

## Impatto sanitario del particolato atmosferico

Ivano Iavarone

*La crescente disponibilità di dati sulla concentrazione di contaminanti dell'aria ha consentito la realizzazione di numerose valutazioni di impatto sanitario. Questi studi hanno mostrato che l'impatto sanitario dell'inquinamento atmosferico è di entità ragguardevole*

L'evidenza scientifica relativa agli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana si è arricchita notevolmente negli ultimi anni. Questo soprattutto grazie alla grande disponibilità di studi epidemiologici che hanno documentato un ampio spettro di esiti sanitari, acuti e cronici, che vanno dai sintomi respiratori alla morbosità e mortalità per cause cardiologiche, respiratorie e tumorali<sup>1,2</sup>. Inoltre, questi esiti sanitari sono osservati a livelli di concentrazione di inquinanti ai quali sono generalmente esposte popolazioni urbane in ogni parte del mondo, sia nei paesi sviluppati che in quelli in via di sviluppo. La crescente disponibilità di dati sulla concentrazione di contaminanti dell'aria, oltre che di statistiche sanitarie raccolte su base routinaria, ha consentito la realizzazione di numerose valutazioni di impatto sanitario<sup>3,4-7</sup>. Questi studi hanno sistematicamente mostrato che l'impatto sanitario dell'inquinamento atmosferico è di entità ragguardevole. Tali stime non sono, d'altra parte, sorprendenti, viste le caratteristiche di ampia diffusione dell'inquinamento atmosferico e le dimensioni delle popolazioni esposte.

Nel contempo, i risultati di studi clinici e tossicologici hanno fornito informazioni rilevanti su alcuni possibili meccanismi d'azione attraverso cui gli inquinanti espletano i loro effetti sulla salute umana, rafforzando la plausibilità biologica delle associazioni osservate in ambito epidemiologico. D'altra parte, i processi fisio-patologici alla base degli effetti dell'esposizione a contaminanti atmosferici sono stati solo parzialmente chiariti. Tra i principali aspetti che concorrono alla carenza di tali conoscenze contribuisce il fatto che l'inquinamento atmosferico è un fenomeno molto complesso, che coinvolge numerose sorgenti di emissione e molteplici composti chimici di interesse tossicologico, i cui livelli ambientali sono spesso altamente correlati. Il fenomeno dell'esposizione a miscele complesse rappresenta il principale problema da affrontare nella conduzione di studi in ambiente urbano, proprio per la difficoltà di tener conto adeguatamente dell'esposizione simultanea a numerosi fattori di rischio e delle loro inte-

razioni nell'indurre effetti sulla salute. La problematica verso cui è attualmente orientata la comunità scientifica internazionale è dunque la necessità di individuare quali siano le componenti dell'inquinamento atmosferico più rilevanti da un punto di vista tossicologico-sanitario e di comprendere i meccanismi fisio-patologici alla base del percorso esposizione-effetto. La maggior parte degli studi epidemiologici sugli effetti sanitari dell'inquinamento atmosferico usano il PM<sub>10</sub> e il PM<sub>2,5</sub> (sebbene quest'ultimo in minor grado) come indicatori di esposizione, in quanto rappresentano le frazioni granulometriche per le quali si hanno a disposizione serie temporali di dati ambientali. Considerata la correlazione molto alta tra PM<sub>10</sub> e altri inquinanti atmosferici (ad esempio, NO<sub>2</sub>, CO), incluse le polveri più fini, il PM<sub>10</sub> è considerato un buon indicatore del complesso insieme di particelle e polvere che risultano dalla combustione di carburanti per veicoli e dalla produzione di energia. Le conseguenze sulla salute del PM<sub>10</sub> riflettono, perciò, possibili effetti dovuti ad altri inquinanti correlati o ai loro effetti interattivi. Da questo punto di vista, le valutazioni effettuate utilizzando il PM<sub>10</sub> sono conservative, cioè sotto-stimano l'impatto totale, ed evitano il doppio conteggio di eventi dovuti a un inquinante che possono essere erroneamente attribuiti a un altro inquinante ad esso correlato. Inoltre, il PM<sub>10</sub> è tuttora l'inquinante più frequentemente associato a una lunga serie di esiti sanitari, che vanno dai sintomi respiratori alla mortalità cronica. Questi effetti interessano i bambini, gli adulti e un gran numero di gruppi di persone più vulnerabili che comprendono, ad esempio, soggetti già colpiti da problemi respiratori e cardiovascolari. Gli studi epidemiologici mostrano che per molti esiti sanitari il rischio cresce all'aumentare dell'esposizione al PM<sub>10</sub>; d'altra parte le evidenze disponibili sembrano suggerire l'assenza di un valore soglia al di sotto del quale si possano escludere conseguenze sulla salute<sup>1,2</sup>. Infatti, sono stati osservati effetti anche a circa 6 µg/m<sup>3</sup>, cioè a livelli prossimi al valore di fondo naturale in assenza di emissioni generate da attività antropiche.



