

documento

■ Ivo Allegrini, Francesca Costabile, Maria Pia Ancora

I. Allegrini, F. Costabile, M.P. Ancora / Cnr, Istituto Inquinamento Atmosferico, Roma

INQUINAMENTO E MEGALOC

Quanto possiamo insegnare e quanto possiamo



L'inquinamento atmosferico è uno dei problemi nelle grandi megalopoli e influisce sullo sviluppo economico e sociale. Sono allo studio provvedimenti in grado di controllare il fenomeno sia per la riduzione delle emissioni all'interno dell'area urbana sia nell'area regionale.

Particolare importanza viene data all'inquinamento regionale in termini di inquinamento di fondo (naturale o trasportato), nonché di emissione produzione di specie in grado di accrescere i livelli di inquinamento e di esposizione della popolazione. Lo studio dell'inquinamento regionale costituisce uno degli strumenti conoscitivi più importanti per la gestione del fenomeno.

L'inquinamento dell'atmosfera è stato quasi sempre considerato come uno dei principali problemi dello sviluppo economico della società. Infatti tale sviluppo richiede massicce fonti di energia e domanda di mobilità che possono essere soddisfatte solo attraverso la combustione di fossili e quindi, direttamente o indirettamente, attraverso l'emissione in atmosfera di grandi quantità di inquinanti. Se a questo si aggiunge che molto spesso tale sviluppo avviene all'interno di spazi circoscritti (ad esempio i centri urbani), appare ovvio come i livelli di concentrazione della maggior parte degli inquinanti possono, in questi casi, raggiungere livelli molto elevati. Lo sviluppo urbano del pianeta Terra è stato uno dei più impressionanti processi del ventesimo secolo. Circa il 70% della popolazione di Nord America, Europa e America Latina vive ora nelle città e più di 300 di esse hanno ora una popolazione che supera il milione di abitanti. Definite come agglomerati urbani con popolazione di 10 milioni di abitanti o più nel 2000, le *megalopoli*, nuovo ecosistema dell'uomo, pur non essendo necessariamente le città più inquinate del mondo, soffrono tutti seri problemi di inquinamento atmosferico [1]. A titolo di esempio nella Figura 1 si riporta la concentrazione di polveri pm10 osservata in diverse grandi città asiatiche, che, evidentemente, soffrono di importanti problemi legati all'inquinamento atmosferico, considerando che le linee guida Who stabiliscono per il PM₁₀ una concentrazione media annuale di 20 µg/m³. Come si può vedere dalla Figura 1, gran parte delle città riportate addirittura si attestano su valori più elevati dei limiti stabiliti dalla Direttiva Europea 96/62, che stabilisce il limite in 40 µg/m³. Gli elevati livelli di inquinamento pongono problemi molto importanti per la tutela della salute pubblica che, almeno solo recentemente, le città del mondo occidentale (Italia compresa) hanno iniziato a risolvere. Dunque, l'esperienza maturata nelle nostre città può essere di grande

INQUINAMENTO MEGALOPOLI

o imparare

documento

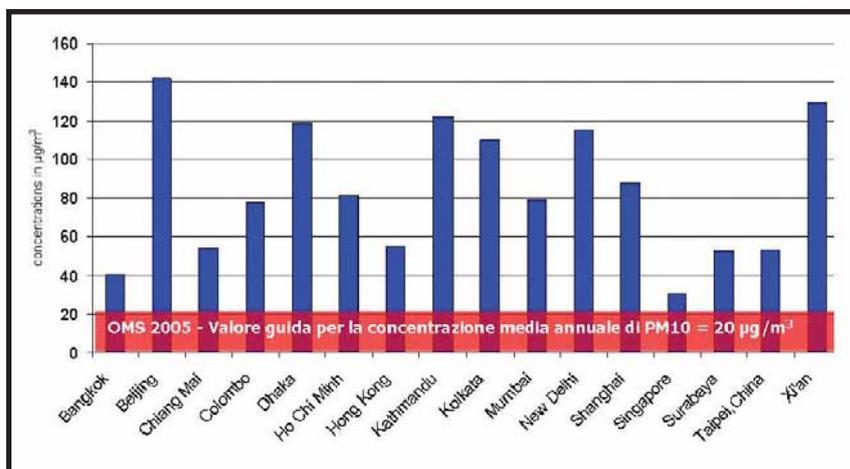


Figura 1
Concentrazioni medie
annuali di polveri pm10
in alcune megacities.

