ARIA, CLIMA E SALUTE

L’impatto sulla salute in età pediatrica

Proteggere lo sviluppo attraverso la prevenzione

Laura Reali

Pediatra · Presidente ISDE Roma e Lazio

XV GIMA · Trento · 14 novembre 2026



Inquinamento atmosferico e salute dei bambini

Gli effetti iniziano prima della nascita e accompagnano la crescita



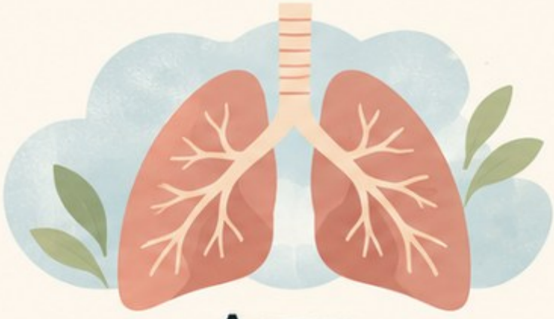
Gravidanza e nascita

Prematurità e basso peso alla nascita



Crescita polmonare

Minore sviluppo della funzione respiratoria



Asma

Insorgenza e aggravamento dei sintomi



Infezioni respiratorie

Maggiore rischio di malattia



Allergie

Rinite e sintomi allergici



Neurosviluppo

Associazioni con esiti cognitivi e comportamentali

La forza delle prove varia secondo l'inquinante e l'esito.

European Environment Agency. Air pollution and children's health. 2023.
eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-pollution-and-childrens-health

Crisi climatica e salute dei bambini

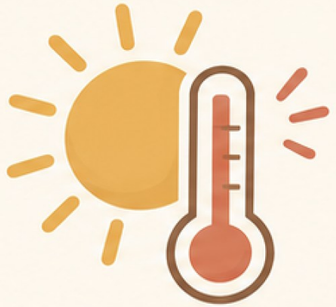
Sette ambiti di impatto



Salute respiratoria
Aria inquinata e fumo



Allergie
Pollini e aeroallergeni



Malattie da calore
Disidratazione e stress termico



Malattie legate all'acqua
Qualità e disponibilità dell'acqua



Malattie da vettori
Cambiamenti nella trasmissione



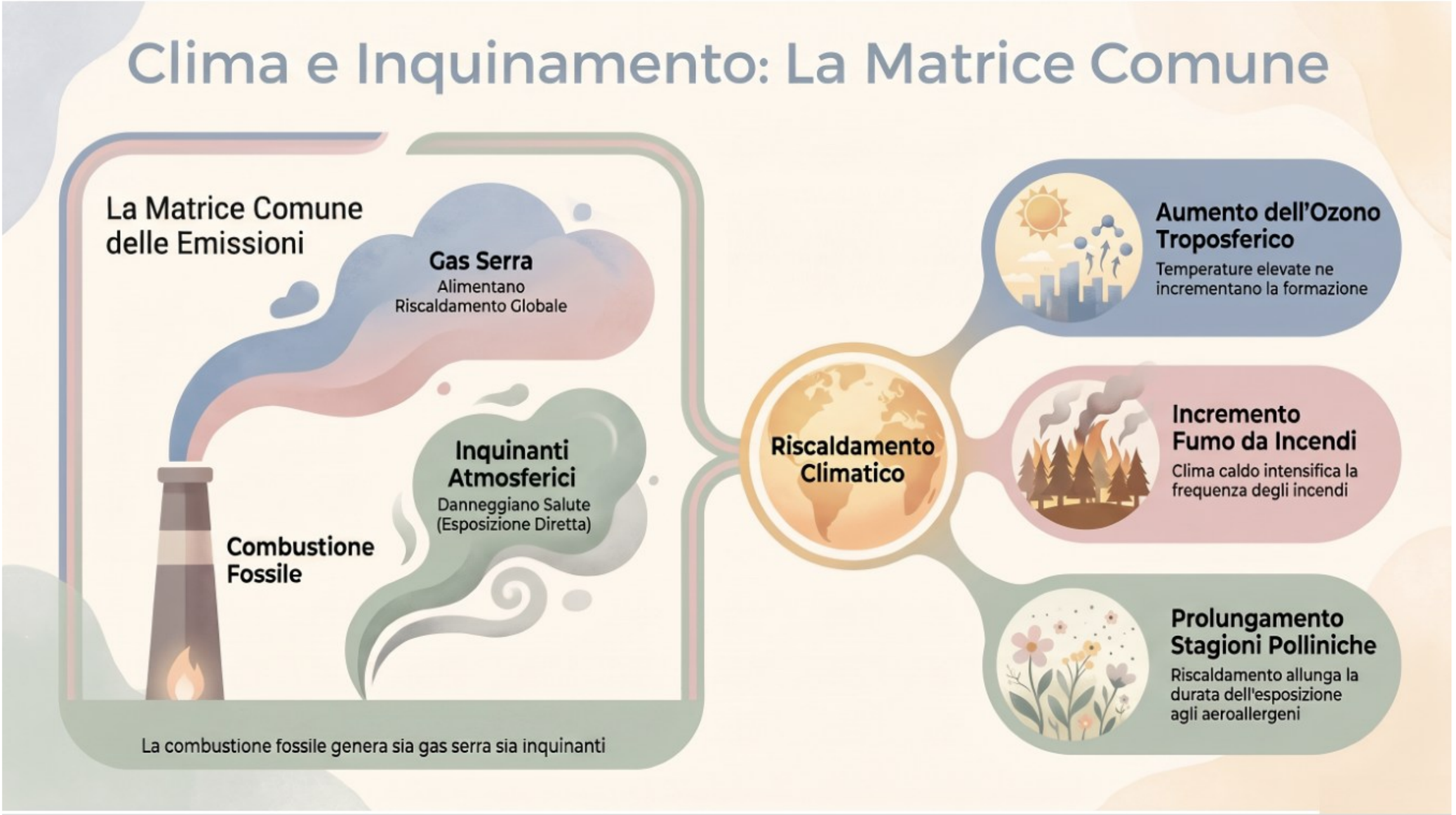
Alimentazione e nutrizione
Disponibilità e qualità del cibo