## IL PARTICOLATO ATMOSFERICO

Le polveri sospese (PM), per la loro origine e per loro caratteristiche chimico-fisiche, rappresentano, dunque, un buon indicatore dell'inquinamento dell'aria di origine antropogenica, derivante soprattutto dalla combustione di carburanti veicolari. Non è ancora chiaro, però, quale siano le componenti delle polveri maggiormente responsabili degli effetti sanitari studiati. Varie ipotesi attribuiscono un ruolo chiave al numero di particelle, fortemente correlato alle loro dimensioni e superficie, sebbene un ugualmente importante contributo sia riconosciuto anche al tipo di sostanze veicolate dalle polveri stesse all'interno dell'organismo. Le polveri sono un inquinante costituito da una miscela complessa di sostanze organiche e inorganiche allo stato solido o liquido di composizione molto variabile. Le particelle sono capaci di adsorbire sulla loro superficie diverse sostanze con proprietà tossiche, quali solfati, nitrati, metalli e composti organici volatili. Da un punto di vista dimensionale, il PM si suddivide in varie frazioni: il particolato grossolano di dimensioni superiori ai 10  $\mu\text{m}$  (1  $\mu\text{m}$  = 1 millesimo di mm), il  $\text{PM}_{10}$  - particelle inferiori a 10  $\mu\text{m}$ , il  $\text{PM}_{10-2.5}$  - *corse* - (diametro tra 2.5 e 10  $\mu\text{m}$ ), il  $\text{PM}_{2.5}$  - particolato fine (diametro inferiore a 2,5  $\mu\text{m}$ ) e le polveri ultrafini (UFP, diametro inferiore ad 0.1  $\mu\text{m}$ ). Le dimensioni delle particelle determinano, inoltre, il tempo di permanenza in atmosfera. La sedimentazione e le precipitazioni rimuovono, ad esempio, il  $\text{PM}_{10}$  dall'aria entro poche ore dalla loro emissione, mentre il  $\text{PM}_{2.5}$  può rimanere sospeso per giorni o settimane, ed essere trasportato - in particolare la frazione UFP - per lunghe distanze.

In base al meccanismo di formazione, le particelle si distinguono in primarie e secondarie. Le particelle primarie vengono direttamente immesse nell'atmosfera mediante processi naturali (vulcanismo, erosione etc) e antropogenici. Questi ultimi includono la combustione di motori autoveicolari (sia diesel che a benzina), la combustione di combustibili solidi (carbone, lignite, biomassa) di uso domestico, le attività industriali edili e minerarie