aiuto per i Paesi in via di sviluppo e per trasformare le megacity in luoghi atti a ospitare cittadini e attività produttive. Ma è proprio vero che abbiamo solo da insegnare? A parte il fatto che la lotta all'inquinamento atmosferico, almeno nel nostro Paese, è ben lungi dall'essere vinta, le megacity hanno sviluppato una sensibilità di valutazione e di studio del fenomeno che comunque non trova eguali nei Paesi occidentali a meno, naturalmente, delle dovute eccezioni (non italiane).

Inquinamento atmosferico

Una prima idea del livello di inquinamento nelle megalopoli si può avere osservando la Tabella che riporta alcuni dati circa le città più popolate del mondo in termi-

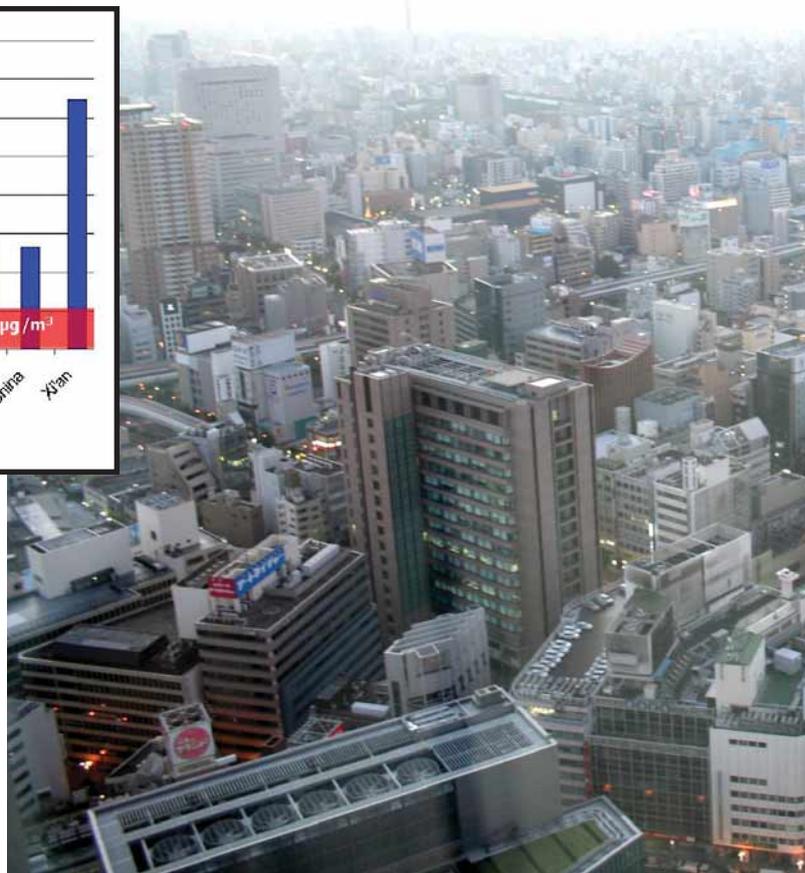


Tabella - Megalopoli del mondo e loro dati di qualità dell'aria.
Fonte: World Bank, 2001

Megacity	Popolazione (milioni)	Tsp (µg/m³)	SO ₂ (µg/m³)	NO ₂ (µg/m³)
		1995 ¹	1998	1998
Tokyo, Giappone	26,44	49	18	68
Città del Messico	18,13	279	74	130
Mumbai, India	18,07	240	33	39
San Paolo, Brasile	17,76	86	43	83
New York, Usa	16,64		26	79
Los Angeles, Usa	13,14		9	74
Calcutta, India	12,92	375	49	34
Shanghai, Cina	12,89	246	53	73
Delhi, India	11,70	415	24	41
Jakarta, Indonesia	11,02	271		
Osaka, Giappone	11,01	43	19	63
Pechino, Cina	10,84	377	90	122
Manila, Filippine	10,87	200	33	
Rio di Janeiro, Brasile	10,58	139	129	
Il Cairo, Egitto	10,55		69	
Who Standards		90	50	40

