

Inquinamento atmosferico: il Progetto Regionale sulla Qualità dell’Aria in Campania e il contributo della Modellistica Numerica.

Presentata dal Socio Guido Barone

(seduta del 13 aprile 2012)

guido.barone@unina.it

Abstract

Recently, a project concerning air pollution modelling activities, approved by the Campania Regional Board was accomplished (2011). The project, presented on march 2006, was formally accepted on 30 July 2009 and started on November 20th, 2009 [1]. It has been developed by a joint enterprise between the Department of Chemistry and the ITM Company. The project, based on previous works [2-5], uses a parallel processor system (16-32 units), on which is implemented a “complete” air quality modelling system. This will reproduce historic pollution episodes and will built realistic scenarios for the Campania Region. The global circulation data and iterative nesting procedures are used for defining the meteo contour conditions at the Region boundaries. A three-dimensional grid (15.000 cells, each formed by 9 x 9 squared km of base and 6-7 layers of increasing altitude, (from 20 to 1500 m) is over imposed on a schematic map of the territory.

The realistic meteorological data were produced daily from “Meteo Fields GFS” from U.S. N-CAR and adapted at the Orography and territorial data from NCEP and compared also with the regional Meteo Service: finally they were managed by means of the WRF Meteo Processor using the corresponding certified program giving wind fields description at several altitudes. The emissions have been obtained by the EMEP – ISPRA sources and both the resulting numerical files were introduced into the Air Quality CHIMERE dispersion-reaction program for producing the local pollutant concentrations at a defined altitude. Nesting procedures were used to obtain more detailed description (3 x 3 square km) for interesting sites. The simulations were carried out for periods of 5 - 7 days in different climate conditions along the years 2010 – 2011 and compared with the data from the Regional Network of automatic station.

Key Words: Air Quality, Chemical Pollutants, Particulate Matter.

Introduzione: Gli Inquinanti Atmosferici e il loro controllo.

L’allarme provocato dal crescente inquinamento dell’aria principalmente urbana, dovuto alle attività industriale, al riscaldamento e al traffico, ha spinto in tutti i paesi a formulare delle legislazioni di controllo che obblighino le Autorità locali a monitorare periodicamente la qualità dell’aria e a prendere provvedimenti per limitare le emissioni nocive.

Le raccomandazioni dell’Unione Europea, recepite dalla legislazione italiana riguardano le 5 sostanze chimiche più pericolose per la salute umana nonché le polveri sottili e il rumore; esse sono raccolte nella Tabella 1:

Tabella 1 - Standard italiani di riferimento per la qualità dell'aria

Inquinante	Media su	Valore	Norm. Riferim.
PM ₁₀ μg / m ³	1 Anno 24 ore	40 50	DM 60/2002
SO ₂ μg / m ³	1 ora 24 ore	350 125	DM 60/2002
NO ₂ μg / m ³	1 Anno 1 ora	50 250	DM 60/2002
Benzene μg / m ³	1 Anno	10 → 5 (al 2010)	DM 60/2002
CO mg / m ³	8 ore	10	DM 60/2002
O ₃ μg / m ³	1 ora	180 (attenzione) 240 (allarme)	Dir. 92/72/CEE
Rumore dB	1 ora	70 (diurno) 70 (notturno)	DPCM 14/11/97

Le fonti dei principali inquinanti atmosferici:

SO₂: dalla combustione di combustibili fossili di cattiva qualità (carbone, nafta), contenuti zolfo, o da rifiuti.

NO₂: da qualsiasi processo di combustione condotto con aria in eccesso, specie ad alta temperatura. Il processo semplificato è schematizzato qui appresso:

- $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$; $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$ con resa del 5-10% in NO₂.
- La miscela di NO, NO₂ e altri ossidi di azoto è indicata come NO_x e può avere origini naturali (fulmini, emissioni vulcaniche).

O₃: è un prodotto secondario; si forma da NO₂ per azione dei raggi U.V. solari:

- $NO_2 + U.V. \rightarrow NO + O$; $O + O_2 \rightarrow O_3$ (favorita da reazioni parassite promosse da specifici precursori).
- I due processi precedenti, in presenza di umidità elevata, provocano il fenomeno dello smog fotochimico.
- Può essere prodotto da fulmini, da grandi incendi spontanei, persino intrusioni dalla stratosfera.

