questa esperienza è stata il punto di partenza per la successiva implementazione di sistemi previsionali in alcune agenzie regionali (Baklanov et al., 2007; Finardi et al., 2008). All'interno del VI PQ della Commissione Europea è stato finanziato il progetto GEMS (Global and regional Earth-system (Atmosphere) Monitoring using Satellite and in-situ data, 2005-2009, <http://gems.ecmwf.int/>) finalizzato allo sviluppo di sistemi per il monitoraggio e la previsione dei componenti atmosferici importanti per la qualità dell'aria e il clima. I sistemi di previsione considerati dal progetto sono indirizzati alla scala planetaria ed alla scala continentale europea. Il progetto, attualmente in fase di conclusione, vede la partecipazione, quali partner italiani del CNR/ISAC e di ARPA Emilia Romagna. I temi dell'analisi e della previsione della qualità dell'aria sono coperti anche dalle attività del progetto PROMOTE (PROtocol MONitoring for the GMES Service Element: Atmosphere, 2006-2009, <http://www.gse-promote.org/>) finanziato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) nell'ambito del progetto GMES (Global Monitoring for Environment and Security), che è un'iniziativa comune della stessa ESA e della Commissione Europea.

PARTICOLATO E COMPOSIZIONE DELL'ATMOSFERA

Un altro argomento che è stato ed è tuttora considerato di grande interesse a livello comunitario è quello degli aerosol, per i quali esistono ancora lacune sia nella comprensione della loro evoluzione chimico fisica in atmosfera, che nella capacità di riprodurla all'interno dei modelli. Oltre a ciò sono tuttora indagate le caratteristiche di nocività degli aerosol relativamente alla loro composizione chimica, dimensione fisica e concentrazione in numero di particelle. Il progetto EUCAARI (European Integrated project on Aerosol Cloud Climate and Air Quality Interactions, 2007-2011, <http://www.atm.helsinki.fi/eucaari/>) appartiene al VI PQ e si pone gli obiettivi di: i) ridurre l'incertezza sull'impatto degli aerosol sul clima e di quantificare le relazioni fra il particolato antropogenico e la qualità dell'aria a scala regionale; ii) quantificare gli effetti sul clima a scala regionale e globale, delle direttive europee sulla qualità dell'aria. Ad EUCAARI partecipa il CNR/ISAC.

Uno spettro più vasto di attività che riguardano la composizione chimica dell'atmosfera ed i suoi cambiamenti, è oggetto delle attività della *Rete di Eccellenza ACCENT* (Atmospheric Composition Change the European Network of excellence, <http://www.accent-network.org/>), coordinata dal CNR/ISAC. Trattandosi di una rete d'eccellenza, lo scopo dell'iniziativa non si configura in uno specifico progetto scientifico, ma deve puntare a sviluppare la cooperazione a lungo termine tra gruppi di ricerca in Europa, con lo scopo di rafforzarne l'eccellenza scientifica e tecnologica. In generale, le reti di eccellenza prevedono: i) sviluppo di attività di ricerca pluriennali e pluridisciplinari; ii) integrazione fra le attività degli enti partecipanti, ottenuta grazie alla mobilità dei ricercatori e dalla messa in comune delle strutture; iii) diffusione dell'eccellenza attraverso la trasmissione delle conoscenze e la formazione dei ricercatori. Gli scopi principali di ACCENT sono infatti la promozione di una strategia europea comune per la ricerca sui cambiamenti della

Più recentemente sono state attivate le azioni ES0602 “Towards a European Network on Chemical Weather Forecasting and Information Systems (ENCWF)” (<http://www.chemicalweather.eu/>, 2007-2011) e ES0603 “Assessment of Production, Release, Distribution and Health Impact of Allergenic Pollen in Europe (EUPOL)” (<http://www.unifi.it/COSTEupol/index.html>, 2007-2011). L’azione COST ES0602 ha lo scopo di creare una rete dei sistemi di previsione della qualità dell’aria operativi in Europa (Figura 1), armonizzarne le metodologie modellistiche, facilitare lo scambio di dati e le attività di verifica e confronto, sperimentare metodologie di *ensemble forecast*. L’azione ES0603 è un progetto interdisciplinare nel quale si vogliono mettere in comunicazione le metodologie della modellistica di qualità dell’aria con le conoscenze di tipo allergologico, con il fine di costruire strumenti di valutazione e previsione dell’impatto sulla salute dei rilasci di pollini.

