

Inquinamento da particelle fini aerodisperse e stime di rischio sanitario

Giovanni A. ZAPPONI e Achille MARCONI

Laboratorio di Igiene Ambientale, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Riassunto. - In questo studio vengono discusse le valutazioni dei rischi sanitari associati ai livelli di concentrazione ambientale di PM_{10} e $PM_{2,5}$, elaborate dalla World Health Organization, in relazione ai risultati ricavati da un recente studio epidemiologico multicentrico italiano (8 città). Viene inoltre esaminata la distribuzione dei livelli di PM_{10} e $PM_{2,5}$ nelle diverse città italiane. Nel caso del rischio relativo a breve termine, la WHO stima un incremento della mortalità giornaliera generale di 1,0074 per un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} e di 1,015 per uno stesso incremento di $PM_{2,5}$. Le stime del rischio a lungo termine della mortalità per gli stessi incrementi di $PM_{2,5}$ e PM_{10} è stato rispettivamente di 1,14 e di 1,10, mentre valutazioni più recenti hanno fornito per il $PM_{2,5}$ un valore di 1,07. I risultati dello studio italiano di metaregressione hanno indicato per il PM_{10} un incremento della mortalità a breve termine pari a 1,17%. Il confronto con i risultati indicati dalla WHO indica stime più elevate (1,17% contro 0,74%), ma i limiti di confidenza della stima italiana (0,44%-2,06%) includono ampiamente il valore 0,74%. L'ipotesi di un possibile rischio più elevato in Italia, a parità di incremento di inquinamento, richiede comunque ulteriori approfondimenti. Riguardo ai livelli medi di concentrazione di PM_{10} disponibili in Italia è emersa un'assenza di differenze significative tra i dati raccolti da vari enti. La media delle concentrazioni giornaliere di PM_{10} su lungo periodo (almeno un anno) nell'ambito delle grandi città risulta dell'ordine di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (variabilità da circa $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a meno di $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$), nell'arco di tempo dai primi anni '90 sino al 2001. Per il $PM_{2,5}$ i dati disponibili nell'area di Roma mostrano livelli medi annuali di $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (intervallo di variazione dei singoli valori su 24 h: $5-101 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Parole chiave: rischio sanitario, PM_{10} , $PM_{2,5}$, aerosol urbano, inquinamento atmosferico.

Summary (*Airborne fine particles pollution and health risks estimates*). - In this paper the results of the analyses of health risks associated with PM_{10} and $PM_{2,5}$ are discussed, which have been made by the WHO and by a recent Italian multicentric epidemiological study in 8 cities. The distribution of PM_{10} and $PM_{2,5}$ levels in the various cities are also considered. WHO estimates of short-term relative risk of daily mortality were 1.0074 and 1.015, by $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increase respectively of PM_{10} and of $PM_{2,5}$. Long-term risk estimates of mortality for the same increase of PM_{10} and $PM_{2,5}$ were respectively 1.10 and 1.14, whereas more recent evaluations have indicated a value of 1.07 for $PM_{2,5}$. The Italian meta-analysis study was concentrated on short-term effects associated to PM_{10} . The effect estimate on mortality was an increase of 1.17%. The short-term effects indicated by the Italian study appeared greater than those estimated by WHO, but the confidence intervals (0.44%-2.06%) included the value of 0.74%. The hypothesis of a greater risk in Italy for the same increase of PM_{10} deserves further examination. The available mean concentration levels of PM_{10} in Italy showed an acceptable agreement, even if they were produced by different bodies. Mean yearly concentration of PM_{10} in the major Italian cities resulted about $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, range $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ to less than $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ since the first '90 up to 2001. Very few data are available on $PM_{2,5}$, with the exception of Rome where mean annual levels resulted near $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, with 24 h averages ranging from 5 to $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Key words: health risk, PM_{10} , $PM_{2,5}$, urban aerosol, atmospheric pollution.

Introduzione

La tematica degli effetti delle polveri sospese respirabili sulla salute è molto complessa e discussa in ambito internazionale da vari anni; si è progressivamente giunti ad alcune conclusioni condivise a livello internazionale, che lasciano comunque aperti vari interrogativi, in particolare sui meccanismi attraverso i quali questo fattore di rischio esercita il suo effetto.