Salute mentale
Stress e disagio psicologico

Gli effetti dipendono dall'esposizione, dall'età e dalle condizioni di vita.

Clima e Inquinamento: La Matrice Comune



WMO 2026; Chen et a. 2026

Un bambino, esposizioni multiple

Clima e qualità dell’aria si incontrano nella vita quotidiana



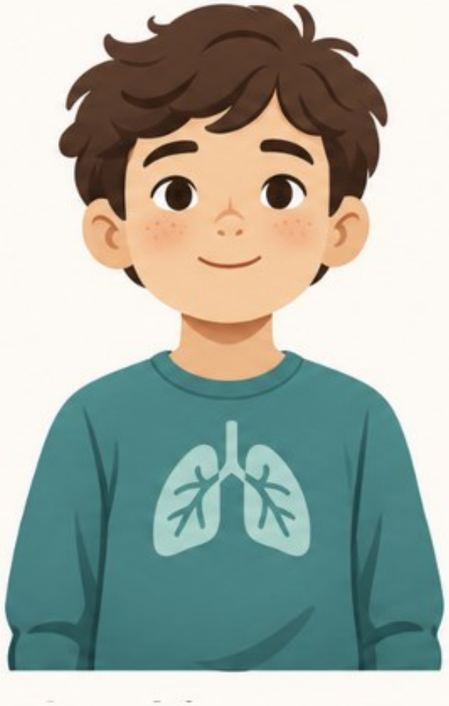
Caldo



Ozono troposferico

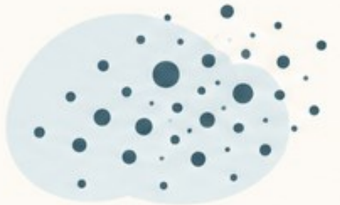


Aeroallergeni





Fumo degli incendi



Particolato fine ($PM_{2,5}$)



