



L'inquinamento atmosferico e i suoi effetti sulla salute umana

Fabrizio Stracci

Dip. S.M.C. e Sanità Pubblica – Pubblica Università di Perugia



Inquinamento atmosferico

- Alterazione delle caratteristiche chimiche dell'aria atmosferica:
- presenza nell'aria di sostanze in quantità tali da risultare
- dannose per la salute

- Estensione: in quantità tali da determinare effetti negativi sul benessere delle persone, su animali e ambiente, su materiali



Inquinanti 1

Possono costituire sostanze inquinanti:

- Normali costituenti dell'aria (alterazione *quantitativa*)
- Elementi estranei alla “normale” composizione dell'aria (alterazione *qualitativa*)

Composizione “normale” dell’aria

- Concetto indicativo in quanto la composizione dell’aria è variabile (ad esempio nel tempo)
- Miscela gassosa dell’atmosfera standard, detta anche atmosfera-tipo, aria-tipo o atmosfera internazionale:

Nome elemento	Percentuale in volume	Percentuale in massa
Azoto N_2	78,08 %	75,37 %
Ossigeno O_2	20,95 %	23,1 %
SUBTOTALE	99,03 %	98,47 %
Argon Ar	0,934 %	1,41 %
Diossido di carbonio CO_2 , Neon Ne , Elio He , Monossido di azoto NO , Kriptone Kr , Metano CH_4 , Idrogeno H_2 , Ossido di diazoto N_2O , Xenone Xe , Diossido di azoto NO_2 , Ozono O_3 , Radon Rn	0,036 %	0,12 %
TOTALE	100 %	100 %



Inquinanti 2

In relazione all'origine:

- Primari: sostanze immesse come tali in atmosfera
- Secondari: sostanze prodottesi in atmosfera in seguito a reazioni chimiche

- Antropici: la cui presenza deriva da attività umane
- Naturali: presenti in seguito a fenomeni naturali



Principali fonti di inquinamento

- traffico autoveicolare (residui dell'usura del manto stradale, dei freni e delle gomme delle vetture)
- industrie, impianti energetici, inceneritori
- riscaldamento domestico
- attività commerciali
- attività agricole
- processi naturali

L'inquinamento atmosferico acquisisce particolare rilevanza in **ambiente urbano** per il concentrarsi delle **fonti di inquinamento** (di frequente anche le aree industriali sorgono in prossimità degli insediamenti urbani) e della **popolazione suscettibile**



Criteria Pollutants

- Inquinanti principali (PM_x , SO_x , NO_x , CO , C_6H_6)
 - ubiquitari
 - definiscono gli standard di qualità dell'aria
 - ampiamente monitorati
- Tossici aerodispersi
 - numerosi (> 180)
 - spesso cancerogeni
 - misurati con minore frequenza



Natura degli inquinanti

- Gas
 - Gas propriamente detti
 - Vapori
- Particelle in sospensione (aerosol)
 - Solidi (polveri)
 - Liquidi

Le caratteristiche fisiche degli inquinanti in sospensione sono fondamentali in quanto **determinano** l'assorbimento da parte dell'organismo esposto



Il particolato 1 (*PM₁₀ Particulate Matter*)

← *diametro maggiore in micron*

Il PM presente nell'aria è una miscela di particelle solide e liquide in sospensione contenenti elementi quali carbonio, piombo, nichel, nitrati, solfati

dimensioni comprese tra 0,005 μm e 150 μm (TSP, *Total Suspended Particles*)

Una parte del PM ha maggiore rilevanza per gli effetti sulla salute umana

Il particolato 2 (*PM x particulate matter*)

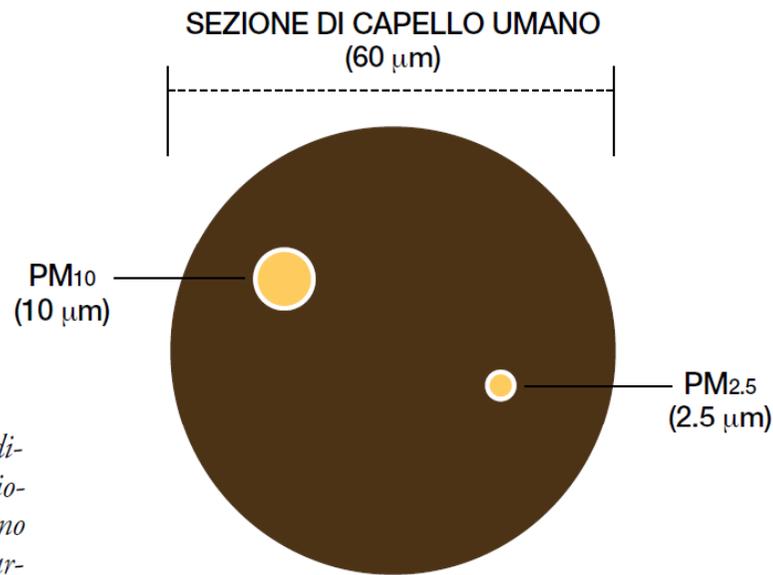


Figura 5. Confronto dimensionale tra la sezione di un capello umano e le due frazioni di particolato PM_{10} e $PM_{2.5}$

