



WWF

ITALIA

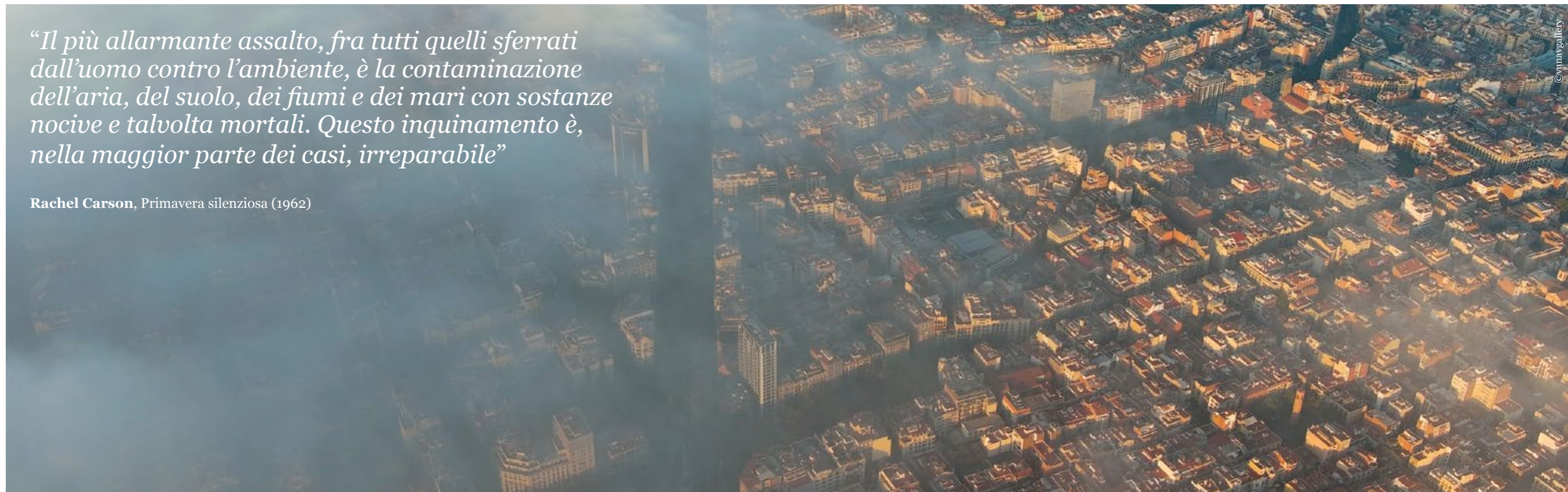
A photograph of industrial smokestacks emitting thick black smoke against a hazy, orange-tinted sky. The smoke rises from the stacks and drifts across the sky. In the foreground, there are silhouettes of trees and buildings, suggesting an urban or industrial setting. The overall atmosphere is one of air pollution.

NON C'È SALUTE IN UN AMBIENTE MALATO: INQUINAMENTI E INQUINANTI

PARTE 2: ARIA

“Il più allarmante assalto, fra tutti quelli sferrati dall’uomo contro l’ambiente, è la contaminazione dell’aria, del suolo, dei fiumi e dei mari con sostanze nocive e talvolta mortali. Questo inquinamento è, nella maggior parte dei casi, irreparabile”

Rachel Carson, Primavera silenziosa (1962)



Indice

INTRODUZIONE	2
Limiti e linee guida. Manca la co-esposizione	3
PARTE 2: ARIA E INQUINANTI	4
1.1 Principali impatti sulla salute umana dell’inquinamento chimico dell’aria in Europa	4
1.2 Principali impatti ambientali dell’inquinamento dell’aria su ecosistemi e biodiversità	11
1.3 Principali impatti dell’inquinamento sul clima (e viceversa)	12
1.4 Particolato atmosferico (PM_{2,5} e PM₁₀)	14
1.5 Ozono (O₃)	16
1.6 Ossidi di azoto (NO e NO₂)	17
1.7 Ruolo delle piante nella qualità dell’aria in città	18
1.8 Cosa possiamo fare: istituzioni, scuole, aziende e cittadini per la qualità dell’aria	19
BIBLIOGRAFIA	22

Testi: Eva Alessi e Erica de Rysky
Comunicazione: Sara Savelli
Contributi di: Marco Galaverni, Mariagrazia Midulla e Ilaria Scarpetta
Grafiche: Arimaslab
Pubblicato a settembre 2024

Foto di copertina: wirestock

INTRODUZIONE

L'inquinamento atmosferico è la principale causa ambientale di malattie e morti premature nel mondo, in Europa¹ e in Italia². L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) indica l'inquinamento atmosferico come una "emergenza sanitaria pubblica globale"³, poiché il 99% della popolazione mondiale respira aria non sicura⁴.

L'inquinamento atmosferico è la contaminazione dell'aria interna (domestica) o esterna (ambientale) da parte di qualsiasi agente che ne modifichi le caratteristiche naturali. Proviene principalmente da fonti artificiali, che includono dal traffico stradale alle emissioni del riscaldamento domestico, fino alle ciminiere delle fabbriche e un'ampia varietà di altre sorgenti⁵ talvolta in combinazione con fonti naturali (es. incendi, ozono troposferico, eruzioni vulcaniche). **Gli inquinanti che oggi rappresentano il maggiore problema per la salute pubblica includono il particolato fine (PM), il monossido di carbonio (CO), l'ozono (O₃), il biossido di azoto (NO₂) e il biossido di zolfo (SO₂)**^{6,7}.

A livello globale, l'inquinamento atmosferico esterno e interno è associato a **quasi 7 milioni di morti premature all'anno**⁸. Di questi, l'85% è attribuibile a malattie non trasmissibili, tra cui la cardiopatia ischemica, l'ictus, il cancro ai polmoni, l'asma, la broncopneumopatia cronica ostruttiva

(BPCO) e il diabete⁹, solo per citare le malattie e le patologie per le quali la letteratura mostra le evidenze più solide. Ciò rende l'inquinamento atmosferico la **seconda causa di malattie non trasmissibili**, dopo il tabacco.

I bambini sono i soggetti più colpiti: l'inquinamento atmosferico causa la **morte di oltre 700.000 bambini sotto i 5 anni**, il 15% di tutte le morti in questa fascia d'età¹⁰. Inoltre, la scarsa qualità dell'aria aumenta il rischio di aborti spontanei, nascite premature, basso peso alla nascita, diminuzione delle capacità cognitive, alterazioni comportamentali e al sistema riproduttivo.

L'inquinamento atmosferico non si ripercuote solo sulla salute umana, ma interagisce anche con il **clima a livello globale**. L'inquinamento atmosferico e il cambiamento climatico sono intrinsecamente connessi e hanno un'origine comune: l'utilizzo di combustibili fossili. L'aumento dell'uso di combustibili fossili connesso alla crescita industriale e urbana, spesso associato a deboli misure di controllo e mitigazione delle emissioni, ha portato a drastici aumenti di inquinanti atmosferici, come **PM, SO₂, NO₂, O₃ e COV (composti organici volatili)**.

L'inquinamento atmosferico **colpisce anche gli ecosistemi**, per esempio riducendo la biodiversità animale

e vegetale, incidendo sulla crescita della vegetazione e delle colture, provocano l'acidificazione e l'eutrofizzazione di acqua e suolo in aree sensibili.

L'impatto delle malattie e patologie derivanti dall'inquinamento atmosferico **grava anche sensibilmente sull'economia**, poiché impone enormi costi sanitari globali che rappresentano oltre il **6% del prodotto interno lordo globale**. Non solo, le esternalità negative dovute all'inquinamento atmosferico hanno anche i costi ambientali legati al deterioramento degli ecosistemi, alla perdita di servizi ecosistemici e alle spese di mitigazione e adattamento. In Europa, solo le emissioni atmosferiche industriali hanno un costo esterno stimato tra circa 3 e 4.000 miliardi di euro, con una media tra i 268 e i 428 miliardi di euro all'anno¹¹. I costi esterni totali per il 2021 sono dominati dai principali inquinanti atmosferici (27-55%), seguiti dai gas serra (GHG) al 43-69%, dai metalli pesanti al 3-4% e dagli inquinanti organici allo 0,02-0,03%¹².

Di conseguenza i governi di tutto il mondo stanno adottando politiche e strategie di intervento per migliorare la qualità dell'aria, al fine di tutelare la salute pubblica e ridurre i costi associati all'inquinamento atmosferico. L'aumento di Natura in città può contribuire efficacemente a vincere questa sfida.

LIMITI E LINEE GUIDA. MANCA LA CO-ESPOSIZIONE

Dal 1987 l'OMS pubblica periodicamente delle **linee guida** sulla qualità dell'aria nell'intento di aiutare i governi e la società civile a ridurre l'esposizione umana all'inquinamento atmosferico e i suoi effetti negativi. Tali linee guida stabiliscono i **livelli di riferimento**, basati su considerazioni di carattere sanitario, per i principali inquinanti atmosferici dannosi per la salute, tra cui PM, O₃, NO₂ e SO₂.

Nel 2021 i limiti^{13,14} per ogni singolo inquinante sono divenuti più severi, imponendo valori massimi tollerabili più bassi, con l'obiettivo di mitigare, sia nel breve sia nel lungo termine, gli impatti sulla salute. Questo approccio basato sui singoli inquinanti non tiene conto però degli **episodi di inquinamento atmosferico composto, in cui i limiti stabiliti dall'OMS vengono simultaneamente superati per due o più inquinanti atmosferici**, e che si verificano sempre più spesso. Si tratta di una mancanza molto grave, poiché le persone potrebbero riscontrare concentrazioni superiori ai livelli di sicurezza per più inquinanti contemporaneamente, con conseguenti **effetti sinergici sulla salute** che ne amplificano i rischi generali¹⁵. Sebbene alcuni studi abbiano iniziato a esplorare gli impatti interattivi sulla salute della **co-esposizione** a specifiche combinazioni di inquinanti, come PM_{2,5} e O₃, sono indispensabili ulteriori ricerche su altre **combinazioni di contaminanti atmosferici a cui siamo esposti in maniera cronica anche a basse dosi**. Inoltre, ad oggi non esiste alcuna prova di una soglia al di sotto della quale l'inquinamento atmosferico non ha alcun impatto sulla salute.

Nel febbraio 2024 il Consiglio e il Parlamento europei¹⁶ hanno **concordato standard di qualità dell'aria più ambiziosi nell'UE**. Ciononostante i limiti per tutti gli inquinanti sono a tutt'oggi meno rigorosi rispetto a quanto stabilito dall'OMS.

Poiché gli inquinanti atmosferici vengono emessi e/o si formano sia in ambienti esterni sia interni, i livelli di esposizione individuale possono differire molto dai livelli rilevati dalle normali misurazioni dell'inquinamento presso stazioni di monitoraggio dell'aria, spesso situate al suolo e solo in alcuni punti centrali.



PARTE 2: ARIA E INQUINANTI

1.1 Principali impatti sulla salute umana dell'inquinamento chimico dell'aria in Europa

L'inquinamento atmosferico rappresenta il più grande rischio per la salute ambientale in Europa.