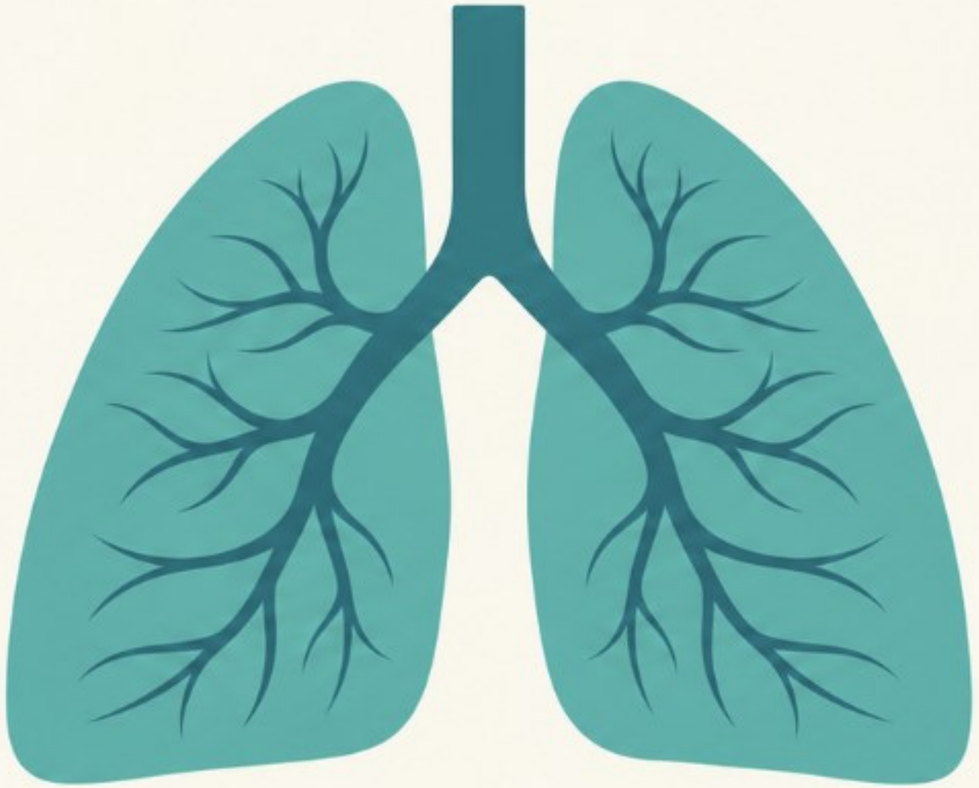
Biossido di azoto (NO_2)

Le esposizioni possono coesistere. Il caldo aggiunge anche rischi diretti.

Il fumo degli incendi contiene $PM_{2,5}$: queste esposizioni non sono indipendenti.

Inquinamento e crescita polmonare

Ozono e fumo possono aggravare l’asma e i sintomi respiratori.



L’esposizione prolungata può ridurre la crescita della funzione polmonare.

Migliorare la qualità deli’aria favorisce lo sviluppo della funzione polmonare nei bambini.

Gauderman et al. *N Engl J Med*. 2004;351:1057–1067. doi:10.1056/NEJMoa040610
Gauderman et al. *N Engl J Med*. 2015;372:905–913. doi:10.1056/NEJMoa1414123

Esposizione Prenatale a Calore e Inquinamento: Impatto sugli Esiti Fetali

32,7 milioni
nascite analizzate









Inquinamento — Ondate di Calore

Revisione di 68 studi USA (2007–2019)

Parto Pretermine



Rischio aumentato (79% degli studi)

Basso Peso alla Nascita (LBW)



Rischio aumentato (86% degli studi)

Morte Endouterina Fetale



Rischio aumentato

Inquinanti (PM2.5, O3)

- Stress ossidativo
- Infiammazione placentare

Calore

- Disidratazione
- Ipoperfusione utero-placentare

Vulnerabilità

- Donne asmatiche
- Svantaggio socio-economico

Messaggio Chiave:
Integrazione dello screening ambientale nel counseling per proteggere le gestanti ad alto rischio

Bekkar B, Pacheco S et al. JAMA Netw Open. 2020;3(6):e208240.

La protezione della salute infantile comprende la gravidanza

Catena Biologica Placentare: Inquinamento, Calore ed Esiti Fetali

La revisione sistematica Bekkar et al. (JAMA Network Open, 2020) su oltre 32,7 milioni di nascite evidenzia l'inquinamento e il calore come fattori di rischio ostetrico indipendenti e sinergici. Il percorso causale va dall'esposizione ambientale ai meccanismi tossici placentari, fino a gravi esiti clinici fetali.



Particolato fine (PM2.5) Ozono (O_3)

1. Esposizione Ambientale Prenatale



Episodi acuti di calore estremo

2. Alterazione Materno-Placentare



3. Esiti Clinici Fetali







4. Sottogruppi ad Alto Rischio



Gestanti asmatiche



Minoranze etniche



Contesti socio-economici svantaggiati



5. Counseling nelle Cure Primarie

Integrare lo screening dei rischi ambientali nella pratica clinica prenatale e preconcezionale.

