

A close-up photograph of a woman with long, wavy blonde hair using an inhaler. She is holding the device to her mouth and inhaling. The background is a soft-focus outdoor scene with green foliage.

6. SALUTE A RISCHIO

I principali effetti sulla salute associati agli attuali livelli di inquinamento atmosferico.

Nel mese di dicembre del 1952, diverse migliaia di persone morirono a Londra in seguito a un'inversione atmosferica che perdurò per molti giorni intrappolando il fumo proveniente dalla combustione del carbone nei camini. Questo evento è stato una delle prime prove che l'inquinamento atmosferico può provocare danni alla salute. Da allora, diversi studi epidemiologici hanno confermato che l'esposizione a breve termine all'inquinamento atmosferico è associata a morbilità e mortalità (si veda il Riquadro 6a). Più di recente, studi epidemiologici sull'esposizione cronica all'inquinamento atmosferico hanno inoltre dimostrato la presenza di legami con numerosi problemi di salute. Fino agli anni '90, gli studi di popolazione si concentravano soprattutto sulla salute respiratoria, perché le vie aeree sono la prima via di accesso al corpo umano per gli inquinanti. Man mano che venivano resi noti gli effetti sistemici dell'inquinamento, gli scienziati che si occupavano della formulazione di studi epidemiologici e sperimentali hanno iniziato a riconoscere che l'inquinamento colpisce anche il sistema cardiovascolare. Anche se le evidenze di un'associazione causale tra inquinamento atmosferico e alcuni problemi di salute rimangono deboli, il miglioramento delle metodologie di ricerca indica che la lista degli effetti dell'inquinamento atmosferico è sfortunatamente in crescita continua (tabella 6.1).

In questo capitolo vengono riportate le informazioni note sugli effetti acuti e cronici dell'inquinamento atmosferico urbano, estratte da studi epidemiologici (Per una descrizione più approfondita dei meccanismi generali che legano gli inquinanti agli effetti sulla salute e per maggiori dettagli sugli effetti di alcuni singoli inquinanti molto importanti, si veda l'Allegato 1). Vale la pena sottolineare ancora una volta che gli effetti sulla salute dell'inquinamento sono di solito provocati da un insieme di inquinanti e non da singole sostanze contenute della miscela.

Tabella 6.1. Problemi di salute per i quali esiste almeno un'evidenza di associazione con l'inquinamento atmosferico

Effetti acuti

Mortalità giornaliera
 Ricoveri ospedalieri per problemi respiratori
 Ricoveri ospedalieri per problemi cardiovascolari
 Visite presso strutture di pronto soccorso per problemi respiratori e cardiaci
 Visite ambulatoriali per patologie respiratorie e cardiache
 Utilizzo di medicinali per problemi respiratori e cardiovascolari
 Giorni di inattività
 Assenze dal lavoro
 Giorni di scuola persi
 Automedicazione
 Condotta di evitamento
 Sintomi acuti
 Cambiamenti fisiologici, ad esempio delle funzioni polmonari

Effetti cronici

Mortalità provocata da patologie cardiorespiratorie croniche
 Incidenza e diffusione delle patologie respiratorie croniche (asma, BPCO)
 Variazioni croniche di funzioni fisiologiche (ad esempio le funzioni polmonari)
 Tumore al polmone
 Patologia cardiovascolare cronica

Altri effetti

Peso ridotto alla nascita
 Parto prematuro
 Problemi di sviluppo cognitivo nei bambini

EFFETTI A BREVE TERMINE

Molti studi epidemiologici hanno mostrato che la mortalità giornaliera, dovuta principalmente a patologie cardiovascolari e respiratorie, segue la fluttuazione giornaliera dell'inquinamento atmosferico. L'importante analisi APHEA delle serie temporali effettuata su più città, svolta in 29 centri di ricerca (principalmente europei) ha riscontrato un aumento del 0,6% dei decessi per malattie per ogni aumento di $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ della concentrazione di PM₁₀ (media del giorno del decesso rispetto alla media del giorno precedente). Si è inoltre evidenziato un aumento dei decessi per malattie cardiovascolari pari allo 0,7%. Questi risultati sono simili a quelli raggiunti da una precedente meta-analisi svolta per conto dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, che ha riscontrato la stessa dimensione dell'effetto per quanto riguarda la mortalità totale e una dimensione dell'effetto leggermente più elevata per i decessi cardiovascolari (rispettivamente 0,6% e 0,9% per ogni aumento di $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ della concentrazione di PM₁₀). Anche se l'RR è più elevato per la mortalità respiratoria, un maggior numero di persone muore per patologie cardiovascolari, e questo suggerisce che l'impatto dell'inquinamento atmosferico sul sistema cardiovascolare è considerevole.

È inoltre possibile mostrare la variazione giornaliera del carico di malattia dovuta all'inquinamento urbano sulla base del numero di visite di emergenza e di ricoveri ospedalieri dovuti a patologie cardiovascolari, infarti e patologie respiratorie, inclusa l'asma. Lo studio APHEA ha riscontrato un aumento dello 0,7% dei ricoveri per patologie cardiache per ogni aumento di $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ della concentrazione di PM₁₀. Sono stati riscontrati i seguenti aumenti: 1,2% per asma nei bambini; 1,1% per asma negli adulti fino a 64 anni di età; 0,9% per tutte le patologie respiratorie (inclusa la BPCO, l'asma e altre patologie respiratorie) negli anziani.