Oltre il 70% dei cittadini europei vive in aree urbane¹⁷, dove l'elevata densità di popolazione e le attività economiche causano **elevati livelli di inquinamento atmosferico**. Oggi, in molte città, gli abitanti sono esposti alla contaminazione dell'aria ben oltre i limiti di sicurezza stabiliti dall'OMS: secondo l'ultima valutazione sulla qualità dell'aria dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA), nonostante le riduzioni nelle emissioni negli ultimi decenni, **l'83% della popolazione urbana europea ha continuato a essere esposta a livelli di inquinanti atmosferici dannosi per la salute**¹⁸. Il 96% della popolazione nelle città europee è esposta soprattutto a concentrazioni pericolose di $PM_{2,5}$ ¹⁹.

In Europa, l'esposizione al $PM_{2,5}$ ha causato **253.000 morti premature**, **52.000 sono le morti correlate all'esposizione a NO_2** e **22.000 quelle O_3** ²⁰.

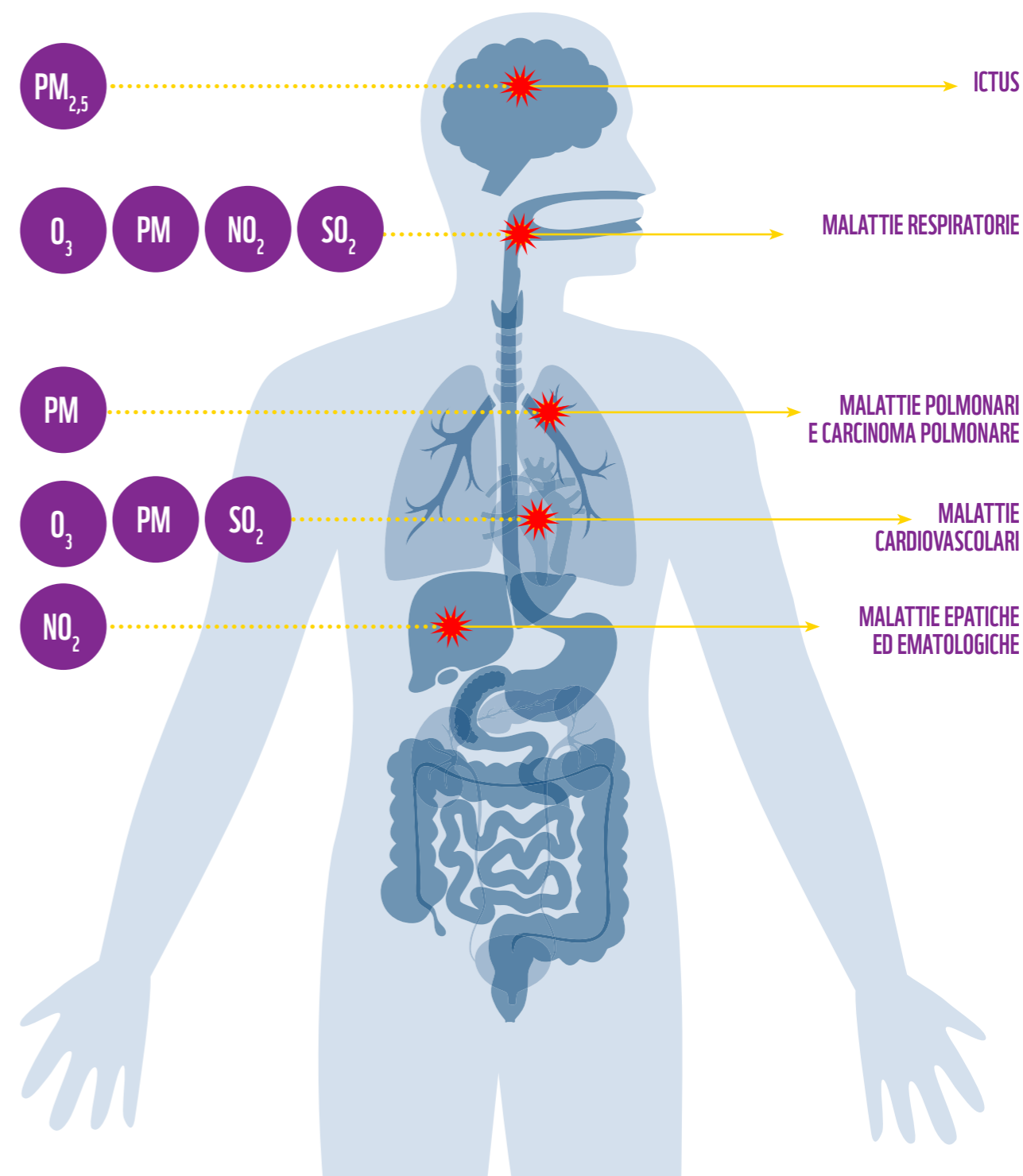
L'Italia è tra i primi Paesi in Europa per morti attribuibili all'inquinamento atmosferico: oltre 63.000 decessi l'anno

dovuti all'esposizione al $PM_{2,5}$, all' NO_2 e all' O_3 ^{21, 22}, soprattutto per tumori. **La qualità dell'aria è al primo posto per quanto riguarda l'associazione col tasso medio di mortalità per cancro**²³.

Se per malattie come i tumori, la maggior parte dell'impatto negativo della malattia è legato alla mortalità, per le altre (diabete e asma) il carico di malattia è principalmente associato alla morbidità, ossia alla convivenza per anni con gli effetti debilitanti. Pertanto, quando consideriamo gli **effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute, è importante non solo concentrarsi sui decessi ma anche sulle possibili conseguenze nel lungo periodo** che queste patologie hanno sulla **qualità della vita quotidiana** dei cittadini europei, che si trovano ad affrontare gli effetti cronici di molte malattie.

Nella tabella sono presentati vari effetti di alcuni comuni inquinanti atmosferici sul comfort e sulla salute umana, che vanno dalle malattie respiratorie, alle malattie cardiovascolari, al cancro della vescica e del polmone.

PRINCIPALI IMPATTI DEGLI INQUINANTI ATMOSFERICI SULL'ESSERE UMANO A CAUSA DELL'INALAZIONE



Fonte: tratto da EEA e OMS



© Christiaan van der Hoeven / WWF-Netherlands

Tabella 1. Impatti di diversi inquinanti atmosferici sulla salute umana e sull'ambiente

INQUINANTE	FONTE	IMPATTI SU SALUTE UMANA	IMPATTI SU AMBIENTE
SO ₂ (biossido di zolfo)	Produzione di energia da fonti fossili, impianti termoelettrici, processi industriali, traffico	Irritazioni oculari, infezioni delle vie respiratorie, tosse, secrezione di muco, asma e bronchite cronica, malattie cardiache	Piogge acide, acidificazione di corpi idrici e suolo. Danni alla vegetazione, perdita di specie in sistemi acquatici e terrestri. Forma aerosol che contribuiscono alla costituzione di nuvole (gas a effetto serra indiretto)
CO (monossido di carbonio)	Combustione incompleta di qualsiasi materiale organico (carbone, legno, carbone, petrolio, ecc.), scarichi di veicoli, attività industriali, riscaldamento residenziale	Mal di testa, affaticamento, vertigini, nausea, compromissione neuropsicologica, danni fetali, ischemia miocardica, coma, morte per asfissia	Effetti sugli animali simili a quelli umani. Intensificazione dell'effetto serra (influenzando la chimica dell'atmosfera), precursore di CO ₂ e O ₃ nella troposfera
IPA (Idrocarburi policiclici aromatici)	Gas di scarico delle auto, combustione (es. caldaie a cherosene, camini a legna, fumo di sigaretta), cottura di cibi alla brace o griglia, lavorazione di metalli, raffinerie, cartiere, industrie chimiche e plastiche, inceneritori, asfaltatura, incendi	Attività cancerogena (tumori cutanei per contatto e tumori polmonari per via respiratoria) e mutagena	Smog fotochimico, tossicità, bioaccumulo nella rete alimentare
COV (Composti Organici Volatili)	Prodotti cosmetici, detersivi, deodoranti, colle, adesivi, solventi, vernici, lavaggio in lavanderia, fumo di sigaretta, materiali da costruzione e arredi fungicidi, germicidi, scarichi industriali	Asma, dispnea notturna, irritazione delle vie respiratorie e delle mucose, effetti sul sistema nervoso centrale, mal di testa, sonnolenza, affaticamento, confusione, letargia e vertigini. Alcuni COV sono riconosciuti cancerogeni per l'uomo (es. benzene)	Tossicità per gli organismi acquatici, inclusi pesci, piante acquatiche e invertebrati. Alcuni COV possono contribuire alla formazione di O ₃ troposferico
FORMALDEIDE (CH ₂ O)	Fumo di tabacco e altre fonti di combustione, adesivi base urea formaldeide, resine per truciolato e compensato in legno, arredamento, trattamenti battericidi e antipiega di tappezzerie, tendaggi e altri tessili, schiume isolanti (motivo per cui i livelli indoor spesso maggiori di quelli outdoor)	Sindrome dell'edificio malato (Sick Building Syndrome), starnuti, tosse, irritazione oculare, mal di testa, eritema, infiammazione delle vie respiratorie, cancro nasofaringeo	Irritazione cutanea, oculare, effetti sulle vie respiratorie, effetti sul sistema nervoso, cancro

INQUINANTE	FONTE	IMPATTI SU SALUTE UMANA	IMPATTI SU AMBIENTE
AMIANTO	Manufatti (es. amianto-cemento), materiali isolanti, di attrito e di molti altri prodotti	Irritazione cutanea, bronchite cronica, cancro ai polmoni, mesotelioma maligno e asbestosi	Bioaccumulo nella rete alimentare, malattie polmonari, asbestosi e il cancro. Ripercussioni a livello ecosistemico
PIOMBO (Pb)	Gas scarico autoveicoli, combustione carbone e olio combustibile, estrazione e lavorazione di minerali contenenti Pb, fonderie, industrie ceramiche, inceneritori di rifiuti, produzione di vernici e smalti, batterie per auto, munizioni.	Colpisce quasi tutti gli organi e i sistemi, soprattutto quello nervoso per l'elevata neurotossicità. Paralisi, coma, morte, tumori. Aborto, parto prematuro, alterazione dello sviluppo fetale, basso peso alla nascita e basso QI	Elevata tossicità per tutte le classi animali (marine e terrestri), con gravi effetti su diversi apparati (nervoso, respiratorio, escretore, digerente, circolatorio, endocrino); insorgenza di cancro, morte. Nelle piante e alghe inibizione della formazione della clorofilla
CADMIO (Cd)	Estrazione, raffinazione e lavorazione di metalli non ferrosi, produzione di batterie e vernici, produzione e uso di fertilizzanti a base di fosfati, uso di combustibili fossili (carbone e petrolio), incenerimento e smaltimento di rifiuti	Cancro del polmone. Danni sistema riproduttivo e respiratorio. Malattie cardiovascolari, disfunzioni renali	Tossico per la vita acquatica. Altamente persistente nell'ambiente e bioaccumulabile
BENZENE (C ₆ H ₆)	Traffico, emissioni delle industrie, rilascio da parte di materiali da costruzione, elementi di arredo, detersivi e vernici, colle, combustioni domestiche	Cancro, varie forme di leucemia, danni al sistema nervoso centrale, riproduttivo e immunitario e allo sviluppo fetale	Effetto tossico acuto sulla vita acquatica. Bioaccumulo, problemi riproduttivi e cambiamenti nel comportamento degli animali. Danni all'apparato fogliare delle colture agricole e morte delle piante. Contribuisce al cambiamento climatico e alla formazione di O ₃

Impatto dell'inquinamento indoor

L'inquinamento *indoor* è un problema di salute globale. Ogni anno nel mondo, **l'inquinamento atmosferico domestico causa oltre 3 milioni di decessi, di cui oltre 237.000 di bambini di età inferiore ai 5 anni**²⁴. Il 32% è dovuto a cardiopatia ischemica, il 21% a infezioni delle basse vie respiratorie, il 23% a ictus, il 19% BPCO e il 6% a cancro ai polmoni. Nei bambini di età inferiore ai 5 anni, l'esposizione all'inquinamento atmosferico domestico è responsabile di quasi la metà di tutti i decessi per polmonite.