La frazione fine delle polveri sospese, e in particolare le particelle atmosferiche con diametro aerodinamico inferiore a $10 \mu\text{m}$ (10 micrometri), indicato come PM_{10} , e le particelle con diametro aerodinamico equivalente inferiore a $2,5 \mu\text{m}$, indicato come $PM_{2,5}$, sono attualmente considerate come un fattore di rischio di particolare rilievo per quanto concerne l'ambiente urbano. La World Health Organization [1] riporta che le concentrazioni medie rilevate nell'Europa Occiden-

tale sono nell'ordine di 40-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con differenze limitate tra aree urbane e non urbane; inoltre, i livelli misurati recentemente nell'Europa centrale e Orientale risultano solo di poco superiori a quelli misurati in grandi città dell'Europa Occidentale. Le concentrazioni giornaliere possono essere significativamente più alte di quelle medie annue, ed in varie aree Europee il livello medio giornaliero di 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ è superato in modo frequente, in particolare in inverno e in condizioni di inversione termica.

Per quanto concerne gli effetti sulla salute a breve termine, la WHO ha considerato vari studi e valutazioni che mettono in evidenza un'associazione tra l'incremento della concentrazione di PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$ e incremento della mortalità e di effetti respiratori. Gli studi recenti suggeriscono che variazioni a breve termine della concentrazione di polveri respirabili, anche per livelli relativamente bassi, siano associabili ad effetti sulla salute. In questo intervallo di concentrazioni, la relazione esposizione-risposta risulta sostanzialmente lineare nell'intervallo dei livelli di esposizione da 0 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (su questa base sono state effettuate le varie stime della WHO per basse esposizioni). La WHO riporta anche che la composizione chimica e la distribuzione dimensionale delle particelle possono avere considerevole rilievo; in particolare vi è l'indicazione che le polveri di origine naturale trasportate da eventi meteorologici come tempeste e venti violenti abbiano una tossicità molto minore di quelle provenienti da fenomeni di combustione. Studi recenti, che hanno considerato anche la composizione del PM_{10} , indicano che gli effetti osservati siano largamente associati alle particelle più fini, alla forte acidità dell'aerosol, ai solfati [2-7], e colpiscono preferenzialmente gruppi di persone particolarmente suscettibili, come anziani, bambini e portatori di patologie cardiorespiratorie pregresse [3, 8, 9].

La WHO presenta una stima di rischio relativo a breve termine (per incrementi estemporanei di concentrazione e effetti sulla salute insorgenti a distanza temporale da meno di 1 giorno a 2-3 giorni). Il rischio relativo riportato per l'incremento della mortalità giornaliera generale è di 1,0074 (intervallo di confidenza 95%, IC: 1,0062-1,0086) per un incremento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} e di 1,015 (IC: 1,011-1,019) per un incremento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di $\text{PM}_{2,5}$ (rischio più elevato del precedente). I rischi relativi per necessità di uso di broncodilatatori, per tosse e per sintomi delle basse vie respiratorie sono compresi tra 1,0305 e 1,0356, per un incremento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} , mentre il rischio relativo di necessità di ricovero ospedaliero è stimato nei termini di 1,008 (IC: 1,0048-1,0112). Su questa base, la WHO stima che per episodi di inquinamento della durata di 3 giorni, a concentrazioni di 50 e 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vi possa essere un rischio rispettivamente di 4 e 8 su un milione per la mortalità e di 3 e 6 per un milione per il numero di ricoveri ospedalieri.

Nella valutazione delle implicazioni di sanità pubblica degli effetti di questo tipo di inquinamento presentata nel più ampio studio italiano (MISA) su questo argomento [10] è riportato che gli anziani ed i soggetti il cui stato di salute è compromesso sembrano costituire un bersaglio privilegiato dell'inquinamento (in questo senso in passato è stato spesso usato il termine *early mortality* o *mortalità accelerata*).

La WHO presenta anche una stima del rischio a lungo termine (per esposizioni prolungate nel tempo o croniche ed effetti sulla salute non immediati) per gli stessi inquinanti, specificando peraltro che in questo caso i dati disponibili sono minori rispetto a quelli relativi agli effetti a breve termine sopra citati. Il rischio relativo per la mortalità per un incremento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dell'esposizione a lungo termine a PM_{10} è indicato nei termini di 1,10 (IC:1,03-1,18) mentre quello per un pari incremento del $\text{PM}_{2,5}$ è indicato nei termini di 1,14 (IC:1,04-1,24). Sulla base di un ulteriore studio epidemiologico, la WHO propone anche una stima di rischio relativo per la mortalità di 1,07 (IC:1,04-1,11) per lo stesso incremento a lungo termine di $\text{PM}_{2,5}$ (insieme ad una stima di rischio relativo di 1,08 per un pari incremento dei solfati). Il rischio relativo per bronchiti è indicato nei termini di 1,34 (IC:0,94-1,99) e di 1,29 (IC:0,96-1,83) rispettivamente per un incremento a lungo termine di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di $\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} . La variazione percentuale del FEV_1 nei bambini è indicata nei termini di -1,9% (IC: da 3,1% a 0,6%) e 1,25 (IC: da 2,3% a 0,1%), rispettivamente per lo stesso incremento di $\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} .

