

**CNEIA**

**Commissione Nazionale per l’Emergenza  
Inquinamento Atmosferico**

**RELAZIONE DEL GRUPPO DI  
LAVORO 6**

**FORNIRE VALUTAZIONI QUALITATIVE E, OVE POSSIBILE, QUANTITATIVE IN MERITO ALL’ENTITÀ ED ALLA DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA DELLE EMISSIONI COMPLESSIVE DA PARTE DEI SETTORI INDUSTRIALE, CIVILE E TRASPORTI EFFETTUANDO STIME DI EFFETTI SANITARI E SULLE NECESSITÀ DI INDAGINI EPIDEMIOLOGICHE SU AREE SIGNIFICATIVE.**

**DIPARTIMENTO DELLA PREVENZIONE E DELLA COMUNICAZIONE  
DIREZIONE GENERALE DELLA PREVENZIONE SANITARIA**

**Inquinamento atmosferico in Italia da polveri sottili e  
l'impatto sulla salute**

*Il presente documento è stato predisposto da un gruppo di lavoro istituito presso il Ministero della salute (D.D. 20 maggio 2005) con lo scopo di fornire elementi di valutazione e strumenti per prevenire e contrastare danni alla salute della popolazione causati dall'inquinamento atmosferico. Questo lavoro vuole essere un contributo, nel contesto delle attività programmate dalla Commissione Nazionale Emergenza Inquinamento Atmosferico, istituita presso il Ministero dell'ambiente e tutela del territorio, per una analisi congiunta di dati ambientale e sanitari in Italia, condotta per essere di ausilio ai processi decisionali riguardanti l'autorità sanitaria e l'autorità ambientale sia a livello nazionale che al livello locale.*

*Tale iniziativa si è resa necessaria sia per utilizzare pienamente i dati raccolti dalle diverse fonti ed istituzioni coinvolte nella gestione dell'ambiente e della salute, sia per dare sostanza all'informazione pubblica che ad eventuali allarmi sui rischi sanitari di natura ambientale. La conoscenza non corretta, superficiale o anche solo parziale del problema in tutte le sue implicazioni e conseguenze, può creare eccessivi allarmi o ingenerare false rassicurazioni ed infine indirizzare in maniera non sempre efficace l'impiego delle risorse pubbliche.*

*Le indicazioni provenienti dagli studi italiani e dall'attività di controllo ambientale delle Regioni hanno indicato che l'inquinamento da particolato fine, specialmente negli ambienti urbani, costituisce un problema, oltre che ambientale, di grande rilievo sanitario; tale esposizione, pur comportando in sé un rischio relativo non elevato, diventa un fattore di notevole impatto in relazione al numero di individui potenzialmente coinvolti.*

*L'esigenza di approfondire gli effetti sanitari delle esposizioni ambientali, è dettata, anche, dall'importanza che questo tema ha assunto a livello comunitario come uno dei fondamentali criteri per orientare le politiche ambientali e di sanità pubblica.*

*Il presente documento viene sottoposto alla discussione e all'arricchimento di quanti vogliano contribuire, in particolare quei soggetti titolati a offrire una risposta, in termini di conoscenza e di azioni, ai problemi trattati.*

## INDICE

<b>Sommario esecutivo</b>	<b>pag. 4</b>
<b>Introduzione</b>	<b>pag. 7</b>
<b>Parte I. Il carico di malattia</b>	<b>pag. 8</b>
<b>1.1.Effetti sulla salute</b>	<b>pag. 8</b>
1.1.1.Caratteristiche e aspetti tossicologici del PM <sub>10</sub>	
1.1.2.Aspetti epidemiologici del PM <sub>10</sub>	
• Effetti a breve termine	
• Effetti a lungo termine ed effetti cancerogeni	
• Conoscenze sui sottogruppi di popolazione suscettibili	
• Il contributo degli studi Italiani	
<b>1.2.Aspetti critici della conoscenza scientifica</b>	<b>pag. 14</b>
1.2.1.La rilevanza della composizione e dimensione del particolato	
1.2.2.Le basi biologiche del danno e la suscettibilità individuale all'inquinamento atmosferico	
1.2.3.L'impatto sulla salute della prima infanzia	
1.2.4. Gli effetti a lungo termine	
<b>1.3.Le stime di impatto dell'inquinamento atmosferico nella popolazione italiana</b>	<b>pag. 17</b>
1.3.1.Valutazione critica delle stime disponibili	
1.3.2.L'impatto dell'inquinamento nel contesto di altri fattori di rischio per la salute	
<b>Parte II. Azioni e raccomandazioni</b>	
<b>2.1.Azioni in corso volte a contenere l'inquinamento atmosferico</b>	<b>pag. 22</b>
<b>2.2.Raccomandazioni su cosa fare per contenere l'inquinamento atmosferico e diminuire l'esposizione della popolazione</b>	
<b>2.3.L'adeguamento della rete di monitoraggio</b>	<b>pag. 23</b>
<b>2.4.Il sistema degli indicatori e il progetto ECOEHIS</b>	<b>pag. 26</b>
<b>Parte III. Programmi per la sorveglianza epidemiologica e l'informazione della popolazione</b>	<b>pag. 28</b>
<b>3.1. Le priorità per la sorveglianza epidemiologica</b>	
3.1.1. Sorveglianza epidemiologica degli effetti del PM <sub>10</sub> , del PM <sub>2.5</sub> , delle polveri ultrafini, e delle componenti del particolato nelle città italiane	
3.1.2. Caratteristiche individuali che modificano gli effetti dell'inquinamento.	
3.1.3. Valutazione degli effetti nei neonati e nei primi anni di vita	
3.1.4. Valutazione aggiornata di impatto sanitario ed economico dell'inquinamento e modifiche a seguito dei programmi di intervento.	
3.1.5. Relazione quantitativa tra concentrazioni rilevate alle centraline ed esposizione individuale ad inquinanti outdoor per diversi settori della popolazione.	
3.1.6. Ruolo delle condizioni climatiche durante il periodo primaverile ed estivo.	
3.1.7. Studi di coorte per valutazioni a lungo termine.	
3.1.8. Studi sui meccanismi fisiopatologici e tossicologici che possono spiegare gli effetti riscontrati in studi epidemiologici;	
<b>3.2. Programma di informazione della popolazione</b>	<b>pag. 31</b>

## SOMMARIO ESECUTIVO

In questo documento vengono considerate le principali problematiche sanitarie connesse all'inquinamento atmosferico da materiale particolato (PM), con specifici riferimenti alla situazione italiana.

La prima parte del rapporto riassume le evidenze scientifiche circa gli effetti acuti e cronici delle polveri sospese, analizza gli aspetti critici della conoscenza e fornisce una sintesi delle stime di impatto sanitario nella popolazione italiana. Gli effetti sulla salute degli inquinanti atmosferici sono innanzitutto acuti (di breve termine: aggravamento di sintomi respiratori e cardiaci in soggetti malati, infezioni respiratorie acute, crisi di asma bronchiale, disturbi circolatori ed ischemici, morte). Essi si manifestano nella popolazione in risposta alle variazioni di breve periodo (oraria o giornaliera) nella concentrazione degli inquinanti. Gli effetti sono anche di tipo cronico causati da una esposizione di lungo periodo (a lungo termine: sintomi respiratori cronici quale tosse e catarro, diminuzione della capacità polmonare, bronchite cronica, tumore polmonare). Gli uni e gli altri possono comportare una diminuzione della speranza di vita ed un aumento della mortalità generale. Essendo il PM una miscela eterogenea di sostanze, risulta indispensabile approfondire la conoscenza della composizione del particolato per individuare le componenti più importanti dal punto di vista epidemiologico, tossicologico e fisiopatologico. Ciò stimola riflessioni rispetto all'opportunità di utilizzare le singole componenti del PM come indicatore dei diversi effetti sulla salute umana, piuttosto che la concentrazione totale: solfati e nitrati, ad esempio, essendo composti irritanti possono agire sugli effetti a breve termine, mentre gli IPA, alcuni dei quali cancerogeni, agiscono sulla probabilità di incidenza delle patologie a lungo termine. Attualmente, dopo aver posto l'attenzione in maniera sempre più approfondita sulla determinazione e caratterizzazione del particolato  $PM_{10}$  e, con minore enfasi sul  $PM_{2.5}$ , l'attenzione della comunità scientifica internazionale si sta spostando verso frazioni granulometriche inferiori  $PM_1$ ,  $PM_{0.1}$ , il particolato ultrafine, dal momento che gli effetti sanitari delle polveri sono inversamente proporzionali alle loro dimensioni. Il  $PM_{0.1}$  può penetrare molto profondamente nelle vie respiratorie e, addirittura, passare direttamente nel sangue superando la barriera alveolo capillare con conseguenze cardiovascolari.

La seconda parte del documento si riferisce agli interventi preventivi di sanità pubblica, focalizzando l'attenzione: sull'efficacia delle azioni e dei piani di contenimento dell'inquinamento in termini di tutela e miglioramento dello stato di salute della popolazione; su alcune raccomandazioni di salvaguardia da non trascurare nelle azioni di pianificazione e nell'identificazione di nuovi interventi di risanamento a livello locale; sull'adeguamento delle reti di monitoraggio della qualità dell'aria per una migliore valutazione dell'esposizione e sullo sviluppo degli indicatori "ambiente e salute" in linea con quanto proposto in sede comunitaria ed UNECE.

La terza parte di questo documento riguarda, infine, l'identificazione e la definizione di programmi operativi per la sorveglianza epidemiologica, per una corretta informazione della popolazione e per la ricerca. I progetti proposti vengono presentati e discussi sulla base di una scala di priorità, attribuendo maggiore rilievo agli studi che, in tempi sufficientemente contenuti, possano orientare e supportare le scelte strategiche in termini di prevenzione e di intervento. E' stata data maggiore priorità a studi che possono condizionare le scelte strategiche in termini di prevenzione e di interventi in tempi più contenuti. Pre-requisito per la realizzazione di studi di alta qualità è l'integrazione tra discipline diverse (epidemiologia, tossicologia, clinica, conoscenze ambientali) e il potenziamento delle esperienze collaborative che in Italia hanno dato risultati rilevanti.

Vengono formulate le seguenti proposte per lo sviluppo di programmi di sorveglianza epidemiologica.

**Sorveglianza epidemiologica degli effetti del PM<sub>10</sub>, del PM<sub>2.5</sub>, delle polveri ultrafini, e delle componenti del particolato nelle città italiane.** E' necessario un progetto collaborativo di monitoraggio prospettico degli effetti a breve termine sulla salute umana. E' indispensabile la caratterizzazione del particolato in termini di dimensioni e di composizione (su base giornaliera) nelle grandi città italiane attraverso la integrazione e il coordinamento delle Agenzie ambientali regionali. Nello stesso periodo di tempo devono essere raccolti in forma standardizzata le informazioni giornaliere relative alla mortalità, ai ricoveri ospedalieri, ai ricorsi al pronto soccorso e ai vari fattori di confondimento per una analisi integrata.

**Valutazione dei fattori di suscettibilità individuale.** Per ragioni di sanità pubblica è estremamente importante caratterizzare il rischio sanitario ed individuare le persone particolarmente suscettibili agli effetti dell'inquinamento ambientale. L'età, il genere, lo stato sociale, la presenza di patologie preesistenti sono tutti elementi che devono essere analizzati attraverso l'integrazione delle basi dati sanitarie per meglio individuare strategie di prevenzione individuale.

**Valutazione dell' impatto sanitario ed economico dell'inquinamento e monitoraggio a seguito dei programmi di intervento.** Le stime dell'impatto sanitario ed economico dell'inquinamento ambientale devono essere continuamente aggiornate sulla base degli scenari prevedibili e delle modifiche del quadro ambientale a seguito della attivazione di programmi di intervento.

**Effetti sui neonati e nei primi anni di vita.** La maggior parte delle conoscenze sugli effetti a breve e a lungo termine dell'inquinamento sono relative ai bambini sopra i 6 anni e agli adulti. Poco o nulla si sa invece su quali siano gli effetti durante la gravidanza e nei primi anni di vita, periodo di maggiore suscettibilità agli agenti inquinanti. E' opportuno coinvolgere clinici, medici operanti nel campo della sanità pubblica ed epidemiologici per studiare la relazione tra ambiente e salute dei bambini, come sta accadendo negli Stati Uniti, con il National Children's Study (NCS), un grande studio di coorte di nuovi nati che verranno seguiti per parecchi anni in rapporto con le esposizioni ambientali.

**Valutazione della relazione quantitativa tra concentrazioni rilevate alle centraline di monitoraggio ed esposizione individuale ad inquinanti outdoor per diversi settori della popolazione.** Al momento solo indicazioni sommarie sono disponibili sulla rappresentatività delle concentrazioni rilevate dalle centraline di monitoraggio rispetto alle esposizioni individuali. Una migliore caratterizzazione è oltremodo importante e deve prevedere campionamenti di popolazione a seconda dell'età, dello stato di salute e delle attività quotidiane. Il progetto deve considerare gli inquinanti di origine outdoor e deve comprendere le grandi città già sede degli studi epidemiologici. L'elevata mobilità di gran parte della popolazione ed il numero di ore passate in ambiente indoor (abitazione, luoghi di lavoro, negozi, ritrovi ecc.) rendono comunque complessa una stima accurata dell'esposizione effettiva con la sola misura degli inquinanti presenti all'esterno. Risulta pertanto necessario approfondire anche la conoscenza dell'inquinamento indoor.

**Valutazione del ruolo delle condizioni climatiche durante il periodo primaverile estivo.** Studi epidemiologici hanno segnalato un maggiore effetto del PM<sub>10</sub> durante il periodo aprile-settembre. Le ragioni di questo maggiore effetto vanno approfondite in rapporto alle diverse caratteristiche degli inquinanti e anche della possibile combinazione di PM<sub>10</sub>, Ozono ed alta temperatura.

**Studi di coorte per valutazioni a lungo termine.** La gran parte delle evidenze sugli effetti a lungo termine sulla mortalità derivano dagli studi condotti negli Stati Uniti. Le esperienze Europee sono modeste e nessuno studio è stato condotto in Italia. E' auspicabile un progetto a lungo termine che arruoli coorti di popolazione generale con una raccolta esaustiva dei dati di esposizione e dei fattori confondimento per un follow-up a lungo termine. Si tratta di un progetto impegnativo che deve essere integrato con le iniziative a livello europeo. Le risorse necessarie sono ingenti e deve essere costruita la necessaria infrastruttura per lo sviluppo di lungo periodo.

**Studi sui meccanismi fisiopatologici e tossicologici che possono spiegare gli effetti riscontrati in studi epidemiologici.** Deve essere potenziata la ricerca di tipo clinico e tossicologico in modo da completare le conoscenze sui meccanismi di azione degli inquinanti ambientali.

## Introduzione

Il fenomeno dell'inquinamento atmosferico è in gran parte connesso al nostro modello di sviluppo economico e sociale. Le diverse tipologie di combustione utilizzate per autotrazione, per attività domestiche e per la produzione industriale, danno luogo ad una serie di inquinanti allo stato gassoso particellare o vapore che possono presentare un notevole impatto sulla salute umana e destano preoccupazione anche a causa del notevole numero di esposti che si vengono a determinare in aree nelle quali si accentrano le attività ed è alta la densità abitativa. L'inquinamento urbano rappresenta oggi il problema principale sia dal punto di vista ambientale che sanitario, considerato che circa l'80% della popolazione vive nelle aree urbane ed in esse si concentrano la gran parte delle attività antropiche potenzialmente inquinanti.

A seguito della trasformazione degli impianti di riscaldamento domestici, delle innovazioni motoristiche, del contenimento delle emissioni applicando le migliori tecniche disponibili e al miglioramento della qualità dei combustibili, si è registrata una riduzione nelle concentrazioni in aria di alcuni dei principali inquinanti tradizionali. Nel corso degli anni però la tipologia dell'inquinamento è cambiata e attualmente la maggiore attenzione è rivolta ai problemi posti dalle polveri fini (termine di uso corrente per indicare le polveri  $PM_{10}$ ), stagionalmente dall'ozono, e limitatamente ad alcune aree dal biossido di azoto.

Tra i vari fattori di rischio ambientale le polveri fini ( $PM_{10}$ ) si presentano a livello mondiale come gli inquinanti più problematici, sia per le loro caratteristiche di inquinanti anche secondari (in parte si formano da composti precursori per effetto di reazioni chimiche che avvengono in atmosfera), sia perché spesso collegati a fattori meteorologici su cui è difficile se non impossibile intervenire (vedi la pianura Padana). In considerazione delle diverse fonti di emissione le particelle presentano una composizione chimica e una distribuzione dimensionale variabile. Di particolare rilevanza sanitaria appare il loro contenuto in Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e metalli (Piombo, Cadmio, Nichel, Arsenico, Vanadio, Cromo) in considerazione della loro tossicità e, per alcuni di essi, della accertata o probabile cancerogenicità. Le dimensioni e la densità delle particelle ne influenzano la persistenza in atmosfera, con tempi di residenza che aumentano da poche ore a settimane in funzione della diminuzione delle dimensioni del diametro aerodinamico.