L'aria *indoor* può essere ancora più inquinata dell'aria

esterna quando la **ventilazione** è inadeguata e/o quando il calore e l'umidità facilitano la concentrazione di allergeni, agenti infettivi, polvere, ecc.²⁵. **L'esposizione agli inquinanti indoor può essere maggiore di quella outdoor** anche perché è maggiore la quantità di tempo che le persone trascorrono all'interno di ambienti confinati rispetto al tempo passato all'aria aperta²⁶. Nei Paesi industrializzati si trascorre oltre il **90% del tempo in ambienti chiusi**²⁷: case, uffici, scuole, banche, uffici postali, ospedali e trasporti pubblici e privati, solo per citarne alcuni. L'esposizione *indoor* è un problema diffuso e pervasivo ma la preoccupazione maggiore è per le donne,

i bambini (es. nelle scuole, dove trascorrono fino a 8 ore al giorno, almeno tra i 6 e i 19 anni, ma in molti casi da ben prima), gli anziani (es. nelle case di riposo) e i malati cronici, che trascorrono la maggior parte del loro tempo in casa e in altri ambienti chiusi. Ciononostante, **non esiste una regolamentazione** analoga a quella per gli inquinanti atmosferici **che stabilisca i limiti e il monitoraggio degli inquinanti per gli ambienti interni.**

I dati dell'OMS mostrano che la **povertà può esacerbare gli effetti nocivi dell'inquinamento atmosferico sulla salute** limitando l'accesso alle informazioni, ai trattamenti e ad altre risorse sanitarie²⁸. Per esempio, considerando i combustibili (es. carbone) e le tecnologie inquinanti per cucinare, il problema riguarda soprattutto i Paesi a basso e medio reddito (Africa, Sud-Est asiatico e regione del Pacifico occidentale). In America e nella regione europea i numeri sono significativamente più bassi, tuttavia, anche in **UE più di 1 persona su 20 è esposta a tecnologie di cottura inquinanti**²⁹: dispositivi obsoleti e inadeguati possono rappresentare una delle principali fonti di inquinamento tra le mura domestiche, producendo per esempio livelli di inquinamento da NO₂ e CO *indoor* molto più elevati rispetto a quelli *outdoor*. Questi composti possono permanere negli ambienti anche per ore dopo l'uso dei fornelli, prolungando il tempo di esposizione, con maggiore rischio per la salute. Anche i **metodi di cottura** possono influenzare la qualità dell'aria indoor: arrostiti la carne produce più PM_{2,5} delle altre cotture³⁰. **Circa 700.000 bambini nell'UE presentano ogni anno**

sintomi dell'asma riconducibili all'uso del gas per la cottura degli alimenti, con costi sanitari in Europa pari a 3,5 miliardi di euro all'anno³¹.

L'aria interna può contenere **molti altri inquinanti atmosferici** rilasciati o da fonti interne o che penetrano dall'esterno, mescolandosi e interagendo tra di loro. Le fonti interne di inquinanti sono emesse da materiali da costruzione, vernici, colle, mobili e arredi, prodotti per la pulizia, profumatori per ambienti, stufe, fumo di sigaretta e altre fonti biologiche come le muffe³². Altri inquinanti, come il PM, il CO e il NO₂ si infiltrano dall'esterno e i loro livelli interni sono influenzati dall'ambiente circostante, per esempio dalla vicinanza a strade trafficate o a siti industriali. Per esempio, l'esposizione prolungata negli ambienti scolastici a inquinanti atmosferici correlati al traffico può avere un impatto negativo anche sullo **sviluppo neuropsicologico**, in particolare sullo **sviluppo cognitivo**, principalmente memoria e attenzione³³.

Tra le sostanze inquinanti presenti nell'aria, che destano elevata preoccupazione soprattutto negli ambienti chiusi, ci sono quelle con effetti di interferenti endocrini (IE), particolarmente pericolose per bambini e donne incinte, in quanto collegate a disturbi riproduttivi e dello sviluppo. Nei bambini, gli IE possono influenzare negativamente la crescita prenatale e postnatale, la funzione tiroidea, il metabolismo del glucosio, causare stress ossidativo, aumentare il rischio di obesità, generare effetti neuro-comportamentali avversi, alterare l'inizio della pubertà e



la successiva fertilità attraverso diversi meccanismi^{34,35}. Queste sostanze (che includono **parabeni, ftalati, bisfenoli, sostanze perfluoroalchiliche, composti polibromurati - PBDE - e triazoli**) sebbene non siano composti gassosi, sono però presenti nella polvere domestica, identificata come una via di esposizione più importante per i bambini rispetto all'assunzione di cibo³⁶. Vernici, materie plastiche, imbottiture in schiuma, tessuti, tappeti, tende, televisori, materiali da costruzione, automobili etc. tutti oggetti di uso comune nelle case, scuole, negozi e uffici che possono contenere e rilasciare IE che si accumulano nell'ambiente e nell'organismo umano con effetti gravi sulla salute³⁷.

Inquinamento atmosferico e rischio cancro

L'inquinamento atmosferico è la seconda causa principale di cancro ai polmoni, dopo il fumo di sigaretta³⁸. Ciò è evidente dal fatto che **nel mondo, il numero di decessi attribuibili al cancro ai polmoni è aumentato di quasi il 30% dal 2007** ma il fumo è diminuito mentre **l'inquinamento atmosferico è aumentato**³⁹.

Il cancro ai polmoni è la principale causa di mortalità per cancro sia negli uomini sia nelle donne, con quasi 2 milioni di decessi all'anno in tutto il mondo⁴⁰. Il cancro ai polmoni è altamente fatale, con un tasso di sopravvivenza complessivo a 5 anni di solo il 18%⁴¹.

In **Europa**, nel 2020, circa il **2% di tutti i decessi per cancro può essere attribuito all'inquinamento atmosferico**⁴². Il cancro ai polmoni per l'inquinamento atmosferico rappresenta il 12% di tutte le nuove diagnosi di cancro e tra il 17%⁴³ e il 20%⁴⁴ di tutti i decessi per cancro. Ciò rende il cancro ai polmoni il quarto tumore più frequente e la principale causa di morte per cancro. L'incidenza è in aumento in nazioni europee altamente popolate come Francia, Italia e Spagna.

In **Italia** muoiono ogni anno circa 180.000 persone per tumore. Nonostante negli ultimi 20 anni si sia osservato un *trend* in leggera diminuzione nelle regioni del Nord e una mortalità stabile in quelle del Centro-Sud, i **tumori**

rappresentano oggi la seconda causa di morte dopo le malattie cardiovascolari⁴⁵. Nel 2023, in **Italia**, sono stimate 395.000 nuove diagnosi di cancro, con un incremento di oltre 18.000 casi in tre anni. Con 44.000 casi, il cancro al polmone è la seconda neoplasia più frequente negli uomini e la terza nelle donne⁴⁶. Una **proporzione significativa dei nuovi casi di tumore del polmone è correlata a fattori diversi dal fumo (che resta la causa principale), in primis l'inquinamento ambientale**: in Italia, negli ultimi anni, l'11,7% dei decessi totali è attribuibile a livelli medi di PM_{2,5} superiori a quelli indicati dall'OMS⁴⁷. Di questi, più di 39.000 sono stati stimati nelle regioni della **Pianura Padana, che presenta i livelli più elevati di inquinamento da PM in Europa.**

Già nel 2013, l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato **l'inquinamento atmosferico esterno e il PM_{2,5} come cancerogeni per l'uomo (gruppo 1) e causa di cancro ai polmoni**⁴⁸. Lo studio Global Burden of Disease 2019 ha stimato che il **15% dei decessi globali per cancro ai polmoni è attribuibile all'esposizione al PM_{2,5}** nell'aria esterna e il 4% per l'inquinamento atmosferico domestico dovuto all'uso di combustibili solidi (es. legno) per cucinare.

Nuove prove suggeriscono anche che l'inquinamento atmosferico potrebbe essere una possibile causa di **altri tumori** e aumentare il rischio di cancro all'**esofago**⁴⁹, alla **vescica**, al **seno**⁵⁰, al **rene**⁵¹, al **fegato**⁵², al **colon** e al **retto**⁵³. Tuttavia, gli studi riguardanti questi tumori sono meno conclusivi e la ricerca è in corso. Gli scienziati stanno anche studiando se l'inquinamento atmosferico possa contribuire al rischio di **leucemia infantile**⁵⁴.

I meccanismi di azione dell'inquinamento atmosferico sul nostro organismo, che possono sfociare in cancri o tumori, vanno da un danno fisico alle cellule, per esempio quando il PM o altre sostanze cancerogene entrano nei polmoni, producendo una infiammazione cronica e stress ossidativo, fino all'induzione di mutazioni cellulari **che facilitano la trasformazione delle cellule sane in cancerose**⁵⁵. Sostanze come il **benzene**, gli **NO_x** e gli **IPA** possono anche causare danni diretti al DNA.





© Nardocchi

Animali da compagnia sentinelle dell'inquinamento

Nel 1800 i minatori saggiavano la pericolosità dell'aria nelle miniere di carbone con canarini sensibili al gas tossico grisou. Ancora oggi i nostri animali domestici sono **inconsapevoli sentinelle** dei livelli di inquinamento e degli effetti sulla salute: sempre più studi evidenziano come esista un **rischio elevato** di alcuni tipi di cancro anche per **gatti e cani** a causa dell'esposizione agli inquinanti dell'aria urbana e domestica. I nostri animali, infatti, trascorrono molto tempo in casa dove sono esposti agli inquinanti *indoor* avendo quindi un **rischio leggermente più alto** rispetto ai loro proprietari, che trascorrono più tempo fuori^{56,57}. Non solo, cani e gatti respirano e interagiscono a livello del suolo dove la concentrazione di inquinanti è generalmente più elevata e si depositano più sostanze nocive⁵⁸. Per esempio, nei gatti la concentrazione di PBDE (presenti nella polvere domestica) può essere fino a 50 volte più alta di quella delle persone⁵⁹. **In casa, quando esposti a PM_{2,5} gatti e cani hanno maggiori probabilità di contrarre il cancro ai polmoni⁶⁰**. Inoltre, gli animali domestici, avendo una vita più breve dei proprietari **possono sviluppare prima malattie e tumori** che hanno un decorso più rapido⁶¹.

