

1

EFFETTI SULLA SALUTE DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

HEALTH EFFECTS OF AIR POLLUTION

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) stima che l'inquinamento atmosferico ambientale causi nel mondo circa 3,7 milioni di decessi all'anno, 800.000 solo in Europa; esso è responsabile di 6,3 milioni di anni di vita persi e del 3% della mortalità cardio-respiratoria.¹ In un recente processo di revisione della letteratura scientifica sui principali inquinanti, l'OMS ha raccomandato all'Unione europea politiche urgenti di contenimento delle emissioni e standard di qualità dell'aria più stringenti (progetto RE-VIHAAP; www.euro.who.int). Nel 2013, l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro dell'OMS (IARC) ha stabilito che esistono prove sufficienti della cancerogenicità del particolato atmosferico (PM₁₀ e PM_{2,5}), in particolare per il cancro del polmone.

L'inquinamento atmosferico può esercitare i suoi effetti sulla salute sia per esposizioni acute, di breve durata, sia per esposizioni croniche, di lunga durata. A esposizioni di breve durata è risultata associata l'insorgenza di patologie acute quali l'infarto del miocardio o l'ictus a distanza di pochi giorni, o addirittura il decesso nel caso di individui suscettibili.²⁻⁸ In Europa, il progetto ESCAPE (European Study of Cohorts for Air Pollution Effects; www.escapeproject.eu) ha studiato gli effetti cronici dell'inquinamento atmosferico nelle coorti di soggetti adulti. I risultati di ESCAPE sinora pubblicati mettono in evidenza l'esistenza di un'as-

soziazione tra esposizione cronica a inquinanti dell'aria e mortalità naturale ed eventi cardiovascolari,⁹⁻¹² e tumore del polmone, cerebrale, della mammella e dell'apparato digerente.¹³⁻¹⁶ Il recente *statement* congiunto della European Respiratory Society e dell'American Respiratory Society chiarisce l'ampio spettro degli effetti avversi dell'inquinamento, anche su patologie "nuove" come le malattie neurologiche e metaboliche in precedenza non studiate.¹⁷ I risultati dei nuovi studi si associano alle recenti stime del *global burden of disease*, che pongono l'inquinamento atmosferico al quinto posto nel mondo tra le cause di malattia e di mortalità, appena dopo la dieta, il fumo, l'ipertensione e il diabete: 4,2 milioni di decessi prematuri l'anno.¹⁸ Queste stime sono disponibili anche per il nostro Paese, elaborate con la stessa metodologia, e indicano per l'Italia un tributo dovuto al PM_{2,5} di più di 30.000 decessi l'anno.¹⁹ Stime compatibili con quanto già elaborato dal progetto VIIAS (Valutazione integrata dell'Impatto dell'Inquinamento atmosferico sull'Ambiente e sulla Salute in Italia; www.viias.it), realizzato nel quadro delle iniziative del Centro Nazionale per la Prevenzione e il Controllo delle Malattie (CCM) del Ministero della Salute.

Nella tabella che segue sono descritti i principali inquinanti dell'aria, i loro effetti sulla salute e i gruppi di popolazione più suscettibili.

EFFETTI SULLA SALUTE DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Biossido di zolfo (SO₂)**Inquinante**

L'SO₂ è un gas dal caratteristico odore pungente. Le emissioni di origine antropica derivano prevalentemente dall'utilizzo di combustibili solidi e liquidi e sono correlate al contenuto di zolfo sia come impurezze sia come costituenti nella formulazione molecolare dei combustibili.

Negli ultimi decenni, nei Paesi economicamente sviluppati, il contenuto in zolfo dei carburanti è stato notevolmente ridotto, quindi la fonte principale del biossido di zolfo è rappresentata dalle navi che usano petrolio grezzo come combustibile e dai processi industriali di fusione dei metalli.