Nel presente documento viene preso in considerazione il rapporto esistente tra inquinamento dell'aria dei centri urbani, con particolare riferimento al parametro  $PM_{10}$ , e la salute umana.

L'interesse nella valutazione di tale fattore ambientale è determinato prioritariamente dalla considerazione che:

- gli inquinanti atmosferici determinano effetti sulla popolazione generale indipendentemente dalla volontà del singolo individuo;
- la gravità degli effetti sulla salute umana, sia a breve che a lungo periodo, è direttamente proporzionale alla concentrazione degli inquinanti e al tempo e/o modalità di esposizione;
- la loro associazione con altri fattori di rischio, sia comportamentali che ambientali, può rafforzare considerevolmente l'entità dei singoli rischi.

Livelli di inquinamento atmosferico elevati, oltre ad essere rischiosi per la salute umana, appesantiscono in modo rilevante i bilanci delle collettività, a livello sia locale, sia nazionale. Gli effetti sulla salute devono, infatti, essere computati fra le numerose voci di spesa inerenti la sanità, la mobilità, l'assenza dal lavoro o da scuola e, non ultimo, il monitoraggio e il recupero ambientale delle realtà stesse. Oggi è ormai consolidato il concetto della necessità della prevenzione primaria, che, nel corso degli ultimi anni, ha prodotto numerosi risultati positivi, sia nel campo della salute umana, sia nel campo ambientale propriamente detto.

## Parte I. Il Carico di malattia

### 1.1. Effetti sulla salute

#### 1.1.1. Caratteristiche e aspetti tossicologici del $PM_{10}$

Le polveri sospese sono costituite da una miscela di particelle allo stato solido o liquido che varia molto in dimensione, origine e composizione. Il materiale particellare aerodisperso può essere sia di origine primaria, cioè emesso direttamente nell'atmosfera, che avere origine secondaria, cioè essere formato in atmosfera a partire da specie gassose attraverso reazioni chimiche omogenee o eterogenee. In funzione delle dimensioni le particelle possono essere soggette a un trasporto a lunga o breve distanza.

Le principali sorgenti naturali di particelle aerodisperse primarie in Europa sono rappresentate dallo *spray* marino e dalla risospensione dal suolo anche se nelle regioni mediterranee un contributo importante può essere fornito dal trasporto a lunga distanza delle polveri sahariane, dalle emissioni vulcaniche, dagli incendi boschivi o di materiali vegetali.

Le principali sorgenti antropogeniche primarie di particelle aerodisperse sono rappresentate da:

- gli scarichi dei prodotti di combustione dei motori diesel e benzina;
- gli impianti di riscaldamento che utilizzano combustibili diversi dal metano;
- gli impianti industriali (centrali termo-elettriche, impianti di incenerimento dei rifiuti, industrie di produzione dell'acciaio, cementifici ecc.);
- la risospensione della polvere stradale;
- le attività costruttive e manutentive in ambiente urbano;
- l'attrito e quindi il consumo di materiali rotabili, dischi dei freni ecc.

In considerazione delle diverse fonti di emissione le particelle presentano una composizione chimica e una distribuzione dimensionale variabile. Di particolare rilevanza sanitaria appare il loro contenuto in idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e metalli (Piombo, Cadmio, Nichel, Arsenico, Vanadio, Cromo) in considerazione della loro tossicità e, per alcuni di essi, della accertata o probabile cancerogenicità.

Le dimensioni e la densità delle particelle ne influenzano la persistenza in atmosfera, con tempi di residenza che aumentano da poche ore a settimane in funzione della diminuzione delle dimensioni del diametro aerodinamico. Riguardo alle dimensioni si possono definire delle classi che possono riflettere le caratteristiche delle particelle riguardo a composizione, origine, meccanismi di diffusione, reattività nell'atmosfera, effetti sulla salute (UNI ISO 7708, 1998, (direttiva UE 1999/30/EC)).

Il diametro aerodinamico viene definito come: Il diametro di una sfera di densità unitaria con la stessa velocità terminale della particella sotto l'azione della forza gravitazionale in aria calma nelle stesse condizioni di temperatura pressione e umidità relativa.

La frazione inalabile viene definita come: la frazione in massa delle particelle aerodisperse totali che viene inalata attraverso il naso e la bocca.

La frazione toracica viene definita come: La frazione in massa delle particelle inalate che penetra oltre la laringe, la frazione respirabile viene definita come: La frazione in massa delle particelle inalate che penetra nelle vie respiratorie non ciliate.

Il  $PM_{10}$  viene definito come: la frazione di materiale particellare sospeso in aria ambiente che passa attraverso un sistema di separazione in grado di selezionare le particelle con diametro aerodinamico di  $10\ \mu m$ , con una efficienza di campionamento pari al 50% (DM 60/02).

Il  $PM_{2,5}$  viene definito come: la frazione di materiale particellare sospeso in aria ambiente che passa attraverso un sistema di separazione in grado di selezionare le particelle con diametro aerodinamico di  $2,5\ \mu m$ , con una efficienza di campionamento pari al 50% (DM 60/02).



Le particelle che si rilevano nell'ambiente sono generalmente comprese in un intervallo dimensionale tra 0,01 e 100  $\mu\text{m}$ ; per queste le denominazioni che vengono adottate sono: "ultrafine" per l'intervallo dimensionale tra 0,01 e 0,1  $\mu\text{m}$ , "fine" per l'intervallo dimensionale tra 0,1 e 2,5  $\mu\text{m}$  e di "coarse" (grossolane) per quelle nell'intervallo dimensionale tra 2,5 e 100  $\mu\text{m}$ . Tuttavia nell'uso corrente da molti viene usato il termine "polveri fini" per indicare le polveri  $\text{PM}_{10}$ .

Le polveri fini ed ultrafini hanno una elevata proprietà di penetrare negli ambienti chiusi e vengono trasportate anche a lunga distanza. Rappresentano un inquinante ubiquitario e diffuso in modo uniforme nelle realtà urbane.

Il  $\text{PM}_{10}$  è dunque una complessa miscela di elementi metallici e composti chimici organici ed inorganici (Tab.1) dotati di differente tossicità per l'uomo, quando individualmente considerati, e che possono avere tra loro un'azione sinergica.

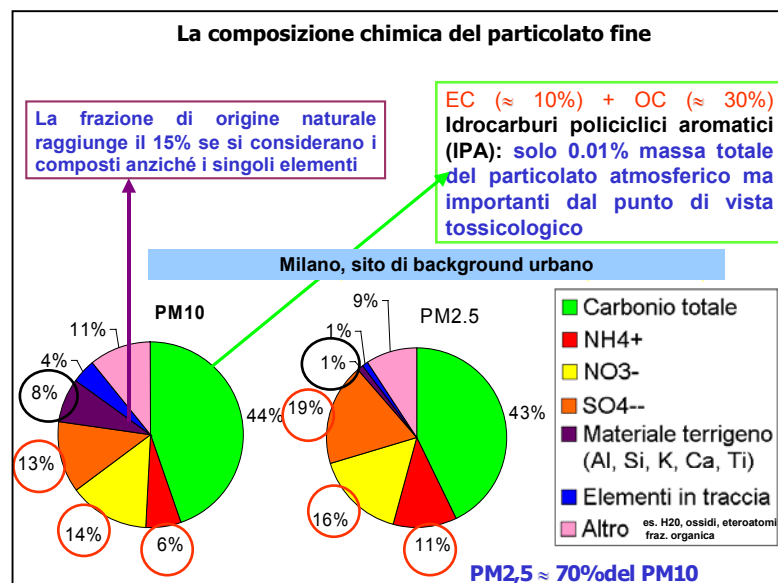


Tabella 1

Nelle singole realtà, in funzione di caratteristiche di tipo geologico, orografico, climatico, o più semplicemente legate allo sviluppo industriale, si possono determinare condizioni di inquinamento diverse con potenziali effetti specifici sulla salute.

La tabella 2 riassume i principali costituenti del polveri sospese ed il loro potenziale effetto biologico.

**Tabella 2. Effetti biologici delle principali componenti chimiche del particolato (modificata da Summer 2005 Research Agenda, Health Effects Institute -<http://www.healtheffects.org/RFA/RFA2005.pdf>).**

Metalli	ferro, vanadio, nichel, rame, platino, e altri	Possono innescare infiammazione, effetti cardiovascolari, causano danni al DNA e alterano la permeabilità cellulare inducendo la produzione di ROS -specie reattive dell'ossigeno - (in particolare radicali liberi idrossilici) nei tessuti
Composti organici	molti sono adsorbiti sulle particelle; alcune specie organiche volatili o semivolatili formano particelle esse stesse	Alcuni possono causare mutazioni, alcuni possono causare il cancro; altri possono agire come irritanti e possono indurre reazioni allergiche; i composti volatili sono anche importanti nella fotochimica dell'ozono
Composti di origine biologica	virus, batteri e loro endotossine (lipopolisaccaridi), residui animali e vegetali (quali frammenti di polline), e spore funginee	I pollini delle piante possono innescare risposte allergiche nelle vie aeree di soggetti sensibili; i virus, i batteri e le endotossine batteriche possono provocare risposte infiammatorie nelle vie aeree
Ioni	solfati <sup>a</sup> (generalmente ammonio solfato), nitrati <sup>b</sup> (generalmente ammonio o sodio nitrato), e acidità (H <sup>+</sup> )	L'acido solforico a concentrazioni relativamente alte può alterare la clearance mucociliare e aumentare la resistenza delle vie aeree in soggetti con asma; l'acidità può cambiare la solubilità (e la disponibilità) di metalli e di altri composti adsorbiti sulle particelle
Gas reattivi	perossidi e aldeidi	Possono essere adsorbite sulle particelle sospese ed essere trasportati nelle più basse vie respiratorie causando danni
Nucleo particellare	materiale carbonioso	Il carbonio induce irritazione dei polmoni, proliferazione delle cellule epiteliali e fibrosi in seguito ad esposizione a lungo termine

<sup>a</sup> Formatati a partire da vapore di acido solforico, che è generato dall'ossidazione del biossido di zolfo emesso attraverso la combustione di carburanti contenenti zolfo, quali quelli usati per i veicoli e per le centrali elettriche (a petrolio e a carbone).

<sup>b</sup> Formatati a partire da vapore di acido nitrico, che è generato nell'atmosfera da reazioni di ossidi di azoto.

### ***1.1.2. Aspetti epidemiologici del PM<sub>10</sub>***

Le conseguenze sulla salute dell'esposizione a polveri sospese sono riconducibili ad effetti acuti e cronici. Gli effetti acuti (morte, aggravamento di sintomi respiratori e cardiaci in soggetti malati,

infezioni respiratorie acute, crisi di asma bronchiale, disturbi circolatori ed ischemici) si manifestano nella popolazione in risposta alle variazioni di breve periodo (oraria o giornaliera) nella concentrazione degli inquinanti. Gli effetti di tipo cronico si presentano come conseguenza di una esposizione di lungo periodo e comprendono sintomi respiratori cronici quali tosse e catarro, diminuzione della capacità polmonare, bronchite cronica e tumore polmonare. Entrambi i tipi di effetti possono comportare una diminuzione nella speranza di vita ed un aumento nella mortalità generale.

#### *Effetti a breve termine*

Un eccesso statisticamente significativo di morti per cause naturali associato ad eccessi degli indicatori di inquinamento, emerge coerentemente dagli studi effettuati in diversi paesi e in aree diverse all'interno dello stesso studio. Per il PM<sub>10</sub>, gli studi ad oggi condotti non sono riusciti a mettere in evidenza un effetto soglia (ovvero una concentrazione di inquinante al di sotto della quale non si rilevano effetti sanitari).

L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha recentemente completato una meta-analisi quantitativa di questi studi al fine di ottenere delle stime sintetiche sul rischio di effetti a breve termine per l'esposizione a PM<sub>10</sub> ed Ozono (Anderson HR et al, 2004). Questo programma di ricerca è parte del progetto WHO "Systematic review of health aspects of air pollution in Europe", che è finanziato dalla Comunità Europea ed è finalizzato a fornire elementi conoscitivi per il programma "Clean Air For Europe (CAFE)". Per avere un'idea della quantità di studi ad oggi disponibili, basta dire che il progetto di revisione ha individuato 629 studi ecologici di serie temporali e 160 studi su base individuale o di pannello, dei quali, rispettivamente 286 (11700 stime di effetto) e 124 (6400 stime di effetto) hanno fornito dati utilizzabili per la metanalisi. I risultati dell'analisi meta-analitica, basata solo sugli studi con disegno confrontabile, mostrano che per ogni incremento di 10 µg/m<sup>3</sup> del PM<sub>10</sub> si osserva un aumento della mortalità pari allo 0.6% (95%CI=0.4-0.8%) e tali stime sono simili o più elevate per la mortalità cardiovascolare e respiratoria (Tabella 1).

**Tabella 1. Stima di incremento nei rischi di mortalità per tutte le cause e per le cause respiratorie e cardiovascolari, associati ad un aumento di 10 µg/m<sup>3</sup> nella concentrazione atmosferica di PM<sub>10</sub>**

<i><b>Evento</b></i>	<i><b>Età</b></i>	<i><b>% aumento nel rischio (95% C.I.)</b></i>
Mortalità tutte le cause	Tutte le età	0.6 (0.4-0.8) Stima basata su 33 studi europei
Mortalità cause respiratorie	Tutte le età	1.3 (0.5-2.2) Stima basata su 18 studi europei
Mortalità cause cardiovascolari	Tutte le età	0.9 (0.5-1.3) Stima basata su 17 studi europei

Fonte: Anderson HR et al. Meta-analysis of time series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O3). Report of a WHO task group. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2004 (<http://www.euro.who.int/document/e82792.pdf>).

La associazione tra concentrazione di inquinanti e frequenza giornaliera nei ricoveri ospedalieri è stata analizzata con i metodi delle serie temporali come per la mortalità. La gran parte degli studi condotti negli anni '90 ha evidenziato una associazione tra inquinamento da polveri e ricoveri per cause respiratorie sia negli adulti sia nei bambini (Schwartz, 1996; Anderson et al, 1997; Burnett et al, 1997; Spix et al, 1998; Sheppard et al, 1999). Molte indagini hanno anche valutato i ricorsi al pronto soccorso per asma, broncopneumopatia cronica ostruttiva e altri disordini respiratori (Sunyer et al, 1993; Lipsett et al., 1997; Atkinson et al, 1999), e altre indagini epidemiologiche hanno osservato una associazione con le malattie dell'apparato cardiovascolare (Poloniecki et al, 1997; Schwartz, 1999; Burnett et al., 1999). L'Organizzazione Mondiale della Sanità nella sua recente meta-analisi quantitativa degli studi europei sulle serie temporali (Anderson et al, 2004), sulla base di 8 studi europei, ha stimato un aumento di rischio per i ricoveri per cause respiratorie tra gli

anziani (65+ anni) pari allo 0.7% (95%CI=0.2-1.3%) per un incremento di 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel livello di  $\text{PM}_{10}$ . Sei delle otto stime di rischio utilizzate provengono dal progetto APHEA (Atkinson et al., 2001). Per quanto riguarda le altre 2 classi di età considerate nella meta-analisi (0-14 e 15-64 anni), erano disponibili 3 soli studi (Atkinson et al., 1999; Bremner et al., 1999; Michelozzi et al., 2000), riferiti ad una popolazione complessiva di più di 10 milioni di abitanti. Le stime di rischio osservate in questi studi hanno consentito di stimare un aumento rischio relativo di ricovero per cause respiratorie pari a 1.010 (0.998-1.021, 0-14 anni) e a 1.008 (1.001-1.015, 15-64 anni) per ogni incremento di 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel livello di  $\text{PM}_{10}$ .

Uno studio molto recente (MISA 2), non incluso nella meta-analisi dell'OMS, relativo al contesto nazionale, mostra risultati sulla mortalità e i ricoveri a breve termine del tutto compatibili con le stime internazionali, mostrando variazioni quantitative tra città e città dell'effetto dell'incremento unitario di inquinante (Biggeri et al., 2005 - vedi *"il contributo degli studi italiani"*).