Benzene come altri **VOC (Volatile Organic Compounds)** proviene da residui incombusti e dalla evaporazione di benzine e solventi organici.

Particolato (oggi distinto in PM₁₀ e PM_{2.5} a seconda delle dimensioni) deriva da processi di combustione, da lavori stradali e minerari, da emissioni di ceneri vulcaniche, da tempeste di sabbia, dall'erosione del suolo, da aerosol marini contenenti sali, da emissioni vegetali (pollini, spore).

Altri Inquinanti emessi da fonti naturali:

NH₃, SH₂, CH₄, altri **VOC:** dalla decomposizione di sostanze organiche vegetali e da microrganismi.

HCl e SO₂ da emissioni vulcaniche.

I metodi analitici di misura

Si ricorre a tecnologie basate sul campionamento ed analisi in laboratorio o sulla raccolta automatica dei campioni. Consentono di registrare i dati di concentrazione, anche in continuo, per poter fare analisi statistiche. Sono particolarmente adatti per il monitoraggio di siti soggetti a problemi di inquinamento spinto e per il monitoraggio indoor in edifici [1]. Di essi fanno parte anche le strumentazioni che consentono il monitoraggio mediante Remote sensing (Lidar, Dial, DOAS).

Non consentono però un'analisi *a priori* della qualità dell'aria.

Le Reti territoriali di monitoraggio

Lo studio dei problemi di inquinamento atmosferico è notevolmente complicato, in particolare perché l'aria è una miscela complessa di gas, liquidi e solidi, la cui composizione non è sempre facilmente determinabile perché avvengono un gran numero di reazioni che ne modificano la composizione. I problemi:

- Estrema variabilità spazio-temporale dei parametri atmosferici. La meteorologia non è prevedibile al di là di 72 ore: non vi sono regole meteo, statistiche o periodiche, cui rifarsi al di là di generici suggerimenti stagionali.
- Di conseguenza misure puntuali e limitate a poche ore sono poco utili, se non inquadrare in un più ampio contesto di conoscenze sulla Qualità dell'Aria regionale e sulla sua evoluzione temporale.
- Da ciò la necessità di una rete di stazioni fisse di misura multi-parametriche e automatiche *on line* a scala regionale e a gestione centralizzata (in Campania è gestita dalla ARPAC).
- Provvedimenti di limitazione del traffico (ticket di accesso alle ztl, auto non ecologiche), variazione nel tessuto urbano, nuovi quartieri, possono rendere obsoleta la distribuzione sul territorio delle stazioni fisse.

Le metodiche analitiche in definitiva si prestano solo alla raccolta di dati localizzati nel tempo e possono essere utilizzate come base per formulare politiche di *governance* del territorio. Esse non consentono però di arrivare né ad una reale comprensione dei fenomeni in corso, né a prevedere gli eventi di inquinamento da nuovi insediamenti o da variazioni nel quadro energetico, dei trasporti o dovuti a nuove normative.

Per tali motivi si raccomanda di ricorrere anche all'approccio modellistico, basato su metodi di calcolo numerico avanzati. Questi consentono di studiare le caratteristiche degli eventi di inquinamento di una determinata area allo scopo di comprenderne le caratteristiche e di poter prevedere, disponendo delle opportune informazioni, eventuali situazioni di pericolo. Inoltre, come è capitato nel corso del 2011 la rete di Centraline Regionali fisse gestite dall'ARPAC è in gran parte collassata, per mancanza di manutenzione, e lo sviluppo di metodi modellistica ci ha consentito di continuare ad avere la comprensione dei fenomeni di inquinamento.

“Il Sistema informatico di supporto per la valutazione dell'impatto preventivo sulla qualità dell'aria regionale da parte di nuovi insediamenti produttivi o di servizio” (approvato nell'ambito del P.O.R. 2000/2006).