Figura 2 – Estratto del programma di lavoro del VII Programma Quadro

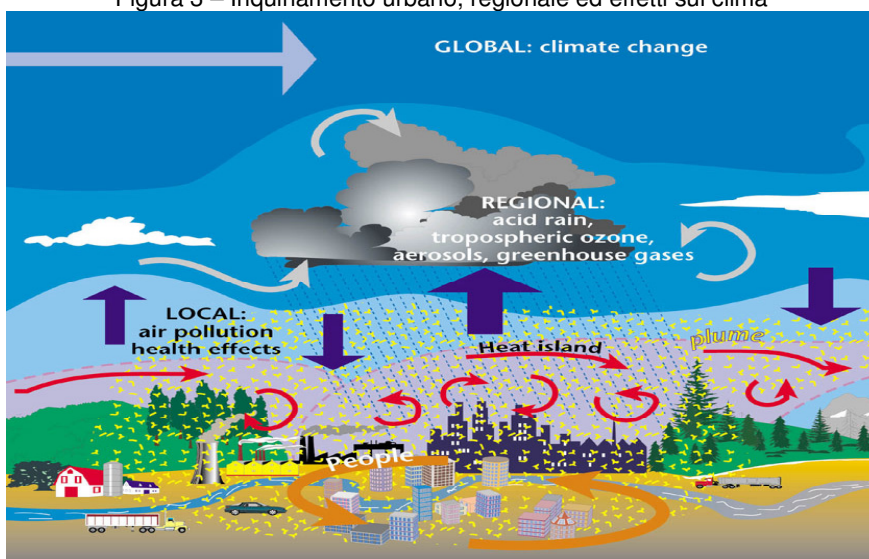
Activity 6.1 Climate Change, pollution and risks -----
Sub-Activity 6.1.1 Pressures on environment and climate -----
<i>Area 6.1.1.1 The Earth System and Climate: Functioning and abrupt changes</i> -----
<i>Area 6.1.1.2 Emissions and pressures: Natural and anthropogenic</i> -----
<i>Area 6.1.1.3 The Global Carbon Cycle - greenhouse gas budgets</i> -----
<i>Area 6.1.1.4 Future climate</i> -----
<i>Area 6.1.1.5 Climate change natural and socio-economic impacts</i> -----
<i>Area 6.1.1.6 Response strategies: adaptation, mitigation and policies</i> -----
Sub-Activity 6.1.2 Environment and health -----
<i>Area 6.1.2.1 Health impacts of climate change</i> -----
<i>Area 6.1.2.2 Health effects of environmental stressors other than climate change</i> -----
<i>Area 6.1.2.3 Methods and decision support tools for environmental health risk analysis and policy development</i> -----
Sub-Activity 6.1.3 Natural Hazards -----
<i>Area 6.1.3.1 Hazard assessment, triggering factors and forecasting</i> -----
<i>Area 6.1.3.2 Vulnerability assessment and societal impacts</i> -----
<i>Area 6.1.3.3 Risk assessment and management</i> -----
<i>Area 6.1.3.4 Multi-risk evaluation and mitigation strategies</i> -----

Indice dei temi trattati dalle diverse aree intervento dell’Attività 6.1 “Cambiamento Climatico, inquinamento e rischi”, del Tema 6 “Ambiente (incluso il cambiamento climatico)”, del Programma cooperazione.

IL SETTIMO PROGRAMMA QUADRO

Il Programma Quadro di Ricerca e Sviluppo Tecnologico (RST) è lo strumento principale di finanziamento alla ricerca europea attraverso il quale la Commissione Europea si propone di raggiungere diversi obiettivi, come rafforzare le basi scientifiche e tecnologiche dell’industria, favorire la competitività internazionale e promuovere le azioni di ricerca nell’Unione Europea. All’interno del VII PQ, che avrà una durata di sette anni (2007-2013), fra i temi più direttamente connessi alla qualità dell’aria troviamo l’attività 6.1 “Cambiamento climatico, inquinamento e rischi”, le cui aree di ricerca sono riportate in Figura 2.