AAP, 2021; Perera e Nadou, 2022, Weeda, 2024.

Vulnerabilità Pediatrica: Inquinamento Atmosferico e Cambiamenti Climatici



Feto e gravidanza
Organogenesi, stress ossidativo placentare e rischio prematurità.



Primi 1000 giorni
Moltiplicazione alveolare, rapida sinaptogenesi e alta inalazione relativa.

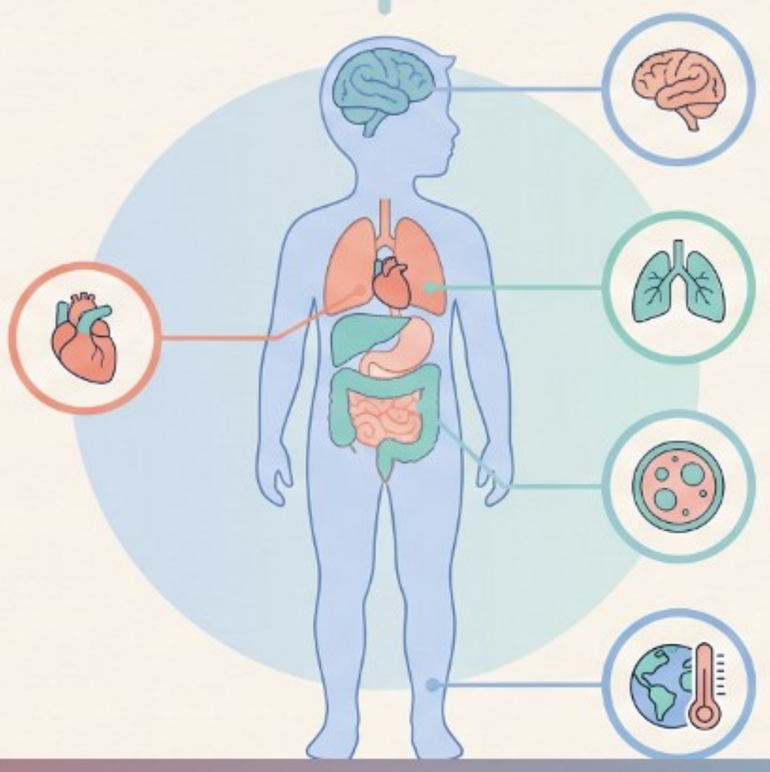


Età scolare
Crescita volumetrica polmonare e maturazione dei circuiti attentivi.



Adolescenza
Riorganizzazione neuro-endocrina, reattività vascolare ed eco-ansia.

Cuore e vasi
Alterazioni subcliniche precoci, reattività endoteliale e rimodellamento.



Cervello e neurosviluppo
Memoria di lavoro, attenzione, sonno e sofferenza psichica.

Polmoni e vie aeree
Asma, infezioni ricorrenti e ridotto incremento FEV1.

Metabolismo e immunità
Carico allostatico multisistemico e vulnerabilità cardiometabolica.

Rischi climatici sistemici
Stress termico acuto, disidratazione e interruzione delle cure. Vector borne disease