Inquinamento atmosferico e salute *Epidemiol Prev* 2009; 33(6) Suppl 2: 1-72

PM inalabile (diametro aerodinamico $< 10 \mu\text{m}$, PM_{10}),

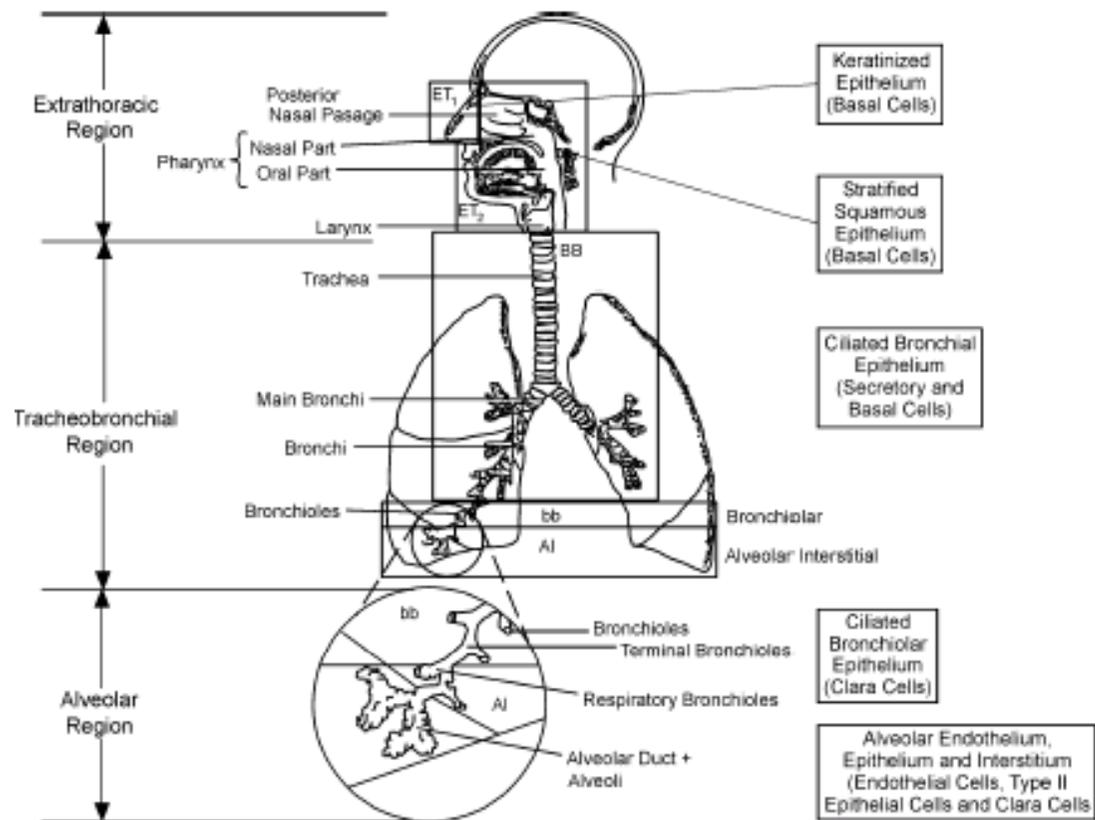
PM fine ($< 2,5 \mu\text{m}$, $PM_{2.5}$),

PM ultrafine ($< 0,1 \mu\text{m}$, $PM_{0.1}$)

6 luglio 2010

Penetrazione PM_x

- PM₁₀ – frazione inalabile, in grado di penetrare nel tratto respiratorio superiore (naso, faringe e laringe).
- PM_{2.5} – frazione toracica, in grado di penetrare in trachea, bronchi, bronchioli.
- PM_{0.1} – frazione alveolare o respirabile, in grado di penetrare profondamente nei polmoni fino agli alveoli





Gas 1 . Ossidi di zolfo SO_x

Gas incolori, di odore acre:

anidride solforosa SO_2

anidride solforica SO_3 (anche secondario)

Origine: combustibili contenenti zolfo

Azioni: irritante sulla mucosa delle vie respiratorie



Gas 2. Ossidi d'azoto NO_x

Gas; specie:

ossido d'azoto NO (incolore inodore)

biossido d'azoto NO_2 (rossastro pungente)

Origine: NO combustioni ad elevata temperatura
(traffico veicolare, centrali termoelettriche, riscaldamento domestico)

NO_2 secondario alla ossidazione fotochimica in
atmosfera di NO

Azioni: intermedio nella formazione di smog
fotochimico. Irritante e sinergico con PM.