e le attività nelle cave, le erosioni del manto stradale causate dal traffico e le polveri provenienti dall'abrasione di freni e pneumatici. Le particelle secondarie derivano invece da reazioni chimiche di inquinanti gassosi e sono il prodotto della trasformazione atmosferica del biossido di azoto, principalmente emesso dal traffico e da alcuni processi industriali, e del biossido di zolfo, che risulta dalla combustione di carburanti contenenti zolfo. Le particelle secondarie si trovano principalmente nella frazione del  $\text{PM}_{2.5}$ . Occorre puntualizzare che anche la nocività delle polveri è in generale associata alle loro dimensioni, in quanto dalla granulometria dipende la capacità del PM di penetrare nell'apparato respiratorio. La frazione  $\text{PM}_{10-2.5}$  penetra nelle vie respiratorie e raggiunge i polmoni e i bronchi primari e secondari, mentre il PM fine si spinge nei bronchi terminali fino agli alveoli ove avvengono gli scambi gassosi aria-sangue. La frazione UFP è quella che riesce a penetrare più profondamente nell'apparato respiratorio fino a raggiungere il circolo sanguigno<sup>8</sup>. In particolare, le UFP solide e poco solubili non vengono rimosse efficientemente attraverso meccanismi mucociliari o mediati da macrofagi, aumentando così la probabilità di una loro traslocazione verso siti extrapulmonari quali interstizi, linfa e circolazione sanguigna<sup>9</sup>. È stato proposto che l'aerosol "maturo", che è dominato molto probabilmente da una combinazione di particelle parzialmente solubili, può avere effetti più locali nel polmone, mentre le particelle ultrafini relativamente insolubili con un'elevata area di superficie possono interagire direttamente e sistematicamente con le funzioni vascolari<sup>10</sup>. Va infine ricordato che tanto più le particelle sono piccole, maggiore è la loro superficie

totale e quindi maggiore il carico potenziale di agenti tossici che esse possono adsorbire e veicolare nel tratto respiratorio. A titolo esemplificativo, nella tabella 1 viene illustrato il rapporto tra dimensioni, numero e superfi-

*La maggior parte degli studi epidemiologici sugli effetti sanitari dell'inquinamento atmosferico usano, come indicatori di esposizione, il  $\text{PM}_{10}$  e il  $\text{PM}_{2.5}$*

cie delle particelle a parità di concentrazione di massa del PM atmosferico. Dalla tabella si evince che a una concentrazione di particelle pari a 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , un millilitro di aria contiene 1.2 particelle di 2  $\mu\text{m}$  di diametro e ben 2.400.000 particelle di 0.02  $\mu\text{m}$ ; la corrispondente superficie totale particellare in un ml di aria passerebbe quindi da 24  $\mu\text{m}^2$  nel primo caso a 3016  $\mu\text{m}^2$  nel secondo<sup>11</sup>.

## IMPATTO SANITARIO DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO IN ITALIA

Gli studi di valutazione di impatto sanitario dell'inquinamento dell'aria utilizzano l'evidenza scientifica esistente per stimare il numero di casi (o la proporzione di mortalità e morbosità) che potrebbero essere prevenuti se le concentrazioni ambientali medie di un inquinante fossero ridotte a determinati livelli obiettivo (livello di riferimento). Studi di valutazione di impatto sulla salute dell'inquinamento dell'aria condotti in modo specifico in Italia sono stati pubblicati dal gruppo

Tabella 1 - Rapporto tra concentrazione di massa, dimensioni, numero e superficie delle particelle

Concentrazione nell'aria ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Diametro particella ( $\mu\text{m}$ )	Particelle in 1 ml di aria (numero)	Superficie totale delle particelle ( $\mu\text{m}^2$ ) in 1 ml
10	2	1,2	24
10	0,5	153	120
10	0,02	2.400.000	3016

Adattato da Donaldson et al.<sup>11</sup>

di lavoro MISA<sup>5</sup> - Metanalisi Italiana degli Studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento Atmosferico, in 15 città italiane nel periodo 1996-2002, e dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (Oms)<sup>7</sup>. Quest'ultima nel 2002 ha pubblicato uno studio di valutazione d'impatto sanitario usando il PM<sub>10</sub> come inquinante di riferimento nelle otto maggiori città italiane.

In questo contributo viene sinteticamente descritto un recente aggiornamento<sup>12</sup> del precedente rapporto Oms<sup>7</sup>, relativamente alle stime d'impatto sanitario del PM<sub>10</sub>. La nuova indagine riguarda 13 città italiane con popolazione superiore ai 200.000 abitanti, per le quali i dati sulle concentrazioni ambientali del PM<sub>10</sub> erano sistematicamente disponibili (Torino, Genova, Milano, Trieste, Padova, Venezia-Mestre, Verona, Bologna, Firenze, Roma, Napoli, Catania, Palermo). Le stime di associazione (coefficienti di rischio) e gli aspetti metodologici utilizzati nel rapporto sono basate sulla letteratura scientifica pubblicata fino al novembre 2005.