In conclusione, la WHO sottolinea che i dati disponibili non consentono, almeno al momento, di definire una concentrazione *soglia* per questi fattori di rischio, e che effetti a breve termine sulla salute sono stati associati ad esposizioni a breve termine ben al di sotto di 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di concentrazione media giornaliera di PM_{10} , mentre effetti a lungo termine sono stati associati a concentrazioni medie annuali anche al di sotto di 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di $\text{PM}_{2,5}$ e di 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} .

Viene pertanto proposto, ai fini della gestione dei rischi, il riferimento alle stime di rischio discusse sopra in luogo di un valore di linea guida.

L'Unione Europea ha invece previsto specifici limiti di esposizione, basati su criteri di protezione della salute [11]; la normativa italiana da vari anni ha anche previsto dei valori di riferimento [12]. Questi dati sono citati nella sezione dedicata ai criteri di regolamentazione. I parametri dell'UE e quelli italiani sono comunque tali da portare ad una significativa riduzione dei rischi, anche considerando le stime della WHO.

Livelli di concentrazione ambientale ed esposizione

La misura delle polveri fini è effettuata in Italia e negli altri Paesi Europei in un limitato numero di siti,

in quanto le prescrizioni normative sono relativamente recenti e la procedura di monitoraggio è complessa. Ne consegue che i dati disponibili sono limitati, anche in relazione alla variabilità statistica nello spazio e nel tempo dei livelli di questo inquinante; questo non significa tuttavia che non sia possibile effettuare delle valutazioni, che di fatto già esistono. E' comunque da considerare che il quadro generale dei livelli di esposizione è da completare ai fini di una visione totale.

Sebbene la misura delle particelle fini di PM_{10} sia effettuata solo in una frazione minoritaria delle stazioni di rilevamento esistenti nel territorio nazionale (anche perché richiesta solo recentemente dalle normative Europee) i dati disponibili consentono di tracciare un quadro abbastanza soddisfacente. I metodi usati, in particolare in passato, nel territorio nazionale sono diversi: gravimetrico con pesata manuale, oggi ritenuto preferibile; metodi automatici di campionamento, conversione da dei dati disponibili relativamente alle particelle totali sospese (PTS). E' stato rilevato che alcune procedure automatiche potrebbero portare ad una sottostima del 30%. L'influenza degli errori sistematici è comunque riducibile sulla base della conoscenza delle differenze dei vari metodi [13].

Uno studio recentemente pubblicato *Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico* [10], che costituisce il risultato del lavoro congiunto dei principali gruppi italiani di ricerca epidemiologica che operano nelle varie Regioni, riporta i dati, selezionati sulla base di criteri di qualità, relativi alle concentrazioni di PM_{10} misurate in otto città italiane (Torino, Milano, Verona, Ravenna, Bologna, Firenze, Roma, Palermo) negli anni '90 e prevalentemente nella seconda metà della decade. La media a lungo termine (tale da tenere conto delle variazioni stagionali) delle concentrazioni mediane rilevate in queste città è pari a circa $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un intervallo di variazione tra $31,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $68,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ed una deviazione standard di circa $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Limitatamente al periodo temporale dal 1995 al 1998-1999, il valore medio delle concentrazioni mediane rilevate in stazioni di campionamento di sette città italiane (Torino, Milano, Verona, Bologna, Firenze, Roma, Palermo; per Ravenna non sono riportati dati successivi al 1995) risulta pari a circa $42,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un intervallo di variazione tra $31,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $58,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'ANPA (attualmente APAT), nella sua più recente pubblicazione di dati ambientali [14], riporta per l'anno 1999 i dati medi di concentrazione in ambito urbano in undici stazioni di rilevamento relativi a sette Regioni o Province a Statuto Speciale (Abruzzo, Basilicata, Lazio, Lombardia, Piemonte, Toscana, Valle d'Aosta). La media di questi dati è pari a circa $45,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un intervallo di variazione tra $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ed una deviazione standard pari a circa $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Uno studio coordinato dalla WHO [15] riporta