Sono molto numerosi gli studi epidemiologici che hanno anche valutato l'associazione tra variazione giornaliera dei sintomi respiratori o della funzione polmonare e inquinamento atmosferico sia in popolazioni di asmatici sia in gruppi di popolazione generale. Il grado di associazione osservato è risultato maggiore per i sintomi di interessamento bronchiale specie nei soggetti asmatici. Per questi ultimi si è registrato un aumento dell'uso dei broncodilatatori. Osservazioni negli Stati Uniti hanno messo in evidenza un aumento delle giornate lavorative perse (Ostro, 1989, 1990) tra gli adulti o dei giorni di scuola tra i bambini (Roemer et al., 1998) per effetto dell'inquinamento ambientale. Nelle valutazioni dell'effetto sulla funzione polmonare, si è osservato una diminuzione dei valori spirometrici con un tempo di latenza dall'esposizione fino a 7 giorni.

Per quanto riguarda le polveri sospese, la recente meta-analisi dell'OMS (Anderson et al, 2004), sulla base di 3 studi di pannello (2 studi olandesi e di uno studio francese), ha riportato una stima combinata di rischio relativo per sintomi respiratori tra adulti sintomatici (16-70 anni) pari a 1.043 (1.005 - 1.084) per incrementi di 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel livello di  $\text{PM}_{10}$ . La stessa meta-analisi, tuttavia, non evidenzia associazioni significative tra i livelli atmosferici di particolato e i sintomi respiratori nei bambini, o il ricorso a medicinali (bambini e adulti).

#### *Effetti a lungo termine ed effetti cancerogeni*

Sul tema degli effetti a lungo termine sono stati condotti primi tentativi negli anni '80 valutando i differenziali di mortalità in relazione ai livelli di inquinamento in aree geografiche diverse (Archer, 1990). Uno dei primi studi che ha generato un grande interesse scientifico sugli effetti a lungo termine dell'inquinamento atmosferico è quello condotto nella Repubblica Ceca che ha riscontrato una forte associazione tra concentrazione ambientale di polveri e mortalità infantile (Bobak, 1992). Tali studi, tuttavia, non potevano tenere conto in modo accurato di altri possibili ed importanti determinanti della mortalità. L'approccio più adeguato per studiare effetti a lungo termine dell'esposizione ad inquinanti atmosferici è quello di seguire nel tempo coorti di popolazione residenti in aree geografiche con livelli diversi di inquinamento disponendo di informazioni accurate sui più importanti fattori individuali che regolano la speranza di vita (es. fumo, peso corporeo) e studiare nel tempo la loro mortalità. Tre studi di coorte di questo tipo sono stati condotti negli Stati Uniti (Dockery et al., 1993; Abbey et al., 1999; Pope et al 2002), mentre ad oggi sono disponibili solo due indagini nel contesto europeo (Hoek et al, 2002; Nafstad et al., 2003).

I tre studi di coorte americani hanno coerentemente dimostrato un aumentato rischio di morte per cause cardiovascolari e respiratorie e per cancro polmonare parallelo all'esposizione nel corso della vita alla componente particolata dell'inquinamento atmosferico. Dockery et al. (1993) hanno studiato la mortalità di 8111 adulti residenti in sei città degli Stati Uniti durante il periodo 1974-91.

Per ciascuna città erano disponibili dati di inquinamento atmosferico dal 1977 al 1988. A livello individuale, erano state raccolte informazioni su diversi potenziali confondenti (sexo, età, abitudine al fumo, livello di istruzione ed esposizione professionale a polveri, fumi o gas). I residenti nelle città con concentrazioni medie annuali più elevate di materiale particolato con diametro  $\leq 2.5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) mostravano, rispetto ai residenti nelle città con livelli inferiori di inquinamento, eccessi di mortalità per tutte le cause, per malattie cardiorespiratorie e per tumore del polmone. La seconda indagine consiste in uno studio di coorte su 6338 adulti non fumatori residenti in California, appartenenti alla comunità degli Avventisti del Settimo Giorno, seguiti dal 1977 al 1992 (Abbey et al., 1999). Veniva calcolato un indicatore di esposizione cumulativa individuale, ottenuto moltiplicando le concentrazioni medie mensili di alcuni inquinanti atmosferici ( $\text{PM}_{10}$ , anidride solforosa [ $\text{SO}_2$ ], biossido di azoto [ $\text{NO}_2$ ] e ozono [ $\text{O}_3$ ]) rilevate nelle diverse aree urbane per il tempo trascorso da ciascun individuo in una determinata area geografica (definita in base al codice postale), per ragioni residenziali o professionali. E' stata riscontrata una associazione tra inquinanti derivanti dai prodotti di combustione e mortalità generale, per cause respiratorie e per tumore polmonare tra i maschi. Nello studio di Pope et al (2002) è stata stimata l'esposizione individuale a  $\text{PM}_{2.5}$  di 500.000 adulti, seguiti per 16 anni. E' emerso un aumento del 6%, statisticamente significativo, del rischio di morte per un incremento di  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di  $\text{PM}_{2.5}$ . Il corrispondente aumento per il rischio di morte per malattie cardiovascolari era del 12%. E' emerso inoltre un aumento del 6%, statisticamente significativo, del rischio di morte sviluppare un cancro polmonare nel corso della vita per un incremento di  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di  $\text{PM}_{2.5}$ . Queste stime tengono conto di una serie di fattori di confondimento, compresa massa corporea, esposizioni professionali e consumo di tabacco. Entrambi gli studi di coorte europei hanno prodotto risultati statisticamente significativi. Il primo ha dimostrato un raddoppio della mortalità per malattie cardiopolmonari non neoplastiche nei residenti in vicinanza di strade ad elevato traffico. Il secondo ha dimostrato un eccesso del 36% di incidenza del cancro polmonare per un incremento di  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di concentrazione di  $\text{NO}_2$ .

La coerenza di questi risultati con quelli di studi condotti su gruppi professionalmente esposti a gas di scarico della nafta (come tassisti, guidatori di autobus e di camion, poliziotti ecc. ) consente di affermare che con ogni probabilità l'esposizione all'inquinamento atmosferico urbano è cancerogena per l'uomo. Gli studi su gruppi professionali esposti esclusivamente o prevalentemente ai gas di scarico di motori a benzina sono invece poco numerosi e poco conclusivi, sebbene sia difficile separare il ruolo delle esposizioni ad emissioni di motori diesel e a benzina. Le evidenze relative agli effetti degli inquinanti nell'aumentare il rischio di tumore sono state ampiamente documentate (Lagorio et al., 2000; Krzyzanowski et al., 2005). In breve si può sostenere che i risultati dei più recenti studi di coorte sui residenti nelle aree metropolitane degli Stati Uniti (Dockery et al., 1993; Pope et al., 1995; Abbey et al., 1999; Pope et al., 2002) hanno rafforzato l'ipotesi che l'inquinamento atmosferico abbia un ruolo nell'eziologia del tumore polmonare, specialmente in associazione con altri noti fattori di rischio quali il fumo di sigaretta e alcune esposizioni professionali. Alcuni studi epidemiologici, infine, hanno suggerito un'associazione tra leucemia infantile e inquinamento da traffico. Se questa associazione dovesse essere confermata, l'esposizione a benzene potrebbe rilevarsi il fattore più importante.

Molti studi hanno valutato anche l'associazione tra esposizione cronica ad inquinanti e malattie o sintomi respiratori (Abbey et al., 1995; Dockery et al., 1989; Dockery et al., 1996; Forastiere et al., 1992; Peters et al., 1999) o funzione polmonare (Forastiere et al., 1994; Ackermann-Liebriek et al., 1997; Raizenne et al., 1996). Sono stati associati in modo più frequente con l'inquinamento ambientale i segni di bronchite, come la tosse e il catarro cronico, mentre più controversi sono i risultati per quanto riguarda l'asma bronchiale.

*Conoscenze sui sottogruppi di popolazione suscettibili*

Negli ultimi anni si sono accumulate evidenze che indicano negli anziani, nei soggetti malati, e in generale nelle classi socioeconomiche svantaggiate i gruppi di popolazione a più alta vulnerabilità agli effetti dell'inquinamento atmosferico. In particolare, per le persone con condizioni di salute più compromesse come i malati di patologie cardiache e respiratorie, l'esposizione ad inquinanti atmosferici peggiora la prognosi e aumenta la probabilità di morte. Per quanto riguarda il particolato atmosferico, è stato chiarito che rischi più elevati sono soprattutto a carico di soggetti diabetici, asmatici, con insufficienza respiratoria (BPCO) e con pregresse patologie cardiovascolari.

Un'altra categoria a maggior rischio per gli effetti dell'inquinamento atmosferico è rappresentata dai bambini. Una recente rassegna sulle conseguenze dell'inquinamento atmosferico nei bambini (WHO, 2005) giudica come sostanziale il grado di evidenza concernente gli effetti avversi sulla salute infantile e sulla gravidanza e valuta che vi è sufficiente evidenza per assumere una relazione causale tra esposizione a polveri sospese e mortalità infantile nel periodo post-natale. Analogo giudizio di associazione causale viene espresso per la relazione tra polveri sospese e ozono ed esacerbazione dell'asma, e per la relazione tra livelli di particolato e aumenti nella prevalenza/incidenza di tosse e bronchiti nei bambini. Il documento dell'OMS riporta, inoltre, che la vulnerabilità infantile all'inquinamento atmosferico è associata, innanzitutto, al fatto che, a differenza degli adulti, i bambini presentano processi attivi di accrescimento polmonare e di sviluppo, incompletezza dei sistemi metabolici, immaturità del sistema immunitario, alto tasso di infezioni da patogeni respiratori, e specifici (più elevati) pattern di attività. Questi fattori possono verosimilmente portare, a parità dei livelli ambientali sperimentati dagli adulti, ad una più elevata esposizione dei bambini agli inquinanti atmosferici e ad una più elevata dose degli stessi nei polmoni. Inoltre, l'efficienza dei sistemi di detossificazione presenta un pattern temporale specifico durante lo sviluppo prenatale and postnatale dei polmoni che in parte spiega l'incremento di suscettibilità dei bambini all'inquinamento atmosferico in periodi critici dello sviluppo.

#### *Il contributo degli studi Italiani*

La comunità scientifica italiana partecipa in modo sostanziale alla produzione di conoscenze riguardo gli effetti dell'inquinamento atmosferico. L'Italia ha partecipato ai grandi studi Europei APHEA e HEAPSS. Tra i principali contributi vanno innanzitutto ricordati i risultati del progetto MISA "Metanalisi Italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico" (Biggeri et al, 2001; Biggeri et al, 2004). L'indagine è stata condotta in due fasi: otto città (7 milioni di abitanti) sul periodo 1990-99 nella prima fase e 15 città (9 milioni di abitanti) sul periodo 1996-2002 nella seconda fase. Lo studio ha valutando la relazione tra serie giornaliere nei livelli degli inquinanti atmosferici (Polveri -  $PM_{10}$  -, biossido di azoto, anidride solforosa, ossido di carbonio, ozono) e nel numero di eventi sanitari rilevanti quali la mortalità (totale, cause cardiache, cause respiratorie) e i ricoveri ospedalieri (cause cardiache e respiratorie). Nella prima fase dello studio si è osservata una associazione statisticamente significativa fra ciascuno degli inquinanti studiati e ciascuno degli indicatori sanitari considerati. Fa eccezione l'ozono, che è risultato associato con la mortalità totale e cardiovascolare e con i ricoveri per cause respiratorie. I risultati della seconda fase dello studio continuano ad evidenziare incrementi di rischio significativi per gli esiti sanitari studiati e mostrano un aumento dello 0.6% e dello 0.3% della mortalità giornaliera per tutte le cause naturali in relazione ad un incremento di  $10 \mu g/m^3$  nella concentrazione di  $NO_2$  e di  $PM_{10}$ , e di un incremento del 1.2% per aumenti di  $mg/m^3$  nel CO. Tale rilievo riguarda anche la mortalità per cause cardiorespiratorie e i ricoveri per malattie cardiache e respiratorie, e vi è una forte evidenza che, per ciascuno degli inquinanti, le variazioni in percentuale della mortalità e dei ricoveri ospedalieri siano più elevate nella stagione calda.

Per il  $PM_{10}$ , lo studio MISA ha mostrato risultati del tutto compatibili con le stime internazionali mostrando variazioni quantitative tra città e città dell'effetto dell'incremento unitario di inquinante. Parte di queste variazioni esprimono fluttuazioni e/o diversità nella precisione delle misure

ambientali. Parte probabilmente sono invece espressione di diversità di interazione con le variabili meteorologiche e con lo stile di vita (si pensi ad esempio al diverso tempo passato all'aria aperta tra i residenti in Italia settentrionale e meridionale).

Risultati recenti relativi alla città di Roma (Forastiere et al, 2005), nell'ambito del progetto HEAPSS, hanno messo in rilievo il contributo importante dell'inquinamento atmosferico sulla morte improvvisa coronarica. Nello studio condotto nel periodo 1998-2000, la concentrazione ambientale di  $PM_{10}$ , di CO e di polveri ultrafini (particle number concentration) era associata in modo statisticamente significativo con la morte cardiaca in persone che non erano state in grado di raggiungere l'ospedale. L'effetto era più marcato nella popolazione sopra i 65 anni, nelle persone con un pregresso ricovero per ipertensione o broncopneumopatia cronica ostruttiva.

Un altro importante studio italiano multicentrico è rappresentato dal progetto SIDRIA "Studi italiani sui disturbi respiratori nell'infanzia", che afferisce ad progetto internazionale (ISAAC), e i cui risultati della seconda fase sono stati recentemente pubblicati (Galassi et al., 2005). Lo studio valuta la prevalenza e della distribuzione geografica dei disturbi respiratori e delle malattie allergiche nella popolazione infantile in relazione alla diffusione di numerosi fattori di rischio. La seconda fase di questo studio, realizzato in 13 aree metropolitane del nord, del centro e del sud Italia nel 2002 (1994-95 nella prima fase), ha coinvolto circa 20.000 bambini di 6-7 anni e 16.000 adolescenti di 13-14 anni frequentanti 410 scuole selezionate in 9 regioni italiane. La rilevazione dei dati, attraverso questionari standardizzati, è stata molto complessa, ma ha avuto una rispondenza elevata. In relazione all'inquinamento atmosferico urbano, i risultati principali indicano un aumento – tra il 50 e il 100%- del rischio di bronchite, catarro e sibili bronchiali nei bambini residenti in aree con elevato traffico, soprattutto in relazione al transito di camion. Poiché l'inquinamento atmosferico è un fenomeno complesso, che coinvolge numerosi composti chimici dannosi, è verosimile immaginare che le polveri sospese rappresentino l'indicatore che in modo più coerente si associa agli effetti sanitari dell'inquinamento dell'aria. Sebbene gli effetti sulla salute evidenziati in relazione agli indicatori di traffico siano piccoli, data l'elevata percentuale di soggetti esposti e la frequenza di queste patologie riscontrata in età pediatrica in SIDRIA, il numero di casi attribuibili è elevato tra le popolazioni che sperimentano gli attuali livelli di inquinamento atmosferico (Berti et al., 2005). Infatti, i risultati di SIDRIA mostrano che il 60% dei soggetti inclusi nello studio risiede in zone altamente trafficate, e che circa il 9% dei disturbi respiratori nei bambini (7% negli adolescenti) è attribuibile alla residenza in prossimità di strade ad elevato traffico veicolare (Forastiere et al., 2005).

## **1.2 Aspetti critici della conoscenza scientifica**

### ***1.2.1 La rilevanza della composizione e dimensione del particolato***

Come già indicato l'inquinamento da particolato fine comprende una miscela di particelle allo stato solido o liquido che varia in dimensione, origine e composizione. I dati attualmente disponibili mostrano come il  $PM_{2,5}$  in ambiente urbano sia circa il 60 – 80% del  $PM_{10}$  e che il  $PM_1$  sia circa il 90% del  $PM_{2,5}$ . Tali rapporti variano da sito a sito in funzione delle sorgenti presenti e della preponderanza di PM di origine secondaria.

Essendo il PM una miscela eterogenea di sostanze, risulta indispensabile approfondire la conoscenza della composizione del particolato delle diverse tipologie di sito (background urbano, traffico, rurale), orientata ad individuare le componenti più importanti dal punto di vista sia tossicologico che fisiopatologico. Ciò stimola riflessioni rispetto all'opportunità di utilizzare le singole componenti del PM come indicatore dei diversi effetti sulla salute umana, piuttosto che la concentrazione totale: solfati e nitrati, essendo composti irritanti possono agire sugli effetti a breve

termine, mentre gli IPA, alcuni dei quali cancerogeni, agiscono sulla probabilità di incidenza delle patologie a lungo termine.

