



LEGAMBIENTE

PM10

“istruzioni per l'uso”

Roma 7 dicembre 2006

INDICE

1. Il PM10	pag. 4
1.1 Informazioni generali	pag. 4
1.2 Ciclo particelle	pag. 5
1.3 Metodi di misurazione	pag. 5
1.4 Normativa italiana: soglie	pag. 6
2. Sorgenti	pag. 7
2.1 Le sorgenti del PM10	pag. 7
2.2 L'importanza relativa delle singole fonti	pag. 11
3. Dosimetria	pag. 11
4. Tossicologia	pag. 13
4.1 Effetti del PM10 sulla salute umana	pag. 13
5. L'esposizione dell'uomo	pag. 15
6. Epidemiologia	pag. 16
6.1 Gli studi epidemiologici	pag. 16
6.2 Espressione del rischio	pag. 17
6.3 Effetti dell'esposizione a breve termine	pag. 18
6.4 Effetti dell'esposizione a lungo termine	pag. 19
6.5 Pericolosità delle polveri	pag. 20

A cura di:

Legambiente Padova (Giovanni Coffaro, Carla Danelutti, Roberta Ferrara, Rina Guadagnini)

www.legambientepadova.it/smog/indice

Fonti:

Federal register vol.52, No. 126, Wednesday, July 1, 1987, (40 CFR Part 53, Appendix J)

[Http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=58003](http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=58003)

Us.EPA - Fourth External Review Draft of Air Quality Criteria for Particulate Matter (June,2003)

www.minambiente.it/Sito/settori_azione/iar/inquinamento_atmosferico/qualita_aria/metodi_misure_particolato.asp

EC working Group on Particulate Matter

Guidance to member states on PM10 monitoring and intercomparison with the reference method.

Draft Final Report, June 2002

<http://europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/finalwgreporten.pdf>

Unione Europea

First Daughter Directive (1999/30/EC)

<http://europa.eu.int/cgi-bin/eur-lex/udl.pl?COLLECTION=lif&SERVICE=eurlex &REQUEST=Seek-Deliver&GUILANGUAGE=en&LANGUAGE=en&DOCID=399L0030>

Osservatorio pm10

WHO, Exposure Assessment in studies on the chronic effects of long term exposure to air pollution, Report on WHO/HEI workshop, Bonn, Germany, 4-5/2/2002

<http://www.euro.who.int/document/e78992.pdf>

Dolara, 1997

Stone V., Am J Respir Crit Care Med 2000, 162:S44-S47).

Brunekreef B. and Holgate S.T., Lancet 2002, 360:1233-1242

Clonfero E.: Genotossicologia del particolato urbano. Med Lav 88: 13-23 (1997).

World Health Organization Regional Office for Europe-European Environmental Agency, Environmental Issue Report n°29, Children's Health and environment: a review of evidence. 1. Children's special vulnerability to environmental health hazards: an overview, pp 18-28

http://www2.unipr.it/~bottarel/epi/cause/ris_rel.htm

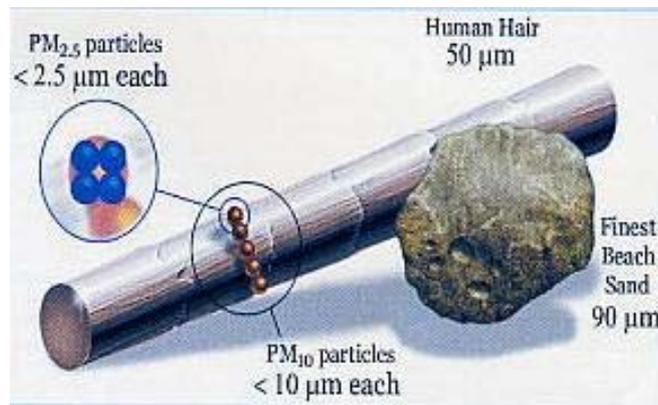
http://europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/pp_pm.pdf

ANPA, 2004 – Sviluppo ed uso di metodologie per la stima delle emissioni atmosferiche da trasporto stradale in Italia su scala provinciale

1. Il PM10

1.1 Informazioni generali

Con il termine **PM** (dall'inglese *particulate matter*) si intende un insieme di particelle solide e liquide che si trovano sospese nell'aria che respiriamo. Tali particelle sono eterogenee per dimensione, origine, composizione e proprietà. Data questa eterogeneità, per esprimerne una presenza in termini di concentrazione, l'Ente per la Protezione Ambientale degli Stati Uniti (US EPA), nel 1987, ha introdotto il parametro **PM10** che rappresenta il peso delle particelle sospese con diametro inferiore a 10 micron contenute in un metro cubo di aria. L'unità di misura del **PM10** è **microgrammi/m³**. Successivamente lo stesso ente ha introdotto l'uso di altri parametri quale il PM2,5 e PM1 per il loro interesse sanitario. Per dare un'idea delle dimensioni di cui si parla (1 micron=1 millesimo di millimetro), nella figura sottostante, sono rappresentati insieme un capello umano (diametro 50 micron), un fine granello di sabbia (90 micron), particelle **PM10** e (ingrandite) particelle **PM 2,5**.



La distinzione che viene fatta è tra polveri **grossolane** (o frazione grezza) e polveri **fini**; generalizzando si può dire che la frazione PM2,5 costituisce circa il 60% in peso del PM10. Nell'ambito delle particelle fini si individuano inoltre due tipologie diverse che rappresentano stadi diversi (nuclei e aggregati). In particolare la prima rappresenta una frazione definita particelle **ultrafini** con diametro inferiore a 0,1 micrometri e che possono crescere, aggregandosi per coagulazione o per condensazione, all'altra modalità (aggregati o accumuli). Quest'ultime però raramente crescono a formare particelle grossolane. Queste polveri definite grossolane, sono formate da processi meccanici quali la disgregazione di minerali, di materiali della crosta terrestre e di detriti organici. Le particelle fini invece sono originate prevalentemente da processi di combustione o da reazioni chimiche di sostanze gassose presenti in atmosfera. I processi di combustione più rilevanti nella produzione di PM sono le attività di mobilità/trasporto su gomma, varie attività industriali e il riscaldamento domestico. In generale, la combustione del gasolio produce più particolato rispetto alla benzina. Il PM atmosferico contiene un grande numero di elementi in vari composti e concentrazioni, comprese centinaia di composti organici. Nella frazione fine si ritrovano predominanti: ioni solfato, ioni ammonio; carbonio elementare; composti organici derivati da combustione e processi di cottura; metalli (ad es. ioni solubili di ferro e rame, ma anche cadmio, piombo e nichel).

Nella frazione grezza delle polveri si trovano invece: materiali della crosta terrestre (calcio, alluminio, silice, magnesio e ferro); materiali organici (pollini, spore e detriti animali).

Alcuni componenti come i nitrati ed il potassio si ritrovano in entrambe le frazioni.

Ovviamente alcune di queste sostanze vanno incontro a trasformazioni per cui spesso si ricorre alla suddivisione del PM in **primario** e **secondario** a seconda, appunto, dell'avvenuta trasformazione chimica che dipende dalla presenza di altri gas reattivi (ad es. ozono), dalle condizioni atmosferiche, dalla radiazione solare e dall'umidità relativa. La ripartizione delle polveri sottili in frazione grezza, fine ed ultrafine, trova ragione considerando che si rivela, oltre che nelle dimensioni delle particelle, anche nella differente origine, composizione, tempo di residenza in atmosfera e meccanismi di rimozione. Questo determina anche differenze nella concentrazione, nel grado di esposizione e nei

potenziali effetti dannosi per la salute. Di conseguenza, le particelle fini, che possono a loro volte essere distinte in **ultrafini** e **aggregati**, dovranno necessariamente venire considerate un inquinante distinto dalle polveri grossolane con **limiti e standard diversificati**.

1.2 Il ciclo delle particelle

La dimensione della particella regola il tempo di sedimentazione ovvero la tendenza di cadere al suolo.

