

Inquinamento e cambiamento climatico: uniti contro la salute

Giancarlo Bausano

Il 5 dicembre di 70 anni fa Londra venne avvolta da una nuvola di smog molto più intensa del solito. Quando, dopo quattro lunghi giorni di buio, la nebbia iniziò a diradarsi, si stimò che questo eccezionale evento atmosferico avesse provocato un gran numero di morti, si disse fra 5 mila e 12 mila, anche se un conteggio così approssimativo attesta quanto sia difficile correlare con precisione il decesso di un individuo all'inquinamento dell'aria. Il cosiddetto *Great Smog* è stato comunque il primo caso documentato degli effetti potenzialmente devastanti sulla salute dell'inquinamento atmosferico, il cui legame con il cambiamento climatico è assai più stretto di quanto si pensi, sicché oggi le due cose non possono essere affrontate separatamente.

Il motivo è semplice: i gas serra responsabili delle modificazioni del clima e le sostanze inquinanti dell'aria (NO₂, ozono, SO₂, polveri sottili) provengono dalla stessa fonte e cioè dalla combustione delle sostanze fossili responsabile a sua volta dell'aumento di CO₂ nell'atmosfera.

Un classico esempio è il fenomeno per cui le temperature elevate, in presenza di inquinanti atmosferici quali ossidi di azoto e composti volatili organici, possono causare un rapido incremento della concentrazione di ozono, che è un potente irritante delle vie respiratorie e può aggravare patologie respiratorie esistenti.

La presenza di sostanze inquinanti nell'aria è prima di tutto di origine antropica, provocata dalla combustione dei carburanti utilizzati per i trasporti, dalla produzione di elettricità e dai processi industriali, che vanno ad aggiungersi agli incendi, alle polveri trascinate dal vento e ai prodotti di eruzioni vulcaniche, cioè a fenomeni naturali la cui intensità può tuttavia essere aggravata dal cambiamento climatico attraverso un perverso circolo vizioso. Per esempio, è stato documentato che l'aumentato rischio di incendi nelle stagioni molto calde provoca una maggiore esposizione delle

popolazioni a fumi tossici, così come un clima troppo arido genera un aumento delle polveri nell'aria e una maggiore concentrazione di ozono e particelle più fini (PM_{2,5}), attraverso reazioni chimiche che hanno luogo nell'atmosfera. Particolarmente pericolose per la salute sono proprio le PM_{2,5}, così piccole da poter raggiungere, una volta inalate, gli alveoli polmonari, cioè la sede in cui avviene lo scambio dei gas nel sangue.

Il medesimo circolo vizioso può innescare quel marcato aumento della concentrazione di pollini nell'aria registrato negli ultimi anni che ha determinato un abnorme prolungamento della stagione delle allergie (vedi oltre).

Impatto dell'inquinamento sui singoli organi

Nell'uomo, la presenza di sostanze inquinanti nell'aria può avere effetti sfavorevoli su qualsiasi organo, attraverso una complessa interrelazione di fenomeni ossidativi, infiammazione e alterazioni del sistema immunitario. L'età avanzata e la coesistenza di fattori di rischio cardiovascolare, malattie polmonari e oncologiche possono ovviamente aggravare la suscettibilità individuale all'inquinamento atmosferico.

Tralasciando i meccanismi biologici alla base degli effetti patologici sulla salute, sui quali peraltro la ricerca ha compiuto grandi passi in avanti, ci limiteremo in questa sede a descrivere le principali correlazioni fra inquinamento e malattie per le quali disponiamo di evidenze scientificamente rilevanti.

Malattie cardiovascolari

Importanti studi epidemiologici hanno stabilito che l'esposizione a sostanze inquinanti determina un aumentato rischio di eventi cardiovascolari.