Attualmente, dopo aver posto l'attenzione in maniera sempre più approfondita sulla determinazione e caratterizzazione del particolato  $PM_{10}$  e, con minore enfasi sul  $PM_{2.5}$ , l'attenzione della comunità scientifica internazionale si sta spostando verso frazioni granulometriche inferiori  $PM_1$ ,  $PM_{0.1}$ , il particolato ultrafine, dal momento che è ormai assodato che gli effetti sanitari delle polveri sono inversamente proporzionali alle loro dimensioni. Il  $PM_{0.1}$  può penetrare molto profondamente nelle vie respiratorie e, addirittura, passare direttamente nel sangue a livello polmonare. Il particolato ultrafine rappresenta una grandissima parte del *numero delle particelle* presenti in atmosfera, ma una porzione minuscola della massa complessiva di particolato sospeso. Di conseguenza per questo inquinante assume particolare rilievo *la misura della concentrazione numerica (numero di particelle per unità di volume) rispetto alla sola misura della concentrazione di massa*. Considerata perciò l'estrema rilevanza sanitaria delle polveri ultrafini, si presenta con forza la necessità di passare dalla misura della concentrazione di massa a quella numerica, anche perché studi sulla composizione chimica di  $PM_{0.1}$  hanno mostrato che esso ha un'origine sia primaria (principalmente carbonio organico) che secondaria (nitrati).

Studi epidemiologici hanno dimostrato robuste associazioni tra inquinamento da particolato ed effetti avversi sulla salute, in particolar modo per le componenti maggiormente suscettibili della popolazione, come gli anziani ed i bambini, con patologie preesistenti a carico dell'apparato respiratorio e cardiovascolare. Da alcuni anni argomenti teorici e studi sperimentali sugli animali e sull'uomo indicano che la componente più tossica si trova nella frazione sotto  $1\ \mu m$  ( $PM_1$ ), e più probabilmente in particelle attorno a  $0.1\ \mu m$  di diametro,  $PM_{0.1}$ . Gli studi epidemiologici hanno trovato maggiori effetti avversi per il  $PM_{2.5}$  che per il  $PM_{10}$ .

Le principali correlazioni riguardano gli effetti a carico del sistema respiratorio e cardiaco, specialmente in anziani e bambini, dove causano esacerbazione di patologie preesistenti. Questi effetti acuti avvengono anche a concentrazioni relativamente basse, e sono associati anche a particelle di composizione relativamente innocua (carbonio organico, ammonio, solfato e nitrato). Si è quindi supposto un meccanismo patogenetico che non è più basato sul peso del particolato inalato ma sul numero, meglio sulla superficie disponibile a reagire nell'epitelio dei bronchioli terminali e degli alveoli.

Si ritiene che sia proprio la maggiore area superficiale di tali particelle all'origine della loro maggiore attività, pur potendo esse essere costituite da materiali di tossicità intrinseca relativamente bassa. Una spiegazione a ciò è stata fornita ipotizzando che le particelle ultrafini causino stress ossidativo, ritenendo infatti che sia proprio la superficie del particolato ad essere fonte di specie reattive dell'ossigeno. Studi in vitro, effettuati con particelle di carbon black fini ed ultrafini hanno in effetti dimostrato come siano queste ultime a mostrare un'attività ossidativa superiore. A contribuire agli effetti esercitati da tali particelle è inoltre il loro elevato grado di deposizione polmonare, quando esse sono inalate come particelle singole, piuttosto che come aggregati ed il fatto che esse possono eludere la sorveglianza dei macrofagi potendo raggiungere gli interstizi polmonari.

### ***1.2.2. Le basi biologiche del danno e la suscettibilità individuale all'inquinamento atmosferico***

La conoscenza dei meccanismi patogenetici alla base dell'azione dannosa dell'inquinamento atmosferico è tuttora limitata. Gli studi epidemiologici di tipo classico, analitici o ecologici, sebbene consentano di individuare soggetti o gruppi di soggetti a più elevata vulnerabilità, non permettono di comprendere la base biologica della variabilità del rischio nelle popolazioni umane. Appare evidente che occorre dunque realizzare studi che integrino la metodologia epidemiologica con



quella della ricerca in campo biochimico e tossicologico, al fine di comprendere le modalità di interazione tra fattori biologici ed ambientali nel determinare gli effetti sanitari dell'inquinamento atmosferico. Solo di recente, e per effetto dell'enorme stimolo fornito dai risultati degli studi epidemiologici, si sono moltiplicate le indagini di tipo sperimentale o clinico per spiegare i complessi meccanismi biologici che sono alla base dell'effetto lesivo degli inquinanti, in particolare le polveri. È semplice riconoscere che il sistema respiratorio è la sede primaria del danno (con meccanismi di tipo ossidativo ed infiammatorio), ma di recente l'interesse si è spostato sull'apparato cardiovascolare, in particolare sui meccanismi che regolano il ritmo cardiaco ((Pope et al., 1999b; Peters et al., 1999; Liao et al., 1999; Pope et al., 1999c; Gold et al., 2000) o la viscosità plasmatica (Peters et al., 1997). Seaton (1995) ha infatti ipotizzato che le particelle ultrasottili possano provocare infiammazione polmonare con il rilascio di citochine tossiche per l'apparato cardiovascolare e conseguente aumento della viscosità plasmatica. Recentemente Stone e Godleski (1999) hanno suggerito l'importanza di alterazioni nel controllo della frequenza e della variabilità del battito cardiaco da parte del sistema nervoso autonomo – alterazioni associate all'esposizione a particolato atmosferico – come meccanismo alla base dell'associazione tra esposizione a particolato e mortalità per cause cardiache. Tutte queste ipotesi necessitano tuttavia di essere confermate e/o chiarite.

### ***1.2.3.L'impatto sulla salute della prima infanzia***

Il grado di evidenza che i bambini rappresentino un sottogruppo di popolazione suscettibile agli effetti dell'inquinamento atmosferico è sufficientemente suffragato dall'accumularsi di evidenze scientifiche, soprattutto epidemiologiche (WHO, 2005). D'altra parte, un numero maggiore di ricerche devono essere indirizzate alla miglior comprensione del ruolo degli inquinanti atmosferici e delle loro interazioni con i fattori di suscettibilità individuale nei bambini. Inoltre, è necessario comprendere il ruolo dell'esposizione a inquinanti atmosferici nelle diverse fasi di sviluppo in relazione alla comparsa di patologie che possono manifestarsi in successivi periodi della vita. E' verosimile, ad esempio, che alcuni degli effetti cronici registrati in età adolescenziale e/o adulta abbiano la loro origine nelle esposizioni sperimentate durante l'infanzia.

Un aspetto che necessita di approfondimenti conoscitivi è la verifica dell'associazione tra inquinamento dell'aria e basso peso alla nascita, ritardo nell'accrescimento uterino e nascite premature. Un ulteriore elemento critico è che la maggior parte dei sintomi delle alte e basse vie respiratorie studiati nei bambini sembrano essere accompagnati da infezioni di natura mista, prevalentemente virale, e molti dati sembrano suggerire un significativo aumento di rischio di infezioni respiratorie causate da esposizioni di lungo periodo a inquinanti atmosferici. Un consistente corpo di evidenze supporta l'ipotesi che molto del carico di mortalità e morbosità tra i bambini associato all'inquinamento atmosferico sia attribuibile ad interazioni con infezioni respiratorie, che sono molto frequenti nell'infanzia. C'è ad esempio una bassa evidenza per un'associazione causale tra prevalenza/incidenza di asma e livelli di inquinamento atmosferico in generale, sebbene l'esacerbazione dell'asma sia significativamente associata alla residenza in prossimità di alto traffico veicolare.

Recenti studi suggeriscono che l'inquinamento atmosferico possa agire aumentando la sensibilizzazione allergica nei soggetti geneticamente suscettibili, fornendo così una plausibilità al ruolo di effetti potenzialmente dannosi degli inquinanti aerei nell'eziologia delle patologie polmonari pediatriche, inclusa l'asma. Il possibile meccanismo biologico di questi effetti rimane tuttavia da essere chiarito attraverso specifiche attività di ricerca (WHO, 2005; Pediatrics, 2004).

Sebbene ci siano relativamente pochi studi che valutano gli effetti di una riduzione dell'inquinamento atmosferico sulla salute dei bambini, le evidenze disponibili depongono a favore

di una riduzione nei ricoveri ospedalieri per problemi respiratori, nella prevalenza di bronchiti e di infezioni respiratorie e in un miglioramento della funzionalità respiratoria in seguito a diminuzioni nei livelli di esposizione a inquinanti atmosferici. Inoltre, nonostante gli studi indichino effetti sulla salute di modesta entità, data l'elevata percentuale di soggetti esposti e l'elevata frequenza di patologie riscontrata in età pediatrica, l'impatto sanitario dell'inquinamento atmosferico, in particolare quello associato al traffico veicolare, risulta elevato e tale da far prevedere considerevoli benefici nella salute dei bambini (WHO, 2005). D'altra parte, è necessario indirizzare la ricerca futura verso la realizzazione di studi multidisciplinari per chiarire il ruolo di specifici inquinanti dell'aria nell'incidenza di patologie e sintomi respiratori nell'infanzia, le loro interazioni con altri fattori di rischio ambientali (infezioni virali, allergeni), con la dieta e con i fattori genetici e metabolici. In particolare, la variazione nel tempo dell'efficienza dei sistemi di detossificazione durante le fasi di sviluppo polmonare infantile è un aspetto che merita maggiore considerazione per la sua influenza sulla suscettibilità all'inquinamento atmosferico.

#### **1.2.4. Gli effetti a lungo termine**

E' noto che gran parte delle evidenze scientifiche relative agli effetti a lungo termine derivino dai grandi studi condotti negli Stati Uniti. In particolare, la coorte dell'American Cancer Society (Pope et al, 2002) fornisce le indicazioni più importanti e i parametri utili per le stime di impatto. Gli studi in Europa sono limitati alle due iniziative condotte rispettivamente in Olanda e in Norvegia. Nella attuale situazione vi è dunque una grande carenza conoscitiva sulla presenza di effetti a lungo termine nella realtà dell'Europa del Sud che per condizioni climatiche e stili di vita può presentare specificità che devono essere evidenziate.

### **1.3. Le stime di impatto dell'inquinamento atmosferico nella popolazione italiana**

#### **1.3.1. Valutazione critica delle stime disponibili**

Il Centro Europeo Ambiente e Salute di Roma dell'Organizzazione Mondiale della Sanità nel giugno 2000 ha completato uno studio sull'impatto dell'inquinamento atmosferico urbano nelle 8 maggiori città italiane (Galassi et al., 2000). Sono stati raccolti ed analizzati i dati disponibili sulle concentrazioni di inquinanti nelle città di Torino, Genova, Milano, Bologna, Firenze, Roma, Napoli e Palermo per un totale di 8.5 milioni di abitanti. La stima dell'impatto sulla salute si è basata sulle concentrazioni medie di  $PM_{10}$  nel periodo 1998-99 nelle 8 città. Lo studio ha considerato la mortalità a lungo termine ed altri effetti a medio e breve termine osservati nel corso di un anno (1998), come i ricoveri ospedalieri, i casi di bronchite acuta e gli attacchi d'asma nei bambini. Tutte le città presentavano concentrazioni di  $PM_{10}$  superiori all'obiettivo di qualità dell'aria pari, dal 01.01.99, a  $40 \mu g/m^3$ . In particolare sono state calcolate le morti, i ricoveri ospedalieri ed i casi di malattia potenzialmente prevenibili abbattendo le concentrazioni medie di  $PM_{10}$  a  $30 \mu g/m^3$ . Per la mortalità per tutte le cause (escluse cause accidentali) fra la popolazione di oltre trenta anni si stima che il 4.7% di tutti i decessi osservati nel 1998, pari a 3472 casi, sia attribuibile al  $PM_{10}$  in eccesso di  $30 \mu g/m^3$ . Ovvero, riducendo il  $PM_{10}$  ad una media di  $30 \mu g/m^3$  si potrebbero prevenire circa 3.500 morti all'anno nelle 8 città. Per gli altri effetti considerati si sono ottenute stime di migliaia di ricoveri per cause respiratorie e cardiovascolari e decine di migliaia di casi di bronchite acuta e asma fra i bambini al di sotto dei quindici anni che potrebbero essere evitati riducendo le concentrazioni medie di  $PM_{10}$  a  $30 \mu g/m^3$ .

Anche lo studio MISA2, sebbene finalizzato allo studio degli effetti a breve termine in relazione a vari inquinanti atmosferici, ha fornito delle stime di impatto sulla popolazione che non si discostano di molto da quelle emergenti dallo studio MISA-1. L'impatto complessivo sulla mortalità per tutte le cause naturali è compreso tra l'1.4% ed il 4.1% per gli inquinanti gassosi ( $NO_2$  e CO). Più imprecisa è la valutazione per il  $PM_{10}$ , a causa delle differenze delle stime di effetto tra le città in studio (0.1%;3.3%). Comunque, va rilevato che i limiti fissati dalle direttive europee per il 2010, se

applicati, avrebbero contribuito a evitare circa 900 decessi (1.4%) per il PM<sub>10</sub> e 1400 decessi per l'NO<sub>2</sub> (1.7%) nell'insieme delle città considerate.

Anche la valutazione di impatto effettuata nell'ambito del progetto europeo APHEIS (Medina et al., 2004), considerando che si basano su città, popolazioni e condizioni ambientali diverse, non sono molto divergenti da quelle prodotte da MISA2. Il primo studio, infatti, calcola che si potrebbero prevenire circa 2500 decessi annui se si fossero posti i limiti delle direttive europee a 20 µg/m<sup>3</sup> per il PM<sub>10</sub> (36 milioni di abitanti nelle 23 città studiate, pari a 7.2 decessi per centomila persone/anno); MISA2 stima un numero pari a 721 decessi prevenibili su 7.5 milioni di abitanti nelle 11 città italiane per le quali erano disponibili le serie di PM<sub>10</sub> e mortalità (pari a 9.6 decessi per centomila persone/anno). Le valutazioni di impatto rimangono consistenti anche quando i confronti vengono effettuati a livello internazionale. Le conclusioni di MISA2, infatti corrispondono a quelle delle rianalisi riguardanti le 100 città nordamericane e le 21 città europee degli studi NMMAPS e APHEA (Biggeri et al., 2004). Nella seguente tabella vengono riportate le variazioni percentuali per incrementi di 10 µg/m<sup>3</sup> della concentrazione del PM<sub>10</sub> sulla mortalità generale nelle città afferenti ai tre studi.

	MISA2 (Italia, 11 città)	APHEA-2 (Europa 21 città)	NMMAPS (Stati Uniti 100 città)
<b>Variazione %</b>	0.31	0.41	0.19
PM <sub>10</sub> mediano	46.2	40.0	27.1
Temp. mediana	15.5	13-15	14.5
Lag	0-1	0-1	1

Fonte: MISA2 -Biggeri et al., 2004

Infine il programma “Clean Air for Europe” (CAFE) dell'Unione Europea, ha di recente stimato che in Italia alle emissioni di PM<sub>2.5</sub> del 2000 possa essere attribuibile una perdita media di 8.6 mesi di attesa di vita (range nei 15 paesi europei compreso tra 3.1 in Finlandia e 13.6 in Belgio). A tale stima corrisponde un numero di decessi attribuibile all'inquinamento atmosferico dell'ordine di decine di migliaia di casi (CAFE, 2005). In particolare, i risultati dello studio mostrano che l'attuazione delle politiche previste dalla Comunità Europea per ridurre le emissioni di polveri sospese, potranno salvare da qui al 2020 3,2 mesi di vita per la popolazione dell'Unione Europea e 3,4 mesi di vita per la popolazione italiana. Ciò equivale ad evitare 80000 morti premature e a salvare più di un milione di anni di vita nei paesi della UE; in Italia questo significa circa 12.000 morti premature in meno e 170.000 anni di vita in più (vedi: WHO Regional Office for Europe – Press Release EURO/08/05 at [http://www.epicentro.iss.it/focus/amb\\_sal/Comunicato\\_Situazione\\_italiana.pdf](http://www.epicentro.iss.it/focus/amb_sal/Comunicato_Situazione_italiana.pdf)).

Tra i principali aspetti nella valutazione critica delle stime di impatto, va rilevato che molti studi si basano su effetti a breve termine, mentre è più difficile valutare adeguatamente gli effetti cronici da esposizioni pregresse. Questa considerazione, tuttavia è semmai legata più ad una sottostima, piuttosto che ad una sovrastima delle valutazioni di impatto. Infatti, avendo la possibilità di studiare effetti cronici quali quelli tumorali, dato il numero di cancerogeni chimici tra gli inquinanti atmosferici, è verosimile aspettarsi un incremento nelle stime complessive di impatto sulla salute.