Questo nuovo studio ha utilizzato, in particolare, i dati sanitari ricavati dalle fonti statistiche nazionali e da letteratura internazionale consolidata; ha stimato l'esposizione delle popolazioni urbane al PM<sub>10</sub>, basandosi su dati provenienti da centraline urbane di traffico e di fondo per il triennio 2002-2004; ha considerato 25 effetti sanitari, includendo cause di morte specifiche sia acute che croniche, e diverse cause di morbosità; ha descritto l'impatto sanitario del PM<sub>10</sub>, in termini di numero di decessi e di altri eventi sanitari che avrebbero potuto essere prevenuti, considerando quattro diversi scenari alternativi: la riduzione della concentrazione media del PM<sub>10</sub> a 20 µg/m<sup>3</sup>, 30 µg/m<sup>3</sup> e 40 µg/m<sup>3</sup> o del 10% in ogni città. Lo studio di impatto sanitario si riferisce, dunque, alla proporzione di mortalità o di malattie osservate attribuibile al PM<sub>10</sub>. Ciò equivale all'ammontare di mortalità e malattie che si riuscirebbe a prevenire se il PM<sub>10</sub> fosse ridotto a determinati livelli ambientali. In questo contributo, a titolo esemplificativo, si riportano i risultati ottenuti con i due livelli di riferimento più estremi:

- 20 µg/m<sup>3</sup>, lo scenario di rispetto dei limiti dell'Unione Europea da raggiungere entro il 2010;
- una riduzione proporzionale del 10% delle concentrazioni medie del PM<sub>10</sub> in ogni città, corrispondente ad un livello di inquinamento facilmente raggiungibile tramite una strategia di abbattimento delle emissioni.

Nel periodo 2002-2004, le concentrazioni annue medie del PM<sub>10</sub> andavano dai 26.3 µg/m<sup>3</sup> di Trieste ai 61.1 µg/m<sup>3</sup> registrati a Verona, con una media per le 13 città, pesata per popolazione, pari a 45.3 µg/m<sup>3</sup>. Le concentrazioni misurate nelle città italiane sono risultate più elevate delle concentrazioni medie europee. Per quanto riguarda gli effetti a lungo termine sulla mortalità, i risultati (tabella 2) hanno mostrato che 8220 decessi l'anno, in media, erano attribuibili a concentrazioni di PM<sub>10</sub> superiori ai 20 µg/m<sup>3</sup>. Tale valore equivale al 9% della mortalità per tutte le cause- esclusi gli incidenti- nella popolazione oltre i 30 anni. L'impatto a lungo termine sulla mortalità ha riguardato in dettaglio il tumore polmonare (742 casi l'anno), l'infarto (2562 casi) e l'ictus (329 casi). Considerando gli effetti a breve termine (entro una settimana dall'esposizione), l'impatto del PM<sub>10</sub> superio-

re ai 20 µg/m<sup>3</sup> è di 1372 decessi, equivalenti all'1.5% della mortalità nell'intera popolazione. Un elevato numero di casi attribuibili a PM<sub>10</sub> è stato stimato anche per altri esiti sanitari, tra cui la morbosità in bambini e adulti e i ricoveri ospedalieri per malattie cardiache e respiratorie (tabella 2). Nelle città italiane queste stime di impatto sono in linea con quelle ottenute da analoghi studi effettuati in Europa e in America. È importante sottolineare che anche una riduzione proporzionale del 10% nelle concentrazioni medie annuali del PM<sub>10</sub> in ogni città consentirebbe di evitare un quantitativo non trascurabile di effetti sanitari. La riduzione di pochi µg/m<sup>3</sup> nei livelli medi urbani di PM<sub>10</sub> farebbe evitare più di 1500 decessi nell'impatto a lungo termine e consentirebbe di risparmiare i costi relativi a circa 11000 casi di bronchite acuta nei bambini.