per le otto maggiori città italiane (Torino, Milano, Genova, Bologna, Firenze, Roma, Napoli, Palermo) concentrazioni medie per il biennio 1998-1999 tra $44,4$ e $53,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media pesata di $52,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Uno studio recente dell'Istituto dell'Inquinamento Atmosferico del CNR [16] ha indicato per l'anno 2001, in nove stazioni di rilevamento in nove città Italiane (Torino, Milano, Genova, Firenze, Roma, Bari, Brescia, Parma, Taranto) una media di circa $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un intervallo di variazione tra $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ed una deviazione standard di circa $7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Uno studio effettuato dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS) nella città di Roma ed i suoi dintorni [17, 18] ha indicato per il periodo 1999-2000 un valore medio di $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (intervallo di variazione singoli livelli su 24 h $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in un sito centrale della città (presso l'ISS) con traffico significativo, un valore medio di $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (intervallo di variazione dei singoli livelli su 24 h: $6-112 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in un'area urbana a parco (Villa Ada) e un valore medio di $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (intervallo di variazione dei singoli livelli su 24 h: $9-29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in un'area remota a considerevole distanza da centri abitati (Parco Regionale dei Simbruini). Il proseguimento di questo studio ha indicato nel periodo aprile-agosto del 2001 il valore medio di PM_{10} misurato dalla stazione di rilevamento dell'ISS risultava pari a $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre nel periodo novembre-dicembre risultava pari a $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ove si consideri che questi dati derivano da misure effettuate in città non sempre coincidenti, in anni diversi e con procedure non identiche, appare evidente la relativa sovrapponibilità dei risultati ottenuti. Questa considerazione è anche attestata da una semplice valutazione statistica che indica l'assenza di differenze significative tra i dati presentati da ANPA, CNR e MISA. La media delle concentrazioni di PM_{10} sul lungo periodo (almeno un anno) rilevate in ambito urbano (in particolare nelle grandi città) in Italia risulta dell'ordine di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con una variabilità da circa $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a meno di $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in vari siti urbani nell'arco di tempo dai primi anni '90 sino al 2001.

È stata sottolineata la relativa omogeneità dai livelli ambientali di contaminazione da polveri fini, considerevolmente maggiore di quella delle polveri più pesanti [10]. Questa considerazione è anche confermata dai già citati dati rilevati a Roma [17, 18] sia in un'area con significativo livello di traffico, che in una vasta area urbana adibita a parco (Villa Ada), che risultano rispettivamente pari a $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1999-2000) e quindi non molto diversi; livelli considerevolmente inferiori a quelli medi urbani sono stati rilevati solo in un'area remota.

In conclusione, si può ritenere, in accordo peraltro con semplici criteri relativi ai processi di dispersione e diffusione delle polveri molto fini, che l'inquinamento di questo tipo abbia una sostanziale caratteristica di omogeneità in ambito urbano.

Lo studio già citato dell'ISS nella città di Roma ed i suoi dintorni [17, 18] ha anche incluso misure delle particelle fini o $PM_{2,5}$ per il periodo 1999-2000. È stato rilevato un valore medio di $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (intervallo di variazione singoli livelli su 24 h: $5-101 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nel sito urbano (presso l'ISS) con traffico significativo, un valore medio di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (intervallo di variazione dei singoli livelli su 24 h: $3-100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nell'area urbana adibita a parco (Villa Ada) ed un valore di $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (intervallo di variazione dei singoli livelli su 24 h: $6-23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nell'area remota a considerevole distanza da centri abitati (Parco Regionale dei Monti Simbruini). Il rapporto medio tra $PM_{2,5}$ e PM_{10} è risultato rispettivamente del 59%, 61% e 63% nei tre casi, con limitata variazione su base annuale, ma significativamente diverso nel caso della disaggregazione dei dati sul periodo invernale ed estivo: il rapporto aumentava sino al 70% ed oltre nel semestre invernale contro un valore sotto il 50% durante quello estivo, nei siti urbani.

Recenti considerazioni epidemiologiche

Si danno di seguito alcune recenti considerazioni epidemiologiche sull'influenza delle variazioni delle concentrazioni di PM_{10} sulla mortalità a breve termine per cause naturali sui ricoveri ospedalieri nelle più grandi città italiane.

Il citato studio *Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico* [10] ha incluso i principali contributi in questo ambito delle ricerche epidemiologica italiana, esaminati e discussi congiuntamente, ed ha considerato le più grandi città italiane (esclusa Napoli), con una popolazione di circa 7 milioni. Lo studio ha per oggetto effetti sui quali influisce l'insieme degli inquinanti dell'aria in ambiente urbano e non solo il PM_{10} ; quest'ultimo comunque risulta un indicatore primario. L'effetto maggiore sulla mortalità per cause naturali risulta associato ai livelli di inquinamento da PM_{10} rilevati 1-2 giorni prima. Inoltre, gli incrementi unitari di mortalità associabili ad incrementi unitari di PM_{10} risultano considerevolmente più elevati in estate rispetto all'inverno. La *metaregressione* su PM_{10} e mortalità generale ha consentito di associare un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM_{10} con un incremento della mortalità per cause naturali con pari a 1,17% (intervallo di confidenza 95%; IC: 0,44%-2,06%) (modello base). È presentata un'analisi delle modificazioni di questo parametro in relazione a diverse condizioni. È stimato un effetto del PM_{10} più elevato nelle città con valori più elevati del rapporto standardizzato di mortalità (SMR) (2,69%, IC: 1,55%-3,97%) rispetto a quelle in cui lo SMR è più basso (0,40%, IC: -0,15%-0,99%). Risulta anche un effetto più rilevante per le