Interventi mirati al contenimento dell'inquinamento atmosferico avrebbero ricadute importanti in termini di salute e di costi socio-economici. A tal riguardo, sulla base delle stime di impatto fornite dal progetto CAFE, è stato valutato che l'implementazione delle politiche esistenti relative alla riduzione delle emissioni, determinerebbe anche importanti risparmi economici. Nella UE, con la diminuzione della mortalità legata alla riduzione del PM fino all'anno 2020, si stima che si avrebbe un vantaggio monetario annuo compreso tra i 58 e i 161 miliardi di euro, mentre con la diminuzione delle malattie dovute al PM si risparmierebbero intorno ai 29 miliardi di euro l'anno. In Italia le cifre relative oscillerebbero da 9 a 23 miliardi di euro l'anno e fino a 5 miliardi di euro l'anno, rispettivamente. Calcolando insieme il costo degli anni di vita persi, si arriverebbe a risparmiare

fino a 28 miliardi di euro l'anno (vedi: WHO Regional Office for Europe – Press Release EURO/08/05 at [http://www.epicentro.iss.it/focus/amb\\_sal/Comunicato\\_Situazione\\_italiana.pdf](http://www.epicentro.iss.it/focus/amb_sal/Comunicato_Situazione_italiana.pdf)).

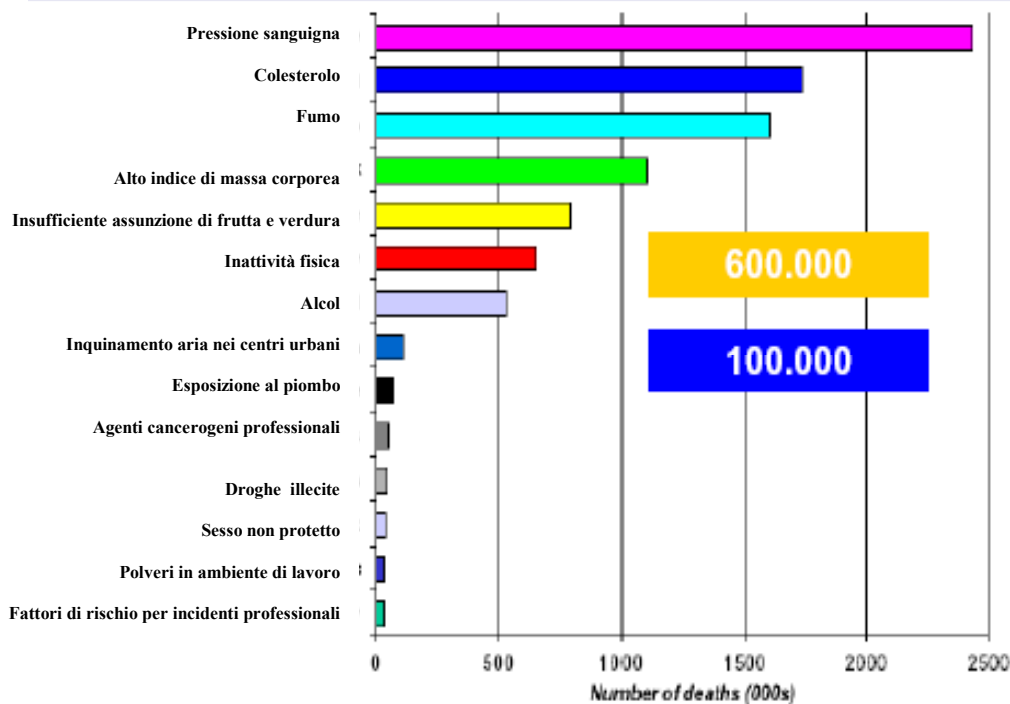
azioni di risanamento. A tal riguardo, sarebbe opportuno effettuare un aggiornamento delle stime man mano che l'implementazione delle politiche di risanamento ambientale inducono delle modifiche del quadro ambientale. Tale valutazione di impatto e dei possibili futuri scenari dovrebbe inoltre accompagnarsi ad una attenta valutazione dell'impatto economico.

### 1.3.2.L'impatto dell'inquinamento nel contesto di altri fattori di rischio per la salute

Un importante elemento da considerare nella gestione dei rischi da inquinamento atmosferico riguarda la scelta dei criteri da adottare per definire le priorità in campo sanitario/ambientale; in altre parole su quale base si deve operare in modo da individuare i fattori di rischio per la salute sui quali concentrare quote rilevanti delle risorse disponibili?

La non volontarietà dell'esposizione, la gravità degli effetti, la forza, la significatività e la plausibilità biologica delle associazioni sono aspetti fondamentali, che aiutano il decisore nel definire adeguati piani di intervento sanitario. Un altro fattore concerne la prevalenza dell'esposizione. A tal riguardo effetti gravi quali l'insorgenza di tumori maligni ad alto tasso di letalità possono avere un impatto relativamente basso sulla salute, in termini sanitari, se l'esposizione all'agente che li determina è molto rara. Al contrario effetti relativamente meno comuni (bassi rischi) possono avere un impatto notevole sulla collettività nel caso in cui essi siano associati ad esposizioni molto comuni. In quest'ultima circostanza, un parametro epidemiologico utile agli organi decisionali, la cui stima necessita però di dati non sempre disponibili, è la frazione eziologica; essa rappresenta la proporzione di casi attribuibili ad un fattore di rischio che, in linea di principio, sarebbero evitabili nella popolazione attraverso una completa rimozione del fattore di rischio stesso.

Nel grafico sottostante è riportato un confronto tra gli indici di rischio associati a diversi fattori.



Source: WHR 2002

source WHSS 2002

Numero di morti (in migliaia)

Gli studi epidemiologici integrati dalle osservazioni cliniche e sperimentali hanno permesso di individuare i principali fattori in grado di esercitare effetti sulla salute umana. Tali fattori sono generalmente distinti nei seguenti tre grandi gruppi: genetici, ambientali e comportamentali. Inoltre i diversi fattori interagiscono tra loro, sia all'interno del proprio gruppo, che fra i differenti gruppi determinando, in tal modo, numerose modificazioni che spesso, per il prevalere di condizioni negative, possono determinare il passaggio dallo stato di benessere a quello di malattia. Numerose evidenze scientifiche hanno permesso di individuare negli stili di vita, nell'esposizione professionale e nell'esposizione ambientale i principali fattori di rischio favorenti l'insorgenza di molte malattie neoplastiche. La quota maggiore della mortalità generale per malattie croniche (cardiovascolari, respiratorie e neoplastiche) è però attribuita ad alcuni specifici fattori legati agli stili di vita (quali ad esempio il fumo di tabacco), per tali fattori è ben conosciuto il loro ruolo ed è anche stimato l'indice del rischio. Generalmente per l'insorgenza di una malattia cronica non esiste un unico fattore di rischio, ma spesso è necessaria l'interazione di due o più fattori, che esercitano sull'organismo un effetto cumulativo e sinergico, per favorire o determinare l'effetto neoplastico. Per esempio per quanto riguarda le malattie cardiovascolari i fattori di rischio sono numerosi e di diversa entità, i principali sono: il fumo di sigaretta, il diabete, l'obesità, l'ipertensione, l'elevata colesterolemia e la scarsa attività fisica; altri fattori, di secondo ordine, sono: l'inquinamento atmosferico, la familiarità, l'età e il sesso. Quando in un individuo alcuni di tali fattori sono presenti contemporaneamente, la loro combinazione aumenta notevolmente la probabilità di insorgenza della malattia.

## **Parte II. Le azioni e le raccomandazioni**

### **2.1. Azioni in corso volte a contenere l'inquinamento atmosferico**

In conformità a quanto previsto dalla normativa vigente le autorità competenti in materia (le Regioni e le Province autonome) hanno in generale presentato i piani e i programmi di risanamento laddove sono stati registrati superamenti dei limiti più il margine di tolleranza. Tali piani comprendono una molteplicità di azioni strutturali e non.

### **2.2. Raccomandazioni su cosa fare per diminuire l'esposizione della popolazione nella pianificazione degli interventi di contenimento dell'inquinamento atmosferico.**

Si ritiene utile evidenziare alcuni aspetti importanti anche dal punto di vista sanitario, nell'ambito delle possibili azioni di contenimento dell'inquinamento atmosferico, senza tuttavia entrare nel dettaglio dei singoli interventi.

#### *Azioni sulla qualità dei combustibili*

Verificare preventivamente la formazione di eventuali sottoprodotti della combustione (aldeidi, 1,3 butadiene, IPA, nitroIPA, metalli pesanti, ecc.) in relazione all'introduzione di nuovi combustibili spesso definiti bio, o eco senza i necessari approfondimenti. Infatti attenzione va posta non solo agli inquinanti convenzionali già normati, ma anche ad eventuali altre sostanze emesse durante il processo di combustione.

#### *Azioni sul traffico per una mobilità sostenibile*

I provvedimenti sul traffico e sulla mobilità sostenibile sono molteplici e possono comprendere le seguenti azioni:

- limitazione della circolazione per una riduzione delle emissioni che comprenda anche le fonti abrasione, usura, risolleamento (indipendenti dalla classificazione Euro del veicolo),
- interventi di educazione ambientale e sanitaria che disincentivino l'uso del mezzo privato a favore del mezzo pubblico e che promuovano l'attività fisica delle persone (utilizzo delle bicicletta, camminate, ecc..)
- limitazione della circolazione dei mezzi pesanti e diesel in prossimità di scuole e di luoghi frequentati da bambini
- rispetto dei limiti di velocità (riduzione di velocità massima) in autostrada e fluidificazione del traffico nelle aree urbane
- introduzione delle migliori tecnologie disponibili per limitare (filtrare) le emissioni dei motori diesel in circolazione in assenza dei quali limitarne gradualmente la circolazione, in particolare in ambiente urbano
- politica fiscale che disincentivi comunque la diffusione degli autoveicoli diesel e favorisca le autovetture a combustibili gassosi (GPL, metano, idrogeno) in particolare per il trasporto pubblico
- sostenere lo sviluppo di motori elettrici per l'uso in aree urbane
- incentivazione per una rapida sostituzione dei motocicli con motore a 2 tempi (anche i motori a 2 tempi classificati "Euro" provocano emissioni elevate di aerosol di idrocarburi, lubrificanti e loro sottoprodotti di parziale combustione particolarmente critici dal punto di vista tossicologico)
- porre particolare attenzione all'introduzione di nuove tecnologie che possono ridurre la quantità totale di particolato, ma aumentare il numero di particelle ultrafini.

#### *Azioni sugli impianti di riscaldamento*

Ridurre ulteriormente le emissioni dagli impianti termici civili, limitando l'impiego di oli combustibili, carboni, biomasse, nell'ambito dei piani di risanamento tranne che in impianti

asserviti a reti di teleriscaldamento, purchè dotati di sistemi di abbattimento degli inquinanti. L'uso di olio combustibile, carbone, biomasse comporta infatti l'emissione in aria di inquinanti particolarmente critici dal punto di vista igienico-sanitario oltre che di NO<sub>x</sub> ed SO<sub>2</sub> in quantitativi più elevati rispetto a gas e gasolio.

Migliorare ulteriormente le caratteristiche merceologiche del gasolio da riscaldamento (ridurre la presenza di S max da 2.000 a 50 ppm come per il gasolio autotrazione).

Nel rinnovo delle caldaie a metano e gasolio favorire quelle a bassa emissione specifica di NO<sub>x</sub>.

Diffondere la contabilizzazione del calore negli impianti condominiali centralizzati.

Diffusione del teleriscaldamento e di nuove tecnologie (pompe di calore).

#### Azioni sull'inquinamento industriale

In sede di applicazione della normativa IPPC adozione della migliore tecnologia disponibile in settori industriali considerati dalla normativa.

#### Azioni su attività agrozootecniche e utilizzo delle biomasse

Acquisire maggiori conoscenze sulle emissioni connesse all'utilizzo della legna e di biomasse e delle emissioni dirette di polveri fini e ammoniaca dalle attività agrozootecniche.

#### Informazione ed educazione

Tutti i cittadini dovrebbero poter accedere facilmente a informazioni chiare e comprensibili riguardo l'impatto dell'inquinamento atmosferico sulla loro salute per poter fare delle scelte sui propri comportamenti. Le autorità pubbliche devono rendere conto ai cittadini delle proprie azioni garantendo la trasparenza e permettendo al pubblico di essere meglio informato attraverso iniziative di sensibilizzazione.

In Italia va promosso un coordinamento adeguato tra chi gestisce le informazioni sulle concentrazioni degli inquinanti ambientali, chi si occupa di salute pubblica, chi si occupa di ricerca epidemiologica e tossicologica, chi deve prendere decisioni a livello nazionale e locale.

La normativa vigente sulla qualità dell'aria prevede delle azioni specifiche per l'informazione da fornire alla popolazione. Esse rappresentano un minimum da arricchire, eventualmente, con indicazioni particolari e specifiche per tipologie di eventi, anche di tipo locale e per specifiche fasce di popolazione.

Si riporta di seguito un elenco, indicativo e non esaustivo, di raccomandazioni su comportamenti che possono ridurre e/o diminuire l'esposizione della popolazione.

#### *Comportamenti individuali di salvaguardia della salute*

In linea generale esistono una serie di comportamenti che se attuati o evitati permettono di ridurre i rischi per la salute connessi alle alte concentrazioni di inquinanti atmosferici.

- Evitare l'attività fisica (jogging, uso della bicicletta, ecc.) nelle aree a maggior rischio di inquinamento da polveri fini (sottili) (l'esercizio fisico aumentando la frequenza respiratoria può causare un aumento della assunzione inalatoria e quindi l'introduzione di sostanze inquinanti nei polmoni fino a 10 volte rispetto la situazione di riposo. Non ritenersi protetti dagli inquinanti con l'utilizzo delle comuni mascherine che non sono in grado di trattenere né i gas, né le polveri fini)
- Va considerato che i bambini possono essere maggiormente esposti rispetto agli adulti nel caso di vicinanza di sorgenti a bassa quota quali gli scarichi di autoveicoli, (Evitare di tenere i bambini ad un'altezza di 30 – 50 centimetri dal suolo (livello a cui avvengono la maggior parte delle emissioni dei veicoli a motore), utilizzando invece per il loro trasporto carrozzine, passeggini e zaini di altezza adeguata;) evitare inoltre esposizioni all'aria aperta

non necessarie nelle giornate ad alto inquinamento e in zone nelle quali la concentrazione di traffico autoveicolare è particolarmente intensa

- In auto azionare gli impianti di ricircolo dell'aria durante il transito in aree urbane inquinate
- Evitare che le prese d'aria dei condizionatori vengano ubicate su vie di intenso traffico veicolare o in prossimità di camini (impianti di riscaldamento, impianti di condizionamento, sistemi di areazione di locali, forni per cottura alimenti)
- Evitare, nei periodi estivi di elevata presenza di ozono, esposizioni esterne nelle ore più calde della giornata soprattutto per le persone anziane, per i bambini e limitare in tali periodi attività fisica all'aperto
- Ricordare che la presenza di malattie respiratorie e cardiache (anche lievi come l'influenza e la bronchite) amplifica gli effetti sulla salute di tutti gli inquinanti; in queste situazioni le raccomandazioni sopra elencate dovranno essere rispettate con maggiore attenzione.

### *Comportamenti virtuosi per contribuire al miglioramento della qualità dell'aria*

Durante i periodi di criticità che coincidono in particolare con le giornate invernali fredde e con cielo sereno, è utile che la popolazione attui una serie di azioni volontarie volte alla limitazione delle emissioni, con l'obiettivo di fornire un ulteriore contributo alla limitazione delle concentrazioni in atmosfera e limitare le esposizioni prolungate a livelli elevati di polveri fini.

- Rispettare rigorosamente i divieti relativi al blocco totale o parziale
- Utilizzare preferibilmente i mezzi pubblici, evitando il più possibile il proprio mezzo (sia auto che moto), in particolare se diesel
- Utilizzare in modo condiviso l'automobile, per diminuire il numero dei veicoli circolanti.
- Effettuare verifiche periodiche agli scarichi dei veicoli (verifiche aggiuntive a quella obbligatoria del bollino blu), sia di auto che di moto e motorini e soprattutto per i veicoli non catalizzati e in particolare quelli diesel.
- Limitare le temperature nelle abitazioni ad un massimo di 20°C ((generalmente non superare i 18°C nelle camere da letto ed i 20°C negli altri locali) e rispettare gli orari di accensione degli impianti.
- Evitare di riscaldare box, magazzini ed altri locali non abitati.
- Revisionare periodicamente gli impianti termici degli ambienti confinati.
- Arieggiare periodicamente i locali di abitazione per evitare ristagni di aria e accumulo di inquinanti, limitare l'utilizzo di combustioni (candele, incenso, fumogeni anti zanzare, ecc.) non strettamente necessarie. Evitare il consumo di sigarette, in particolare negli ambiente chiusi e nelle vicinanze di altre persone
- Massima attenzione allo spegnimento di motori di autobus, pullman e veicoli merci e passeggeri durante le soste prolungate, in particolare nelle zone abitate.
- Non riscaldare i motori da fermo ma partire subito con guida a moderata velocità
- Evitare combustioni all'aperto, in particolare nel settore agricolo e nell'edilizia o per smaltire impropriamente rifiuti urbani, rifiuti di giardinaggio, rifiuti industriali, contenitori di fitofarmaci, teli di serra, biomasse, ecc..