Nel marzo 2006 il Progetto ITM474529 è stato presentato dal Dipartimento di Chimica e dall'Azienda ITM (Informatica Telematica Meridionale) alla Regione Campania, nell'ambito del P.O.R 2000/2006 - Misura 3.17 per la concessione degli aiuti alle PMI [2].

Il Progetto è stato approvato definitivamente il 30 luglio del 2009 (!). Partito il 20.11.2009, previa costituzione di una ATS, si è concluso il 18.08.2011.

Con il Coordinamento Scientifico del Prof. G.Barone, sono stati coinvolti i Dr. I.Duro, D.Mastrangelo e L.Varriale (borsisti del Dipartimento di Chimica) e il personale e i consulenti ITM;

preziosi i consigli del Prof. A.Riccio (Univ Parthenope). Responsabile del Progetto per il Dip. di Chimica il Direttore Prof. Claudio De Rosa.

L'idea è stata quella di costruire una griglia tridimensionale, limitata per esempio al territorio regionale, in ciascun nodo della quale analizzare i processi chimico fisici e fisici che vi avvengono. Questa griglia richiede la definizione delle condizioni meteo-diffusive al contorno, processo che si ottiene per successivi nesting partendo dalle condizioni di un'atmosfera sovrastante un territorio più ampio: ad esempio l'area europea e quindi quella italiana.

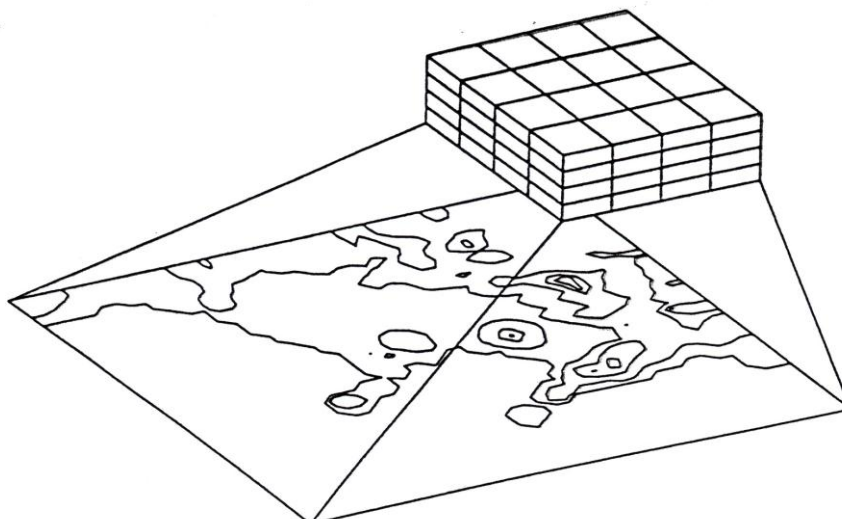


Figura 1 – Esempio di griglia tridimensionale applicata alla regione Campania.

Occorre calcolare nel tempo, in ciascun nodo della griglia (circa .15.000) le seguenti equazioni di continuità relative alle concentrazioni di circa 50 inquinanti, che danno vita a oltre 150 reazioni chimiche e fotochimiche, nonché ad altri processi che definiscono il bilancio istantaneo del sistema):

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -\nabla u C_i + \nabla (K \cdot \nabla C_i) + C_i(C_1, C_2, C_3, \dots, C_n, T, p) + S_i(x, y, t) + Q_i(x, y, t)$$

I primi due termini a destra si riferiscono al trasporto diffusivo (avvezione) e turbolento, gli altri tre rispettivamente alla reattività, alla emissione e alla deposizione secca dell'inquinante, x e y sono le coordinate del punto di emissione e ricaduta rispettivamente. K è un fattore che definisce la turbolenza. Dato il gran numero dei parametri e le loro variazioni nel tempo e quindi la enorme massa di dati da trattare, è indispensabile ricorrere alla soluzione numerica dei corrispondenti **sistemi di equazioni a differenze finite**, mediante metodi di calcolo avanzato, che forniscono i valori medi delle concentrazioni **in ogni cella del dominio**. Sono state utilizzate macchine ad architettura parallela, dotate di un insieme di 16, 32 o anche più processori, con programmi che dedichino una parte di essi al coordinamento e alla distribuzione del lavoro.