condizioni con indice di deprivazione sociale più elevato (2,05%, IC: 0,86%-3,76%) rispetto a quelle in cui lo stesso indice è più basso (0,66%, IC: -0,29%-1,59%). La *metaregressione* su PM_{10} e ricoveri ospedalieri ha consentito di associare un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM_{10} con un incremento dello 0,7% (IC: 0,42%-0,97%) (modello base) dei ricoveri ospedalieri per malattie cardiache ed un incremento del 2,1% (IC: 1,06%-3,25%) (modello base) per i ricoveri ospedalieri per malattie respiratorie. Per le due categorie di ricoveri ospedalieri l'effetto maggiore è rispettivamente associato al livello di inquinante dello stesso giorno e di due-tre giorni prima.

Analisi quantitativa

I dati di esposizione e le valutazioni epidemiologiche riportate si riferiscono a situazioni successive agli anni '90, in quanto è da questo periodo che sono iniziati uno studio ed un monitoraggio più o meno continuativo di questa tematica.

La disaggregazione dei dati selezionati dal gruppo MISA [10] sulla base di criteri di qualità indica le seguenti concentrazioni mediane pluriennali dei valori di PM_{10} .

Si può osservare che i dati di Torino, Milano e Roma indicano una sensibile diminuzione nel tempo dei livelli di concentrazione (da prima a dopo il 1995); come riportato, la media di queste rilevazioni dopo il 1995 è dell'ordine di $42,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a fronte di un valore medio di $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sull'intero periodo.

I dati riportati dall'ANPA (ora APAT) nella recente pubblicazione [14] indicano per l'anno 1999, in selezionate stazioni di rilevamento influenzate da traffico appartenenti ad alcune regioni italiane, i livelli di PM_{10} riportati nella Tab. 2.

Tabella 1. - Concentrazioni mediane pluriennali di PM_{10} in diverse città italiane

Città	Periodo	Concentrazioni di PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Torino	1991-1994	67,5
Torino	1995-1998	58,1
Milano	1990-1994	54,8
Milano	1995-1997	41,6
Verona	1995-1999	31,4
Ravenna	1991-1995	52,8
Bologna	1996-1998	36,5
Firenze	1996-1998	37,0
Roma	1992-1994	68,8
Roma	1995-1997	51,7
Palermo	1997-1999	40,0

Tabella 2. - Livelli annuali di PM₁₀ (µg/m³) in selezionate stazioni di rilevamento di alcune regioni italiane

Regione	Stazione 1	Stazione 2	Stazione 3	Stazione 4
Abruzzo	55	58	-	-
Basilicata	27	32	35	-
Lazio	61	44	44	47
Toscana	60	-	-	-
Aosta	39	-	-	-

Le stazioni di rilevamento considerate dall'ANPA coincidono solo in parte con quelle a cui ha fatto riferimento il gruppo "MISA". Il livello medio risulta, come già citato, pari a 45,6 µg/m³.

I dati riportati dal CNR [16], relativi all'anno 2001, per otto città, sono mostrati nella Tab. 3. La media come già citato, è di circa 53 µg/m³, più elevata rispetto a quella di altri studi. Le misure si riferiscono solo a 4 città tra quelle considerate nello studio MISA e in stazioni di rilevamento non sempre uguali ed in tempi diversi (anche per i fini dello studio MISA, finalizzato a valutazione epidemiologica). I livelli misurati nelle quattro città considerate da entrambi gli studi non sono comunque molto diversi, anche se relativi a periodi e intervalli temporali differenti. E' inoltre da osservare che i dati relativi al 2001 risultano più bassi di quelli relativi ai primi anni '90 citati dal gruppo MISA. Questi dati, sia pure con le loro limitazioni numeriche, indicano concentrazioni in ambito urbano non dissimili da quelle riportate dalla WHO [1] per l'Europa Occidentale (dell'ordine di 40-50 µg/m³ per il PM₁₀).