Figura 3 – Inquinamento urbano, regionale ed effetti sul clima

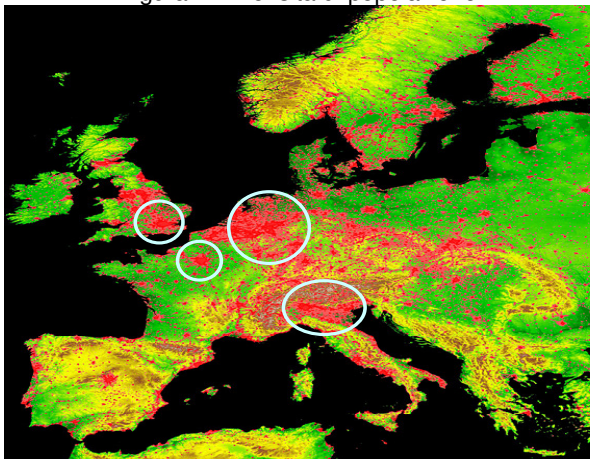


Progetto MEGAPOLI: schema riassuntivo dei principali processi fisico/chimici che connettono l’inquinamento urbano alla qualità dell’aria su scala regionale, globale ed al clima.

La lettura degli argomenti delle diverse aree, permette di individuare una caratteristica comune di indirizzo nella richiesta di un approccio integrato che tenda a collegare inquinamento, clima ed effetti sulla salute, mettendo in comunicazione aree di ricerca che hanno visto fino ad oggi sviluppi separati.

Un esempio pratico di questo approccio è fornito dalla chiamata pubblicata nel 2007 sul tema *"Megacities and regional hot-spots air quality and climate"* incluso nell'Area 6.1.1.2 (Figura 2) che richiedeva di analizzare gli effetti delle emissioni di inquinanti prodotti dalle megalopoli e dalle grandi aree urbanizzate, in Europa e nel resto del mondo, sulla qualità dell'aria locale, ma anche sull'inquinamento a scala continentale, globale e sul clima, tenendo in considerazione anche i possibili effetti di feedback fra cambiamenti climatici e qualità dell'aria. Si richiedeva inoltre di valutare possibili opzioni di mitigazione degli impatti e di fornire supporto alla *"Thematic Strategy on Air Pollution and Air Quality regulation"* della CE. L'insieme dei fenomeni atmosferici citati sono efficacemente riassunti in Figura 3.

Figura 4 – Densità di popolazione

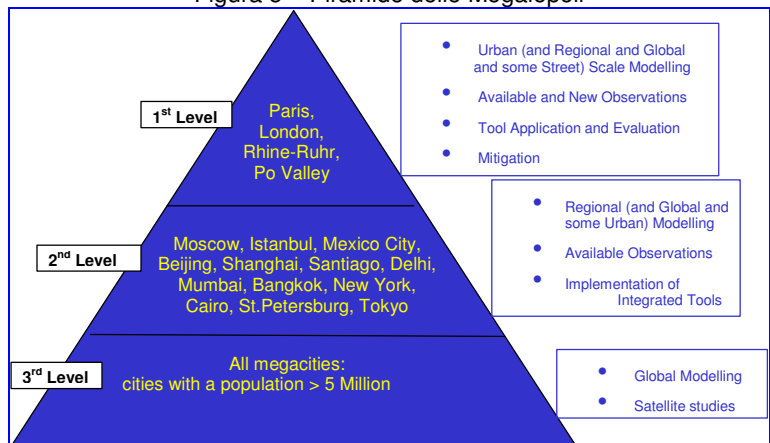


Progetto MEGAPOLI: Aree di indagine all'interno della UE.