Le stesse **malattie che insorgono in cani e gatti di casa potrebbero colpire anche i proprietari**: è un esempio del concetto di **One Health** nella connessione tra salute animale, umana e ambientale. Comprenderne le dinamiche è fondamentale come **strumento di prevenzione**, soprattutto per le fasce della popolazione più fragili.

I soggetti più a rischio? I bambini!

Sebbene l'inquinamento atmosferico colpisca tutti, esistono **fasce della popolazione più vulnerabili**: oltre ad anziani e persone con patologie preesistenti, **bambini e adolescenti** sono particolarmente vulnerabili perché i loro **organi** (es. i polmoni) e il **sistema immunitario** sono ancora in fase di sviluppo⁶². La frequenza respiratoria dei bambini è anche più elevata e ingeriscono più aria per chilogrammo di peso corporeo rispetto agli adulti. A causa della loro **bassa statura fisica, respirano l'aria più vicina al suolo** e trascorrono molto tempo a contatto con il pavimento, dove alcuni inquinanti, soprattutto quelli provenienti dagli scarichi del traffico, vengono emessi e si concentrano. Inoltre, i bambini inalano attraverso la bocca una frazione maggiore di aria rispetto agli adulti. A causa di questa maggiore **respirazione orale**, gli inquinanti penetrano in profondità nel tratto respiratorio inferiore, che è più permeabile⁶³. Non solo. La loro esposizione inizia già dal **grembo materno**, con rischi di parto pre-termine⁶⁴ e basso peso alla nascita⁶⁵.

Dopo la nascita, l'inquinamento atmosferico aumenta il rischio di diversi tipi di effetti negativi: infezioni respiratorie, asma, polmoniti, otiti⁶⁶, allergie, eczema e congiuntivite. Prove crescenti mostrano come l'inquinamento atmosferico influisca sullo **sviluppo cerebrale** dei bambini, contribuendo al **deterioramento cognitivo** e che potrebbe svolgere un ruolo nello sviluppo di alcuni tipi di **disturbi dello spettro autistico**^{67,68}. Alcuni studi hanno anche osservato un legame tra l'inquinamento atmosferico

legato al traffico (in particolare il benzene) e la **leucemia** nei bambini^{69,70}.

Si stima che ogni anno in UE l'**inquinamento atmosferico causi oltre 1.200 decessi tra i minori** e molte altre migliaia siano afflitti da **problemi di salute fisica e mentale** che potrebbero avere conseguenze per tutta la loro vita⁷¹.

1.2 Principali impatti ambientali dell'inquinamento dell'aria su ecosistemi e biodiversità

Gli inquinanti atmosferici, che si depositano sulla superficie terrestre, hanno impatti negativi sugli ecosistemi terrestri e acquatici, degradando gli ambienti e riducendo la biodiversità.

Degrado della qualità del suolo e squilibri nei nutrienti

Gli inquinanti atmosferici come gli NO_x e SO₂, quando depositati sulle superfici del suolo, possono portare a processi di **acidificazione**, alterando il pH del suolo, e riducendone la permeabilità e interferendo con i cicli dei nutrienti. Ciò può danneggiare la fertilità del suolo, limitando la capacità delle colture di crescere e riducendo la produttività complessiva dei sistemi agricoli. Gli impatti di bassi valori di pH sui suoli forestali includono il rilascio di metalli tossici e la perdita di nutrienti, con conseguente declino delle foreste. Il degrado della qualità del suolo può portare a effetti a catena in tutti gli

ecosistemi, riducendo la biodiversità e influenzando la disponibilità di risorse alimentari per gli esseri umani e altri animali. Inquinanti atmosferici come NO, NO₂ e NH₃ (ossia l'ammoniaca) causano gravi impatti agli ecosistemi terrestri sensibili come le praterie, dove il superamento dei carichi critici per la deposizione atmosferica di azoto può portare alla perdita di specie sensibili, all'aumento della crescita di specie che beneficiano di elevati livelli di azoto e a cambiamenti nella struttura e nella funzione dell'ecosistema. **Nel 2020, sul 75% della superficie ecosistemica europea si sono registrati depositi eccessivi di azoto⁷²**.

Declino delle foreste e riduzione del servizio di impollinazione

Inquinanti atmosferici come NO_x, SO₂ e O₃ possono anche danneggiare i tessuti vegetali, compromettendo la fotosintesi e interferendo con lo scambio dei gas necessari per la crescita e la sopravvivenza delle piante. Questo determina danni alle foreste e alle colture, riducendo i tassi di crescita, con significative perdite economiche in agricoltura. Nel 2022, quasi **un terzo dei terreni agricoli europei è stato esposto a livelli di O₃ superiori al valore soglia** stabilito per la protezione della vegetazione nella Direttiva sulla qualità dell'aria ambiente (AAQD) dell'UE⁷³.

Non solo. I comuni inquinanti troposferici (ovvero presenti negli strati più bassi dell'atmosfera), inclusi gli ossidi di azoto (compresi NO e NO₂) provenienti dai gas di scarico dei mezzi a diesel e l'O₃, possono contribuire alla diminuzione degli impollinatori attraverso effetti sia diretti sia indiretti sulla salute degli insetti impollinatori⁷⁴.

Questi ultimi si verificano a causa dell'interferenza dei contaminanti atmosferici con la capacità delle piante di produrre e rilasciare COV (una combinazione unica di sostanze chimiche che la pianta produce) che servono per attirare impollinatori, come api, sirfidi e farfalle. Questa interferenza porta ad una riduzione dell'impollinazione e di conseguenza a una riduzione della riproduzione delle piante, compromettendo in ultima analisi la disponibilità di risorse alimentari sia per gli esseri umani sia per altri animali⁷⁵.

Acidificazione ed eutrofizzazione dei corpi idrici

La deposizione di inquinanti atmosferici come il SO₂ e gli NO_x sulla superficie del suolo e dei corpi d'acqua dolce, come laghi, fiumi e torrenti, può portare a una riduzione dei livelli di pH e alterarne la chimica. Questa acidificazione può danneggiare la vita acquatica, compresi i pesci e altri organismi, influenzando la disponibilità di nutrienti essenziali e portando a un declino della biodiversità. Non solo. Uno degli effetti più comuni della deposizione atmosferica di azoto è l'eutrofizzazione, cioè un sovraccarico di nutrienti che può portare alla moltiplicazione incontrollata di alghe e, in seguito, alla perdita di ossigeno e vita. Inoltre, alcuni tipi di alghe producono tossine che possono accumularsi nei molluschi, causando malattie o morte negli esseri umani e in altri animali che possono consumarli contaminati.

Effetti sulla salute della fauna e flora selvatiche


Come negli esseri umani, gli inquinanti atmosferici possono causare danni al sistema immunitario, respiratorio e riproduttivo anche su piante e animali selvatici, rendendo gli organismi più suscettibili a parassiti e malattie, oltre a comprometterne il successo riproduttivo. Ciò porta a una riduzione dei tassi di crescita delle popolazioni e della diversità delle specie, con cambiamenti nella struttura degli ecosistemi e nella qualità degli habitat, con un calo complessivo della biodiversità.

1.3 Principali impatti dell'inquinamento sul clima (e viceversa)

La meteorologia e il cambiamento climatico svolgono un ruolo importante nella formazione e nella dispersione dell'inquinamento atmosferico e nelle variazioni interannuali delle concentrazioni. Il **cambiamento climatico può esacerbare l'inquinamento atmosferico** in quanto il riscaldamento del Pianeta sta causando cambiamenti nei **modelli di circolazione atmosferica** che possono portare a masse d'aria stagnanti che intrappolano gli inquinanti. Il cambiamento climatico può anche peggiorare l'inquinamento atmosferico aumentando la **frequenza e l'intensità di eventi naturali** come incendi, tempeste di polvere e siccità, che rilasciano nell'aria grandi quantità di sostanze inquinanti.

Non solo, **gli inquinanti hanno un impatto sul clima terrestre**: molte delle fonti di inquinamento





dell'aria sono anche fonti di elevate **emissioni di gas serra**. Per esempio, l'uso di combustibili fossili per la produzione di energia, l'industria e i trasporti sono tutte le principali fonti di NO_2 e CO_2 . Se l'aumento a lungo termine delle temperature è principalmente determinato dalle emissioni globali di CO_2 , esistono molti **inquinanti di breve durata** (che includono gas serra, particelle e altre sostanze) che influiscono sul cambiamento climatico sia a livello regionale sia su larga scala. Sebbene questi gas persistano nell'atmosfera per brevi periodi, il loro potenziale di riscaldamento è spesso molto maggiore della CO_2 . Esempi di questi inquinanti sono il nero di carbonio (spesso indicato come fuliggine), il CH_4 (metano), SO_2 e O_3 troposferico.

I due problemi ambientali (inquinamento atmosferico e cambiamento climatico), tuttavia, differiscono per due aspetti molto importanti: hanno **scale spaziali e temporali diverse**. Il cambiamento climatico è per lo più un problema su scala globale, propriamente perché la CO_2 può restare nell'atmosfera per centinaia di anni. Ciò significa che la riduzione delle emissioni di CO_2 in Italia, o in un altro Paese del mondo, contribuisce in modo simile a mitigare il cambiamento climatico. Lo stesso non accade con gli inquinanti atmosferici che, sebbene possano essere soggetti a trasporto a lungo raggio, in genere hanno una durata di vita nell'atmosfera di alcuni giorni. La differenza di scala deve ripercuotersi quindi nelle politiche per affrontarli, con l'obiettivo finale di garantire che entrambi i problemi vengano affrontati nel modo più rapido ed efficiente. Per salvaguardare il clima e la salute serve agire immediatamente per limitare le emissioni dei forzanti climatici di breve durata e contemporaneamente è necessario agire a livello globale per ridurre le emissioni di CO_2 , mettendo fine all'uso dei combustibili fossili, con il passaggio a fonti rinnovabili e il miglioramento dell'efficienza.

Il 2023 è stato l'anno più caldo mai registrato sul Pianeta rispetto al livello preindustriale (1850-1900). I 10 anni più caldi dal 1850 ad oggi si sono verificati tutti nell'ultimo decennio⁷⁶. In tal senso, le strategie di controllo della qualità dell'aria sono un importante complemento di *policy* alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti e concorrono a mitigare il rischio climatico, riducendone gli effetti e i danni sulla salute umana, migliorando al contempo la qualità della vita delle persone. È vero anche il contrario: le politiche di abbattimento delle emissioni climalteranti abbattano anche molti inquinanti derivanti dall'impiego dei combustibili fossili. Il cambiamento climatico e la qualità dell'aria rappresentano quindi due facce della stessa medaglia e agire sulle due emergenze con politiche integrate può portare a significative sinergie positive e anche co-benefici economici, evitando inoltre che politiche volte unicamente a mitigare uno dei due aspetti possano peggiorare l'altro.