Come specificato nel Riquadro 6b, non tutti sono influenzati allo stesso modo dall'inquinamento atmosferico. I pazienti che soffrono di asma, soprattutto i bambini senza terapia antinfiammatoria o broncodilatatoria, soffrono maggiormente nelle giornate caratterizzate da livelli di inquinamento più elevati e nelle giornate successive a queste. Le forti variazioni giornaliere individuali, caratterizzate dalla contemporanea presenza di molti fattori determinanti, rendono difficile dimostrare gli effetti sulle persone asmatiche senza un rigido controllo del rispetto del protocollo di studio e senza una valutazione individuale dell'esposizione. Tuttavia, gli studi di coorte su pazienti asmatici che hanno adottato questi metodi

rigorosi hanno riscontrato un aumento dell'ansimazione, della tosse e degli attacchi di affanno, accompagnati da una riduzione delle funzioni polmonari e da un maggiore bisogno di farmaci per il sollievo dai disturbi, associati a variazioni giornaliere dei livelli di PM e NO₂.

Studi epidemiologici hanno analizzato ripetutamente gli effetti acuti dell'ozono su singoli individui. Il Riquadro 6c contiene dettagli specifici sugli effetti di questo particolare agente inquinante sulla salute.

CONSEGUENZE A LUNGO TERMINE DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Come discusso al capitolo 5, l'esposizione a lungo termine o per tutta la vita a inquinanti ambientali può non soltanto innescare problemi di salute acuti ma anche contribuire a patologie che conducono a disturbi cronici. L'analisi di questi effetti richiede di solito molto tempo nonché studi di ampia portata. L'evidenza attualmente disponibile degli effetti a lungo termine dell'inquinamento atmosferico si basa quindi su un numero di studi inferiore rispetto

a quello sugli effetti acuti. Tuttavia, negli ultimi 10 anni molti studi hanno confermato gli effetti negativi provocati da livelli anche moderati di inquinamento atmosferico.

INQUINAMENTO ATMOSFERICO E ASPETTATIVA DI VITA

Il decesso è considerato un evento acuto, mentre l'aspettativa di vita e il tempo di morte sono il risultato di patologie sia acute che croniche. A causa dei noti effetti acuti dell'inquinamento atmosferico sulla mortalità e dell'interrelazione esistente tra patologie acute croniche, è impossibile distinguere e ripartire chiaramente gli effetti acuti e cronici dell'inquinamento atmosferico sulla mortalità. Tuttavia, gli studi di coorte misurano automaticamente il tempo di morte, contribuendo a migliorare sensibilmente la nostra comprensione degli effetti cronici dell'inquinamento atmosferico. Studi svolti in Europa, negli Stati Uniti e in Canada confermano che gli effetti totali dell'inquinamento sulla mortalità sono molti di più rispetto a quelli attribuiti alle esposizioni acute.