In tale ambito sarebbe auspicabile un massiccio ricorso ai media; l'uso appropriato di questi strumenti di comunicazione può svolgere un ruolo importante per rimuovere le barriere alla partecipazione consapevole, con l'unico limite di avere un effetto di breve durata. Pertanto, per rafforzare il messaggio l'azione dovrebbe essere pianificata ad intervalli regolari. Giornali, stazioni radio-televisive potrebbero, inoltre, offrire spazi gratuiti per la pubblicità.



### 2.3.L'adeguamento della rete di monitoraggio

Attualmente il monitoraggio ambientale e molti modelli di dispersione degli inquinanti in aria utilizzati nelle valutazioni d'impatto sono principalmente finalizzati come in tutta Europa, a monitorare la conformità con i valori limite stabiliti per legge.

I nuovi indirizzi europei ( Strategia Europea Ambiente e Salute ed il collegato Piano d'azione ambiente e salute del 2004 <sup>1</sup>) sollecitano un monitoraggio non più solo finalizzato alla *compliance* legislativa ma anche alla valutazione ed al monitoraggio dell'esposizione della popolazione e alla valutazione dell'efficacia degli interventi ambientali adottati.

*“Strategia Europea Ambiente e Salute : ....Per realizzare gli obiettivi a lungo termine di questa strategia è necessario istituire un sistema integrato di monitoraggio dell'ambiente e della salute per rilevare, in maniera sistematica e globale, i dati nel tempo..” “...“...Il valore aggiunto che apporta la "Strategia europea per l'ambiente e la salute“ proposta in questa sede è dunque lo sviluppo di un sistema comunitario che integri le informazioni sullo stato dell'ambiente, sull'ecosistema e sulla salute umana...”*

*“..L'obiettivo ultimo della strategia è quello di definire un "quadro di cause ed effetti" per l'ambiente e la salute, in grado di fornire le informazioni necessarie per elaborare una politica comunitaria sulle fonti e sulle vie di impatto dei fattori di stress (stressor) per la salute; a tal fine occorre una strategia integrata nell'ambito della politica comunitaria sullo sviluppo sostenibile...”*

Le implementazioni in corso anche a livello europeo sono improntate allo sviluppo di indicatori ambiente e salute ad hoc che consentano di "pesare" le concentrazioni di inquinanti sulla percentuale di popolazione esposta e di valutare/monitorare l'efficacia delle politiche rispetto agli effetti sulla salute e sull'ambiente.

### 2.4. Il sistema degli indicatori : il background

L'identificazione di appropriati indicatori rappresenta una tappa fondamentale nell'uso dell'informazione per fini decisionali, particolarmente nel processo di individuazione delle priorità, nella definizione degli obiettivi e nella valutazione dei risultati conseguiti.

Per operare la scelta degli indicatori ambiente e salute, o meglio la definizione di criteri mediante i quali sia possibile individuare gli indicatori che dovrebbero comporre un sistema integrato di valutazione ambientale e sanitaria, si suggerisce di applicare il criterio maggiormente condivisibile che consiste nella valutazione del “burden of disease” cioè il carico di malattia di una data popolazione attribuibile alle condizioni ambientali. In generale, per la definizione e lo sviluppo degli indicatori ambiente e salute si raccomanda di avvalersi di alcuni essenziali criteri guida (condivisi dalle principali organizzazioni internazionali) secondo i quali gli indicatori devono:

1. essere finalizzati a misurare lo stato dell'ambiente e della salute ed il loro legame;
2. essere "tarati" rispetto a obiettivi chiari e quantificabili della programmazione e a relativi target (cioè risultati attesi espressi in termini quantitativi);
3. essere espressi in una forma che faciliti l'interpretazione dei fenomeni da parte dei decisori politici e di quanti sono coinvolti nei processi decisionali al fine di supportare la pianificazione, l'orientamento e la realizzazione degli interventi, il monitoraggio dei risultati e la valutazione del livello di raggiungimento degli obiettivi fissati;
4. derivare da un processo di elaborazione che trasformi i dati di base in informazioni direttamente utilizzabili dalla popolazione target ossia dalla specifica tipologia di utenza cui gli indicatori sono diretti (decisori politici, manager, operatori, cittadini, ecc);
5. essere individuati sulla base di appropriati criteri di selezione, quali:
  - a) il peso" (*burden*)”, in termini di rilevanza e impatto, del fenomeno oggetto di interesse (ad esempio, la scelta degli indicatori di mortalità o morbosità causa-specifici potrebbe basarsi sulla valutazione del peso relativo di ogni causa rispetto al

<sup>1</sup> COM (2003) 338; COM (2004) 416

- carico complessivo di mortalità o morbosità che caratterizza un dato contesto e una data popolazione e quindi sulla scelta delle cause e dei relativi indicatori che hanno un maggior impatto su mortalità e morbosità globali);
- b) il livello di coerenza/adequatezza rispetto all'obiettivo prefissato (specificando quale è la finalità e il target dell'indicatore, chi utilizzerà l'indicatore e con quale scopo strategico e operativo);
  - e) la sensibilità e la flessibilità rispetto all'oggetto di misurazione (es. l'indicatore deve essere in grado di descrivere una "valida" relazione tra fattori ambientali ed esiti di salute, per la quale cioè esistano solide evidenze scientifiche, ma al tempo stesso deve consentire una certa elasticità nelle valutazioni, in accordo con il "principio di precauzione");
  - d) il rispetto dei seguenti criteri metodologici: validità (l'indicatore deve poter misurare ciò che vuole misurare ed essere coerente con altri indicatori ad esso correlati), sensibilità (l'indicatore deve poter registrare fedelmente i cambiamenti nel tempo e nello spazio del fenomeno oggetto di misurazione), tempestività (i tempi di produzione e diffusione degli indicatori devono essere coerenti con quelli della programmazione e della gestione), accuratezza (l'indicatore deve basarsi su dati affidabili);
6. gli indicatori devono essere ripetibili, ottenibili a costi ragionevoli, accessibili e facilmente comprensibili cioè in grado di suscitare "consenso".

### **Il sistema degli indicatori ambiente e salute - criticità e questione aperte.**

I nuovi indirizzi europei (Strategia Europea Ambiente e Salute ed il collegato Piano d'azione ambiente e salute del 2004) e paneuropei (IV Conferenza Ministri Ambiente e Salute area UNECE, Budapest 2004) sollecitano lo sviluppo di un sistema informativo integrato ambiente e salute finalizzato al supporto dei processi decisionali inerenti le tematiche d'interesse ed alla valutazione dell'efficacia delle decisioni adottate, nonché alla comparabilità delle informazioni afferenti a livello europeo.

Il sistema informativo auspicato dovrebbe aggregare le informazioni sullo stato dell'ambiente, della salute e dell'ecosistema.

Le attività di sviluppo di indicatori e sistema informativo ambiente e salute si sono implementate attraverso vari progetti europei e, sostanzialmente, su iniziativa dell'OMS della Regione Europea fin dal 1999.

Nella definizione degli aspetti costitutivi e metodologici è stato adottato il modello DPSEEA (Drivers, Pressure, State, Exposure, Effect, Actions) in analogia al modello DPSIR dei sistemi informativi ambientali in cui gli impatti vengono suddivisi in indicatori di esposizione e di effetto.

Nel 2002 è stato avviato il Progetto europeo ECOEHIS finanziato dalla Commissione e finalizzato allo sviluppo di indicatori ambiente e salute per gli Stati comunitari. Le attività progettuali hanno riguardato la selezione degli indicatori OMS compatibili con la domanda informativa richiesta dalla legislazione comunitaria e lo studio di fattibilità nazionale della loro implementazione a livello degli Stati Membri. Il progetto si è avvalso dei contributi di un gruppo di lavoro europeo costituito da rappresentanti degli Stati Membri a cui è affidato il compito di coordinamento, in qualità di National Focal Point (NFP), delle attività necessarie alla definizione degli obiettivi stabiliti.

APAT ha assolto al compito di NFP per l'Italia ed ha coordinato lo studio di fattibilità nazionale degli indicatori ECOEHIS nell'ambito del Progetto APAT Ambiente e Salute con la partecipazione di rappresentanti del Ministero dell'Ambiente e della Salute, dell'Istituto Superiore di Sanità, dell'Istituto Nazionale dei Tumori di Milano, dell'ASP Lazio e del sistema delle Agenzie Ambientali.

I risultati dello studio di fattibilità dei Paesi Membri, tra cui anche L'Italia, sono disponibili sul sito della Commissione e dell'OMS:

[http://europa.eu.int/comm/health/ph\\_projects/2002/monitoring/fp\\_monitoring\\_2002\\_frep\\_01\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/health/ph_projects/2002/monitoring/fp_monitoring_2002_frep_01_en.pdf)

[http://www.euro.who.int/EHIndicators/Methodoligy/20030527\\_5](http://www.euro.who.int/EHIndicators/Methodoligy/20030527_5)

Una prima caratterizzazione di un sistema informativo ambiente e salute e di un primo core set d'indicatori, con riferimento all'esperienza del progetto ECOEHIS dell'OMS, sono anche al vaglio della Commissione europea in sede del Consultative group on environment and health per l'implementazione del Piano d'Azione Europeo ambiente e salute.

In entrambe le attività di livello paneuropeo e comunitario l'obiettivo a medio termine è di utilizzare i dati esistenti negli attuali sistemi informativi, integrarli e renderli comparabile ed accessibili.

Lo studio di fattibilità nazionale per lo sviluppo d'indicatori nazionali ambiente e salute ha messo in evidenza, per il tema aria e salute, alcune carenze di flussi informativi del territorio e la necessità di perfezionare aspetti metodologici dei dati di qualità dell'aria disponibili per la costruzione d'indicatori d'esposizione e d'impatto.

In generale l'aggregazione delle informazioni richiesta dal modello di sistema informativo proposto ed adottato a livello europeo, è una delle questioni aperte vista l'eccessiva dispersione dei dati in diversi sistemi informativi, specie a livello territoriale, dove è ancora più frequente il problema dell'accessibilità ai dati elementari.

L'implementazione del sistema informativo integrato e degli indicatori d'esposizione e d'impatto consentirebbe la realizzazione di strumenti informativi in grado di migliorare l'informazione sull'esposizione derivata dalle reti di monitoraggio ambientale, monitorare a livello nazionale l'efficacia delle politiche sulle fonti di emissione a maggiore valenza tossicologica, misurare l'efficacia dei piani territoriali adottati in termini di impatto sulla salute e loro esternalità e, non in ultimo, fornire il supporto informativo consistente alla comunicazione ed informazione istituzionale.

La realizzazione andrà sviluppata sia a livello nazionale, per consentire una consapevolezza degli organismi centrali e per un comparabilità delle informazioni afferenti a livello comunitario, sia attraverso un network territoriale per la definizione di metodologie e criteri condivisi per l'applicazione del supporto informativo ambiente e salute nelle policy di pianificazione, programmazione e comunicazione.

### **Parte III. I Programmi per la sorveglianza epidemiologica, la ricerca e l'informazione della popolazione**

Il legame tra l'inquinamento dell'aria da polveri sottili e salute rende necessarie iniziative di prevenzione, che assumono carattere di urgenza nei centri urbani. Gli interventi di prevenzione primaria non sono ovviamente di competenza diretta del Servizio Sanitario Nazionale, ma la sanità pubblica è tuttavia chiamata ad intervenire su alcune funzioni che le competono direttamente:

1. La valutazione dei rischi e degli eventuali danni attraverso la sorveglianza epidemiologica;
2. L'informazione ai singoli e alla popolazione nel suo insieme;
3. Nella funzione di "advocacy", di sollecito e di stimolo per la riduzione dell'inquinamento alle autorità locali, regionali e nazionali.

#### ***3.1 Le priorità per la sorveglianza epidemiologica e la ricerca***

La funzione diretta più importante del SSN è senza dubbio quella della valutazione epidemiologica. E' quindi prioritario migliorare la qualità e la disponibilità delle informazioni epidemiologiche per Regioni ed ASL e migliorare la capacità di indagine epidemiologica sui rischi per la salute di origine ambientale. E' necessario perciò rafforzare, rendere più accessibili e utilizzare meglio le basi informative esistenti, che possono fornire dati sulle dimensioni dei problemi di salute, potenzialmente legati ad inquinamento ambientale, e sulle loro differenze territoriali; queste basi informative in alcuni casi rendono possibili anche approfondimenti di specifiche ipotesi di associazioni o consentono di fornire risposte ad allarmi che si diffondono nella pubblica opinione.

Nella situazione italiana esistono risorse importanti di dati, di personale e di competenze tecniche. Tale patrimonio, sapientemente valorizzato, può fornire elementi conoscitivi rilevanti sui temi individuati come prioritari.

1. Archivi dei decessi. Su tutto il territorio nazionale i dati sui decessi e le loro cause, gestiti dall'ISTAT, generano informazioni utili per identificare i principali problemi di salute nelle Regioni e nelle ASL. Accanto alle rilevazioni ISTAT, in molte realtà regionali sono presenti i Registri Nominativi delle Cause di Morte.
2. Archivi dei ricoveri ospedalieri. In tutte le Regioni italiane le ospedalizzazioni sono registrate e le cause di dimissione codificate a generare un archivio nominativo ampiamente utilizzato per studi epidemiologici.
3. Nella realtà italiana è possibile interrogare basi di dati diverse, e metterle in comunicazione, in modo da fornire un profilo dello stato di salute del cittadino.
4. Un network di istituzioni sanitarie e di centri di ricerca ha stabilito una valida collaborazione scientifica ed è stato in grado di realizzare due studi nazionali (MISA e SIDRIA) di grandi dimensioni e ampiamente informativi.

Sulla base delle conoscenze acquisite e considerando gli aspetti ancora non chiari del rapporto tra concentrazione di inquinanti e danni per la salute, sono formulate le seguenti proposte per lo sviluppo di programmi di sorveglianza epidemiologica e di ricerca in Italia. Le indicazioni generali provengono dal documento preparato dal National Research Council degli Stati Uniti sulle priorità di ricerca (NRC, 1998) e dal documento dell'OMS ( Health Effects of transport-related air pollution: summary for policy makers, WHO, 2005). Le indicazioni che emergono hanno tutte una alta priorità. Nella individuazione è stata data maggiore enfasi a studi che possono condizionare le scelte strategiche in termini di prevenzione e degli interventi in tempi più contenuti. Pre-requisito per la realizzazione di studi di alta qualità è l'integrazione tra discipline diverse (epidemiologia, tossicologia, clinica, conoscenze ambientali) e il potenziamento delle esperienze collaborative che in Italia hanno dato risultati rilevanti.

### **3.1.1. Sorveglianza epidemiologica degli effetti del PM<sub>10</sub>, del PM<sub>2.5</sub>, delle polveri ultrafini, e delle componenti del particolato nelle città italiane.**

Le evidenze disponibili sugli effetti a breve termine in Italia si fermano al 2001-2002 con lo studio MISA-2. E' chiaro che tale sistema di osservazione deve essere aggiornato in modo prospettico per gli anni successivi. Per il periodo 2003-2005 sarà possibile su base nazionale valutare l'effetto del PM<sub>10</sub>, considerando anche altre aree del Paese ed esaminando in dettaglio patologie di ricovero prima non individuate. Per quanto riguarda, tuttavia, la dimensione prospettica occorre passare da una condizione in cui i dati esistenti vengono usati per quello che sono ad un livello in cui si progetta un sistema prospettico di osservazione con lo scopo specifico di valutare i grandi interrogativi sulla dimensione/composizione del particolato. Si è già detto che la composizione chimica delle polveri è estremamente variabile: si tratta di una miscela di particelle solide e liquide costituite da pece, materiale inorganico, organico e biologico e alle quali aderiscono diversi idrocarburi policiclici aromatici. La presenza di numerosi metalli (nickel, cromo, rame, piombo, ferro, vanadio) conferisce proprietà tossiche e cancerogene variabili. Allo stato attuale delle conoscenze non sono noti in modo specifico i fattori legati alla dimensione e alla composizione chimica che sono responsabili degli effetti sanitari delle particelle sospese. In aggiunta, le caratteristiche dell'inquinamento ambientale sono in rapido cambiamento a causa delle modifiche nelle tipologie dei motori e del parco autoveicoli circolante. Anche il contributo derivante dall'inquinamento industriale è in rapida evoluzione. E' indispensabile attivare un progetto collaborativo prospettico di caratterizzazione del particolato (su base giornaliera) (dal punto di vista dimensionale e dei costituenti) nelle grandi città italiane attraverso la integrazione e il coordinamento delle Agenzie ambientali regionali. Nello stesso periodo di tempo devono essere raccolti in forma standardizzata le informazioni giornaliere relative alla mortalità, ai ricoveri ospedalieri, ai ricorsi al pronto soccorso e ai vari fattori di confondimento. L'analisi dei dati a compimento di almeno due anni di osservazione potrà fornire informazioni importanti relative alla natura degli effetti e sulle componenti dannose dal punto di vista sanitario.