Le concentrazioni di fondo del biossido di zolfo in aree rurali sono, in Europa, al di sotto di 5 µg/m³, anche se in prossimità di aree industriali si può osservare un aumento della concentrazione fino a 25 µg/m³. Nelle aree urbane, viceversa, il biossido di zolfo si è ridotto notevolmente e le concentrazioni annuali medie sono attualmente nel range di 12-45 µg/m³.

Effetti sulla salute

I primi sintomi della presenza di SO₂ sono avvertiti ad una concentrazione di circa 0,3 ppm, oltre al quale l'odore comincia a raggiungere il limite di tollerabilità. Gli effetti irritanti dell'SO₂ sono in genere limitati alla mucosa del naso e del tratto superiore dell'apparato respiratorio, dove provoca lesioni simili a quelle della bronchite. A concentrazioni superiori, a 1,6 ppm per qualche minuto, l'SO₂ può produrre una broncocostrizione, con la riduzione degli indici spirometrici di funzionalità polmonare e la comparsa di sintomi quali dispnea e affanno. Effetti simili sulla funzionalità polmonare con aggravamento delle bronchiti croniche, dell'asma e dell'enfisema sono stati osservati anche per esposizioni croniche all'SO₂ con livelli di concentrazione pari a 100 µg/m³. I danni al sistema respiratorio dell'SO₂ derivano dalla combinazione del gas con il particolato atmosferico. Il PM favorirebbe il trasporto dell'SO₂ in zone più profonde dell'albero respiratorio, potenziandone gli effetti. A causa dell'elevata solubilità in acqua, l'SO₂ viene assorbito facilmente dalle mucose del

naso e del tratto superiore dell'apparato respiratorio, mentre solo piccolissime quantità raggiungono la parte più profonda del polmone.

Fra gli effetti acuti imputabili all'esposizione ad alti livelli di SO₂ sono compresi:

- un aumento della resistenza al passaggio dell'aria a seguito dell'inturgidimento delle mucose delle vie aeree;
- l'aumento delle secrezioni mucose, bronchite, tracheite, spasmi bronchiali e/o difficoltà respiratorie negli asmatici.

Fra gli effetti a lungo termine possono manifestarsi:

- alterazioni della funzionalità polmonare;
- aggravamento delle bronchiti croniche, dell'asma e dell'enfisema.

Suscettibili

I principali sottogruppi di popolazione che sono più sensibili all'SO₂ sono gli asmatici e le persone con malattie cardiovascolari o malattia polmonare cronica (come la bronchite o l'enfisema polmonare), così come i bambini e gli anziani.

Ossidi di azoto**Inquinante**

Gli NO_x si formano da processi di combustione alle alte temperature, che avvengono nei motori delle automobili (il traffico è di gran lunga la sorgente più importante per queste emissioni) oltre che nelle industrie e, in particolare, nelle centrali per la produzione di energia. Le altre fonti sono le caldaie, alcune pratiche usate in agricoltura e sorgenti naturali come i vulcani o i processi metabolici di certi batteri. In generale, il 90% degli ossidi di azoto emesso dalle sorgenti inquinanti è composto da monossido di azoto (NO) e per il restante 10% da biossido di azoto (NO₂): fanno eccezione, però, i motori diesel, per i quali l'NO₂ rappresenta anche il 70% delle emissioni totali di questa famiglia di gas.

Nonostante il contributo delle sorgenti naturali di NO₂ (intrusione dalla stratosfera, eruzioni vulcaniche, fulmini) sia superiore a quello delle attività

umane, i processi di combustione legati alla produzione di calore o energia (caldaie domestiche a gas) e al traffico autoveicolare (soprattutto veicoli diesel) contribuiscono notevolmente ad aumentare la concentrazione dell'NO₂ nelle aree urbane, al punto che l'NO₂ è ragionevolmente considerato un tracciante dell'inquinamento da traffico.