Come già discusso in precedenza, le valutazioni epidemiologiche derivanti dalla metanalisi degli studi italiani sugli effetti a breve termine del PM₁₀ ed altri inquinanti [10] indicano per l'Italia un rischio, per un incremento di 10 µg/m³ della concentrazione di PM₁₀ quantificabile nei termini di un incremento dell'ordine di 1,17%, con un intervallo di confidenza 95% pari a 0,44%-2,06%. La WHO, come già citato, prevede, per un pari incremento della concentrazione di PM₁₀ un incremento di rischio espresso nei termini di un rischio relativo pari a 1,0074, con un intervallo di confidenza pari a 1,0062-1,0086; questo dato può anche essere anche letto nei termini di un incremento dello 0,74%, con limiti di confidenza dello 0,62%- 0,86%, del rischio che si avrebbe in assenza dell'incremento di concentrazione di PM₁₀. I limiti di confidenza della stima del gruppo MISA (0,44%-2,06%) includono ampiamente il valore 0,74% derivato dalla stima WHO. E' anche da osservare a proposito, che secondo il gruppo MISA tra i "modificatori" di effetto sono da considerare il tasso standardizzato di mortalità (SMR) di base per la mortalità nelle popolazioni in esame e il livello di deprivazione sociale, entrambi suscettibili di incrementare il rischio.

Tabella 3. - Concentrazioni medie di PM₁₀ misurate in 8 città italiane

Città	Concentrazioni medie di PM ₁₀ (µg/m ³)
Torino	63
Milano	44
Genova	57
Roma	54
Firenze	40
Bari	53
Brescia	57
Parma	58
Taranto	55

L'ipotesi di un possibile rischio più elevato in Italia, a parità di incremento di inquinamento, richiede comunque ulteriori approfondimenti.

Valutazione critica

Il problema dei rischi correlati con l'inquinamento atmosferico da polveri fini è notoriamente oggetto di attenzione e di studio in Europa e negli USA. I meccanismi tossicologici attraverso cui vengono indotti gli effetti sulla salute non sono ancora adeguatamente noti, anche se sono state formulate alcune ipotesi [9, 19]. L'inquinamento da particelle fini nell'ambiente urbano è correlato con quello indotto da altre emissioni da traffico. Gli studi epidemiologici sul PM₁₀ hanno comunque considerato questo aspetto. La concentrazione delle particelle fini risulta in ogni modo un indicatore primario di inquinamento e di rischio.

A tal proposito è anche da osservare che idrocarburi policiclici aromatici, metalli pesanti, solfati e altri agenti tendono a legarsi alle particelle, le quali costituiscono quindi un'importante veicolo di esposizione anche a questi fattori.

Alcuni livelli di fondo misurati in Italia in aree molto lontane da sorgenti di inquinamento per il PM₁₀ e il PM_{2,5} risultano rispettivamente dell'ordine di 18 µg/m³ e 11 µg/m³. I livelli di esposizione a cui sono stati oggettivamente rilevati su base epidemiologica (e non previsti sulla base di estrapolazioni) gli effetti

riportati dalla WHO e dallo studio italiano MISA dovrebbero in linea di principio collocarsi su valori più elevati dell'ordine di grandezza di questi valori di fondo, prevedibilmente associabili solo a cause naturali, e sotto i quali appare difficile scendere (a parte forse condizioni particolari, come il caso di ricopertura dei suoli con un manto nevoso in aree remote).

I rischi relativi per l'incremento di mortalità indicati dalla WHO per un incremento di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{10} nell'aria ambiente sono in sé molto bassi (1,0074) e altrettanto vale per quanto concerne le stime italiane (che portano ad un valore circa doppio). Ciò vale anche per la stima del rischio attribuibile (percentuale di mortalità attribuibile a questa causa). Il problema si presenta quindi non tanto nei termini dell'entità del rischio come tale, ma in quanto la popolazione esposta, o potenzialmente tale, è vastissima.

I dati disponibili suggeriscono una riduzione nel tempo di questo tipo di inquinamento, che resta comunque a livelli significativi, anche se comparabili a quello degli altri paesi dell'Europa meridionale.

In conclusione, il contenimento dei livelli di inquinamento da polveri fini costituisce una priorità europea e italiana, che merita la dovuta attenzione ed il dovuto impegno. Le politiche che sono in via di definizione a livello europeo prevedono una riduzione di questo processo di inquinamento; infine, è evidente, dalle informazioni disponibili che l'abbattimento di questo inquinante si correla di fatto con l'abbattimento degli altri inquinanti da traffico e da processi di combustione, nell'ambito di un'unica e coordinata politica di prevenzione.

Il monitoraggio e i dati prodotti in Italia dalla ricerca epidemiologica hanno confermato le indicazioni provenienti dalla WHO e dalla comunità scientifica internazionale relativamente a questo inquinante, producendo al contempo ulteriori importanti informazioni.

