POSITION PAPER

TASK FORCE INTER-SOCIETARIA

“Effetti delle esposizioni ambientali ed occupazionali e dei cambiamenti climatici sulle malattie allergiche respiratorie nella popolazione adulta e infantile in Italia”

INDICE

	Prefazione	pag 3
	Composizione Task Force Inter-Societaria	pag 5
	Sintesi	pag 6
I.	Panorama epidemiologico ed ambientale internazionale	pag 8
II.	Raccomandazioni – linee guida di società scientifiche internazionali	pag 11
III.	Analisi integrata dei fattori di rischio ambientali per asma e BPCO	pag 13
IV.	Dati italiani rilevanti su effetti dell'inquinamento outdoor	pag 16
V.	Dati italiani rilevanti su effetti dei cambiamenti climatici	pag 25
VI.	Dati italiani rilevanti su effetti dei pollini e delle muffe	pag 33
VII.	Dati italiani rilevanti su effetti dell'inquinamento indoor	pag 40
VIII.	Dati italiani rilevanti su effetti dell'inquinamento occupazionale	pag 43
IX.	Informazioni anamnestiche essenziali sulle esposizioni ambientali, occupazionali e sui cambiamenti climatici	pag 45
X.	Indicazioni per la prevenzione	pag 46
Appendice 1.	L'interconnessione tra Asma e Broncopneumopatia Cronica Ostruttiva (BPCO): Un continuum patologico e terapeutico	pag 53
Appendice 2.	Metodi in Aerobiologia	pag 56
Appendice 3.	L'approccio epidemiologico applicato allo studio degli effetti delle esposizioni ambientali sulla salute	pag 58
	Bibliografia	pag 61

PREFAZIONE

Come Presidente della Società Italiana di Allergologia, Asma e Immunologia Clinica (SIAAIC), sono profondamente onorato di presentare questo Position Paper della Task Force Intersocietaria "Effetti delle esposizioni ambientali ed occupazionali e dei cambiamenti climatici sulle malattie allergiche respiratorie nella popolazione adulta e infantile in Italia".

Questo documento rappresenta un esempio virtuoso di collaborazione scientifica nazionale, nato dall'impegno congiunto di nove società scientifiche, che hanno condiviso competenze, dati e visione strategica per affrontare una delle sfide più urgenti della sanità pubblica contemporanea.

Desidero esprimere un ringraziamento personale e sincero al Coordinatore della Task Force, Prof. Giovanni Viegi, per la guida rigorosa, la capacità di sintesi e l'instancabile dedizione che hanno reso possibile questo lavoro. La sua leadership ha permesso di integrare contributi multidisciplinari complessi, trasformandoli in un documento chiaro, autorevole e orientato all'azione.

Rivolgo inoltre un ringraziamento ai Presidenti delle altre otto Società Scientifiche che hanno aderito con prontezza e convinzione all'iniziativa, riconoscendone l'urgenza e il valore strategico: Prof. Lorenzo Richiardi, Presidente della Associazione Italiana di Epidemiologia (AIE); Prof. Francesco Murzilli, Presidente dell'Associazione Allergologi Immunologi Italiani Territoriali e Ospedalieri (AAIITO); Prof. Raffaele Scala, Presidente dell'Associazione Italiana Pneumologi Ospedalieri (AIPO); Prof. Gian Luigi Marseglia, Presidente della Società Italiana di Allergologia e Immunologia Pediatrica (SIAIP); Prof. Augusto Arsieni, Presidente della Società Italiana di Aerobiologia Medicina e Ambiente (SIAMA); Prof. Maurizio Coggiola, Presidente della Società Italiana di Medicina del Lavoro (SIML); Prof.ssa Stefania La Grutta, Presidente della Società Italiana per le Malattie Respiratorie Infantili (SIMRI); Prof.ssa Paola Rogliani, Presidente della Società Italiana di Pneumologia (SIP).

Il Position Paper, frutto del lavoro coordinato della Task Force Intersocietaria, è stato elaborato con sinergia tra le nove società scientifiche succitate, con l'intento di affrontare in modo integrato e multidisciplinare le complesse interazioni tra esposizioni ambientali e occupazionali, cambiamenti climatici e l'insorgenza delle malattie allergiche respiratorie nella popolazione adulta e pediatrica.

L'analisi approfondita del documento evidenzia l'impatto dell'inquinamento atmosferico, delle esposizioni indoor, dei rischi occupazionali e delle modificazioni climatiche sulla salute respiratoria.

Le evidenze riportate mostrano come l'inquinamento da PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2 e O_3 sia associato a un aumento di mortalità, ricoveri ospedalieri, riacutizzazioni di asma e BPCO, infezioni respiratorie e peggioramento della qualità della vita.

Il Position Paper sottolinea inoltre come le variazioni climatiche contribuiscano all'aumento della prevalenza e gravità delle patologie allergiche respiratorie.
Particolare attenzione è riservata alle categorie più vulnerabili, quali bambini, anziani e lavoratori, riconoscendo la maggiore suscettibilità agli effetti delle esposizioni ambientali e occupazionali.

Il documento promuove proposte operative per la prevenzione e mitigazione dei rischi, incoraggia la ricerca scientifica e favorisce il dialogo istituzionale tra sanità, ambiente e territori, al fine di rafforzare le politiche di tutela della salute respiratoria.

Il documento evidenzia inoltre come i cambiamenti climatici – ondate di calore, incendi, eventi meteorologici estremi, variazioni delle stagioni polliniche – stiano amplificando il carico di malattie

respiratorie e allergiche, rendendo urgente un approccio integrato tra sanità, ambiente e politiche territoriali.

In questo contesto, il Position Paper si configura come punto di riferimento autorevole per operatori sanitari, decisori politici e ricercatori, suggerendo strumenti concreti per la tutela della salute pubblica.

Ci auguriamo che questo Position Paper possa rappresentare un documento di indirizzo autorevole per il Ministero della Salute, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, e per le Regioni, affinché attraverso le loro Agenzie ambientali e sanitarie possano rafforzare le politiche di prevenzione, mitigazione e tutela della salute dei cittadini.

Le conoscenze scientifiche oggi disponibili rendono possibile e necessario un intervento tempestivo, coordinato e basato sulle evidenze, per proteggere la salute respiratoria delle generazioni presenti e future.

Salerno 19 Marzo, 2026 Prof. Vincenzo Patella

COMPOSIZIONE TASK FORCE INTER-SOCIETARIA

ID	SOCIETA'	REFERENTI SOCIETA'	MAIL REFERENTI
1	AIE	Manuela De Sario, Silvia Maritano	m.desario@deplazio.it; silvia.maritano@unito.it
2	AAIITO	Gabriele Cortellini, Paolo Borrelli	pborrelli@ausl.vda.it; gcortellini@libero.it
3	AIPO	Carlo Barbetta, Francesco Menzella	carlobarbetta.md@gmail.com; francesco.menzella@aulss2.veneto.it
4	SIAAIC	Giovanni Viegi, Manlio Milanese	giovanni.viegi@cnr.it; manlio.milanese@unige.it, manliomilanese@yahoo.it
5	SIAIP	Cristiana Indolfi, Giovanni Traina	cristianaind@hotmail.com; giovannimariatraina@gmail.com
6	SIAMA	Augusto Arsieni, Emma Tedeschini	arsienia@tin.it; emma.tedeschini@unipg.it
7	SIML	Massimo Corradi, Nicola Murgia	massimo.corradi@unipr.it; nicola.murgia@unife.it
8	SIMRI	Giuliana Ferrante, Raffaella Nenna	giuliana.ferrante@univr.it; raffaella.nenna@uniroma1.it
9	SIP	Laura Carrozzi, Sara Maio	laura.carrozzi@unipi.it; sara.maio@cnr.it

SINTESI

L'inquinamento atmosferico è da considerare il fattore di rischio ambientale più rilevante a livello planetario ed in Italia. Lo *State of Global Air 2025,* pubblicato dall'*Health Effect Institute* ha mostrato come nel 2023 l'inquinamento atmosferico abbia causato 7,9 milioni di decessi a livello globale, diventando il secondo fattore di rischio di mortalità, anche per i bambini sotto i cinque anni. Nel settembre 2021, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha pubblicato le Linee guida globali per la qualità dell'aria (*Global Air Quality Guidelines*), raccomandando valori molto più bassi di quelli accettati dalla Direttiva Europea del 2008, basandosi su nuovi studi epidemiologici che hanno evidenziato danni per la salute anche per esposizioni a livelli bassi di inquinanti atmosferici. La Direttiva 2024/2881/UE sulla qualità dell'aria ambiente è entrata in vigore il 10 dicembre 2024, fissando nuovi e più rigorosi limiti per gli inquinanti atmosferici da raggiungere entro il 2030. La direttiva avvicina gli standard europei alle raccomandazioni dell'OMS (ma non le adotta) e introduce disposizioni per migliorare il monitoraggio, il coordinamento e l'accesso alle informazioni sulla qualità dell'aria.

Le principali malattie associate all'inquinamento atmosferico sono quelle respiratorie, cardio-vascolari, cerebro-vascolari, neurodegenerative, il diabete, l'ipertensione arteriosa, la nascita prematura ed il basso peso alla nascita, come sostenuto dall'OMS e dalle società scientifiche *European Respiratory Society* (ERS) ed *American Thoracic Society* (ATS). Le Linee Guida dell'*European Academy of Allergy and Clinical Immunology* (EAACI) sull'impatto dell'esposizione a breve termine agli inquinanti esterni per gli esiti correlati all'asma forniscono raccomandazioni per la prevenzione, l'assistenza ai pazienti e la mitigazione in un quadro che supporta decisioni razionali.

I fattori di rischio ambientali per asma e BPCO sono ubiquitari e spesso sovrapposti. Mentre l'asma è fortemente influenzato da allergeni e inquinanti che promuovono un'infiammazione prevalentemente di tipo allergico, la BPCO è prevalentemente legata a esposizioni croniche che causano un danno strutturale e un'infiammazione persistente.

In Italia, già a partire dagli anni Novanta, divenne chiaro che vivere in città era associato a più sintomi e malattie respiratorie rispetto a vivere in aree rurali, ma anche che l'esposizione ad inquinamento atmosferico era associata ad un incremento di mortalità e ricoveri per cause respiratorie e per infezioni respiratorie delle vie aeree superiori ed inferiori. Nel tempo, diversi studi epidemiologici analitici condotti sul territorio italiano hanno evidenziato come rinite, asma e BPCO fossero associati all'esposizione a particolato atmosferico con diametro $\leq$ 10 μm (PM_{10}), particolato atmosferico con diametro $\leq$ 2.5 μm ($PM_{2,5}$) e biossido di azoto (NO_2), e gli attacchi d'asma all'esposizione a ozono (O_3) estivo. Inoltre, si stanno chiarendo i possibili meccanismi biologici degli effetti dell'esposizione all'inquinamento atmosferico che includono attivazione di stimoli infiammatori, stress ossidativo, meccanismi molecolari ed epigenetici. L'associazione fra esiti respiratori e inquinamento outdoor è emersa sia nella popolazione generale sia in bambini in età prescolare e scolare, nei quali le associazioni risultano particolarmente evidenti nelle aree caratterizzate da elevata densità urbana e scarsa qualità dell'aria.

La rapidità dei cambiamenti climatici in atto sta provocando una crescita rapida del carico di malattia associato al caldo estremo e alle ondate di calore; l'occorrenza di questi eventi in alcune aree dell'Europa meridionale e centrale è raddoppiata negli ultimi vent'anni. I cambiamenti climatici accentuano gli eventi estremi (tra cui le ondate di calore) e i disastri naturali a ciò connessi (tra cui siccità, incendi boschivi, uragani, inondazioni, tempeste di sabbia e polveri desertiche) e stanno modificando la fenologia delle piante e la distribuzione geografica delle piante allergizzanti, con un impatto significativo

sulla salute respiratoria e allergica, ponendo rischi maggiori per le popolazioni vulnerabili, come individui con patologie preesistenti, bambini, anziani e coloro che lavorano all'aperto.

Negli ultimi decenni le patologie allergiche respiratorie stanno aumentando in frequenza e gravità in Italia e nel mondo. Questo trend è legato non solo alla maggiore produzione di pollini e alla prolungata durata delle stagioni polliniche dovuta ai cambiamenti climatici, ma anche alla sinergia negativa tra pollini ed inquinamento atmosferico: gli inquinanti e le condizioni meteorologiche possono modificare la concentrazione atmosferica dei pollini e di altri allergeni e facilitare la penetrazione degli allergeni nelle vie respiratorie. Il monitoraggio pollinico diviene quindi uno strumento fondamentale per comprendere e gestire la sintomatologia di tali patologie. L'adozione di approcci integrati che combinino il monitoraggio tradizionale normato e i sistemi automatici emergenti appare particolarmente promettente, soprattutto in relazione alla necessità di fornire informazioni tempestive e di migliorare la capacità predittiva dei modelli di esposizione outdoor e indoor, integrati di tutte le informazioni su: aeroallergeni, *air pollution*, condizioni meteoclimatiche, etc.

Particolare preoccupazione desta la "*thunderstorm asthma*", improvvisi e gravi attacchi di asma, in molte persone contemporaneamente, in seguito a episodi temporaleschi registrati in varie parti del mondo.

Vi è inoltre una crescente preoccupazione sugli effetti sanitari dell'inquinamento indoor che finora è stato meno studiato di quello outdoor. Fra i principali inquinanti si annoverano le particelle corpuscolate, di cui una fonte importante è il fumo passivo, i combustibili usati per cucinare/riscaldarsi e i composti organici volatili. Studi epidemiologici analitici hanno evidenziato importanti associazioni fra tali esposizioni e sintomi/diagnosi respiratori e alterazione della funzione polmonare. Recentemente, sempre maggiore attenzione è stata rivolta all'esposizione in ambienti scolastici, dove i bambini passano molto del loro tempo, confermando che la qualità dell'aria indoor è inadeguata (alti livelli di CO_2 e PM_{10} nelle classi e scarsa ventilazione) con effetti sulla sintomatologia generale e respiratoria, nonché sulla pervietà delle vie aeree superiori.

Nonostante i miglioramenti degli ultimi trent'anni, l'ambiente di lavoro continua a giocare un ruolo molto rilevante nell'eziopatogenesi e sul decorso clinico delle allergopatie respiratorie, anche in Italia. In studi epidemiologici analitici è stato osservato un aumento del rischio di asma (sintomi e diagnosi) e di alterazioni funzionali respiratorie in soggetti professionalmente esposti a polveri, fumi e gas, nonché una maggiore prevalenza di soggetti con iperreattività bronchiale nei professionalmente esposti. I dati INAIL che riguardano le malattie professionali documentano un aumento dei casi di asma bronchiale professionale negli ultimi due anni, sebbene il loro numero sia comunque sottostimato rispetto alla reale entità del fenomeno, come suggeriscono i dati degli studi epidemiologici in ambito occupazionale.

Considerando l'impatto di tali esposizioni sulla salute della popolazione generale, dei bambini e dei lavoratori, l'ultimo capitolo del documento è dedicato alla prevenzione: vengono riportati domande anamnestiche, consigli pratici ed azioni utili nell'ottica della prevenzione dei rischi da esposizione a inquinamento atmosferico esterno, interno, occupazionale e dei cambiamenti climatici.

Viene infine proposto un utilizzo del fascicolo sanitario elettronico utile ad esplorare le relazioni ambiente-salute a livello individuale.

I. PANORAMA EPIDEMIOLOGICO ED AMBIENTALE INTERNAZIONALE

Inquinamento atmosferico

Nel 2017, la *Lancet Commission on Pollution and Health* ha riportato una stima su scala mondiale di 6,5 milioni di decessi attribuibili all'inquinamento atmosferico esterno (*outdoor*) ed interno (*indoor*), con effetti prevalenti sulla broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO) (50%) ed il tumore al polmone (40%) [Landrigan et al., 2017].

La prima *Global Conference on Air Pollution and Health* tenuta a Ginevra nell'ottobre 2018 [WHO, 2018] e il Manifesto per una sana ripresa dal COVID-19 dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) [WHO, 2020] hanno confermato la stima di 7 milioni di morti premature attribuibili a inquinamento atmosferico e la percentuale del 90% per la popolazione mondiale esposta a livelli inaccettabili di inquinamento atmosferico, concludendo che "le conoscenze attuali sono sufficienti per agire immediatamente …. tra dieci anni non potremo dire che non sapevamo".

Nel settembre 2021, la OMS ha pubblicato le Linee guida globali per la qualità dell'aria (*Global Air Quality Guidelines*) [WHO, 2021a], raccomandando valori molto più stringenti di quelli accettati dalla Direttiva Europea del 2008, basandosi su nuovi studi epidemiologici che hanno evidenziato danni per la salute anche per esposizioni a livelli bassi di inquinanti atmosferici (**Tabella 1**).

La seconda *Global Conference on Air Pollution and Health* della OMS, tenuta a Cartagena (Colombia) nel marzo 2025 [WHO, 2025a], ha confermato tali stime ed i partecipanti hanno concordato un obiettivo condiviso per ridurre l'impatto sulla salute del 50% entro il 2040, al fine di salvare milioni di vite ogni anno. Inoltre, sono stati proposti nuovi impegni finanziari e nuove politiche per la protezione dell'ambiente e della salute.

Lo *State of Global Air 2025,* pubblicato dall'*Health Effect Institute* [State of Global Air, 2025], ha fornito un'analisi completa dei dati relativi alla qualità dell'aria e all'impatto sulla salute nei paesi di tutto il mondo nel 2023: l'inquinamento atmosferico ha causato 7,9 milioni di decessi a livello globale, diventando il secondo fattore di rischio di mortalità, anche per i bambini sotto i cinque anni. Le morti attribuibili al $PM_{2.5}$ sono state 4,9 milioni: di queste, 171000 in bambini di età inferiore ai 5 anni [State of Global Air, 2025]. Inoltre, del totale dei decessi, le malattie non trasmissibili, tra cui malattie cardiache, ictus, diabete, cancro ai polmoni e BPCO, rappresentano quasi il 90% del carico di malattia dovuto all'inquinamento atmosferico. Nella precedente edizione del rapporto (2024) è emerso che oltre 700.000 decessi di bambini di età inferiore ai 5 anni sono stati collegati all'inquinamento atmosferico; ciò rappresenta il 15% di tutti i decessi globali nei bambini sotto i cinque anni [State of Global Air, 2024].

Nel marzo 2025, il Rapporto *Zero pollution monitoring and outlook 2025* [EEA, 2025a], pubblicato da *European Environment Agency* (EEA) e *Joint Research Centre (JRC)*, ha evidenziato che sono stati compiuti in Europa progressi significativi nella riduzione dell'impatto dell'inquinamento atmosferico da PM, con una diminuzione del 45% dei decessi prematuri attribuibili all'esposizione al $PM_{2.5}$ tra il 2005 e il 2022. Tuttavia, oltre l'83% dei residenti nelle aree urbane dell'Unione Europea (UE) è esposto, per tutti gli inquinanti atmosferici, a livelli di inquinamento superiori ai livelli raccomandati dall'OMS, ad eccezione del biossido di zolfo (SO_2) e benzo(a)pirene (BaP), indicando problemi persistenti di qualità dell'aria. Per raggiungere l'obiettivo *Zero pollution action plan* (ZPAP) di ridurre i decessi prematuri del 55% nel 2030, rispetto al 2005, è necessaria l'attuazione efficace delle politiche attuali e di quelle proposte, comprese quelle relative all'energia e alla mitigazione del cambiamento climatico.

Per quanto riguarda l'Italia, il Rapporto 2022 sulla qualità dell'aria dell'EEA [EEA, 2022] ha mostrato che il nostro Paese è al 5° posto tra 30 Paesi europei per anni di vita vissuti con invalidità (YLD) dovuta a BPCO attribuibile a $PM_{2.5}$ negli adulti ultra venticinquenni (circa 70 YLD per 100.000 abitanti) ed al 3° posto tra 23 Paesi europei per ricoveri ospedalieri per malattie respiratorie attribuibili a ozono (O_3) negli adulti ultrasessantacinquenni (circa 22 ricoveri per 100.000 abitanti). Inoltre, il Rapporto 2025 sui danni per la salute da inquinamento atmosferico dell'EEA [EEA, 2025b] ha fornito stime sui decessi prematuri annuali attribuibili all'esposizione ai principali inquinanti atmosferici nel 2023: in Italia, 43.083 per $PM_{2.5}$, 9.064 per NO_2 e 1.123 per O_3.

La Direttiva 2024/2881/UE sulla qualità dell'aria ambiente [Direttiva 2024/2881/UE] è entrata in vigore il 10 dicembre 2024, fissando nuovi e più rigorosi limiti per gli inquinanti atmosferici, come $PM_{2.5}$ e NO_2, da raggiungere entro il 2030, con l'obiettivo di azzerare l'inquinamento entro il 2050. La direttiva avvicina gli standard europei alle raccomandazioni della OMS (ma non le adotta) e introduce disposizioni per migliorare il monitoraggio, il coordinamento e l'accesso alle informazioni.

Sulla base di queste premesse, l'inquinamento atmosferico è da considerare il fattore di rischio ambientale più rilevante a livello planetario ed in Italia, necessitando quindi di azioni immediate di prevenzione.

Nella **Tabella 1** sono riportati i livelli di qualità dell'aria (AQG) raccomandati e gli obiettivi intermedi raccomandati dalla OMS.

Tabella 1. Livelli di qualità dell'aria (AQG) raccomandati e obiettivi intermedi [WHO, 2021a]

Inquinante	Tempo su cui mediare	Obiettivi intermedi				Livello AQG
		1	2	3	4	
$PM_{2.5}$, $\mu g/m^3$	Annuale	35	25	15	10	5
	24-ore[a]	75	50	37.5	25	15
PM_{10}, $\mu g/m^3$	Annuale	70	50	30	20	15
	24-ore[a]	150	100	75	50	45
O_3, $\mu g/m^3$	Stagione di picco[b]	100	70	---	---	60
	8-ore[c]	160	120	---	---	100
NO_2, $\mu g/m^3$	Annuale	40	30	20	---	10
	24-ore[a]	120	50	---	---	25
SO_2, $\mu g/m^3$	24-ore[a]	125	50	---	---	40
CO, mg/m^3	24-ore[a]	7	---	---	---	4

[a] 99° percentile della distribuzione annuale delle concentrazioni medie nelle 24h (cioè, 3–4 giorni di superamento all'anno).

[b] Media della concentrazione media massima giornaliera di O_3 su 8 ore nei sei mesi consecutivi con la concentrazione media mobile più alta su sei mesi di O_3.

[c] 99° percentile della distribuzione annuale delle massime concentrazioni medie giornaliere su 8 ore (cioè, 3–4 giorni di superamento all'anno).

Cambiamenti climatici

La crisi climatica è un fenomeno che rischia di trasformare in maniera sostanziale e irreversibile gli ecosistemi naturali e l'ambiente di vita umano. Il 2024 è stato l'anno più caldo mai registrato (circa +1,55 °C rispetto al livello pre-industriale), con un aumento ininterrotto delle temperature globali, in

particolare negli ultimi dieci anni e un aumento dell'esposizione a ondate di calore a livello globale [WMO, 2025]. Il cambiamento climatico sta inoltre intensificando gli effetti di altre esposizioni ambientali, in particolare tra le popolazioni e le regioni più vulnerabili: tempeste di sabbia, incendi boschivi aggravati da siccità e degrado del suolo, picchi di inquinamento atmosferico da ozono locale e piogge intense.

Il Mediterraneo è una regione particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici ("*hot spot*"): la temperatura nel bacino del Mediterraneo sta aumentando ad una velocità del 20% maggiore rispetto alla media globale, portando ad una serie di modifiche del sistema climatico con un aumento della intensità e durata degli eventi estremi, tra cui le ondate di calore e impatti sui sistemi naturali e sulla salute umana [IPCC, 2022a]. L'ultimo report del Lancet Countdown ha stimato che l'84% dei giorni di ondata di calore verificatisi negli ultimi 5 anni non si sarebbe verificato in assenza di cambiamento climatico [Romanello et al., 2025].

Anche altri eventi meteorologici estremi come le piogge intense possono aumentare in frequenza e intensità in alcune regioni, e talvolta sono associati ad alluvioni e allagamenti [IPCC, 2022a]. Tali episodi possono avere una serie di effetti acuti, quali traumatismi e mortalità, ma l'esperienza di regioni in cui questi episodi sono più frequenti ha dimostrato anche rischi per la salute dovuti alla proliferazione di muffe e funghi nelle abitazioni alluvionate.

Sempre nell'area Mediterranea, sta aumentando la frequenza di episodi di siccità, intesa come carenza insolita e prolungata di disponibilità idrica, causata dalla riduzione delle precipitazioni e dall'aumento dell'evaporazione [Essa et al., 2023]. Calore e siccità a loro volta aumentano la frequenza degli incendi boschivi [IPCC, 2022]. In ultimo, la siccità porta alla desertificazione progressiva di aree sempre più estese: in Italia, sta aumentando la frequenza di fenomeni prima molto rari, come gli eventi di trasporto di polvere proveniente dalle aree desertiche, soprattutto dal Nord Africa. Tali polveri possono essere trasportate anche a migliaia di km di distanza, con peggioramento della qualità dell'aria e possibili effetti sulla salute, in particolare respiratoria, nei paesi interessati dal passaggio della nuvola di sabbia desertica [IPCC, 2022b].

Tali esposizioni associate ai cambiamenti climatici possono avere conseguenze sulla salute respiratoria e allergica, soprattutto nel breve termine, e, in alcuni casi, anche a lungo termine. Tuttavia, l'impatto sulla salute respiratoria della crisi climatica è molto difficile da studiare e deve tener conto di complessi meccanismi causali, che possono essere direttamente (ad es., esposizione a temperature sempre più elevate) e indirettamente (ad es., maggiori livelli di insicurezza alimentare, sensibili a fenomeni meteorologici estremi) legati al cambiamento del clima, interagendo con la suscettibilità della popolazione, le condizioni di salute e socio-demografiche, la disponibilità di infrastrutture e le capacità di adattamento [IPCC, 2022a].

In considerazione dei cambiamenti cimatici in atto, come sottolineato anche da una recente revisione di Annesi Maesano et al (2025), sono sempre più consistenti le evidenze che eventi estremi (tra cui ondate di calore, incendi boschivi, uragani, inondazioni) abbiano un impatto significativo sulla salute respiratoria, ponendo rischi maggiori per le popolazioni vulnerabili, come individui con patologie preesistenti, bambini, anziani e coloro che lavorano all'aperto. Considerando anche gli scenari futuri di ulteriore intensificazione delle esposizioni a tali eventi, anche nel nostro paese, è urgente aumentare la consapevolezza e la capacità di risposta per tutelare la salute pubblica a partire dalle fasce di popolazione a maggior rischio [CMCC, 2026].