1 - I dati sono i più recenti disponibili per l'anno nel periodo 1990-1995. La maggior parte sono del 1995.

ni di inquinanti convenzionali (materiale particolato, biossido di zolfo e biossido di azoto). Dalla tabella traspare chiaramente come la qualità dell'aria aumenti con il livello di sviluppo economico. Infatti solo le megalopoli americane e giapponesi possono considerarsi mediamente inquinate. Oggi, si stima che le sette megalopoli più inquinate dal punto di vista atmosferico siano Città del Messico, Pechino, Il Cairo, Jakarta, Los Angeles, San Paolo e Mosca [2]. I problemi di inquinamento dell'aria nelle megalopoli differiscono estremamente tra loro e sono influenzati da numerosi fattori, quali topografia, demografia, meteorologia, livello e tasso di industrializzazione e sviluppo socio-economico; tuttavia, si ritiene [1] che il traffico veicolare ne sia una delle maggiori fonti se non la sorgente più importante. D'altronde, un attento esame della Figura 2, che mostra la situazione ambientale in una strada a elevato traffico a Karachi (Pakistan), non può che rafforzare questa ipotesi. A Pechino, per esempio, nel 2003 si è stimato che il traffico



contribuiva al 35% delle emissioni di NOx, 74% di CO, 8% di pm10 [3]. A Città del Messico si stima che il trasporto sia responsabile di quasi tutte le emissioni urbane di CO e di circa il 36% di pm10; inoltre, per quanto riguarda i precursori dell'ozono, è responsabile dell'81% delle emissioni di NOx e del 40% di Voc_s [2]. Il trasporto urbano è uno dei settori critici dell'attività economica di una megalopoli; tuttavia, è anche la maggior fonte di inquinamento dell'aria, nonché di problemi legati a congestione, incidenti, mancanza di sicurezza. La sfida rivolta alle megalopoli è, dunque, oggi quella di realizzare i benefici che il trasporto urbano può offrire, senza incorrere negli impatti negativi che risultano da quel circolo vizioso comune a tutte le megalopoli stesse e che viene rappresentato nella Figura 3. Attraverso attività di trasporto agevolato si permette la crescita economica; essa in cambio crea impatti sui trasporti, spesso evidenti in aumento di viaggi, motorizzazione, spostamenti attraverso modalità di viaggio più rapide,

nonché crescenti distanze percorse. Al di là del buon impatto economico, gli effetti negativi di tali impatti riguardano la salute e la contaminazione dell'aria. La soluzione del problema diventa ancora più urgente in condizioni di rapidissimo sviluppo urbano, quali quelle che caratterizzano le mega-città cinesi o indiane, per esempio. La gestione della qualità dell'aria richiede quindi interventi di riduzione delle emissioni