L'impatto sanitario del PM è un rilevante problema di salute pubblica, visto che l'elevato carico di patologie concerne sia adulti che bambini, e include morti premature, malattie croniche e acute, come cancro, bronchiti, asma e sintomi respiratori. La rilevanza dell'impatto sanitario comporta, inoltre, un peso

Tabella 2 - Sintesi dei risultati: decessi e casi di morbosità attribuibili a livelli di PM<sub>10</sub> superiori ai 20 µg/m<sup>3</sup> e ad una concentrazione ridotta del 10% in ogni città (modificato da Martuzzi et al.<sup>12</sup>)

Evento sanitario	PM <sub>10</sub> ridotto a 20 µg/m <sup>3</sup>		PM <sub>10</sub> ridotto al 10%	
	Numero Casi attribuibili	Proporzione attribuibile	Numero Casi attribuibili	Proporzione attribuibile
<b>CAUSE DI MORBOSITÀ - TUTTE LE ETÀ</b>				
Ricoveri per malattie cardiache	809	0,7	149	0,1
Ricoveri per malattie respiratorie	990	1,4	183	0,3
<b>BAMBINI FINO A 15 ANNI</b>				
Bronchite acuta	38342	31,7	11002	9,1
Asma, 6-7 e 13-14 anni*	1259	-	228	-
<b>ADULTI, 15+ ANNI</b>				
Bronchite cronica, ≥27anni	4321	1,7	771	0,3
Asma*	814756	-	145588	-
<b>CAUSE DI MORTE - EFFETTI CRONICI**</b>				
Tutte le cause (esclusi incidenti)	8220	9,0	1610	1,8
Tumore trachea, bronchi e polmoni	742	11,6	149	2,3
Infarto	2562	19,8	586	4,5
Ictus	329	3,3	61	0,6
<b>CAUSE DI MORTE - EFFETTI ACUTI***</b>				
Tutte le cause (esclusi incidenti)	1372	1,5	258	0,3
Malattie cardiovascolari	843	2,1	154	0,4
Malattie respiratorie	186	3,1	34	0,6

\* I casi attribuibili sono espressi in termini di giorni con uso di broncodilatatori; \*\* Adulti oltre i 30 anni, rischi basati su stime del PM<sub>2,5</sub>; \*\*\* tutte le età.

importante sulla società sia in termini di perdita di anni di vita, dovuti a una significativa riduzione nella speranza di vita, sia rispetto alla perdita di produttività economica, a causa di malattie lievi o severe, sia, infine, per i costi del sistema sanitario in termini di migliaia di ricoveri ospedalieri<sup>12</sup>. Il PM<sub>10</sub> è considerato una buona misura della complessa miscela di inquinanti solidi e gassosi creati dalla combustione di carburanti per veicoli e dalla produzione di energia, e la maggior parte dei dati di monitoraggio ambientale sono ancora basati sulle misure del PM<sub>10</sub>. Ad ogni modo, è auspicabile poter disporre di misure sistematiche dei livelli di particelle più piccole, perché gli effetti sulla salute delle particelle fini (PM<sub>2.5</sub>) sono ben noti. Recentemente sono stati pubblicati, i risultati del programma *Clean Air For Europe* (CAFE) che mostrano che all'Italia, in relazione alle emissioni di PM<sub>2.5</sub> del 2000<sup>13</sup>, possa essere attribuibile una perdita media di 8.6 mesi/uomo nell'attesa di vita. Le stime di impatto evidenziano, inoltre, che la corretta attuazione fino al 2020 delle politiche comunitarie sulla riduzione delle polveri sospese consentirebbe di risparmiare in Italia circa 12000 morti premature. Negli ultimi anni, il PM<sub>2.5</sub> viene misurato in maniera routinaria in diversi paesi europei e nordamericani. Analoghe considerazioni valgono per la frazione UFP del PM, verso la quale è oggi indirizzata l'attenzione della comunità scientifica internazionale, sebbene si disponga di dati ambientali spesso inadeguati.