Su questo tema sono stati proposti e finanziati due progetti, denominati MEGAPOLI (Megacities: Emissions, urban, regional and Global Atmospheric POLLution and climate effects, and Integrated tools for assessment and mitigation, <http://megapoli.dmi.dk/>) e CITYZEN (megaCITY - Zoom for the ENvironment, <https://wiki.met.no/cityzen/start>), che hanno iniziato le loro attività durante l'autunno 2008. MEGAPOLI vede la partecipazione, quali partner italiani, di ARIANET S.r.l., del ICTP di Trieste e del JRC di Ispra (VA), mentre CITYZEN ha fra i suoi partner il CNR/ISAC di Bologna. Entrambi i progetti includono fra le aree di studio la Pianura Padana e l'area compresa fra il bacino della Ruhr ed il BeNeLux. Queste zone, pur non corrispondendo alla definizione più stretta di Megalopoli (città con più di 5 milioni di abitanti), costituiscono delle vaste aree ad elevata urbanizzazione che concentrano emissioni di inquinanti e coincidono con le aree di maggior criticità

per il rispetto dei limiti di qualità dell'aria sul territorio dell' UE. In Figura 4 è illustrata la densità di popolazione nell'area europea e sono indicate le aree di indagine scelte dal progetto MEGAPOLI all'interno della UE, mentre in Figura 5 sono illustrate tutte le megalopoli considerate nel progetto e sono indicate le attività previste sulle loro aree. In particolare, il programma di lavoro del progetto MEGAPOLI include alcuni obiettivi che intersecano attività e interessi delle ARPA del bacino padano e delle altre regioni che includono aree di grande urbanizzazione. Il progetto prevede ad esempio la costruzione di un inventario delle emissioni a scala europea ad elevata risoluzione spaziale (6x6 km) per l'anno di riferimento 2005 ed a risoluzione maggiore per le aree di indagine. Questa attività, coordinata dal TNO, dovrà tener conto degli inventari già disponibili nelle regioni di interesse e potrà dare origine a scambi di informazioni e dati con le Agenzie e le autorità locali disponibili, prospettiva di particolare interesse per le Regioni di confine. Saranno quindi elaborati scenari emissivi e climatici al 2020, 2030 e 2050, che permetteranno di effettuare simulazioni sia sulle aree di studio che a scala europea e globale. Oltre a ciò saranno sviluppati strumenti di valutazione integrata per la previsione dell'inquinamento atmosferico all'interno delle megalopoli e nelle aree influenzate dalle loro emissioni di inquinanti. I progetti citati presentano quindi importanti aree di interazione sia con le attività di valutazione periodica della qualità dell'aria che con le analisi di scenario che si rendono necessarie per la definizione e la verifica delle misure di risanamento delle aree di superamento dei limiti imposti dalle normative sulla qualità dell'aria.

Figura 5 – Piramide delle Megalopoli



Megalopoli considerate ed attività in programma nel progetto MEGAPOLI.

Sul tema dell'integrazione fra la modellistica meteorologica e dell'inquinamento atmosferico, nella seconda metà del 2009 è previsto l'inizio del progetto MACC (Monitoring Atmospheric Composition and Climate), che costituisce la prosecuzione del progetto GEMS e dovrebbe portare all'effettiva integrazione della modellistica di chimica dell'atmosfera nel sistema modellistico di ECMWF, ed alla distribuzione dei campi di concentrazione delle specie chimiche considerate in modalità analoga a quella dei prodotti meteorologici. La disponibilità di questo tipo di informazioni faciliterà lo sviluppo di sistemi per la previsione della qualità dell'aria a scala locale rendendo disponibili le informazioni necessarie per la definizione delle condizioni al contorno.