### **3.1.2. Caratteristiche individuali che modificano gli effetti dell'inquinamento.**

Per ragioni di sanità pubblica è estremamente importante caratterizzare il rischio sanitario ed individuare le persone particolarmente suscettibili. L'età, il genere, lo stato sociale, la presenza di patologie preesistenti sono tutti fattori che devono essere analizzati per meglio individuare strategie di prevenzione individuale. Le basi di dati sanitarie già disponibili per il progetto di sorveglianza epidemiologica (progetto 1) possono essere utilizzate per ricostruire, attraverso record linkage di archivi individuali (ricoveri ospedalieri, uso di farmaci), profili di comorbidità di popolazione. La relazione inquinamento-esito in ogni città verrà analizzata con un modello case-crossover, in considerazione delle differenti situazioni presenti a livello nazionale (clima, composizione della popolazione, livelli di esposizione a differenti inquinanti) e degli strati di suscettibilità individuati. I risultati città specifici verranno combinati, al fine di individuare un effetto globale nazionale.

### **3.1.3. Valutazione aggiornata di impatto sanitario ed economico dell'inquinamento e modifiche a seguito dei programmi di intervento.**

Le stime di impatto disponibili si riferiscono al lavoro condotto dall'OMS per le 8 grandi città Italiane e al lavoro completato dal programma CAFE' della Unione Europea. In particolare, i risultati del programma CAFE mostrano che l'attuazione delle politiche previste dalla Comunità Europea per ridurre le emissioni di inquinanti atmosferici, potranno salvare da qui al 2020 3,2 mesi di vita per la popolazione dell'Unione Europea e 3,4 mesi di vita per la popolazione italiana. Tuttavia, occorrono delle stime più aggiornate, anche in seguito alle modifiche del quadro ambientale. Tale valutazione di impatto e dei possibili futuri scenari può accompagnarsi ad una attenta valutazione dell'impatto economico.

#### **3.1.4. Relazione quantitativa tra concentrazioni rilevate alle centraline ed esposizione individuale ad inquinanti outdoor per diversi settori della popolazione.**

Al momento solo indicazioni sommarie sono disponibili sulla rappresentatività delle concentrazioni rilevate dalle centraline di monitoraggio rispetto alle esposizioni individuali. Una migliore caratterizzazione è oltremodo importante e deve prevedere campionamenti di popolazione a seconda dell'età, dello stato di salute e delle attività quotidiane. Il progetto deve considerare gli inquinanti di origine outdoor e deve comprendere le grandi città già sede degli studi epidemiologici. L'elevata mobilità di gran parte della popolazione ed il numero di ore passate in ambiente indoor (abitazione, luoghi di lavoro, negozi, ritrovi ecc.) rendono comunque complessa una stima accurata dell'esposizione effettiva con la sola misura degli inquinanti presenti all'esterno (outdoor). Risulta pertanto necessario approfondire anche la conoscenza dell'inquinamento indoor. Studi specifici devono essere previsti per categorie di popolazione quali gli anziani e la prima infanzia.

#### **3.1.5. Ruolo delle condizioni climatiche durante il periodo primaverile estivo.**

Studi epidemiologici hanno segnalato un maggiore effetto del PM<sub>10</sub> durante il periodo aprile-settembre. Durante tale periodo si osserva anche una maggiore contaminazione da ozono e le alte temperature sono associate con una elevata mortalità. Le ragioni del maggiore effetto del PM<sub>10</sub> vanno approfondite in rapporto alle diverse caratteristiche degli inquinanti e anche della possibile combinazione di PM<sub>10</sub>, Ozono ed alta temperatura. I dati già disponibili devono essere analizzati nuovamente per rispondere ad importanti interrogativi.

#### **3.1.6. L'impatto dell'inquinamento nei primi anni di vita**

La maggior parte delle conoscenze sugli effetti a breve e a lungo termine dell'inquinamento sono relative ai bambini sopra i 6 anni e agli adulti. Poco o nulla si sa invece su quali siano gli effetti durante la gravidanza e nei primi anni di vita, periodo di maggiore suscettibilità agli agenti inquinanti. La valutazione di questo periodo della vita è di grande importanza per le indicazioni relative alla prevenzione di settori importanti di popolazione estremamente debole. E' opportuno coinvolgere clinici, medici operanti nel campo della sanità pubblica ed epidemiologi per studiare la relazione tra ambiente e salute dei bambini, come sta accadendo negli Stati Uniti, con il National Children's Study (NCS), un grande studio di coorte di nuovi nati che verranno seguiti per parecchi anni. Occorre prevedere l'arruolamento delle donne nelle prime settimane di gravidanza oppure dei bambini al momento della nascita, e il loro follow-up dal momento della nascita per diversi anni. Al momento della nascita è opportuno costruire una banca di materiale biologico e un accurato programma per la stima della esposizione individuale. Il follow-up minimo di due anni permetterà di rispondere ad interrogativi specifici sul ruolo degli inquinanti in questo periodo della vita.

#### **3.1.7. Studi di coorte per valutazioni a lungo termine.**

La gran parte delle evidenze sugli effetti a lungo termine sulla mortalità derivano dagli studi condotti negli Stati Uniti. Le esperienze Europee sono modeste e assunti quelle italiane. Dal punto di vista generale sarebbe auspicabile un progetto a lungo termine di arruolamento di coorti di popolazione generale con una raccolta esaustiva dei dati di esposizione e dei fattori confondimento per un follow up a lungo termine. Si tratta di un progetto oltremodo impegnativo ed ambizioso che potrebbe vedere l'Italia al centro della ricerca internazionale. Le risorse necessarie sono ingenti e il progetto andrebbe modulato sulla base delle disponibilità.

#### **3.1.8. Studi sui meccanismi fisiopatologici e tossicologici che possono spiegare gli effetti riscontrati in studi epidemiologici.**

Deve essere potenziata la ricerca di tipo clinico e tossicologico in modo da completare le conoscenze sui meccanismi di azione degli inquinanti ambientali.

### **3.2. Programma di informazione della popolazione**

#### Comunicazione istituzionale

Occorre orientare l'attività e gli impegni a livello delle amministrazioni centrali e del Servizio sanitario nazionale affinché sia promosso lo sviluppo di un sistema di monitoraggio e comunicazione per tutti gli utenti, effettivi e potenziali, sugli stili di vita e la prevenzione sanitaria. Ciò implica tra l'altro la necessità di:

- contribuire ad una corretta cultura della salute nel Paese;
- coinvolgere soggetti, pubblici e privati, in comuni iniziative di comunicazione ed informazione sulla salute;
- portare a regime un piano pluriennale di comunicazione istituzionale sulla salute dove trovino spazio anche le problematiche sanitarie correlate alle matrici ambientali

#### Comunicazione del rischio

La comunicazione del rischio è uno dei terreni operativi, accanto all'epidemiologia ambientale, individuati come prioritari per la cooperazione e l'integrazione tra sistema della protezione ambientale e sistema della promozione della salute.

Iniziative in tal senso sono spesso caratterizzate da frammentarietà e incompletezza degli interventi, genericità ed universalità dei messaggi, dalla tendenza di rassicurare la popolazione piuttosto che renderla consapevole dei rischi, gli interventi sono mirati quasi esclusivamente a fronteggiare l'emergenza e, infine, si rileva la mancanza di verifica dell'efficacia del messaggio informativo.

La comunicazione sui rischi e sugli eventi dannosi per la salute e l'ambiente è certamente, uno tra gli aspetti più delicati e più controversi in materia di comunicazione pubblica.

La diffusione di informazioni insufficienti o inesatte, riguardo ad un evento dannoso può distogliere i cittadini dall'intraprendere misure preventive o precauzionali, e rischia di produrre conseguenze gravi.

Le autorità responsabili ai vari livelli devono provvedere a comunicare tempestivamente l'informazione su un determinato rischio ai gruppi della popolazione potenzialmente coinvolti, in quei casi in cui la comunicazione tempestiva del rischio può ridurre o eliminare una minaccia per la salute o l'ambiente.

La comunicazione sui rischi deve mirare a fornire al pubblico potenzialmente coinvolto le informazioni più oggettive possibili sul livello reale di rischio al quale si è o si potrebbe essere esposti. Tale obiettivo, che non è sempre facilmente perseguibile a causa di numerosi ostacoli, consente di sviluppare una corretta percezione del rischio da parte della popolazione.

Le autorità pubbliche devono promuovere ogni iniziativa tesa a fornire informazioni corrette, attendibili, facilmente comprensibili, che contribuiscano a sviluppare nella popolazione una corretta percezione del rischio a cui è esposta. La comunicazione del rischio al pubblico deve fornire informazioni chiare, comprese quelle di natura tecnica, ricorrendo a termini sempre comprensibili anche dai profani, senza diminuire l'esattezza della informazione.

Se le autorità pubbliche tendono a minimizzare i rischi o i danni legati a incidenti, a attività o processi, o se nessuna informazione viene fornita al riguardo, si può creare un circolo vizioso che consolida una cattiva comunicazione e la fiducia del pubblico rischia di venire a mancare.

Se al contrario l'autorità pubblica fornisce informazioni che esagerano la visione del rischio, ciò può causare un ingiustificato trauma psicologico, che di per sé può causare effetti dannosi significativi sulla salute.

Una delle difficoltà maggiori nella comunicazione dei rischi risiede nelle situazioni in cui esistono incertezze circa il livello o la natura del rischio. In questi casi è fondamentale che la

comunicazione sui rischi rispetti pienamente il principio di precauzione e che i dubbi e le lacune nelle conoscenze siano correttamente comunicate al pubblico.

### *Indice sintetico della qualità dell'aria*

Può essere utile, per fornire alla popolazione una informazione semplice ed immediata sullo stato della qualità dell'aria, elaborare adeguati indici sintetici di qualità dell'aria, armonizzati su tutto il territorio nazionale, sulla base di strumenti ed esperienze fatte a tal fine in diversi Paesi.

Un sistema di indicatori in grado di esplicitare alla popolazione in modo semplice ed immediato il livello qualitativo dell'aria che si respira nonché il grado di rischio prende il nome di **Air Quality Index (AQI)**. Tale sistema è in grado di fornire tramite un'indicazione numerica e cromatica lo stato della qualità dell'aria e di evidenziare con assoluta immediatezza il livello di rischio per la salute dei diversi gruppi di popolazione.

L'AQI dell'E.P.A. può, se opportunamente elaborato, alla luce della normativa nazionale, rappresentare un modello di riferimento.

Viene attribuito un valore di AQI pari a 100, alla concentrazione che equivale per ogni inquinante al limite o standard per la qualità dell'aria stabilito dal *Clean Air Act*. Si considerano perciò soddisfacenti i valori di AQI inferiori a 100, mentre per valori superiori l'aria è considerata insalubre, in prima istanza per i soggetti più sensibili, a valori più elevati, per tutta la popolazione. A questo proposito è importante osservare come i valori limite siano di norma molto più elevati di quelli previsti dalle norme CE e recepiti nell'ordinamento Italiano.

Il valore giornaliero dell'AQI per una determinata area è definito dalla situazione peggiore presentata dagli inquinanti scelti, singolarmente registrati.

Ad ogni valore dell'indice è associato un colore ed una valutazione complessiva della qualità dell'aria. L'EPA ha diviso la scala di AQI in sei categorie, più alto è il valore, più elevato il pericolo per la salute.

Per esempio, un valore di AQI di 50, colore verde, rappresenta una buona qualità dell'aria e perciò uno scarso livello di rischio sanitario; un valore di AQI di oltre 300, colore marrone, rappresenta, al contrario, una cattiva qualità dell'aria ed un elevato livello di rischio.

Indice di Qualità dell'Aria (AQI) Valori	Condizione	Colore
<b>0 – 50</b>	<b>Buono</b>	Verde
<b>51 - 100</b>	<b>Moderato</b>	Giallo
<b>101 - 150</b>	<b>Non cautelativo per gruppi sensibili</b>	Arancione
<b>151 - 200</b>	<b>Non salubre</b>	Rosso
<b>201 - 300</b>	<b>Pericoloso</b>	Viola
<b>301 - 500</b>	<b>Molto pericoloso</b>	Marrone

Le valutazioni qualitative associate all'AQI sono state così codificate dall'E.P.A.:

- **"buono"** il valore di AQI è fra 0 e 50. La qualità dell'aria è considerata soddisfacente con poco o nessun rischio per la popolazione.



- **"moderato"** l'AQI è fra 51 e 100. La qualità dell'aria è accettabile; tuttavia, data la presenza di alcune sostanze inquinanti ci può essere una preoccupazione moderata per la salute per un numero molto piccolo di individui. Per esempio, le persone che sono sensibili all'ozono possono avvertire sintomi respiratori.
- **"non cautelativo per persone appartenenti ai gruppi sensibili"**. Per esempio, bambini ed adulti che stanno all'aria aperta e le persone con complicazioni respiratorie sono a maggior rischio da esposizione ad ozono, mentre le persone con complicazioni cardiache sono a rischio più grande per l'ossido di carbonio. Quando i valori di AQI sono fra 101 e 150, i membri dei gruppi sensibili possono avvertire effetti sintomatici che compromettono la loro salute. Gran parte della popolazione non è però a rischio quando l'AQI è in questa gamma.
- **i valori " non salubri"** sono quelli con AQI fra 151 e 200. Tutti possono cominciare ad avvertire effetti sulla salute. I membri dei gruppi sensibili possono invece avvertire effetti più seri.
- **i valori "pericolosi "** di AQI fra 201 e 300 innescano un allarme per la salute; ciò significa che tutti possono avvertire seri effetti.
- **i valori "molto pericolosi "** di AQI oltre 300 fanno scattare immediatamente l'allarme. L'intera popolazione può essere coinvolta.

L'immagine sottostante rappresenta un esempio di applicazione del indice. Per l'area interessata l'ozono è stato evidenziato come l'inquinante critico per quel giorno, con un valore di 130. Come si può vedere nel risultato comunicato alla popolazione, si avverte che i bambini e gli asmatici sono i gruppi che devono provvedere ad adottare le maggiori cautele, che sono riportate in altre comunicazioni più dettagliate.



**Sostanza inquinante: Ozono**  
**Odierna Previsione: 130**  
**Qualità: non cautelativo per gruppi sensibili.**  
**I bambini e le persone con asma sono i gruppi più al rischio.**

Questi messaggi sono comunicati alla popolazione attraverso i giornali, la radio, la televisione, i siti web istituzionali, tramite segnali luminosi in punti strategici dell'area.

Anche in Europa molti Stati applicano l'indice come strumento per sensibilizzare l'opinione pubblica alla qualità dell'aria.

In Gran Bretagna viene utilizzato un "Air Pollution Index" calcolato sulla base di inquinanti e valori di riferimento analoghi a quelli dell'AQI americano, ma associato a 10 categorie anziché sei.

In Francia e in Belgio viene applicato giornalmente un indice "ATMO" basato su 10 classi che prendono in considerazione ozono, particolato atmosferico, anidride solforosa e biossido d'azoto.

Il calcolo è simile a quello dell'AQI ma riferito a valori molto inferiori, in linea con quelli stabiliti dalle normative CE.

A livello italiano esperienze di semplificazione per la comunicazione dell'informazione sulla qualità dell'aria sono in atto nella Regione Piemonte, nella Regione Lombardia, nel Comune di Roma, nel Comune di Trento.

L'indice, qualsiasi sia la metodologia di calcolo utilizzata, non descrive mai la misura di un inquinante rilevato da una singola stazione di monitoraggio, ma permette di informare in modo semplice la popolazione in merito allo "stato" della qualità dell'aria per zone estese, in cui le concentrazioni di inquinanti e quindi i livelli di rischio per la salute sono confrontabili.

## **Bibliografia (Zavaglio)**

World Health Report 2002 (<http://www.who.int/whr/2002/en/index.html>)

Arpa Lombardia e Fondazione Lombardia per l'Ambiente. "Particolato Urbano Milanese(PUMI), relazione finale"(Dicembre 2002).