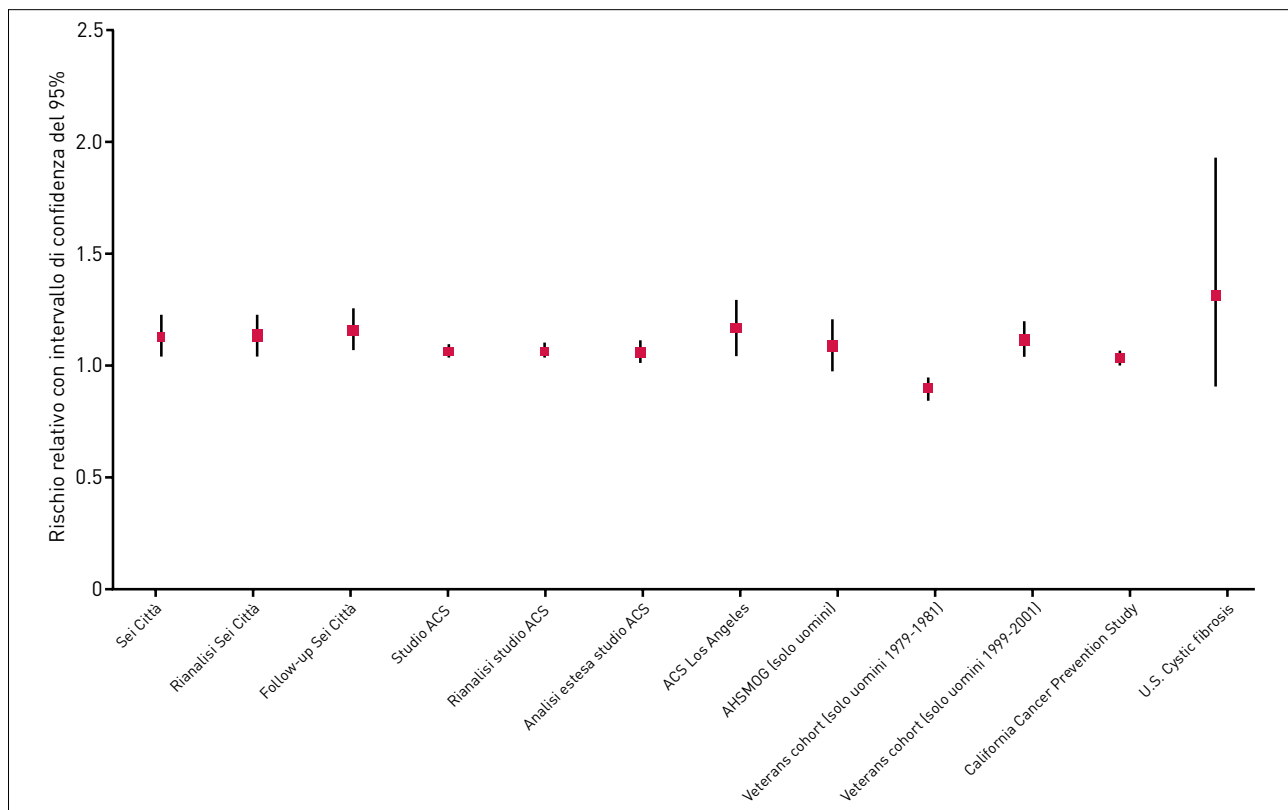


Figura 6.1. Stime del rischio relativo (e degli intervalli di confidenza del 95%) per associazioni tra esposizione a lungo termine a PM_{2.5} (per 10 µg·m⁻³) e mortalità per i principali studi di coorte svolti in Nord America. L'immagine mostra soltanto il nome comune dello studio. Per maggiori informazioni su questi studi consultare [15, 16].

Riquadro 6a

La piramide degli effetti acuti sulla salute: la prova dell'esistenza di un rapporto di causalità

In una data popolazione ci si attende che la suscettibilità a manifestare effetti negativi sulla salute provocati dall'inquinamento atmosferico (o da qualsiasi altro fattore di pericolo per la salute) vari sensibilmente da un soggetto all'altro e, nello stesso soggetto, con il passare del tempo. Ad esempio, mentre la "persona sana" meno suscettibile può non manifestare nessun sintomo o soltanto variazioni cliniche irrilevanti, un'esposizione simile può innescare un considerevole aggravamento dei problemi di salute su persone più deboli. Allo stesso modo, alcuni soggetti asmatici possono manifestare attacchi all'aumentare dell'inquinamento atmosferico mentre altri soggetti asmatici rimangono stabili.

Gli studi epidemiologici sull'inquinamento atmosferico hanno utilizzato questo criterio di variabilità della suscettibilità e della gravità, prendendo in esame le associazioni esistenti tra l'inquinamento e i suoi numerosi effetti sulla salute, dalle variazioni minori (ad esempio alcuni marcatori nel sangue) alla mortalità. Questo paradigma viene illustrato in figura 6a.1. La piramide chiarisce anche come il numero di persone che manifestano gli effetti più estremi sulla salute sia molto inferiore rispetto al numero di persone che mostrano effetti meno gravi. Questo concetto è stato confermato in molte valutazioni dell'impatto sulla salute dell'inquinamento atmosferico. La coerenza dei risultati osservati all'interno di questa vasta gamma di effetti correlati tra loro offre un forte argomento a favore del ruolo causale dell'inquinamento nella salute pubblica.

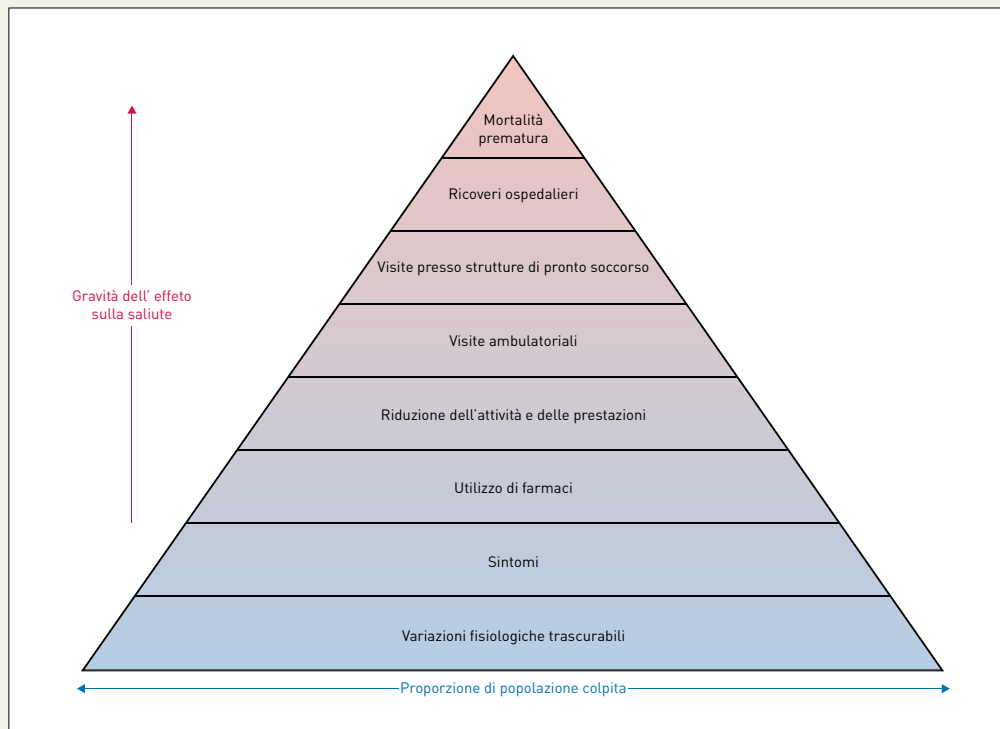


Figura 6a.1. Piramide degli effetti sulla salute associati all'inquinamento atmosferico [21].