1.4 Particolato atmosferico ($\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10})

Con il termine particolato atmosferico ci si riferisce

a quelle particelle sospese, presenti nell'aria, anche chiamate polveri sottili. La sigla PM deriva dall'inglese *Particulate Matter* (materiale particolato) mentre il numero 2,5 o 10 sta ad indicare il diametro della particella, che può essere fino a 2,5 micrometri o fino a 10 micrometri (1 micrometro corrisponde a 1 milionesimo del metro). Il PM, considerato un buon indicatore della qualità dell'aria e che può **variare molto** da città a città, è formato da un insieme di **particelle solide di diversa dimensione ma anche natura e composizione chimica**. Il PM viene emesso principalmente dalla combustione di combustibili solidi per il riscaldamento domestico, ma anche le attività industriali, l'agricoltura, gli allevamenti e i trasporti stradali costituiscono fonti importanti. Alcuni PM provengono anche da fonti naturali come il sale marino, la polvere del Sahara o i vulcani, mentre altri (il PM secondario) si formano nell'atmosfera come una combinazione di gas diversi (es. NH_3 e NO_2).

Nel mondo, il PM è il **sesto maggiore fattore di rischio di morte prematura**, responsabile di oltre **2 milioni di decessi** per malattie cardiovascolari all'anno⁷⁷. Il PM_{10} è chiamato anche frazione toracica in quanto, passando per il naso, è in grado di raggiungere gola e trachea (che si trovano nel primo tratto dell'apparato respiratorio), mentre il $\text{PM}_{2,5}$ è detto frazione respirabile in quanto può arrivare più in **profondità nei polmoni**. Esistono anche particelle con

di diametro piccolissimo, dette *particolato ultrafine* (PUF), che possono penetrare fino agli **alveoli polmonari**⁷⁸. Il PM (PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$) è considerato un inquinante a componenti multiple: oltre a costituire un fattore di rischio in sé stesso, è un **vettore di altri numerosi agenti tossici e cancerogeni**, quali metalli (es. arsenico, piombo, cadmio, nickel), IPA (es. Benzo(a)pirene), diossine e furani⁷⁹. Il PM rimane nell'aria per un tempo piuttosto lungo e può, quindi, essere **trasportato anche per grandi distanze**.

L'impatto complessivo (considerando mortalità e morbilità) dell'esposizione al $\text{PM}_{2,5}$ è attribuibile a **6 principali malattie**: l'impatto più elevato è dato dalla **cardiopatía ischemica**, seguita da ictus, diabete mellito, BPCO, cancro ai polmoni e asma.

In **Europa**, l'83% della popolazione urbana è esposta a concentrazioni pericolose di PM_{10} , mentre il **96% a concentrazioni pericolose di $\text{PM}_{2,5}$** ⁸⁰ (che superano le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS⁸¹).

Concentrazioni di PM superiori ai valori limite sono state osservate soprattutto in Italia, dove nel 2021 a causa dell'esposizione al $\text{PM}_{2,5}$ sono morte prematuramente quasi 47.000 persone, **79 morti ogni 100.000 abitanti**: siamo il secondo Paese, dopo la Polonia, per numero di morti premature per questo inquinante in Europa⁸². La **Lombardia**, con 121 morti



premature ogni 100.000 abitanti, è la regione in testa, seguita da Veneto, Piemonte, Emilia-Romagna (tutte e tre al di sopra dal dato medio nazionale di 79 morti/100.000 abitanti). A livello di città, in termini assoluti il maggior numero di morti premature si è avuto nelle città metropolitane di Milano, Roma e Torino⁸³.

1.5 Ozono (O₃)

L'ozono (O₃) troposferico (diverso dall'O₃ stratosferico, che si trova nella parte alta dell'atmosfera e ci protegge dai raggi ultravioletti) è un inquinante che non viene emesso direttamente nell'atmosfera, ma si forma per complesse reazioni fotochimiche a partire da gas precursori (principalmente: NO_x, COV e CO) e dipende fortemente dalle condizioni meteorologiche (temperatura, irraggiamento solare, stabilità atmosferica). Le concentrazioni di O₃ in un dato luogo

dipendono in larga misura dal trasporto troposferico dell'inquinante stesso o da quello dei suoi precursori, da fonti anche molto distanti⁸⁴. L'O₃ viene trasportato in Europa anche da altre parti dell'emisfero settentrionale e dall'alta atmosfera. Ne consegue che gli impatti sulla salute dell'O₃, e in generale di qualsiasi inquinante atmosferico, sono ben lungi dall'essere un problema locale.

In Europa, oltre il 94% della popolazione⁸⁵ è esposta a livelli pericolosi di O₃ (che superano le linee guida sulla qualità dell'aria dell'OMS) il che, nel contesto di urbanizzazione accelerata e invecchiamento demografico, aumenta i rischi per la salute delle popolazioni esposte. **L'esposizione agli attuali livelli di O₃ è una delle principali fonti di mortalità prematura in UE dovuta all'inquinamento atmosferico:** l'esposizione acuta all'O₃ causa 24.000 morti premature all'anno⁸⁶. Concentrazioni elevate di O₃ nell'ambiente vengono osservate soprattutto durante

la stagione calda, il cui impatto è aumentato nel tempo a causa dell'effetto delle crescenti temperature medie⁸⁷. L'esposizione acuta all'O₃ è associata a sintomi respiratori, ridotta funzionalità polmonare e infiammazione delle vie aeree che nei casi più gravi portano all'ospedalizzazione e alla morte; l'esposizione a lungo termine porta ad asma aggravata, BPCO e una maggiore incidenza di ictus.

L'Italia ha visto diversi superamenti del valore limite di O₃: nel 2023 l'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana è stato rispettato solo nel 14% delle stazioni⁸⁸. Caldo estremo e assenza di precipitazioni favoriscono i superamenti della soglia.

1.6 Ossidi di azoto (NO e NO₂)

Gli NO_x sono composti da azoto e ossigeno, sotto forma

di monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO₂). In UE, le principali fonti di NO_x sono costituite dalle combustioni nel settore dei trasporti su strada (39%), seguito dai settori della produzione e distribuzione di energia (16%), dalle attività commerciali, domestiche e istituzionali (14%), dagli impianti industriali (12%). Un'altra fonte spesso sottovalutata è l'agricoltura (8%): l'uso intensivo di fertilizzanti svolge il ruolo principale nell'aumento dell'inquinamento da NO_x.

Il NO₂ è uno degli inquinanti atmosferici più pericolosi, non solo per la sua natura irritante, ma anche perché, in condizioni di forte irraggiamento solare, provoca delle reazioni fotochimiche secondarie che creano altre sostanze inquinanti ("smog fotochimico"): in particolare è un precursore dell'O₃ e del PM. In presenza di umidità si trasforma in acido nitrico determinando le cosiddette "piogge acide", con conseguenti danni alla vegetazione ed agli edifici.

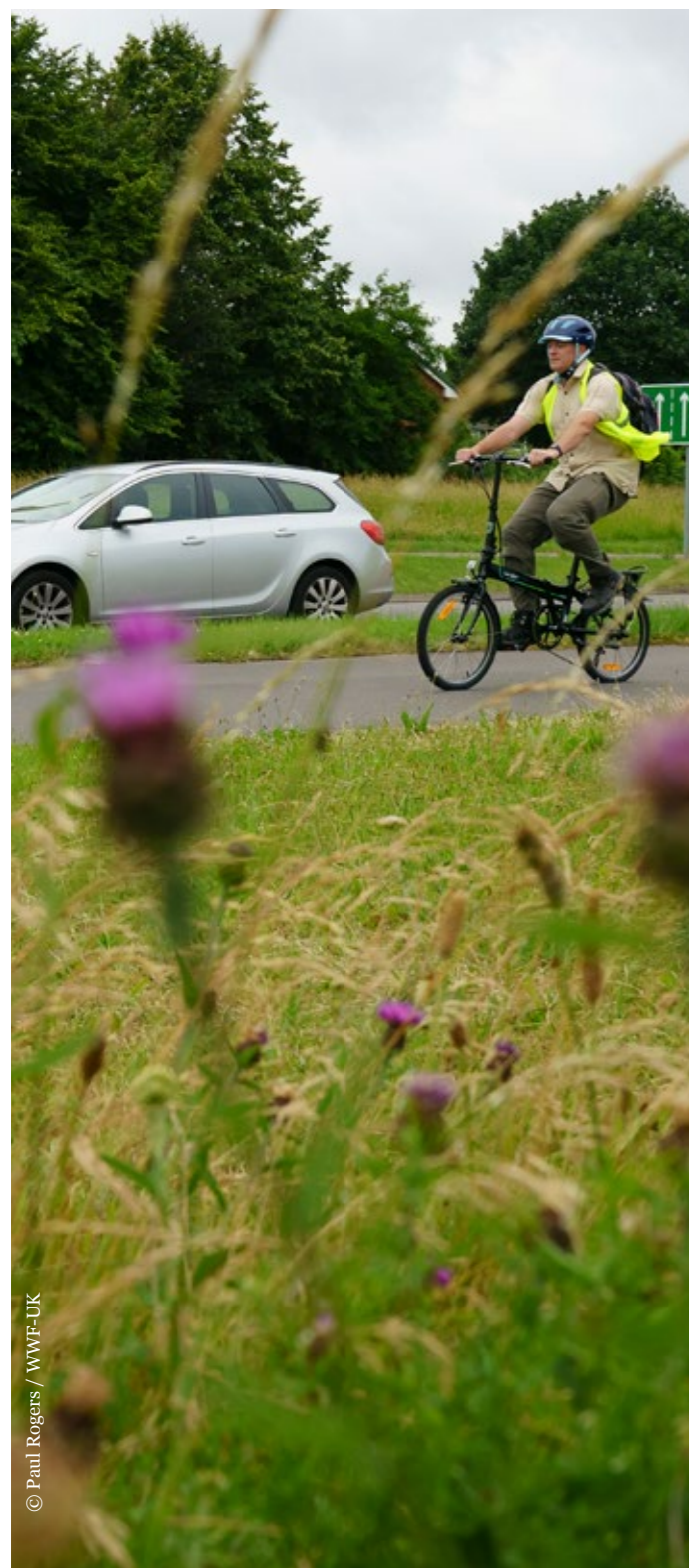
In Europa, l'88% della popolazione è esposta a livelli di NO₂ pericolosi (che superano le linee guida dell'OMS), causando 49.000 morti premature l'anno⁸⁹. Oltre all'associazione significativa tra le concentrazioni atmosferiche di NO₂ e la mortalità in varie città, l'NO₂ è, tra i vari ossidi di azoto, quello più pericoloso da un punto di vista tossicologico: ha un forte potere ossidante, che esercita prevalentemente sulle mucose con cui viene in contatto, responsabile di specifiche patologie a carico dell'apparato respiratorio (bronchiti, allergie, irritazioni). Evidenze scientifiche mostrano inoltre che un'esposizione prolungata a NO₂ contribuisce all'emergere di patologie quali il diabete, l'ipertensione e i problemi cardiovascolari⁹⁰.