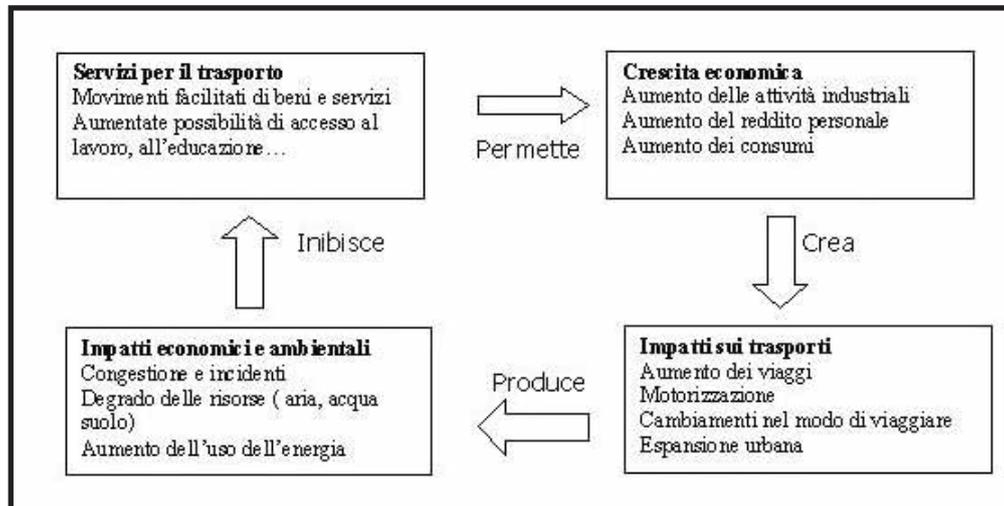
di trasporto che dovrebbe essere pianificato a livello politico in base a una comprensione scientifica di quali riduzioni di emissioni possano essere realmente efficaci in tempi stabiliti. È bene notare, infatti, che interventi mirati a un unico inquinante (ad esempio pm10, CO₂, benzene ecc.), possono in alcuni casi anche aumentare le emissioni di altri inquinanti, se gli interventi stessi non vengono opportunamente pianificati. Per esempio, un intervento efficace su ozono e particolato, considerati i due maggiori inquinanti, richiede uno studio integrato della loro chimica in atmosfera poiché le rispettive sorgenti ed emissioni sono fortemente collegate fra loro. È ben noto, in effetti, che su scala urbana le concentrazioni di ozono sono influenzate soprattutto dalle emissioni di NOx e Voc_s che reagiscono in presenza della luce del sole per produrre ozono. L'ozono cresce inoltre con le emissioni di CO, sebbene questa reazione sia molto più debole. La relazione tra NOx e Voc_s è fortemente non lineare, e una nuova emissione di NO può distruggere l'ozono, lasciando relativamente basse le sue concentrazioni sottotanto alle grandi sorgenti di NOx. La dipendenza dell'ozono dall'NOx e da Voc_s, pertanto, varia significativamente tra luoghi differenti e sotto differenti condizioni. Inoltre, dalle riduzioni di emissioni di NOx e Voc_s, che nel passato hanno avuto come obiettivo unico l'ozono, ci si aspetta anche la riduzione di particolato

Figura 2 – Una “normale” strada di Karachi (Pakistan).



documento

Figura 3 - Il circolo vizioso del traffico



secondario (nitrati e organici). L'accoppiamento chimico tra ozono e particolato è stato inizialmente osservato a Los Angeles, scoprendo che le due specie sono legate in modo non lineare, attraverso la fotochimica e che il controllo della fase gassosa organica e dei precursori dell'NOx non conduce a riduzioni proporzionali delle componenti derivate dalla fase gassosa del particolato atmosferico [4]. È stata suggerita una dipendenza non lineare per tali relazioni [5] che richiederà, dunque, ancora diversi anni di ricerca per portare a una soluzione definitiva.

Gestione dell'inquinamento atmosferico

Al fine di minimizzare le emissioni di inquinanti, è stata dunque messa a punto una serie di strategie di natura tecnica e di tipo "non tecnico" o organizzativo, per la maggior parte orientate alla riduzione del traffico, quali ad esempio la gestione integrata della mobilità privata e del trasporto pubblico; la creazione di piste ciclabili e la pedonizzazione, i meccanismi di intermodalità, l'efficienza del trasporto merci, la creazione di pedaggi vari, incluso il road pricing, il ricambio e ammodernamento del parco macchine, le politiche di utilizzo del suolo quali le zone a traffico limitato e Low Emission Zone, fino ad arrivare alla più moderna e contrastata "road charging", altrimenti chiamata con il nome di "congestion charge" o "pollution charge". La caratteristica che contraddistingue tali misure è quella di mirare alla modifica delle abitudini degli utilizzatori del trasporto. Primo fra tutti, è sicuramente importante incoraggiare l'uso del trasporto pubblico in sostituzione di quello privato, dando priorità all'organizzazione del sistema di trasporto a livello metropolitano, includendo potenziamento e coordinamento di tutte le modalità di trasporto, e migliorando sicurezza e comfort dei servizi, nonché la riduzione delle emissioni. Questa è funzione dalla tecnologia del veicolo e dai programmi di manutenzione del parco veicolare: i veicoli più vecchi hanno un controllo delle emissioni meno sofisticato