Riquadro 6b

Non siamo tutti uguali: l'importanza della suscettibilità

Non tutti i fumatori soffrono di patologie provocate dal tabacco, e non tutte le persone subiscono gli effetti dell'inquinamento atmosferico. L'individuazione dei fattori di suscettibilità è un obiettivo più difficile. Alcuni fattori modificano il livello di esposizione ma anche altre caratteristiche possono determinare in che modo un soggetto sarà affetto dall'esposizione all'inquinamento atmosferico. L'aumento della frequenza respiratoria durante l'attività fisica genera una maggiore esposizione agli inquinanti. A seconda del luogo in cui viene svolta l'attività fisica, il soggetto potrebbe dover accettare un compromesso tra i benefici sulla salute dell'attività svolta e la maggiore esposizione a sostanze tossiche.

Una serie di fattori di suscettibilità sono in fase di studio ed è possibile descrivere alcuni modelli preliminari.

- Come regola generale, i bambini sono maggiormente colpiti a causa della frequenza di respirazione più elevata e del metabolismo più rapido durante l'infanzia e l'adolescenza. Tuttavia, non tutti i bambini sono colpiti in uguale misura e i seguenti criteri si applicano anche ai bambini.
- Le patologie preesistenti possono determinare una suscettibilità. Questa regola vale in particolar modo per gli effetti acuti dell'inquinamento atmosferico: l'inquinamento atmosferico può aggravare lo stato dei pazienti affetti da asma o BPCO. I soggetti affetti da patologie cardiache o arteriosclerosi possono subire attacchi cardiaci o infarti dopo l'esposizione all'inquinamento atmosferico. Alcuni studi hanno dimostrato che i pazienti diabetici sono colpiti maggiormente dagli effetti cardiovascolari acuti dell'inquinamento atmosferico.
- Ogni singolo fattore coinvolto nei meccanismi delle morbidità e della mortalità legate all'inquinamento è un potenziale fattore di suscettibilità. I primi in assoluto sono i fattori genetici, ad esempio quelli coinvolti nello stress ossidativo e nelle infiammazioni sistemiche. Alcune ricerche suggeriscono che i difetti genetici nella detossificazione delle sostanze xenobiotiche, ad esempio la variante nulla del glutathione S-transferasi Mu 1, amplificano gli effetti negativi dell'inquinamento atmosferico.
- Anche l'assunzione di antiossidanti è stata chiamata in causa nell'ambito dei fattori di suscettibilità: i bambini che assumono una maggiore quantità di antiossidanti sembrano essere maggiormente protetti dagli effetti ossidativi dell'ozono e di altri inquinanti atmosferici.
- Infiammazioni sistemiche subcliniche: anche se non sono ancora disponibili evidenze, è possibile che i soggetti in stato di infiammazione subclinica cronica siano maggiormente colpiti dagli effetti infiammatori dell'inquinamento atmosferico. Ad esempio, studi sperimentali indicano che obesità e diabete sono associati a un aumento degli effetti dell'inquinamento atmosferico.
- È necessario prendere in considerazione le potenziali interazioni tra le terapie mediche e gli effetti dell'inquinamento atmosferico. Uno studio ha riscontrato che le associazioni tra inquinamento atmosferico e variabilità della frequenza cardiaca non si sono manifestate in pazienti a cui sono state prescritte statine. I pazienti asmatici adeguatamente controllati sono potenzialmente meno soggetti agli effetti respiratori negativi degli inquinanti atmosferici (si veda il Capitolo 9).

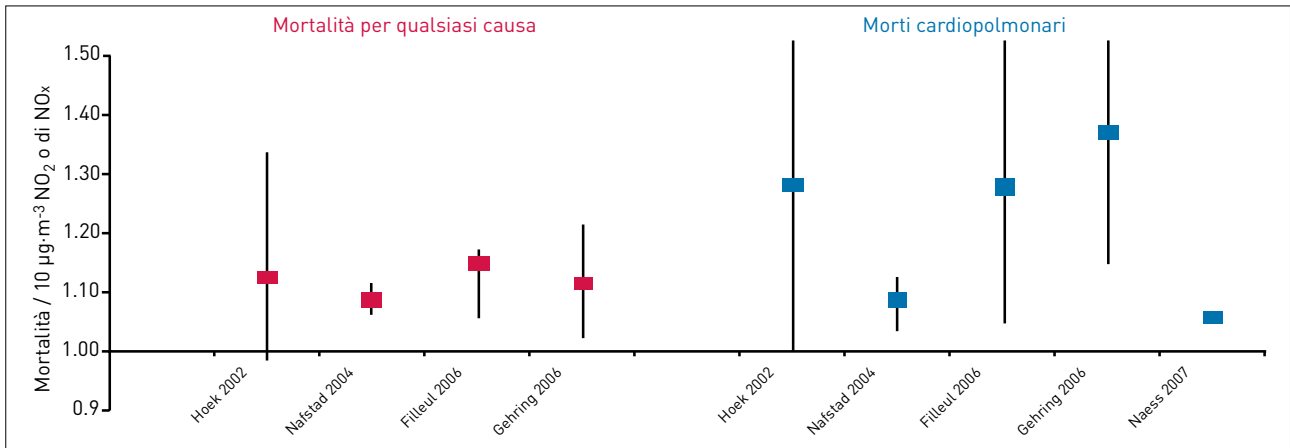


Figura 6.2. Rischi relativi con intervalli di confidenza del 95% estratti da studi di coorte europei sull'inquinamento atmosferico e la mortalità, espressi in presenza di $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ di NO_2 o NO_x [17].