II. RACCOMANDAZIONI – LINEE GUIDA DI SOCIETÀ SCIENTIFICHE INTERNAZIONALI

Le principali malattie associate all'inquinamento atmosferico sono quelle respiratorie, cardio-vascolari, cerebro-vascolari, neurodegenerative, il diabete, l'ipertensione arteriosa, la nascita prematura ed il basso peso alla nascita, come sostenuto dalla OMS e dalle società scientifiche *European Respiratory Society* (ERS) (che nel 2012 aveva pubblicato un decalogo di principi per l'aria pura [Brunekreef et al., 2012]) ed *American Thoracic Society* (ATS), le quali, sempre nel 2017, hanno pubblicato un documento su ciò che costituisce un effetto avverso dell'inquinamento atmosferico [Thurston et al., 2017]: da tale documento è derivata la **Tabella 2**.

Tabella 2. Esempi di effetti clinici associati all'inquinamento atmosferico*

1A. Respiratori	**1B. Cardiovascolari**
Aumento della mortalità respiratoria Aumento dell'incidenza di tumori maligni delle vie respiratorie Aumento dell'incidenza, prevalenza o frequenza delle riacutizzazioni nelle malattie polmonari croniche: asma, BPCO e fibrosi cistica Aumento dell'incidenza o della gravità delle infezioni del tratto respiratorio superiore e inferiore Aumento dei sintomi respiratori che influiscono sulla qualità della vita: tosse, catarro, respiro sibilante, dispnea e secrezione nasale Aumento dell'incidenza di nascite premature, basso peso alla nascita o limitazione della crescita che portano a esiti respiratori avversi Ridotta crescita della funzione polmonare nei bambini Riduzioni transitorie (ore) della funzione polmonare associate a sintomi in individui sani Riduzioni transitorie (ore) della funzione polmonare senza sintomi in individui particolarmente sensibili (ad esempio bambini con asma grave) Riduzioni persistenti o croniche (settimane, mesi o anni) della funzione polmonare	Mortalità per malattie cardiovascolari Infarto miocardico Ictus Aumento della pressione sanguigna Aritmie Ricoveri ospedalieri per insufficienza cardiaca congestizia
1C. Condizioni neurologiche e psichiatriche Morbo di Alzheimer e altre demenze Morbo di Parkinson	

	Funzione cognitiva ridotta negli adulti Ritardo dello sviluppo neurologico nei bambini Depressione Disturbi d'ansia

*Modificata da [Thurston et al., 2017].

Le Linee Guida dell'*European Academy of Allergy and Clinical Immunology* (EAACI) sull'impatto dell'esposizione a breve termine agli inquinanti esterni per gli esiti correlati all'asma [Agache et al., 2024a] forniscono raccomandazioni per la prevenzione, l'assistenza ai pazienti e la mitigazione in un quadro che supporta decisioni razionali: per gli operatori sanitari e i pazienti, al fine di personalizzare e migliorare la gestione dell'asma; per i decisori politici e gli enti regolatori, come riferimento basato sull'evidenza al fine di contribuire a stabilire standard e obiettivi giuridicamente vincolanti per la qualità dell'aria esterna a livello internazionale, nazionale e locale. Le Linee Guida sono state sviluppate utilizzando l'approccio GRADE, riconosciuto a livello internazionale per produrre raccomandazioni cliniche "*evidence-based*" in modo rigoroso e trasparente, e hanno valutato gli inquinanti esterni citati nell'attuale Linea Guida sulla Qualità dell'Aria della OMS come inquinanti singoli o misti e pesticidi per uso esterno. Tali linee guida forniscono "raccomandazioni condizionali", ovvero indicazioni forti ma non stringenti da valutare in base al contesto locale da parte dei decisori politici, per gli eventi asmatici a breve termine (**Tabella 3**).

Tabella 3. Linee guida sull'impatto dell'esposizione a breve termine ai principali inquinanti sugli esiti correlati all'asma*

Inquinante	Incremento sopra soglia OMS	Effetto sanitario (latenza dell'effetto)
CO	10 μg/m³	> rischio accesso PS (Lag 0-4) > rischio ricovero ospedaliero (Lag 2 e 4)
NO_2	10 μg/m³	> rischio accesso PS (Lag 0-4) > rischio ricovero ospedaliero (Lag 1-4)
O_3	10 μg/m³	> rischio accesso PS (Lag 1) > rischio ricovero ospedaliero (Lag 1 e 2)
$PM_{2.5}$	10 μg/m³	> rischio accesso PS (Lag 0-3) > rischio ricovero ospedaliero (Lag 3)
PM_{10}	10 μg/m³	> rischio accesso PS (Lag 0-4) > rischio ricovero ospedaliero (Lag 1-3)
SO_2	10 μg/m³	> rischio accesso PS (Lag 0-3) > rischio ricovero ospedaliero (Lag 1)
TRAP	---	< controllo dell'asma > rischio di riacutizzazioni dell'asma e di ricoveri ospedalieri per asma > uso di farmaci per l'asma o accesso PS < funzionalità polmonare e qualità della vita correlata all'asma

*Modificata da [Agache et al., 2024a]

PS: pronto soccorso; TRAP: "*traffic related air pollution".*

Lag: intervallo di tempo in giorni tra picco di esposizione ad inquinante ed evento sanitario.

III. ANALISI INTEGRATA DEI FATTORI DI RISCHIO AMBIENTALI PER ASMA E BPCO

L'asma e la BPCO sono le più frequenti malattie respiratorie non trasmissibili nella popolazione generale. Le caratteristiche distintive di entrambe le malattie sono riportate in **Appendice 1**.

L'asma e la BPCO sono patologie respiratorie croniche complesse, la cui eziologia è multifattoriale, derivante da una complessa interazione tra predisposizione genetica e molteplici fattori ambientali.

Sebbene il fumo di sigaretta rappresenti il principale fattore di rischio per la BPCO, un crescente corpo di evidenze scientifiche dimostra che l'esposizione a una vasta gamma di inquinanti ambientali e agenti occupazionali gioca un ruolo cruciale non solo nello sviluppo della BPCO, ma anche nell'insorgenza e nelle esacerbazioni asmatiche [Williams et al., 2025; Holm et al., 2025].

Inquinamento atmosferico outdoor

L'inquinamento atmosferico è una miscela complessa di gas e particolato (PM), quest'ultimo classificato in base al diametro aerodinamico. L'esposizione a questi inquinanti è un fattore di rischio consolidato per entrambe le malattie.

- *Asma*: L'esposizione al traffico veicolare, in particolare a NO_2 e $PM_{2,5}$ è associata a un'aumentata incidenza di asma in età pediatrica e a un maggior rischio di riacutizzazioni in tutte le età. Questi inquinanti agiscono come adiuvanti, promuovendo la sensibilizzazione allergica e inducendo uno stato di stress ossidativo e infiammazione nelle vie aeree [Hoffmann et al., 2022; Maio et al., 2023a].
- *BPCO*: L'esposizione a lungo termine a NO_2 e $PM_{2,5}$ è associata a un declino accelerato della funzione polmonare e a un aumento del rischio di sviluppare BPCO, indipendentemente dal fumo di sigaretta. Negli individui già affetti da BPCO, i picchi di inquinamento sono correlati a un aumento dei ricoveri ospedalieri per esacerbazioni acute [Wu et al., 2025; Lian et al., 2025].

Inquinamento indoor e combustibili da biomassa

L'ambiente domestico è una fonte significativa di esposizione a inquinanti che possono influenzare la salute respiratoria.

- *Fumo passivo*: È un noto fattore di rischio sia per l'insorgenza di asma infantile sia per lo sviluppo di sintomi respiratori e BPCO in età adulta in non fumatori.
- *Allergeni indoor*: L'esposizione ad acari della polvere, muffe, forfora di animali domestici e scarafaggi è un trigger primario per lo sviluppo e le riacutizzazioni dell'asma allergico [Gern et al., 2025]
- *Combustibili da biomassa*: A livello globale, la combustione di biomasse (legna, carbone, sterco animale) per cucinare e riscaldare in ambienti scarsamente ventilati è una delle principali cause di BPCO, soprattutto nelle donne dei paesi a basso e medio reddito. Il fumo generato contiene livelli altissimi di particolato e sostanze tossiche che causano un'intensa infiammazione polmonare [WHO, 2021b].

Esposizioni occupazionali

Il luogo di lavoro è un'altra fonte cruciale di esposizione a sostanze che possono causare o peggiorare le malattie respiratorie. Si stima che circa il 15-20% dei casi di asma e BPCO nell'adulto sia attribuibile a fattori occupazionali [Liviero et al., 2025].

- *Asma occupazionale*: È la più comune malattia respiratoria legata al lavoro nei paesi industrializzati. Può essere scatenata da agenti ad alto peso molecolare (es. farine, enzimi, lattice) che inducono una sensibilizzazione IgE-mediata, o da sostanze a basso peso molecolare (es. isocianati, anidridi acide) che agiscono attraverso meccanismi immunologici complessi.

- *BPCO occupazionale*: L'esposizione cronica a polveri inorganiche (carbone, silice nei minatori), polveri organiche (polvere di cotone nei lavoratori tessili, polveri di cereali negli agricoltori) e fumi chimici (es. cadmio) è una causa riconosciuta di BPCO. Questi agenti inducono un'infiammazione cronica e un progressivo declino della funzione polmonare, agendo in modo additivo o sinergico con il fumo di sigaretta [Stoleski et al., 2025].

Composti Organici Volatili (VOC)

I VOC rappresentano una categoria eterogenea di composti chimici con elevata pressione di vapore a temperatura ambiente. Le concentrazioni indoor sono tipicamente 2-5 volte superiori a quelle esterne, raggiungendo 50-500 μg/m³. I principali VOC presenti negli ambienti indoor sono costituiti da formaldeide (10-100 μg/m³), benzene, toluene, xileni, e composti organici clorurati. Le principali fonti sono costituite da materiali da costruzione e arredamento, prodotti per la pulizia domestica, cosmetici e prodotti per l'igiene personale, vernici e adesivi. L'esposizione a VOC si associa ad incrementato sviluppo di asma (RR 1,37) [Alford et al., 2021]. I VOC possono essere ubiquitariamente distribuiti negli ambienti domestici, scolastici, lavorativi e ricreativi.

Radon

Il Radon è un gas naturale generato dal decadimento radioattivo del radio, che si trova nelle rocce, nei suoli e nei materiali da costruzione che ne derivano. Penetra e si diffonde negli edifici (radon indoor), raggiungendo concentrazioni variabili da ambiente ad ambiente. La concentrazione media in Italia ammonta a circa 70 Bq/m³ ma sono presenti aree a rischio con livelli di gas radon > 300 Bq/ m³ [ISS, 1989-1996]. Il Radon è un cancerogeno certo (Gruppo 1) per il tumore del polmone in popolazioni esposte [IARC, 2012]. È stato tuttavia identificato anche come potenziale fattore di rischio per lo sviluppo e peggioramento del controllo dell'asma, incrementando i livelli di IL-6 e IL5 rispettivamente del 14,9% e 13,4%, anche in pazienti e soggetti sani senza storia di atopia (OR 1.149) [Alsulami et al., 2025; Banzon et al., 2025].

I principali fattori di rischio per asma e BPCO sono riportati in **Tabella 4**.

Tabella 4. Fattori di rischio ambientali per asma e BPCO.

Fattore di Rischio Ambientale	Impatto sull'Asma	Impatto sulla BPCO	Principali Agenti e Fonti
Inquinamento atmosferico (Outdoor)	Aumenta l'incidenza (specie nei bambini) e provoca riacutizzazioni. Promuove la sensibilizzazione allergica.	Accelera il declino della funzione polmonare e aumenta il rischio di sviluppo e riacutizzazione della malattia.	Particolato (PM), biossido di azoto (NO_2), ozono (O_3) derivanti da traffico veicolare e emissioni industriali.
Inquinamento domestico (Indoor)	L'esposizione ad allergeni è causa di insorgenza e riacutizzazione. Il fumo passivo è un fattore di rischio chiave.	La combustione di biomasse è una delle principali cause globali. Il fumo passivo aumenta il rischio.	Allergeni (acari, muffe, animali), fumo passivo, fumo da combustione di legna/carbone per cucinare o riscaldare. Composti Volatili Organici (VOC)

Esposizioni occupazionali	Causa di asma professionale (sensibilizzante o irritativa), la più comune malattia respiratoria lavorativa.	Circa il 15-20% dei casi è attribuibile al lavoro. Causa di infiammazione cronica e danno polmonare.	Asma: Farine, isocianati, lattice, polveri di legno. BPCO: Polveri minerali (carbone, silice), polveri organiche (cotone, cereali), fumi chimici.

IV. DATI ITALIANI RILEVANTI SU EFFETTI DELL'INQUINAMENTO OUTDOOR

Popolazione generale

A partire dagli anni Novanta, divenne chiaro che vivere in città era associato a più sintomi e malattie respiratorie rispetto a vivere in aree rurali [Viegi et al., 1991a; Viegi et al., 1995; Viegi et al., 1999], ma anche che l'esposizione ad inquinamento atmosferico era associata ad un incremento di mortalità e ricoveri per cause respiratorie [Alessandrini et al., 2013; Scarinzi et al., 2013].

Mortalità e ricoveri per cause naturali e respiratorie

Un ampio studio multicentrico italiano, "Inquinamento atmosferico e salute: sorveglianza epidemiologica e interventi di prevenzione" (EPIAIR2), ha utilizzato statistiche di routine per valutare gli effetti dell'inquinamento atmosferico in 25 città italiane nel periodo 2006-2010 È stato riscontrato un effetto immediato del PM_{10} sulla mortalità naturale. Effetti più rilevanti e prolungati (lag (ritardo) 0-5 giorni) sono stati riscontrati per $PM_{2,5}$ e NO_2. L'esposizione a NO_2 e a PM_{10} ha avuto un ruolo importante nella mortalità respiratoria [Alessandrini et al., 2013]. Inoltre, lo studio ha analizzato più di due milioni di ricoveri ospedalieri urgenti per malattie non accidentali, stimando una relazione con un incremento di 10 $\mu g/m^3$ di inquinanti atmosferici. L'aumento dei ricoveri ospedalieri per patologie respiratorie è stato associato a PM_{10} e NO_2 [Scarinzi et al., 2013].

Grazie all'utilizzo dei Big Data (link di grandi quantità di dati geografici, ambientali e sanitari), recentemente sono stati ottenuti nuovi importanti risultati sul territorio italiano nell'ambito di due studi finanziati da INAIL, lo studio BEEP ("Big data in Epidemiologia ambientale ed occupazionale") e lo studio BIGEPI ("Uso di BIG data per la valutazione degli Effetti sanitari acuti e cronici dell'inquinamento atmosferico nella Popolazione Italiana"). I Big Data hanno permesso di migliorare la stima delle concentrazioni di NO_2, O_3, $PM_{2,5}$ e PM_{10} sul territorio nazionale, utilizzando modelli di trasporto chimico, di apprendimento automatico, e la valutazione dell'esposizione sulla popolazione [Gariazzo et al., 2020]. I risultati hanno mostrato aumenti giornalieri di mortalità per cause respiratorie a livello nazionale per incrementi di PM_{10}, $PM_{2,5}$ e NO_2 nel periodo 2013-2015, con valori più elevati nelle aree urbane e suburbane [Gariazzo et al., 2023]. Nel periodo 2006-2015, sono stati registrati più di 4 milioni di ricoveri per malattie respiratorie, di cui il 29% per infezioni delle basse vie respiratorie, il 12% per BPCO, il 6% per infezioni delle alte vie respiratorie e il 3% per asma. Un aumentato rischio di ricoveri giornalieri per malattie respiratorie, più elevato per asma e BPCO, è stato associato ad un aumento di 10 $\mu g/m^3$ di PM_{10}. Gli effetti più elevati sono emersi negli anziani e nelle aree meno urbanizzate. Inoltre, è stato dimostrato come il rispetto di uno standard giornaliero teorico di PM_{10} di 25 $\mu g/m^3$, valore suggerito dalle linee guida della OMS del 2005, avrebbe evitato circa 4.900 ricoveri per problemi respiratori. Analogamente, un totale di 8.917 ricoveri è stato attribuito all'esposizione a concentrazioni giornaliere di $PM_{2,5}$ superiori a 10 $\mu g/m^3$ nel periodo 2013-2015 [Renzi et al., 2022].

BPCO e ostruzione delle vie aeree

Gli studi BEEP e BIGEPI hanno permesso di analizzare l'associazione fra esposizione a lungo termine all'inquinamento atmosferico e morbosità anche in studi epidemiologici analitici. L'analisi effettuata in 6 città italiane ha mostrato come la BPCO sia associata all'esposizione a PM_{10}, $PM_{2,5}$ e NO_2 [Marchetti et al., 2023; Maio et al., 2025a].

Tre indagini trasversali condotte nella zona urbana e suburbana di Pisa dal 1985 al 2011 hanno mostrato un aumento della prevalenza di sintomi e malattie respiratorie. In tali indagini è stato mostrato come vivere in aree urbane fosse associato a un aumento della probabilità di avere tosse (+14%), catarro (+30%) e BPCO (+54%), rispetto a vivere in aree suburbane [Maio et al., 2016]. Nelle stesse indagini,

è stata condotta anche un'analisi spaziale che ha mostrato come i residenti più vicini a strade trafficate presentavano una maggiore probabilità di avere BPCO e ostruzione delle vie aeree, misurata dal rapporto fra volume espiratorio forzato nel 1° secondo/capacità vitale forzata (FEV_1/FVC) [Nuvolone et al., 2011].

A Pisa, coloro che vivevano in aree trafficate avevano un rischio aumentato di incidenza cumulativa di BPCO (+140%) nell'arco di 18 anni [Maio et al., 2019]. Inoltre, l'aumento di incidenza di catarro cronico e di BPCO è stato associato all'aumento di 1 μg/m³ di $PM_{2,5}$ e di PM_{10}, rispettivamente [Fasola et al., 2020].

Sintomi e malattie asmatiche/allergiche

Nell'ambito dello studio BIGEPI, l'analisi effettuata in sei città italiane ha mostrato come rinite ed asma fossero associati all'esposizione a PM_{10}, $PM_{2,5}$ e NO_2, e gli attacchi d'asma all'esposizione a O_3 estivo [Maio et al., 2023b; Marchetti et al., 2023]. In un sottocampione di questa popolazione, è emerso come l'esposizione all'inquinamento atmosferico possa incrementare lo stress ossidativo in soggetti con malattie delle vie aeree (asma, rinite e BPCO) [Squillacioti et al., 2024].

Per quanto riguarda l'asma e la rinite allergica, è stato dimostrato che un aumento del 10% dell'esposizione residenziale allo spazio grigio corrispondente ad aree urbanizzate (valutato utilizzando le classi di copertura al suolo del *Corine Land Cover*) era significativamente correlato a una maggiore probabilità di avere patologie allergiche o sensibilizzazione allergica [Maio et al., 2022]. Nelle tre indagini trasversali condotte nella zona urbana e suburbana di Pisa, è stato mostrato come vivere in aree urbane fosse associato anche all'aumento della probabilità di avere rinite allergica (+19%) [Maio et al., 2016].

Nella popolazione di Pisa, vivere in aree trafficate è stato associato a un aumento del rischio di incidenza cumulativa, nell'arco di 18 anni, di attacchi d'asma (+120%) e rinite allergica (+80%) [Maio et al., 2019]. Inoltre, è stato mostrato un aumento significativo del rischio di incidenza di rinite dovuto all'aumento di 1 μg/m³ di $PM_{2,5}$ [Fasola et al., 2020]. Un altro studio di popolazione su soggetti con diagnosi di asma ha mostrato come l'esposizione a traffico veicolare vicino casa aumenti la probabilità di avere sintomi di asma persistenti o incidenti [Maio S et al., 2020].

Infezioni respiratorie

Una recente revisione ha mostrato come l'esposizione a PM_{10}, $PM_{2,5}$ ed NO_2 sia associata ad una maggiore probabilità di avere infezioni respiratorie delle vie aeree superiori ed inferiori, in particolare nei ragazzi [Dondi et al., 2023].

Gli studi sulle infezioni respiratorie negli adulti si focalizzano in modo particolare sulle ospedalizzazioni e mortalità. Uno studio condotto fra il 2001 e il 2005 in sei città italiane (Bologna, Firenze, Milano, Palermo, Roma e Torino) ha mostrato che incrementi di 10 μg/m³ di PM_{10} aumentavano il rischio di ospedalizzazione per infezioni respiratorie delle vie aeree inferiori in pazienti con BPCO [Faustini et al., 2013]. Più recentemente, lo studio BEEP ha confermato in soggetti adulti, nel periodo 2006-2015, un aumentato rischio di ricoveri giornalieri per infezioni respiratorie delle vie aeree inferiori dovuto ad un aumento di 10 μg/m³ di PM_{10} e $PM_{2,5}$ [Renzi et al., 2022].

Più recentemente, è stata mostrata una associazione fra esposizione cronica a PM_{10}, $PM_{2,5}$ ed NO_2 e aumentati tassi di incidenza e di mortalità per SARS-CoV-2 [Ranzi et al., 2023; Stafoggia et al., 2023a]. Tale relazione è oggi ancora controversa, ma una delle ipotesi più accreditate è che l'esposizione pregressa ad elevate concentrazioni di inquinanti atmosferici renda il sistema respiratorio più suscettibile all'infezione e alle complicanze della malattia da coronavirus. L'inquinamento atmosferico potrebbe comportarsi da amplificatore (*booster*) del contagio e degli effetti del virus.

Popolazione di fascia pediatrica

Le evidenze pediatriche provenienti dal contesto italiano confermano un contributo rilevante dell'inquinamento atmosferico, delle esposizioni *green/grey* urbane, degli aeroallergeni e degli inquinanti indoor (in particolare, i VOC) nei sintomi di rinite e nelle condizioni respiratorie allergiche.

Lo studio trasversale condotto da Cilluffo et al. su bambini di età 8-10 anni residenti a Palermo ha evidenziato una relazione significativa tra caratteristiche dell'ambiente urbano e prevalenza di sintomi nasali riconducibili a rinite allergica [Cilluffo et al., 2024]. I risultati hanno mostrato che un basso valore di *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (indicatore di esposizione al verde urbano) si associa a un aumento significativo (+47%) della probabilità di riferire sintomi. In modo analogo, la residenza entro 200 metri da assi viari trafficati determina un incremento comparabile del rischio di rinite. L'indicatore di "*greyness*", che riflette la densità di superfici impermeabili e infrastrutture antropiche, si associa coerentemente sia ai sintomi nasali sia ad altri sintomi respiratori e oculari, suggerendo l'effetto sfavorevole di contesti urbanizzati caratterizzati da scarsa biodiversità e maggiore inquinamento. Gli stessi autori hanno studiato l'effetto del NDVI sul controllo dell'asma trovando che una riduzione del verde urbano era associata ad un aumento della probabilità di avere asma non controllato (+166%) [Cilluffo et al., 2022]. Nel complesso, i dati supportano un modello interpretativo basato su un duplice meccanismo fisiopatologico: 1) la scarsa presenza di verde urbano riduce l'esposizione a microbi ambientali e componenti naturali della biodiversità, ritenuti promotori di una corretta maturazione immunologica delle mucose respiratorie; 2) la vicinanza al traffico veicolare aumenta l'esposizione cronica a inquinanti irritanti e ossidanti (particolato fine, NOx, VOC), capaci di indurre infiammazione delle vie aeree superiori, aumentare la permeabilità epiteliale e favorire la sensibilizzazione allergica [Cilluffo et al., 2024].

In uno studio torinese si è confermato un ruolo significativo della disponibilità di verde nel modulare la salute respiratoria pediatrica [Squillacioti G et al., 2019]: bambini esposti a valori più elevati di NDVI presentavano probabilità significativamente inferiori di avere asma (-87%), bronchite (-86%) e sibili attuali (-75%), rispetto a quelli esposti a livelli più bassi di vegetazione. Inoltre, l'analisi dei valori spirometrici mostrava una riduzione significativa di $FEF_{25–75}$ nei bambini residenti in aree meno verdi, indicativa di un possibile coinvolgimento delle piccole vie aeree. Sebbene lo studio non analizzi direttamente la "*greyness*", i dati ambientali riportati mostrano esposizioni medie a NO_2 pari a 55,6 $\mu g/m^3$ [Squillacioti G et al., 2019], valore superiore alle linee guida OMS 2005, suggerendo un contesto urbano in cui la scarsa vegetazione coesiste con elevati livelli di inquinanti da traffico, rafforzando l'ipotesi di un'interazione tra urbanizzazione, qualità dell'aria e salute respiratoria.

Lo studio di Di Cicco et al. fornisce indicazioni particolarmente utili sul ruolo degli aeroallergeni outdoor nel determinare un peggioramento delle condizioni respiratorie dei bambini, con effetti che coinvolgono in modo integrato sia le vie aeree inferiori sia il distretto nasale. L'analisi condotta su bambini di 0–17 anni residenti in Toscana, ricoverati per asma o sintomi asmatici, ha evidenziato che un incremento di 10 granuli/m^3 di aeroallergeni totali si associa a un aumento (+2–4%) di rischio di ricovero per asma (OR ≈ 1,02–1,05), con effetti più evidenti nei primi 1–2 giorni dall'esposizione [Di Cicco et al., 2022]. Particolarmente rilevante è il contributo della spora fungina *Alternaria alternata*, nota per la sua elevata potenzialità allergenica e per la capacità di indurre risposte infiammatorie acute anche a bassi livelli di concentrazione. Inoltre, l'incremento di aeroallergeni produce effetti più marcati nei bambini sensibilizzati, nei maschi e nei soggetti di età superiore ai 10 anni, sottolineando l'interazione tra assetto immunologico individuale ed esposizione ambientale. La dinamica temporale documentata nello studio (fino a 48 ore) è compatibile con i processi immunologici che seguono l'esposizione ad aeroallergeni e

che si manifestano clinicamente con sintomi che coinvolgono sia le vie aeree superiori sia quelle inferiori.

Nel principale studio multicentrico italiano dedicato alla valutazione della qualità dell'aria nelle scuole e ai suoi effetti sulla salute respiratoria dei bambini, finanziato dal Centro Nazionale per la Prevenzione e il Controllo delle Malattie (CCM) del Ministero della Salute, è stato documentato che la residenza in prossimità di aree agricole sottoposte a trattamenti con pesticidi è associata a un incremento significativo dei sintomi allergici e irritativi in età pediatrica. In particolare, i bambini che vivono vicino a coltivazioni trattate presentano un aumento di probabilità di avere sintomi delle vie aeree superiori (+125%), dei disturbi oculari (+281%) e delle manifestazioni cutanee (+160%), rispetto ai coetanei non esposti [Sarno et al., 2024].