UNICEF, 2025 · EEA, 2023; Ahdoot, 2024; Van den Berg, 2026

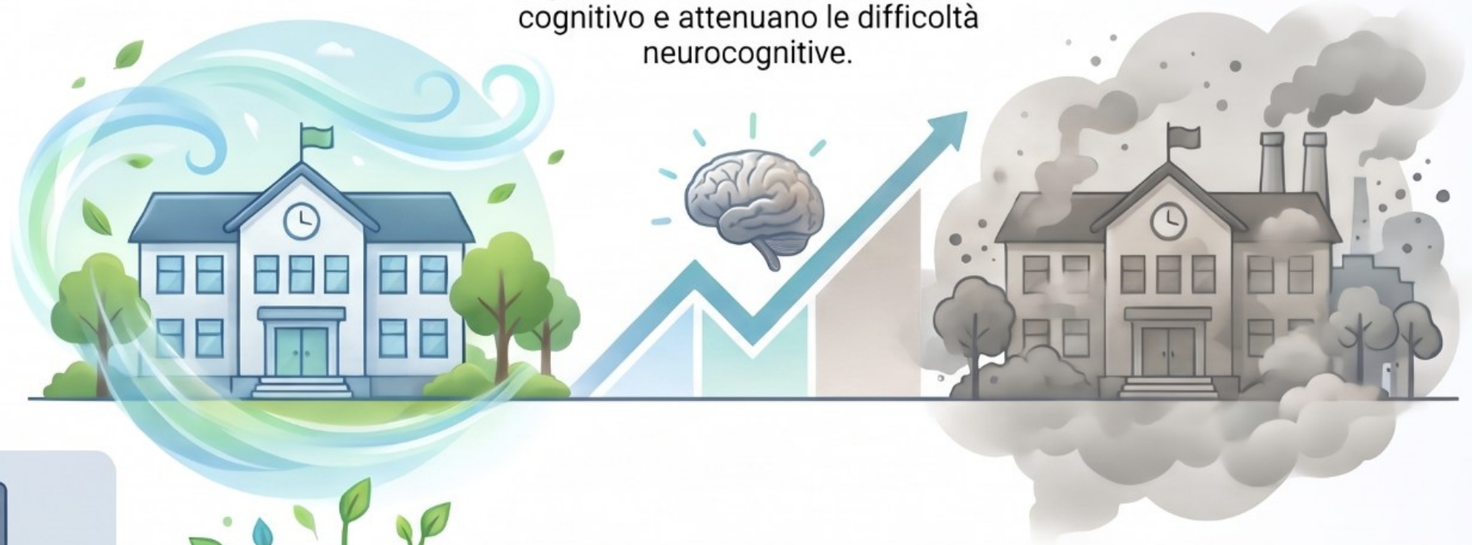
Studio BREATHE: Inquinamento Scolastico e Sviluppo Cognitivo nei Bambini

Scuole meno cariche di smog

Recupero Traiettoria Cognitiva

Riduzione dell'esposizione e interventi migliorativi favoriscono il recupero cognitivo e attenuano le difficoltà neurocognitive.

Scuole più cariche di smog



2.715 bambini, 39 scuole a Barcellona.

Misurazione inquinamento scolastico e sviluppo cognitivo in 12 mesi



+11,5%
Crescita
Memoria di Lavoro

Sviluppo cognitivo accelerato



+7,4%
Crescita
Memoria di Lavoro

Sviluppo cognitivo rallentato

Sintesi Clinica

Protezione dello Sviluppo

Ridurre il carico inquinante negli ambienti scolastici promuove la salute neurocognitiva a lungo termine.

Valutazione del Rischio

Ridurre il carico inquinante negli ambienti scolastici promuove la salute neurocognitiva a lungo termine.

Nota

Associazioni a livello di popolazione.

La plasticità cerebrale in età pediatrica consente il recupero funzionale con la riduzione dell'inquinamento.

Caldo nelle aule e prestazioni scolastiche

Wargocki, Porras-Salazar e Contreras-Espinoza, 2019

18 studi

≈ +20%

prestazioni nei test cognitivi e nei compiti scolastici

Passando da 30 a 20 °C in aula

Temperature più elevate si associano a prestazioni peggiori

Il modello indica prestazioni migliori sotto 22 °C.

Stime valide per climi temperati, nell’intervallo studiato di 20–30 °C.

Il 20% riguarda test e compiti, non un pari aumento dei voti.

Wargocki P, Porras-Salazar JA, Contreras-Espinoza S. The relationship between classroom temperature and children’s performance in school. Building and Environment. 2019;157:197–204. doi:10.1016/j.buildenv.2019.04.046

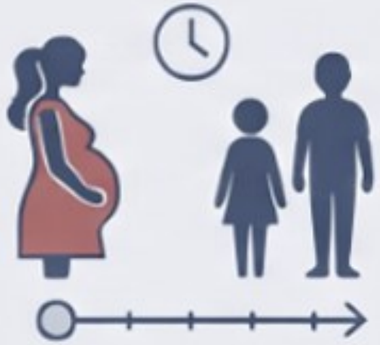
Esposizione ambientale e rimodellamento cardiovascolare precoce in età pediatrica

1. Disegno dello Studio e Coorte



Coorte Multi-Omica

2.029 bambini e adolescenti monitorati tra i 6 e i 17 anni.



Monitoraggio Esposizione

Tracciamento continuo dalla gravidanza all'adolescenza di PM2,5 e calore estremo.