Gas 3. Ozono O_3

Gas bluastro con odore caratteristico

Origine: secondario; si forma in presenza di altri inquinanti (VOC, NO_x) e irradiazione solare

Azione: instabile si decompone liberando ossigeno atomico, energico ossidante ha azione irritante sinergica con PM.



Ossido di carbonio CO

Gas incolore inodore;

Origine: traffico veicolare, e, in minor misura, riscaldamento domestico

Azioni: passaggio nel sangue e formazione di carbossiemoglobina e conseguente riduzione della capacità di trasporto dell'ossigeno



Altri inquinanti

- Benzene originato principalmente dal traffico veicolare è classificato come cancerogeno certo (IARC)
- Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)
- Composti Organici Volatili (COV) varie sostanze che originano da combustioni industriali o veicolari con azioni tossica ed irritante
- Piombo (Pb) sostituito come antidetonante nella benzina
- Metalli pesanti: (Arsenico (As) Cadmio (Cd) Mercurio (Hg) Nichel (Ni))



Miscele

Gli inquinanti atmosferici esercitano i loro effetti in termini di complesse miscele di gas e particolato piuttosto che singolarmente

Le concentrazioni degli inquinanti dipendono, oltre che dalle emissioni, dalle condizioni atmosferiche che influiscono sulla persistenza, sulla diluizione, sulla composizione (formazione di inquinanti secondari) delle miscele inquinanti

La **concentrazione** è la quantità di inquinante presente in una determinata matrice



Determinazione delle concentrazioni di inquinanti

- In corrispondenza delle sorgenti puntiformi
- Reti di rilevamento costituite da stazioni fisse e mobili
- Rilevazioni ad hoc non automatizzate
- Stima mediante modelli

Stazioni per il monitoraggio della qualità dell'aria

Inquinante

SO₂ (biossido di zolfo)

NO₂ (biossido di azoto)

NO_x (ossidi di azoto)

NO (ossido di azoto)

O₃ (ozono)

CO (ossido di carbonio)

PM₁₀ (materiale particolato < 10 µm)

PM_{2.5} (materiale particolato < 2,5 µm)

PTS (particolato totale sospeso)

C₆H₆ (benzene)

C₆H₅-CH₃ (toluene)

C₆H₅-CH₂-CH₃ (etil benzene)

C₆H₄(CH₃)₂ (isomeri xilene)

CH₄ (metano)