La coorte "Viadana III" rappresenta uno dei principali studi italiani sull'impatto dell'inquinamento industriale sulla salute respiratoria e allergologica in soggetti di 0-21 anni, residenti nella zona di Viadana (MN). Lo studio ha evidenziato che l'esposizione cronica a PM_{10}, $PM_{2,5}$ e NO_2 è associata a un incremento significativo degli esiti sanitari riconducibili alle allergopatie pediatriche. In particolare, si evidenzia un aumento (+32%) delle visite allergologiche per ogni incremento unitario dell'esposizione a PM_{10} [Panunzi et al., 2023].

Uno studio transfrontaliero ha esaminato l'associazione tra la concentrazione di $PM_{2,5}$ outdoor, la composizione elementare del particolato (metalli e altri componenti) e la prevalenza di malattie respiratorie (asma, rinite) in bambini delle scuole primarie in Sicilia e a Malta. A livelli più elevati di $PM_{2,5}$ è stato osservato un maggiore probabilità di asma (+5-6% per ogni $\mu g/m^3$). Tali rischi erano più alti considerando i singoli metalli pesanti [Zammit et al., 2020].

Uno studio recente ha indagato la relazione tra inquinamento atmosferico outdoor (PM_{10}, NO_2, SO_2) e alterazioni strutturali e infiammatorie delle vie aeree in bambini di 3-8 anni, con l'esecuzione di broncoscopia con broncolavaggio e biopsia bronchiale. Lo studio dimostra che l'inquinamento atmosferico, in particolare il PM_{10}, contribuisce a modifiche strutturali precoci delle vie aeree nei bambini. In particolare, nei bambini con sibili, l'esposizione cronica al PM_{10} favorisce la comparsa di fenomeni di rimodellamento bronchiale ed aumenta l'infiammazione eosinofilica [Bonato et al., 2021a]. Lo stesso gruppo di ricerca ha valutato se l'esposizione acuta agli inquinanti atmosferici (PM_{10}, NO_2, SO_2) possa influenzare la risposta antivirale dell'epitelio bronchiale in bambini di età prescolare, mostrando una associazione dei livelli di PM_{10} ed NO_2 con la compromissione della risposta antivirale epiteliale [Bonato et al., 2021b].

I risultati sopra descritti sono stati riportati in dettaglio nella **Tabella 5** e nella **Tabella 6**.

Tabella 5. Effetti dell'inquinamento atmosferico outdoor sulla salute respiratoria degli adulti

Studio	**Popolazione / Area**	**Esposizione**	**Esiti**	**Stima effetto**
Mortalità e ricoveri per cause respiratorie				
				% incremento (IC 95%)
Alessandrini et al., 2013	25 città italiane n=31008 decessi	PM_{10} (incremento di 10 $\mu g/m^3$)	Mortalità per cause respiratorie	1,41% (-0,23-3,08) (lag 2-5)
		NO_2 (incremento di 10 $\mu g/m^3$)		1,67% (0,23-3,13) (lag 2-5)

	(7,3% del totale)			
Gariazzo et al., 2023	Italia n=131389 decessi (7,4% del totale)	PM_{10} (incremento di 10 μg/m^3)	Mortalità per cause respiratorie	3,54% (2,13-4,97) (lag 0-5)
		$PM_{2,5}$ (incremento di 10 μg/m^3)		4,55% (1,78-7,40) (lag 0-5)
		NO_2 (incremento di 10 μg/m^3)		6,68% (1,04-12,62) (lag 0-5)
Scarinzi et al., 2013	25 città italiane n=331289 ricoveri (14,7% del totale)	PM_{10} (incremento di 10 μg/m^3)	Ospedalizzazione per cause respiratorie	0,75% (0,25-1,25) (lag 0-5)
		$PM_{2,5}$ (incremento di 10 μg/m^3)		1,23% (0,58-1,88) (lag 0-5)
		NO_2 (incremento di 10 μg/m^3)		1,29% (0,52-2,06) (lag 0-5)
Renzi et al., 2022	Italia n=4154887 ricoveri (periodo 2006-2015)	PM_{10} (incremento di 10 μg/m^3)	Ospedalizzazione per cause respiratorie	0,65% (0,38-0,92) (lag 0-5)
		$PM_{2,5}$ (incremento di 10 μg/m^3)		1,22% (0,76-1,68) (lag 0-5)
BPCO e ostruzione delle vie aeree				
				OR (IC 95%)
Marchetti et al., 2023	Pavia, Torino, Verona, Terni, Pisa, Ancona, Palermo, Sassari n=4111	NO_2 (incremento di 10 μg/m^3)	Bronchite cronica/BPCO	1,23 (1,03–1,46)
Maio et al., 2025a	Ancona, Pavia, Pisa, Sassari, Torino, Verona n=14420	PM_{10} (incremento di 10 μg/m^3)	BPCO (diagnosi e sintomi) Dispnea	1,26 (1,03-1,54) 1,21 (1,05-1,39)
		$PM_{2,5}$ (incremento di 10 μg/m^3)	BPCO (diagnosi e sintomi) Dispnea	1,31 (1,03-1,65) 1,24 (1,05-1,47)
		NO_2 (incremento di 10 μg/m^3)	BPCO (diagnosi e sintomi) Dispnea	1,07 (1,00-1,15) 1,06 (1,01-1,11)
Nuvolone et al., 2011	Pisa/Cascina n=2062	Distanza dalle strade principali:	BPCO	(a) 1,80 (1,03-3,08) nei maschi

		<100m (a) 100-250m (b)	Ostruzione delle vie aeree GOLD	(a) 2,07 (1,11-3,87) nei maschi (b) 2,53 (1,42-4,53) nei maschi
Maio et al., 2016	Pisa/Cascina n=4848	Esposizione al traffico	BPCO	1,54 (1,25-1,90)
Maio et al., 2019	Pisa/Cascina n=970	Esposizione al traffico	Incidenza di BPCO	2,40 (1,10-5,20)
Fasola et al., 2020	Pisa n=305	PM_{10} (incremento di 1 $\mu g/m^3$)	Incidenza di BPCO	2,96 (1,50-7,15)
Sintomi e malattie asmatiche/allergiche				
				OR (IC95%)
Maio et al., 2023b	Ancona, Pavia, Pisa, Sassari, Torino, Verona n=14420	PM_{10} (incremento di 10 $\mu g/m^3$)	Rinite allergica (diagnosi o sintomi o farmaci)	1,16 (1,06–1,26)
			Asma (diagnosi o sintomi o farmaci)	1,23 (1,08–1,40)
			Risvegli notturni per difficoltà di respiro	1,30 (1,16–1,46)
		$PM_{2,5}$ (incremento di 10 $\mu g/m^3$)	Rinite allergica (diagnosi o sintomi o farmaci)	1,17 (1,06–1,30)
			Asma (diagnosi o sintomi o farmaci)	1,26 (1,08–1,47)
			Risvegli notturni per difficoltà di respiro	1,33 (1,16–1,52)
		NO_2 (incremento di 10 $\mu g/m^3$)	Rinite allergica (diagnosi o sintomi o farmaci)	1,07 (1,04–1,10)
			Asma (diagnosi o sintomi o farmaci)	1,07 (1,03–1,12)
			Risvegli notturni per difficoltà di respiro	1,12 (1,08–1,17)
Marchetti et al., 2023	Pavia, Torino, Verona, Terni, Pisa, Ancona, Palermo, Sassari n=4111	PM_{10} (incremento di 10 $\mu g/m^3$)	Rinite	1,62 (1,19–2,20)
		$PM_{2,5}$ (incremento di 10 $\mu g/m^3$)		1,80 (1,16–2,81)
		NO_2 (incremento di 10 $\mu g/m^3$)		1,22 (1,07–1,38)

Nuvolone et al., 2011	Pisa/Cascina n=2062	Distanza dalle strade principali: <100m (a) 100-250m (b)	Sibili persistenti	(a) 1,76 (1,08-2,87) nei maschi
			Dispnea	(a) 1,61 (1,13-2,27) nelle femmine
			Skin prick test positivi	(a) 1,83 (1,11-3,00) nelle femmine
Maio et al., 2016	Pisa/Cascina n=4848	Esposizione al traffico	Rinite allergica	1,19 (1,05-1,35)
Maio et al., 2019	Pisa/Cascina n=970	Esposizione al traffico	Incidenza di attacchi d'asma	2,20 (1,00-4,50)
Maio et al., 2019	Pisa/Cascina n=970	Esposizione al traffico	Incidenza di rinite allergica	1,80 (1,20-2,80)
Fasola et al., 2020	Pisa n=305	$PM_{2,5}$ (incremento di 1 $\mu g/m^3$)	Incidenza di rinite allergica	2,25 (1,07-4,98)
Maio et al., 2020	Pisa/Po Delta n=452	Esposizione al traffico	Asma con sintomi persistenti/incidenti	1,86 (1,02–3,38)
Maio et al., 2022	Pisa/Cascina n=2070	Incremento del 10% di spazi grigi intorno all'indirizzo di residenza	Skin prick test positivi	1,07 (1,02-1,13)
			Polisensibilizzazione	1,11 (1,04-1,19)
			Rinite allergica	1,10 (1,04-1,17)
			Asma/rinite allergica	1,06 (1,00-1,12)
Infezioni respiratorie				
				% incremento (IC 95%)
Faustini et al., 2013	Bologna, Firenze, Milano, Palermo, Roma e Torino n=9886	PM_{10} (incremento di 10 $\mu g/m^3$)	Ospedalizzazioni per infezioni respiratorie delle basse vie aeree in pazienti con BPCO	1,91% (0,06–3,79) (lag 0-3)
Renzi et al., 2022	Italia n=1204917 ricoveri (periodo 2006-2015)	PM_{10} (incremento di 10 $\mu g/m^3$)	Ospedalizzazione per infezioni respiratorie tratto inferiore	0,84% (0,40-1,28) (lag 0-5)
		$PM_{2,5}$ (incremento di 10 $\mu g/m^3$)		1,34% (0,72-1,95) (lag 0-5)
Ranzi et al., 2023	Italia n=3995202	PM_{10} (incremento di 1 $\mu g/m^3$)	Diagnosi di SARS-CoV-2	0,30% (0,20-0,40)

		$PM_{2,5}$ (incremento di 1 $\mu g/m^3$)		0,30% (0,10-0,40)
		NO_2 (incremento di 1 $\mu g/m^3$)		0,90% (0,80-1,00)
Stafoggia et al., 2023a	Italia n=3995202	PM_{10} (incremento di 1 $\mu g/m^3$)	Mortalità da SAS-CoV-2	0,30% (0,20-0,50)
		$PM_{2,5}$ (incremento di 1 $\mu g/m^3$)		0,70% (0.50-0.90)
		NO_2 (incremento di 1 $\mu g/m^3$)		0,60% (0,50-0,80)

OR: odds ratio; IC: intervallo di confidenza; $PM_{2,5}$: particolato atmosferico con diametro ≤ 2.5 μm; PM_{10}: particolato atmosferico con diametro ≤ 10 μm; NO_2: biossido di azoto.

Tabella 6. Effetti dell'inquinamento atmosferico outdoor sulla salute respiratoria di bambini e adolescenti

Studio	Popolazione / Area	Esposizione outdoor	Esiti	Stima effetto
Squillacioti et al., 2019	187 bambini (7–11 anni)	NDVI, parametri spirometrici; esposizione urbana a NO_2 (media 55,6 $\mu g/m^3$)	Asma, bronchite, sibili; funzionalità respiratoria	Maggiore NDVI associato a minore rischio di asma (OR 0,13), bronchite (OR 0,14) e sibili (OR 0,25). Riduzione del $FEF_{25–75}$ nei bambini meno esposti al verde.
Zammit et al., 2020	Bambini scuole primarie, Sicilia (n=1190) e Malta (n=1210)	$PM_{2,5}$ e composizione elementare (V, Pb, Ni, Zn)	Asma, rinite, uso farmaci	↑ $PM_{2,5}$ associato a ↑ rischio di asma (OR≈1,04/$\mu g/m^3$); V e Pb più associati agli outcome respiratori
Bonato et al., 2021a	98 bambini (5,3±2,9 anni) con e senza sibili	PM_{10}, NO_2, SO_2 (90 gg precedenti)	Rimodellamento bronchiale, infiammazione	PM_{10} associato a ispessimento MB e ↑ eosinofili; effetto maggiore nei bambini con sibili
Bonato et al., 2021b	34 bambini prescolari	PM_{10}, NO_2, SO_2 (esposizione acuta)	Risposta antivirale epiteliale	NO_2 associato a ↓ IFN-β e ↑ replicazione del Rhinovirus
Di Cicco et al., 2022	85 bambini (0–17 anni) ricoverati	Pollini totali; spore di *Alternaria alternata*	Ricoveri per asma/asma-like (indicatori di riacutizzazione respiratoria)	Incrementi di 10 granuli/m^3 associati a ↑ rischio ricovero: lag0 OR 1,054; lag1 OR 1,037; lag2 OR 1,021. Effetti più marcati in sensibilizzati, maschi e >10 anni.

Cilluffo et al., 2022	179 bambini asmatici	Verde urbano (NDVI), traffico, NO_2	Controllo dell'asma	↓ verde urbano associato a asma non controllato (OR≈2,66); nessuna associazione con NO_2 o traffico
Panunzi et al., 2023	7.525 soggetti (0–21 anni; ~6.800 <18 anni)	PM_{10}, $PM_{2,5}$, NO_2 (modelli ELAPSE/EPISAT), distanza dagli stabilimenti	Visite allergologiche, ORL, pneumologiche; ricoveri e accessi PS respiratori	PM_{10} associato a ↑ visite allergologiche (RR 1,32; IC95% 1,14–1,52). Curva a J con tassi più elevati <2 km e >20 km dagli impianti. NO_2 non significativo.
Sarno et al., 2024	2.367 bambini (6–14 anni)	Residenza vicino a coltivazioni trattate con pesticidi	Sintomi vie aeree superiori, oculari, cutanei, sistemici	Vie aeree superiori (rinite/sintomi nasali): OR 2,25. Sintomi oculari: OR 3,81. Cutanei: OR 2,60.
Cilluffo et al., 2024	219 bambini (8–10 anni)	NDVI, "*greyness*", distanza dal traffico (≤200 m), NO_2	Sintomi nasali, oculari, respiratori	NDVI basso associato a ↑ rinite (OR 1,47, IC 95% 1,07–2,03). Residenza ≤200 m dal traffico associata a ↑ rinite (OR 1,49, IC 95% 1,12–1,98). NO_2 non significativo.

OR: odds ratio; IC: intervallo di confidenza. $PM_{2,5}$: particolato atmosferico con diametro ≤ 2.5 μm; PM_{10}: particolato atmosferico con diametro ≤ 10 μm; NO_2: biossido di azoto; SO_2: biossido di zolfo

V. DATI ITALIANI RILEVANTI SU EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Mortalità e morbidità respiratoria

La rapidità dei cambiamenti climatici in atto sta provocando una crescita rapida del carico di malattia associato al caldo estremo e alle ondate di calore; l'occorrenza di questi eventi in alcune aree dell'Europa meridionale e centrale è raddoppiata negli ultimi vent'anni [Romanello et al., 2025].

A livello internazionale, studi multicentrici che includevano anche città italiane (EuroHEAT, PHEWE, EXHAUSTION) e revisioni sistematiche hanno documentato negli ultimi 20 anni un effetto consistente del caldo e delle ondate di calore sulla mortalità per cause respiratorie soprattutto nella popolazione con 75+ anni [D'Ippoliti et al., 2010; Baccini et al., 2009]. Nei giorni di ondata di calore rispetto ai giorni di non ondata, si registrano incrementi percentuali anche oltre a l90% nella mortalità respiratoria nella popolazione 65+ anni in alcune città italiane [D'Ippoliti et al., 2010]. La maggiore vulnerabilità al caldo per le cause respiratorie emerge in modo particolarmente evidente nei ricoveri ospedalieri, che mostrano incrementi significativi solo per queste patologie, mentre non si osservano aumenti nei ricoveri per cause cardiovascolari [Michelozzi et al., 2009], probabilmente perché tali eventi hanno più frequentemente esito fatale e si manifestano quindi come un incremento della mortalità associata al caldo. Il recente studio EXHAUSTION, grazie all'utilizzo di dati con elevata risoluzione spaziale, ha confermato impatti significativi sulle cause respiratorie, con un aumento (+27%) della mortalità respiratoria per temperature comprese tra il 75° e il 99° percentile della distribuzione specifica dell'area in tre Paesi europei [Zafeiratou et al., 2023].

Lo studio MultiCityMultiCountry ha fornito per la prima volta stime degli impatti del caldo su scala globale, includendo 532 località in 33 Paesi, tra cui anche paesi a basso reddito e 16 città italiane. Si conferma un rischio significativo di mortalità respiratoria nella fascia di età 40+, che aumenta con l'età da 1,14 a 40 anni fino a 1,25 a 85 anni, associato all'esposizione a temperature estreme [Scovronick et al., 2024].

Le revisioni sistematiche delle evidenze confermano effetti consistenti del caldo e delle ondate di calore sulla mortalità [Turner et al., 2012; Bunker et al., 2016; Xu et al., 2022; Han et al., 2023; Cheng et al., 2019; Hansel et al., 2016]. Una meta-analisi di 54 articoli provenienti da 20 Paesi inclusa l'Italia [Cheng et al., 2019] ha rilevato una forte associazione tra ondate di calore e mortalità respiratoria, con un rischio complessivo di mortalità di 1,18 (95% CI: 1,09-1,28), sebbene con elevata eterogeneità tra gli studi, e un'associazione più forte in alcuni Paesi (ad esempio Brasile, Cina, Francia, Germania, Paesi Bassi, Russia e Thailandia). Nelle analisi per sottogruppi, la popolazione anziana mostra i rischi maggiori di mortalità correlata al caldo, specialmente durante ondate di calore eccezionali, come quella dell'estate 2003 [Cheng et al., 2019].

Per quanto riguarda gli esiti non fatali, sono stati evidenziati, in modo meno consistente, effetti del caldo non solo in termini di incremento di ricoveri ospedalieri, ma anche di accessi ai servizi di emergenza e urgenza e visite ambulatoriali [Turner et al., 2012; Bunker et al., 2016; Xu et al., 2022; Han et al., 2023; Cheng et al., 2019; Hansel et al., 2016]. È stata osservata un'associazione tra caldo estremo o ondate di calore e morbilità respiratoria (RR 1,043; 95% CI 0,995-1,093), con elevata eterogeneità tra gli studi, più marcata negli anziani e in aree specifiche [Cheng et al., 2019]. Inoltre, il caldo e le ondate di calore si associano a un elevato rischio di crisi asmatiche in modo consistente in tutte le classi di età (bambini, adulti, anziani) [Han et al., 2023].

Nel contesto italiano, grazie alla disponibilità di dati giornalieri di temperatura con elevata risoluzione spaziale, sono disponibili stime degli effetti delle temperature estreme sulla mortalità per causa per tutto

il territorio nazionale dallo studio BIGEPI [Stafoggia et al., 2023b; Di Blasi et al., 2023]. Lo studio ha riportato un aumento del rischio di mortalità per malattie respiratorie (+37%) per incrementi di temperatura media compresi tra il 75° e il 99° percentile della distribuzione della temperatura estiva negli anni 2006-2015. In termini di casi attribuibili (%) sul totale della mortalità estiva per cause respiratorie, circa il 2% dei decessi per queste cause è attribuibile al caldo. Grazie alla disponibilità di dati a elevata risoluzione spaziale (1 km x 1 km), lo studio documenta per la prima volta un impatto del caldo e del freddo non solo nelle aree urbane italiane, ma anche nelle aree rurali dove sembra essere presente un'elevata vulnerabilità.

Esiste un'evidenza crescente di un possibile effetto sinergico del caldo e di alcuni inquinanti come ozono e particolato fine sulla mortalità respiratoria [Wu et al., 2014; Kahle et al., 2015], nel contesto sia nazionale [Stafoggia et al., 2008] sia internazionale [Analitis et al., 2018; Stafoggia et al., 2023c; Rai et al., 2023], ma i risultati variano in base all'inquinante e all'area geografica in studio in quanto sono possibilmente influenzati dalle condizioni locali meteo e di qualità dell'aria.

Trasporto di polveri desertiche

Una revisione sistematica ha studiato gli effetti degli eventi di trasporto di polveri desertiche sulla salute prendendo in considerazione studi condotti a livello internazionale [Lwin et al., 2023]. In generale, gli esiti di salute respiratoria, principalmente mortalità e ricoveri, sono stati quelli più studiati; nonostante le evidenze non siano sempre consistenti, la maggior parte degli studi ha evidenziato un effetto avverso delle tempeste di sabbia sulla salute respiratoria. L'impatto delle polveri desertiche sulla mortalità e sulla morbidità per cause respiratorie è stato recentemente studiato in una metanalisi [Tobías et al., 2025]. L'analisi ha considerato 71 studi inclusi alcuni studi italiani: sebbene non abbia trovato un aumento di mortalità respiratoria con un RR di 1.0001 (95 % IC 0.9773, 1.0277), ha rilevato un aumento di morbidità respiratoria, con un aumento di rischio del 6.9% (95 % IC 1.9, 12.2) nei giorni con concentrazione elevata di particolato di origine desertica rispetto ai giorni senza polvere desertica.

In Italia, le evidenze indicano che il trasporto di polvere desertica è associato ad aumenti della mortalità e delle ospedalizzazioni, in particolare per cause respiratorie, soprattutto negli anziani. Lo studio multicentrico Med-Particles che includeva 8 città italiane [Stafoggia et al., 2016] ha distinto le componenti desertiche di PM_{10} dalle quelle di altre fonti, evidenziando un aumento della mortalità naturale e respiratoria, con incrementi di rischio nell'ordine dello 0,5-1 % per aumenti di 10 $\mu g/m^3$ nel PM_{10} da polveri desertiche.

Anche studi condotti a scala locale, come quello realizzato in Emilia-Romagna [Sajani et al., 2011], hanno osservato un aumento della mortalità respiratoria, soprattutto negli anziani, nei giorni con trasporto di polvere sahariana, con effetti più marcati nella stagione calda.

A Roma, un'analisi di serie temporali [Mallone et al., 2011] ha mostrato che le giornate interessate dal trasporto di polvere sahariana amplificano gli effetti del particolato atmosferico sulla mortalità respiratoria, suggerendo un possibile ruolo di potenziamento tossicologico delle particelle minerali di origine desertica. Complessivamente, le evidenze italiane indicano che le polveri sahariana rappresentano un modificatore ambientale rilevante, in grado di peggiorare la qualità dell'aria e di aumentare i rischi acuti per la salute respiratoria, in particolare nei soggetti vulnerabili.

Siccità

Durante periodi di siccità, la qualità dell'aria può peggiorare, aumentando le concentrazioni di particolato fine e altre polveri sospese [Wang et al., 2017], provocando esacerbazioni delle malattie respiratorie croniche come BPCO e asma, e aumentando il rischio di mortalità respiratoria, in

particolare in concomitanza con altri eventi estremi come le ondate di calore [Rau et al., 2025]. Non sono disponibili ad oggi studi italiani su questa esposizione.
Gli effetti dei cambiamenti climatici sulla salute respiratoria sono riportati nella **Tabella 7**.

Tabella 7. Effetti dei cambiamenti climatici sulla salute respiratoria

Studio	Popolazione / Area	Esposizione	Esiti	Stima effetto
EXHAUSTION Zafeiratou et al., 2023	Norvegia, Germania, Inghilterra e Galles, tutte le età	Caldo: incrementi di temperatura media compresi tra il 75° e il 99° percentile della distribuzione della temperatura estiva	Mortalità respiratoria (totale)	RR 1,27 (95% IC 1,19 - 1,34). Maggior rischio per gli anziani e nelle donne.
MultiCityMultiCountry Scovronick et al., 2024	532 città in 33 paesi (Americhe, Europa, Asia Africa) (incluse 16 città italiane)	Caldo estremo (99° percentile di temperatura vs minimum mortality temperature)	Mortalità respiratoria (totale)	Maggiore effetto negli anziani
BIGEPI (Stafoggia et al., 2023b; Di Blasi et al.,2023)	Italia (nazionale)	Caldo - incrementi di temperatura media compresi tra il 75° e il 99° percentile della distribuzione della temperatura estiva	Mortalità respiratoria (totale)	+37% (33-42) nei giorni caldi rispetto ai giorni estivi più miti
Med-Particles (Stafoggia et al., 2016)	13 città del bacino del Mediterraneo (include 8 città italiane)	Polveri desertiche (aumento di 10 µg/m³ di PM_{10} - componente desertica)	Mortalità respiratoria	Aumento di 0,55% (IC 95% 0,24-0,87%)
Sajani et al., 2011	6 città dell'Emilia Romagna	Polveri desertiche (aumento di 10 µg/m³ di PM_{10} - componente desertica)	Mortalità respiratoria	Aumento di 22,0% (IC 95% 4,0%-43,1%)
Revisioni sistematiche				
Cheng et al., 2019	27 studi su adulti di 20 paesi (Australia, America,	Ondate di calore (diverse definizioni incl. temperature estreme)	Mortalità respiratoria (totale e per BPCO)	RR 1,18 (IC 95% 1,09-1,28) nei giorni di ondata rispetto ai giorni di non ondata. Maggiore effetto

	Europa, Asia)			sulla mortalità per BPCO e negli anziani.
Cheng et al., 2019	20 studi su adulti di 20 paesi (Australia, America, Europa, Asia)	Ondate di calore (diverse definizioni incl. temperature estreme)	Morbilità respiratoria (ricoveri ospedalieri, accessi in PS, chiamate in ambulanza)	RR 1,043 (IC 95% 0,995-1,093) nei giorni di ondata rispetto ai giorni di non ondata. Effetti significativi solo sui ricoveri e accessi in PS.
Tobias et al., 2025	71 studi su tutti i continenti	Trasporto di polvere desertica (giorni con avvezioni di polvere desertica vs giorni senza)	Mortalità respiratoria	RR 1,0001 (IC 95% 0,9773-1,0277)
Tobias et al., 2025	71 studi su tutti i continenti	Trasporto di polvere desertica (giorni con avvezioni di polvere desertica vs giorni senza)	Morbilità respiratoria	RR 1,0693 (IC 95% 1,0188-1,1224)

PS: Pronto Soccorso; RR: Rischio Relativo; IC: intervallo di confidenza; PM_{10}: particolato atmosferico con diametro ≤ 10 μm.

Asma

Temperature estreme

Il caldo e le ondate di calore si associano a un elevato rischio di crisi asmatiche in modo consistente in tutte le classi di età (bambini, adulti, anziani) [Han et al., 2023].

È importante notare che nei pazienti con asma un rischio concomitante deriva dalla possibile interazione tra temperature e ozono, un potente irritante delle vie respiratorie [Hansel et al., 2017; Rai et al., 2023].