Il tempo di decadimento delle particelle **grossolane** è nell'ordine delle **ore** e la distanza percorsa è di solito breve. Tuttavia, se quest'ultime, vengono mescolate negli strati più alti dell'atmosfera allora possono percorrere distanze notevoli (sabbie dei deserti africani precipitano con le piogge fin nelle nostre città). Le particelle più **fini** si aggregano tra loro a formare particelle più grandi ma non crescono oltre al micron di diametro (vedi la figura precedente) e come tali vengono mantenute sospese anche dai più modesti movimenti dell'aria. Possono rimanere sospese per **molti giorni** e venire trasportate per **migliaia di chilometri**. Il processo di rimozione principale per le particelle fini è legato alla **formazione delle nuvole** ed alle **precipitazioni**: le particelle che tendono ad assorbire acqua, crescono con l'aumentare dell'umidità relativa e fungono da nucleo di condensazione per la formazione delle goccioline che formano le nuvole. Se le gocce crescono abbastanza da formare la pioggia, le particelle fini vengono rimosse con la precipitazione della goccia. Le precipitazioni inoltre possono agire trascinando con sé, per **impatto**, le particelle grossolane. Questo meccanismo è però poco efficace rispetto alle polveri fini, in particolare solo le particelle ultrafini (definite nuclei nella discussione precedente) vengono in parte rimosse grazie alle loro dimensioni, che ne permettono la diffusione nella goccia che sta precipitando, ma questo resta comunque un meccanismo poco importante rispetto a quello che porta alla formazione delle nuvole. Se da una parte le precipitazioni, ma più efficacemente la formazione della pioggia, rappresentano un processo che sottrae polveri all'aria, dall'altra parte la presenza di ioni solfati e nitrati nelle particelle disciolte provoca l'**acidificazione della pioggia** con conseguenze negative dal punto di vista ecologico.

1.3 Metodi di misurazione

Il metodo ufficiale riconosciuto dall'Us-EPA, dall'Unione europea e quindi dall'Italia, è quello **gravimetrico** che consiste nel catturare in un filtro di teflon, di quarzo o di vetro le particelle sospese in un dato volume d'aria per successivamente determinarne il peso mediante pesata manuale. Questa tecnica permette di stabilire la concentrazione in termini di massa su volume (microgrammi/m³) e viene usata sia per il PM₁₀ che per il PM_{2,5}. L'aria raccolta viene campionata attraverso opportuni dispositivi che permettono di selezionare la dimensione delle particelle.

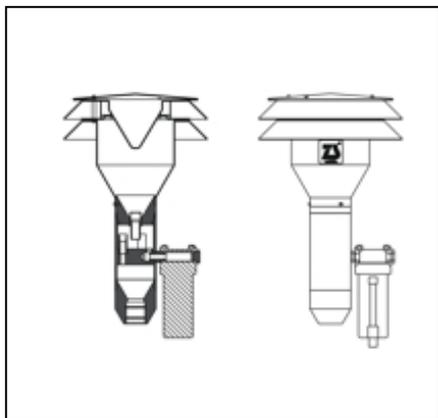
Nonostante i progressi fatti nella misura della massa di tali inquinanti, rimangono numerose incertezze sulla rappresentatività della composizione qualitativa del campione raccolto. Questa incertezza è dovuta principalmente alla presenza di acqua intimamente legata alle particelle sospese che deve essere rimossa prima di pesare ed analizzare il filtrato. Non esiste ad oggi un metodo migliore di altri e non è possibile rimuovere l'acqua senza eliminare con essa parte di inquinanti definiti semi volatili (nitrati e composti organici). Il condizionamento del filtro e la conseguente perdita di composti semivolatili inficiano in misura maggiore le tecnologie di misurazione in continuo (beta-gauge, TEOM).

In particolare le cosiddette centraline **beta** utilizzano una metodologia basata sul principio dell'attenuazione beta ossia dell'attenuazione dell'energia associata ad un fascio di elettroni, che si verifica in conseguenza dell'attraversamento di uno strato sottile di materiale. Le particelle beta vengono emesse da una sorgente radioattiva di carbonio 14 e rilevate da un contatore geiger. La misura viene fatta misurando l'assorbimento di radiazioni beta prima e dopo la cattura delle particelle sospese.

Comunque, nonostante il metodo ufficiale sia quello di tipo gravimetrico, l'uso delle centraline per il

monitoraggio continuo dei PM10 è auspicabile perchè permette di ottenere un dettaglio informativo maggiore (ad es. orario) rispetto ai campionamenti manuali (giornalieri). Ma le tecnologie utilizzabili (TEOM, beta-gauge) tendono a sottostimare i valori rilevati e andrebbero quindi corrette. L'Unione Europea, ha definito dei criteri statistici da seguire per correggere e quindi accettare le misure ottenute da tecnologie in continuo (TEOM, beta-gauge) in sostituzione delle tradizionali misure gravimetriche.

CAMPIONAMENTO PM10



Un campionario d'aria aspira l'aria atmosferica a flusso costante attraverso un sistema di ingresso dell'aria di geometria particolare in cui il materiale particolato sospeso viene separato inerzialmente in uno o più frazioni dimensionali entro l'intervallo dimensionale del PM10 (vedi figura). Ciascuna frazione dimensionale compresa nell'intervallo del PM10 viene quindi raccolta su filtri separati durante il periodo di campionamento stabilito.

Ciascun filtro (dopo averne eliminato l'umidità) viene pesato, prima e dopo il campionamento, così da determinare per differenza la massa del PM10 raccolto. Il volume totale di aria campionata, viene calcolato in base alla misura della portata e il tempo di campionamento.

La figura rappresenta la testa per il prelievo della frazione toracica "PM 10" realizzata secondo la norma US-EPA (*portata 1 m³/h*)

La concentrazione in massa di PM10 nell'aria atmosferica si calcola dividendo la massa totale delle particelle raccolte nell'intervallo dimensionale del PM10 per il volume di aria campionato e si esprime in microgrammi per metro cubo standard ($\mu\text{g}/\text{std m}^3$). La precisione dei campionatori di PM10 è tale per cui è ammesso un errore inferiore al 10 %.

Le particelle volatili raccolte sui filtri spesso vanno perdute durante il trasporto e/o il magazzinaggio dei filtri prima della pesata dopo il campionamento. Sebbene il trasporto o il magazzinaggio dei filtri sia talvolta inevitabile, i filtri dovrebbero essere ripesati prima possibile per minimizzare queste perdite.

La ritenzione di specie gassose sui filtri può portare ad errori positivi nella misura della concentrazione di PM10. Tali errori comprendono la ritenzione del biossido di zolfo e dell'acido nitrico.

1.4 Normativa italiana: soglie

Per quanto riguarda il PM10, il DM 60/02 stabilisce per la protezione della salute umana, due valori **limite** :

1. la **concentrazione media annua** di **40** $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2. la concentrazione **giornaliera** di **50** $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di **35** volte l'anno

La normativa vigente non prevede soglie per il PM2,5, il particolato con diametro inferiore a 2,5 micron.

Questo Decreto sarà valido finché non vi sarà la nuova Direttiva Europea sulla qualità dell'aria che l'Italia dovrà recepire come Stato Membro dell'Unione. La nuova Direttiva è in discussione ormai da più di un anno ma non si distingue per ambizione. E' caratterizzata da molte deroghe e non affronta con sufficiente decisione i problemi legati all'inquinamento, problemi principalmente di ordine sanitario. (Per approfondimento sulla normativa europea in discussione vedi dossier "Mal'aria di città 2006" di Legambiente).

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha lanciato la sfida a tutti i governi del mondo per migliorare la qualità dell'aria nelle loro città e proteggere la salute dei cittadini. L'appello giunge con