(se ne hanno uno) e le condizioni dell'apparato di controllo si deteriorano col tempo e l'uso. Aumentare il turnover dei veicoli senza incrementare il numero dei veicoli potrebbe dunque diminuire le emissioni. Infatti, non è un caso che uno dei principali problemi delle megacities è l'elevato numero di veicoli a elevato impatto ambientale conseguenti all'utilizzazione di flotte non proprio ammodernate. Particolare attenzione meritano poi i provvedimenti dei blocchi del traffico o delle targhe alterne. Stime effettuate da alcuni Comuni attribuiscono alla circolazione a targhe alterne una riduzione del 15-20% del numero dei veicoli e delle conseguenti emissioni di polveri nelle fasce orarie di applicazione del provvedimento, mentre se si considera l'intero arco della giornata la riduzione è all'incirca del solo 10%. La strategia di limitazione della circolazione non può non tener conto dei complessi processi di interazione fra chimica e meteorologia. La concentrazione di una specie inquinante in atmosfera dipende, infatti, non solo dal tasso di emissione dalle sorgenti, dalla velocità delle eventuali trasformazioni chimico-fisiche e dalla velocità di deposizione, ma anche dalla possibilità di diluizione negli strati atmosferici più vicini al suolo. Per valutare i possibili effetti della riduzione delle emissioni da traffico sui livelli di concentrazione dei vari inquinanti è necessario, in primo luogo, considerare che gli inquinanti primari antropogenici costituiscono una porzione variabile, a cui si sommano i componenti naturali (specie di origine terrigena e aerosol marino), mentre il rimanente è costituito da composti secondari, normalmente di origine regionale. Di conseguenza, i provvedimenti di limitazione del traffico, che agiscono prevalentemente sulla concentrazione dei primari, hanno un effetto sensibile sulla concentrazione solo quando le condizioni di rimescolamento atmosferico sono scarse e quindi la concentrazione di inquinanti antropogenici primari nelle aree urbane raggiunge i valori massimi. Di conseguenza, nel caso di superamento dei limiti, i siti caratterizzati da elevata stabilità