In generale, le stime dell'impatto sanitario forniscono una rappresentazione incompleta del carico di patologie derivante dall'inquinamento dell'aria: vari esiti sanitari di potenziale interesse, soprattutto quelli di lieve entità, non sono generalmente inclusi negli studi di impatto in quanto non si dispone di una stima affidabile del rischio ad essi associato. La dimensione dell'impatto sanitario dell'inquinamento atmosferico stimato per le 13 città italiane evidenzia l'urgenza di azioni rivolte alla riduzione del carico di patologie. A tal riguardo, il rispetto dei limiti sul PM<sub>10</sub> introdotti con la Direttiva 1999/30/EC<sup>14</sup> darebbe luogo a sostanziali guadagni

in termini di patologie ed effetti evitati. Nel 2005, ad esempio, in molte delle principali città italiane è stato raggiunto il massimo di 35 giorni con superamento di 50 µg/m<sup>3</sup> di PM<sub>10</sub>. Inoltre, solo alcune città erano riuscite a rispettare il vincolo della media annuale di 40 µg/m<sup>3</sup> di PM<sub>10</sub>, mentre in nessuna città si è registrata la media di 20 µg/m<sup>3</sup> di PM<sub>10</sub>, limite da raggiungere entro il 2010.

### INTERVENTI

Dal punto di vista delle politiche sanitarie-ambientali, le informazioni sulle fonti di emissione possono essere impiegate per identificare le più efficaci aree di intervento. I dati del rapporto Oms, ad esempio, suggeriscono che guadagni sostanziali possono essere ottenuti attraverso l'adozione di politiche che mirino alla riduzione di due fattori: il trasporto urbano e la produzione di energia. Le emissioni di PM<sub>10</sub> provenienti da queste sorgenti rappresentano infatti il maggior apporto alle emissioni primarie nelle aree urbane italiane. Poiché le evidenze attualmente disponibili mostrano che l'associazione tra inquinamento dell'aria e i suoi effetti avversi sulla salute è di tipo lineare e priva di soglia, gli effetti dell'inquinamento atmosferico diminuirebbero proporzionalmente al diminuire della concentrazione media, per tutti gli esiti sanitari considerati. Questa considerazione implica che interventi diversi che producano stesse riduzioni del valore medio annuale nei livelli ambientali di PM sarebbero in grado di determinare benefici sanitari simili. Dati empirici mostrano, ad esempio, che interventi di abbattimento delle concentrazioni di picco riducono anche le concentrazioni medie<sup>15</sup>. Politiche che mirino a limitare il trasporto motorizzato privato, incentivando il trasporto pubblico, consentirebbero di ridurre le emissioni delle maggiori fonti urbane, soprattutto quelle prodotte dai veicoli a motore. In questo tipo di strategia, un'attenzione particolare dovrebbe essere rivolta al contributo dei motorini, in particolare quelli con motori a due tempi. Nell'ambito dell'obiettivo generale di riduzione delle emis-

sioni, dovrebbe essere dedicata particolare attenzione a un approccio che tenga conto di specifiche situazioni locali. Le concentrazioni del PM<sub>10</sub> osservate nello studio Oms sono, ad esempio, più elevate nelle città settentrionali (50 µg/m<sup>3</sup>), rispetto a quelle dell'Italia centrale (43 µg/m<sup>3</sup>) e meridionale (35 µg/m<sup>3</sup>). Queste variazioni, oltre che a fattori climatici, sono verosimilmente attribuibili a differenze nel sistema dei trasporti, nelle attività industriali e nelle emissioni derivante dai sistemi di riscaldamento. Un rapporto del 2005 a cura dell'Apat<sup>16</sup> ha mostrato che il PM<sub>10</sub> proveniente da trasporto su strada rappresenta la fonte di emissione principale del PM primario nelle aree metropolitane italiane (tra il 40% e il 60% del totale), con l'eccezione di Venezia-Mestre, Trieste e Genova, dove le attività industriali sono responsabili della maggior parte delle emissioni (66%-81%). Le città della Pianura Padana, ad esempio, presentano elevate concentrazioni di PM<sub>10</sub> (59 µg/m<sup>3</sup>, media per il periodo 2002-2004), associate al traffico urbano e a intense attività industriali, ma anche a condizioni climatiche che limitano la dispersione dell'inquinamento. In queste circostanze le azioni intraprese localmente per ridurre le emissioni dei veicoli