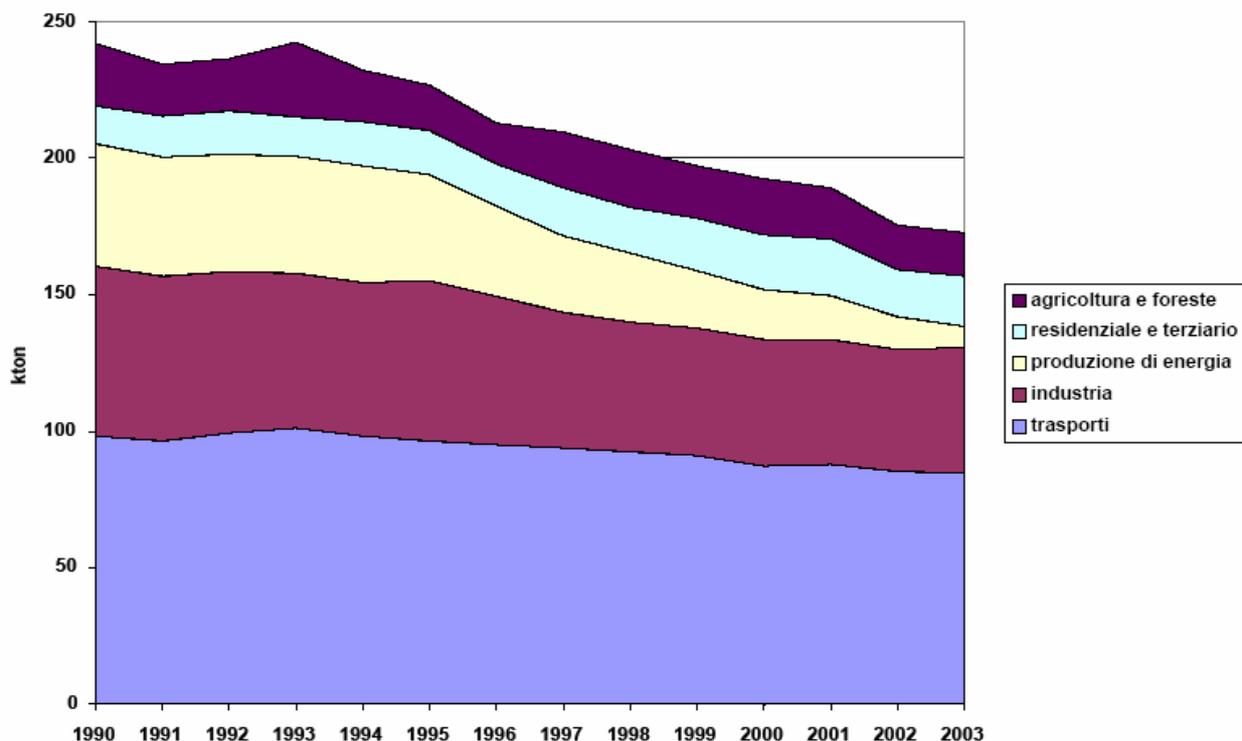
la pubblicazione delle nuove linee guida dell'OMS sulla qualità dell'aria, in cui i limiti per gli agenti inquinanti sono decisamente più bassi degli attuali. L'OMS stima che riducendo l'inquinamento da PM10 a 20 microgrammi per metro cubo, si possano ridurre i decessi di circa il 15%. Sempre secondo l'OMS l'inquinamento dell'aria è la causa di circa 2 milioni di morti premature nel mondo ogni anno.

2. Sorgenti

2.1 Le sorgenti del PM10

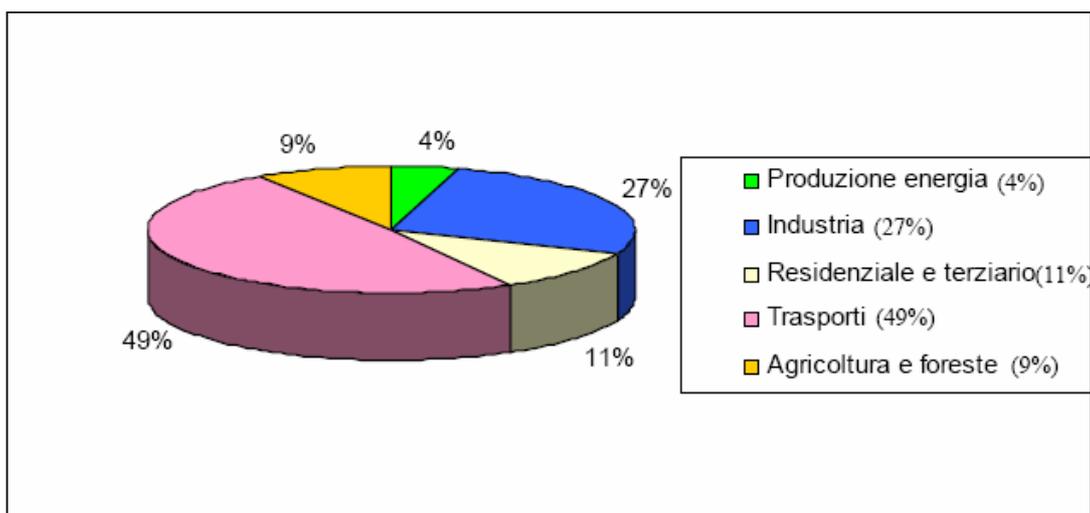
Le sorgenti di PM10 sono moltissime e diversificate, anche se non tutte hanno la stessa importanza. Possiamo suddividerle in naturali e antropogeniche (dovute alle attività umane). Tra le sorgenti naturali di particolato fine abbiamo, per esempio, le goccioline (120 micron) che si formano nelle zone costiere, quando le onde si infrangono negli scogli, che possono avere una discreta importanza per le PM10; il vento inoltre può sollevare le polveri prodotte da processi naturali di erosione causati dal vento stesso, dall'acqua o da variazioni di temperatura. Le polveri sospese trascinate dal vento possono provenire da zone molto distanti come capita con la sabbia del deserto del Sahara nelle zone a nord-est del Mediterraneo. In alcune zone (come in Sicilia), un'altra fonte di emissioni di polveri sottili è l'attività vulcanica, caratterizzate soprattutto dalla presenza di alte concentrazioni di SO₂.

L'andamento delle emissioni del PM10 primario si evince dalla figura sottostante la quale indica dal 1990 al 2003 una diminuzione del 29% della quantità totale annuale di PM10 emesso, passando da 242.000 a 173.000 tonnellate. Non sono computate le polveri da risospensioni.



FONTE: *Inventario Nazionale delle emissioni in atmosfera*
Figura 13 - Emissioni di PM₁₀ primario in Italia dal 1990 al 2003

La CNEIA (Commissione Nazionale Emergenza Inquinamento Atmosferico) ha analizzato attraverso dati APAT il contributo di ciascun settore alla produzione totale delle emissioni di PM10 per l'anno 2003: dal grafico sotto riportato si osserva che il peso maggiore è attribuito al settore dei trasporti responsabile del 49% della produzione totale, seguito dal settore industriale con il 27% del totale e dal settore residenziale con il 11%; i settori della produzione di energia e agricoltura e foreste pesano rispettivamente il 4% e il 9% del totale. Si evidenzia inoltre che dati APAT indicano come, a partire dagli anni '90, il peso del principale settore (trasporti) è aumentato dal 40 al 49%; un notevole incremento è stato riscontrato anche per il settore residenziale, dal 6 al 11%, mentre il peso percentuale è rimasto invariato per i settori industria, agricoltura e foreste. Una considerevole riduzione si osserva solo nel settore riguardante la produzione di energia che è passato dal 18% al 4%.



FONTE: APAT "Distribuzione percentuale delle emissioni di PM10 primario per settore nell'anno 2003 (Tot. 172.710 tonnellate)"

- Il Trasporto su strada

Le emissioni di inquinanti e gas serra in aria dovute al trasporto stradale hanno assunto negli ultimi anni in Italia una importanza notevole, in special modo nelle aree urbane. Dati recenti tratti dall'inventario nazionale delle emissioni atmosferiche mostrano che, a fronte di una diminuzione delle emissioni dovute alle attività di produzione di energia elettrica ed ai grandi impianti di combustione, in particolare per quelle emissioni sottoposte a controllo come gli ossidi di zolfo (SOx), gli ossidi di azoto (NOx), il particolato (PM) ed i composti organici volatili non metanici (COVNM), non si è riscontrata una altrettanto sostanziale diminuzione delle emissioni dovute al trasporto su strada.

Le emissioni di particolato connesse al trasporto su strada, sempre a quanto si legge sulla relazione del CNEIA, sono usualmente le più significative nelle aree urbane, per quanto riguarda il PM10. La quota di PM10 da trasporti in ambito urbano è così composta: le autovetture sono la fonte principale con valori pari al 44%, seguite dai veicoli merci pesanti e leggeri con il 40% e da moto e ciclomotori con il 12%, mentre i bus sono responsabili di meno del 4% delle emissioni da trasporto stradale.

In genere i veicoli con motore diesel emettono una quantità maggiore di particolato fine rispetto ai veicoli con motore a benzina. Questo è dovuto alla maggiore viscosità del carburante che non permette un'ottimale miscelazione con l'ossigeno e favorisce quindi la formazione di prodotti intermedi allo stato liquido o solido. Altrettanto certo è il legame fra la cilindrata del veicolo e la quantità del particolato prodotto: più potente è il veicolo e maggiore è la quantità di particolato prodotto.

Dall'incrocio di queste due osservazioni risulta che i mezzi commerciali pesanti siano i maggiormente inquinanti assieme agli autobus, seguiti dai commerciali leggeri e dalle automobili.

Le emissioni diesel sono principalmente composte da fuliggine, idrocarburi volatili e solfati. Le dimensioni delle particelle emesse variano da 0,01 a 0,05 micron se sono appena state prodotte e da 0,05 a 2,5 micron nel caso di coaguli di vecchie polveri.