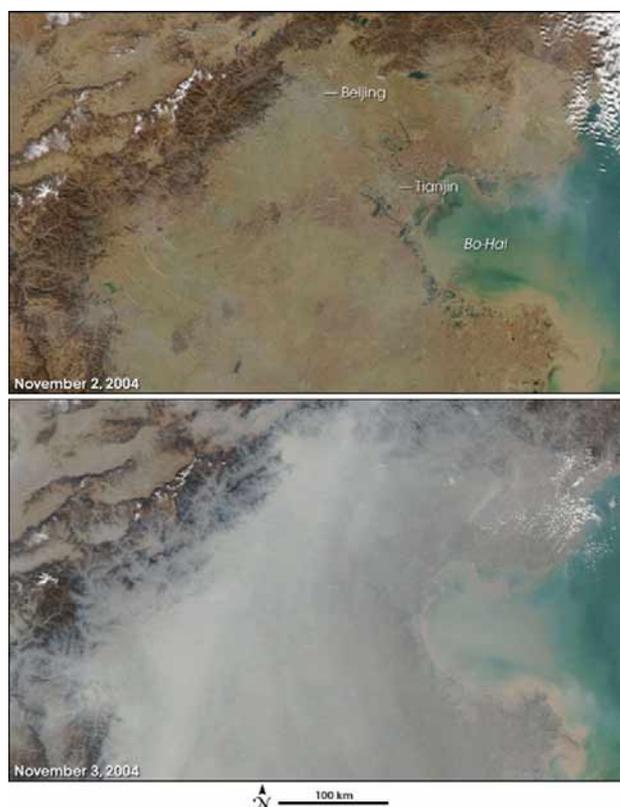


atmosferica dovranno porre in essere interventi e piani di risanamento molto più pesanti e drastici di quelli prevedibili e attuabili in zone nelle quali questi fenomeni si rivelano meno importanti. Da questo punto di vista, l'esperienza delle megacities diviene abbastanza interessante in quanto in alcune di esse (ad esempio la città di Shanghai), indipendentemente dal tipo di veicolo, la limitazione delle emissioni avviene attraverso la limitazione del numero di veicoli circolanti attraverso la semplice tassazione "di ingresso". Ossia, affinché al proprietario di un autoveicolo venga rilasciata la relativa targa, lo stesso è obbligato al pagamento di una cifra che, tradotta in termini più comprensibili, corrisponde a circa un anno di stipendio medio. In altri termini, viene applicata una supertassa "una tantum" sulle nuove immatricolazioni. Tutto ciò non ha però evitato che la città ora soffra di una congestione che rischia di strozzare la mobilità e quindi la sua economia, a maggior riprova che la fiscalità, anche severa, non fornisce, almeno da sola, una soluzione al problema.

Valutazione del contributo regionale

Un aspetto che invece molte megacities hanno preso in debita considerazione è invece lo studio del contributo regionale, inteso naturalmente come regione geografica nella quale la città è inserita. Come una grande sorgente di emissioni, la megalopoli ha la possibilità di influenzare la qualità dell'aria su una regione molto vasta, così

Figura 4 – Immagine satellitare (Modis) dell'area vasta di Pechino in presenza di inquinamento atmosferico.



LETTURE DI APPROFONDIMENTO

Aqmd (Los Angeles County Air Pollution Control District). The Southland's War on Smog: Fifty Years of Progress Toward Clean Air. Published May 1997.

A. Benbarka, Master Thesis. Mit Integrated Program on urban, regional and global air pollution report No.22. Cambridge, MA, 2001.

Cam: Inventario de Emisiones 1996 de la Zona Metropolitana del Valle Mexico.

Mexico, 1999; Inventario de Emisiones

1998 de la Zona Metropolitana del Valle Mexico. Preliminary version (reported in July and October 2000). Mexico, 2000;

Evaluación del Cierre del Programa para

Mejorar la Calidad del Aire en la Valle de Mexico. 1995-2000. Mexico, 2000; Inventario

de Emisiones 1998 de la Zona Metropolitana del Valle Mexico. Version preliminar (reported in August 2001). Mexico, 2001.

Carb: 1999 Clean Air- California's Success and future Challenges. Updated August 27, 1999. www.arb.ca.gov/omb/50thfinal/50thfinal.gov; The 2001 California almanac of emission & Air Quality, 2001.

Ddf: Programa integral contra la contaminación atmosférica: un compromise común (Picca). Departamento del Distrito Federal, Mexico, 1990; Gobierno del Estrado de Mexico. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca and Secretaría de Salud) Programa para mejorar la calidad del aire en la Valle de Mexico (Proaire). Mexico, 1996.

J.D. Fast, S. Zhong, *J.Geophys. Res.*, 1998, 103 (D15), 18.927.

Ine (Istituto Nacional de Ecologia), 1998.

Segundo Informe sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas, Mexico, 1997.

Nrc, Global air quality: an imperative for long-term observational strategies. National Academy Press. Washington, D.C., 2001a.

Unep, Global Environmental Outlook 2000.

Unep's Millenium Report on the Environmental. Earthscan Publications Ltd. London, 2000.

Who, Guidelines for air quality. World Health Organization. Ginevra, 2000.

World Bank, World Development Indicator, 2001, www.worldbank.org.