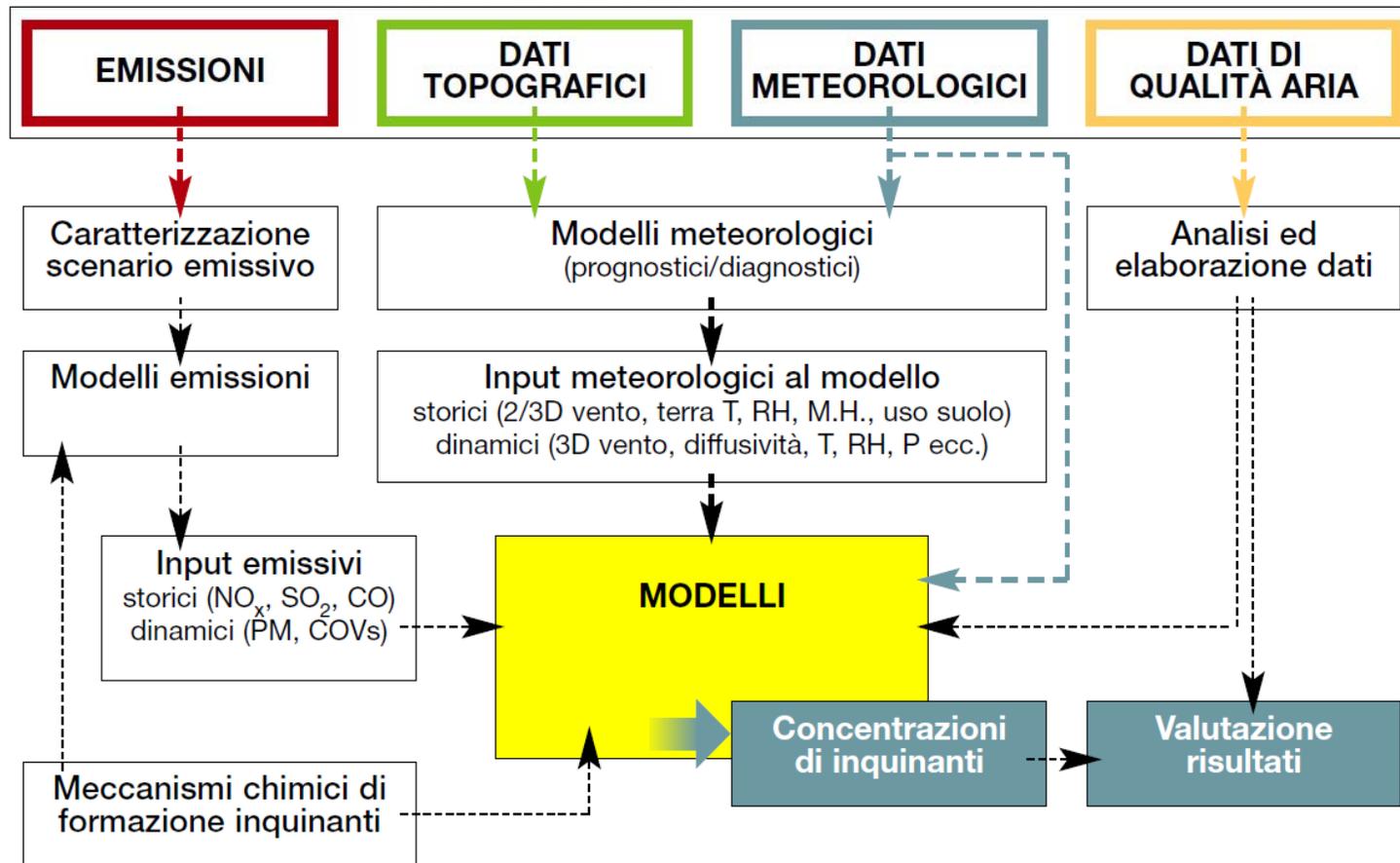
HCNM (idrocarburi non metanici)

H₂S (acido solfidrico)

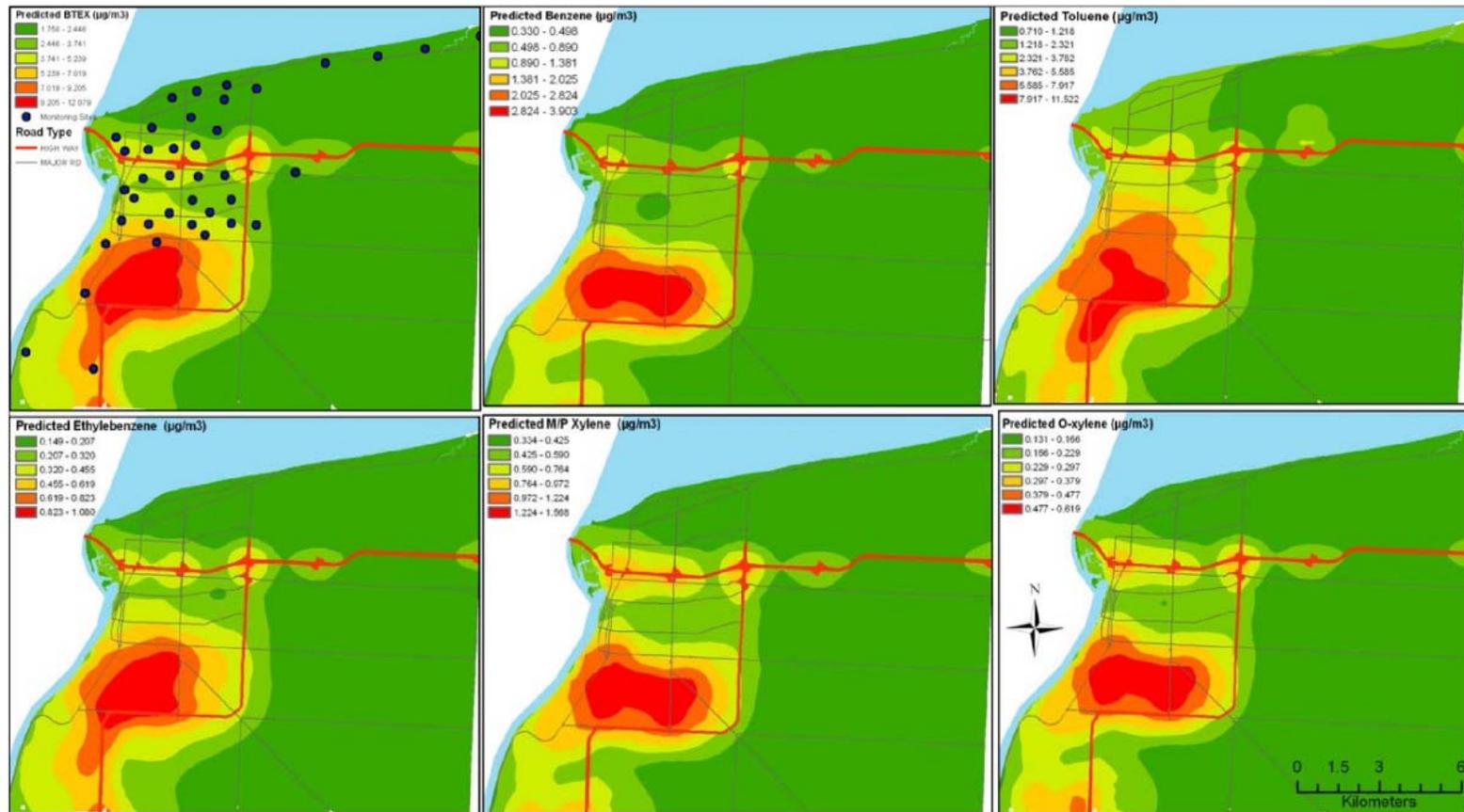
- fisse o mobili
- pubbliche o private
- inquinamento prevalente: da traffico, industriale, fondo
- sorveglianza rispetto limiti
- indicatori di qualità dell'aria
- stima delle concentrazioni in aree più vaste