Riferimenti normativi

I livelli di soglia per il particolato totale sospeso (PTS) (che include anche il PM_{10}) previsti dal DM del 25 novembre 1994 sono: livello di attenzione: $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (come media giornaliera) e livello di allarme: $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valore medio giornaliero).

Il DPCM del 28 marzo 1983 prevede inoltre uno standard di qualità pari a $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come 95-simo percentile della distribuzione annua dei dati giornalieri, e standard di qualità di $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media aritmetica dei dati giornalieri.

Obiettivo di qualità per il PM_{10} previsto dal DM 25 novembre 1994 è $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come media mobile annua dei valori giornalieri [12].

La Direttiva dell'Unione Europea 1999/30/CE [11] ed il recente Decreto di recepimento [20] prevedono

per il PM_{10} un valore limite annuale per la protezione della salute umana di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come media annua dei valori giornalieri (con un margine di tolleranza di $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con riduzione annua costante fino ad annullarsi entro il 1° gennaio 2005), e un valore limite giornaliero per la protezione della salute umana di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come media giornaliera (con un margine di tolleranza di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con riduzione annua fino ad annullarsi entro 1 gennaio 2005).

Si può notare che la normativa italiana ha anticipato le indicazioni dell'Unione Europea.

Impatto sulla salute

Le indicazioni provenienti dagli studi italiani e dall'attività di controllo ambientale delle Regioni hanno indicato che il problema dell'inquinamento da particelle fini, in particolare negli ambienti urbani, costituisce un aspetto di rilievo soprattutto per la vastità della popolazione esposta a condizioni che, pur comportando in sé un basso rischio relativo, diventano un fattore di impatto non trascurabile in relazione al numero di individui potenzialmente coinvolti.

Gli anziani, i malati per malattie respiratorie e cardiache, i malati in condizioni critiche in genere, rappresentano i soggetti maggiormente soggetti ad un rischio di incremento di mortalità a breve termine per l'inquinamento da particelle fini aerodisperse.

Considerazioni analoghe valgono per gli effetti respiratori e di altro tipo e per la necessità di ricovero ospedaliero. Come prevedibile, sono inoltre a maggior rischio per effetti respiratori i soggetti asmatici, inclusi in particolare i bambini [9].

La vulnerabilità individuale, acquisita (per patologie in atto o pregresse) o ereditata geneticamente, gioca quindi un importante ruolo.

Secondo quanto indicato dalla WHO [1], l'esposizione a lungo termine a livelli significativi di PM_{10} (peraltro non necessariamente particolarmente elevati) può comportare il rischio di una riduzione dell'attesa di vita (dell'ordine di 1-2 anni).

E' infine importante sottolineare l'incertezza che caratterizza ancora le conoscenze in questa complessa materia, che ha anche spinto verso valutazioni cautelative.

Indicazioni per la programmazione

Le indicazioni per la programmazione degli interventi di prevenzione in questo ambito sono sostanzialmente le stesse che valgono per gli altri inquinanti di rilievo dell'ambiente urbano da traffico e da processi di combustione, e suggeriscono l'importanza di una politica integrata di gestione dell'ambiente urbano che consenta una progressiva riduzione delle emissioni. E'

da rilevare che alcuni obiettivi sono già stati raggiunti in questo ambito, e che parte dei dati disponibili suggeriscono che in alcuni contesti vi sia stata una non trascurabile riduzione dei livelli di inquinamenti da particelle fini rispetto ai livelli rilevati all'inizio degli anni '90.

Il problema di definire un livello ambientale ottimale da raggiungere non è semplice, se si fa riferimento ai criteri della WHO, che evita di fornire un valore di linea guida e suggerisce piuttosto un approccio basato su una valutazione di rischio che il gestore del rischio (*risk manager*) deve utilizzare tra gli elementi disponibili. Più semplice e fattibile appare il criterio proposto dall'Unione Europea, che ha ovviamente un rilievo fondamentale. Esso propone valori limite che in vari contesti italiani risultano soddisfatti o quasi, e che comunque non appaiono lontani dalla realtà attuale in molte delle aree sottoposte a monitoraggio. In linea di massima, una riduzione dell'ordine del 20% delle emissioni dovrebbe portare a risultati sostanzialmente soddisfacenti nelle aree con inquinamento non eccessivamente elevato (intorno ai 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annua) e criteri più radicali dovrebbero essere adottati nelle aree con condizioni più estreme. Il criterio dell'UE, oltre che essere vincolante per l'Italia, ha comunque un indubbio rilievo per la riduzione dei rischi.