come essa risente dell'inquinamento regionale se nella regione di interesse esistono delle fonti di inquinamento atmosferico. In definitiva, al megalopoli si comporta come fonte di inquinamento per i soggetti che non vivono nella megacity, ma nelle sue immediate vicinanze, e si comporta come recettore di inquinamento proveniente dalle aree circostanti. La conseguenza logica di questo dualismo è che risulta complicato utilizzare solo misure per separare l'inquinamento prodotto dalle sorgenti locali da quello trasportato. A livello di modellistica l'interesse scientifico punta l'attenzione sulla gestione delle grandi megalopoli come sorgenti in modelli globali [6, 7]. L'uso di modelli tridimensionali di aria urbana confinata, basati su misure, richiede che debbano essere specificati i flussi di inquinanti, attraverso i limiti del dominio del modello. Chiaramente le misure disponibili non sono sufficienti a fornire buone stime dei flussi limite, come input per i modelli di qualità dell'aria, o per capire gli effetti delle sorgenti ubicate fuori città sulla qualità dell'aria della megalopoli. Dunque, una maggior attenzione dovrebbe essere posta sulle concentrazioni di 'background' di inquinanti atmosferici e sui flussi entranti e uscenti dalla regione aumentando,

per esempio, il numero delle stazioni di monitoraggio di routine nelle aree periferiche della città. Inoltre, campagne di misura intensive dovrebbero essere effettuate per integrare le misure ai limiti di campo del modello, stimando sia profili verticali sia variazioni orizzontali. In questo senso le misure dovrebbero essere condotte non solo con lo scopo di caratterizzare l'inquinamento atmosferico per scopi normativi, ma anche per supportare le attività di modellistica e contribuire alla comprensione scientifica del problema. Inoltre, l'utilizzo di modelli di trasporto degli inquinanti richiede di incrementare le misure meteorologiche su scala regionale per stimare al meglio le sorgenti osservate ai limiti del dominio nonché caratterizzare la frequenza delle differenti tipologie di flussi meteorologici. Infine, bisogna realizzare un inventario delle emissioni sulle grandi aree, includendo periferie e regioni rurali anche al fine di prendere in esame un aspetto al quale finora non è stata data grande importanza, ossia le emissioni naturali di inquinamento, in particolare di polveri (polveri sahariane, risospensione di polvere dal suolo, incendi, spray marino, aerosoli secondari ecc.). Tale aspetto del problema è stato affrontato in molti studi regiona-



li quali, ad esempio, quelli che hanno interessato nel passato l'area Orientale nord-americana oppure che hanno interessato la città di Berlino. Purtroppo, la concezione che l'inquinamento nasca nei centri delle città ha portato a sottovalutare questi aspetti e, in Europa e in particolare in Italia, studi di questi tipo non sono mai stati sviluppati secondo logiche adeguate. In pratica solo in tempi recenti è emersa la necessità di valutare complessivamente l'inquinamento della Pianura Padana come area vasta e come strumento per la soluzione dei problemi che affliggono le grandi aree

urbane settentrionali italiane. Città come Città del Messico, grazie all'attività intensa e qualificata del premio Nobel Molina [2], hanno avuto la loro caratterizzazione integrata regionale dell'inquinamento atmosferico, così come tale valutazione è in fase di sviluppo nelle aree di Pechino, Shanghai e Hong Kong relativamente al contesto Cinese. Il caso di Pechino è invero esemplare. La città infatti ospiterà le Olimpiadi del 2008 per le quali la Municipalità si è impegnata nella dichiarazione di "Cielo azzurro" obiettivo questo che potrà essere realizzato solo se saranno poste sotto control-

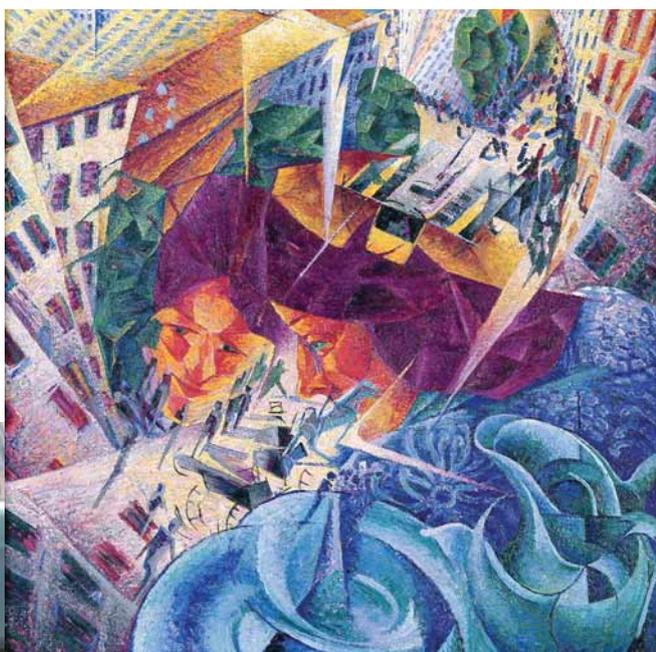
Programma Italo Cinese di Cooperazione nell'Ambiente (Sicp) ,partecipano a questo studio che non mancherà di fornire importanti informazioni anche per la gestione del problema nel nostro Paese.