Sebbene il biossido di azoto sia uno dei principali inquinanti degli ambienti esterni, questo gas può essere presente in concentrazioni piuttosto alte anche nei luoghi chiusi; le principali sorgenti di NO₂ sono il fumo di tabacco, le stufe a cherosene, legna o carbone, i fornelli delle cucine, le candele profumate e i bastoncini di incenso.

Effetti sulla salute

La concentrazione di fondo dell'NO₂ ha un range da 0,4 a 9,4 µg/m³; il limite che l'OMS suggerisce di non superare, a tutela della salute umana, è di 40 µg/m³ come media annuale e di 200 µg/m³ come concentrazione media oraria. I meccanismi mediante cui l'NO₂ induce i suoi effetti tossici nell'uomo sono stati ipotizzati da modelli sperimentali animali e possono essere descritti in termini di irritazione delle vie aeree fino al broncospasmo negli asmatici e di mantenimento dello stato di infiammazione cronica.

In sintesi, gli effetti acuti dell'NO₂ sull'apparato respiratorio comprendono:

- riacutizzazioni di malattie infiammatorie croniche delle vie respiratorie, quali bronchite cronica e asma;
- riduzione della funzionalità polmonare;
- possibili danni riguardanti l'apparato cardiovascolare, per esempio la capacità di indurre patologie ischemiche del miocardio, scompenso cardiaco e aritmie cardiache.

Gli effetti a lungo termine includono:

- le alterazioni polmonari a livello cellulare e tessutale;
- l'aumento della suscettibilità alle infezioni polmonari batteriche e virali.

Suscettibili

Il gruppo di popolazione a maggior rischio è costituito dai bambini, dalle persone con asma o con malattie respiratorie croniche o con malattie cardiache.

Tabella 1. Principali inquinanti dell'aria, loro effetti sulla salute e gruppi di popolazione più suscettibili.
Table 1. Main air pollutants, health effects, and more susceptible population groups.

continua →

EFFETTI SULLA SALUTE DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

→ segue

Monossido di carbonio (CO)**Inquinante**

Il monossido di carbonio è un gas inodore e incolore che si forma durante la combustione di carburanti contenenti carbonio quando la combustione è incompleta e non arriva al prodotto finale, che è l'anidride carbonica (CO₂). L'immissione del gas in atmosfera è stata stimata (dall'EPA nel 1991) in 2.600 milioni di tonnellate all'anno. Il 60% di questa quantità è prodotto direttamente dalle attività umane, principalmente dai processi industriali (impianti a carbone per la produzione di energia e inceneritori di rifiuti) e dagli scarichi dei veicoli a benzina. Il 40% è di origine naturale e deriva dal metabolismo delle piante, dalla ossidazione degli idrocarburi e dall'oceano.

I dati del monitoraggio indicano un decremento delle concentrazioni di CO nel corso degli ultimi anni, probabilmente anche dovuto alla maggiore efficienza dei motori dei veicoli e l'introduzione di marmitte catalitiche, che riducono alcuni dei gas inquinanti che escono dagli scarichi.

Le concentrazioni ambientali di fondo del CO sono in un range di 0,06-0,14 mg/m³ (0,05-0,12 ppm). Lungo le strade trafficate delle grandi città la concentrazione media giornaliera di CO raggiunge i 20 mg/m³ (17 ppm) con picchi fino ai 60 ppm (53 ppm). In alcuni luoghi chiusi, quali nelle metropolitane, nei parcheggi multipiano e ai lati di strade strette e chiuse ai lati (canyon), le concentrazioni di CO possono superare i 115 mg/m³.

Elevate concentrazioni di CO si possono raggiungere anche in ambienti chiusi, soprattutto negli ambienti di lavoro in cui avvengono processi di combustione. Nelle abitazioni, i sistemi di riscaldamento alimentati a gasolio, le stufe a gas o a cherosene, le cucine a gas e il fumo di tabacco possono aumentare in modo rilevante la produzione di CO, specialmente se non è assicurata una corretta ventilazione. All'interno delle autovetture la concentrazione di CO è più elevata che nell'aria esterna.