Arpa Lombardia"Particolato Fine in Lombardia-Relazione sullo stato avanzamento lavori", dicembre 2004

GdL Qualità dell'Aria e Salute-Arpa Lombardia e DG Sanità Regione Lombardia"Relazione Finale" Giugno 2005- A cura di Fabio Carella.

## **Bibliografia (Forastiere, Iavarone)**

Abbey DE, Hwang BL, Burchette RL, Vancuren T, Mills PK. Estimated long-term ambient concentrations of PM10 and development of respiratory symptoms in a nonsmoking population. *Arch Environ Health* 50:139-152 (1995).

Abbey DE, Nishino N, McDonnell WF, Burchette RJ, Knutsen SF, Beeson WL, Yang JX. Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. *Am J Resp Crit Care Med* 159:373-382 (1999).

Ackermann-Lieblich U, Leuenberger P, Schwartz J, Schindler C, Monn C, Bolognini G, Bongard JP, Brandli O, Domenighetti G, Elsasser S, et al. Lung function and long term exposure to air pollutants in Switzerland. *Am J Respir Crit Care Med* 155:122-129 (1997).

Anderson HR, Spix C, Medina S, Schouten JP, Castellsague J, Rossi G, Zmirou D, Touloumi G, Wojtyniak B, Ponka A, et al. Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the APHEA project. *Eur Respir J* 10:1064-1071 (1997).

Anderson HR et al. Meta-analysis of time series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O3). Report of a WHO task group. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2004 (<http://www.euro.who.int/document/e82792.pdf>)

Archer VE. Air pollution and fatal lung disease in three Utah counties. *Arch Environ Health* 45:325-334 (1990).

Atkinson RW, Anderson HR, Strachan DP, Bland JM, Bremner SA, Ponce de Leon A. Short-term associations between outdoor air pollution and visits to accident and emergency departments in London for respiratory complaints. *Eur Respir J* 13:257-265 (1999).

Atkinson RW et al. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions – Results from APHEA 2 project. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 164: 1860–1866 (2001).

ATS, Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society (CEOHA-ATS). Health effects of outdoor air pollution. *Am J Respir Crit Care Med* 153:3-50 (1996).

ATS. What constitutes an adverse health effect of air pollution? Official statement of the American Thoracic Society. *Am J Respir Care Med* 2000; 161:665-73

Bates DV. Lines that connect: assessing the causality inference in the case of particulate pollution. *Env Health Perspect* 2000; 108: 91-92

- Berti G. et al. Fattori di rischio outdoor e disturbi respiratori infantili. *Epidemiol Prev.* 2005 Mar-Apr; 29 (2 Suppl): 67-69.
- Biggeri A, Bellini P, Terracini B. [Meta-analysis of the Italian studies on short-term effects of air pollution] *Epidemiol Prev.* 2001 Mar-Apr;25(2 Suppl):1-71.
- Biggeri A et al. Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico – MISA 1996-2002. *Epidemiol Prev.* 2004 Lug-Oct; 28 (4-5 Suppl): 1-100.
- Bobak M, Leon DA. Air pollution and infant mortality in the Czech Republic, 1986-1988. *Lancet* 340:1010-1014 (1992).
- Bremner, S.A. et al. Associations between various measures of particles and daily mortality in the west midlands conurbation, United Kingdom. *Epidemiology*, **10**: 257 (1999).
- Brunekreef B. Air Pollution and life expectancy: is there a relation? *Occup Env Med* 1997; 54:781-4
- Brunekreef B. Air pollution kills babies. *Epidemiology* 1999; 10: 661-62
- Burnett RT, Brook JR, Yung WT, Dales RE, Krewski D. Association between ozone and hospitalization for respiratory disease in 16 Canadian cities. *Environ Res* 72:24-31 (1997).
- Burnett RT, Smith-Doiron M, Stieb D, Cakmak S, Brook JR. Effects of particulate and gaseous air pollution on cardiorespiratory hospitalizations. *Arch Environ Health* 54:130-139 (1999).
- CAFE, 2005. Clean Air For Europe. Baseline Scenarios for the Clean Air for Europe (CAFE) Programme. Also: [http://europa.eu.int/comm/environment/air/cafe/general/pdf/cafe\\_lot1.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/air/cafe/general/pdf/cafe_lot1.pdf)
- Dockery DW, Cunningham J, Damokosh AI, Neas LM, Spengler JD, Koutrakis P, Ware JH, Raizenne M, Speizer FE. Health effects of acid aerosols on North American children: respiratory symptoms. *Environ Health Perspect* 104:500-505 (1996).
- Dockery DW, Speizer FE, Stram DO, Ware JH, Spengler JD, Ferris BG. Effects of inhalable particles on respiratory health of children. *Am Rev Respir Dis* 139:587-594 (1989).
- Dockery DW, Pope CA III, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG, Speizer FA. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med* 329:1753-1759 (1993).
- EC (1999) Council directive 1999/30/EC of April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxide of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. *Official Journal of the European Commission* (26.6.1999). L 163/41-60.
- Forastiere F, Corbo G, Michelozzi P, Pistelli R, Agabiti N, Brancato G et al. Effects of environment and passive smoking on the respiratory health of children. *Int. J Epidemiol* 1992;21-66-73
- Forastiere F, Corbo G, Pistelli R, Michelozzi P, Agabiti N, Brancato G et al. Bronchial responsiveness in children living in areas with different air pollution levels. *Arch Environ Health* 1994;49:111-118

Forastiere F et al. La frazione dei disturbi respiratori nell'infanzia attribuibili a fattori di rischio modificabili e non modificabili. *Epidemiol Prev.* 2005 Mar-Apr; 29 (2 Suppl): 67-69.

Galassi C, Ostro B, Forastiere F, Cattani S, Martuzzi M, Bertollini R. Exposure to PM<sub>10</sub> in the eight major Italian cities and quantification of the health effects. [abstract]. Poster presented at the ISEE 2000 Meeting, Buffalo, NY, USA, August 19-22, 2000 ([www.who.it/docs/Ehi/pm10.pdf](http://www.who.it/docs/Ehi/pm10.pdf))

Galassi C et al. Studi italiani sui disturbi respiratori nell'infanzia e l'ambiente seconda Fase. *Epidemiol Prev.* 2005 Mar-Apr; 29 (2 Suppl): 1-96.

Gold DR, Litonjua A, Schwartz J. Ambient air pollution and heart rate variability. *Circulation* 10(11):1267-1273 (2000).

Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, Fischer P, van den Brandt PA. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet.* 2002; 360(9341):1203-9.

Krzyzanowski M et al. Health Effects of transport-related air pollution. *WHO Regional Office for Europe, Copenhagen*, 2005.

Lagorio S, Forastiere F, Lipsett M, Menichini E. Inquinamento Atmosferico da traffico e rischio di tumori. *Annali ISS* 2000. 36(3): in stampa

Liao D, Creason J, Shy C, Williams R, Watts R, Zweidinger R. Daily variation of particulate air pollution and poor cardiac autonomic control in the elderly. *Environ Health Perspect* 107:521-525 (1999).

Lipsett M, Hurley S, Ostro B. Air pollution and emergency room visits for asthma in Santa Clara County, California. *Environ Health Perspect* 105:216-222 (1997).

McMichael A, Anderson H, Brunekreef B, Cohen A. Inappropriate use of daily mortality analyses to estimate longer-term mortality effects of air pollution. *Int J Epidemiol* 1998; 27: 450-53.

Medina S, Plasencia A, Ballester F, Mucke HG, Schwartz J; Apheis group. Apheis: public health impact of PM<sub>10</sub> in 19 European cities. *Journal of Epidemiology and Community Health* 2004; 58: 831-36.

Michelozzi, P. et al. [Acute effects of air pollution in Rome]. [Italian]. *Annali dell'Istituto superiore di sanita*, 36: 297-304 (2000).

Nafstad P, Haheim LL, Oftedal B, Gram F, Holme I, Hjermann I, Leren P. Lung cancer and air pollution: a 27 year follow up of 16 209 Norwegian men. *Thorax.* 2003 Dec;58(12):1071-6.

Ostro BD, Rothschild S. Air pollution and acute respiratory morbidity: an observational study of multiple pollutants. *Environ Res* 50:238-247 (1989).

Ostro BD. Associations between morbidity and alternative measures of particulate matter. *Risk Anal* 10:421-427 (1990).

Pediatrics (2004). The vulnerability, sensitivity, and resiliency of the developing embryo, infant, child, and adolescent to the effects of environmental chemicals, drugs, and physical agents as compared to the adult. *Pediatrics*, 2004, 113(Suppl.):932-1172.

- Peters A, Dockery DW, Heinrich J, Wichmann HE. Short-term effects of particulate air pollution on respiratory morbidity in asthmatic children. *Eur Respir J* 10:872-879 (1997).
- Peters A, Doring A, Wichmann HE, Koenig W. Increased plasma viscosity during the 1985 air pollution episode: a link to mortality? *Lancet* 349:1582-1587 (1997).
- Peters A, Perz S, Doring A, Stieber J, Koenig W, Wichmann E. Increases in heart rate during an air pollution episode. *Am J Epidemiol* 150(10):1094-1098 (1999).
- Peters JM, Avol E, Navidi W, London SJ, Gauderman WJ, Lurmann F, Linn WS, Margolis H, Rappaport E, Gong H, et al. A study of twelve Southern California communities with differing levels and types of air pollution. I: Prevalence of respiratory morbidity. *Am J Respir Crit Care Med* 159:760-767 (1999).
- Poloniecki JD, Atkinson RW, Ponce de Leon A, Anderson HR. Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London, UK. *Occup Environ Med* 54:535-540 (1997).
- Pope CA III, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE, Heath JCW. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *Am J Respir Crit Care Med* 151:669-674 (1995).
- Pope CA III<sub>a</sub>, Dockery DW. Epidemiology of particle effects. In: *Air Pollution and Health* (Holgate ST, Samet JM, Koren HS, Maynard R, eds). London:Academic Press, 1999a;673-705.
- Pope CA III, Dockery DW, Kanner RE, Villegas GM, Schwartz J. Oxygen saturation, pulse rate, and particulate air pollution: a daily time-series panel study. *Am J Respir Crit Care Med* 159:365-372 (1999b).
- Pope CA III, Verrier RL, Lovett EG, Larson AC, Raizenne ME, Kanner RE, Schwartz J, Villegas GM, Gold DR, Dockery DW. Heart rate variability associated with particulate air pollution. *Am Heart J* 138:890-899 (1999c).
- Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002;287(9):1132-41.
- Raizenne ME, Neas LM, Damokosh AI, Dockery DW, Spengler JD, Koutrakis P, Ware JH, Speizer FE. Health effects of acid aerosols on North American children: pulmonary function. *Environ Health Perspect* 104:506-514 (1996).
- Roemer W, Hoek G, Brunekreff B, Haluszka J, Kalandidi A, Pekkanen J. Daily variations in air pollution and respiratory health in a multicentre study: the PEACE project. Pollution effects on asthmatic children in Europe. *Eur Respir J* 12:1354-1361 (1998).
- Schwartz J, Dockery DW, Neas LM. Is daily mortality associated specifically with fine particles? *J Air Waste Manage Assoc* 46:927-939 (1996).
- Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for heart disease in eight U.S. counties. *Epidemiology* 10:17-22 (1999).

Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. *Epidemiology* 7:20-28 (1996).

Seaton A, MacNee W, Donaldson K, Godden D. Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet*. 1995 Jan 21;345(8943):176-8.

Sheppard L, Levy D, Norris G, Larson TV, Koenig JQ. Effects of ambient air pollution on nonelderly asthma hospital admissions in Seattle, Washington, 1987-1994. *Epidemiology* 10:23-30 (1999).

Spix C, Anderson HR, Schwartz J, Vigotti MA, LeTertre A, Vonk JM, Touloumi G, Balducci F, Piekarski T, Bacharova L, et al. Short-term effects of air pollution on hospital admissions of respiratory diseases in Europe: a quantitative summary of APHEA study results. *Air pollution and health: a European approach*. *Arch Environ Health* 53:54-64 (1998).

Stone PH, Godleski JJ. First step toward understanding the pathophysiologic link between air pollution and cardiac mortality. *Am Heart J* 1999; 138 (5): 804-807.

Sunyer J, Saez M, Murillo C, Castellsague J, Martinez F, Anto JM. Air pollution and emergency room admissions for chronic obstructive pulmonary disease: a 5 year study. *Am J Epidemiol* 137:701-705 (1993).

U.S. EPA. National ambient air quality standards for particulate matter. *Fed Reg* 61(241):65638 (1996).

U.S. EPA. The Particle Pollution Report - Current Understanding of Air Quality and Emissions through 2003. EPA 454-R-04-002 December 2004. also: <http://www.epa.gov/airtrends/pm.html>

WHO (1999a). Air Quality Guidelines for Europe, 2<sup>nd</sup> edition. *WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 199*. also: <http://www.who.dk/tech/eh/airqual.pdf>.

WHO (2005). Effects of air pollution on children's health and development a review of the evidence  
*WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2005*.

Woodruff TJ, Grillo J, Schoendorf KC. The relationship between selected causes of postneonatal infant mortality and particulate air pollution in the United States. *Environ Health Perspect* 105:608-612 (1997).

### **ALTRI LAVORI ITALIANI:**

Agabiti N, Mallone S, Forastiere F, Corbo G, Renzoni E, Sestini P, et al. The impact of parental smoking on asthma and wheezing. *Epidemiology* 1999;10:692-8

Borgia P, Forastiere F, Rapiti E, Rizzelli R, Magliola ME, Perucci CA, Axelson O. Mortality among Taxi Drivers in Rome: a cohort study. *Am J Ind Med* 1994; 25:507-517

Cadum E, Rossi G, Mirabelli D, Vigotti MA, Natale P, Albano L, Marchi G, Di Meo V, Cristofani R, Costa G. [Air pollution and daily mortality in Turin, 1991-1996]. *Epidemiol Prev* 1999 Oct-Dec;23(4):268-76.

Ciccone G, Forastiere F, Agabiti N, Biggeri A, Bisanti L, Chellini E, et al. Road traffic and adverse respiratory effects in children. Sidria Collaborative Group. *Occup Environ Med* 1998;55:605-10

Forastiere F, Stafoggia M, Picciotto S, Bellander T, D'Ippoliti D, Lanki T, von Klot S, Nyberg F, Paatero P, Peters A, Pekkanen J, Sunyer J, Perucci CA. A Case-crossover Analysis of Out-of-Hospital Coronary Deaths and Air pollution in Rome, Italy. *Am J Respir Crit Care Med*. 2005 Jun 30

Fusco D, Forastiere F, Michelozzi P, Spadea T, Ostro B, Arca M, Perucci CA. Air Pollution and hospital admissions for respiratory conditions in Rome, Italy. *Eur Respir J* (sottomesso per la pubblicazione)

Fusco D, Michelozzi P, Spadea T, Forastiere F, Ferro S, Arcà M, Ostro B, Perucci CA. Gaseous air pollutants and emergency hospital admissions for cardiovascular disease in Rome. *Epidemiology* 1998;4(216):S76.

Lagorio S, Forastiere F, Pistelli R, Iavarone I, Fano V, Incalzi RA, Basso S, Benedetto RT, Della Corte AM, Fusco L, Maiolo C, Sammarro S, Serra M, Spadaro S, Tramaglino LM, Cattani G, Stacchini G, Marconi A, Ziemacki G, Ostro B. Air pollution and cardiac and respiratory function in three groups of patients. *Ann Ist Super Sanita*. 2003;39(3):395-404.

Michelozzi P, Forastiere F, Fusco D, Perucci CA, Ostro B, Ancona C, Pallotti G. Air pollution and daily mortality in Rome, Italy. *Occup Environ Med* 55:605-610 (1998).

Pistelli R<sub>a</sub>, Forastiere F, Iavarone I, Della Corte AM, Sammarro S, Maiolo C et al. Respiratory health effects of NO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub> in a panel of asthmatics exposed to urban air pollution. *Eur Respir J* 2000, Suppl 31; 16:387s

Pistelli R<sub>b</sub>, Lagorio S, Iavarone I, Michelozzi P, Fano V, Spadaro S et al. Decreased oxygen saturation, increased heart rate, and worsened bronchial obstruction associated with particulate air pollution (PM<sub>2.5</sub>) among COPD patients. *Eur Respir J* 2000, Suppl 31; 16:388s

Rossi G, Vigotti MA, Zanobetti A, Repetto F, Gianelle V, Schwartz J. Air pollution and cause-specific mortality in Milan, Italy, 1980-1989. *Arch Environ Health* 1999 May-Jun;54(3):158-64

Stafoggia et al. Inquinamento atmosferico ed eventi coronarici fatali e non fatali a Roma. *Epidemiol Prev*. 2005 Mar-Apr; 29 (2 Suppl): 67-69.