Conclusioni

La lotta, che in questi anni è stata intrapresa contro il fenomeno dell'inquinamento atmosferico, ha sicuramente portato a risultati positivi poiché si è riusciti nella maggior parte dei casi a provocare una diminuzione complessiva del fenomeno nella maggior parte delle aree urbane occidentali. La combinazione di misure di contenimento delle emissioni di natura tecnica e altre di natura organizzativa hanno contribuito a far riportare il livello di inquinamento entro i limiti previsti. Vi sono però eccezioni diffuse, in particolare per il nostro Paese a causa di situazioni meteorologiche avverse, ma anche a causa della scarsa incisività con la quale alcuni provvedimenti chiave (mobilità pubblica) sono stati adottati e della scarsa propensione a dare al fenomeno un orizzonte spaziale più vasto dell'area urbana vera e propria. Di conseguenza, appare evidente che, mentre possiamo trasferire nelle grandi megalopoli alcune nostre esperienze di gestione del problema, nello stesso modo possiamo importare esperienze di studio e di valutazione molto importanti per i prossimi necessari passi verso la sua soluzione. Infatti ,studi quali quelli sviluppati a Città del Messico o a Pechino dovrebbero diventare punto di riferimento per la comunità scientifica (e non solo), al fine di migliorare il livello di conoscenza delle sorgenti di inquinamento dei meccanismi di formazione delle specie inquinanti e della loro distribuzione spaziale e temporale, nonché del loro ruolo nell'esposizione della popolazione. Ancora una volta dunque, la collaborazione internazionale su questi problemi offre opportunità molto significative che, almeno nel nostro Paese, meritano di essere adeguatamente coltivate. ■

BIBLIOGRAFIA

- [1] Unep/Who (United Nations Environmental Program/ World Health Organization). Urban Air Pollution in Megacities of the World. Blackwell Publisher. Oxford, 1992.
World Bank
- [2] L.T. Molina e M.J. Molina. Air quality in the Mexico magacity. *The Netherlands: Kluwer academic*, 2002.
- [3] Beijing Environmental Protection Bureau. Personal communication, 2003.
- [4] Z.Y. Meng, D. Dabdub e J.H.Seinfeld. *Science*, 1997, **277**, 116.
- [5] G.M. Hidy, P.M. Roth *et al.*, Oxidant pollution and fine particles: issues and needs. White paper for 1998 North American Research Strategy for Tropospheric Ozone (Narsto) critical review series. Available ahttp://narsto.owt.com/Narsto.
- [6] J. Calbo, W. Pan *et al.*, Parameterization of urban subgrid scale processes in global atmospheric chemistry models, *J. Geophys. Res.*, 1998, **103** (D3), 3437.
- [7] M. Mayer, C. Wang *et al.*, *J. Geophys. Res.*, 2000, **105**, 22.869.



lo non solo le emissioni nella città, ma anche quelle della sua vasta area. Come infatti si può vedere nella Figura 4, l'area vasta di Pechino è interessata da intensi fenomeni di inquinamento, in particolare durante situazioni meteorologiche avverse. Al programma sono impegnati molti gruppi di ricerca della Cina e provenienti da Paesi più avanzati su un programma di circa 4 milioni di dollari che, iniziato da qualche mese, terminerà alla fine del 2007 e prevede lo studio dei meccanismi di formazione degli inquinanti primari e secondari che ora affliggono l'area. Il Ministero dell'Ambiente, Territorio e del Mare e il Cnr Istituto Inquinamento Atmosferico, attraverso il