Oltre agli scarichi dei motori, ci sono altre fonti di PM10 connesse al traffico su strada. Molte polveri sottili vengono infatti prodotte dall'usura di gomme, freni e dall'abrasione dell'asfalto. Queste particelle hanno dimensioni che variano presumibilmente tra 3-30 micron.

I vari contributi percentuali delle emissioni di PM10 nel traffico veicolare su strada, per processo emissivo, sono stimate come segue:

- 74 - 76 % dovuto alla combustione;
- 5 - 6 % dovuto alla consumazione dei freni;
- 9 - 10 % dovuto alla consumazione delle gomme;
- 9 - 10 % dovuto all'abrasione del manto stradale.

Una fonte secondaria di PM10 è la risospensione. Non è una vera e propria fonte di PM10, dato che non genera nuove sostanze, ma rimette in circolazione del particolato già esistente che si era depositato sul suolo. Un recente studio (Jaeger-Voirol & Pelt, 2000) stima che un veicolo può rimettere in sospensione una quantità di PM10 pari al doppio o addirittura al triplo di quella che emette un veicolo diesel percorrendo la stessa distanza.

Esiste anche un PM10 di natura secondaria. Non è direttamente derivante dalle emissioni in atmosfera di vari processi di combustione ma è il prodotto della reazione chimica in atmosfera di ossidi di azoto e di zolfo. Questi composti chimici reagiscono tra loro dando luogo a particelle di diametro inferiore a 10 micrometri, entrando così a far parte del PM10. Essendo un particolato derivato viene chiamato PM10 secondario.

- Impianti di combustione domestici

L'utilizzo di carbone negli impianti di riscaldamento è stato per anni la fonte principale di PM10 nelle città europee, durante i periodi invernali. Oggi il carbone non viene più usato negli impianti domestici e grazie alle nuove strategie di abbattimento delle polveri negli impianti di riscaldamento, queste sorgenti di PM10 hanno perso importanza.

La stagionalità dell'inquinamento da PM10 potrebbe portare a pensare che un grande contributo alla formazione del particolato venga dagli impianti di riscaldamento, poiché le maggiori concentrazioni si registrano proprio in coincidenza al funzionamento degli stessi. In realtà l'aumento delle concentrazioni di polveri sospese nei periodi invernali dipende da altri motivi, collegati alla stratificazione dell'atmosfera che nei mesi freddi permette una limitata miscelazione dell'aria.

- Impianti di combustione industriali

Le emissioni industriali possono essere un'importante fonte di PM10 nelle aree urbane. L'importanza di queste sorgenti varia a seconda della loro ubicazione e delle tecnologie di abbattimento utilizzate. A seconda del tipo di processo industriale, la dimensione delle particelle emesse varia da 0,5 a 100 micron.

- Inceneritori urbani ed industriali

Dagli inceneritori vengono emessi due tipi di inquinanti: gas combustibili e ceneri. Le ceneri sono composte da fuliggine, tracce di metalli, polveri di minerali e materiale bruciato parzialmente di dimensioni comprese tra 1 e 150 micron. La quantità e la dimensione del particolato emesso dipende dal tipo di inceneritore e dalle torri di lavaggio utilizzati.

- Cantieri, cave e miniere

Le particelle provenienti da cantieri edili hanno usualmente dimensioni maggiori di 10 micron, e quindi non fanno parte delle PM10. Possono comunque essere presenti particelle di dimensioni minori. Per quanto riguarda le polveri prodotte in cave e miniere, nella maggior parte dei casi esse

hanno dimensioni maggiori di 3 micron e quindi possono influenzare il valore del PM10 misurato in zone limitrofe. Altre sorgenti di polveri sottili sono i cementifici e le industrie di ceramica.

- Incendi boschivi o fuochi agricoli

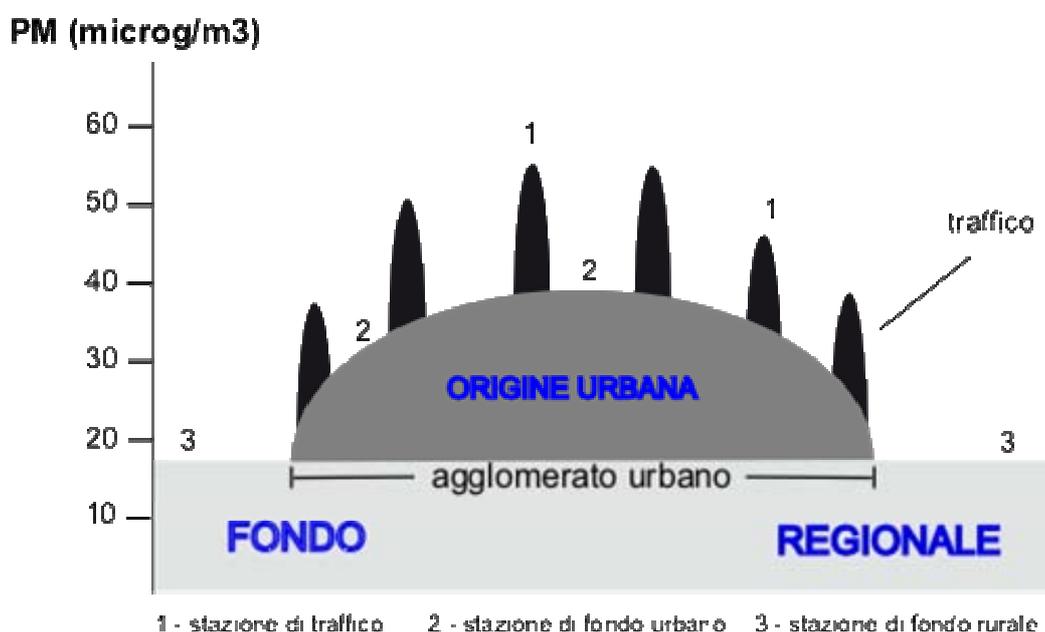
Possono essere importanti sorgenti di PM10 sia le emissioni dirette dalle fiamme, sia il materiale bruciato sollevato dal vento. Le particelle delle sostanze bruciate sono composte da materia organica, fuliggine e materiale inorganico e hanno dimensioni minori di 10 micron. Questo tipo di contributo al particolato fine può sembrare episodico, ma nelle zone dove spesso sono presenti incendi, diventa significativo.

- Agricoltura

La più importante sorgente di particolato fine tra le attività agricole deriva dalla presenza di concimi di sintesi che favoriscono la produzione di importanti componenti di PM10 in molte aree (ad es. la reazione dell'ammoniaca con acido solforico e con l'acido nitrico produce solfato di ammonio e nitrato di ammonio che si ritrovano tra i componenti dei PM10 in aree rurali).

E' un fatto consolidato che le polveri sottili restino sospese per mesi e si spostino per molti chilometri. Le concentrazioni misurate in città non sono dovute esclusivamente alle attività dell'agglomerato urbano, ma anche a fonti esterne.

Nelle città, comunque, le fonti di PM10 si addensano causando la formazione di una sorta di plateau nei valori di inquinamento. Dall'analisi del particolato, Lenschow e altri nel 2001 hanno trovato che il PM10 campionato in un sito di misura ad alto traffico nella città di Berlino ha per circa un terzo origine regionale, per un altro terzo origine urbana e per il restante terzo origine locale.



Come rappresentato in figura, la stazione di **fondo regionale** (rurale secondo la terminologia usata dalla normativa italiana) misura un livello di inquinamento inferiore a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Man mano che si entra in città tale livello di fondo aumenta fino a superare i 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, rilevato dalle centraline di **fondo urbano**. Su questo livello di fondo si vanno a sovrapporre poi picchi di concentrazioni di PM10 molto localizzati dovuti al traffico locale e misurati dalle centraline rappresentative di zone di **traffico urbano**.

2.2 L'importanza relativa delle singole fonti

Dare delle stime di ripartizione tra le varie fonti è un problema di difficile soluzione e di scarsa generalità. Questo tipo di valutazione viene di solito affrontato utilizzando modelli statistici o deterministici e ricercando, nei campioni raccolti, composti riconducibili a determinate fonti.

Da una serie di studi dall'EPA Statunitense, e riferiti a città americane, risulta che:

- la combustione di combustibili fossili e di biomasse è la fonte principale per il PM_{2,5}
- in particolare la combustione di prodotti derivati del petrolio può arrivare a contribuire fino al 40% della concentrazione misurata, con una importanza maggiore per i gas di scarico (esausti) dei motori diesel e a benzina.