$$\begin{aligned} \frac{\delta c_i}{\delta t} = & - \left(\frac{\delta (u c_i)}{\delta x} + \frac{\delta (v c_i)}{\delta y} + \frac{\delta (w c_i)}{\delta z} \right) \\ & + \frac{\delta}{\delta x} \left(K_H \frac{\delta c_i}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(K_H \frac{\delta c_i}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(K_V \frac{\delta c_i}{\delta z} \right) \\ & + \quad R_i \quad + \quad S_i \quad + \quad Q_i \end{aligned}$$

L'architettura della macchina deve essere disposta in modo da utilizzare specifici programmi e linguaggi e quindi occorre che essa sia dedicata prevalentemente all'uso di questi tipi di analisi.

La catena modellistica: WRF-EMEP-CHIMERE:

Alla partenza del Progetto nel 2009 i modelli Emissivi, ma anche i programmi di adattamento della Meteorologia e della Diffusione-Reattività, hanno dovuto essere reimpostati rispetto a precedenti esperienze condotte presso i Dipartimenti di Chimica e di Applicazioni Matematiche della Università Federico II e il Dipartimento di Scienze Applicate della Università Parthenope [3-6].

Inoltre è stato necessario implementare i nuovi programmi sulle macchine parallele acquistate dalla azienda ITM, istruendone il personale e i borsisti del Dip. Chimica. Si è utilizzato il programma WRF per la meteorologia, più flessibile del precedente MM5. Il Processore Meteo è stato alimentato, per ogni giorno, con i dati forniti dall'Agenzia USA N-CAR e/o dal Centro Europeo ECMWF di Reading, a seconda se si effettuavano simulazioni attuali o ricostruzioni di scenari pregressi. In questo modo sono stati costruiti i campi di venti a diverse quote, riferite ai profili orografici ottenuti da N-CEP.

I Campi emissivi:

Si è utilizzata la nuova Banca Dati per le emissioni messa a punto dal Consorzio EMEP, ottenuta tramite il Consorzio ISPRA (ex ANPA). Questa Banca Dati raccoglieva l'andamento documentato delle emissioni italiane per Regione, per inquinante e per anno, dal 1990 al 2007. Un'altra Banca Dati riportava i dati disaggregati per provincia fino al 2005. In dettaglio sono riportati a parte i **principali inquinanti**, le **Categorie emissive** disaggregate, da cui sono tratti i file di dati, e le **Fonti statistiche** utilizzate. Per un controllo interno di congruità abbiamo anche estrapolato e pesato i dati mensili al 2010.

Dati e Fonti delle Banche Dati EMEP (coprono il 95-97% delle emissioni):

Inquinanti principali: SO₂, NO_x come NO₂, CO, NonMethanicVOC, NH₃, PM₁₀ e PM_{2.5}, Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn; inoltre i POP (Persistent Organic Product): PCB (PoliCloroBifenili), DiBenzoDiossine e analoghi, IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici), altri solventi clorurati.

Fonti statistiche: ISTAT, ENEA, TERNA, Min. Economia (Bilancio energetico, Bollettini petrolio), Min. Trasporti, Min. Politiche Agricole, Forestali, Alimentari, ISPRA (emissioni da rifiuti), SiISTAN (Natural Environmental Emissions).

Categorie: **1A:** Consumi energetici di industrie energetiche e manifatturiere. **1B:** Trasporti (numero veicoli, aerei, attività marittime e ferroviarie). **1C:** Consumi energetici civili. **1D:** Perdite trasporto carburanti. **2:** Produzione Processi industriali. **3:** Uso di solventi etc. **4:** Agricoltura (superficie, produzione, no. Animali, consumo fertilizzanti). **5:** Uso del suolo e cambiamenti (Sup. foreste, terreno ammontare biomassa, combustione biomassa, crescita biomassa). **6:** ammontare rifiuti.