Negli studi epidemiologici sulla mortalità, le patologie respiratorie sono causa di morte in molti meno casi rispetto alle patologie cardiovascolari. Pertanto, queste due patologie vengono spesso associate nella categoria della mortalità cardiopolmonare. La mortalità cardiopolmonare è stata associata a differenze a lungo termine nelle concentrazioni di PM e solfati tra varie città nel famoso Studio delle Sei città di Harvard e nello studio della American Cancer Society (ACS). Il confronto tra concentrazioni di PM sottili a livello di comunità e tassi di mortalità in più di 500.000 partecipanti nello studio ACS ha evidenziato un aumento del 6% delle morti cardiopolmonari dopo 16 anni per ogni $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ di $\text{PM}_{2.5}$. La stima della mortalità totale è stata del 4%. In una rianalisi del follow-up della durata di 18 anni svolto nell'area di Los Angeles dall'ACS è stata assegnata un'esposizione modellizzata al $\text{PM}_{2.5}$ per ogni abitazione. Questa assegnazione dell'esposizione migliorata ha prodotto stime più ampie. La mortalità cardiopolmonare è aumentata del 20% e i decessi dovuti a cardiopatie ischemiche sono aumentati del 49% per ogni aumento di $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ di $\text{PM}_{2.5}$. Negli USA sono stati svolti molti altri studi di coorte che mostrano un'associazione con la mortalità.

Gli studi di coorte in Europa sono stati in grado di confermare il rapporto esistente tra il rischio di morte cardiopolmonare e l'inquinamento. Tre altri studi europei sono stati in grado di analizzare i dati relativi alla mortalità respiratoria e cardiovascolare separatamente. I risultati hanno mostrato che l'inquinamento atmosferico urbano, misurato singolarmente per tutti i partecipanti modellizzando le emissioni di NO_x generate dal traffico, è stato associato alla mortalità per cause generiche, alla mortalità per cardiopatie ischemiche, alla mortalità respiratoria, alla mortalità per tumore al polmone e anche

leggermente alla mortalità cerebrovascolare. Non tutti gli studi di coorte hanno però dimostrato in modo univoco gli effetti sulla mortalità cardiovascolare. Uno studio di coorte olandese sull'alimentazione e sul cancro con dati sulle esposizioni per oltre 20 anni ha individuato soltanto relazioni non significative tra le morti cardiovascolari e l' NO_2 o il fumo nero e un debole legame tra morti cardiopolmonari e traffico intenso sulla strada principale più vicina. Al contrario, le morti respiratorie sono state collegate all' NO_2 , al fumo nero, alla densità del traffico in un raggio di 100 m e alla presenza di una strada principale nelle vicinanze dell'abitazione.

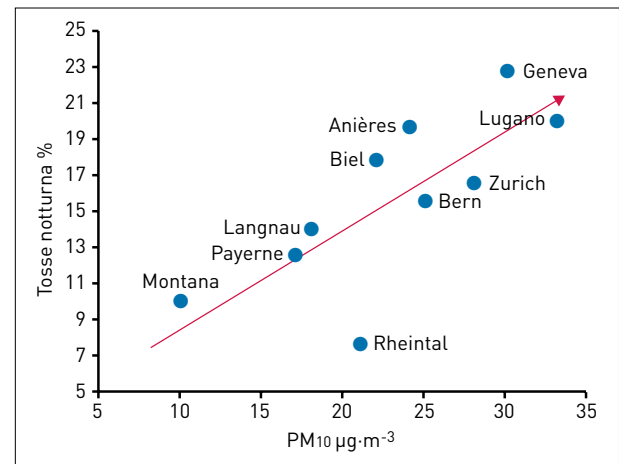


Figura 6.3. Diffusione della tosse notturna e livelli comunitari medi annui di PM_{10} riportati nello studio SCARPOL su bambini svizzeri in età scolare [18]. La freccia indica una maggiore diffusione nelle comunità in cui sono presenti livelli di PM_{10} più elevati.

SALUTE RESPIRATORIA NEI BAMBINI

Gli effetti a lungo termine sul sistema respiratorio sono spesso oggetto di studio nei bambini, essendo questi più sensibili agli effetti dell'inquinamento atmosferico rispetto agli adulti, per diverse ragioni. I bambini sono più attivi e svolgono più attività all'aperto. Respirano più velocemente e il loro metabolismo è più veloce rispetto a quello degli adulti. Il sistema immunitario dei bambini non è del tutto sviluppato, quindi l'incidenza delle infezioni respiratorie è elevata. I polmoni sono ancora in fase di crescita ed eventuali deficit di crescita condizioneranno il resto della vita del bambino. Inoltre, possibili fattori confondenti o modificanti, come il fumo attivo, l'esposizione lavorativa a polveri e fumo o terapie mediche per la cura di patologie, sono quasi del tutto assenti. Di particolare interesse e rilievo sono gli studi sullo sviluppo delle funzioni polmonari nei bambini e sull'incidenza dell'asma, la patologia cronica più importante nei bambini.

Diversi studi trasversali svolti in Germania, Svizzera, Francia e negli USA hanno rivelato, già negli anni 80, che i bambini in età scolare o prescolare che vivevano in comunità esposte a livelli più elevati di polveri, SO₂ e NO₂, soffrivano maggiormente di tosse e bronchite acuta rispetto ai bambini che vivevano in regioni meno inquinate.