La Pianura Padana è una delle aree geografiche più inquinate d'Europa. La morfologia del territorio, le condizioni meteorologiche, l'elevata densità abitativa, la forte industrializzazione, le pratiche agricole e zootecniche intensive e il traffico veicolare rendono la valle del Po una zona caratterizzata da alti livelli di inquinanti atmosferici: per l'NO₂ la criticità è più localizzata in prossimità di importanti fonti di emissione, legate prevalentemente al traffico veicolare (agglomerati urbani, grandi arterie stradali e autostradali). Scendendo a livello regionale, questo "record" è attribuibile alla Lombardia, nella quale l'EEA stima ci siano state, nel 2021, 3.458 morti premature per l'esposizione a NO₂. Nuovi studi dimostrano come l'agricoltura sia la principale fonte di emissioni di NH₃ nella Pianura Padana, causando 600 morti l'anno in Lombardia. L'NH₃ emessa da coltivazioni e allevamenti intensivi (come gli NO_x, associati principalmente al traffico veicolare), contribuisce in modo sostanziale alla formazione di PM secondario e al deterioramento della qualità dell'aria⁹¹. I composti chimici a base di ammoniaca, infatti, compongono circa il 30% del particolato PM₁₀ nella regione⁹². Tuttavia, per ridurre i livelli di inquinamento atmosferico in Lombardia, come in altre aree fortemente inquinate, non basta ridurre un solo precursore del PM: occorre un'azione congiunta che affronti anche le emissioni di ammoniaca.



1.7 Ruolo delle piante nella qualità dell'aria in città

Oggi oltre il 70% delle emissioni nocive proviene dalle città ed entro il 2050 due persone su tre nel mondo vivranno nelle aree urbane. In questo scenario, le città sono chiamate a svolgere un ruolo fondamentale nell'affrontare il problema dell'inquinamento atmosferico. Il verde urbano, a tal proposito, offre una **grande opportunità**, grazie alla sua capacità di assorbire gli inquinanti, regolare il comfort termico e di fornire



una grande varietà di benefici ecologici. Per ridurre l'inquinamento atmosferico, il passo imprescindibile è certamente eliminare, o almeno ridurre drasticamente, le emissioni causate dalle attività antropiche. Un ulteriore passo per migliorare la qualità dell'aria è quello di usare organismi (piante, microbi e funghi) per **assimilare, degradare o trasformare sostanze pericolose in sostanze meno tossiche o non tossiche**.

Le soluzioni basate sulla natura (*Nature Based Solutions*, NBS) o sulle infrastrutture verdi (GI) sono approcci che non solo portano la natura nelle città, ma contribuiscono anche a risolvere o mitigare i problemi ambientali e sociali⁹³. In molti casi, ciò include una progettazione urbana ispirata o derivata dalla natura, volta a costruire un **sistema urbano rigenerativo e circolare**⁹⁴ che contribuisca alla **mitigazione e adattamento al cambiamento climatico**, alla **riduzione dell'effetto isola di calore urbano** (es. tramite raffreddamento evaporativo), al miglioramento della **qualità dell'aria**, alla riduzione del **deflusso superficiale dell'acqua piovana**, alla manutenzione del **suolo**, alla riduzione della velocità del **vento**, nonché alla **conservazione della biodiversità** e al **recupero delle risorse**.

È stato dimostrato come la **vegetazione urbana** - gli alberi lungo le strade e nei parchi, i prati fioriti e l'inverdimento degli edifici - riduca la concentrazione di inquinanti atmosferici attraverso il meccanismo di **fitofiltrazione**⁹⁵. Sulla base delle attività metaboliche delle piante è possibile l'assorbimento e la degradazione degli inquinanti⁹⁶. L'assorbimento avviene principalmente sulla superficie delle piante fuori dalla terra (soprattutto sugli stomi delle foglie) mentre la degradazione degli inquinanti avviene grazie a vari metaboliti vegetali, come gli enzimi (catalasi, dealogenasi, ecc.)⁹⁷. Ricerche precedenti hanno scoperto che le piante sono molto efficienti nel rimuovere la CO₂ attraverso la fotosintesi, degradare i COV con l'aiuto di microrganismi della rizosfera. Il PM può essere trattenuto invece sulla superficie fogliare da strutture come i peli e le cere, e quello più fine può essere addirittura assorbito attraverso gli stomi delle foglie.

Non tutti gli alberi però sono uguali! La capacità decontaminante è correlata in particolare alle caratteristiche morfologiche e micro-morfologiche delle foglie. Gli **alberi con una chioma ampia sono più efficaci** nella mitigazione, in virtù della maggiore superficie fogliare, ma anche gli **arbusti**, pur avendo un apparato fogliare minore, sono molto importanti per creare barriere verdi di protezione in zone limitrofe alle sorgenti di emissione di inquinanti (strade e zone industriali).

Un altro aspetto molto importante nelle strategie di mitigazione per le aree urbane riguarda la capacità delle piante di **sintetizzare e rilasciare composti organici volatili (COV)**, sostanze con importanti ruoli eco-fisiologici per la pianta (es. per richiamo degli insetti impollinatori o protezione contro attacchi di patogeni). I COV delle piante possono però modificare la chimica dell'atmosfera soprattutto in città, influenzando il

bilancio di formazione/distruzione dell'O₃ troposferico. Ne consegue che, nella progettazione di infrastrutture verdi per rendere le città più resilienti, è fondamentale scegliere, oltre al luogo, **le specie più efficaci nella mitigazione ambientale, più resistenti ai cambiamenti climatici e con minori produzioni di COV**.

Tra le piante che presentano queste caratteristiche (efficacia nel sequestro di CO₂ e di inquinanti, bassa produzione di COV) si possono citare tra le **sempreverdi** pini, abeti, libocedri e magnolie; tra le **caducifoglie** cerri, frassini, carpini, aceri, tigli e olmi; tra gli **arbusti** alloro, fotinia, viburno e ligustro⁹⁸.

Inoltre, tetti e pareti verdi rivestiti con **specie erbacee**, soluzione utile dove non è possibile piantare a terra, contribuiscono a rendere più miti le temperature, migliorando le prestazioni energetiche degli edifici e la qualità dell'aria, e rallentando l'innalzamento delle temperature in città. Piante erbacee come per esempio la achillea millefoglie e la salvia nemorosa sono specie efficaci⁹⁹ come anche **piante rampicanti** come l'edera, il glicine e la vite americana.

Negli ultimi anni gli spazi verdi nelle città sono aumentati, ma è fondamentale un'accurata progettazione e gestione che tenga anche conto in particolare della **siccità** e delle **alte temperature** che minacciano la sopravvivenza anche delle piante. Fino al **65% degli alberi in città è già a rischio**, percentuale che si prevede in costante aumento¹⁰⁰: ovviamente i benefici forniti da piante malate o stressate sono estremamente limitati.

Nella progettazione del verde nelle nostre città deve essere sempre considerata la necessità di contribuire ad arricchire la **biodiversità urbana**, basandosi quindi in primis su specie autoctone e adatte al contesto urbano, capaci di fornire habitat per molte specie vegetali e animali, favorendo quindi la conservazione della natura anche in un contesto altamente antropizzato.

1.8 Cosa possiamo fare: istituzioni, scuole, aziende e cittadini per la qualità dell'aria

I governi di tutto il mondo stanno riconoscendo sempre più la necessità di **affrontare collettivamente l'inquinamento atmosferico** per ridurlo a livelli non nocivi per la salute. Le politiche e gli interventi per ridurre gli inquinanti atmosferici devono riguardare la **prevenzione** e la **mitigazione**, riducendone le concentrazioni ed evitando l'esposizione delle persone. Ad oggi i **costi umani, ambientali ed economici** sono ancora troppo elevati: sebbene la qualità dell'aria abbia beneficiato di una progressiva riduzione delle emissioni inquinanti, la salute dei cittadini è ancora fortemente esposta all'inquinamento atmosferico.

Nell'autunno del 2021, la pubblicazione delle nuove "Linee guida per la qualità dell'aria" da parte dell'OMS



ha rappresentato un chiaro messaggio rivolto ai decisori politici e all'opinione pubblica rispetto all'urgenza di adottare misure più efficaci per tutelare meglio la salute pubblica. L'Italia si trova quindi davanti a un passaggio cruciale. Servono **soglie più rigorose** per l'inquinamento, maggiormente allineate alle nuove raccomandazioni fissate nel 2021 dall'OMS e ai livelli suggeriti dai più recenti riscontri scientifici riguardanti l'impatto sulla salute umana. Servono **maggiori limitazioni del numero di superamenti consentiti** delle concentrazioni rispetto alle norme (es. per PM, NO₂, SO₂ e O₃). È necessaria una migliore **tutela del diritto all'aria pulita**, che si traduca anche in

eventuali disposizioni che consentano ai cittadini di chiedere un risarcimento dei danni alla salute causati dall'inquinamento atmosferico. Occorrono norme più rigorose in materia di **monitoraggio** della qualità dell'aria con **indici armonizzati e confrontabili** sulla qualità dell'aria a livello UE, che forniscano informazioni comprensibili ai cittadini (inclusi gli impatti sulla salute e i comportamenti raccomandati).

È fondamentale **contrastare l'inosservanza delle norme** dell'UE sulla qualità dell'aria e garantire la piena conformità alla legislazione, con l'obiettivo a lungo termine di ridurre la mortalità prematura dovuta all'esposizione a comuni inquinanti. In questo senso, purtroppo, in Italia le disposizioni del settore ambientale sono quelle che più risultano essere violate: delle 65 procedure di infrazione europea pendenti a maggio 2024, 19 di esse riguardano l'ambiente, ovvero, 4 attengono proprio all'inquinamento atmosferico (secondo i dati del Dipartimento per gli Affari Europei).

In particolare, nonostante le soglie limite attualmente in vigore siano meno stringenti di quelle che andranno in vigore con la nuova Direttiva UE prevista per il 2030, **l'Italia già è stata più volte richiamata** e condannata per il mancato rispetto degli obblighi sulla qualità dell'aria. Nello specifico, la nostra Repubblica è stata richiamata per aver superato i limiti di inquinamento atmosferico stabiliti in sede UE dalla direttiva 2008/50.

Clima ed energia, trasporti, industria e agricoltura costituiscono le politiche con un impatto diretto sulla qualità dell'aria e le scelte effettuate per darvi attuazione possono essere dirimenti per un'aria pulita. Servono politiche e investimenti per eliminare i combustibili fossili e garantire l'accesso a soluzioni energetiche rinnovabili; serve dare priorità al trasporto urbano elettrico e rapido, alle reti pedonali e ciclabili nelle

città; nella pianificazione urbana è necessario migliorare l'efficienza energetica degli edifici e rendere le città più verdi adottando in maniera diffusa soluzioni basate sulla natura che consentano di aumentare il benessere e la salute dei cittadini e al contempo contrastare gli effetti nocivi del cambiamento climatico; servono strategie per la riduzione dei rifiuti, la raccolta, il riciclo e il riutilizzo con severi controlli delle emissioni inquinanti. Serve promuovere ulteriormente strumenti e incentivi pertinenti per attuare meglio il principio "chi inquina paga" e porre così fine all'epoca dell'"**inquinamento gratuito**" che presenta nella realtà un enorme costo sociale e sanitario che ricade su tutti i cittadini.