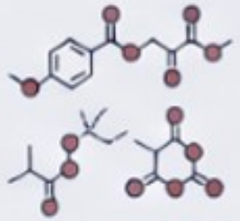
2. Esito Clinico Cardiovascolare

Rimodellamento Cardiaco Precoce



Alterazione strutturale e funzionale evidenziata a livello cardiovascolare.

3. Biomarcatori e Disparità



Alterazioni Lipidiche

Alterati i livelli di esosilceramide, fosfoenolpiruvato e triacilgliceride.



Alterazioni Proteiche

Evidenziata alterazione della catena leggera della miosina 3.



Vulnerabilità Aumentata

Effetti amplificati nei soggetti a basso reddito o con pressione arteriosa elevata.

Zhang D et al. Eur Heart J. 2026;47:1829–1843

Esposizione Ambientale e Carico Allostatico nei Bambini della Coorte HELIX

DISEGNO DELLO STUDIO E CAMPIONE

Carico Allostatico

Costo biologico e usura cumulativa dell'organismo da stress cronico, indicatore di squilibrio multisistemico precoce

Campione HELIX: 919 Bambini

Studio osservazionale multicentrico europeo condotto su soggetti di età compresa tra 6 e 11 anni.



Esposizioni Valutate

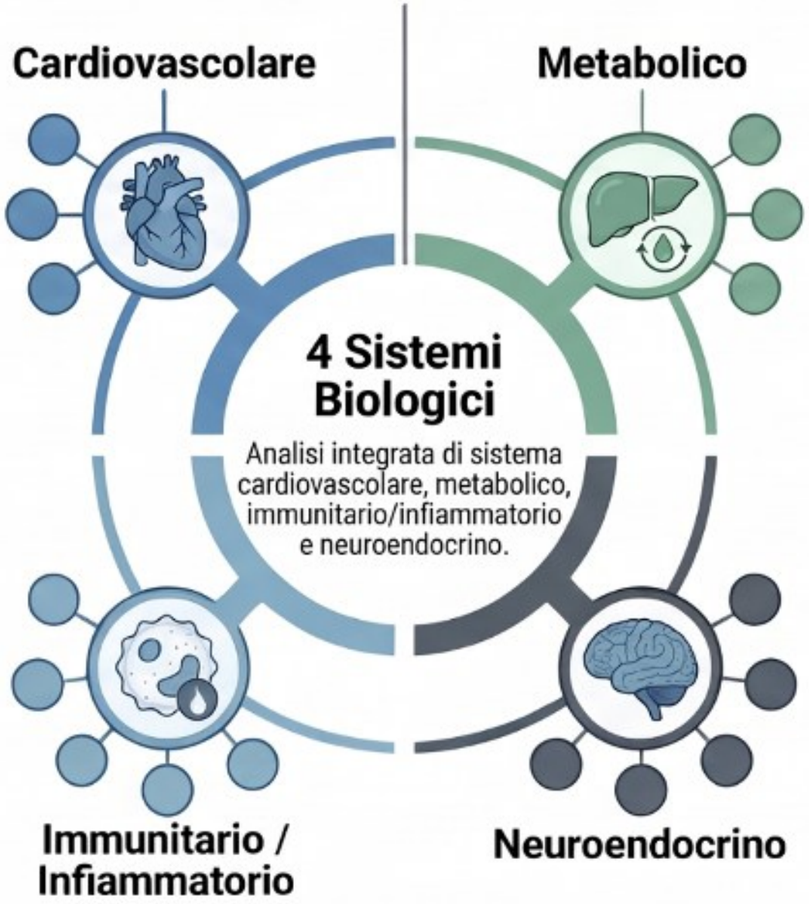
NO_2
$PM_{2.5}$
PM_{10}

Monitoraggio di inquinamento atmosferico (NO_2, $PM_{2.5}$, PM_{10}) e rumore generato dal traffico veicolare.