Il calore può indurre broncocostrizione e aumentare la resistenza delle vie aeree attraverso un meccanismo mediato da un riflesso colinergico [Hayes et al., 2012; Mustafa et al., 2019] oppure tramite l'attivazione dei canali *transient receptor potential vanilloid* (TRPV) [Kytikova et al., 2021]. I TRPV sono canali ionici transmembrana termosensibili, espressi nelle cellule del tratto respiratorio, che possono essere coinvolti nell'iperreattività delle vie aeree correlata alla temperatura, soprattutto in presenza di specifici polimorfismi genetici [Kytikova et al., 2021; Grace et al., 2014].

I sintomi dell'asma possono inoltre essere favoriti dall'aumento, indotto dal caldo, dei livelli ematici delle proteine da shock termico (HSP) [Shevchenko et al., 2021].

La perdita di calore e di acqua a livello respiratorio è stata ipotizzata come un fattore scatenante dell'asma indotta da esercizio fisico, con una severità della broncocostrizione che aumenta in relazione

al contenuto di acqua dell'aria inspirata e al livello di ventilazione raggiunto e mantenuto [Mustafa et al., 2019].

Un diverso meccanismo riguarda l'impiego di farmaci anticolinergici utilizzati come broncodilatatori nei pazienti con asma o BPCO, che possono aumentare lo stress termico dell'organismo e il rischio di patologie correlate al calore, ad esempio attraverso la soppressione della sudorazione [Hospers et al., 2024].

Siccità

Uno studio italiano ha evidenziato una correlazione tra le condizioni climatiche locali e la prevalenza di asma e patologie respiratorie; una maggior prevalenza di asma è stata riscontrata nelle zone con climi caldi e asciutti, mentre minore in climi piovosi e freddi [Pesce et al., 2016].

Lo studio GEIRD (*Gene Environment Interactions in Respiratory Disease*) ha dimostrato che, in Italia, sia l'incidenza dell'asma sia gli indici climatici seguono la stessa periodicità media di circa 6 anni e che esiste una forte correlazione tra le fasi di maggiore siccità e/o oscillazioni della *Summer North Atlantic Oscillation* (S-NAO) e picchi dell'asma [Bonomo et al., 2023].

Sembra quindi che la variabilità climatica regionale sia un fattore rilevante nel predire le fluttuazioni a lungo termine dell'asma in Italia. Allo stesso modo, un altro studio italiano ha evidenziato una relazione tra le condizioni climatiche e la prevalenza di asma, che era maggiore nelle zone con climi caldi e asciutti, mentre era minore in climi piovosi e freddi [Pesce et al., 2016].

Un altro studio suggerisce che nei primi mesi di vita, l'esposizione a periodi di siccità intensa è associata a un aumentato rischio di respiro sibilante, un possibile segnale precoce di malattia respiratoria [Maritano et al., 2025].

Incendi

La revisione sistematica di Reid et al. [Reid et al., 2016], che ha esaminato la relazione tra incendi e salute, ha rilevato un effetto consistente degli incendi sulla salute respiratoria, con aumento dell'utilizzo di medicazioni, delle visite mediche, delle ospedalizzazioni e degli accessi al pronto soccorso per asma. I risultati sono stati confermati da un'altra revisione sistematica e metanalisi che ha rivelato un aumento del rischio di ospedalizzazione (RR: 1,054, 95% CI: 1,026–1,082) e delle visite al pronto soccorso (RR: 1,117, 95% CI: 1,035–1,204) per asma nella popolazione generale [Ying et al., 2024].

Trasporto di polvere desertica

Le nuvole di polveri desertiche possono inoltre trasportare al loro interno microorganismi come batteri e virus, ma anche spore fungine e pollini con un conseguente maggior rischio di esacerbazioni della patologia asmatica in soggetti suscettibili come i bambini [Qian et al., 2025]. In Italia questi episodi sono frequenti come in altri paesi del Mediterraneo, ma ad oggi non ci sono studi italiani su polveri desertiche e patologia asmatica in ambito nazionale.

Rinite allergica

Temperature

Non ci sono evidenze sugli effetti a breve termine del caldo o delle ondate di calore sulla rinite allergica. Considerando un possibile effetto a lungo termine, una meta-analisi di 20 studi osservazionali ha valutato come il riscaldamento globale possa influire sulla comparsa o sul peggioramento della rinite allergica. I risultati mostrano che ogni incremento di 1 °C nella temperatura media è associato a un aumento del rischio di sintomi o diagnosi di rinite allergica (+29%). L'effetto, però, varia in base alla zona climatica, suggerendo che il contesto ambientale locale possa influire sulla sensibilità al calore e ai pollini [Wei Rong et al., 2024]

Trasporto di polvere desertica

Le nuvole di polveri desertiche possono trasportare al loro interno microorganismi come batteri e virus, ma anche spore fungine e pollini con un conseguente maggior rischio di esacerbazioni di patologie allergiche [Griffin et al., 2007; Zhang et al., 2016]. In particolare, tramite la nuvola di polvere, granuli di polline e spore fungine possono essere trasportati a migliaia di chilometri di distanza, raggiungendo popolazioni potenzialmente suscettibili che non erano state precedentemente esposte a quel tipo di allergene [Grewling et al., 2019].

BPCO

Temperature

Le ondate di calore hanno effetti consistenti sulla mortalità per BPCO, in particolare nella popolazione anziana [Cheng et al., 2019]. I possibili meccanismi includono alterazioni della clearance mucociliare favorita da alterazioni dell'equilibrio elettrolitico associate al caldo e meccanismi di stress ossidativo e infiammazione che possono favorire dispnea e esacerbazioni della patologia [Xu et al., 2025]. Mancano evidenze solide riguardo al possibile impatto cronico sull'incidenza e sulla progressione di patologie come BPCO e asma, o su alterazioni persistenti della funzione polmonare [Zafeiratou et al., 2021]. Alcuni lavori hanno ipotizzato un'associazione tra esposizione ripetuta a caldo e peggioramento nel tempo della capacità respiratoria, soprattutto in sottogruppi suscettibili come lavoratori esposti, ma i risultati non sono consistenti. Inoltre, è complesso distinguere l'effetto diretto del caldo da quello di co-esposizioni ambientali concomitanti, come inquinamento atmosferico e incendi boschivi, che possono amplificarne l'impatto.

Il *range* di temperatura (la differenza tra la massima e la minima annuale) è risultato inversamente associato all'incidenza di bronchite cronica [Pesce et al., 2016].

Nel complesso, gli effetti cronici del caldo sul sistema respiratorio restano poco documentati e rappresentano un importante gap di ricerca.

Siccità

Durante periodi di siccità, la qualità dell'aria può peggiorare: aumentano le concentrazioni di particolato fine e altre polveri sospese [Wang et al., 2017], e il peggioramento della qualità dell'aria può aggravare le malattie respiratorie croniche come BPCO, scatenare esacerbazioni, favorire infezioni respiratorie e poter intensificare le reazioni allergiche come la rinite. Studi in ambito internazionale suggeriscono che la concomitanza di ondate di calore e periodi di siccità possa peggiorare la salute dei pazienti con BPCO aumentando il rischio di mortalità associata al caldo [Rau et al., 2025]. Oltre al possibile effetto della qualità dell'aria, la concomitanza di temperature elevate e siccità potrebbero peggiorare le malattie polmonari croniche attraverso la disidratazione con aumento della viscosità ematica, peggioramento della clearance mucociliare e possibile maggiore suscettibilità a infezioni e stress cardiopolmonare [Witt et al., 2015].

Incendi

Revisioni sistematiche che includevano soprattutto studi da Stati Uniti, Canada e Australia, [Reid et al., 2016; Jiao et al., 2024] ha rilevato un effetto consistente sull'aumento di ospedalizzazioni, accessi al pronto soccorso e visite mediche per BPCO in seguito all'esposizione ad incendi, sia nella popolazione generale, sia in gruppi specifici di età, in particolare negli anziani ≥ 65 anni. Alcuni studi suggeriscono che il particolato da incendi possa essere più tossico per l'elevato contenuto in idrocarburi policiclici aromatici (IPA) composti volatili organici d che possono stimolare stress ossidativo e una risposta infiammatoria con conseguente peggioramento della patologia polmonare [Rizly et al., 2025].

Infezioni respiratorie

Caldo e ondate di calore

Le evidenze di un possibile effetto del caldo e delle ondate di calore sulle infezioni respiratorie sono limitate; sono disponibili singoli studi in ambito internazionale che in particolare mostrano associazioni in contesti deprivati dal punto di vista socio-economico e in paesi con basso-medio reddito [Phung et al., 2016; Zhang et al., 2019; Green et al., 2015], ad esempio per infezioni acute delle basse vie respiratorie nei bambini [Ngo et al., 2021]. Alcuni studi sia a livello internazionale che italiani suggeriscono una possibile interazione tra caldo e COVID-19 e mortalità nella popolazione anziana. In particolare, la pandemia potrebbe aver modificato nel tempo il gruppo di individui più vulnerabili, caratterizzati da determinate condizioni di suscettibilità (ad esempio malattie croniche o svantaggio socio-economico), aumentando così la loro esposizione sia agli effetti del caldo che a quelli più gravi dell'infezione da SARS-CoV-2 [Ministero della Salute. Rapporto HHWWS, 2023].

Trasporto di polvere desertica

In Italia come in altri paesi del Mediterraneo, è frequente il trasporto su lunga distanza di nuvole di polveri desertiche [Calastrini et al., 2024] che possono contenere al loro interno microorganismi e allergeni con conseguente maggior rischio di infezioni respiratorie [Vergadi et al., 2022].

Uno studio ha effettuato un'analisi metagenomica delle colonie batteriche e fungine trasportate con il particolato in seguito alla tempesta di sabbia del 2014, rimaste intrappolate nelle nevi delle Dolomiti [Weil et al., 2017]. Questa analisi ha evidenziato che tali fenomeni sono in grado di spostare grandi parti di intere comunità microbiche su scala continentale, inclusi agenti patogeni per l'ambiente e importanti per l'uomo. Ciò, soprattutto se il trasporto di sabbia avviene in inverno e con le nevicate, per cui durante lo scioglimento del manto nevoso vengono rilasciate grandi quantità di microbi in concentrazioni elevate su una superficie limitata. In più l'azione abrasiva delle particelle minerali può danneggiare le mucose bronchiali e la barriera epiteliale, facilitando l'adesione e la penetrazione dei patogeni.

La revisione sistematica di Tobias et al. [Tobias et al., 2025] ha evidenziato che, in ambienti con elevata polvere desertica, si osserva un incremento nei casi di polmoniti, rinosinusiti e infezioni del tratto respiratorio inferiore, specie nei soggetti più vulnerabili. Tuttavia, le evidenze sono ancora frammentarie e servirebbero studi più accurati per chiarire il ruolo della polvere desertica come fattore scatenante per le infezioni respiratorie, distinguendo l'effetto diretto delle polveri da quello della componente microbiologica.

Incendi

Una recente revisione sistematica che includeva studi prevalentemente da Stati Uniti, Australia e Canada ha evidenziato un possibile aumento delle infezioni (soprattutto respiratorie) associato ad incrementi a breve termine nell'inquinamento atmosferico derivato da incendi boschivi [Mahendran et al., 2025]. In particolare, un aumento di 10 $\mu g/m^3$ di $PM_{2.5}$ è risultato associato a un aumento del 15% delle infezioni da COVID-19 e ad un aumento del 3% di infezioni respiratorie generiche (inclusa bronchite e polmonite). Sebbene le evidenze siano limitate, è possibile che il $PM_{2.5}$ da incendi possa causare infiammazione polmonare e stress ossidativo, indebolendo le difese immunitarie e favorendo infezioni, con meccanismo analogo a quello del particolato da traffico veicolare. La revisione non includeva studi italiani.

Siccità

Ad oggi non ci sono studi italiani. Studi condotti soprattutto in Nord America suggeriscono che i pattern delle precipitazioni e la durata dei periodi di siccità possano modificare l'incidenza di malattie respiratorie infettive, ad esempio da spore fungine come la coccidioidomicosi (Valley fever) [Head et al., 2022].

VI. DATI ITALIANI RILEVANTI SU EFFETTI DEI POLLINI E DELLE MUFFE

Il monitoraggio pollinico, quale specifica del monitoraggio aerobiologico, nasce come protocollo di misurazione della qualità dell'aria outdoor con l'obiettivo di valutare quantitativamente la presenza e la concentrazione dei pollini aerodispersi e fornire informazioni utili sia ai clinici sia ai pazienti. Conoscere l'andamento stagionale dei pollini allergenici aerodiffusi consente di:

- -anticipare l'inizio della terapia;
- -ridurre l'esposizione nei periodi critici;
- -interpretare correttamente la comparsa o la riacutizzazione dei sintomi.

Il monitoraggio aerobiologico è un protocollo d'indagine esteso al bioaerosol e analizza l'intero bioma aerodiffuso. Può essere condotto in ambienti sia indoor sia outdoor per ricercare spore fungine, microalghe, virus e batteri [Tedeschini et al., 2023; Muller et al., 2023; Cenci Goga et al., 2024].

Maggiori dettagli metodologici sul monitoraggio aerobiologico sono riportati in **Appendice 2**.

Negli ultimi decenni, il cambiamento climatico, l'urbanizzazione, la diffusione di specie invasive ed i fenomeni meteorologici estremi hanno incrementato l'incidenza di patologie respiratorie legate all'esposoma (l'insieme delle esposizioni ambientali di un individuo). In tale scenario, il monitoraggio della qualità dell'aria —nella sua componente sia biologica sia chimico-fisica — è divenuto uno strumento diagnostico e predittivo essenziale. Il monitoraggio aerobiologico si configura quindi come un elemento indispensabile per la valutazione della qualità della vita, rendendo prioritario che i dati prodotti siano affidabili, tempestivi e fruibili anche da un pubblico non specialistico [Giorato et al., 2020].

Nello specifico, le allergie respiratorie indotte dai pollini — comunemente note come pollinosi — rappresentano una delle condizioni allergiche più diffuse nella popolazione italiana, con un impatto significativo sulla qualità della vita e sui costi socio-sanitari. Oltre alla predisposizione individuale, a determinare l'aumento della frequenza e della severità di queste condizioni vi sono fattori ambientali di grande rilievo [D'Amato et al., 2014].

Temperature più elevate, maggiore concentrazione di CO_2 contribuiscono in generale alla modifica delle stagioni polliniche anche prolungandole e/o incrementando la produzione di pollini. Pertanto, inducendo un sostanziale aumento del grado di allergenicità delle specie vegetali [Ghiani et al., 2012]. Inoltre, l'espansione dell'areale di alcune specie verso nord, determina l'esposizione a pollini di popolazioni non ancora sensibilizzate e pertanto più vulnerabili [IPCC, 2022].

E' da notare che il cambiamento climatico cui stiamo assistendo si manifesta in maniera preoccupante come incremento della frequenza di manifestazioni meteoriche estreme; cicloni, tempeste di fulmini, inondazioni ondate di calore e prolungata siccità hanno un impatto ONE HEALTH. Viene compromessa senza dubbio la salute respiratoria, ancora di più in soggetti sensibili. Gli eventi estremi hanno un'influenza importante sulla qualità dell'aria e sulla biodiversità vegetale, aumentando l'esposizione ad allergeni derivanti da pollini e muffe. Le temperature elevate e l'umidità favoriscono la crescita di erbe infestanti e la proliferazione di microfunghi, intensificando sintomi respiratori sia in outdoor sia in indoor. Inoltre, le condizioni meteoriche estreme e l'elevata energia atmosferica favoriscono la frequenza di correnti ad elevata o elevatissima velocità, che contribuiscono al trasporto a lunga distanza di allergeni aerodiffusi, i quali raggiungono nuove aree e intercettano nuovi soggetti potenzialmente sensibili [Knox et al., 1997; Pawankar et al., 2013; Reche et al., 2022].

Effetti generali del cambiamento climatico su pollini e muffe

I cambiamenti climatici e le esposizioni ambientali e occupazionali stanno modificando in modo significativo l'epidemiologia, la stagionalità e la gravità delle malattie allergiche respiratorie [Ziska et al., 2019; D'Amato et al., 2014; WHO, 2025b; Agache et al., 2024b; Pershad et al., 2025]. L'aumento delle temperature, le variazioni dei regimi pluviometrici e l'incremento degli inquinanti atmosferici influenzano la produzione, la dispersione e l'allergenicità di pollini e spore fungine, favorendo l'emergere di nuovi allergeni clinicamente rilevanti [Lake et al., 2017]. Tra questi, Alternaria alternata rappresenta un modello paradigmatico di allergene emergente, associato a forme di asma anche severe [Anees-Hill et al., 2022; Abel-Fernández et al., 2023]. Inoltre, eventi meteorologici estremi, come i temporali, sono sempre più frequentemente correlati a epidemie di asma acuto ("*thunderstorm asthma*") [D'Amato et al., 2016; D'Amato et al., 2019; Beggs et al., 2024].

In particolare, il riscaldamento globale e l'aumento delle concentrazioni di CO_2 influiscono su:

- Durata e intensità della stagione pollinica, anticipandone l'inizio e prolungandone la fine;
- Quantità di polline prodotto, in crescita per molte specie allergeniche;
- Distribuzione geografica delle specie vegetali allergeniche (migrazione verso nord o verso quote più elevate);
- Aumento delle spore fungine e delle muffe (*Alternaria*, *Cladosporium*), soprattutto in contesti urbani e agricoli più caldi e umidi.

Gli effetti osservati sul territorio italiano sono diversi tra le zone alpine e quelle mediterranee.

In ambiente alpino e subalpino non solo i pollini, ma anche le spore fungine rimangono più prolifiche [Galán et al., 2021; Zemmer et al., 2024]. Le condizioni meteorologiche variabili creano un ambiente favorevole alla produzione di spore allergeniche di *Alternaria*, *Cladosporium* e altri generi, aggravando l'esposizione ad aeroallergeni durante la stagione delle allergie. Inoltre, specie allergeniche tipiche delle zone di pianura si stanno diffondendo a quote più elevate, dove storicamente la produzione locale era bassa e l'esposizione a pollini di specie non native (es. Ambrosia) [D'Amato et al., 2022].

Nelle zone mediterranee si è riscontrato un aumento della concentrazione annua di pollini di alcune specie, accentuato da siccità e inverni più miti [D'Amato et al., 2022; ISPRA, 2021-2024]. Si sono riscontrate fioriture più precoci e stagioni allergiche più lunghe, in particolare per specie a fioritura primaverile (es. Quercus, Olea) [CNR-ISAC, 2023] e un incremento delle muffe atmosferiche a seguito di episodi di piogge intense e allagamenti [ARPA Piemonte, 2022].

Negli ultimi anni sono stati pubblicati diversi studi e rapporti che analizzano in modo specifico gli effetti dei cambiamenti climatici su pollini, muffe e allergeni atmosferici in Italia, con differenze significative tra aree alpine e aree mediterranee [Ziska et al., 2019; D'Amato et al., 2019; D'Amato et al., 2021; ISPRA, 2021-2024; ARPA Piemonte, 2022; CNR-ISAC, 2023; Tagliaferro et al., 2024].

Effetti dei pollini sulla salute

L'allungamento delle stagioni polliniche e dei periodi di presenza di spore favorisce una maggiore esposizione allergenica: più tempo di esposizione significa più probabilità di sensibilizzazione allergica anche a nuovi allergeni o specie migranti (es. ambrosia in nuove aree). I soggetti già sensibilizzati manifestano sintomi più duraturi e intensi, con peggioramento della qualità della vita. Le conseguenze di questi fenomeni si riflettono nell'aumento di rinocongiuntivite allergica e asma allergica in Europa e nel mondo. L'OMS ha stimato che i disturbi respiratori correlati a pollini e muffe siano aumentati di circa il 30% negli ultimi due decenni, con proiezioni in crescita verso il 2050 [WHO, 2025b]. In Italia si è osservata una crescita dei casi di rinite e asma allergica legati al polline e alle muffe (+20–30% negli ultimi 20 anni in alcune regioni) [de Marco et al., 2012].

Studi epidemiologici riportano in modo consistente effetti dei pollini a breve termine (entro 3 giorni dall'esposizione) su sintomi di asma e allergie, in termini di incrementi degli accessi in pronto soccorso, ricoveri ospedalieri o sintomi riportati dai pazienti (**Tabella 8**). Gli studi italiani [Bono et al., 2016; Di Cicco et al., 2022] (**Tabella 9**) suggeriscono un effetto significativo dell'esposizione a pollini sul rischio di aggravamento della patologia asmatica nei bambini.

Tabella 8. Effetti dei pollini sulla salute allergica e respiratoria da metanalisi di revisioni sistematiche

Studio	Popolazione / Area	Esposizione	Esito	Disegno di studio incluso	Stima effetto	Modificazione di effetto (se disponibile)
Erbas et al., 2018	Australia, Canada, USA, Spagna, Israele (0–18 anni). 14 studi (3 inclusi nella meta-analisi)	Graminacee	Accessi al pronto soccorso per asma e respiro sibilante	serie temporale case-crossover, studi descrittivi	+1,88% (IC 95% 0,94%, 2,82%) con lag di 3 giorni per 10 granuli di polline per m^3	effetti maggiori nella classe 5–17 anni
Annesi-Maesano et al., 2023	prevalentemente Paesi ad alto reddito (tutte le fasce di età). 73 studi (2–4 studi nella meta-analisi)	gramineacee	Riacutizzazioni gravi di asma	serie temporale, case-crossover, di coorte, trasversali	+2%; 1–3%) in tutte le età per incremento da 0 a 50 granuli/m^3. Effetto borderline nei bambini	maggiori effetti nei bambini, nessun effetto negli anziani
Shrestha et al., 2021	Regno Unito, Australia, USA, Canada, Messico, Svezia, Belgio (0-18 anni). 12 studi (2-3 nella meta-analisi)	Graminacee, Betulla	Ricoveri ospedalieri per asma	serie temporale, case-crossover, di coorte	% variazione = +0,85% (−3,24; 4,95) per incremento di 10 granuli/m^3 di graminacee; % variazione = +0,85% (0,40; 1,30) per betulla	-

Kitinoja et al., 2020	Francia, Svizzera, USA, Spagna, Finlandia, Austria, Germania, Danimarca, Regno Unito, Australia (tutte le fasce di età). 26 studi (16 nella meta-analisi)	Pollini totali e specifici taxa	Sintomi self-reporteddi asma e allergia e funzione polmonare	studi panel	almeno un sintomo di asma o allergia: +2% (1-3%); sintomi respiratori inferiori: +0,8% 0–1,5%); sintomi respiratori superiori: OR 6,6 (4,4–8,7%); sintomi oculari: +10,9% (5-17,2%) per aumento pollini totali di 10 granuli/m³. Nessun effetto significativo sulla funzione polmonare.	-

Tabella 9. Studi epidemiologici italiani sugli effetti dei pollini sulle malattie respiratorie e allergiche

Studio	**Popolazione / Area**	**Esposizione**	**Esiti**	**Fattori di suscettibilità**	**Stima effetto**
Di Cicco et al., 2022	Pisa, Italia 0-17 anni	pollini totali	ricoveri ospedalieri per sintomi di asma (466.0, 493, 519.11 e 518.81)	maggior effetto nei bambini sensibilizzati ad uno o più allergeni outdoor, nei maschi e nella classe 5-17 anni	variazione %: 5.4% (1.1-9.8%) (lag 0) (delta=10 granuli/m3)
Damialis et al., 2021	31 paesi (inclusa Italia) popolazione di tutte le età	pollini totali	infezione da SARS-CoV-2	comportamentale /sociale (lockdown)	Effetto dei pollini sul rischio di infezione dimezzato durante il lockdown
Bono et al., 2016	Torino, Italia 0-18 anni	pollini totali	accessi al pronto soccorso per problemi respiratori (ICD9 460-466, 487, 490-493)	-	variazione %: 0.7% (0.1-1.2%) (lag 1) (delta=10 granuli/m3)

OR: odds ratio; IC: intervallo di confidenza.

Asma allergico

L'asma è spesso provocato o esacerbato da pollini e spore:

- Le stagioni più lunghe e con picchi allergenici più elevati aumentano le riacutizzazioni di asma, specialmente nei periodi di massima concentrazione.
- Eventi meteorologici estremi come temporali pollinici e ondate di calore possono scatenare attacchi d'asma acuti potenzialmente gravi.
- Umidità e piogge improvvise nelle regioni mediterranee possono favorire proliferazioni di muffe come *Alternaria*, spostando ulteriormente il carico allergenico verso spore fungine soprattutto in autunno.

Le metanalisi disponibili (**Tabella 8**) indicano soprattutto effetti del polline di Graminacee maggiori nei bambini e nella popolazione adulta, sebbene singoli studi riportino un rischio di esacerbazione di asma e rinite anche per altri taxa, specifici per le aree in studio (es. Oleacee, Ambrosia, Cupressacee) [Annesi Maesano I et al., 2023; Shrestha et al., 2021]. Gli effetti sulla salute sono solitamente immediati (0-3 giorni), ma possono persistere per diversi giorni fino a 7-8 giorni dopo l'esposizione. È inoltre nota già da qualche tempo l'insorgenza di patologie respiratorie acute a seguito di violenti temporali, come la *Thunderstorm Asthma* [D'Amato et al., 2019; D'Amato et al., 2021]**.** Ovvero, episodi di asma grave, anche mortale, in cui una combinazione di fattori meteorologici particolarmente violenti (fulmini, vento, pioggia) e ambientali (presenza di pollini allergenici aerodiffusi) provoca un aumento dei sintomi respiratori nelle persone sensibili. Il complesso meccanismo alla base di queste acute manifestazioni sembra essere principalmente determinato dalla rottura dei granuli di polline [D'Amato et al., 2019; D'Amato et al., 2021]. Fulminazioni, forti raffiche di vento e pioggia possono procurare fratture nella struttura pollinica, con la conseguente fuoriuscita di microparticelle, che, riversate in aerosol, possono essere respirate e penetrare agevolmente nelle vie aeree profonde. A seguito di ciò, individui affetti da asma o allergie possono sperimentare un'improvvisa intensificazione dei sintomi, come difficoltà respiratorie, tosse e senso di oppressione toracica. Questi eventi possono anche portare ad episodi fatali [D'Amato et al., 2021; Ziska et al., 2019].

Sebbene questo fenomeno sia stato storicamente associato ai pollini di graminacee, evidenze crescenti suggeriscono un possibile ruolo anche delle spore fungine, in particolare *Alternaria*, nel contribuire al carico allergenico inalabile durante i temporali.

Rinocongiuntivite allergica

L'allungamento delle stagioni polliniche e dei periodi di presenza di spore favorisce una maggiore esposizione allergenica:

- Più tempo di esposizione significa più probabilità di sensibilizzazione allergica anche a nuovi allergeni o specie migranti (es. ambrosia in nuove aree).
- I soggetti già sensibilizzati manifestano sintomi più duraturi e intensi, con peggioramento della qualità della vita.