Si può dunque stimare che il traffico, nel suo complesso, incide per circa il **70%** (dati CNEIA) all'inquinamento da PM₁₀ nei contesti urbani e può dunque essere indicato come il responsabile principale. E' importante sottolineare quanti pesi la componente dovuta alla risospensione, che contribuisce per più di un terzo alla quantità imputata al traffico.

Un'altra fonte antropogena, da sempre considerata piuttosto importante rispetto all'emissione di polveri sottili, è il riscaldamento domestico.

In alcune città il contributo dato dal riscaldamento alle emissioni di PM₁₀ può anche essere rilevante, ma non in altre città che sono ampiamente metanizzate.

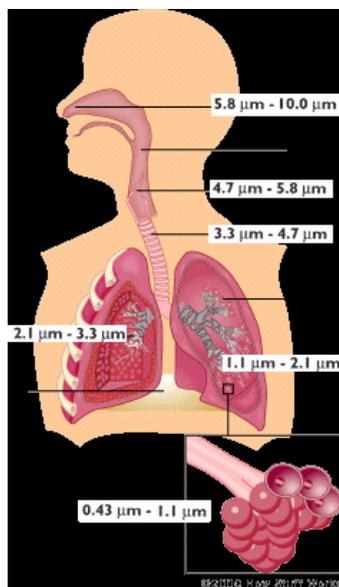
La combustione del metano infatti produce anidride carbonica ed acqua. Se dunque l'emissione di anidride carbonica contribuisce a dare il suo contributo a quel fenomeno gravissimo di inquinamento globale che è l'effetto serra, tuttavia la combustione del metano evita di aggiungere ancora inquinanti come ossidi di zolfo e di azoto micropolveri, IPA, tipici del traffico.

3. Dosimetria

Come già sottolineato precedentemente, la sigla PM₁₀ significa: materiale particolato con diametro inferiore a 10 micrometri. Quindi sotto questa sigla si raggruppano tutte le particelle di diametro compreso tra 0 e 10 micrometri.

Le particelle con diametro diverso hanno comunque comportamenti diversi tra loro; a seconda del loro diametro, infatti, e quindi a seconda di quanto queste particelle sono ingombranti, esse possono penetrare più o meno profondamente dentro il nostro apparato respiratorio.

Le particelle più grandi vengono bloccate già nelle narici o nel primo tratto della trachea. Quelle più sottili si insinuano fino a bronchi e bronchioli mentre quelle sottilissime sono capaci di arrivare fino alla regione alveolare.



Inoltre bisogna considerare che spesso le particelle trasportano sulla loro superficie sostanze tossiche e quindi il carico di tali sostanze varia con le dimensioni della particella, ovvero, a parità di peso, particelle di dimensioni più piccole trasportano una quantità maggiore di sostanze tossiche.

Non tutte le persone sono tuttavia esposte allo stesso modo al particolato atmosferico. A seconda del tipo di vita che si conduce le implicazioni cambiano. Ad esempio, in funzione di quanto tempo si passa all'aperto e dove, quanto tempo si passa al chiuso, dove sono situati gli ambienti chiusi che frequentiamo, se si fuma.

Per i bambini conta anche il fatto che la loro statura è ad altezza di tubo di scarico, quindi dove un adulto è mediamente esposto un bambino lo è moltissimo. Lo stesso vale per le persone disabili che si muovono in carrozzina visto che anch'esse hanno un apparato respiratorio più vicino alle fonti di PM10.

Neanche gli effetti indotti dal PM10 sono gli stessi per tutte le persone; per esempio nei polmoni delle donne si accumula di più perché rispetto agli uomini hanno un ritmo respiratorio leggermente superiore e vie respiratorie un po' più strette.

I bambini respirano con un ritmo quasi doppio rispetto a quello di un adulto, quindi fino a 14 anni gli studi scientifici dimostrano che accumulano più particelle rispetto ad un adulto.

Invece non c'è significativa differenza di accumulo di particelle nell'apparato respiratorio nell'ampia fascia di età che va da 18 ad 80 anni.

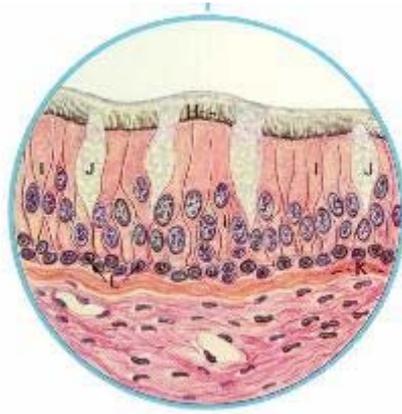
Le categorie più a rischio sono quindi rappresentate da bambini, individui con in corso patologie respiratorie croniche o meno, cardiopatici ed anziani.

Vediamo perché:

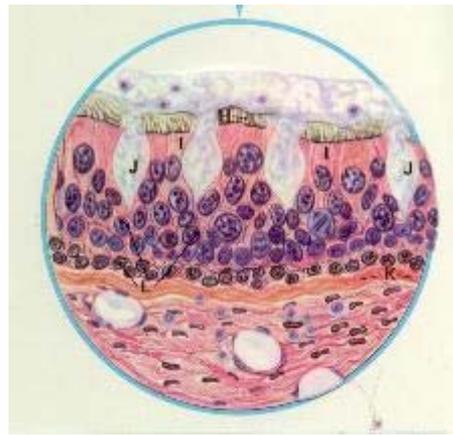
- **Bambini.** Sono più a rischio perché hanno una frequenza respiratoria maggiore e un sistema immunitario non ancora completo. Inoltre respirano a livello tubo di scarico;
- **Malati respiratori.** Respirano più profondamente e più velocemente rispetto alla norma, favorendo così l'accumulo di particelle nei polmoni. Le particelle più sottili si infilano nelle aree del polmone ancora non ostruite e vi si installano;
- **Cardiopatici.** Le particelle più sottili riescono ad entrare nel torrente sanguigno rendendo il sangue meno fluido. Questo provoca abbassamenti di pressione ed aritmie cardiache aggravando patologie già in corso;
- **Anziani.** Spesso gli anziani presentano difficoltà cardiache e respiratorie ed il loro sistema immunitario è affaticato. Per questo sono più sensibili agli effetti delle polveri sottili.

Fortunatamente il nostro organismo ha dei sistemi di autodifesa e di autodepurazione. Infatti la trachea, i bronchi e i bronchioli sono ricoperti da un tessuto con cellule che producono muco e cellule ciliate. Il muco intrappola le impurità, tra cui il PM10, e le ciglia spingono questa spazzatura verso l'esterno.

In questo modo con un colpo di tosse possiamo liberarci delle particelle dannose. Purtroppo questo sistema funziona quando la quantità di impurità introdotte nell'organismo non è grande, ma quando inspiriamo troppe polveri questo sistema va in crisi, quindi le particelle in parte sono espulse ma in parte permangono nel nostro organismo, causando tra l'altro alterazioni permanenti. Infatti le cellule mucose aumentano la loro dimensione e producono più muco "soffocando" le cellule ciliate che perdono così la loro funzionalità. Si altera inoltre l'equilibrio della produzione di fattori broncocostrittori e broncodilatatori.



epitelio sano



epitelio compromesso

Un altro meccanismo di difesa del nostro organismo è la FAGOCITOSI delle particelle estranee. Le polveri inalate, riconosciute come corpi estranei, vengono inglobate da apposite cellule (fagociti) e degradate.

Tuttavia ci possono essere delle differenze tra le particelle inspirate, a seconda che il clima sia umido o secco. L'**igroscopicità**, cioè la propensione di un materiale nel assorbire e trattenere l'umidità, è una proprietà di alcune particelle e cambia la deposizione delle stesse nell'apparato respiratorio.

Alcune particelle possono ingrandirsi grazie all'umidità che incontrano passando nel tratto respiratorio, e si depositano secondo la loro nuova dimensione.

Vale a dire che se una particella originariamente di 2 micrometri di diametro arriva fino alla regione alveolare, nel momento in cui da umida abbia una dimensione doppia non arriverà così in profondità.

L'apparato respiratorio, attraverso il quale le particelle sono veicolate nel nostro organismo, è purtroppo solo uno dei bersagli del PM10.

A rischio anche l'apparato cardiovascolare in quanto le particelle più sottili entrano nel circolo sanguigno rendendo il sangue più denso con conseguente abbassamento della pressione ed aritmie cardiache.