Un ovvio principio è quello di una riduzione del traffico e di una minimizzazione, se non eliminazione, del numero di autoveicoli con elevata emissione di particelle (ad esempio, diesel di vecchia concezione, in particolare grossi autoveicoli di questo tipo, ed altri automezzi). A tal fine appare raccomandabile una verifica sistematica delle emissioni di particelle nel complesso del parco di automezzi circolanti, in modo da caratterizzare adeguatamente le possibili sorgenti di rilievo (il cui impatto è presumibilmente non ancora sufficientemente noto); altrettanto è auspicabile per le sorgenti fisse urbane (sistemi di riscaldamento di edifici). I dati ottenuti potrebbero fornire una solida base per affrontare in modo razionale le decisioni di merito.

Lavoro presentato su invito.
Accettato il 13 maggio 2003.

BIBLIOGRAFIA

- World Health Organization. *Air quality guidelines for Europe*. Second edition. Copenhagen: WHO, Regional Office for Europe; 2000.
- Lippmann M, Thurston GD. Sulphate concentrations as an indicator of ambient particulate matter air pollution for health risk evaluations. *J Expos Anal Environ Epidemiol* 1996;6:123-46.
- 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* 1996;104:506-14.
- Peters A, Wichmann HR, Tuch T, Heinrich J, Heyder J. Respiratory effects are associated with the number of ultrafine particles. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;155:1376-83.
- Wichmann HE, Peters A. Epidemiological evidence of the effects of ultrafine particle exposure. *Phil Trans R Soc London* 2000;A358:2751-69.
- Diociaiuti M, Balduzzi M, De Berardis B, Cattani G, Stacchini G, Ziemacki G, Marconi A, Paoletti L. The two $\text{PM}_{2.5}$ (fine) and $\text{PM}_{2.5-10}$ (coarse) fractions: evidence of different biological activity. *Environ Res* 2001;86:254-62.
- Oberdoster G. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *Int Arch Occup Environ Health* 2001;74:1-8.
- Hong Yun-Chul, JT Lee, H Kim, EH HA, Schwartz J, DC Chistiani. Effects of air pollution on acute stroke mortality. *Environ Health Perspect* 2002;110(2):187-91.
- Health Effects Institute. Letter, May 30, 2002 (www.health-effects.org)
- Biggeri A, Bellini P, Terracini B (Ed.). Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico MISA. *Epidemiol Prev* 2001;25(2) suppl.:1-72.
- Unione Europea. Direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999, concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle ed il piombo. *Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee* L 163, 29 giugno 1999.
- Italia. DM 25 novembre 1994. Aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di attenzione e di allarme per gli inquinamenti atmosferici nelle aree urbane e disposizioni per la misura di alcuni inquinanti di cui al decreto ministeriale 15 aprile 1994. *Gazzetta Ufficiale* (suppl. ord.) n. 290, 13 dicembre 1994.
- Williams M, Bruckmann P. EC Working Group on Particulate Matter. *A report on guidance to member states on PM_{10} monitoring and intercomparisons with the reference method*. Draft Final, Commissione Europea. Report, 22 January, 2001.
- Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. *Verso l'Annuario dei dati ambientali. Stato dell'ambiente 5/2001*. Roma: ANPA; 2002.
- Martuzzi M, Bertolini R, Galassi C, Forastiere F, Ostro B e Gruppo Italia. L'impatto dell'inquinamento atmosferico urbano da particolato in otto città italiane. In: Poluzzi V (Ed.). *Arie di città*. Bologna: Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia-Romagna; 2001. (I quaderni dell'ARPA).
- Confessore L. I livelli di concentrazione di particolato nelle principali città Italiane. In: *Atti del Convegno La valutazione del materiale particellare*. Marina di Carrara, 11 ottobre 2002. CNR Istituto Inquinamento Atmosferico; 2002.
- Marconi A, Menichini E, Ziemacki G, Cattani G, Stacchini G. Misure di materiale particellare PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$ nell'atmosfera di Roma. *Ann Ist Super Sanità* 2000;36(3):285-9.
- Marconi A, Ziemacki G, Cattani G, Stacchini G. Concentrazioni di PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$ determinate a Roma e confronto con un sito remoto. In: Poluzzi V (Ed.). *Arie di città*. Bologna: Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia-Romagna; 2001. (I quaderni dell'ARPA).

19. Borm PJ. Munich workshop on evaluation of fiber and particle toxicity: an introduction. *Inhal Toxicol* 2002;14(1):1-3.
20. Italia. Decreto 2 aprile 2002, n. 60. Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio. *Gazzetta Ufficiale* n. 87, 13 aprile 2002. (Suppl. ord n.77).