Serve **incrementare il numero di finanziamenti e di progetti** destinati alle misure per la qualità dell'aria e migliorare l'informazione pubblica, aumentando la trasparenza e condividendo informazioni di qualità nelle città. La sensibilizzazione e l'informazione dei cittadini svolgono un ruolo fondamentale nella lotta all'inquinamento atmosferico, consentendo un cambio di comportamenti.

L'**industria** è responsabile una quota consistente delle emissioni totali di alcuni dei principali inquinanti atmosferici, nonché di altri importanti impatti ambientali, tra cui la produzione di rifiuti e il consumo energetico. Le aziende devono quindi intraprendere politiche e azioni **per ridurre drasticamente l'inquinamento dell'aria**, adottando le migliori tecnologie disponibili (BAT, *Best available technologies*) e con particolare attenzione agli impatti sulla salute, agli ecosistemi e alle catene del valore di produzione-consumo. Quest'ultimo ambito include l'uso e la gestione delle sostanze chimiche (sicure e sostenibili a partire dalla progettazione) e l'**economia circolare**, quali mezzi per raggiungere l'inquinamento zero nella produzione di prodotti. Serve ridurre la dipendenza risorse naturali, investire in tecnologie pulite che riducano le

emissioni inquinanti degli impianti produttivi, attuando obiettivi ambiziosi, incrementare l'efficienza dei processi e ridurre la produzione di rifiuti e migliorarne la gestione. Queste importanti azioni devono riguardare un'ampia gamma di industrie dagli impianti di trattamento e incenerimento dei rifiuti, ai prodotti chimici, dalle aziende che producono alimenti e bevande e fino agli impianti zootecnici intensivi. Tutte le aziende hanno infine un **ruolo prioritario nel contrasto al cambiamento climatico e nella transizione verso soluzioni energetiche a basso impatto**, oltre a una importante capacità di influenzare e orientare le politiche su energia e clima.

Anche le nostre scelte quotidiane possono contribuire alla riduzione dell'inquinamento atmosferico, tra le più significative c'è sicuramente un cambiamento comportamentale verso un trasporto multimodale e sostenibile, che integri le forme di trasporto pubbliche e attive in bicicletta e a piedi. Se non possiamo rinunciare ad avere un'auto orientiamoci verso modelli elettrici. Evitiamo di portare i bambini in strada nelle ore di punta quando il traffico è intenso. Se non è possibile, teniamo i piccoli in braccio o nel marsupio, per allontanarli dagli scarichi nocivi dei veicoli a motore. Riduciamo il più possibile l'esposizione al traffico veicolare durante la gravidanza.

In casa, utilizziamo dispositivi elettrici ed elettronici ad alta efficienza energetica ed energia prodotta da fonti rinnovabili, elettrificando anche il riscaldamento e la cucina, ricordando comunque che **l'energia più pulita è quella che risparmiamo**. Facciamo una corretta raccolta differenziata, separando attentamente i materiali dei nostri rifiuti.

Per mantenere un ambiente salubre in casa, è importante areare bene gli spazi, considerando che se si abita in zone molto trafficate o in generale in città è meglio farlo la

mattina presto e la sera tardi quando il traffico è meno intenso. Consideriamo anche le altre fonti di inquinanti, come i detersivi e detergenti, gli insetticidi, il fumo di sigaretta, molti tipi di candele, incensi e profumatori, che possono aumentare l'inquinamento totale e, quando sono usati serve ventilare ancora più frequentemente, per evitarne la persistenza nelle stanze. Scegliamo **cibo biologico, locale, riducendo al minimo le proteine animali**. Quando possibile acquistiamo **prodotti sfusi**. Cuociamo cercando di diminuire i tempi di cottura, grazie all'uso di pentole a pressione, e le alte temperature; **limitiamo frittture, arrostiture e grigliature**, che producono più inquinanti rispetto alla cottura al vapore: ricordiamo di accendere sempre la cappa aspirante.

Creiamo angoli verdi in casa: le piante sono infatti in grado di rimuovere diversi inquinanti gassosi e polveri inalabili. Piantiamo fiori, cespugli e alberi anche nei giardini o sul balcone: **la biodiversità è uno dei nostri più preziosi alleati**.

Focus su asili nido e scuole

Per garantire che le politiche e gli interventi sull'inquinamento atmosferico proteggano adeguatamente **i bambini e gli adolescenti**, è importante in primis che queste riconoscano e integrino esplicitamente le diverse esposizioni e la biologia di queste fasce più fragili della popolazione.

È prioritario colmare l'assenza di un **quadro legislativo organico sul tema della qualità dell'aria indoor** nei luoghi in cui si riuniscono le fasce di età sensibili. Occorrono poi azioni strategiche finalizzate alla riduzione delle esposizioni, sia tramite interventi strutturali di prevenzione primaria finalizzati alla riduzione delle emissioni di inquinanti, sia con attività di educazione, comunicazione e formazione che consentano alle famiglie, ai pediatri agli insegnanti, di riconoscere i comportamenti sbagliati che possono esporre i bambini a elevati livelli di concentrazione di inquinanti.

Dovrebbe essere ridotta al minimo l'esposizione *indoor* dei minori, con un'attenzione specifica ai più piccoli, a partire dalle **scuole**, eliminando evidenti fonti di esposizione agli inquinanti dell'aria interna derivanti per esempio da prodotti per la pulizia, verniciatura, materiali edili e d'arredo. È necessario ridurre anche l'inquinamento atmosferico **attorno all'edificio scolastico e nei cortili**, le cui concentrazioni di inquinamento atmosferico sono fortemente influenzate dalla vicinanza alle strade, dalla densità e dal flusso del traffico. Possono contribuire la promozione, ove possibile, di spostamenti a piedi o in bicicletta, e l'inserimento di divieti di sosta intorno alle scuole. La creazione di **"aree verdi"** (siepi, rampicanti, alberi) attorno alle scuole può ridurre la concentrazione di inquinanti. Oltre all'effetto di miglioramento della qualità dell'aria, le infrastrutture verdi all'interno e intorno alle scuole offrono molteplici altri vantaggi sociali e ambientali, tra cui raffreddamento, protezione solare, opportunità di attività fisica, stoccaggio dell'acqua, conservazione dell'habitat, oltre a favorire l'apprendimento e lo sviluppo psicofisico dei bambini.



BIBLIOGRAFIA

- 1 European Environment Agency, 2022. Europe's Air Quality Status 2021.
- 2 Cazzolla Gatti R. *et al.*, 2023. The spatial association between environmental pollution and long-term cancer mortality in Italy. *Sci Total Environ*, 855, 158439.
- 3 World Health Organization, Air Pollution. <http://www.who.int/airpollution/en/>
- 4 World Health Organization, https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
- 5 European Environment Agency, 2022. Zero pollution monitoring assessment, EEA Web Report No 3/2022 <https://www.eea.europa.eu/publications/zero-pollution>
- 6 Kampa M., Castanas E., 2008. Human health effects of air pollution. *Environ Pollut*, 151, 362-367.
- 7 European Environment Agency, 2023. Harm to human health from air pollution in Europe: burden of disease 2023. <https://www.eea.europa.eu/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution/>
- 8 [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- 9 McDuffie E.E. *et al.*, 2021. Source sector and fuel contributions to ambient PM_{2.5} and attributable mortality across multiple spatial scales. *Nat Commun*, 12(1), 3594.
- 10 Health Effects Institute, 2024. State of Global Air 2024. <https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2024>
- 11 Agenzia Europea dell'Ambiente, 2024 <https://www.eea.europa.eu/publications/the-cost-to-health-and-the>
- 12 Agenzia Europea dell'Ambiente, 2024 <https://www.eea.europa.eu/publications/the-cost-to-health-and-the>
- 13 World Health Organization, 2021. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide.
- 14 World Health Organization, 2023. Air quality guidelines (AQGs) and estimated reference levels (RLs)
- 15 Chen ZY. *et al.*, 2024. Population exposure to multiple air pollutants and its compound episodes in Europe. *Nat Commun*, 15, 2094.
- 16 <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/02/20/air-quality-council-and-parliament-strike-deal-to-strengthen-standards-in-the-eu/>
- 17 https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Urban-rural_Europe_-_introduction
- 18 European Environment Agency, 2024. Exceedance of air quality standards in Europe <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/exceedance-of-air-quality-standards>
- 19 European Environment Agency, 2024. Europe's air quality status 2024 <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2024>
- 20 European Environment Agency, 2023. Harm to human health from air pollution in Europe: burden of disease 2023. <https://www.eea.europa.eu/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution/>
- 21 European Environment Agency, 2023. Premature deaths due to exposure to fine particulate matter in Europe <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/health-impacts-of-exposure-to-active>
- 22 European Environment Agency, 2023. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/italy-air-pollution-country-2023-country-fact-sheets>
- 23 Cazzolla Gatti R. *et al.*, 2023. The spatial association between environmental pollution and long-term cancer mortality in Italy. *Sci Total Environ*, 855, 158439.
- 24 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- 25 Baloch R.M. *et al.*, 2020. SINPHONIE Study group. Indoor air pollution, physical and comfort parameters related to schoolchildren's health: data from the European SINPHONIE study. *Sci Total Environ*, 739, 139870.
- 26 Osborne S. *et al.*, 2021. Air quality around schools: part I - A comprehensive literature review across high-income countries. *Environ Res*, 196, 110817.
- 27 Mitova M.I. *et al.*, 2020. Human chemical signature: Investigation on the influence of human presence and selected activities on concentrations of airborne constituents. *Environ Pollut*, 257, 113518.
- 28 World Health Organization, Household air pollution. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- 29 World Health Organization, Air pollution and child health: prescribing clean air. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-18-01>
- 30 Li Y.C. *et al.*, 2018. Characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons in PM_{2.5} emitted from different cooking activities in China. *Environ Sci Pollut Res Int*, 25(5), 4750-4760.
- 31 Blair H. *et al.*, 2023. Exposing the Hidden Health Impacts of Cooking with Gas, CLASP and European Public Health Alliance.
- 32 Kelly F.J., Fussell J.C., 2019. Improving indoor air quality, health and performance within environments where people live, travel, learn and work. *Atmos Environ*, 200, 90-109.
- 33 Forns J. *et al.*, 2017. Longitudinal association between air pollution exposure at school and cognitive development in school children over a period of 3.5 years. *J Environ Res*, 159, 416-421.
- 34 Hassan S. *et al.*, 2023. Endocrine disruptors: unravelling the link between chemical exposure and women's reproductive health. *Environ Res*, 241, 117385.
- 35 Predieri B. *et al.*, 2022. Endocrine disrupting Chemicals' effects in children: what we know and what we need to learn? *Int J Mol Sci*, 23(19), 11899.
- 36 Zheng K. *et al.*, 2023. Current status of indoor dust PBDE pollution and its physical burden and health effects on children. *Environ Sci Pollut Res*, 30, 19642-19661.
- 37 Kronborg T.M. *et al.*, 2017. The flame retardant DE-71 (a mixture of polybrominated diphenyl ethers) inhibits human differentiated thyroid cell function in vitro. *PLoS ONE*, 12(6), e0179858.
- 38 Berg C.D. *et al.*, 2023. Air Pollution and Lung Cancer: A Review by International Association for the Study of Lung Cancer Early Detection and Screening Committee. *J Thorac Oncol*, 18(10), 1277-1289.
- 39 *Ibidem*
- 40 Sung H. *et al.*, 2021. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin*, 71(3), 209-249.
- 41 American Cancer Society, 2018. Cancer Facts & Figures 2018. American Cancer Society.
- 42 IHME, 2020. Global Burden of Disease data set. Institute for Health Metrics and evaluation <https://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>.
- 43 European Environment Agency, 2020. Healthy environment, healthy lives: How the environment influences health and well-being in Europe, EEA Report No 21/2019.