BIOMARCATORI E PUNTEGGIO

Indice Composito (Punteggio 0–19)

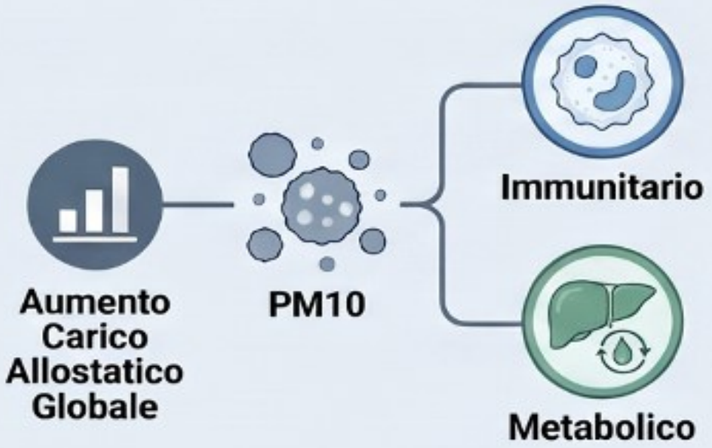
Misurazione basata su 19 biomarcatori specifici per una valutazione sistemica integrata.



RISULTATI PRINCIPALI

Impatto Significativo del PM10

Associato ad aumento del carico allostatico globale, con impatto prioritario sui sistemi immunitario e metabolico.



Rumore da Traffico

Nessuna associazione statisticamente significativa riscontrata con il carico allostatico.

Mou Y et al. Eur J Epidemiol. 2025;40:537–548.

Inquinamento atmosferico: altri effetti sulla salute

Metabolismo e leucemie infantili

Metabolismo

Alderete TL, et al.
Longitudinal Associations Between Ambient Air Pollution With Insulin Sensitivity, β-Cell Function, and Adiposity in Los Angeles Latino Children.
Diabetes. 2017;66:1789–1796.
doi: 10.2337/db16-1416

Coorte di 314 ragazzi con sovrappeso/obesità: NO_2 e $PM_{2,5}$ associati a un **declino più rapido della sensibilità insulinica**.

Gong X, et al.

Long-term exposure to air pollution and risk of insulin resistance: A systematic review and meta-analysis.
Ecotoxicol Environ Saf. 2024;271:115909.
doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.115909

10 studi su **rischio di insulino-resistenza**, non esclusivamente pediatrici: risultati variabili per inquinante. Diverse stime compatibili con assenza di associazione.

Leucemie infantili

Oh J, et al.

Prenatal and postnatal exposure to traffic-related air pollution (TRAP) and childhood cancer: Systematic review and meta-analysis.
Environ Res. 2026;292:123646.
doi: 10.1016/j.envres.2025.123646

25 studi complessivi. **Benzene e leucemia mieloide acuta: OR 1,22** per +1 μg/m^3 (IC95% 1,02–1,46), su 4 studi.

Filippini T, et al.

Association between Outdoor Air Pollution and Childhood Leukemia: A Systematic Review and Dose–Response Meta-Analysis.
Environ Health Perspect. 2019;127:046002.
doi: 10.1289/EHP4381

29 studi: **associazione fra benzene e leucemie infantili, soprattutto mieloidi acute**.

Associazioni epidemiologiche. La forza delle prove varia secondo esposizione ed esito.

Studio CHILL: Impatto della Zona ULEZ sulla Crescita Polmonare Pediatrica

LONDRA: Intervento ULEZ



Riduzione NO_2



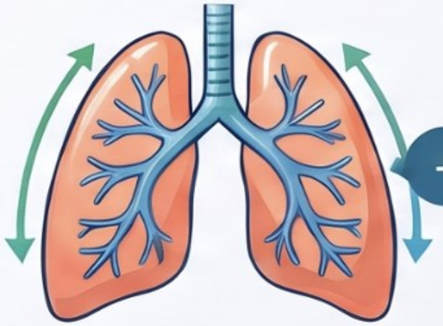
Maggiore abbattimento del NO_2 legato direttamente al miglioramento della crescita del FEV_1

Miglioramento FEV_1



Riduzione NO_2 (Londra ULEZ)





Aumento differenziale della crescita polmonare annuale (IC 95%: 5–15 mL/anno)

Plasticità Respiratoria

Recupero della traiettoria polmonare consentito dallo sviluppo in età pediatrica

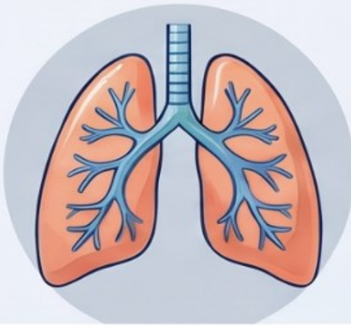
+10 mL/anno FEV_1

LUTON: Controllo





Assenza di ULEZ, minore calo di NO_2



Crescita polmonare di riferimento standard

Nessun intervento ULEZ, traiettoria di crescita polmonare di riferimento

Wood HE et al. *Lancet Public Health*. 2026;11:e733–e743

Proteggere lo sviluppo, fin dal concepimento

La vulnerabilità cambia con l'età: ogni fase dello sviluppo richiede protezione.