Caratterizzazione delle concentrazioni di inquinanti

Modellistica ambientale



Modelli matematici servono a stimare le concentrazioni di inquinanti in aree di interesse





Esposizione

Contatto tra individuo ed inquinante

Si caratterizza per

- Concentrazione
- Durata

Via: inalatoria, cutanea, digestiva

La stima dell'esposizione serve ad indagare la relazione tra inquinanti e malattia

Concentrazione, esposizione e dose efficace possono differire

Interazione con altre esposizioni

1. Inquinanti dell'ambiente esterno
 2. Inquinanti ambientali esterni filtrati all'interno degli edifici
 3. Inquinanti generati all'interno degli edifici (domestici)
 4. Inquinanti generati dalle attività personali dell'individuo
 5. Inquinanti originati negli ambienti di lavoro
- } A
- } NA



Effetti sulla salute

- Gli effetti dell'inquinamento variano in relazione alle caratteristiche degli individui esposti (susceptibilità)
- Acuti: derivanti da esposizioni ad elevati livelli di inquinanti in occasioni concentrate nel tempo
- Cronici: esposizione di lungo periodo
- Reversibili
- Irreversibili

Effetti a breve e lungo termine

	Effetti a breve termine	Effetti a lungo termine
Definizione	gli effetti osservabili a pochi giorni di distanza dai picchi di inquinamento	gli effetti osservabili dopo esposizioni di lunga durata e a distanza di anni dall'inizio dell'esposizione
Tipologie	<ul style="list-style-type: none">• insorgenza di sintomi acuti (dispnea, tosse, respiro sibilante, produzione di catarro, infezioni respiratorie)• variazioni della funzione polmonare• aggravamento di patologie cardiovascolari e respiratorie• ospedalizzazioni per patologie cardiovascolari e respiratorie• mortalità respiratoria, cardiovascolare	<ul style="list-style-type: none">• aumento di incidenza e prevalenza di malattie respiratorie croniche (asma, BPCO) e malattie cardiovascolari croniche• variazioni permanenti nella funzione respiratoria• problemi di crescita del feto (basso peso alla nascita, ritardo della crescita intrauterina)• tumore polmonare• mortalità respiratoria, cardiovascolare