Più di recente, molti studi trasversali hanno indicato volumi polmonari inferiori nei bambini che vivono in aree più inquinate. L'aggravamento dell'asma è chiaramente legato alla qualità dell'aria, ma i confronti geografici sulla diffusione dell'asma o delle allergie non seguono i gradienti dei livelli urbani di inquinanti come i PM_{2.5} o i PM₁₀. I nuovi approcci integrano oggi misurazioni locali degli inquinanti legati al traffico, sistemi informativi geografici, dati sull'uso del suolo e tecniche di modellizzazione spaziale per caratterizzare la distribuzione intra-comunitaria degli inquinanti legati al traffico. Questi ultimi sono scarsamente caratterizzati da dispositivi di controllo urbani e le persone che vivono in prossimità di strade affollate possono subire esposizioni agli inquinanti legati al traffico di molte volte più elevate rispetto alle persone che vivono a 50-100 m di distanza delle stesse (si veda il Riquadro 6d).

SALUTE RESPIRATORIA NEGLI ADULTI

Il più importante fattore di rischio per le patologie respiratorie croniche negli adulti è il fumo e gli effetti del fumo e dell'inquinamento atmosferico sulla salute molto spesso si sovrappongono. Inoltre, la vicinanza delle abitazioni alle strade può non soltanto essere indicativa

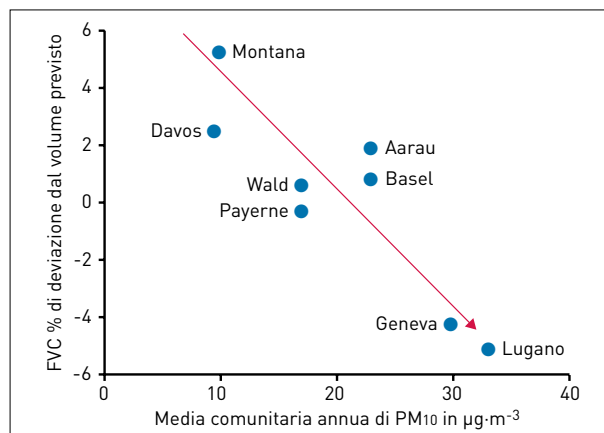


Figura 6.4. Funzione polmonare negli adulti, rappresentata in percentuale di deviazione dalla capacità vitale forzata (FVC – forced vital capacity) prevista e livelli comunitari medi annui di PM₁₀ in otto comunità della Svizzera, dallo studio SAPALDIA [19]. La freccia indica capacità polmonari più ridotte nelle comunità in cui sono presenti livelli di PM₁₀ più elevati.

del livello di esposizione all'inquinamento ma può anche segnalare differenze per quanto riguarda alcuni fattori socio-demografici, fumo incluso. Gli studi che valutano l'impatto dell'inquinamento atmosferico su patologie come la BPCO e l'asma negli adulti devono tener conto dell'intercorrelazione di questi fattori, oltre a caratteristiche individuali come l'età, il sesso e fattori genetici.

I risultati ottenuti su persone che non hanno mai fumato sono particolarmente affidabili.

In molti studi incrociati ripetuti negli USA e in Europa, la tosse cronica, il catarro e la riduzione delle funzioni polmonari sono stati associati all'esposizione prolungata a PM inalabili presenti nell'atmosfera.

È interessante notare che alcuni di questi studi hanno dimostrato che i sintomi respiratori sono più diffusi tra i partecipanti che vivono in prossimità di strade principali, indipendentemente dalle concentrazioni di fondo di inquinanti (si veda il Riquadro 6d). Inoltre, la riduzione dell'esposizione ha attenuato il declino delle funzioni polmonari legato all'età.

Come per i bambini, l'asma negli adulti non è correlata ai livelli di inquinamento di fondo. I pochi studi che hanno preso in esame il contributo dell'inquinamento atmosferico legato al traffico locale ai fini dell'insorgenza dell'asma negli adulti hanno raggiunto risultati simili a quelli che hanno preso in esame l'incidenza dell'asma

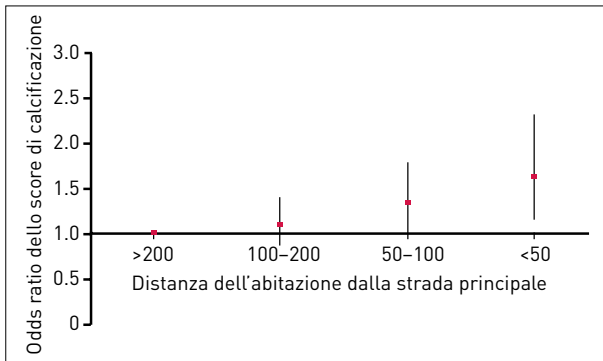


Figura 6.5. Rischio di calcificazione coronarica e distanza del luogo di residenza dalla più vicina strada a traffico intenso [20].

nei bambini ma sono necessarie ulteriori ricerche per chiarire questi risultati e l'interazione con l'atopia e altri fattori ospite. È inoltre necessario studiare in modo più approfondito il contributo dell'inquinamento atmosferico all'insorgenza della BPCO ed è fondamentale applicare un controllo adeguato al fattore fumo ma alcuni studi hanno supportato l'idea che l'inquinamento atmosferico contribuisca all'insorgenza della BPCO.

SALUTE CARDIOVASCOLARE

Negli ultimi anni l'obiettivo principale delle ricerche sull'inquinamento si è spostato dalle patologie respiratorie a quelle cardiovascolari perché i legami esistenti tra inquinamento atmosferico e salute cardiovascolare appaiono più forti di quanto si pensasse inizialmente. Uno studio trasversale svolto in Germania ha evidenziato che il traffico incide sulla diffusione della cardiopatia coronarica indipendentemente dai PM_{2.5} (studio Heinz Nixdorf RECALL), poiché gli infarti miocardici e gli interventi di stent e di bypass erano più diffusi tra le persone che vivevano nelle immediate vicinanze di concentrazioni di traffico. Il rischio coronarico diminuiva con l'aumentare della distanza dalle strade principali. Tuttavia l'infarto, come il decesso, è un evento; lo studio non ha quindi potuto distinguere in maniera non ambigua gli effetti acuti dell'inquinamento sugli infarti dai suoi effetti cronici sulla patologia cardiovascolare di fondo.