Trend generali della prevalenza delle malattie allergiche

- La prevalenza di rinocongiuntivite allergica e asma allergico è in aumento in Europa e nel mondo, collegata all'aumento dell'esposizione ai pollini e agli aeroallergeni, oltre che all'interazione con inquinanti atmosferici.
- L'OMS ha stimato che disturbi respiratori correlati a pollini e muffe sono aumentati di circa il 30% negli ultimi due decenni, con proiezioni in crescita verso il 2050.

Nelle zone mediterranee, emerge una crescita dei casi di rinite allergica e asma allergico legati a polline e muffe (+20–30% negli ultimi 20 anni in alcune regioni). Nei contesti alpini specifici, studi

epidemiologici su coorti pediatriche svizzere indicano che, pur essendo tradizionalmente considerate aree "a basso rischio allergico" per la minore presenza di allergeni e inquinanti, una proporzione sempre maggiore di bambini mostra sensibilizzazione a pollini e muffe. Ciò suggerisce che fattori ambientali e clinici interagiscono complessamente anche in questi ambienti di montagna.

Inquinamento Atmosferico

Parallelamente**,** l'inquinamento atmosferico, in particolare nelle aree urbane ad alta densità di traffico e industrializzazione, modifica la composizione dei pollini e agisce come co-fattore nell'esacerbare la risposta allergica. Gli inquinanti come NO_2, O_3 e PM possono alterare la superficie dei granuli pollinici, con modifiche chimico-fisiche che alternano la funzionalità del polline e il rilascio di allergeni [Selvaggi et al., 2023]. Il polline è una classe del microbiota aerodiffuso che, per dimensioni (mediamente 30µm) e morfologia strutturale della parete esterna (sculturazione della Esina), agevolmente funge da *carrier* per altro microparticolato aerodiffuso, biotico e non. In questo modo, l'incontro con un polline-carrier può facilitare condizioni infiammatorie nelle mucose di soggetti sensibili amplificando di fatto la reattività al polline stesso [Bosch-Cano et al., 2011].

A conferma di ciò, diversi studi epidemiologici dimostrano che, nonostante vi siano concentrazioni di pollini più elevate in ambiente rurale, la pollinosi si riscontra con maggior frequenza e severità nelle aree urbane — un fenomeno attribuibile proprio all'effetto sinergico tra pollini e inquinanti atmosferici, nonché alle differenti esposizioni e caratteristiche ambientali [Knox et al., 1997; Pawankar et al., 2013; Reche et al., 2022].

PM_{10}, $PM_{2,5}$ e O_3 svolgono un ruolo concausale nel facilitare l'insorgenza dei sintomi respiratori:

- il PM può fungere da vettore per allergeni, aumentandone la penetrazione nelle vie aeree;
- l'ozono induce stress ossidativo, danno epiteliale e aumento della permeabilità delle mucose;
- l'esposizione combinata a pollini e inquinanti amplifica l'infiammazione bronchiale e l'iperreattività.

Questi effetti sinergici possono abbassare la soglia clinica di risposta agli allergeni, favorendo riacutizzazioni asmatiche anche a concentrazioni polliniche moderate.

Inoltre, lo stile di vita e l'esposizione cronica a stress respiratorio in ambienti urbani può predisporre maggiormente alla sensibilizzazione e all'insorgenza di sintomi rispetto a chi vive stabilmente in contesti rurali o semi-rurali, dove la qualità dell'aria tende ad essere migliore come l'insieme dei fattori di rischio ambientali [Selvaggi et al., 2023, Bosch-Cano et al., 2011], sebbene le evidenze epidemiologiche dell'interazione pollini-inquinanti siano ancora limitate [Anenberg et al., 2020].

Rinite

Nei pazienti con rinite l'esposizione a pollini può provocare nel breve termine aumento dei sintomi (sintomi nasali, oculari, tosse frequente soprattutto notturna), specialmente nelle classi di età più giovani e in relazione a pollini di erbacee (graminacee e ambrosia) [Annesi-Maesano et al., 2023; Idrose et al., 2021].

BPCO e infezioni respiratorie

Le evidenze sul possibile effetto dei pollini sulle esacerbazioni di BPCO o sul rischio di infezioni respiratorie sono ancora limitate. Uno studio multicentrico che include anche l'Italia suggerisce una possibile associazione tra esposizione a pollini e rischio di infezione da SARS-CoV-2, e come questo sia stato significativamente ridotto durante il periodo di lockdown [Damialis et al., 2021].

Uso del suolo: olivo e nocciolo esempi di agricoltura intensiva

L'agricoltura intensiva, in particolare per colture tradizionali nell'area mediterranea come l'olivo e, in misura sempre crescente, il nocciolo, ha un impatto significativo sulla biodiversità e sulla salute

respiratoria. L'espansione di queste monocolture intensive, spesso promosse dall'interesse di grandi investitori, sta portando alla sostituzione di colture tradizionali meno redditizie e persino di aree boschive o incolte, con una conseguente alterazione del paesaggio e una potenziale perdita di biodiversità, sia del suolo sia aerosporologica.

Nocciolo e Olivo, caratterizzati da impollinazione anemofila, liberano grandi quantità di polline allergenico. Inoltre, gli impianti produttivi moderni, per massimizzare la produttività, prevedono l'inserimento nel frutteto di un certo numero di varietà impollinatrici, geneticamente selezionate per esprimere quasi esclusivamente il carattere maschile, allo scopo di aumentare l'entità e la durata della nube pollinica al momento dell'impollinazione.

La diffusione dell'agricoltura intensiva, che aumenta la densità di queste piante in specifiche aree, contribuisce all'incremento notevole della concentrazione dei loro pollini nell'aria, aggravando la prevalenza e la severità delle pollinosi nelle popolazioni residenti [Bonofiglio et al., 2013].

BOX. Allergeni emergenti in corso di cambiamenti climatici: il ruolo dell'*Alternaria*

Effetti dei cambiamenti climatici sulla diffusione di *Alternaria*

L'aumento delle temperature medie e la maggiore frequenza di periodi caldi e secchi favoriscono la crescita e la sporulazione di *Alternaria*. Eventi climatici estremi, come siccità prolungate seguite da precipitazioni intense, possono determinare picchi di concentrazione di spore fungine nell'aria.

Effetti sulla salute

Alternaria alternata è un fungo ubiquitario, le cui spore rappresentano uno dei più importanti allergeni fungini outdoor. La sensibilizzazione ad *Alternaria* è associata a rinite allergica, asma bronchiale e, in alcuni casi, a esacerbazioni asmatiche gravi e potenzialmente fatali, soprattutto nei bambini e nei giovani adulti. L'allergene maggiore Alt a 1 è oggi considerato un marcatore di esposizione clinicamente significativa, con un ruolo centrale nella risposta IgE-mediata e nella patogenesi dell'asma fungino-correlata.

VII. DATI ITALIANI RILEVANTI SU EFFETTI DELL'INQUINAMENTO INDOOR

Popolazione generale

Agli inizi degli anni Novanta, in Italia è emerso chiaramente che il combustibile utilizzato per cucinare o per riscaldare era associato a tassi di prevalenza più elevati di sintomi respiratori o compromissione della funzionalità polmonare sia nei maschi sia nelle femmine, con probabilità maggiori di avere tosse, dispnea e sibili se si utilizzavano bombole a gas o cucine e stufe alimentate da altri combustibili non naturali [Viegi et al., 1991b; Viegi et al., 1992].

Negli anni duemila, aumentano l'interesse e le evidenze sul fumo passivo: in oltre 2000 donne non fumatrici, residenti a Pisa, Po Delta, Roma e Viterbo, l'esposizione al fumo passivo del marito/partner e sul lavoro era un fattore di rischio per dispnea, tosse/catarro, rinocongiuntivite, sibili e attacchi di mancanza di respiro con sibili, diagnosi/sintomi di asma, malattie polmonari ostruttive (diagnosi di asma/bronchite cronica/enfisema) [Simoni et al., 2007].

Negli stessi anni, sono state effettuate misurazioni ambientali nelle case di soggetti residenti nel Delta del Po mostrando come vi fossero livelli di NO_2 indoor significativamente più elevati nelle case con riscaldamento a gas e/o con scaldabagno a gas. Il $PM_{2,5}$ era significativamente più elevato nelle case dei fumatori e significativamente correlato al numero di sigarette fumate. In inverno, emergevano associazioni significative tra bronchite/sintomi asmatici ed esposizione a valori di NO_2 e $PM_{2,5}$ superiori alla media. In estate, questa associazione è emersa solo per il $PM_{2,5}$ nei non fumatori [Simoni M et al., 2002; Simoni M et al., 2004].

Sulla popolazione generale non vi sono studi italiani recenti; per lo più gli studi hanno riguardato la popolazione pediatrica.

Popolazione di fascia pediatrica

Riguardo all'età pediatrica, lo studio di Cibella et al. ha esaminato l'associazione tra esposizione a NO_2 negli ambienti indoor e sintomi respiratori e funzione polmonare in una popolazione di adolescenti (età 10–17 anni) residenti a Palermo e sottoposti a valutazione della salute respiratoria allergica tramite questionari, spirometria e skin prick tests. L'NO_2 indoor è risultato significativamente più elevato dell'NO_2 outdoor in entrambe le stagioni ($p < 0,001$). I livelli indoor erano particolarmente alti nel centro urbano e nelle abitazioni in condominio. Circa il 25% degli adolescenti era esposto a valori di NO_2 indoor superiori al limite stabilito dalla OMS nel 2005 (valore soglia utilizzato: 40 μg/m³). L'esposizione a NO_2 indoor è risultata associata a maggior rischio di asma attuale. Valori indoor > ~32 μg/m³ (primavera) e > ~41 μg/m³ (inverno) aumentavano la probabilità di asma attuale. L'esposizione ai livelli più elevati di NO_2 era significativamente associata a: respiro sibilante negli ultimi 12 mesi, rinocongiuntivite, tosse cronica, asma attuale e riduzione della funzione respiratoria. Lo studio ha dimostrato, inoltre, che l'interazione tra sensibilizzazione allergica e NO_2 indoor accresce ulteriormente il rischio di asma: tra gli adolescenti con allergia e NO_2 elevato, la prevalenza di asma raggiungeva il 22,4%, contro lo 0% nei non allergici esposti a livelli più bassi [Cibella F et al., 2015].

Un ulteriore studio condotto a Palermo tra il 2015 e il 2018 su bambini asmatici di età compresa tra 5 e 16 anni, ha analizzato in modo longitudinale la relazione tra controllo dell'asma e vari fattori ambientali, outdoor (es. verde urbano, inquinamento atmosferico, traffico) e indoor (es. fumo passivo, muffe). I risultati indicano che: vivere in aree con poco verde (NDVI ≤ 0,21) (+166%), essere esposti al fumo materno in gravidanza (+282%), vivere in condizioni abitative sovraffollate (+238%) sono fattori che aumentano il rischio di asma non controllato [Cilluffo G et al., 2022].

Lo studio HESE (*Health Effects of School Environment*), uno dei principali progetti multicentrici europei (Italia, Francia, Danimarca, Norvegia e Svezia) dedicati alla valutazione della qualità dell'aria nelle scuole e ai suoi effetti sulla salute respiratoria dei bambini, ha evidenziato in modo coerente che una scarsa ventilazione delle aule e l'accumulo di inquinanti indoor, in particolare PM_{10} e anidride carbonica (CO_2), sono associati a una maggiore prevalenza di sintomi respiratori e a una riduzione oggettivamente misurabile della pervietà delle vie aeree superiori dei bambini, con una relazione dose-risposta che coinvolge direttamente il distretto nasale [Simoni M et al., 2010]. All'interno di questo quadro generale, i dati provenienti dai centri italiani, Siena e Udine, assumono particolare rilevanza, poiché mostrano alcune delle condizioni microambientali più critiche dell'intero campione europeo, con i valori di inquinanti più elevati e più scarsa ventilazione.

Più recentemente, lo studio multicentrico SINPHONIE (*Schools Indoor Pollution and Health Observatory Network in Europe database on chemical and biological pollutants*) ha valutato bambini tra 6 e 14 anni residenti in 23 paesi europei, compresa l'Italia, per definire la prevalenza di asma, allergie e sintomi respiratori, considerando le differenze tra le diverse aree geografiche. Le condizioni più diffuse sono risultate essere: rinite allergica 17,8%, eczema 16,9%, allergia ai pollini 12,2%, asma 7,7%. I sintomi più frequentemente riportati nell'ultimo anno sono stati: starnuti/naso chiuso (20,8%) e tosse secca notturna (18,4%), particolarmente nel Sud Europa. Lo studio ha evidenziato una notevole variabilità geografica nell'asma e nelle allergie dei bambini europei, influenzata da fattori ambientali e socioeconomici quali clima, livelli di inquinamento, esposizione al traffico, presenza di muffe [Sarno et al., 2025].

Nello studio SINPHONIE è stato anche mostrato che gli scolari esposti a concentrazioni superiori o uguali alla media di $PM_{2,5}$, benzene, limonene, ozono e radon avevano una probabilità significativamente maggiore di soffrire di disturbi alle vie respiratorie superiori e inferiori [Baloch et al., 2020].

La valutazione della concentrazione di endotossine nelle classi ha mostrato livelli che variavano a seconda della zona geografica, con le medie più elevate in Italia e le più basse in Finlandia. Livelli elevati di endotossine erano associati a maggiori probabilità di sintomi delle vie respiratorie superiori e inferiori (naso che cola, ostruzione nasale, tosse, gola secca, difficoltà respiratorie e febbre), nonché a una ridotta funzionalità polmonare [Baloch et al., 2025; Moshammer et al., 2025].

I principali effetti dell'inquinamento atmosferico indoor sulla salute respiratoria di bambini e adolescenti sono riportati nella **Tabella 10**.

Tabella 10. Effetti dell'inquinamento atmosferico indoor sulla salute respiratoria di bambini e adolescenti

Studio	Popolazione / Area	Esposizione indoor	Esiti	Stima effetto
Simoni et al., 2010	Italia, Francia, Danimarca, Norvegia e Svezia	CO_2 nelle classi PM_{10} nelle classi	tosse secca rinite pervietà nasale	OR 2,99 (IC 95% 1,65-5,44) OR 2,07 (IC 95% 1,14-3,73) Ridotta pervietà
Cibella et al., 2015	303 adolescenti (10–17	NO_2 indoor (primavera e inverno)	Asma, sintomi respiratori, funzione polmonare	NO_2 indoor > outdoor; livelli elevati associati a asma attuale, wheezing e riduzione funzione respiratoria

	anni), Palermo			
Cilluffo et al., 2022	179 bambini asmatici (5-16 anni), Palermo	Fumo materno in gravidanza, sovraffollamento	Controllo dell'asma	Fumo materno (OR 3,82, IC 95% 1,11-13,06) e sovraffollamento (OR 3,38, IC 95% 1,29-8,81) associati a asma non controllato
Sarno et al., 2025	4.899 bambini (6–14 anni), 23 paesi UE (fra cui Italia)	Qualità aria indoor scolastica, muffe, fattori ambientali	Asma, allergie, sintomi respiratori	Elevata variabilità geografica; più sintomi nel Sud Europa; ruolo rilevante dell'ambiente indoor
Baloch et al., 2022	5175 bambini (6–14 anni), 23 paesi UE (fra cui Italia)	Qualità aria indoor scolastica: benzene limonene CO radon ozono	Sintomi delle vie aeree superiori*	 OR 1,62 (IC 95% 1,27-2,08) OR 1,72 (IC 95% 1,33-2,22) OR 1,27 (IC 95% 1,01-1,60) OR 1,36 (IC 95% 1,04-1,78) OR 1,99 (IC 95% 1,56-2,52)
		benzene limonene $PM_{2,5}$ ozono	Sintomi delle vie aeree inferiori*	OR 1,73 (IC 95% 1,30-2,31) OR 1,40 (IC 95% 1,05-1,88) OR 1,32 (IC 95% 1,00-1,75) OR 2,24 (IC 95% 1,69-2,97)
Baloch et al., 2025	5140 bambini (6–14 anni), 22 paesi UE (fra cui Italia)	Concentrazione elevata di endotossine nelle classi	naso che cola ostruzione nasale tosse irritativa gola secca difficoltà respiratorie	OR 1,30 (IC 95% 1,13-1,49) OR 1,23 (IC 95% 1,07-1,41) OR 1,19 (IC 95% 1,02-1,38) OR 1,19 (IC 95% 1,01-1,41) OR 1,30 (IC 95% 1,02-1,64)
Moshammer et al., 2025	4581 bambini (6–14 anni), 21 paesi UE (fra cui Italia)	Concentrazione elevata di endotossine nelle classi	Funzione polmonare	Per la maggior parte dei parametri della funzione polmonare è stato osservato un declino lineare con l'aumento dei livelli di endotossina, senza un chiaro effetto soglia.

Sintomi delle vie aeree superiori: naso che cola/ostruzione nasale; Sintomi delle vie aeree inferiori: gola secca/mal di gola/tosse irritativa/difficoltà respiratorie. OR: odds ratio; IC: intervallo di confidenza; $PM_{2,5}$: particolato atmosferico con diametro ≤ 2.5 μm; PM_{10}: particolato atmosferico con diametro ≤ 10 μm; NO_2: biossido di azoto; CO_2: biossido di carbonio; CO: monossido di carbonio.

VIII. DATI ITALIANI RILEVANTI SU EFFETTI DELL'INQUINAMENTO OCCUPAZIONALE

I dati dei principali studi internazionali hanno evidenziato ormai da molti anni un'associazione tra esposizione professionale ad inquinanti e patologie ostruttive polmonari che si è mantenuta pressoché costante nel tempo, con una frazione attribuibile alle esposizioni professionali a vapori, gas, polveri e fumi pari al 16% per asma e 14% per BPCO [Balmes et al., 2003; Blanc et al., 2019]. Per la rinite, studi recenti stimano la presenza di una causa professionale in circa l'8% di tutte le riniti non allergiche [Avdeeva et al., 2022].

I dati in Italia

In Italia, nei primi studi epidemiologici di popolazione svolti nell'area di Pisa e del Delta del Po è stato osservato un aumento del rischio di asma (sintomi e diagnosi) e di alterazioni funzionali respiratorie in soggetti professionalmente esposti a polveri fumi e gas [Viegi et al., 1991c], nonché una maggiore prevalenza di soggetti con iperreattività bronchiale alla metacolina in uomini ex fumatori professionalmente esposti [Viegi et al., 1994].

I dati dei primi studi sono stati confermati dai successivi follow-up che hanno evidenziato un aumento dell'incidenza di asma e rinite in soggetti professionalmente esposti a polveri fumi e gas [Maio et al., 2019] e una associazione tra esposizione nell'industria del legno e nell'industria tessile e incidenza di diagnosi di asma bronchiale [Maio et al., 2025b] a distanza di 18 anni dalla prima valutazione.

In studi multicentrici più recenti che hanno coinvolto la popolazione generale italiana, l'esposizione regolare a gas, vapori, polveri e fumi nei luoghi di lavoro era associata ad una forma di asma bronchiale più grave e ad una maggiore prevalenza di asma associata a BPCO [Locatelli et al., 2024].

Nei pazienti asmatici spesso il lavoro è causa, concausa o fattore aggravante dell'asma bronchiale. In uno studio di pazienti asmatici eseguito in Toscana, il 48% ha riferito che la patologia era correlata al lavoro (era causata dal lavoro o peggiorava durante il lavoro) e che l'asma era meno controllato e necessitava di un trattamento continuo con broncodilatatori a lunga durata di azione e steroidi inalatori [Talini et al., 2017] rispetto a coloro che non riferivano asma correlata al lavoro.

I dati INAIL che riguardano le malattie professionali documentano un aumento dei casi di asma bronchiale professionale negli ultimi due anni, sebbene il loro numero sia comunque sottostimato rispetto ai dati epidemiologici prima riportati [Banca dati INAIL].

Prevenzione e protezione della salute

La prevenzione delle malattie allergiche respiratorie nei luoghi di lavoro passa attraverso la prevenzione primaria, secondaria e terziaria, come previsto dai documenti di consenso delle principali società scientifiche pneumologiche ed allergologiche [Baur et al., 2012; Moscato et al., 2009] e dalla normativa vigente (D.lgs 81/08).

La prevenzione primaria delle patologie allergiche respiratorie è un'attività che passa attraverso l'eliminazione o, se non tecnicamente possibile, la riduzione dei fattori di rischio presenti negli ambienti di lavoro. Inoltre, ogni nuova sostanza chimica introdotta in questi ambienti dovrebbe essere studiata per valutarne l'impatto in termini di sensibilizzazione o di potenziale irritante delle vie respiratorie in grado di peggiorare una patologia allergica sottostante.

Il miglioramento delle condizioni igieniche negli ambienti di lavoro, attraverso la valutazione del rischio e l'implementazione di misure di mitigazione, può contribuire alla prevenzione primaria.

Fondamentale, a questo livello, il ruolo della politica e delle parti sociali nel supportare queste azioni di miglioramento, che hanno l'obiettivo di tutelare la salute del lavoratore e ridurre le ricadute socioeconomiche di una eventuale patologia correlata con l'attività lavorativa.

La prevenzione secondaria viene svolta sui lavoratori per intercettare coloro che stanno sviluppando sintomi e segni precoci e potenzialmente reversibili di un'eventuale patologia allergica respiratoria correlata al lavoro. In Italia, per i lavoratori a rischio è obbligatoria la sorveglianza sanitaria a cura del medico competente. La sorveglianza sanitaria è un'attività clinica caratterizzata da una visita medica e da accertamenti integrativi volti a valutare l'idoneità del lavoratore alla mansione specifica, ma è anche una straordinaria possibilità di valutare la salute dei lavoratori esposti a sostanze sensibilizzanti o a broncoirritanti per permettere l'emersione di patologie allergiche respiratorie correlate con il lavoro, la cui efficacia è stata rimarcata anche nei documenti di consenso delle principali società scientifiche europee [Baur et al., 2012].

La prevenzione terziaria è un'attività svolta sul lavoratore già affetto dall'allergopatia respiratoria in cui medici del lavoro e specialisti allergologi/pneumologi collaborano per adattare l'ambiente di lavoro alle nuove esigenze del paziente/lavoratore nell'ottica di ridurre le ricadute socioeconomiche legate alla disabilità respiratoria che caratterizza il paziente.

IX. INFORMAZIONI ANAMNESTICHE ESSENZIALI SULLE ESPOSIZIONI AMBIENTALI, OCCUPAZIONALI E SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Nelle **Tabelle 11-12** sono riportate possibili domande che il medico sia generalista sia specialista potrebbe fare ai propri pazienti affetti da allergopatie respiratorie per valutare eventuali esposizioni ambientali e occupazionali che possono influenzare il controllo della malattia.

Tabella 11. Domande utili per una raccolta dell'anamnesi ambientale

1. La Sua abitazione è vicina a fonti di inquinamento esterno? Se Si, di che tipo? Traffico autoveicolare, traffico pesante, impianti industriali, discariche, coltivazioni con uso di pesticidi, altro (specificare) Se Si, a che distanza? Entro 250m, tra 250 e 500m, oltre 500m
2. La Sua abitazione è vicina ad aree verdi (entro 300m)?
3. Nella Sua abitazione sono presenti animali domestici?
4. È esposto/a al fumo di tabacco di altre persone (fumo passivo)?
5. Utilizza legna o carbone per riscaldarsi o per cucinare?
6. Utilizza fornelli a gas per cucinare? Se Si, accende la cappa di aspirazione mentre cucina?
7. Nella Sua attuale abitazione si sono verificati problemi relativi a presenza di umidità, perdite di acqua, muffe visibili od odore di muffa?
8. Utilizza il condizionatore per rinfrescare la casa in estate?

Tabella 12. Domande utili per una raccolta dell'anamnesi lavorativa

1. È mai stato esposto regolarmente a gas, vapori, polveri, fumi o allergeni in ambiente di lavoro?
2. Per quanto tempo è stato esposto complessivamente?
3. Quando è stato esposto per la prima volta?
4. È ancora esposto? Se no, quando ha cessato l'esposizione?
5. In quali lavori è stato esposto?
6. I sintomi della sua malattia si presentano/presentavano solo al lavoro o peggiorano/peggioravano durante il lavoro o migliorano/miglioravano quando lei non era al lavoro?
7. Viene o veniva regolarmente visitato dal Medico Competente? Se sì vengono/venivano eseguiti anche la spirometria? Se sì vengono/venivano eseguiti i test allergici?

X. INDICAZIONI PER LA PREVENZIONE

Nelle **Tabelle 13-15** sono riportati consigli pratici ed azioni utili per pazienti con malattie respiratorie e allergiche nell'ottica della prevenzione dei rischi da esposizione a inquinamento atmosferico. In generale, questi consigli ed azioni sono validi per tutta la popolazione.

Tabella 13. Consigli pratici per ridurre l'esposizione all'inquinamento atmosferico outdoor

Informarsi sui livelli di inquinamento nella città in cui si abita per pianificare le proprie attività
Camminare scegliendo orari e percorsi con minor traffico
Evitare le attività all'aria aperta (es. camminare, fare jogging, andare in bicicletta) vicino a strade trafficate e vicino alle aree industriali
D'estate evitare attività all'aria aperta dalle 12 alle 16, quando i livelli di ozono sono molto elevati
Se si usa la bicicletta, al semaforo meglio sostare davanti alla prima macchina e non fermi in coda a respirare gas nocivi
Durante l'inverno stare fuori casa nelle ore più calde, con il freddo il particolato si condensa a formare goccioline di aerosol più facilmente respirabili
Negli spostamenti in auto chiudere i finestrini ed utilizzare l'impostazione del ricircolo dell'aria in caso di traffico intenso, ma ventilare periodicamente il veicolo
Assumere molta frutta e verdura, alimenti ricchi di antiossidanti
Coprirsi il naso e la bocca all'esterno in condizioni di freddo o forte inquinamento
Durante i picchi di inquinamento ricordarsi di tenere a portata di mano le medicine per evitare un eventuale peggioramento della patologia respiratoria

Tabella 14. Consigli pratici per ridurre l'esposizione all'inquinamento atmosferico indoor

Non esporsi al fumo passivo
Aprire le finestre per 10-15 minuti più volte al giorno, soprattutto la mattina presto o la sera, per favorire il ricambio dell'aria. Evitare le ore di traffico intenso se si vive in città
Usare la cappa di aspirazione in cucina per evitare l'esposizione al particolato
Utilizzare fuochi elettrici o a gas invece del legno o pellet (fondamentale scegliere camini chiusi e ad alta efficienza)
Durante le attività di pulizia, arieggiare frequentemente, ridurre l'utilizzo di prodotti chimici e non miscelarli
Non utilizzare bracieri, griglie a carbone, stufe non ventilate, ed assicurarsi che vi sia un'adeguata ventilazione
Far arieggiare gli abiti appena ritirati dalla lavanderia e lavati a secco per evitare il rilascio dei composti organici volatili
Limitare l'uso di candele e incensi
Limitare l'uso di insetticidi
Lavare tende e tessuti frequentemente ed evitare, se possibile, i tappeti
In caso di ristrutturazione o nuovo arredo scegliere materiali a bassa emissione e ventilare per almeno un paio di settimane
Passare regolarmente l'aspirapolvere (possibilmente con filtri HEPA) e stracci umidi sul pavimento, per evitare risospensione di particolato da tappeti e pavimenti.