Inoltre sulla superficie delle particelle vi sono moltissime sostanze che entrano nel nostro corpo quando respiriamo aria inquinata. Tra queste virus, allergeni e idrocarburi policiclici aromatici, agenti cancerogeni molto potenti che veicolati nell'organismo possono agire ovunque.

4. Tossicologia

4.1 Effetti del PM10 sulla salute umana

Numerosi studi epidemiologici hanno mostrato che all'inquinamento da PM10 sono associati effetti dannosi per la salute umana, sia a breve (effetti acuti) che a lungo termine (effetti cronici).

Tra i principali effetti acuti documentati vi sono:

- aumento della mortalità giornaliera per tutte le cause, e in particolare per cause cardiovascolari;
- aumento dei ricoveri per asma e malattia polmonare ostruttiva cronica (COPD);
- aumento dei ricoveri per malattie cardiovascolari;
- diminuzione della funzionalità polmonare e aumento dei sintomi respiratori acuti in bambini e adulti.

Tra gli effetti a lungo termine vi sono una riduzione dell'aspettativa di vita stimata di 1-2 anni (secondo studi condotti negli USA), ed effetti quali diminuzione della funzionalità polmonare e aumento dei sintomi di bronchite sia negli adulti che nei bambini.

Come spiega il Dott. Crosignani dell'Istituto Tumori di Milano "E' stato spesso sostenuto che nel breve termine l'inquinamento atmosferico anticipi solamente delle morti che non sarebbero ad ogni modo evitabili. Schwartz e Zanobetti et al. hanno però evidenziato che ciò non è del tutto vero, e che invece quando l'inquinamento atmosferico aumenta vi sono sì eccessi di mortalità causati dalle morti anticipate di particolari soggetti malati (questo effetto è chiamato in inglese "harvesting" cioè "mietitura") ma questi eccessi non sono poi seguiti compensati da alcun successivo deficit di mortalità. Questo significa che l'inquinamento atmosferico non solo uccide persone tra la categoria ad alto rischio, ma fa pure affluire nuovi individui in questa categoria. Quindi le serie temporali danno una stima delle morti "extra" che avvengono in pochi giorni ma che sono anticipate da mesi a anni rispetto a quanto si sarebbe visto in assenza di inquinamento."

I dati disponibili indicano, inoltre, che l'esposizione al PM10 è associata con l'aggravamento della patologia asmatica, mentre non è stato finora dimostrato un suo ruolo nel determinare l'insorgere dell'asma. E' noto infatti che il PM10 è in grado di indurre una risposta infiammatoria nelle vie respiratorie, risultante in una diminuzione della funzionalità polmonare e nell'aggravamento dell'infiammazione preesistente negli stati d'asma. Gli effetti dannosi del PM10 sono legati alle sue caratteristiche chimiche e fisiche. Il particolato contiene infatti una serie di sostanze con effetti tossicologici importanti (aerosol acidi, metalli, idrocarburi policiclici aromatici ed altri composti organici, endotossine).

Inoltre alcune delle sostanze adsorbite sulle particelle possono reagire tra loro dando origine ad altre specie chimiche con effetti tossici maggiori di quelle di partenza.

I meccanismi alla base degli effetti respiratori del PM10 implicano il fatto che il particolato, entrato nelle vie respiratorie, innesca processi di infiammazione a carico dei tessuti con cui viene a contatto. Studi di tossicità condotti sull'animale e sull'uomo, hanno evidenziato che alla base della risposta infiammatoria vi sono processi ossidativi, mediati da radicali liberi.

In sintesi si verifica, a livello polmonare, un danno tissutale acuto con conseguente attivazione di meccanismi di riparazione. Il continuo ripetersi di tali cicli di danno e riparazione può portare a una trasformazione patologica dell'epitelio (metaplasia mucosa) e ad una cronicizzazione dell'infiammazione.

Per quanto riguarda l'aggravamento delle malattie cardiovascolari, alcuni studi epidemiologici suggeriscono che il PM10 possa portare ad un aumento della viscosità e della coagulabilità del sangue.

L'inquinamento da particolato può portare altre alterazioni a carico dell'apparato circolatorio, quali l'aumento della concentrazione di fibrinogeno e piastrine nel sangue, il sequestro di globuli rossi nel polmone, l'aumento del rischio di aritmia; il ruolo di queste alterazioni negli eventi cardiovascolari legati al PM10 sono però ancora da chiarire completamente. Si pensa che i danni cardiovascolari da inquinanti dell'aria siano dovuti all'attivazione delle cellule dell'infiammazione sia nei polmoni che nell'intero organismo, all'aumento della coagulazione del sangue, all'attivazione di riflessi del sistema nervoso simpatico e quindi la possibile insorgenza di aritmie; quest'ultimo meccanismo potrebbe spiegare parte dell'aumento di morti improvvise legate al PM 2.5. I meccanismi biologici ancora non sono completamente chiari, ma da studi in vitro risulta che il particolato induce nelle cellule svariati effetti negativi tra cui tossicità cellulare, mutagenicità, danneggiamento del DNA e produzione di agenti proinfiammatori¹.

Gli effetti tossici del PM10 sembrano riconducibili sia alle dimensioni che alla composizione chimica delle particelle. Diversi studi sperimentali, svolti proprio per chiarire quali componenti del particolato determinino gli effetti proinfiammatori, suggeriscono un ruolo importante della componente metallica e/o della frazione fine (PM_{2,5}) e ultrafine (PM_{0,1}).

¹ ([Mutat Res.](#) 2006 Aug 30; [Epub ahead of print])

Secondo i risultati di alcuni studi, i metalli, e in particolare i metalli di transizione, potrebbero agire mediante reazioni chimiche ("reazioni di Fenton") in grado di generare radicali liberi: questi possono indurre stress ossidativo e danni ai sistemi biologici, e favorire l'infiammazione nei tessuti.

Anche gli studi sulle particelle ultrafini mostrano che esse hanno diverse proprietà proinfiammatorie: inducono, a parità di massa-dose, un'infiammazione maggiore rispetto a particelle più grandi. Si pensa inoltre che le particelle ultrafini abbiano maggiori possibilità di interagire con i tessuti, sia perchè hanno un rapporto superficie/massa maggiore rispetto alle particelle più grandi, sia perchè possono essere assorbite all'interno dei tessuti polmonari ed anche entrare nel circolo sanguigno, raggiungendo altri organi.

Esistono per di più, diverse evidenze di un'associazione tra esposizione a PM10 e cancro e/o danni al materiale genetico. Recentemente uno studio americano ha documentato un'associazione tra esposizione cronica a PM10 e mortalità per cancro al polmone, limitatamente ad individui di sesso maschile. Gli estratti di particolato urbano possono indurre tumori alla pelle in animali da esperimento e causano mutazioni genetiche. Altri studi *in vitro* hanno dimostrato che il particolato urbano è genotossico in cellule di mammifero.

E' stato inoltre dimostrato che il particolato delle emissioni diesel è cancerogeno nell'animale ed è stato classificato come "probabile cancerogeno per l'uomo" (gruppo 2A) dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC). Anche gli estratti di particolato di motori a benzina e diesel sono risultati mutageni. L'attività mutagena del particolato è associata quasi esclusivamente al particolato fine ed è da attribuire principalmente al suo contenuto di idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Per quanto riguarda le malattie allergiche, l'evidenza di un'associazione tra inquinamento da PM10 e aumento di quest'ultime, è per ora limitata. Parecchi studi hanno considerato il contenuto in allergeni del PM10, allo scopo di valutarne gli effetti sulla salute, ma non ci sono dati sufficienti a dimostrare un'azione allergizzante del particolato.

E' stato osservato però che il particolato delle emissioni diesel fa aumentare la sintesi degli anticorpi coinvolti nelle reazioni allergiche ed è quindi possibile che possa causare una sensibilizzazione ai comuni allergeni.

E' stata avanzata l'ipotesi che interagendo assieme, o con altri fattori ambientali, il particolato e gli inquinanti gassosi possano avere effetti dannosi a lungo termine sugli individui allergici.

5. L'esposizione dell'uomo

L'esposizione personale totale di un individuo al PM10 è data, in via teorica, dalla concentrazione di PM10 misurata nella zona in cui l'aria viene immessa nelle vie respiratorie, quindi in prossimità delle narici e della bocca.

Questa concentrazione varia con gli spostamenti dell'individuo ed ha diverse componenti:

- l'inquinamento dell'ambiente esterno;
- gli inquinanti ambientali esterni infiltrati all'interno degli edifici;
- gli inquinanti generati all'interno degli edifici stessi (o domestici);
- gli inquinanti generati dalle attività personali dell'individuo.