Effetti sulla salute

Il monossido di carbonio, al pari della anidride carbonica, viene respirato

dall'uomo ed è capace di diffondersi dagli alveoli polmonari al circolo sanguigno; il gas passa rapidamente anche la barriera placentare e nel feto raggiunge concentrazioni elevate, fino a 10-15% in più rispetto alla madre. L'effetto tossico del CO è dovuto alla sua somiglianza con l'ossigeno. Entrambi giungono nel sangue attraverso i polmoni, penetrano nei globuli rossi e si legano all'emoglobina, la molecola deputata a ossigenare i tessuti. Gli effetti acuti del CO sono riconducibili all'ipossia a carico del sistema nervoso, del sistema cardiovascolare, dell'apparato muscolare e del circolo fetale. I sintomi più frequenti sono: diminuzione della capacità di concentrazione, turbe della memoria, alterazione del comportamento, confusione mentale. In casi di intossicazione acuta si può avere la morte. Gli effetti non letali possono essere reversibili e di breve durata, ma possono anche comparire come danni permanenti ad insorgenza ritardata. In pazienti affetti da malattie cardiache si possono manifestare angina pectoris e aritmie a concentrazioni più basse di CO rispetto ai soggetti sani. Nel feto, il gas interferisce con lo sviluppo degli organi, in particolare il cervello, e può provocare la morte nel periodo perinatale.

Suscettibili

I gruppi più sensibili agli effetti del CO sono gli individui affetti da malattie cardiache, gli anemici e le donne in gravidanza.

Particolato (PM)**Inquinante**

Il PM è una mistura di particelle solide che contengono materiale carbonaceo, residuo delle combustioni, altre sostanze organiche (come gli idrocarburi policiclici aromatici), metalli e ioni inorganici e sostanze gassose intrappolate nelle particelle come NO₂, SO₂ e CO.

Le polveri totali vengono generalmente distinte in tre classi dimensionali corrispondenti alla capacità di penetrazione nelle vie respiratorie da cui dipende l'intensità degli effetti nocivi.

In particolare:

PM₁₀: particolato formato da particelle

con diametro <10 µm, è una polvere inalabile, cioè in grado di penetrare nel tratto respiratorio superiore (naso, faringe e laringe);

PM_{2,5}: particolato fine con diametro <2,5 µm, è una polvere toracica, cioè in grado di penetrare nel tratto tracheobronchiale (trachea, bronchi, bronchioli);

PM_{0,1}: particolato ultrafine: diametro <0,1 µm, è una polvere in grado di penetrare profondamente nei polmoni fino agli alveoli.

Il PM si origina sia per emissione diretta (particelle primarie) sia per reazione nell'atmosfera di composti chimici, quali ossidi di azoto e zolfo, ammoniaca e composti organici (particelle secondarie). Le sorgenti del particolato possono essere naturali (polveri del deserto, aerosol marino, eruzioni vulcaniche) e antropiche (combustioni dei motori, riscaldamento, residui dell'usura del manto stradale, dei freni e delle gomme delle vetture, emissioni di impianti industriali).

Effetti sulla salute

Gli effetti sulla salute possono essere diretti in particolare sull'apparato cardiovascolare, sul sangue e sui recettori polmonari, ed effetti indiretti attraverso lo stress ossidativo e la risposta infiammatoria. Effetti diretti possono avvenire con il passaggio attraverso l'epitelio polmonare fino a raggiungere il circolo sanguigno oppure attraverso l'attivazione di riflessi nervosi che comportano alterazioni del tono del sistema nervoso autonomo che possono dare inizio a un'aritmia cardiaca.