Curare la pulizia del filtro del condizionatore e dei purificatori per evitare la proliferazione di microrganismi
Installare purificatori dell'aria con filtri HEPA per catturare pollini, muffe, batteri e particolato*

*Le linee guida EAACI indicano come di potenziale utilità i dispositivi per il filtraggio e ricambio d'aria nel prevenire sia le riacutizzazioni di asma e BPCO sia l'incrementato declino della funzione respiratoria. Va, tuttavia, segnalato che ad oggi le evidenze scientifiche consentono di fornire solo raccomandazioni con un limitato livello di evidenza [Agache et al., 2025; Allena et al., 2025].

Tabella 15. Raccomandazioni per godere dei benefici degli spazi verdi urbani sul sistema immunitario [Haahtela et al., 2026]

Si consiglia di visitare e trascorrere del tempo in spazi verdi per rafforzare il sistema immunitario. Inoltre, ciò può migliorare sia la salute mentale che quella fisica generale e ridurre la necessità di farmaci
Si raccomanda di visitare e trascorrere del tempo in spazi verdi nei quartieri residenziali, soprattutto alle famiglie con bambini piccoli, per prevenire l'insorgenza di nuove sensibilizzazioni allergiche
Si raccomanda di visitare e trascorrere del tempo in spazi verdi per prevenire l'insorgenza di nuovi casi d'asma e per migliorare la gestione dell'asma nei pazienti
Si raccomanda ai pazienti affetti da asma allergico ai pollini di godersi gli spazi verdi per la maggior parte dell'anno, ma anche di considerare un temporaneo aumento del dosaggio dei farmaci durante la stagione con un'elevata concentrazione di pollini
Si raccomanda ai pazienti asmatici di combinare l'esposizione ad aree verdi con una regolare attività fisica per migliorare il controllo dell'asma
Si raccomanda ai pazienti affetti da rinite allergica di godersi gli spazi verdi per la maggior parte dell'anno, ma i pazienti con rinite stagionale dovrebbero considerare un temporaneo aumento del dosaggio dei farmaci durante la stagione con un'elevata concentrazione di pollini

Pollini e muffe: implicazioni cliniche e di sanità pubblica

Il trattamento farmacologico e l'immunoterapia allergene-specifica rappresentano i pilastri fondamentali della gestione delle patologie allergiche e del controllo dei sintomi. Tuttavia, le misure non farmacologiche volte a evitare o ridurre l'esposizione ai pollini possono costituire un complemento rilevante alla terapia e sono, in parte, già considerate nelle linee guida cliniche per l'asma e la rinite allergica. Anche il Piano Nazionale di Prevenzione prevede misure specifiche per ridurre l'esposizione ai pollini, finalizzate alla tutela della salute delle persone allergiche nei luoghi di vita e di lavoro (PNP 2020-2025).

Per i clinici: è essenziale integrare i dati ambientali (pollini, spore fungine, inquinanti) nella valutazione del rischio e nella gestione personalizzata dei pazienti allergici e asmatici.

Per la prevenzione: sistemi di monitoraggio aerobiologico e di allerta precoce per temporali e picchi di inquinamento possono contribuire ad aumentare la consapevolezza, per mettere in atto misure per proteggere i soggetti con asma e allergie, limitare l'esposizione diretta a pollini (sia outdoor che indoor) e ridurre il rischio di eventi acuti. Nelle aree urbane è importante la gestione del verde nelle aree di vita quotidiana di soggetti allergici o asmatici. Per ridurre l'esposizione ai pollini è raccomandata la sostituzione di specie altamente allergeniche con piante a basso potenziale allergenico [Haahtela T et al., 2026].

Per le politiche sanitarie: considerare l'esposizione a pollini nelle linee guida cliniche per l'asma e la rinite allergica, informare ed educare i pazienti in particolare i gruppi più vulnerabili come i bambini e più esposti (come i lavoratori all'aperto. Nel lungo-termine, la mitigazione dei cambiamenti climatici e la riduzione dell'inquinamento atmosferico rappresentano interventi fondamentali per contenere l'impatto delle malattie allergiche respiratorie.

Si rende pertanto imprescindibile un'azione strategica su due fronti:

- monitoraggio aerobiologico con elevata risoluzione spaziale: è necessaria una distribuzione territoriale capillare di centri di monitoraggio aerobiologico. Tali centri non solo registrano la quantità di polline in circolo, e di patogeni fungini spesso molto presenti negli impianti intensivi, ma tracciano anche la fenologia (i tempi di fioritura) specifica delle aree di monocoltura;
- bollettini aerobiologici tempestivi e localizzati: i dati raccolti devono confluire nella redazione di bollettini estremamente precisi e localizzati. Questi strumenti informativi, se disponibili con tempistiche adeguate, diventano essenziali per la salute pubblica e occupazionale, consentendo ai soggetti allergici di adottare misure preventive tempestive e mirate, gestendo meglio la propria terapia farmacologica.

Riqualificazione e riforestazione urbana

La riqualificazione e la riforestazione urbana rappresentano oggi uno dei pilastri fondamentali della rigenerazione delle città in risposta alla crisi climatica. Non si tratta semplicemente di "abbellire" i centri abitati, ma di integrare infrastrutture verdi multifunzionali, capaci di mitigare l'effetto "isola di calore urbana", migliorare la qualità dell'aria catturando polveri sottili e favorire la gestione delle acque piovane attraverso superfici permeabili.

Un progetto di riforestazione efficace deve però essere guidato da una pianificazione scientifica rigorosa, basata su:

- biodiversità e resilienza: l'impiego di specie autoctone diverse garantisce una maggiore resistenza a parassiti e cambiamenti climatici, evitando la fragilità tipica delle monocolture;
- selezione "*allergy-friendly*": in linea con le preoccupazioni sulla salute respiratoria, è cruciale selezionare essenze arboree con basso potenziale allergenico, evitando la concentrazione massiccia di specie anemofile (che affidano la fecondazione al vento) in prossimità di zone residenziali o scuole;
- connettività ecologica: la creazione di corridoi verdi, che collegano parchi, giardini pensili e boschi urbani, permette il movimento della fauna selvatica e il mantenimento dei servizi ecosistemici nel cuore del tessuto urbano;
- benessere psicofisico: la presenza di aree verdi accessibili riduce i livelli di stress, favorisce l'attività fisica e migliora la coesione sociale, trasformando aree industriali dismesse o degradate in nuovi polmoni vitali per la comunità. Vanno per questo gestite correttamente e rese accessibili soprattutto alle fasce di popolazione a basso reddito e più vulnerabili (bambini, anziani, persone con disabilità, donne in gravidanza).

La riqualificazione urbana "verde" è quanto mai necessaria, ma occorre una progettazione attenta e qualificata (pertanto integrata) delle *skill* necessarie per conciliare densità vegetale e salute respiratoria. L'approccio "*Low-Allergy*" deve guidare la riforestazione urbana e i boschi verticali: ciò significa ribaltare il paradigma della scelta del verde urbano, passando da una selezione puramente estetica o di opportunità (resistenza, rapido accrescimento, scarsa manutenzione) a una selezione basata sulla biologia riproduttiva delle piante.

Il Modello di Riforestazione a Basso Impatto Allergico

In una riforestazione urbana tradizionale, spesso si scelgono specie anemofile (impollinate dal vento) perché molto resistenti e a crescita rapida. Per un progetto *allergy-friendly*, la strategia si sposta sulla scala OPALS (*Ogren Plant Allergy Scale*), che classifica le piante da 1 a 10 in base al loro potenziale allergenico.

Strategie Chiave:

1. Selezione di specie maschili sterili
2. Selezione del Sesso (Specie Dioiche): per alberi che hanno sessi separati, prediligendo gli esemplari femminili.
3. Biodiversità: evitare le monocolture (come i filari di una sola specie) per ridurre l'entità del picco di concentrazione pollinica.
4. Equilibrio tra riduzione del polline aerodisperso e sicurezza: selezione Entomofila.
   Privilegiare specie entomofile rappresenta una strategia efficace per abbattere la carica pollinica nell'aria, ma richiede una progettazione oculata per non incrementare il rischio di interazioni negative con gli Imenotteri aculeati (api, vespe e calabroni). Sebbene queste piante siano fondamentali per la biodiversità, è necessario adottare un approccio selettivo e strategico:
   -Zonizzazione del Verde: è opportuno collocare le piante ad alta attrattività per gli impollinatori (come la lavanda o il tiglio) in aree meno antropizzate o in corridoi ecologici distanti da ingressi di scuole, ospedali e zone di sosta ravvicinata, dove il rischio di punture accidentali per i soggetti allergici al veleno di insetti sarebbe maggiore.
   -Selezione di Specie a Bassa Attrattività: si possono favorire essenze che, pur essendo tecnicamente entomofile, non richiamano sciami massicci in brevi periodi, oppure piante che fioriscono in momenti dell'anno meno critici per la frequentazione degli spazi aperti.
   -Gestione delle Varietà: in contesti urbani densi, si può optare per varietà ornamentali a fiore doppio (spesso sterili o con meno nettare/polline), che mantengono il vantaggio di non disperdere pollini anemofili pur risultando meno "interessanti" per api e vespe rispetto alle varietà selvatiche.
   In questo modo, la riforestazione urbana persegue il duplice obiettivo di tutelare la salute respiratoria (riducendo gli allergeni dispersi dal vento) e la sicurezza fisica dei cittadini, senza rinunciare ai servizi ecosistemici offerti dagli insetti impollinatori.

Cambiamenti climatici

L'esperienza dell'ondata di calore del 2003 ha suscitato un aumento della consapevolezza dei rischi associati a queste esposizioni e dell'urgenza di mettere in atto misure di prevenzione. Secondo l'OMS, un piano di prevenzione degli effetti del caldo deve basarsi su un sistema di allerta rapida dei rischi associati alle elevate temperature, piani di prevenzione mirati alla popolazione più vulnerabile e modulati sulla base dei livelli di allerta e campagne di comunicazione alla popolazione e formazione agli operatori socio-sanitari (WHO, 2011).

L'Italia è stato uno dei primi Paesi in Europa ad attivare, un programma nazionale di interventi per la previsione e prevenzione degli effetti delle ondate di calore sulla salute: il "Piano Operativo Nazionale per la Prevenzione degli effetti del Caldo sulla Salute" del Ministero della Salute CCM (Ministero della salute, 2019). Il Piano Nazionale si basa sia su sistemi di allarme per la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute, denominati *Heat Health Watch Warning Systems* (HHWWS), operativi nel periodo estivo in 27 città, sia su interventi di prevenzione sanitari e sociali orientati in modo specifico ai sottogruppi di popolazione suscettibili e modulati sui livelli di rischio dei sistemi di allarme. In alcune

città, il piano prevede l'identificazione della popolazione anziana suscettibile agli effetti del caldo (anagrafe degli anziani suscettibili).

In Italia non esistono ancora piani nazionali specifici per la prevenzione degli effetti sanitari e respiratori per altre tipologie di esposizione associate ai cambiamenti climatici, come la siccità o il trasporto di polvere desertica. Tuttavia, alcune misure già attive per i rischi legati al caldo potrebbero essere rimodulate e estese anche a queste esposizioni: il Piano nazionale per la prevenzione degli effetti del caldo sulla salute prevede sistemi di allerta, monitoraggio sanitario e comunicazione del rischio, strumenti utili anche in caso di altri eventi sensibili al clima che possono influenzare la salute. Le politiche di adattamento climatico e i piani di protezione civile includono azioni di informazione e sensibilizzazione che possono essere estese a tutte le esposizioni a eventi meteorologici estremi. La comunicazione preventiva da parte di reti meteo e autorità sanitarie locali, se attiva localmente, costituisce di fatto l'unica misura attiva per ridurre l'esposizione della popolazione a tali esposizioni, in particolare dei soggetti con patologie respiratorie (Ministero della salute, 2019).

Il Ministero della Salute ha inserito nei suoi programmi la promozione delle conoscenze su rischi ambientali e cambiamento climatico, con attenzione ad asma, BPCO e allergie. Il Piano nazionale della prevenzione inserisce ambiente, clima e salute tra i macro-obiettivi del piano. Le politiche regionali di adattamento climatico possono rafforzare la gestione della risorsa idrica, il miglioramento della qualità dell'aria e l'informazione ai cittadini vulnerabili.

Esposizione occupazionale

Raccomandazione per i clinici

Gli specialisti in allergologia e pneumologia hanno un ruolo fondamentale nella gestione delle allergopatie respiratorie correlate con il lavoro:

- possono intuire la presenza di un potenziale fattore di rischio professionale in grado di causare, concausare o aggravare l'allergopatia che hanno diagnosticato. Il loro rapporto fiduciario con il paziente può permettere di superare il suo timore di riferire elementi che potrebbero comportare eventuali ripercussioni sul giudizio di idoneità;
- possono intervenire nella gestione del paziente con allergopatie respiratorie correlate con il lavoro, notoriamente caratterizzato da un controllo più labile della patologia, dedicandogli un'attenzione particolare, personalizzando la periodicità dei controlli e ottimizzando il trattamento farmacologico;
- devono segnalare eventuali allergopatie professionali e istruire eventuali certificazioni di malattia professionale all'INAIL al momento della diagnosi;
- possono fornire al paziente un *counseling* in fase pre-assuntiva e collaborare con il medico competente per migliorare l'interazione tra l'ambiente di lavoro e il lavoratore/paziente;
- possono avere un ruolo sociale nella disseminazione di informazioni a livello della popolazione generale, degli stakeholder istituzionali e degli altri specialisti del settore sugli effetti delle esposizioni a fattori di rischio presenti negli ambienti di lavoro.

Per tale motivo è necessario che vengano forniti strumenti che agevolino questo tipo di interventi, in primis un'adeguata formazione durante il Corso di Studi in Medicina e Chirurgia e durante le scuole di specializzazione e poi nel corso dell'attività professionale sotto forma di educazione continua in medicina.

Raccomandazioni per i pazienti/lavoratori

Un paziente affetto da un'allergopatia respiratoria che ha notato la comparsa dei sintomi o un peggioramento degli stessi correlati con l'attività lavorativa dovrebbe comunicarlo subito al proprio medico di medicina generale, al medico competente e allo specialista allergologo/pneumologo che lo sta seguendo, nell'ottica di prevenire un eventuale peggioramento del quadro clinico e di far emergere un'esposizione che potrebbe rappresentare un rischio anche per gli altri lavoratori. Nel caso in cui il quadro clinico fosse molto complesso o il paziente percepisse di non essere stato adeguatamente gestito, egli può chiedere al proprio medico di medicina generale di essere inviato ad uno degli ambulatori pubblici di medicina del lavoro, attivati generalmente all'interno delle strutture sanitarie pubbliche, per una presa in carico e per un approfondimento del caso.

Il paziente/lavoratore dovrà essere adeguatamente informato dal datore di lavoro sui fattori di rischio presenti in azienda e sui comportamenti da evitare per ridurre il rischio di una esposizione indebita; se ciò non fosse, il paziente/lavoratore potrà rivolgersi al proprio rappresentante dei lavoratori per la sicurezza affinché questo percorso di informazione e formazione venga eseguito in maniera appropriata ed efficace. Il paziente riceverà inoltre informazioni in termini di promozione della salute per evitare quei comportamenti, ad esempio l'abitudine al fumo, che potrebbero avere un effetto negativo aggiuntivo sul suo stato di salute e sulla sua patologia.

Il Fascicolo Sanitario Elettronico: possibili applicazioni di ricerca

Il Fascicolo Sanitario Elettronico (FSE) è istituito per legge per tutti i cittadini italiani: in armonia con quanto stabilito dall'art.11 del D.L. 34/2020, viene alimentato automaticamente con i dati e documenti clinici presenti e trascorsi. Dal 2022 il FSE viene alimentato automaticamente con i dati sanitari, salvo opposizione del cittadino (opzione oscuramento). Il Fascicolo Sanitario 2.0 è la versione aggiornata e potenziata del FSE: una cartella clinica digitale personale, ovvero una evoluzione voluta dal Ministero della Salute per il Servizio Sanitario Nazionale, un motore verso una sanità personalizzata e basata su dati.

Gli organi dello Stato o enti di ricerca possono accedere a dati pseudonimizzati o anonimizzati per programmazione sanitaria, valutazione della qualità delle cure, ricerca scientifica e statistica in campo medico ed epidemiologico, previo iter autorizzativo (comma 2, art 34 -dl 19 maggio 2020).

I dati contenti nel FSE potrebbero auspicabilmente essere oggetto di studi epidemiologici correlati con l'inquinamento outdoor e/o i cambiamenti climatici (malattie infettive emergenti, conseguenze cliniche da ondate di calore, aumento malattie allergiche respiratorie). Incrociando, tramite geolocalizzazione, i dati registrati nel FSE con quelli sulla qualità dell'aria, climatici, pollinici si potrebbero tracciare nuovi casi, aumento delle prescrizioni di determinati farmaci e/o del loro consumo, degli ingressi in pronto soccorso (o delle ospedalizzazioni). Scopo ultimo sarebbe quello di raccogliere dati utili per il cittadino per la prevenzione, sorveglianza, presa in carico clinica. Si potrebbe meglio comprendere quando, dove e in chi aumentano le riacutizzazioni di asma o BPCO incrociando i dati per area geografica, temperature medie, picchi e durata delle ondate di calore, livelli di inquinanti, conte polliniche. Ne esiterebbe un efficace e rapido monitoraggio dei bisogni sanitari, una "clusterizzazione" del rischio clinico, ai fini preventivi primari e secondari.

Infine, previo esplicito consenso del paziente, potrebbe essere attivato un sistema di allerta individualizzato in caso di eventi (superamento soglie inquinanti, picchi pollinici, incendi) in grado di riacutizzare malattie respiratorie registrate, quali l'asma o la BPCO, con un richiamo ad intensificare le terapie o a limitare l'esposizione ambientale.

Infine, nel contesto della registrazione dei dati sensibili del paziente, sarebbe auspicabile la compilazione, non obbligatoria, di alcuni campi in grado di estendere ulteriormente l'indagine anche agli effetti dell'inquinamento indoor, quali a) la presenza di umidità/muffa nell'abitazione (sì/no), b) il tipo di riscaldamento domestico (gas metano/legna/pellet/elettrico). Quindi, il FSE integrato con variabili ambientali potrebbe essere un utile strumento di ricerca nelle discipline di cui si occupano le Società Scientifiche aderenti a questa Task Force, che si rende disponibile per la loro interpretazione.

APPENDICE 1

L'INTERCONNESSIONE TRA ASMA E BRONCOPNEUMOPATIA CRONICA OSTRUTTIVA (BPCO): UN CONTINUUM PATOLOGICO E TERAPEUTICO

Asma e Broncopneumopatia Cronica Ostruttiva (BPCO) sono state a lungo considerate entità nosologiche distinte, definite da caratteristiche fisiopatologiche, cliniche ed epidemiologiche differenti.

L'asma è classicamente descritta come un'infiammazione cronica eosinofila delle vie aeree, caratterizzata da un'ostruzione bronchiale reversibile e iperreattività bronchiale, che si manifesta tipicamente in età giovanile [ginasthma.org, 2025].

La BPCO, d'altra parte, è tradizionalmente associata all'esposizione a lungo termine a sostanze nocive, in primis il fumo di sigaretta, e caratterizzata da un'infiammazione neutrofila e da un'ostruzione bronchiale persistente e progressiva, tipica dell'età adulta e avanzata [goldcopd.org, 2025].

Tuttavia, evidenze cliniche e di ricerca crescenti hanno messo in discussione questa netta separazione, rivelando una significativa sovrapposizione tra le due patologie e suggerendo l'esistenza di un continuum patologico. Questo ha portato alla definizione della cosiddetta "*Asthma-COPD Overlap*" (ACO), una condizione che presenta caratteristiche di entrambe le malattie [ginasthma.org, 2025; goldcopd.org, 2025].

Asma come fattore di rischio per la BPCO

Studi epidemiologici longitudinali hanno dimostrato in modo conclusivo che l'asma, specialmente se ad esordio infantile o di lunga durata, o in pazienti nati prematuramente, costituisce un fattore di rischio indipendente e significativo per lo sviluppo di BPCO in età adulta e avanzata.

I meccanismi alla base di questa associazione sono molteplici e complessi [Agustí et al., 2019]. L'infiammazione cronica persistente, anche se di basso grado, tipica dell'asma, può indurre un rimodellamento delle vie aeree. Questo processo comporta alterazioni strutturali permanenti, come l'ispessimento della membrana basale reticolare, la fibrosi subepiteliale e l'iperplasia della muscolatura liscia bronchiale.

Tali alterazioni, nel tempo, possono portare a una perdita della reversibilità dell'ostruzione bronchiale, evolvendo verso una limitazione al flusso aereo fissa e progressiva, che è il segno distintivo della BPCO [Pavord et al., 2018]. In pratica, l'infiammazione cronica "asma-correlata" accelera il declino della funzione polmonare nel corso della vita, predisponendo l'individuo a raggiungere la soglia diagnostica per la BPCO in età più precoce, specialmente in presenza di altri fattori di rischio come il fumo di sigaretta che peraltro comportano un rischio di maggiore mortalità per cause respiratorie [Lemmetyinen et al., 2018; Modak et al., 2025].

Dal concetto di ACO all'approccio per "tratti trattabili"

Il riconoscimento dell'ACO ha evidenziato i limiti di un approccio diagnostico e terapeutico rigidamente categoriale [Leung et al., 2017]. La gestione dei pazienti che si collocano in questa zona di sovrapposizione è spesso complessa, poiché le linee guida tradizionali per l'asma o la BPCO potrebbero non essere pienamente adeguate.

Per superare questa impasse, è stato proposto un cambio di paradigma: passare da una gestione basata sull'etichetta diagnostica (asma o BPCO) a un approccio multidimensionale basato sui "tratti trattabili" (*Treatable Traits*). Questo modello personalizzato si concentra sull'identificazione e sul trattamento delle caratteristiche fenotipiche (cliniche) ed endotipiche (meccanicistiche) specifiche di ogni singolo paziente, indipendentemente dalla diagnosi formale [McDonald et al., 2019].

I tratti trattabili possono essere suddivisi in diverse categorie:

- *Tratti polmonari:*
    - Infiammazione di Tipo 2 (T2): Caratterizzata da eosinofilia nel sangue o nell'espettorato e da un'elevata frazione di ossido nitrico esalato (FeNO). Questo tratto, tipico dell'asma allergico, risponde bene alla terapia con corticosteroidi inalatori (ICS) e farmaci biologici mirati (es. anti-IgE, anti-IL5/5R, anti-IL4/13R).
    - Broncodilatazione significativa: Una marcata reversibilità del FEV1 dopo somministrazione di un broncodilatatore, che suggerisce un beneficio da una terapia ottimizzata con broncodilatatori a lunga durata d'azione (LABA/LAMA).
    - Iperreattività bronchiale: Una sensibilità accentuata a stimoli broncocostrittori.
    - Riacutizzazioni frequenti: Che possono avere trigger infettivi (batterici, virali) o infiammatori (eosinofili), richiedendo approcci terapeutici differenziati (es. antibiotici, steroidi sistemici, o terapie preventive mirate).
    - Produzione cronica di espettorato: Spesso associata a un'infiammazione neutrofila e a infezioni batteriche croniche.
- *Tratti extra-polmonari e comorbidità:*
    - Fumo di sigaretta: Richiede interventi mirati per la cessazione.
    - Obesità: Che impatta sulla meccanica respiratoria e sullo stato infiammatorio sistemico.
    - Disfunzione muscolare scheletrica e decondizionamento: Che necessitano di programmi di riabilitazione polmonare.
    - Malattie cardiovascolari, reflusso gastroesofageo, ansia e depressione: Comorbidità che influenzano la sintomatologia e la qualità della vita e che richiedono una gestione integrata.

Questo approccio permette di decostruire la complessità diagnostica e di costruire un piano terapeutico su misura.

Ad esempio, un paziente anziano, fumatore, con una diagnosi di BPCO ma con una conta eosinofilica ematica elevata e tendenza alle riacutizzazioni, beneficerà di una terapia che include corticosteroidi inalatori, tipicamente riservati all'asma, oltre alla terapia broncodilatatrice standard per la BPCO [goldcopd.org/2025].

Al contrario, un paziente con asma di lunga data e ostruzione fissa, ma senza evidenza di infiammazione T2, potrebbe non trarre beneficio da alte dosi di ICS e richiedere un'intensificazione della terapia broncodilatatrice [ginasthma.org, 2025; McDonald et al., 2024].

Nella **Tabella 16** sono riportate le caratteristiche principali di Asma, BPCO e ACO.

Tabella 16. Caratteristiche principali di Asma, BPCO e ACO.

Caratteristica clinica e fisiopatologica	Asma (forma classica)	BPCO (forma classica)	ACO (Sovrapposizione Asma-BPCO)
Eziologia / Fattori di rischio principali	Predisposizione genetica, allergie, fattori ambientali precoci.	Fumo di sigaretta (>80% dei casi), esposizioni occupazionali,	Spesso asma di lunga data (fattore di rischio) sovrapposta a fumo di sigaretta o esposizioni nocive.

		inquinamento, deficit di alfa1-antitripsina.	
Età d'Esordio Tipica	Generalmente in età pediatrica o giovanile.	Generalmente dopo i 40 anni.	Spesso > 40 anni, ma con una storia di sintomi respiratori (asma) iniziata in età più giovane.
Tipo di infiammazione prevalente	Eosinofila (Tipo 2), mastocitaria.	Neutrofila, macrofagica.	Mista (spesso eosinofila e neutrofila).
Sede principale del danno	Prevalentemente le vie aeree (bronchi e bronchioli).	Parenchima polmonare (enfisema) e piccole vie aeree (bronchiolite ostruttiva).	Sia vie aeree che, potenzialmente, parenchima (variabile).
Limitazione al flusso aereo (Spirometria)	Ostruzione reversibile (completamente o quasi) dopo broncodilatatore. Elevata variabilità.	Ostruzione persistente e progressiva (scarsamente o non reversibile). FEV_1/FVC post-broncodilatatore < 0.70.	Ostruzione persistente (come BPCO) ma con significativa reversibilità (come Asma).
Sintomatologia prevalente	Episodica: wheezing (sibilo), dispnea, tosse (spesso notturna o dopo sforzo). Periodi intercritici asintomatici.	Persistente e progressiva: dispnea da sforzo, tosse cronica produttiva.	Sintomi persistenti (dispnea, tosse) con marcata variabilità giornaliera e/o riacutizzazioni frequenti (spesso più simili all'asma).
Risposta ai corticosteroidi inalatori (ICS)	Generalmente eccellente. Terapia di prima linea per il controllo.	Generalmente scarsa o limitata (se non in presenza di eosinofilia o riacutizzazioni frequenti).	Generalmente buona (migliore rispetto alla BPCO "pura"), specialmente se presenti "tratti T2" (es. eosinofili).