*L'impatto sanitario delle polveri sottili è un rilevante problema di salute pubblica, visto che l'elevato carico di patologie concerne sia adulti che bambini*

a motore in un singolo comune, probabilmente portano a modesti risultati, se non sono associate a iniziative politiche a livello regionale, riguardanti la gestione complessiva del problema. Un altro importante effetto di politiche restrittive sul traffico veicolare privato è il contenimento indiretto di una serie di altri fattori: incidenti stradali, esposizione a rumore ed effetti psicosociali. Per quanto concerne gli incidenti stradali, è interessan-

te notare che essi hanno dato luogo a un numero di decessi tra i residenti delle 13 città italiane nel 2001 che è dello stesso ordine di grandezza della mortalità a breve termine attribuibile al PM<sub>10</sub>.

#### Riferimenti bibliografici

(per maggiori dettagli si rimanda a Martuzzi et al.<sup>12</sup>)

<sup>1</sup> EPA. Review of the national ambient air quality standards for particulate matter: policy assessment of scientific and technical information. OAQPS Staff Paper U.S. EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, 2005.

<sup>2</sup> World Health Organization-Regional Office for Europe. *WHO air quality guidelines: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. 2005 global update*. HYPERLINK "<http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf>" <http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf>

<sup>3</sup> Committee on the Medical Effects of Air Pollutants. *Quantification of the effects of air pollution on health in the United Kingdom*. London: The Stationery Office, 1998.

<sup>4</sup> Künzli N et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet*, 2000, 356 (9232):795-801.

<sup>5</sup> Biggeri A, Bellini P, Terracini B. Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico 1996-2002. *Epidemiologia e Prevenzione*, 2004, 28 (s4-5):1-102.

<sup>6</sup> Katsouyanni K et al. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology*, 2001, 12 (5):521-531.

<sup>7</sup> Martuzzi M et al. *Health Impact Assessment of air pollution in the eight major Italian cities*. World Health Organization - European Centre for Environment and Health, Copenhagen, 2002.

<sup>8</sup> Nemmar A, Hoet PH, et al. Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans. *Circulation*. 2002; 105:411-414.

<sup>9</sup> Elder A, Oberdorster G. Translocation and effects of ultrafine particles outside of the lung. *Clin Occup Environ Med*. 2006;5(4):785-96.

<sup>10</sup> Peters A. Commentary: inflamed about ultrafine particles? *Int J Epidemiol*. 2006 Oct;35(5):1355-6.

<sup>11</sup> Donaldson K, Stone V, Clouter A, Renwick L, MacNee W. Ultrafine particles. *Occup Environ Med* 2001;58:211-216.

<sup>12</sup> Martuzzi M, Mitis F, Iavarone I, Serinelli M. *Health impact of PM<sub>10</sub> and ozone in 13 Italian cities*. World Health Organization - Regional Office for Europe, Copenhagen, 2006.

<sup>13</sup> CAFE, 2005. Clean Air For Europe. Baseline scenarios for the Clean Air For Europe (CAFE) Programme. Consultabile presso: HYPERLINK "[http://ec.europa.eu/environment/air/cale/general/pdf/cale\\_lot1.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/cale/general/pdf/cale_lot1.pdf)" [http://ec.europa.eu/environment/air/cale/general/pdf/cale\\_lot1.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/cale/general/pdf/cale_lot1.pdf)

<sup>14</sup> Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air, 1999.

<sup>15</sup> Cirillo M. Piani e programmi: obiettivi, scenari, interventi e risorse finanziarie. La valutazione e gestione della qualità dell'aria alla luce del nuovo quadro normativo, Bologna, 2003.

<sup>16</sup> APAT. *Qualità dell'ambiente urbano. II rapporto APAT*. Edizione 2005. Roma: APAT, 2005.