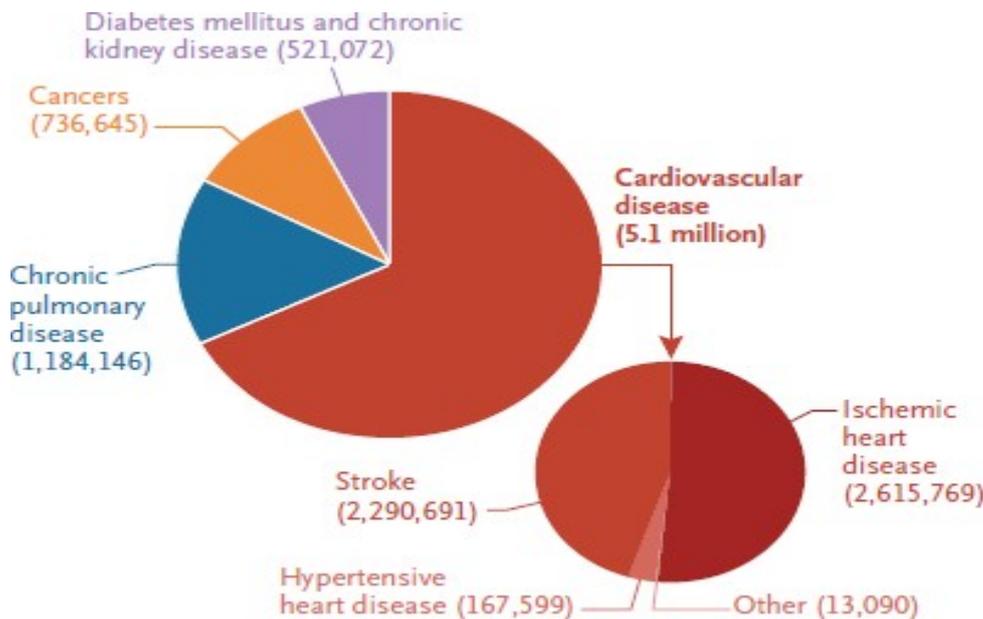
Il *Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution* (MESA) ha evidenziato con chiarezza l'esistenza di una relazione fra l'esposizione prolungata a PM_{2,5} e ozono e la progressione dell'aterosclerosi a livello coronarico, attraverso un processo di calcificazione precoce della parete di questi vasi^{1,2}. Un'elevata concentrazione nell'aria di PM_{2,5} e altre sostanze gassose inquinanti si associa inoltre a un aumento della pressione arteriosa

che si traduce nel lungo termine in una maggiore mortalità per infarto, aritmie o scompenso cardiaco³.

Tuttavia, un incremento della mortalità per cause cardiovascolari si osserva, oltre che per un contatto ripetuto e prolungato nel tempo, anche in seguito a una esposizione acuta a sostanze inquinanti, tanto è vero che è stato più volte osservato un aumento significativo di ricoveri per scompenso cardiaco o per infarto nello stesso giorno o nei giorni successivi alla rilevazione di livelli particolarmente elevati nell'aria di NO₂, SO₂ e PM_{2,5}^{4,5}.

The Global Burden of Disease Study, il più grande studio epidemiologico finora effettuato sull'argomento, ha stimato nel 2019 che l'inquinamento fosse responsabile di circa 9 milioni di morti nel mondo, dei quali oltre il 60% era attribuibile a malattie cardiovascolari⁶ (figura 1).