Il modello diffusivo-reattivo CHIMERE:

I file contenenti dati meteo e quelli emissivi sono stati utilizzati dal programma CHIMERE (certificato internazionalmente) per produrre gli scenari di Qualità dell'Aria relativi alla regione Campania a seguito di una procedura di "nesting" successivi a partire dagli scenari europei e italiani. In effetti è stata utilizzata una base ampia di dati emissivi e di inquinanti secondari (sempre da EMEP), per tener conto della rete di reazioni chimiche e fotochimiche coinvolte.

Lo schema del sistema modellistica è presentato di seguito.

A parte è riportata la distribuzione di popolazione del particolato con le definizioni implicite delle principali dimensioni considerate nei procedimenti analitici e modellistica.

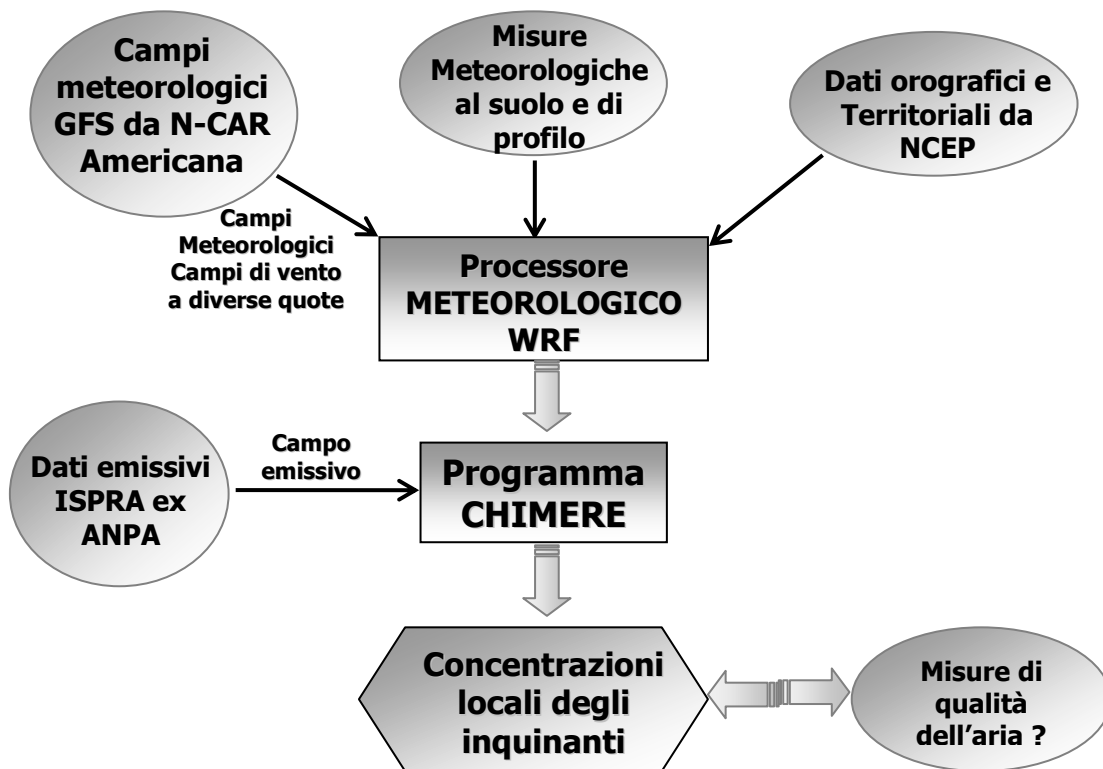


Figura 2 - Schema del Sistema modellistica

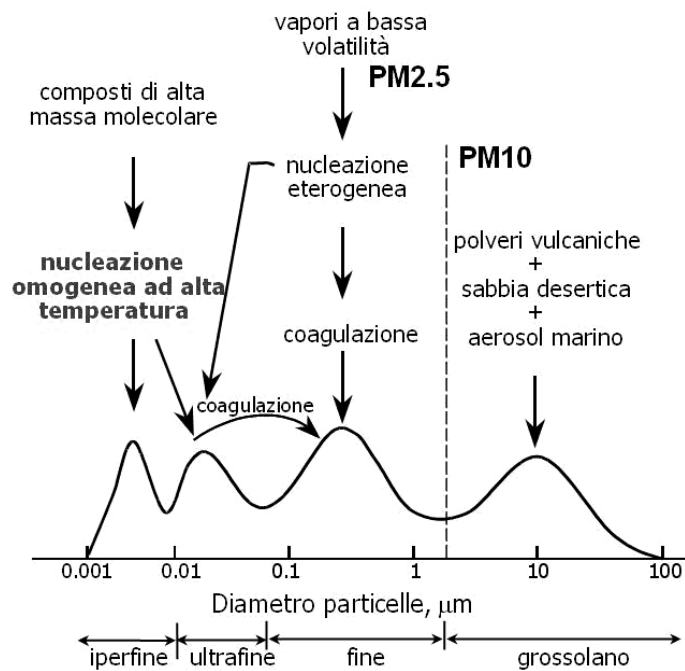


Figura 3 – Schema di formazione del particolato

I risultati del Progetto Operativo Regionale – Misura 3.17

- Materiale prodotto

Sono state prodotte, per analisi e testing, mappe relative a **16 scenari** con valori di inquinamento non alterati. Ogni scenario ha una durata media di 5-7 giorni di simulazione per un totale di **circa 100 giorni** simulati pari a oltre **2400 ore**. A causa delle condizioni iniziali da stabilizzare sono state scartate dalle considerazioni finali le prime 36-72 ore di ogni procedimento.

Per ogni giorno sono state prodotte **mappe a cadenza oraria** (24 mappe per giorno) relative a **5 inquinanti** selezionati (CO, NO, NO₂, O₃, PM₁₀) riferite ad una quota convenzionale di 950 mbar (corrispondente ad alcune decine di metri dal suolo reale):

Sono state effettuate **simulazioni** che prevedono alterazioni degli scenari realistici: assumendo ad esempio un fattore doppio di emissioni regionali per tutti gli inquinanti volatili e per il particolato.

Queste hanno prodotto, come era da aspettarsi, variazioni di dispersione e concentrazione **non proporzionali** per gli inquinanti gassosi a causa della rete di reazioni chimiche e fotochimiche che li legano. Invece le concentrazioni delle polveri sottili banalmente raddoppiano.