La patologia più importante legata alla patologia cardiovascolare è l'arteriosclerosi. L'aterogenesi, ovvero lo sviluppo dell'arteriosclerosi, è il risultato di un processo a lungo termine. La prima evidenza dell'esistenza di un legame tra inquinamento e aterogenesi è stata il risultato di studi condotti su animali che hanno contratto l'arteriosclerosi

dopo essere stati sottoposti per un lungo periodo di tempo a PM urbani concentrati. Questa evidenza ha fatto sì che venissero svolti studi umani finalizzati a individuare l'associazione esistente tra l'inquinamento atmosferico e la calcificazione delle arterie coronariche. Uno studio svolto in Germania, dopo aver controllato i fattori di rischio individuali, ha riscontrato che una riduzione del 50% della distanza tra l'abitazione del soggetto e la strada principale più vicina era associata a un aumento del 7% dello score di calcificazione, indipendentemente dai livelli di fondo di PM_{2.5} (fig. 6.5) [20].

Una piccola serie di studi ha confermato questi risultati, suggerendo che l'inquinamento urbano non soltanto innesca eventi cardiaci ma può anche contribuire ad aggravare patologie cardiovascolari di fondo. Si stanno compiendo numerosi sforzi per individuare i passi successivi del percorso patofisiologico che conduce alla patologia cardiaca, ad esempio uno squilibrio cronico del controllo autonomo del cuore, che può accentuare la suscettibilità ad aritmie, infarti o all'aumento dei fattori di infiammazione e coagulazione.

CANCRO PROVOCATO DAI GAS DI SCARICO DEGLI AUTOVEICOLI

Sulla base principalmente di dati sperimentali e occupazionali, la International Agency for Research on Cancer ha valutato: benzene, benzo(a)pirene, 1,3-butadiene e idrocarburi policiclici aromatici (IPA) contenenti fuliggine come cancerogeni per l'uomo (gruppi 1); gas di scarico di motori diesel e altri idrocarburi come probabilmente cancerogeni per l'uomo (gruppo 2A); gas di scarico di motori a benzina come possibilmente cancerogeni per l'uomo (gruppo 2B). La California Environmental Protection Agency considera cancerogeni anche i gas di scarico dei motori diesel.

In età infantile leucemie, linfomi e tumori cerebrali sono le malignità più frequenti. Due studi caso-controllo svolti negli USA hanno individuato un legame tra l'esposizione al traffico e il rischio di contrarre la leucemia nei bambini. Si è sospettato che le possibili cause siano il benzene o altri COV. Da allora, molti studi caso-controllo e alcuni studi di registro nel campo dell'ecologia hanno preso in esame questo aspetto giungendo a risultati variabili. Nel complesso, i risultati sono ancora incoerenti.

Negli adulti, i decessi provocati da tumore al polmone sono di interesse primario. Il tumore al polmone è una patologia relativamente rara (nei non fumatori) caratterizzata da un lungo periodo di latenza. Il tempo che va dalla diagnosi

Riquadro 6c

Ozono ed effetti sulla salute

L'ozono rappresenta un grave problema per la salute pubblica a causa delle sue proprietà ossidative (si veda il Riquadro 3a). Gli effetti acuti sulle persone sono stati osservati ripetutamente non soltanto negli studi clinici ma anche in studi di coorte e sul campo su bambini e adulti, sia maschi che femmine, che svolgono attività all'aria aperta. Questi effetti includono riduzioni delle funzioni polmonari, reazioni infiammatorie polmonari e sintomi respiratori. La variabilità della suscettibilità individuale all'ozono è spiegata solo in parte dalla predisposizione genetica. La risposta dipende in genere da tre parametri: concentrazione (man mano che aumenta il livello di ozono aumenta il numero di persone colpite); durata (più lunga è la durata, più forte è la reazione); volume respiratorio (più intensa è l'attività, più forte è la reazione).

Tabella 6d.1. Riduzione delle funzioni polmonari all'aumentare dei livelli di ozono nella popolazione e nelle persone suscettibili (WHO Euro, health effects of smog episodes, 1992).

Gli effetti acuti sulle funzioni polmonari e le reazioni acute di tipo infiammatorio sono reversibili al termine dell'esposizione. Molti studi hanno osservato un attenuamento della reazione dopo ripetute esposizioni all'ozono e reazioni generalmente in diminuzione nel corso dell'estate.

Nonostante sia stata riscontrata questa reversibilità e questo adattamento agli effetti clinici a breve termine nei singoli individui, molti studi epidemiologici su registri di dati hanno confermato che l'ozono è associato a mortalità e morbilità acuta. Una meta-analisi di studi di registro europei svolta per conto dell'OMS ha rivelato un aumento dello 0,3% della mortalità per qualsiasi causa e un aumento dello 0,4% delle morti cardiovascolari per ogni aumento di $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dei livelli di ozono (media su 8 ore). Nonostante i dubbi sui meccanismi di fondo restino irrisolti, un gruppo di esperti della US National Academy of Sciences ha concluso che l'associazione tra variazioni giornaliere delle concentrazioni di ozono e i decessi che si verificano nei mesi estivi è causale [22]. Alcuni degli effetti associati all'ozono possono essere legati alla presenza di inquinanti concomitanti nello smog estivo, come gli aerosol secondari. Anche le alte temperature possono amplificare gli effetti dell'ozono.