Le prime due componenti costituiscono insieme la componente ambientale (A), mentre le ultime due costituiscono la componente non ambientale (NA) dell'esposizione.

L'effettiva esposizione di un individuo in un certo arco di tempo può essere misurata, mediante apparecchi che eseguono campionamenti dell'aria proprio là dove viene inspirata, per poi analizzarla.

Negli studi epidemiologici, che coinvolgono numeri elevati di individui, l'esposizione personale, impossibile da determinare strumentalmente per ciascun individuo, viene spesso sostituita con i valori di concentrazione del PM10 nell'ambiente esterno, misurata in postazioni fisse.

L'esposizione personale totale (**T**) è data dalla somma della componente ambientale (**A**) e dalla componente non ambientale (**NA**).

$$\mathbf{T} = \mathbf{A} + \mathbf{NA}$$

Fonte: Us.EPA - Fourth External Review Draft of Air Quality Criteria for Particulate Matter (June,2003),Vol.I

In generale, mentre la componente A è ben correlata alla concentrazione di PM10 misurate all'aperto, la quota NA, di origine domestica e personale, è variabile ed indipendente da quella ambientale. Negli studi epidemiologici che coinvolgono numeri molto alti di osservazioni, la concentrazione esterna del PM10, si è rilevata una buona stima dell'esposizione totale di una popolazione. In quei casi in cui i dati ambientali possono non essere adeguati, è necessario utilizzare altri metodi (modelli matematici e statistici, indicatori di esposizione, biomarkers, ecc.) che permettono una stima migliore dell'esposizione individuale, anche in assenza di una misura strumentale.

La concentrazione di particolato rilevata all'interno di edifici è composta dalla componente non ambientale (domestica e personale) e della frazione di particolato ambientale infiltrato dall'esterno. La capacità dell'inquinante di entrare nell'edificio dipende prevalentemente dal ricambio d'aria, ovvero dal tipo di infissi, dalla temperatura esterna, dalle ore di apertura delle finestre, dall'uso di impianti di condizionamento ed altro ancora.

Questo tipo di studi ha permesso di evidenziare una diversa capacità di infiltrazione delle particelle in funzione delle loro dimensioni. In particolare, le particelle ultrafini e grossolane entrano meno facilmente di quelle con diametro intermedio. La capacità di infiltrazione è massima per le particelle con dimensioni tra i 0,06 micron ed i 0,6 micron.

Ci si potrebbe a questo punto chiedere, se l'esposizione di origine non ambientale possa creare confusione nel determinare gli effetti sulla salute dei livelli del PM10 basandosi sulle misure nell'aria esterna.

Questo non è realistico, infatti, come già visto, l'esposizione totale di un individuo è correlata con la concentrazione di PM10 misurata all'esterno. In genere l'esposizione non ambientale non influisce sulla valutazione degli effetti del PM10, perché è indipendente dalla concentrazione del PM10 nell'aria esterna, come risulta da alcuni studi.

6. Epidemiologia

6.1 Gli studi epidemiologici

Gli studi epidemiologici sono studi che vengono condotti su un numero di solito molto grande di persone per rilevare relazioni di tipo causa-effetto tra l'**esposizione** ad un fattore inquinante e l'insorgere di una **malattia** (o morte). Oggetto dello studio può essere un'intera comunità (ad es. città) o sottoinsiemi omogenei di essa (ad. es. asmatici, cardiopatici).

Numerosi studi epidemiologici hanno dimostrato l'esistenza di relazioni statisticamente significative tra esposizione a concentrazioni ambientali di PM10 e una serie di aspetti sanitari quali: la mortalità, i ricoveri ospedalieri, le visite mediche, i sintomi respiratori e i cambiamenti fisiologici della funzione polmonare. Tali relazioni riguardano sia esposizioni a breve termine che esposizioni a lungo termine e servono, in accordo con le conoscenze derivate da altre discipline (tossicologia, dosimetria, ecc.) a definire un problema in termini di rischio per stabilire limiti di esposizione per la protezione della salute umana.

Il tipo di indagine epidemiologica condotta influenza la significatività dei fattori di rischio trovati. Si distinguono principalmente due tipi di studi:

- **studi retrospettivi con serie storiche**

Quando si intraprendono questo tipo di studio gli eventi "**esposizione**" e "**malattia**" si sono già verificati e si cerca di trovare una correlazione statistica usando **serie storiche** di dati. Gli studi

retrospettivi su serie storiche stimano però solo gli effetti dell'esposizione acuta e i fattori di rischio calcolati sono quindi sottostimati.

- studi prospettici o di coorte

In questo caso invece l'evento "**esposizione**" può essersi già verificato ma la "**malattia**" non si è ancora manifestata. Il ricercatore seleziona due gruppi di persone (esposti e non esposti) e li segue negli anni registrando le esposizioni, l'insorgere di malattie, le mortalità e l'esposizione ad altri fattori confondenti. I rischi calcolati con questo approccio stimano le conseguenze dell'**esposizione cronica** e sono quindi di gran lunga migliori rispetto a quelli ottenuti a posteriore con studi retrospettivi. Per contro gli studi di coorte richiedono tempi molto più lunghi (diversi anni).

Sebbene gli studi epidemiologici continuino ad evidenziare e a confermare le relazioni significative tra esposizione ai PM10 e danni sanitari, i risultati più recenti nelle ricerche delle relazioni causali non sono ancora soddisfacenti ma aggiungono elementi che permettono di formulare varie ipotesi sui meccanismi con cui i PM10, da soli o in concomitanza con altri cofattori, possono causare danni alla salute. Le difficoltà sono legate al fatto che l'eziologia della maggior parte delle malattie legate all'inquinamento sono altamente multifattoriali e l'impatto causato dalle esposizioni all'inquinamento atmosferico su tali malattie è spesso modesto rispetto ad altri fattori eziologici (ad. esempio fumo di sigaretta).

6.2 Espressione del rischio

In generale, nel procedimento di valutazione dell'esistenza di una associazione sono in gioco due variabili: la presunta **causa** (o variabile indipendente) e l'**effetto** (detto «variabile dipendente» in quanto subordinato appunto alla variabile indipendente). In genere l'effetto è rappresentato dalla comparsa della malattia, e quindi l'esistenza della associazione si dimostra confrontando la frequenza della malattia in due popolazioni costituite rispettivamente da individui **esposti** e **non esposti** ad una presunta causa (o «fattore di rischio»). Per quantificare il rischio si calcola il rischio relativo (RR) che è il rapporto tra l'incidenza (di un dato effetto) negli esposti e l'incidenza nei non esposti.

$$\text{Rischio relativo} = \frac{\text{incidenza negli esposti}}{\text{incidenza nei non esposti}}$$

↓

$$\text{Rischio relativo} = \frac{a / (a+b)}{c / (c+d)} \quad \text{dove}$$

	si malattia	no malattia
si esposizione	a	b
no esposizione	c	d

Per l'interpretazione del RR bisogna considerare che l'indice può assumere valori teorici compresi fra 0 e +infinito. È intuitivo che un valore =1 indica assenza di associazione tra malattia ed esposizione, in quanto testimonia che l'incidenza negli esposti è uguale all'incidenza nei non esposti. Un valore <1 indica una associazione negativa (cioè il fattore può proteggere dalla malattia) mentre un rapporto >1 indica l'esistenza di una associazione positiva (il fattore può causare la malattia).

6.3 Effetti dell'esposizione a breve termine

Nello studio svolta dall'US EPA statunitense, in cui sono stati considerati molti studi, è risultato che, con poche eccezioni, il tasso del rischio relativo (RR) è generalmente positivo e statisticamente significativo ad indicare un'influenza negativa dell'esposizione al PM sulla salute umana.