- 44 ECIS - European Cancer Information System 2021
- 45 Cazzolla Gatti R. *et al.*, 2023. The spatial association between environmental pollution and long-term cancer mortality in Italy. *Sci Total Environ*, 855, 158439.
- 46 <https://www.epicentro.iss.it/tumori/aggiornamenti#:~:text=25%2F1%2F2024%20%2D%20I,%C3%A8%20di%20oltre%2018mila%20casi>
- 47 Stafoggia M. *et al.*, 2023. Health impact of air pollution and air temperature in Italy: evidence for policy actions. *Epidemiol Prev*, 47 (3) Suppl 1, 22-31.
- 48 International Agency for Research on Cancer (2013). Outdoor Air Pollution a Leading Environmental Cause of Cancer Deaths, No. 221. World Health Organization; Available online at: https://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf
- 49 Sapkota A. *et al.*, 2013. Indoor air pollution from solid fuels and risk of upper aerodigestive tract cancers in central and eastern Europe. *Environ Res*, 120, 90-95.
- 50 Harris E., 2023. Air pollution tied with increased chance of breast cancer. *JAMA*, 330(15), 1422.
- 51 Dahman L. *et al.*, 2024. Air pollution and kidney cancer risk: a systematic review and meta-analysis. *J Nephrol*, doi: 10.1007/s40620-024-01984-x.
- 52 Sun M. *et al.*, 2023. Association between air pollution and primary liver cancer in European and east Asian populations: a Mendelian randomization study. *Front Public Health*, 11, 1212301.
- 53 Jiang F. *et al.*, 2024. Impact of ambient air pollution on colorectal cancer risk and survival: insights from a prospective cohort and epigenetic Mendelian randomization study. *EBioMedicine*, 103, 105126.
- 54 Tamayo-Uria I. *et al.*, 2018. Childhood leukaemia risk and residential proximity to busy roads. *Environ Int*, 121(1), 332-339.
- 55 Hill W. *et al.*, 2023. Lung adenocarcinoma promotion by air pollutants. *Nature*, 616, 159-167.
- 56 Moore A.S., 2007. Environmental causes of cancer in pets - WSAVA2007. World Small Animal Veterinary Association World Congress Proceedings.
- 57 Poma G. *et al.*, 2020. Pets as sentinels of indoor contamination in: Pastorinho and Sousa (Eds) *Pets as Sentinels of Human Exposure to Environmental*, Springer, Switzerland, 3-20. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-30734-9>.
- 58 Guo W. *et al.*, 2012. High polybrominated diphenyl ether levels in California house cats: House dust a primary source? *Environ Toxicol Chem*, 31, 301-306.
- 59 Nomiyama K. *et al.*, 2024. Accumulation of persistent organic pollutants in the kidneys of pet cats (*Felis silvestris catus*) and the potential implications for their health. *Sci Total Environ*, 933, 173212.
- 60 Lin CH. *et al.*, 2018. Association between indoor air pollution and respiratory disease in companion dogs and cats. *J Vet Intern Med*, 32(3), 1259-1267.
- 61 EWG (Environmental Working Group) 2008. Polluted pets: High levels of toxic industrial chemicals contaminate cats and dogs. Washington, DC: Environmental Working Group. Available at: <http://www.ewg.org/reports/pets2008>
- 62 Chen Z. *et al.*, 2015. A new analytical method based on pressure transient analysis to estimate carbon storage capacity of depleted shales: A case study. *Int J Greenhouse Gas Control*, 42, 46-58.
- 63 US EPA, 2019. Integrated science assessment (ISA) for particulate matter, United States Environmental Protection Agency <https://www.epa.gov/isa/integrated-science-assessment-isa-particulate-matter>
- 64 Yu Z. *et al.*, 2022. Gestational exposure to ambient particulate matter and preterm birth: an updated systematic review and meta-analysis. *Environ Res*, 212(Pt C), 113381.
- 65 Ghosh R. *et al.*, 2021. Ambient and household PM_{2.5} pollution and adverse perinatal outcomes: a meta-regression and analysis of attributable global burden for 204 countries and territories. *PLoS Med*, 18(9), e1003718.
- 66 Låg M. *et al.*, 2020. Potential role of polycyclic aromatic hydrocarbons in air pollution-induced non-malignant respiratory diseases. *Respir Res*, 21(1), 299.
- 67 Duthéil F. *et al.*, 2021. Autism spectrum disorder and air pollution: a systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut*, 278, 116856.
- 68 Lin L.Z. *et al.*, 2022. The epidemiological evidence linking exposure to ambient particulate matter with neurodevelopmental disorders: a systematic review and meta-analysis. *Environ Res*, 209, 112876.
- 69 Filippini T. *et al.*, 2019. Association between outdoor air pollution and childhood leukemia: a systematic review and dose-response meta-analysis. *Environ Health Perspect*, 127(4), 46002.
- 70 Tamayo-Uria I. *et al.*, 2018. Childhood leukaemia risk and residential proximity to busy roads. *Environ Int*, 121(1), 332-339.
- 71 European Environment Agency, 2023. Air pollution and children's health <https://www.eea.europa.eu/publications/air-pollution-and-childrens-health>
- 72 European Environment Agency, 2022. Impacts of air pollution on ecosystems <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/impacts-of-air-pollution-on-ecosystems>
- 73 European Environment Agency, 2024. Exposure of Europe's ecosystems to ozone. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/exposure-of-europes-ecosystems-to-ozone>
- 74 Reitmayer M. *et al.*, 2019. Acute exposure to diesel exhaust induces central nervous system stress and altered learning and memory in honey bees. *Sci Rep*, 9, 5793.
- 75 Ryalls J.M.W. *et al.*, 2022. Anthropogenic air pollutants reduce insect-mediated pollination services. *Environ Pollut*, 297, 118847.
- 76 <https://www.noaa.gov/news/2023-was-worlds-warmest-year-on-record-by-far>
- 77 Corda M.O. *et al.*, 2024. Mortality burden of cardiovascular disease attributable to ambient PM_{2.5} exposure in Portugal, 2011 to 2021. *BMC Public Health*, 24(1), 1188.
- 78 <https://www.issalute.it/index.php/la-salute-dalla-a-alla-z-menu/p/pm10-particolato-atmosferico-o-polveri-sottili>
- 79 *Ibidem*
- 80 European Environment Agency, 2024. Air quality in Europe 2024 <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2024>
- 81 World Health Organization, 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 82 European Environment Agency, 2023. Premature deaths attributable to exposure to PM_{2.5} at country level in 2005 and 2021 <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/number-of-deaths-per-100>
- 83 <https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2023-country-fact-sheets/italy-air-pollution-country>
- 84 Derwent R., 2004. Intercontinental transport and the origins of the ozone observed at surface sites in Europe. *Atmos Environ*, 38, 1891-1901.
- 85 European Environment Agency, 2024. Air quality in Europe 2024 <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2024>
- 86 European Environment Agency, 2022. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution#:~:text=Exposure%20to%20concentrations%20of%20fine,ozone%20caused%2024%2C000%20premature%20deaths.>
- 87 Achebak H. *et al.*, 2024. Geographic sources of ozone air pollution and mortality burden in Europe. *Nat Med*, 30, 1732-1738.
- 88 <https://www.snpambiente.it/snpa/la-qualita-dellaria-in-italia-edizione-2023/>
- 89 European Environment Agency, 2022. Health impacts of air pollution in Europe, 2022 <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution#:~:text=49%2C000%20premature%20deaths%20were%20attributable,above%2070%20%2C2%2B5%2Fm3.>

- 90 Strak M. *et al.*, 2017. Long-term exposure to particulate matter, NO₂ and the oxidative potential of particulates and diabetes prevalence in a large national health survey. *Environ Int*, 108, 228-236.
- 91 Granella F. *et al.*, 2024. The formation of secondary inorganic aerosols: A data-driven investigation of Lombardy's secondary inorganic aerosol problem. *Atmos Environ*, 327, 120480.
- 92 Renna S. *et al.*, 2024. Impacts of agriculture on PM₁₀ pollution and human health in the Lombardy region in Italy. *Front Environ Sci*, 12.
- 93 Langergraber G. *et al.*, 2020. Implementing nature-based solutions for creating a resourceful circular city. *Blue-Green Systems* 2(1), 173-185.
- 94 *Ibidem*
- 95 Barwise Y., Kumar P., 2020. Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: A practical review for appropriate plant species selection. *Clim Atmos Sci*, 12, 12.
- 96 Kim T.H. *et al.*, 2021. Phytoremediation as adaptive design strategy to improve indoor air quality. Experimental Results Relating to the Application of a Vertical Hydroponic Biofilter. In: Sustainability in Energy, Buildings 2020. Springer, Singapore, pp 479-489.
- 97 Han Y. *et al.*, 2022. Plant-based remediation of air pollution: a review. *J Environ Manag*, 301, 113860.
- 98 Carriero G. *et al.*, 2022. [I vantaggi della vegetazione sulla qualità dell'aria](#). *Ecoscienza*, 5-6/2022.
- 99 Baraldi R. *et al.*, 2019. Ecophysiological and micromorphological characterization of green roof vegetation for urban mitigation. *Urban For Urban Green*, 37, 24-32.
- 100 Esperon-Rodriguez M. *et al.*, 2022. Climate change increases global risk to urban forest. *Nat Clim Change*, 12, 950-955.



**5 milioni di sostenitori nel mondo.
Una rete globale attiva in oltre 100 Paesi.
1300 progetti di conservazione.
In Italia oltre 100 Oasi protette.
Migliaia le specie interessate dall'azione
del WWF sul campo.**

WWF Italia ETS
Via Po, 25/c
00198 Roma

Tel: 06844971
e-mail: wwf@wwf.it
sito: wwf.it