Effetti a breve termine: episodi storici 1

Smog riducente tipo Londra, invernale, condizioni di inversione termica

1930 Valle della Mosa, Belgio:
il forte inquinamento per tre giorni fa
ammalare 6.000 persone e ne uccide 63

1948 Donora, PA, 29 ottobre ore
12.00 am



20 decessi su 14.000 ab. Tra il 26 e il
31 ottobre

1952 London, England:
3-4.000 morti per la “nebbia
assassina” tra il 4 e il 9
dicembre



Effetti a breve termine: episodi storici 2

Smog fotochimico ossidante tipo Los Angeles



- Estivo
- SO_2 NO_2 O_3

Non si tratta di archeologia



Pechino 2009

Mortalità e inquinamento atmosferico

Esiti sanitari	Inquinanti (unità di misura)	Misure (IC 95%)
Effetti a breve termine		
Studio: Ostro et al, 2007 ⁽⁴⁷⁾ > 22 milioni adulti, 9 città americane		
Mortalità giornaliera:	PM _{2,5} (µg/m ³)	Incremento % per incremento di 15 µg/m ³ di PM _{2,5} :
totale		0,61 (0,18-1,04)
respiratoria		2,05 (0,02-4,12)
cardiovascolare		0,70 (0,07-1,33)
Studio: Gryparis et al, 2004 ⁽⁴⁸⁾ Più di 50 milioni di adulti, 23 città europee (APHEA 2)		
Mortalità giornaliera:	O ₃ (µg/m ³)	Incremento % per incremento di 10 µg/m ³ di O ₃ :
totale		0,31 (0,17-0,52)
respiratoria		1,13 (0,74-1,51)
cardiovascolare		0,46 (0,22-0,73)
Studio: Biggeri et al, 2004 ⁽⁶⁰⁾ 9,1 milioni di abitanti, 15 città italiane (MISA)		
Mortalità giornaliera:		Incremento % per incremento di 10 µg/m ³ di NO ₂ e PM ₁₀ e di 1mg/m ³ di CO:
tutte le cause	NO ₂ (µg/m ³)	0,6 (0,3-0,9)
	PM ₁₀ (µg/m ³)	0,31 (0,2-0,7)
	CO (mg/m ³)	1,2 (0,6-1,7)

Ospedalizzazione e inquinamento atmosferico

Studio e popolazione investigata

Outcome sanitari	Inquinanti (unità di misura)	Misure (IC 95%)
------------------	---------------------------------	-----------------

Effetti a breve termine

Studio: Anderson et al, 1997 ⁽⁴⁹⁾ Più di 18 milioni adulti, 6 città europee (APHEA)

		RR per incremento di 50 µg/m ³ di inquinanti:
Ospedalizzazione per BPCO	BS* (µg/m ³)	1,04 (1,01-1,06)
	PTS (µg/m ³)	1,02 (1,00-1,05)
	NO ₂ (µg/m ³)	1,02 (1,00-1,05)
	O ₃ (µg/m ³)	1,04 (1,02-1,07)
	SO ₂ (µg/m ³)	1,02 (0,98-1,06)

Studio: Biggeri et al, 2004 ⁽⁶⁰⁾ 9,1 milioni di abitanti, 15 città italiane (MISA)

		Incremento % per incremento di 10 µg/m ³ di NO ₂ e PM ₁₀ e di 1mg/m ³ di CO:
Ospedalizzazione per cause respiratorie	NO ₂ (µg/m ³)	0,77 (0,08-1,50)
	CO (mg/m ³)	1,25 (0,19-2,25)
	PM ₁₀ (µg/m ³)	0,60 (0,22-1,05)
Ospedalizzazione per cause cardiache	NO ₂ (µg/m ³)	0,57 (0,25-0,91)
	CO (mg/m ³)	1,44 (0,75-2,14)
	PM ₁₀ (µg/m ³)	0,29 (-0,04-0,59)



Effetto anticipazione/raccolto o reale?

Quando aumenta l'inquinamento peggiorano le condizioni di salute non solo di chi è già in situazioni critiche (harvesting), ma anche di chi è in condizioni meno gravi.

Se l'inquinamento si mantiene elevato nei giorni successivi anche tra queste persone si verificano più decessi e ricoveri in ospedale.



Effetti cronici

inquinanti presenti nell'ambiente di vita sono responsabili di quote non trascurabili di

- Malattie cardiovascolari
- Patologie respiratorie (BPCO , asma)
- Tumori maligni (polmone)



Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution

Objective To assess the relationship between long-term exposure to fine particulate air pollution and all-cause, lung cancer, and cardiopulmonary mortality.

Design, Setting, and Participants Vital status and cause of death data were collected by the American Cancer Society as part of the Cancer Prevention II study, an ongoing prospective mortality study, which enrolled approximately 1.2 million adults in 1982. Participants completed a questionnaire detailing individual risk factor data (age, sex, race, weight, height, smoking history, education, marital status, diet, alcohol consumption, and occupational exposures). The risk factor data for approximately 500 000 adults were linked with air pollution data for metropolitan areas throughout the United States and combined with vital status and cause of death data through December 31, 1998.

Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD.
JAMA. 2002 Mar 6;287(9):1132-41

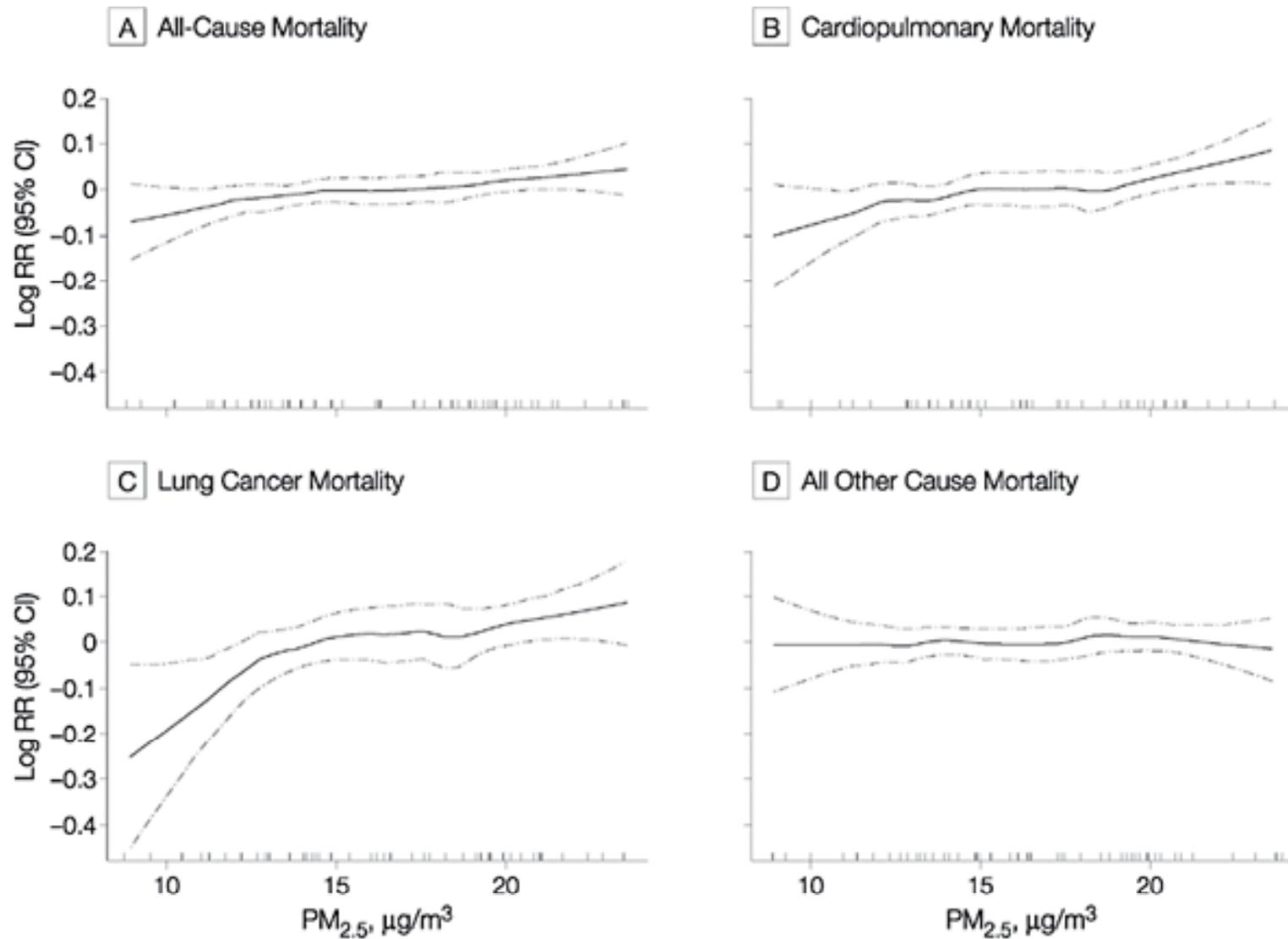


Figure 2. Nonparametric Smoothed Exposure Response Relationship
Vertical lines along x-axes indicate rug or frequency plot of mean fine particulate pollution; $PM_{2.5}$, mean fine particles measuring less than 2.5 μm in diameter; RR, relative risk; and CI, confidence interval



Results Fine particulate and sulfur oxide–related pollution were associated with all-cause, lung cancer, and cardiopulmonary mortality. Each $10\text{-}\mu\text{g}/\text{m}^3$ elevation in fine particulate air pollution was associated with approximately a 4%, 6%, and 8% increased risk of all-cause, cardiopulmonary, and lung cancer mortality, respectively. Measures of coarse particle fraction and total suspended particles were not consistently associated with mortality.