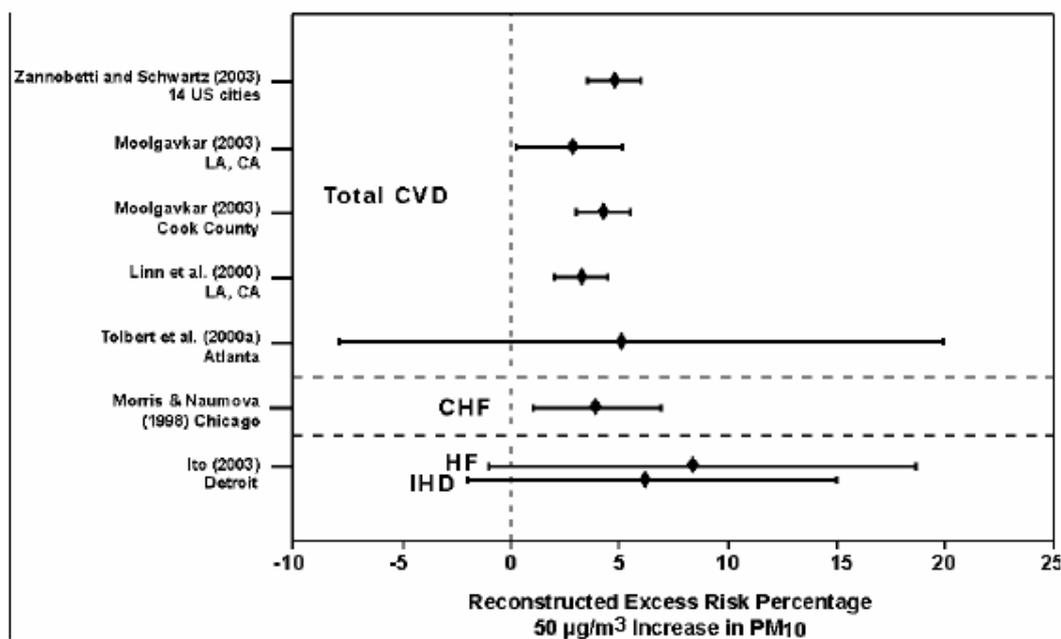
L'analisi delle 90 città più grandi americane ha permesso di calcolare un incremento medio nazionale di circa **2,3%** nella mortalità totale dovuto ad un aumento di **50 µg PM10 per 24 ore**. Rianalisi di altri studi americani sia multi-città che su singole città, riporta incrementi compresi tra **2,5 - 5% per incrementi di 50 µg PM10**. Studi analoghi condotti in città europee conducono a stime analoghe a quelle americane.

Le sempre maggiori evidenze ottenute dai nuovi studi epidemiologici permettono di asserire che l'esposizione a concentrazioni ambientali di PM sono correlate in varia misura con patologie cardiovascolari e respiratorie; infatti l'impatto dell'esposizione a PM sui ricoveri ospedalieri per queste cause è generalmente maggiore rispetto ai ricoveri totali.

Questo darebbe supporto ad entrambe le seguenti ipotesi:

- gli effetti acuti dell'esposizione ai PM si realizzerebbero secondo un percorso cardio-polmonare;
- persone affette da pre-esistenti malattie cardiovascolari e respiratorie hanno una maggiore suscettibilità all'esposizione a PM.

Per quanto riguarda gli effetti cardiovascolari, complessivamente, il tasso del rischio relativo (RR) calcolato per i ricoveri ospedalieri dovuti a incrementi di **50 µg/m³ PM10** si aggirano tra il **3 ed il 7%**, come mostrato in figura.



Gli studi che hanno osservato le relazioni PM e malattie cardiovascolari (ricoveri ospedalieri, misure funzionalità cardiaca e cambiamenti nelle caratteristiche del sangue) permettono di fare le seguenti affermazioni:

- gli studi sulle ammissioni ospedaliere indicano che gli effetti all'esposizione a PM è immediata con qualche strascico nel giorno successivo all'esposizione;
- non ci sono ancora adeguate conoscenze per individuare una componente dei PM, sia come composizione che come dimensione, più responsabile di altre per gli effetti sulle malattie cardiovascolari.

- sebbene alcuni studi rilevino una maggiore incidenza dei ricoveri ospedalieri negli anziani (>65 anni) le differenze spesso non sono così evidenti e incontrovertibili;
- le serie storiche considerate spesso sono state trattate in modo da escludere le variazioni meteorologiche e la presenza di inquinanti. Nello studio di quest'ultimi, spesso il ruolo del monossido di carbonio (CO) emerge come uno degli inquinanti gassosi maggiormente associato a ospedalizzazioni per malattie cardiovascolari.

In relazione ai problemi respiratori, gli studi che correlano le ospedalizzazioni e le visite di primo soccorso per questo tipo di problemi, con l'esposizione ad un **incremento di 50 microg/m³ di PM10** indicano tutti una relazione positiva, significativa statisticamente, che si traduce in percentuali di RR che varia tra il **5 ed il 25%**.

Un'altra indicazione che sta emergendo da studi su sintomi respiratori e decrementi della funzionalità polmonare in gruppi di asmatici, è il ruolo importante che i PM sembrano svolgere nel peggioramento della sintomatologia asmatica.

Questo tipo di studi viene condotto monitorando in gruppi di asmatici la gravità dell'affezione asmatica attraverso la misurazione della funzionalità polmonare (PEFR, portata massima espiratoria polmonare) e l'insorgere di sintomi respiratori (tosse, catarro, respirazione difficoltosa, uso di broncodilatatori). Le misure di PEFR dimostrano piccoli decrementi della funzionalità in relazione ad aumenti di PM10 e PM2,5. Spesso vengono riportate correlazioni forti con l'ozono i cui effetti spesso non sono distinguibili in questi studi.

Anche i sintomi respiratori risultano positivi alla correlazione se pur meno consistenti rispetto ai risultati sulla funzionalità polmonare.

6.4 Effetti dell'esposizione a lungo termine

Gli effetti a lungo termine sono stati studiati negli ultimi anni seguendo nel tempo gruppi di persone (coorti). Gli individui inclusi nella sperimentazioni vengono registrati e monitorati nel tempo sia per le esposizioni che per gli effetti sulla salute. L'Organizzazione Mondiale della Sanità, ha così quantificato i RR per le esposizioni a lungo termine ai PM:

Sommario dei fattori di rischio (RR) per esposizioni a lungo termine associati ad incrementi della concentrazione di 10 microg/m³

	Rischio Relativo per PM2,5	Rischio Relativo per PM10
Morte	1,14 (1,04-1,24)	1,10 (1,03-1,18)
Morte	1,07 (1,04-1,11)	
Bronchiti	1,34 (0,94-1,99)	1,29 (0,96-1,83)
cambiamento % FEV bambini	-1.9% (da -3.1% a -0.6%)	-1,2% (da -2.3% a -0.1%)
cambiamento % FEV adulti		-1.0%

FEV= Volume Espiratorio Forzato (dall'inglese, Forced Expired Volume)

Lavori recenti, oltre a confermare gli effetti dei PM sulle mortalità per cause respiratorie e cardiovascolari, hanno sostanziato il legame tra l'esposizione a lungo termine a polveri fini e l'insorgenza di *cancri al polmone*. Quest'ultima evidenza è consistente con i risultati che riportano un aumento del rischio di contrarre cancro al polmone per esposizione ai gas esausti di motori diesel, un importante fonte di PM2,5 nelle aree urbane americane.

Da altri studi emerge che i PM2,5 sono la componente dei PM più chiaramente associata nelle relazioni PM-mortalità.

Altri studi sugli effetti a lungo termine, riportano le seguenti osservazioni :

- l'esposizione ai PM di donne in stato di gravidanza può essere associato ad una crescita intrauterina rallentata con bambini nati sotto peso

- un precoce esposizione postnatale ai PM può portare ad un incremento della mortalità infantile.

In generale, tuttavia, le analisi degli studi considerati portano a dire che gli effetti osservati:

- non sono verosimilmente inficiati da tecniche statistiche inadeguate o da condizioni climatiche/meteorologiche;
- possono essere in qualche modo confusi o modificati da co-inquinanti e possono variare da stagione a stagione;
- non c'è una chiara evidenza per un valore soglia per gli effetti sulla mortalità.

6.5 Pericolosità delle polveri

Solo un numero limitato di studi suggerisce un ruolo causale delle particelle fini associate alla mortalità ma, alla luce delle serie storiche, della plausibilità biologica e dei risultati di studi sulla mortalità, è da considerare verosimile un ruolo più importante delle polveri fini su quelle grezze .

Alcuni lavori indicano la frazione PM_{2,5} come la componente più importante nel prevedere le fluttuazioni delle mortalità osservate, tuttavia diversi altri lavori danno una importanza equivalente alla frazione PM_{2,5-10} per lo meno in certi siti (generalmente più secchi e aridi) e probabilmente a causa di una maggior presenza di materiale biogenico (pollini, muffe). Sebbene gli studi che possono essere usati per la valutazione delle sorgenti siano limitati e da considerare con cautela, le analisi condotte finora indicano che il contributo più importante sulla mortalità deriva da PM prodotti da combustibili fossili (petrolio, carbone), da combustione di materiali vegetali, da solfati di formazione secondaria mentre non sembrano essere implicati le componenti dei PM di origine minerale (crosta terrestre).