La visione dell'asma e della BPCO come due patologie ostruttive croniche espressione di meccanismi eziopatogenetici differenti ma talvolta con un *overlap* funzionale e clinico, con l'asma che rappresenta un importante fattore di rischio per lo sviluppo di ostruzione bronchiale fissa, ha trasformato la nostra comprensione delle malattie respiratorie croniche.

L'adozione di un approccio gestionale multidimensionale basato sui "tratti trattabili" consente una medicina di precisione, superando le limitazioni delle etichette diagnostiche tradizionali.

Questo modello permette di personalizzare il trattamento, ottimizzando l'efficacia terapeutica e migliorando gli *outcome* clinici per i pazienti lungo tutto lo spettro delle malattie polmonari ostruttive.

APPENDICE 2

METODI IN AEROBIOLOGIA

Reti di monitoraggio aerobiologico in Italia

In Italia, il monitoraggio pollinico è effettuato attraverso centri di monitoraggio distribuiti sul territorio nazionale. I dati confluiscono in network nazionali (POLLnet, R.I.M.A.@, AAIITO). I Centri di monitoraggio spesso coordinano più stazioni di campionamento all'interno del territorio regionale. Centri di monitoraggio possono confluire i dati ad una o più Reti nazionali.

I centri di monitoraggio italiani fanno capo al Sistema delle Agenzie regionali di tutela dell'ambiente (ARPA), ASL, poli ospedalieri, Università, Istituti di Ricerca, Società scientifiche.

Il riferimento storico è rappresentato dalla rete R.I.M.A.@ (Rete Italiana di Monitoraggio Aerobiologico). La R.I.M.A.@, che riferisce alla Società Italiana di Aerobiologia Medicina e Ambiente (SIAMA), opera secondo la norma tecnica europea (UNI EN 16868:2019) e conferisce i dati dei propri Centri alla EAN (*Europaean Aerobiology Network*), con sede a Vienna.

Tecniche di campionamento

In conformità con la norma tecnica UNI EN 16868:2019, il monitoraggio aerobiologico è condotto principalmente secondo il metodo volumetrico di Hirst**.** La norma definisce la tipologia di strumento (campionatore d'aria volumetrico tipo Hirst), altezza e luogo di installazione (sito rappresentativo dell'area e criteri di esposizione), le procedure di campionamento (H24 senza interruzione durante l'anno), il protocollo di preparazione dei campioni, l'analisi microscopica dei campioni e il controllo di qualità dei dati. I campioni del monitoraggio aerobiologico sono analizzati esclusivamente da personale qualificato, mediante criteri morfologici discriminanti per l'identificazione del genere di appartenenza dei pollini e delle spore fungine presenti nel campione. I risultati sono espressi come concentrazione giornaliera (granuli/m^3).

Recentemente, sono stati considerati sistemi innovativi di monitoraggio automatico basati su tecniche di imaging, fluorescenza e algoritmi di apprendimento automatico, in grado di fornire dati ad alta risoluzione temporale e in tempo quasi reale [Erb et al., 2024]. In assenza di una norma tecnica specifica per tali strumenti, i dati prodotti dai sistemi automatici sono stati confrontati con quelli ottenuti mediante il metodo Hirst, utilizzato come riferimento normativo per la calibrazione e la validazione delle prestazioni [Suanno et al., 2022; Farooq et al., 2025; Bastl et al., 2023].

Analisi e comunicazione dei dati

I dati del monitoraggio aerobiologico, oltre a rappresentare una fonte scientifica di estremo interesse interdisciplinare, vengono elaborati su base giornaliera e settimanale per una risultante grafica semplice, immediata e diffusibile sotto forma di calendari di concentrazione, bollettini informativi e previsioni a breve termine.

Queste informazioni sono rese disponibili tramite i *siti web* dei canali ufficiali e comunicazioni specifiche nei centri allergologici; tuttavia, la diffusione di dati non è uniforme sul territorio nazionale.

Recente il proliferare di App dedicate, la cui comunicazione non è sempre controllata né attendibile.

Rete di monitoraggio aerobiologico automatico: l'esempio della Svizzera

Oltre alle reti tradizionali basate su campionamento volumetrico manuale, la Svizzera ha sviluppato una rete nazionale di monitoraggio pollinico che utilizza strumenti automatici con rilevazioni in tempo reale, rappresentando un modello innovativo a livello europeo e mondiale [Aerobiology].

La rete è gestita da MeteoSwiss, l'Ufficio federale di meteorologia e climatologia del Paese, e consiste in circa 14 stazioni di monitoraggio distribuite nelle principali zone climatiche e vegetative svizzere. Questi strumenti automatici sono dotati di tecnologie avanzate — come sensori laser e algoritmi di intelligenza artificiale — che identificano e conteggiano i granuli pollinici nell'aria con risoluzione oraria; in alcuni casi, vi è la possibilità di dati disponibili anche pochi minuti dopo la misurazione [pollenundallergie.ch].

Il sistema automatizzato svizzero impiega dispositivi come lo *Swisens Poleno*, che combina captazione del bioaerosol, riconoscimento basato su algoritmi e trasmissione immediata dei dati, consentendo un monitoraggio continuo e dinamico dei pollini aerodispersi [swisens.ch].

I vantaggi di questo approccio includono:

- Accesso in tempo reale alle concentrazioni polliniche, con aggiornamenti orari che migliorano la tempestività delle informazioni disponibili per pazienti e operatori sanitari [pollenundallergie.ch];
- Migliore qualità delle previsioni polliniche, grazie alla rapidità e alla frequenza delle misurazioni [Aerobiology];
- Supporto alla ricerca scientifica e alle analisi delle relazioni tra esposizione pollinica e reazioni allergiche a diverse scale temporali [MeteoSvizzera].

Questa infrastruttura rappresenta un importante passo avanti rispetto ai metodi tradizionali, che prevedono analisi settimanali dei campioni gestite esclusivamente da un operatore specializzato, e costituisce un esempio di come l'integrazione tra tecnologie digitali e scienze ambientali possa migliorare significativamente la fornitura di dati ambientali in tempo reale per la salute pubblica [Aerobiology].

APPENDICE 3

L'APPROCCIO EPIDEMIOLOGICO APPLICATO ALLO STUDIO DEGLI EFFETTI DELLE ESPOSIZIONI AMBIENTALI SULLA SALUTE

Lo studio dei possibili effetti delle esposizioni ambientali sulla salute richiede un metodo epidemiologico rigoroso per confrontare l'occorrenza di un esito di salute in un gruppo esposto e non esposto o per diversi livelli di esposizione [Bonita et al., 2006].

L'esposizione in questi casi non può essere assegnata sperimentalmente dal ricercatore (i.e. studi sperimentali, come i trial randomizzati controllati) ma è osservata, così come avviene nella popolazione (i.e. studi osservazionali*)*. La scelta dei gruppi a confronto di esposti e non esposti, la misura dell'esposizione e della malattia devono essere valide o prive di errori sistematici, utilizzando metodi standardizzati e oggettivi nelle misure.

In molti casi l'esposizione è valutata a livello di area (es. centraline di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico) come proxy dell'esposizione individuale. Non misurare l'esposizione effettiva a livello individuale può introdurre misclassificazione (i.e. classificazione errata di dati, individui o variabili, e.g. esposti/non esposti), ma più si aumenta la precisione della misura (es. modelli a più elevata risoluzione spaziale), più l'entità del bias che ne deriva è contenuta.

L'associazione viene di solito stimata come Rischio Relativo (RR), calcolato come il rapporto tra l'incidenza di malattia nel gruppo di popolazione esposta al fattore di rischio e quella nel gruppo non esposto:

- Se l'incidenza negli esposti è maggiore rispetto all'incidenza nei non esposti, il RR è maggiore del valore unitario e suggerisce un effetto avverso dell'esposizione sul rischio di malattia, ovvero aumenta il rischio di sviluppare la malattia negli esposti.
- Se l'incidenza negli esposti è minore rispetto all'incidenza nei non esposti, RR è minore del valore unitario ($0<RR<1$) e suggerisce un effetto protettivo dell'esposizione sul rischio di malattia, ovvero diminuisce il rischio di sviluppare la malattia negli esposti.

In molti casi, il Rischio Relativo è espresso in termini di incremento (o diminuzione) percentuale che misura, assumendo pari a 100 il rischio dei non esposti, di quanto, in termini percentuali, il rischio nel gruppo esposto è maggiore (o minore) rispetto al rischio dei non esposti.

Per ottenere una stima valida dell'associazione tra esposizione ambientale e salute è fondamentale controllare per i potenziali fattori di confondimento, ossia variabili associate sia all'esposizione che all'esito, che potrebbero portare a sovra- o sotto-stimare l'effetto osservato.

Quando un fattore di rischio ambientale viene denominato causa di malattia?

Secondo Kenneth J. Rothman e Sander Greenland [Rothman et al., 2004], una causa di malattia è un evento, condizione o caratteristica che precede la malattia e che, se non si fosse verificata, la malattia non si sarebbe verificata in quel momento o non si sarebbe verificata affatto, al netto di tutti gli altri fattori.

Per determinare la causalità di una relazione tra fattore di rischio e malattia si applicano i principi di Hill [Hill, 1965]: la temporalità, ovvero il fattore di rischio deve precedere la malattia; la relazione dose-risposta, ovvero una maggiore esposizione al fattore porta a un rischio maggiore; la plausibilità biologica, ovvero che deve esistere un meccanismo biologico che supporti l'associazione; e altri criteri come la forza, la coerenza, la specificità e le evidenze sperimentali e la consistenza dell'associazione in popolazioni diverse e in tempi diversi. Quest'ultimo criterio è particolarmente rilevante perché implica

che da un singolo studio non è possibile concludere per un'associazione causale con la malattia, ma questa può derivare solo da un'analisi dell'intero insieme delle evidenze disponibili, valutate in modo critico, per tenere conto degli eventuali limiti (errori casuali e sistematici) degli studi.

Gli studi epidemiologici eziologici utilizzano metodi statistici avanzati per stimare se le differenze nel rischio di malattia tra esposti e non esposti sono dovute al caso o se invece supportano l'ipotesi di una relazione causale.

Disegni di studio in epidemiologia ambientale

L'approccio più utilizzato per studiare gli effetti a breve termine (ad es. per il caldo) di un'esposizione ambientale è quello di serie temporale. Sono studi di popolazione che correlano la variazione giornaliera di un fattore ambientale (es. inquinamento atmosferico) alla variazione giornaliera nei casi di malattia.

Questi studi sono basati su dati di esito aggregati, con l'esposizione misurata per una certa area geografica (es. città) e quindi come valore medio della popolazione, che stimano l'effetto come Rischio Relativo di mortalità giornaliera (o altro esito) (come numero giornaliero di eventi) associata ad un incremento nella concentrazione giornaliera del fattore di rischio (stima non a livello individuale, ma ecologico) e permettono di valutare l'effetto dell'esposizione a distanza di giorni (ritardo temporale o lag).

Per valutare gli effetti a lungo termine di un'esposizione ambientale, un disegno di studio comunemente adottato è lo studio di coorte che coinvolge un campione di popolazione, stratificando il campione in base al livello di esposizione ad un certo fattore ambientale (es. inquinamento atmosferico) e seguendo la popolazione nel tempo per stimare l'incidenza di malattia negli esposti e non esposti (o per diversi livelli di esposizione). Il problema principale di questi studi è la possibile uscita di partecipanti dallo studio che potrebbe essere influenzata dal loro rischio di malattia.

Anche lo studio di coorte permette di stimare un rischio relativo dal confronto dell'incidenza di malattia negli esposti e nei non esposti. Importanti sono gli studi di coorte di nati che arruolano coorti di bambini sin dalla nascita per valutare l'effetto delle esposizioni precoci su esiti precoci e/o subclinici (e.g. biomarcatori e modificazioni epigenetiche).

Un altro studio eziologico comune in epidemiologia ambientale, soprattutto nel caso di malattie rare, è lo studio caso-controllo che confronta i fattori di rischio negli individui che sviluppano l'esito e nei controlli (campionati dalla popolazione che ha dato origine ai casi).

Un altro studio molto utilizzato, ma a scopo descrittivo e non causale, è lo studio trasversale: che misura la prevalenza di malattia e rileva simultaneamente le possibili esposizioni, e per questo non permette di stabilire se l'esposizione sia avvenuta prima della malattia o viceversa, ma suggerisce ipotesi da testare in studi eziologici.

In ultimo, per valutare il principio di Hill di consistenza dell'associazione in popolazioni diverse e in tempi diversi, un disegno di studio di estrema importanza è la revisione sistematica [Centro Cochrane Italiano, 2006]. Una revisione sistematica si basa su metodi scientificamente rigorosi e riproducibili per sintetizzare gli studi su una specifica associazione tra esposizione (o intervento) e una malattia, per capire se le evidenze di associazione (o assenza di associazione) sono sufficienti o sono necessari ulteriori studi.

La sintesi delle evidenze deve seguire criteri di sistematicità, trasparenza e riproducibilità. Attraverso queste sintesi è possibile dare una valutazione complessiva dell'associazione tra fattore di rischio e malattia, come avviene nelle monografie dell'International Agency for Cancer Research (IARC), trasparente e fondata scientificamente. Un metodo rigoroso di sintesi, ancora poco applicato in campo ambientale, è il metodo GRADE che serve a trasformare le evidenze epidemiologiche in

raccomandazioni cliniche, tenendo conto della qualità delle prove disponibili e della validità esterna [Guyatt et al., 2008].

BIBLIOGRAFIA

1. Abel-Fernández E, Martínez MJ, Galán T, et al. Going over Fungal Allergy: Alternaria alternata and Its Allergens. JoF 2023;9:582.
2. Aerobiology. Società svizzera. https://www.aerobiologie.ch/Swiss-Pollen-Network/?utm_source=chatgpt.com.
3. Agache I, Annesi-Maesano I, Cecchi Let al. EAACI guidelines on environmental science for allergy and asthma: The impact of short-term exposure to outdoor air pollutants on asthma-related outcomes and recommendations for mitigation measures. Allergy 2024a;79:1656-1686.
4. Agache I, Akdis C, Akdis M, et al. Climate change and allergic diseases: A scoping review. The Journal of Climate Change and Health 2024b;20:100350.
5. Agache I, Annesi-Maesano I, Cecchi L, et al. EAACI Guidelines on Environmental Science for Allergy and Asthma—Recommendations on the Impact of Indoor Air Pollutants on the Risk of New-Onset Asthma and on Asthma-Related Outcomes. Allergy 2025;80:651-676.
6. Agustí A, Hogg JC. Update on the Pathogenesis of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. N Engl J Med 2019;381(13):1248-1256.
7. Alessandrini ER, Faustini A, Chiusolo M, et al. Air pollution and mortality in twenty-five Italian cities: results of the EpiAir2 project. Epidemiol Prev 2013;37:220-229.
8. Alford KL, Kumar N. Pulmonary Health Effects of Indoor Volatile Organic Compounds. Int J Environ Res Public Health 2021;18:1578.
9. Allena N, Anto AM, Espinosa L, et al. Addressing Environmental Factors in COPD: The Role of HEPA Filters in Indoor Air Quality. Int J Respir Pulm Med 2025;12:194.
10. Alsulami A, Youn Soo J, Longxiang L, et al. Induces IL-6 Mediated Airway Inflammation In Non-Sensitized Children with Asthma. J Allergy Clinical Immunol 2025;155:AB112
11. Analitis A, De' Donato F, Scortichini M, et al. Synergistic Effects of Ambient Temperature and Air Pollution on Health in Europe: Results from the PHASE Project. Int J Environ Res Public Health 2018;15:1856.
12. Anees-Hill S, Douglas P, Pashley CH, et al. A systematic review of outdoor airborne fungal spore seasonality across Europe and the implications for health. Science of The Total Environment 2022;818:151716.
13. Anenberg SC, Haines S, Wang E, et al. Synergistic health effects of air pollution, temperature, and pollen exposure: a systematic review of epidemiological evidence. Environ Health 2020;19:130.
14. Annesi-Maesano I, Cecchi L, Biagioni B, et al. Is exposure to pollen a risk factor for moderate and severe asthma exacerbations? Allergy 2023;78:2121-2147.
15. Annesi-Maesano I, Bayram H, Cecchi L, et al. Natural disasters and respiratory health. Eur Respir J 2025;66:2402563.
16. ARPA Piemonte. Rapporto aerobiologico regionale: Pollini e spore fungine. Torino: Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale; 2022.
17. Avdeeva KS, Fokkens WJ, Segboer CL, et al. The prevalence of non-allergic rhinitis phenotypes in the general population: A cross-sectional study. Allergy 2022;77:2163-2174.
18. Baccini M, Biggeri A, Accetta G, et al. Heat effects on mortality in 15 European cities. Epidemiology 2008;19:711-719.

19. Balmes J, Becklake M, Blanc P, et al; Environmental and Occupational Health Assembly, American Thoracic Society. American Thoracic Society Statement: Occupational contribution to the burden of airway disease. Am J Respir Crit Care Med 2003;167:787-797.
20. Baloch RM, Maesano CN, Christoffersen J, et al, SINPHONIE Study group. Indoor air pollution, physical and comfort parameters related to schoolchildren's health: Data from the European SINPHONIE study. Science of Total Environ 2020;739:139870.
21. Baloch RM, Magyar D, Rudnai P, et al. Endotoxin exposure associated with respiratory health among European schoolchildren: The SINPHONIE study. Pulmonology 2025;31:2511417.
22. Banca data INAIL (open data INAIL). https://www.opendatainail.it.
23. Banzon TM, Jung YS, Greco KF et al. Biomarkers of inflammation associated with radon exposure in the School Inner-City Asthma Study (SICAS). J Allergy Clin Immunol 2025;155(6):1866-1872.
24. Bastl M, Bastl K, Dirr L, et al. Methods and standards of pollen monitoring—significance of pollen measurements at different altitudes. Allergo Journal International 2023;32:162–166.
25. Baur X, Sigsgaard T, Aasen TB, et al; ERS Task Force on the Management of Work-related Asthma. Guidelines for the management of work-related asthma. Eur Respir J 2012;39:529-545.
26. Beggs PJ. Thunderstorm Asthma and Climate Change. JAMA 2024;331:878-879.
27. Blanc PD, Annesi-Maesano I, Balmes JR, et al. The Occupational Burden of Nonmalignant Respiratory Diseases. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Statement. Am J Respir Crit Care Med 2019;199:1312-1334.
28. Bonato M, Gallo E, Bazzan E, et al. Air Pollution Relates to Airway Pathology in Children with Wheezing. Ann Am Thorac Soc 2021a;18:2033-2040.
29. Bonato M, Gallo E, Turrin M, et al. Air Pollution Exposure Impairs Airway Epithelium IFN-β Expression in Pre-School Children. Front Immunol 2021b;12:731968.
30. Bonita R, Beaglehole R, Kjellström T. Basic Epidemiology (2ª ed.). Ginevra: Organizzazione Mondiale della Sanità 2006. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43541/9241547073_eng.pdf
31. Bono R, Romanazzi V, Bellisario V, et al. Air pollution, aeroallergens and admissions to pediatric emergency room for respiratory reasons in Turin, northwestern Italy. BMC Public Health 2016;16:722.
32. Bonofiglio T, Orlandi F, Ruga L, et al. Climate change impact on the olive pollen season in Mediterranean areas of Italy: air quality in late spring from an allergenic point of view. Environ Monit Assess 2013;185:877-90.
33. Bonomo S, Marchetti P, Fasola S, et al. Asthma incidence can be influenced by climate change in Italy: findings from the GEIRD study—a climatological and epidemiological assessment. Sci Rep 2023;13:19047.
34. Bosch-Cano F, Bernard N, Sudre B, et al. Human exposure to allergenic pollens: a comparison between urban and rural areas. Environ Res 2011;111:619-25.
35. Bradford Hill A. The environment and disease: association or causation? Proceedings of the Royal Society of. Medicine 1965.
36. Brunekreef B, Annesi-Maesano I, Ayres JG, et al. Ten principles for clean air. Eur Respir J 2012;39:525-528.

37. Bunker A, Wildenhain J, Vandenbergh A, et al. Effects of Air Temperature on Climate-Sensitive Mortality and Morbidity Outcomes in the Elderly; a Systematic Review and Meta-analysis of Epidemiological Evidence. EBioMedicine 2016;6:258-268.
38. Calastrini F, Messeri G, Orlandi A. Long-Range Mineral Dust Transport Events in Mediterranean Countries. Air 2024;2:444–467.
39. Cenci-Goga BT, Tedeschini E, Costanzi E, et al. Correlation between Aerosol Particulates, Carcass Dirtiness, and Hygiene Indicators of Bovine Carcasses in the Abattoir Environment: Results of a Study in Italy. Microbiology Research 2024;15:598–613.
40. Centro Allergie Svizzera. pollenundallergie.ch.
41. Centro Cochrane Italiano. Revisioni sistematiche – Breve guida all'uso. 2006. Milano: Centro Cochrane Italiano. https://www.cochrane.it/sites/cochrane.it/files/uploads/guidausorevisioni.pdf
42. Centro Euro-Mediterraneo sui cambiamenti climatici. Scenari Climatici per l'Italia. 2026. https://www.cmcc.it/it/scenari-climatici-per-litalia.
43. Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie. Ministero della salute. Piano Operativo Nazionale per la Prevenzione degli effetti del Caldo sulla Salute 2019. https://www.salute.gov.it/new/sites/default/files/imported/C_17_pubblicazioni_2867_allegato.pdf
44. Cheng J, Xu Z, Bambrick H, Prescott V, et al. Cardiorespiratory effects of heatwaves: A systematic review and meta-analysis of global epidemiological evidence. Environ Res 2019;177:108610.
45. Cibella F, Cuttitta G, Della Maggiore R, et al. Effect of indoor nitrogen dioxide on lung function in urban environment. Environ Res 2015;138:8-16.
46. Cilluffo G, Ferrante G, Fasola S, et al.. Association between Asthma Control and Exposure to Greenness and Other Outdoor and Indoor Environmental Factors: A Longitudinal Study on a Cohort of Asthmatic Children. Int J Environ Res Public Health 2022;19:512.
47. Cilluffo G, Sottile G, Ferrante G, et al. A comprehensive environmental exposure indicator and respiratory health in asthmatic children: a case study. Environ Ecol Stat 2024;31:297–315.
48. CNR-ISAC. Osservatorio Pollini Italia: Rapporto annuale sul monitoraggio aerobiologico nazionale. Bologna: Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima; 2023.
49. D'Amato G, Cecchi L, D'Amato M, et al. Climate change and respiratory diseases. Eur Respir Rev 2014;23:161-169.
50. D'Amato G, Vitale C, D'Amato M, et al. Thunderstorm-related asthma: what happens and why. Clin Exp Allergy 2016;46:390-396.
51. D'Amato G, Tedeschini E, Frenguelli G, et al. Allergens as trigger factors for allergic respiratory diseases and severe asthma during thunderstorms in pollen season. Aerobiologia 2019;35:379–82.
52. D'Amato G, Annesi-Maesano I, Urrutia-Pereira M, et al. Thunderstorm allergy and asthma: state of the art. Multidiscip Respir Med 2021;16:806.
53. D'Amato G, Chong-Neto HJ, Alvarez-Castellanos P, et al. Climate change, air pollution, and biodiversity in allergic respiratory diseases: A call to action for the next decade. Allergy 2022;77:1910–1923.
54. Damialis A, Gilles S, Sofiev M, et al. Higher airborne pollen concentrations correlated with increased SARS-CoV-2 infection rates, as evidenced from 31 countries across the globe. Proc Natl Acad Sci USA 2021;118:e2019034118.