Conclusion Long-term exposure to combustion-related fine particulate air pollution is an important environmental risk factor for cardiopulmonary and lung cancer mortality.

Prevalenza di patologie respiratorie

Effetti a lungo termine

Studio: Schikowski et al, 2005 ⁽⁷⁶⁾ 4.757 donne (50-59 anni), Germania

BPCO	NO ₂ (µg/m ³)	OR per incremento di un range interquartile di inquinanti: (16 µg/m ³ NO ₂ ; 7 µg/m ³ PM ₁₀)
	PM ₁₀ (µg/m ³)	1,43 (1,23-1,66) 1,33 (1,03-1,72)

Studio: Annesi-Maesano et al, 2007 ⁽⁸⁷⁾ 5.338 bambini, 6 città francesi

Asma	PM _{2.5} (µg/m ³)	OR per concentrazioni di PM _{2.5} >10 µg/m ³ :
Asma atopico		1,31 (1,04-1,66) 1,58 (1,17-2,14)

Studio: Brauer et al, 2007 ⁽⁸⁸⁾ 4.146 bambini (0-4 anni), Olanda

Sibili	NO ₂ (µg/m ³)	OR per incremento di un range interquartile di inquinanti: (10,6 µg/m ³ NO ₂ ; 3,3 µg/m ³ PM ₁₀)
	PM _{2.5} (µg/m ³)	1,19 (1,05-1,34) 1,22 (1,06-1,41)
Asma	NO ₂ (µg/m ³)	1,28 (1,04-1,56)
	PM _{2.5} (µg/m ³)	1,32 (1,04-1,69)

*BS: black smoke.

Prevenzione

La riduzione dei livelli di particolato è risultata associata a una riduzione del tasso di mortalità, in particolare per malattie respiratorie e cardiovascolari in studi europei e statunitensi.

La riduzione di esposizioni associate ad eccessi di rischio moderati-bassi ma diffuse può conseguire risultati importanti





Indicazioni bibliografiche

- Gilli G. Igiene dell'ambiente e del territorio. *Storico ma molto ben fatto*
- Ricciardi W. Igiene, Medicina Preventiva, Sanità Pubblica/
- Barbuti S Bellelli E Fara GM Giammanco G Igiene
- Inquinamento atmosferico e salute: sorveglianza epidemiologica e interventi di prevenzione. A cura di: Sandra Baldacci, Sara Maio, Giovanni Viegi a nome del Gruppo collaborativo EPIAIR Epidemiol Prev 2009; 33(6) Suppl 2: 1-72. <http://www.epidemiologiaeprevenzione.it/cms/?q=node/102>

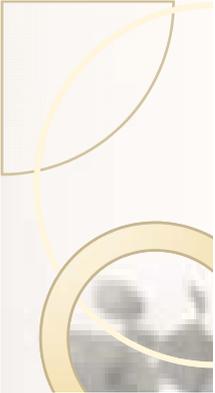


Fine



Argomenti correlati

- [Utilizzo di marcatori biologici e di suscettibilità negli studi sugli effetti dell'inquinamento atmosferico]
- [La normativa attuale in materia di inquinamento atmosferico]
- [Incidenti con diffusione di inquinanti in atmosfera]
- [L'inquinamento in ambienti confinati]
- [Patologia occupazionale derivante da inquinanti atmosferici]
- [Inquinamento atmosferico da agenti biologici]



Studi tossicologici

Scopi	Vantaggi	Limiti
Tipo di studio: Tossicologico		
su animali <ul style="list-style-type: none">• studiare il tipo di effetto indesiderato• quantificare la reazione dose-effetto compreso il NOAEL (<i>No observed adverse effect level</i>)	<ul style="list-style-type: none">• endpoint multipli• studi di esposizione risposta relativamente veloce	<ul style="list-style-type: none">• estrapolazione interspecie per confronto con risultati sull'uomo• costi elevati per studi ripetuti
in vitro <ul style="list-style-type: none">• spiegare i meccanismi che sottendono l'effetto indesiderato	<ul style="list-style-type: none">• rivolti ai meccanismi• si possono comparare cellule umane e animali	<ul style="list-style-type: none">• i sistemi artificiali non sempre riflettono le proprietà di quelli in vivo• non ci sono interazioni cellula-cellula