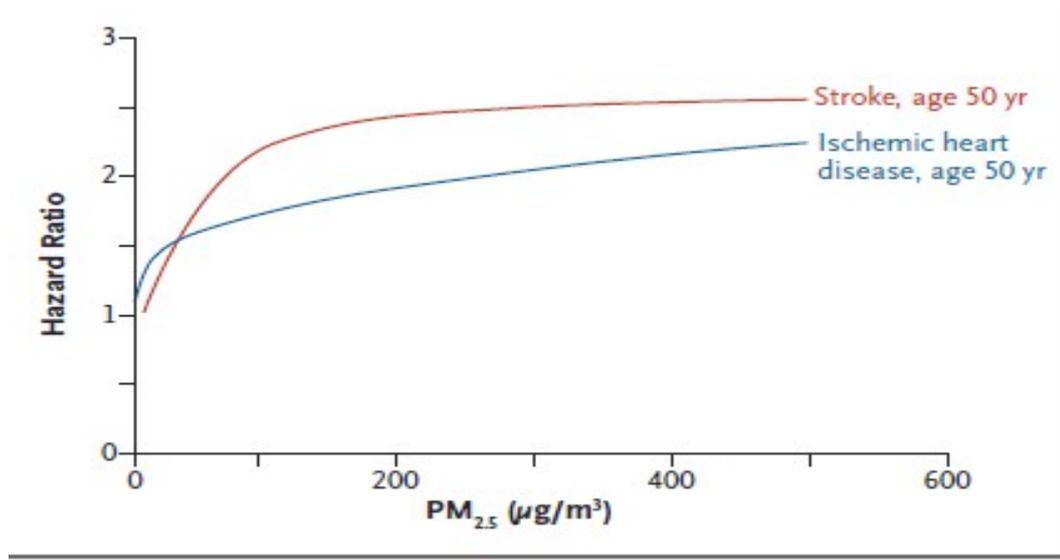
Figura 1. Mortalità globale legata all'inquinamento, stratificata per malattia (modificato da 6)



Legenda	
Diabetes mellitus and chronic kidney disease	Diabete mellito e nefropatie croniche
Cancers	Tumori
Chronic pulmonary disease	Malattie polmonari croniche
Cardiovascular disease	Malattie cardiovascolari
Stroke	Ictus
Ischemic heart disease	Cardiopatia ischemica
Hypertensive disease	Malattia ipertensiva
Other	

Interessante anche il rilievo, pubblicato sempre nello stesso studio, che esiste una relazione non lineare fra il rischio cardiovascolare e la concentrazione di PM_{2,5} nell'aria, con una curva di incremento abbastanza veloce ai livelli di concentrazione più bassi, che tende successivamente ad appiattirsi al raggiungimento di livelli più elevati (figura 2)⁶.

Figura 2. Rapporto esposizione-risposta fra concentrazione di PM_{2,5} e rischio cardiovascolare (modificato da 6).



Hazard Ratio = Rapporto di rischio

Malattie respiratorie

L'esposizione ad aria inquinata aumenta il rischio di malattie respiratorie, sia a breve che a lungo termine. La malattia più frequente è l'asma. In una ampia popolazione di bambini olandesi, ad esempio, l'esposizione alla nascita a elevate concentrazioni di PM₁₀ e NO₂ aumentava significativamente il rischio di ammalarsi d'asma all'età di 20 anni⁷.

È noto poi che soffrono più facilmente di asma o rinite allergica gli individui che vivono vicino a strade ad alta intensità di traffico e che se un soggetto asmatico viene cronicamente esposto ad elevate concentrazioni di PM_{2,5} e

ozono, avrà maggiori probabilità di ammalarsi di bronchite ed enfisema, andando incontro ad una insufficienza respiratoria cronica⁸.

Come già accennato, una netta accelerazione del problema delle allergie si è verificata in coincidenza con il cambiamento climatico: sono già in atto l'anticipazione e il prolungamento della stagione dei pollini, specie nel periodo estivo, nonché l'espansione geografica verso nuove aree di specie botaniche allergizzanti. Del resto, è noto che epidemie di attacchi asmatici si possono verificare, in seguito a forti temporali, per la rottura dei granuli pollinici dispersi nell'aria, i quali rilasciano il proprio contenuto di allergeni direttamente nell'atmosfera.

Studi europei e nord-americani concordano nel ritenere che l'esposizione a lungo termine alle particelle aero-disperse è associata a una maggiore incidenza di cancro del polmoni^{9,10}; inoltre la presenza di sostanze inquinanti gassose in alta concentrazione determina un maggior rischio di embolia polmonare, un evento acuto che può rivelarsi rapidamente fatale¹¹.