Dalle analisi effettuate, si può quindi ritenere che i dati forniti dagli Scenari sviluppati con le Metodologie e i Programmi presentati in questo Progetto, siano del tutto coerenti con le aspettative e in accordo del tutto soddisfacente con i dati sperimentali forniti dalle Centraline della Rete Regionale (fin quando funzionanti) e/o da campagne sperimentali dedicate al Progetto stesso.

- Campagne sperimentali di supporto:

Misure di PM₁₀: 9 campagne diurne con strumentazione DUST SCAN su furgone o auto o postazione fissa da dicembre 2009 a maggio 2011 (3-6 giorni consecutivi).

Misure di CO, NO₂, O₃: 9 campagne diurne con strumentazione ETIL BUS su furgone o auto o postazione fissa da gennaio 2011 a luglio 2011 (4-12 giorni consecutivi).

Per tutto il periodo delle campagne sperimentali e delle simulazioni sono stati registrati tutti i dati disponibili mensilmente dalla Rete Regionale ARPAC, fin quando sono state funzionanti.

Tenendo in considerazione tutte le simulazioni dei vari scenari effettuate e le versioni con i valori di inquinamento alterati, è stato ottenuto come risultato un insieme di circa **12000 mappe grafiche, qui non riportate.**

Conclusioni

Gli Scenari forniscono un quadro delle emissioni molto più dettagliato di quello fornito dalla Rete Regionale di Centraline fisse, non solo spaziale, ma anche nella sua evoluzione oraria nel corso delle singole giornate. Gli scenari infine tengono ben conto delle condizioni meteorologiche per cui i massimi più accentuati vengono riscontrati nei periodi secchi o poco ventosi, mentre tendono ad abbassarsi, nei giorni di pioggia e nelle ore più piovose.

Gli Scenari per altro mostrano l'esistenza di dati di inquinamento spesso più accentuati di quelli misurati nelle città e che si presentano in particolare nelle aree della Regione dove non vi sono strumentazioni per il monitoraggio continuo dell'inquinamento.