Effetti indiretti si possono avere attraverso lo stimolo al rilascio di agenti infiammatori che comportano uno stato di infiammazione sistemica. Questi effetti rappresentano una spiegazione plausibile della rapida (entro poche ore) risposta cardiovascolare, come l'incremento nella frequenza di infarto miocardico o di aritmie. Recenti studi indicano, inoltre, che l'esposizione acuta a particelle in sospensione contenenti metalli (come le particelle derivanti dai combustibili fossili usati come carburanti) possono causare un vasto spettro di risposte infiammatorie nelle vie respiratorie e nel sistema cardiovascolare (danneggiamento cellulare e aumento della permeabilità cellulare), verosimilmente in relazione alle loro componenti metalliche.

Tabella 1. Principali inquinanti dell'aria, loro effetti sulla salute e gruppi di popolazione più suscettibili.

Table 1. Main air pollutants, health effects, and more susceptible population groups.

continua →

EFFETTI SULLA SALUTE DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

→ segue

Suscettibili

Risultano particolarmente sensibili agli effetti del particolato i soggetti anziani e quelli con malattie cardiocircolatorie e polmonari. Anche i neonati e i bambini costituiscono un gruppo potenzialmente sensibile. In particolare, i bambini sono a maggior rischio per alcuni effetti respiratori quali le crisi di asma bronchiale e l'insorgenza di sintomi respiratori, come tosse e catarro.

Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)**Inquinante**

Gli idrocarburi policiclici aromatici sono contaminanti organici presenti diffusamente nell'ambiente.

Si ritrovano nell'atmosfera come residui di combustioni incomplete in impianti industriali, di riscaldamento e delle emissioni degli autoveicoli. Le molecole degli IPA sono costituite da tre o più anelli benzenici.

Alcune di queste molecole sono costituite solo da idrogeno e carbonio, altre

contengono anche atomi di altra natura, come azoto e zolfo. Appartengono alla famiglia degli IPA alcune centinaia di composti molto eterogenei tra loro.

Allo stato attuale delle conoscenze, le sostanze più tossiche sono le molecole che hanno da quattro a sette anelli. Il componente più studiato è il benzo(a)pirene (BaP), un composto a cinque anelli, diffuso nell'ambiente a concentrazioni significative e dotato della più elevata tossicità, tanto da venire utilizzato per rappresentare l'inquinamento ambientale dell'intero gruppo degli IPA.

L'andamento rileva una forte dipendenza stagionale e una situazione peggiore nelle stazioni urbane rispetto a quelle extraurbane. La dipendenza dei valori dall'intensità del traffico veicolare è molto forte, con valori elevati nei mesi invernali.

Effetti sulla salute

La grande varietà delle forme e delle dimensioni fa sì che gli effetti sulla salute di questa classe di sostanze siano alquanto variabili. Alcune sono facilmente eliminate dalle cellule che tappezzano i bronchi, altre arrivano

invece ai polmoni e penetrano nel circolo sanguigno, riuscendo così a raggiungere molti organi e a penetrare nelle cellule.

Il benzo(a)pirene, formato da cinque anelli esagonali, è la molecola che gli studi internazionali prendono come riferimento per l'intera categoria, perché la sua concentrazione nell'aria è indicativa anche della presenza degli altri IPA e perché la sua cancerogenicità è stata dimostrata da numerosi studi e osservazioni sia sugli animali sia sull'uomo. Il tumore più chiaramente legato all'esposizione a questo inquinante è quello del polmone, ma ci sono evidenze che suggeriscono un'associazione anche con i tumori della vescica e della mammella.

Gli IPA sono in grado di superare la placenta e giungere al feto, determinando ritardi nella crescita e un basso peso alla nascita.

Suscettibili

Lavoratori di alcune categorie professionali (industria alluminio, cokerie, asfaltatori, fonderie di acciaio, costruttori di tetti).

Anche il feto e i neonati sono maggiormente suscettibili.