Preoccupa infine, nell'epoca della pandemia, la maggiore suscettibilità alle infezioni legata all'inquinamento atmosferico. L'esposizione ad ozono, NO₂, monossido di carbonio e PM_{2,5} è stata correlata ad un aumento di visite e ricoveri al pronto soccorso per infezioni delle alte vie respiratorie e polmoniti, ma esistono studi recentissimi secondo i quali l'esposizione cronica a

PM_{2,5} e NO₂ è associata ad una maggiore incidenza e mortalità da Covid- 19^{12,13}.

Malattie endocrine, urinarie, digestive

Numerose altre malattie sono state collegate a una esposizione a lungo termine a sostanze inquinanti. Fra queste il diabete (specie nelle persone in sovrappeso e obese)¹⁴,

l'insufficienza renale¹⁵, le malattie infiammatorie intestinali¹⁶, la disfunzione epatica da accumulo di grasso¹⁷ nel fegato e alcuni tumori dello stomaco e del fegato^{18,19}.

Malattie neurologiche e psichiatriche

Oltre alla già citata relazione fra esposizione a breve e lungo termine alle polveri sottili e incidenza di ictus, con relativo aumento della mortalità a esso correlata, la letteratura scientifica riporta un rischio aumentato di demenza e malattia di Parkinson²⁰, ma anche di ansia, depressione grave e disturbi bipolari. Più di uno studio, inoltre, ha suggerito una relazione fra esposizione a breve termine alle PM₁₀ e il suicidio²¹.

Malattie immunitarie

Infine, particolare interesse desta la correlazione fra inquinamento atmosferico e disfunzione del sistema immunitario. Una alterazione di questo complesso sistema di difesa dell'organismo non solo è alla base delle cosiddette malattie autoimmunitarie, come l'artrite reumatoide e il lupus eritematoso sistemico, per le quali esistono segnalazioni di casi in rapporto con l'inquinamento da traffico automobilistico e l'inalazione di polveri sottili, ma si correla anche a una maggiore suscettibilità al cancro. Ancora una volta sono le famigerate PM_{2,5} a essere messe in relazione a un aumentato rischio di tumori in vari distretti, fra cui apparato digerente, polmone, mammella e apparato genitale femminile^{9,22,23}.

Conclusioni

Tutti i dati convergono nell'indicare che l'inquinamento atmosferico influenza in molti modi la salute e che le conseguenze sono più gravi quanto più precocemente nel corso della vita avviene il contatto con le sostanze inquinanti. Una esposizione prolungata nel tempo può avere conseguenze gravissime per la salute anche quando i livelli di inquinamento sono al di sotto degli standard regolatori, specialmente se, come segnala un recente report dell'OMS, sono presenti nell'aria particelle di piccole dimensioni (PM_{2,5}) in elevata concentrazione²⁴. Per questo motivo, nel settembre 2021, l'OMS ha dovuto rivedere le sue linee guida sulla qualità dell'aria, fissando limiti più severi a tutela della salute umana (concentrazione media annuale di PM_{2,5} entro i 5 microg/m³)²⁵.

Basterà tutto questo? Difficile dirlo, ma l'adeguamento dei limiti stabilito dalla OMS rischia ancora una volta di rivelarsi un'inutile e affannosa

rincorsa di un nemico, il cambiamento climatico, che al momento sembra correre più veloce.

Note e riferimenti

1) Kaufman JD, Adar SD, Barr RG, et al., *Association between air pollution and coronary artery calcification within six metropolitan areas in the USA (the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution): a longitudinal cohort study*. Lancet 2016; 388: 696-704.

2) Wang M, Sampson PD, Sheppard LE, Stein JH, Vedal S, Kaufman JD, *Long-Term exposure to ambient ozone and progression of subclinical arterial disease: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution*. Environ Health Perspect 2019; 127: 57001.