Eventi del tutto episodici (fuochi pirotecnici di Capodanno, estesi incendi di immondizia) esulano ovviamente dalla possibilità di razionalizzazione e di previsione dei metodi proposti.

Ne discendono quindi le seguenti conseguenze:

- Possibili utilizzazioni:

Considerando la possibilità di prolungati collapsi della Rete Regionale ARPAC, le Metodologie presentate in questo progetto, possono esercitare un valido ruolo di supplenza, purchè siano gestiti da personale a conoscenza del know-how necessario. Il sistema è inoltre facilmente configurabile per simulare scenari di inquinamento su qualsiasi altra zona geografica.

Un'altra capacità di analisi è rappresentata dalla possibilità di calcolare l'inquinamento da polveri sottili e da sostanze gassose, previste dalle Normative di Legge, anche in aree non coperte dalla

Rete Regionale di Centraline fisse, oltre alla possibilità di arricchirne le corrispondenti Banche dati a disposizione delle Autorità locali o di potenziali utenti.

E' possibile in principio non limitarsi a fare delle previsioni sull'andamento degli inquinanti, anche locali, come è possibile già oggi, ma utilizzare gli strumenti anche per effettuare delle previsioni realistiche a breve termine (oggi/domani/dopodomani) sullo stato dell'inquinamento atmosferico e della Qualità dell'aria.

- Alcuni suggerimenti:

Attuare l'istituzione della Città Metropolitana o di una Autorità equivalente per la disciplina coordinata degli interventi sul traffico a livello provinciale o interprovinciale.

Risistemare la disposizione delle Centraline della Rete ARPAC (almeno a Napoli – tenendo conto delle nuove e previste ztl e dei risultati del POR: ad es. piazza Sannazaro, uscita tunnel Fuorigrotta-Mergellina, etc.).

Potenziare quanto prima la rete di trasporto su ferro a livello regionale: completare l'anello della Metropolitana di Napoli e le nuove linee urbane; completare la linea Napoli (Piscinola)-Aversa fino a S.Maria Capua Vetere; rafforzare la Napoli-Caserta, la Napoli-Salerno (con le ramificazioni a Battipaglia e Atripalda/Avellino), la Napoli-Benevento via Valle Caudina e via Aversa, la Napoli- - Villa Literno via Pozzuoli e via Aversa, la Circumvesuviana, la Cumana, la Circumflegrea e l'Alifana; prolungare gli orari serali di tutte le linee.

Infine ampliare il verde urbano a Napoli e altre città (viali, parchi, giardini).

Bibliografia

- [1] E. Chianese, A. Riccio, I. Duro, M. Trifuoggi, P. Iovino, S. Capasso, G. Barone – *“Measurements for indoor air quality assessment at Capodimonte Museum in Naples”* Inter. J. Environ. Res. 2012, 6(2), 509-518.
- [2] Sistema informatico, di supporto per la valutazione dell'impatto ambientale preventivo sulla qualità dell'aria regionale da parte di nuovi insediamenti produttivi o di servizio”. Programma Operativo Regionale (POR), Misura 3.17 ”ITM474925”.
- [3] A. Riccio, G. Barone, E. Chianese, G. Giunta – *“A Hierarchical Bayesian Approach to the Spatio-Temporal Modeling of Environmental Data”* Atmospheric Environment. 40 (2006) 554-566.
- [4] E. Chianese, G. Barone, A. Riccio, - *“Modelization of PM Dispersion and Formation in South Italy Atmosphere”* Secondo Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico PM2006, Firenze, Settembre 2006.
- [5] E. Chianese, G. Barone, R.M. Castaldo, A. Riccio, - *“Indoor Pollution PM2.5 and PM10 from Cigarette Smoking”* Chemistry & Industry (2009) 138-142.
- [6] G. Barone, I. Duro, D. Mastrangelo, R. Montella, A. Riccio, L. Varriale *“Air pollution modeling: a Project for the Campania Region Board”* Atti del XXXIX Congresso Nazionale di Chimica Fisica, 80, Stresa, settembre 2010.