55. de Marco R, Cappa V, Accordini S, et al; GEIRD Study Group. Trends in the prevalence of asthma and allergic rhinitis in Italy between 1991 and 2010. Eur Respir J 2012;39:883-892.
56. Di Blasi C, Stafoggia M, Gariazzo C, et al, Gruppo Collaborativo BIGEPI. Impatto del caldo e del freddo sulla mortalità per causa in Italia [Impact of heat and cold on cause-specific mortality in Italy]. Epidemiologia e prevenzione 2023;47:19–26.
57. Di Cicco M, Del Tufo E, Fasola S, et al. The Effect of Outdoor Aeroallergens on Asthma Hospitalizations in Children in North-Western Tuscany, Italy. Int J Environ Res Public Health 2022;19:3586.
58. D'Ippoliti D, Michelozzi P, Marino C, et al. The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. Environ Health 2010;9:37.
59. DIRETTIVA (UE) 2024/2881 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 23 ottobre 2024 relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402881.
60. Dondi A, Carbone C, Manieri E, et al. Outdoor Air Pollution and Childhood Respiratory Disease: The Role of Oxidative Stress. Int J Mol Sci 2023;24:4345.
61. Erb S, Graf E, Zeder Y, et al. Real-time pollen identification using holographic imaging and fluorescence measurements. Atmospheric Measurement Techniques 2024;17:441–459.
62. Erbas B, Jazayeri M, Lambert KA, et al. Outdoor pollen is a trigger of child and adolescent asthma emergency department presentations: A systematic review and meta-analysis. Allergy 2018;73:1632-1641.
63. Essa YH, Hirschi M, Thiery W et al. Drought characteristics in Mediterranean under future climate change. npj Clim Atmos Sci 2023;6:133.
64. European Environment Agency 2022. Air quality in Europe - 2022 report. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-in-europe-2022.
65. European Environment Agency 2025a. Zero pollution monitoring and outlook. 2025. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/zero-pollution-monitoring-and-outlook-report.
66. European Environment Agency 2025b. Harm to human health from air pollution in Europe: burden of disease status, 2025. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution-burden-of-disease-status-2025
67. Farooq Q, Oteros J, Galán C. Advancing in the pollen frontier: A comprehensive evaluation and meta-analysis of automatic pollen monitoring systems. Aerobiologia 2025;41:527–546.
68. Fasola S, Maio S, Baldacci S, et al. Effects of particulate matter on the incidence of respiratory diseases in the pisan longitudinal study. Int J Environ Res Public Health 2020;17:2540.
69. Faustini A, Stafoggia M, Colais P, et al; EpiAir Collaborative Group. Air pollution and multiple acute respiratory outcomes. Eur Respir J 2013;42:304-313.
70. Galán C, Smith M, Damialis A, et al; EAS QC Working Group. Airborne fungal spore monitoring: Between analyst proficiency testing. Aerobiologia 2021;37:351–361.
71. Gariazzo C, Carlino G, Silibello C, et al. A multi-city air pollution population exposure study: combined use of chemical-transport and random-forest models with dynamic population data. Sci Total Environ 2020;724:138102.
72. Gariazzo C, Renzi M, Marinaccio A, et al. Association between short-term exposure to air pollutants and cause-specific daily mortality in Italy. A nationwide analysis. Environ Res 2023;216:114676

73. Gern JE, Schwartz J, Yee J, et al. Immune development in urban children and its relationship to environmental exposures, allergic sensitization, and asthma. J Allergy Clin Immunol 2025:S0091-6749(25)00955-8.
74. Ghiani A, Aina R, Asero R, et al. Ragweed pollen collected along high-traffic roads shows a higher allergenicity than pollen sampled in vegetated areas. Allergy 2012;67:887–94.
75. Giorato M, Frenguelli G, Tedeschini E. Aerobiological monitoring and pollen-related allergic diseases: Current trends and future perspectives. Atmosphere 2020*;*11:1171.
76. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention https://ginasthma.org/2025-gina-strategy-report/.
77. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD). Global strategy for prevention, diagnosis and management of COPD: 2025 Report. https://goldcopd.org/2025-gold-report/.
78. Grace MS, Baxter M, Dubuis E, et al. Transient receptor potential (TRP) channels in the airway: role in airway disease. Br J Pharmacol 2014;171:2593-2607.
79. Green D, Bambrick H, Tait P, et al. Differential Effects of Temperature Extremes on Hospital Admission Rates for Respiratory Disease between Indigenous and Non-Indigenous Australians in the Northern Territory. Int J Environ Res Public Health 2015;12:15352-15365.
80. Grewling Ł, Bogawski P, Kryza M, et al. Concomitant occurrence of anthropogenic air pollutants, mineral dust and fungal spores during long-distance transport of ragweed pollen. Environ Pollut 2019;254:112948.
81. Griffin DW. Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health. Clin Microbiol Rev 2007;20:459-477.
82. Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, et al. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. BMJ 2008;336:924–926.
83. Haahtela T, O'Mahony L, Traidl-Hoffmann C, et al. EAACI Guidelines on the Importance of Green Space in Urban Environments for Allergy and Asthma Prevention. Allergy 2026;81:635-650.
84. Han A, Deng S, Yu J, et al. Asthma triggered by extreme temperatures: From epidemiological evidence to biological plausibility. Environ Res 2023;216:114489.
85. Hansel NN, McCormack MC, Kim V. The Effects of Air Pollution and Temperature on COPD. COPD 2016;13:372-9.
86. Hayes D Jr, Collins PB, Khosravi M, et al. Bronchoconstriction triggered by breathing hot humid air in patients with asthma: role of cholinergic reflex. Am J Respir Crit Care Med 2012;185:1190-1196.
87. Head JR, Sondermeyer-Cooksey G, Heaney AK, et al. Effects of precipitation, heat, and drought on incidence and expansion of coccidioidomycosis in western USA: a longitudinal surveillance study. Lancet Planet Health 2022;6:e793-e803.
88. Health Effects Institute. State of Global Air 2024. https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2024.
89. Health Effects Institute. State of Global Air 2025. https://www.stateofglobalair.org/news-events/2025/new-state-global-air-2025-report-shows-nearly-nine-ten-global-air-pollution-deaths.
90. Hoffmann C, Maglakelidze M, von Schneidemesser E, et al. Asthma and COPD exacerbation in relation to outdoor air pollution in the metropolitan area of Berlin, Germany. Respir Res 2022;23:64.

91. Holm M, Schioler L, Dahlman-Hoglund A, et al. Occupational exposures to inorganic dust are associated with emphysema: the SCAPIS cohort. Occup Environ Med 2025:oemed-2025-110140.
92. Hospers L, Dillon GA, McLachlan AJ, et al. The effect of prescription and over-the-counter medications on core temperature in adults during heat stress: a systematic review and meta-analysis. EClinicalMedicin. 2024;77:102886.
93. Idrose NS, Walters EH, Zhang J, et al. Outdoor pollen-related changes in lung function and markers of airway inflammation: A systematic review and meta-analysis. Clin Exp Allergy 2021;51:636-653.
94. Indagine sul Radon 1989–1996 ISS https://www.epicentro.iss.it/radon/documentazione-italia
95. International Agency for Research on Cancer (IARC): https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20126.
96. ISPRA. Indicatori del clima in Italia 2020–2023. Rapporti annuali ISPRA 345/2021, 359/2022, 374/2023, 387/2024. Roma: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale; 2021–2024.
97. IPCC, 2022a: Summary for Policymakers [Pörtner H-O, Roberts DC, Poloczanska ES, et al (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Pörtner H-O, Roberts DC, Tignor M, et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33,
98. IPCC, 2022b: Cissé GR, McLeman H, Adams P. et al., 2022: Health, Wellbeing, and the Changing Structure of Communities. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H[Pörtner H-O, Roberts DC, Tignor M, et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1041–1170.
99. Jiao A, Headon K, Han T, et al. Associations between short-term exposure to wildfire particulate matter and respiratory outcomes: A systematic review. Sci Total Environ 2023:168134.
100. Kahle JJ, Neas LM, Devlin RB, et al. Interaction effects of temperature and ozone on lung function and markers of systemic inflammation, coagulation, and fibrinolysis: a crossover study of healthy young volunteers. Environ Health Perspect 2015;123:310-6.
101. Kitinoja MA, Hugg TT, Siddika N, et al. Short-term exposure to pollen and the risk of allergic and asthmatic manifestations: a systematic review and meta-analysis. BMJ Open 2020;10:e029069.
102. Knox RB, Suphioglu C, Taylor P, et al. Major grass pollen allergen Lol p 1 binds to diesel exhaust particles: implications for asthma and air pollution. Clin Exp Allergy 1997;27(3):246-251.
103. Kytikova OY, Novgorodtseva TP, Denisenko YK, et al. Thermosensory Transient Receptor Potential Ion Channels and Asthma. Biomedicines 2021;9:816.
104. Lake IR, Jones NR, Agnew M, et al. Climate Change and Future Pollen Allergy in Europe. Environ Health Perspect 2017;125(3):385-391.
105. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, et al. The Lancet Commission on pollution and health. The Lancet 2017; 391: 462-512. https://www.thelancet.com/commissions/pollution-and-health.
106. Lei Y, Lei T-H, Lu C, et al. Wildfire Smoke: Health Effects, Mechanisms, and Mitigation. Environmental Science & Technology 2024;58:21097-21119

107. Lemmetyinen RE, Karjalainen JV, But A, et al. Higher mortality of adults with asthma: A 15-year follow-up of a population-based cohort. Allergy 2018;73:1479-1488.
108. Leung JM, Sin DD. Asthma-COPD overlap syndrome: pathogenesis, clinical features, and therapeutic targets. BMJ 2017;358:j3772.
109. Lian Z, Cui M, Liu C, et al. Long-term exposure to ambient air pollutant and acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease: a retrospective cohort study in Xinjiang, China. Front Public Health 2025;13:1658252.
110. Liviero F. Occupational asthma: still an underestimated burden? Thorax 2025:thorax-2025-223499.
111. Lwin KS, Tobias A, Chua PL, et al. Effects of Desert Dust and Sandstorms on Human Health: A Scoping Review. Geohealth 2023;7(3):e2022GH000728.
112. Locatelli F, Murgia N, Baldacci S, et al; Gruppo Collaborativo BIGEPI. Il ruolo dell'esposizione a inquinanti aerodispersi nel luogo di lavoro sulla prevalenza e gravità della malattia respiratoria cronica in Italia. Epidemiol Prev 2023;47:56-66.
113. Mahendran R, Ju K, Yang Z, et al. Wildfire-Related Air Pollution and Infectious Diseases: Systematic Review and Meta-Analysis. ACS Environ Au 2025;5(3):253-266
114. Maio S, Baldacci S, Carrozzi L, et al. Respiratory symptoms/diseases prevalence is still increasing: a 25yr population study. Respir Med. 2016;110:58_65.
115. Maio S, Baldacci S, Carrozzi L, et al. 18-yr cumulative incidence of respiratory/allergic symptoms/diseases and risk factors in the Pisa epidemiological study. Respir Med 2019;158:33-41.
116. Maio S, Baldacci S, Simoni M, et al, On Behalf Of The Agave Pisa Group. Longitudinal Asthma Patterns in Italian Adult General Population Samples: Host and Environmental Risk Factors. J Clin Med 2020;9:3632.
117. Maio S, Baldacci S, Tagliaferro S, et al. Urban grey spaces are associated with increased allergy in the general population. Environ Res 2022:206;112428.
118. Maio S, Sarno G, Tagliaferro S, et al. Outdoor air pollution and respiratory health. Int J Tuberc Lung Dis 2023a;27:7-12.
119. Maio S, Fasola S, Marcon A, et al. Relationship of long-term air pollution exposure with asthma and rhinitis in Italy: an innovative multipollutant approach. Environ Res 2023b;224:115455.
120. Maio S, Fasola S, Marcon A, et al; BIGEPI group. Relationship of long-term air pollution exposure with chronic obstructive pulmonary disease: an Italian multicentre observational study. Occup Environ Med 2025a;82:21-27.
121. Maio S, Sarno G, Angino A, et al. 18-yr cumulative incidence of respiratory outcomes is related to employment sectors in a general population sample. Sci Rep 2025b;15:42887.
122. Mallone S, Stafoggia M, Faustini A, et al. Saharan dust and associations between particulate matter and daily mortality in Rome, Italy. Environ Health Perspect 2011;119:1409-1414.
123. Marchetti P, Miotti J, Locatelli F, et al. Long-term residential exposure to air pollution and risk of chronic respiratory diseases in Italy: The BIGEPI study. Sci Total Environ 2023;884:163802.
124. Maritano S, Richiardi L, Quaglia S, et al. Exposure to climate change-related extreme events in the first year of life and occurrence of infant wheezing. Environ Int 2025;196:109303.
125. McDonald VM, Fingleton J, Agusti A, et al. Treatable traits: a new paradigm for 21st century management of chronic airway diseases: Treatable Traits Down Under International Workshop report. Eur Respir J 2019;53:1802058.

126. McDonald VM, Gibson PG. Treatable traits-Where we are, where we are headed. Respirology 2024;29:539-541.
127. Meteo Svizzera. https://www.meteosvizzera.admin.ch/chi-siamo/meteosvizzera-blog/it/2023/02/neues-pollenmessnetz.html.
128. Michelozzi P, Accetta G, De Sario M, et al; PHEWE Collaborative Group. High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. Am J Respir Crit Care Med. 2009 Mar 1;179(5):383-389.
129. Ministero della Salute. Risultati dei Sistemi di allarme (HHWWS) e del Sistema di Sorveglianza della Mortalità Giornaliera (SiSMG) e degli accessi in pronto soccorso Sintesi dei risultati estate 2023. https://www.salute.gov.it/new/sites/default/files/imported/C_17_pubblicazioni_3376_allegato.pdf.
130. Ministero della Salute. Piano Nazionale di Prevenzione 2020-2025. Disponibile https://www.salute.gov.it/new/sites/default/files/imported/C_17_pubblicazioni_2955_allegato.pdf.
131. Modak M, Rowlands WM, Sleiman J, et al. Hospitalization Outcomes of Patients with Asthma, COPD, and Asthma-COPD Overlap Syndrome. Chronic Obstr Pulm Dis 2025;12:260-273.
132. Moscato G, Vandenplas O, Van Wijk RG, et al; European Academy of Allergology and Clinical Immunolgy. EAACI position paper on occupational rhinitis. Respir Res 2009;10:16.
133. Moshammer H, Felsinger R, Magyar D, et al. Shape of the association between endotoxin in school dust and children's lung function. ERJ Open Res 2025;11:00496-2025.
134. Muller E, Dvořák M, Marçais B, et al. Conditions of emergence of the Sooty Bark Disease and aerobiology of Cryptostroma corticale in Europe. NB 2023;84:319–47.
135. Mustafa S. Heating-induced contraction in airways smooth muscle: A possible causative factor of exercise-induced bronchoconstriction. Respir Physiol Neurobiol 2019;259:162-165.
136. Ngo HKT, Luong LMT, Le HHTC, et al. Impact of temperature on hospital admission for acute lower respiratory infection (ALRI) among pre-school children in Ho Chi Minh City, Vietnam. Int J Biometeorol 2021;65:1205-1214.
137. Nuvolone D, Della Maggiore R, Maio S, et al. Geographical information systems and environmental epidemiology: a cross-sectional spatial analysis of the effects of traffic-related air pollution on population respiratory health. Environ Health 2011;10:12.
138. Panunzi S, Marchetti P, Stafoggia M, et al. Residential exposure to air pollution and adverse respiratory and allergic outcomes in children and adolescents living in a chipboard industrial area of Northern Italy. Sci Total Environ 2023;864:161070.
139. Pavord ID, Beasley R, Agusti A, et al. After asthma: redefining airways diseases. Lancet 2018;391(10118):350-400.
140. Pawankar R, Canonica GW, Holgate ST, et al, editors. WAO White Book on Allergy. Update 2013. Milwaukee (WI): World Allergy Organization; 2013.
141. Pershad AR, Krishnan R, Lee E, et al. How Climate Change Is Impacting Allergic Rhinitis: A Scoping Review. The Laryngoscope 2025;135:2670–2682.
142. Pesce G, Bugiani M, Marcon A, et al. Geo-climatic heterogeneity in self-reported asthma, allergic rhinitis and chronic bronchitis in Italy. Science of the Total Environment 2016;544:645-652.

143. Phung D, Guo Y, Nguyen HT, et al. High temperature and risk of hospitalizations, and effect modifying potential of socio-economic conditions: A multi-province study in the tropical Mekong Delta Region. Environ Int 2016;92-93:77-86.
144. Qian Y, Garshick E, Galanakis E, et al. Allergic Sensitization Worsens Respiratory Health in Children With Asthma During Dust and Pollen Periods. Pediatr Pulmonol 2025;60:e71428.
145. Rai M, Stafoggia M, de'Donato F, et al. Heat-related cardiorespiratory mortality: Effect modification by air pollution across 482 cities from 24 countries. Environ Int 2023;174:107825.
146. Ranzi A, Stafoggia M, Giannini S, et al; EpiCovAir Study Group. Esposizione a lungo termine a inquinamento dell'aria ambiente e incidenza di infezioni di SARS-CoV-2 in Italia: lo studio EpiCovAir [Long-term exposure to ambient air pollution and the incidence of SARS-CoV-2 infections in Italy: The EpiCovAir study]. Epidemiol Prev 2023;47:125-136.
147. Rau A, Baldomero AK, Bell JE, et al. Compound drought and heatwave extreme weather events: Mortality risk in individuals with chronic respiratory disease. Environ Epidemiol 2025;9(3):e389.
148. Reche C, Vázquez M, Dacosta L, et al. Interaction between airborne pollen and air pollutants: Effects on allergic respiratory diseases. Science of the Total Environment 2022;806:150600.
149. Reid CE, Brauer M, Johnston FH, et al. Critical Review of Health Impacts of Wildfire Smoke Exposure. Environ Health Perspect 2016;124:1334-1343.
150. Renzi M, Scortichini M, Forastiere F, et al. BEEP collaborative group. A nationwide study of air pollution from particulate matter and daily hospitalizations for respiratory diseases in Italy. Sci Total Environ 2022;807:151034.
151. Rizly S. Epidemiological and Clinical Evidence on the Association Between Wildfire PM2.5 and Pulmonary Health Outcomes. Cureus 2025;17(8):e91239.
152. Romanello M, Walawender M, Hsu SC, et al. The 2025 report of the Lancet Countdown on health and climate change. Lancet 2025;406:2804-2857.
153. Rothman KJ, Greenland S. Causation and Causal Inference in Epidemiology, American Journal of Public Health 2004.
154. Sarno G, Maio S, Baldacci S, et al. Health status of Italian children living close to cultivations sprayed with pesticides. Int J Tuberc Lung Dis 2024;28:500-504.
155. Sarno G, Maio S, Stanisci I, et al. Asthma and allergies in schoolchildren: data from the European SINPHONIE study. Int J Tuberc Lung Dis 2025;29:119-126.
156. Scarinzi C, Alessandrini ER, Chiusolo M, et al. Air pollution and urgent hospital admissions in 25 Italian cities: results from the EpiAir2 project. Epidemiol Prev 2013;37:230-241.
157. Scovronick N, Sera F, Vu B, et al. Temperature-mortality associations by age and cause: a multi-country multi-city study. Environmental Epidemiology 2024;8:e336.
158. Selvaggi R, Tedeschini E, Pasqualini S, et al. A New Technique for the Passive Monitoring of Particulate Matter: Olive Pollen Grains as Bioindicators of Air Quality in Urban and Industrial Areas. Applied Sciences 2023;13:9541.
159. Shevchenko M, Servuli E, Albakova Z, et al. The Role of Heat Shock Protein 70 kDa in Asthma. J Asthma Allergy 2021;13:757-772.
160. Shrestha SK, Lambert KA, Erbas B. Ambient pollen concentrations and asthma hospitalization in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. J Asthma 2021;58:1155-1168.

161. Simoni M, Carrozzi L, Baldacci S, et al. The Po River Delta (north Italy) indoor epidemiological study: effects of pollutant exposure on acute respiratory symptoms and respiratory function in adults. Arch Environ Health 2002;57(2):130-136.
162. Simoni M, Scognamiglio A, Carrozzi L, et al. Indoor exposures and acute respiratory effects in two general population samples from a rural and an urban area in Italy. J Expo Anal Env Epid 2004;14:S144-S152.
163. Simoni M, Baldacci S, Puntoni R, et al. Respiratory symptoms/diseases and environmental tobacco smoke (ETS) in never smoker Italian women. Respir Med 2007;101:531-538.
164. Simoni M, Annesi-Maesano I, Sigsgaard T, et al. School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children. Eur Respir J 2010;35:742-749.
165. Squillacioti G, Bellisario V, Levra S, et al. Greenness Availability and Respiratory Health in a Population of Urbanised Children in North-Western Italy. Int J Environ Res Public Health 2019;17:108.
166. Squillacioti G, Bellisario V, Ghelli F, et al. Air pollution and oxidative stress in adults suffering from airway diseases. Insights from the Gene Environment Interactions in Respiratory Diseases (GEIRD) multi-case control study. Sci Total Environ 2024;909:168601.
167. Stafoggia M, Forastiere F, Agostini D, et al. Factors affecting in-hospital heat-related mortality: a multi-city case-crossover analysis. J Epidemiol Community Health 2008;62:209-15.
168. Stafoggia M, Zauli-Sajani S, Pey J, et al; MED-PARTICLES Study Group. Desert Dust Outbreaks in Southern Europe: Contribution to Daily PM_{10} Concentrations and Short-Term Associations with Mortality and Hospital Admissions. Environ Health Perspect 2016;124:413-9.
169. Stafoggia M, Ranzi A, Ancona C, et al; EpiCovAir Study Group. Long-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Mortality among Four Million COVID-19 Cases in Italy: The EpiCovAir Study. Environ Health Perspect 2023a;131:57004.
170. Stafoggia M, de' Donato F, Michelozzi P, et al, Gruppo collaborativo BIGEPI. Effetti acuti dell'inquinamento atmosferico e delle temperature estreme sulla mortalità causa-specifica in Italia. Risultati del progetto BIGEPI. Recenti Prog Med 2023b;114(7):441-446.
171. Stafoggia M, Michelozzi P, Schneider A, et al. Joint effect of heat and air pollution on mortality in 620 cities of 36 countries. Environ Int. 2023c;181:108258.
172. Stoleski S, Minov J, Mijakoski D et al. COPD prevalence and characteristics among sample of working population. Front Public Health. 2025;13:1598290.
173. Suanno C, Sandrini S, Aloisi I, et al. Airborne pollen, allergens, and proteins: A comparative study of three sampling methods. Sustainability 2022;14:11825.
174. Swisens. swisens.ch.
175. Tagliaferro S, Marchetti P, Dall'Ara B, et al. Temporal trends of seasonal pollen indexes in a region of Northern Italy (2001–2022). Atmospheric Environment 2024;338:120826.
176. Talini D, Ciberti A, Bartoli D, et al. Work-related asthma in a sample of subjects with established asthma. Respir Med 2017;130:85-91.
177. Tedeschini E, Pasqualini S, Emiliani C, et al. Monitoring of indoor bioaerosol for the detection of SARS-CoV-2 in different hospital settings. Front Public Health 2023;11.
178. Thurston GD, Kipen H, Annesi-Maesano I, et al. A joint ERS/ATS policy statement: what constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework. Eur Respir J 2017;49:1600419.

179. Tobías A, Querol X, Roqué M, et al. Short-term exposure to desert dust and sandstorms and all-cause and cause-specific mortality and morbidity: A systematic review and meta-analysis. Environ Int 2025;196:109277.
180. Turner LR, Barnett AG, Connell D, et al. Ambient Temperature and Cardiorespiratory Morbidity. Epidemiology 2012;23:594–606.
181. Vergadi E, Rouva G, Angeli M, et al. Infectious Diseases Associated with Desert Dust Outbreaks: A Systematic Review. Int J Environ Res Public Health 2022;19:6907.
182. Viegi G, Paoletti P, Carrozzi L, et al. Prevalence rates of respiratory symptoms in Italian general population samples, exposed to different levels of air pollution. Environ Health Perspect 1991a;94:95-99.
183. Viegi G, Paoletti P, Carrozzi L, et al. Effects of home environment on respiratory symptoms and lung function in a general population sample in north Italy. Eur Respir J 1991b;4:580-586.
184. Viegi G, Prediletto R, Paoletti P, et al. Respiratory effects of occupational exposure in a general population sample in north Italy. Am Rev Respir Dis 1991c;143:510-515.
185. Viegi G, Carrozzi L, Paoletti P, et al. Effects of the home environment on respiratory symptoms of a general population sample in middle Italy. Arch Environ Health 1992;47:64-70.
186. Viegi G, Fialdini AM, Vellutini M, et al. Bronchial reactivity in a general population of north Italy: relationships with occupational exposure. Monaldi Arch Chest Dis 1994;49:15-18.
187. Viegi G. Indicators and biological mechanisms of impairment of the respiratory system by environmental pollutants. an operational example: epidemiological studies of the delta of Po and the region of Pisa. Epidemiol Prev 1995;19:66-75.
188. Viegi G, Pedreschi M, Baldacci S, et al. Prevalence rates of respiratory symptoms and diseases in general population samples of North and Central Italy. Int J Tuberc Lung Dis 1999;3:1034-1042.
189. Wang Y, Xie Y, Dong W, et al. Adverse effects of increasing drought on air quality via natural processes, Atmos Chem Phys 2017;17:12827–12843.
190. Wei Rong CW, Salleh H, Nishio H, Lee M. The impact of increasing ambient temperature on allergic rhinitis: A systematic review and meta-analysis of observational studies. Sci Total Environ 2024;947:174348.
191. Weil T, De Filippo C, Albanese D, et al. Legal immigrants: invasion of alien microbial communities during winter occurring desert dust storms. Microbiome 2017;5:32.
192. WHO 2011. Public health advice on preventing health effects of heat. https://www.who.int/publications/i/item/public-health-advice-on-preventing-health-effects-of-heat.
193. WHO 2018. Second Global Conference on Air Pollution and Health. https://www.who.int/news-room/events/detail/2018/10/30/default-calendar/air-pollution-conference#:~:text=The%20Global%20Conference%20on%20Air,both%20air%20pollution%20and%20health.
194. WHO 2020. Manifesto for a healthy recovery from COVID-19. https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/who-manifesto-for-a-healthy-recovery-from-covid-19.
195. WHO 2021a. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228.

196. WHO 2021b. Household air pollution and health. Fact sheet. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health.
197. WHO 2025a. Second Global Conference on Air Pollution and Health. https://www.who.int/news-room/events/detail/2025/03/25/default-calendar/second-global-conference-on-air-pollution-and-health.
198. WHO 2025b. Climate change, air pollution and allergic respiratory diseases. WHO Report. Disponibile da: https://www.who.int/publications/i/item/B09412.
199. Williams LG, Ross D. Impact of poor air quality while deployed on respiratory health: a systematic review. BMJ Mil Health 2025;171:256-261.
200. Witt C, Schubert AJ, Jehn M, et al. The Effects of Climate Change on Patients With Chronic Lung Disease. A Systematic Literature Review. Dtsch Arztebl Int 2015;112:878-83.
201. World Meteorological Organization. WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55 °C above pre-industrial level. WMO 2025. https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level.
202. Wu S, Deng F, Hao Y, et al. Fine particulate matter, temperature, and lung function in healthy adults: findings from the HVNR study. Chemosphere 2014;108:168-174.
203. Wu Z, Zhang X, Zhang P, et al. The burden and risk factors of chronic obstructive pulmonary disease in Asia and its countries from 1990 to 2021: a systematic analysis based on the 2021 global burden of disease study. Front Med (Lausanne) 2025;12:1641719.
204. Xu E, Li Y, Li T, et al. Association between ambient temperature and ambulance dispatch: a systematic review and meta-analysis. Environ Sci Pollut Res Int 2022;29:66335-66347.
205. Xu J, Wang Q, Anikeeva O, et al. Effects of extreme heat on physiology, morbidity, and mortality under climate change: mechanisms and clinical implications. BMJ 2025;391:e084675.
206. Zafeiratou S, Samoli E, Dimakopoulou K, et al. A systematic review on the association between total and cardiopulmonary mortality/morbidity or cardiovascular risk factors with long-term exposure to increased or decreased ambient temperature. Sci Total Environ 2021;772:145383.
207. Zafeiratou S, Samoli E, Analitis A, et al. Assessing heat effects on respiratory mortality and location characteristics as modifiers of heat effects at a small area scale in Central-Northern Europe. Environ Epidemiol 2023;7:e269.
208. Zammit C, Bilocca D, Ruggieri S, et al, and on behalf of the RESPIRA Collaborative Project Group. Association between the Concentration and the Elemental Composition of Outdoor PM2.5 and Respiratory Diseases in Schoolchildren: A Multicenter Study in the Mediterranean Area. Atmosphere 2020;11(12):1290.
209. Zauli Sajani S, Miglio R, Bonasoni P, et al. Saharan dust and daily mortality in Emilia-Romagna (Italy). Occup Environ Med 2011;68:446-451.
210. Zemmer F, Cristofori A, Cristofolini F, et al. Aerobiology in alpine environments: Exploring pollen biodiversity and its impacts on human health. Science of The Total Environment 2024;955:176908.
211. Zhang A, Hu W, Li J, et al. Impact of heatwaves on daily outpatient visits of respiratory disease: A time-stratified case-crossover study. Environ Res 2019;169:196-205.
212. Zhang X, Zhao L, Tong DQ, et al. A Systematic Review of Global Desert Dust and Associated Human Health Effects. Atmosphere 2016;7:158.
213. Ziska LH, Beggs PJ, Smith M. Climate change, aeroallergens, and allergic respiratory diseases: A comprehensive review. Nat Clim Chang 2019;9:967–975.