3) Pope CA III, Burnett RT, Thurston GD, et al., *Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease*. Circulation 2004; 109:71-7.

4) Shah AS, Langrish JP, Nair H, et al., *Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis*. Lancet 2013; 382:1039-48.

5) Mustafic H, Jabre P, Caussin C, et al., *Main air pollutants and myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis*. JAMA 2012; 307:713-21.

6) GBD 2019 Risk Factors Collaborators, *Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019*. Lancet 2020; 396: 1223-49.

7) Gehring U, Wijga AH, Koppelman GH, Vonk JM, Smit HA, Brunekreef B, *Air pollution and the development of asthma from birth until young adulthood*. Eur Respir J 2020; 56: 2000147.

8) To T, Zhu J, Larsen K, et al., *Progression from Asthma to Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Is Air Pollution A Risk Factor?* Am J Respir Crit Care Med 2016; 194: 429-38.

- 9) Turner MC, Krewski D, Pope CA III, Chen Y, Gapstur SM, Thun MJ, *Long-term ambient fine particulate matter air pollution and lung cancer in a large cohort of never-smokers*. Am J Respir Crit Care Med 2011; 184:1374-81.
- 10) 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; 14:813-22.
- 11) Miao H, Li X, Wang X, Nie S, *Air pollution increases the risk of pulmonary embolism: a meta-analysis*. Rev Environ Health 2021.
- 12) Woodby B, Arnold MM, Valacchi G, *SARS-CoV-2 infection, COVID-19 pathogenesis, and exposure to air pollution: What is the connection?* Ann N Y Acad Sci 2021; 1486: 15-38.
- 13) Pozzer A, Dominici F, Haines A, Witt C, Münzel T, Lelieveld J, *Regional and global contributions of air pollution to risk of death from COVID-19*. Cardiovasc Res 2020; 116: 2247-53.
- 14) Li X, Wang M, Song Y, et al., *Obesity and the relation between joint exposure to ambient air pollutants and incident type 2 diabetes: a cohort study in UK Biobank*. PLoS Med 2021; 18:e1003767.
- 15) Bowe B, Xie Y, Li T, Yan Y, Xian H, Al-Aly Z, *Associations of ambient coarse particulate matter, nitrogen dioxide, and carbon monoxide with the risk of kidney disease: a cohort study*. Lancet PlanetHealth 2017;1: e267-e276.
- 16) Kaplan GG, Hubbard J, Korzenik J, et al., *The inflammatory bowel diseases and ambient air pollution: a novel association*. Am J Gastroenterol 2010; 105: 2412-9.
- 17) Guo B, Guo Y, Nima Q, et al., *Exposure to air pollution is associated with an increased risk of metabolic dysfunction-associated fatty liver disease*. J Hepatol 2022;76: 518-25.
- 18) 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; 143: 1632-43.

- 19) So R, Chen J, Mehta AJ, et al., *Long-term exposure to air pollution and liver cancer incidence in six European cohorts*. *Int J Cancer* 2021; 149: 1887-97.
- 20) Fu P, Guo X, Cheung FMH, Yung KKL, *The association between PM2.5 exposure and neurological disorders: a systematic review and meta-analysis*. *Sci Total Environ* 2019; 655:1240-8.
- 21) Braithwaite I, Zhang S, Kirkbride JB, Osborn DPJ, Hayes JF, *Air Pollution (Particulate Matter) Exposure and Associations with Depression, Anxiety, Bipolar, Psychosis and Suicide Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis*. *Environ Health Perspect* 2019; 127:126002.
- 22) 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; 14:813-22.
- 23) Wong CM, Tsang H, Lai HK, et al., *Cancer Mortality Risks from Long-Term Exposure to Ambient Fine Particle*. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2016; 25:839-45.
- 24) World Health Organization, *Review of evidence on health aspects of air pollution: REVIHAAP project: technical report*. Geneva: World Health Organization Regulation Office for Europe, 2021.
- 25) World Health Organization, *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: World Health Organization, 2021.