Feto

Organogenesi
Sviluppo dei sistemi biologici



Neonato

Rapida crescita
Maturazione funzionale



Adolescente

Pubertà
Riorganizzazione cerebrale

Esposizioni multiple e prolungate, anche a basse dosi, possono influenzare le traiettorie di salute.

Prevenire presto. Ridurre le esposizioni. Proteggere lungo tutta la crescita.

Bibliografia · quadro generale

Perera F, Nadeau K. Climate Change, Fossil-Fuel Pollution, and Children's Health. N Engl J Med. 2022;386:2303–2314.

https://doi.org/10.1056/NEJMra2117706

EEA. Air pollution and children's health. 2023.

https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-pollution-and-childrens-health

Ahdoot S et al. Climate Change and Children's Health: Building a Healthy Future for Every Child. Technical Report. Pediatrics. 2024;153:e2023065505.

https://doi.org/10.1542/peds.2023-065505

Weeda LJZ et al. How climate change degrades child health: A systematic review and meta-analysis. Sci Total Environ. 2024;920:170944.

https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170944

van den Berg S et al. Climate change and child health in Europe: a scoping review of emerging impacts. Eur J Pediatr. 2026;185:348.

https://doi.org/10.1007/s00431-026-06966-8

Bibliografia · sviluppo e vulnerabilità

UNICEF. Children face unique vulnerabilities to environmental hazards at every stage of life. February 2025.

https://www.unicef.org/reports/children-face-unique-vulnerabilities-environmental-hazards-every-stage-life

Sunyer J et al. Association between Traffic-Related Air Pollution in Schools and Cognitive Development in Primary School Children: A Prospective Cohort Study. PLoS Med. 2015;12:e1001792.

https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001792

Girardi P, Mastromatteo LY, Lanfranchi S, Scrimin S. Modeling the effects of prenatal PM2.5 exposure on development of school-aged children using functional regression. Environ Pollut. 2026;402:128312.

https://doi.org/10.1016/j.envpol.2026.128312

EEA. Pollution and mental health — current scientific evidence. Briefing 02/2026.

https://doi.org/10.2800/0818218

Bibliografia · effetti sistemici

Zhang D et al. Air pollution, meteorological factors, and cardiac remodelling in children: a multi-omics cohort study. Eur Heart J. 2026;47:1829–1843.

https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaf1086

Childhood outdoor air pollution exposure across multiple microenvironments and metabolic syndrome: A HELIX cohort analysis. Environ Res. 2026;305(Pt 1):124892.

https://doi.org/10.1016/j.envres.2026.124892

Mou Y et al. Outdoor air pollution, road traffic noise, and allostatic load in children aged 6–11 years: evidence from six European cohorts. Eur J Epidemiol. 2025;40:537–548.

https://doi.org/10.1007/s10654-025-01227-8

Prunicki M et al. Immune biomarkers link air pollution exposure to blood pressure in adolescents. Environ Health. 2020;19:108.

https://doi.org/10.1186/s12940-020-00662-2 (correzione 2022: https://doi.org/10.1186/s12940-022-00916-1).

Bibliografia · prevenzione e clima

WMO. Air Quality and Climate Bulletin No. 6. 7 September 2026.

wmo.int · Air Quality and Climate Bulletin No. 6

Chen G et al. Wildfire smoke and health: current evidence, mechanisms, and future challenges. Lancet. 2026;408:1129–1142.

https://doi.org/10.1016/S0140-6736(26)01601-6

Wood HE et al. Impact of the Ultra Low Emission Zone on lung function growth in children in London, UK: a prospective parallel cohort study. Lancet Public Health. 2026;11:e733–e743.

https://doi.org/10.1016/S2468-2667(26)00163-5

CDC. Clinical Overview of Heat and Children and Teens with Asthma. 2025.

cdc.gov · due risorse cliniche, collegamenti completi nelle note

WHO, WMO, UNICEF, UNFPA. New global framework launched to track increasing health risks of extreme heat for pregnant women, newborns and children. 21 October 2026.

who.int · comunicato del 21 ottobre 2026