BIBLIOGRAFIA

- World Health Organization. 2016. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.
- Belleudi V, Faustini A, Stafoggia M, et al. Impact of fine and ultrafine particles on emergency hospital admissions for cardiac and respiratory diseases. *Epidemiology* 2010; 21:414-423
- Samoli E, Atkinson RW, Analitis A, et al. Associations of short-term exposure to traffic-related air pollution with cardiovascular and respiratory hospital admissions in London, UK. *Occup. Environ. Med.* 2016 May;73(5):300-07. 1
- Alessandrini ER, Stafoggia M, Faustini A, et al; EpiAir2 Study Group. Association Between Short-Term Exposure to PM2.5 and PM10 and Mortality in Susceptible Subgroups: A Multisite Case-Crossover Analysis of Individual Effect Modifiers. *Am J Epidemiol.* 2016 Nov 15;184(10)
- Renzi M, Stafoggia M, Faustini A, et al. Analysis of Temporal Variability in the Short-term Effects of Ambient Air Pollutants on Nonaccidental Mortality in Rome, Italy (1998-2014). *Environ Health Perspect.* 2017 Jun 28;125(6):067019.
- Stafoggia M, Schneider A, Cyrus J, et al; UF&HEALTH Study Group. Association Between Short-term Exposure to Ultrafine Particles and Mortality in Eight European Urban Areas. *Epidemiology.* 2017 Mar;28(2):172-80.
- Basagaña X, Jacquemin B, Karanasiou A, et al; MED-PARTICLES Study group. Short-term effects of particulate matter constituents on daily hospitalizations and mortality in five South-European cities: results from the MED-PARTICLES project. *Environ Int.* 2015 Feb;75:151-58.
- Alessandrini ER, Faustini A, Chiusolo M, et al; Gruppo collaborativo EpiAir2. Air pollution and mortality in twenty-five Italian cities: results of the EpiAir2 Project. *Epidemiol Prev.* 2013 Jul-Oct;37(4-5):220-29.
- Beelen R, Stafoggia M, Raaschou-Nielsen O, et al. Long-term exposure to air pollution and cardiovascular mortality: an analysis of 22 European cohorts. *Epidemiology.* 2014 May;25(3):368-78.
- Cesaroni G, Forastiere F, Stafoggia M, et al. Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *BMJ.* 2014 Jan 21;348:f7412.
- Stafoggia M, Cesaroni G, Peters A, et al. Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of cerebrovascular events: results from 11 European cohorts within the ESCAPE project. *Environ Health Perspect.* 2014 Sep;122(9):919-25.
- Fuks KB, Weinmayr G, Basagaña X, et al. Long-term exposure to ambient air pollution and traffic noise and incident hypertension in seven cohorts of the European study of cohorts for air pollution effects (ESCAPE). *Eur Heart J.* 2017 Apr 1;38(13):983-990.
- Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol.* 2013 Aug;14(9):813-22.
- Nagel G, Stafoggia M, Pedersen M, et al. Air pollution and incidence of cancers of the stomach and the upper aerodigestive tract in the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Int J Cancer.* 2018 Apr 26. doi: 10.1002/ijc.31564 [Epub ahead of print]
- Andersen ZJ, Stafoggia M, Weinmayr G, et al. Long-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Incidence of Postmenopausal Breast Cancer in 15 European Cohorts within the ESCAPE Project. *Environ Health Perspect.* 2017 Oct 13;125(10):107005.
- Andersen ZJ, Pedersen M, Weinmayr G, et al. Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of brain tumor: the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Neuro Oncol.* 2018 Feb 19;20(3):420-432.
- Thurston GD, Kipen H, Annesi-Maesano I, et al. A joint ERS/ATS policy statement: what constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework. *Eur Respir J.* 2017 Jan 11;49(1).
- Global Burden of Disease 2016: The Lancet: September 16, 2017.
- Dati disponibili all'indirizzo: <https://www.stateofglobalair.org/>