Fra i progetti in fase iniziale all'interno del 7PQ, vale la pena di citare il nuovo progetto ESCAPE (European Study of Cohorts for Air Pollution Effects, <http://www.escapeproject.eu/>), al quale partecipa l'Agenzia di Sanità Pubblica del Lazio. Il progetto è dedicato allo studio degli effetti sulla salute dell'esposizione a lungo termine all'inquinamento atmosferico in Europa, con principale attenzione agli ossidi di azoto, al particolato fine/ultrafine ed alla sua composizione. I risultati di questo genere di studi potranno essere utilizzati per implementare moduli di esposizione a valle dei modelli per l'inquinamento atmosferico e consentire la valutazione dello stato di qualità dell'aria e delle analisi di scenario anche a livello di impatto sulla salute. Sulla tematica dell'integrazione fra gli strumenti modellistici di valutazione della qualità dell'aria ed i metodi di stima dell'impatto sulla salute, è importante ricordare che sono attualmente in esame le proposte presentate ad una interessante chiamata scaduta il 08/01/2009 sul tema "*Transport related air pollution and health impacts*" incluso nell'Area 6.1.2.2 "*Health effects of environmental stressors other than climate change*" (Figura 2), che prevede lo sviluppo e la connessione degli strumenti modellistici necessari alla valutazione dell'esposizione della popolazione e degli effetti sulla salute dovuti alle emissioni di inquinanti dai sistemi di trasporto stradale, portuale ed aeroportuale.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi delle attività di ricerca e sviluppo supportate dalla CE permettono di individuare alcuni indirizzi di sviluppo della modellistica finalizzata al supporto della gestione della qualità dell'aria. L'integrazione fra le metodologie di analisi dell'inquinamento atmosferico, del cambiamento climatico e degli effetti sulla salute dei differenti *stressori* ambientali si configura come l'indirizzo principale. In questo quadro, viene supportato il consolidamento dell'integrazione di osservazioni, remote sensing da satellite e modellistica per la valutazione della qualità dell'aria. Si può prevedere l'estensione e la generalizzazione dell'utilizzo dei sistemi di previsione della qualità dell'aria, sia a scala nazionale che a scala urbana o per il controllo di sorgenti industriali rilevanti. Nei progetti di ricerca di nuova generazione viene promossa la valutazione integrata dell'impatto sulla salute di agenti sia meteorologici che chimici. Si richiede spesso lo sviluppo di strumenti informatici integrati che consentano, perlomeno in forma di prototipo, il trasferimento delle metodologie sviluppate alle autorità di controllo della qualità dell'aria. Le conoscenze prodotte devono inoltre costituire un supporto allo sviluppo ed all'aggiornamento delle normative europee. In questo contesto è importante favorire la partecipazione a progetti innovativi di gruppi di lavoro misti (enti di ricerca, agenzie di protezione dell'ambiente e società di servizi) che consentano il massimo sfruttamento dei risultati prodotti e delle esperienze maturate.

Bibliografia

- Baklanov, A., Hänninen, O., Slørdal, L. H., Kukkonen, J., Bjergene, N., Fay, B., Finardi, S., Hoe, S. C., Jantunen, M., Karppinen, A., Rasmussen, A., Skoufoudis, A., Sokhi, R. S., Sørensen, J. H., 2007, Integrated systems for forecasting urban meteorology, air pollution and population exposure. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 855–874, 2007
- Bande, S., Clemente, M., De Maria, R., Muraro, M., Finardi, S., Giorcelli, M., and Morselli, M.G., 2007: Multiscale Modelling System For Pollutant Concentration Predictions In Urban Areas. Workshop Inquinamento Atmosferico In Ambiente Urbano, Torino–Milano–Lyon–Londra, GEAM, Torino, 7 novembre 2007,
- Finardi, S., De Maria, R., D'Allura, A., Cascone, C., Calori, G., and Lollobrigida, F., 2008, A Deterministic Air Quality Forecasting System For Torino Urban Area, Italy. *Environmental Modelling and Software*, 23, 344-355
- Finardi, S., R., D'Allura, A., Maddalena, M., Silibello, C., Radice P., Morelli, M., Bolignano, A., and Sozzi, R., 2009, An Air Quality Forecast System for Rome Metropolitan Area: First Evaluation and Identification of Critical Issues., presented at the 7th International Conference on Air Quality - Science and Application (Air Quality 2009), Istanbul, 24-27 March 2009
- Hänninen, O.O., Kruize, H., Lebre, E., Jantunen, M., 2003. EXPOLIS Simulation Model: PM2.5 Application and Comparison with Measurements in Helsinki. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 13: 74-85.
- Hänninen, O.O., Zauli-Sajani, S., De Maria, R., Lauriola, P., Jantunen, M., 2008. Integrated Ambient and Microenvironment Model for Estimation of PM10 Exposures of Children in Annual and Episode Settings. *Environmental Modeling and Assessment*, 1420-2026.
- Mircea, M., D'Isidoro, M., Maurizi, A., Vitali, L., Monforti, F., Zanini, G., and Tampieri, F., 2008: A comprehensive performance evaluation of the air quality model bolchem to reproduce the ozone concentrations over Italy. *Atmospheric Environment*, 42, 6, 2008, 1169-1185.