I soggetti che soffrono di asma sono particolarmente sensibili all'ozono a causa della maggiore reattività delle vie aeree e dell'aumento delle cellule infiammatorie e del rilascio di mediatori nei polmoni. I livelli giornalieri di ozono sono stati associati a tosse e riduzione delle funzioni polmonari in studi di coorte su soggetti asmatici, soprattutto nei bambini, e ad assenze da scuola, visite presso strutture di emergenza e ricoveri ospedalieri per aggravamenti dell'asma. I ricoveri ospedalieri dovuti ad altre patologie respiratorie non sono stati associati in modo sistematico all'ozono.

È stato dimostrato che le persone che vivono in aree caratterizzate da alti livelli di inquinamento che da sostanze ossidanti presentano danni infiammatori cronici alla mucosa nasale. Studi prospettici sullo sviluppo delle funzioni polmonari nei bambini e nei giovani adulti in California non hanno ancora prodotto risultati chiari, contrariamente alle analisi trasversali sulle funzioni polmonari eseguite su giovani adulti, che hanno mostrato riduzioni delle funzioni delle vie aeree più piccole in studenti che sono stati maggiormente esposti all'ozono nel corso della vita. Un'esposizione a medio termine all'ozono, della durata di una stagione estiva, è stata associata a una riduzione delle funzioni polmonari o a una riduzione dello sviluppo delle funzioni polmonari in bambini in età scolare, coscritti e raccoglitori agricoli tedeschi e austriaci.

L'esposizione dei soggetti all'ozono viene definita principalmente in base al tempo trascorso all'aperto e svolgendo attività fisiche all'aperto, e molto meno sulla base dei livelli medi di ozono all'aperto, anche in corrispondenza dell'abitazione dei singoli soggetti. Non è facile definire accuratamente l'esposizione nel corso della vita, e questa difficoltà può essere una delle ragioni per cui gran parte degli studi non sono stati in grado di individuare gli effetti cronici dell'esposizione a lungo termine all'ozono.

Tabella 6c.1. Riduzione delle funzioni polmonari all'aumentare dei livelli di ozono nella popolazione e nelle persone suscettibili (WHO Euro, health effects of smog episodes, 1992).

CONCENTRAZIONE ORARIA MASSIMA, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	RIDUZIONE MEDIA DELLA FUNZIONE POLMONARE (FEV ₁) IN PERSONE CHE SVOLGONO ATTIVITÀ ALL'APERTO	
	POPOLAZIONE	10% PIÙ SUSCETTIBILE
< 100	nessuno	nessuno
100 – 200	5%	10%
200 – 300	15%	<30%
>300	25%	>50%

al decesso è spesso breve e il trattamento ha un successo limitato. Per studiare il tumore al polmone nell'ambito di studi su popolazione, il campione di popolazione dev'essere ampio e il periodo di follow-up prolungato. Nello studio di coorte svolto dall'American Cancer Society, si è riscontrato un aumento dell'8% dell'incidenza di tumore al polmone per ogni aumento di $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dei livelli di PM_{2.5} misurati in termini di differenza da città a città; in uno studio di coorte norvegese si è riscontrato un aumento dell'11% dell'incidenza di tumore al polmone per ogni aumento di $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dei NO_x generati dal traffico. Tuttavia, nonostante la coerenza delle informazioni sperimentali, degli studi occupazionali e di molti risultati ottenuti in studi di popolazione, non tutti gli studi epidemiologici a lungo termine hanno riscontrato un legame tra l'inquinamento atmosferico e il rischio di contrarre il tumore al polmone. Oltre all'effetto dominante del fumo, un debole effetto può essere mascherato dall'errata classificazione dell'esposizione, da cambi di residenza, da fattori legati allo stile di vita individuale e dai rischi occupazionali nel periodo di follow-up. Gli inquinanti che presentano un gradiente ridotto all'interno di una stessa città, come i PM_{2.5}, possono non esprimere differenze di esposizione al traffico. Anche gli NO₂ e il fumo nero possono non essere sufficientemente rappresentativi per essere utilizzati come unità di misura dell'inquinamento da traffico. Gli spostamenti, che sono una causa importante di esposizione ai gas di scarico diesel, non sono stati presi in considerazione in nessuno studio.

EFFETTI A LIVELLO RIPRODUTTIVO

Una valutazione degli studi sul peso ridotto alla nascita, sul ritardo di crescita intrauterina e sulle nascite

premature ha concluso che le evidenze degli effetti negativi dei PM sono ancora insufficienti. Da allora, numerosi studi di registro ad ampio spettro condotti negli USA, in Canada e nell'Asia orientale hanno individuato associazioni tra la crescita fetale/durata della gravidanza e gli inquinanti legati al traffico e, in modo meno costante, con i PM_{2.5}. Uno studio australiano che ha preso in esame livelli di inquinamento piuttosto bassi non ha rilevato queste associazioni. Tutti gli studi hanno modellizzato l'esposizione in gravidanza con una risoluzione spaziale che include almeno l'area del codice di avviamento postale dell'abitazione, alcuni hanno effettuato una modellizzazione estesa per l'intero periodo di gravidanza. Gli ultimi risultati ottenuti seguendo donne durante il periodo di gravidanza confermano l'esistenza di un'associazione tra salute fetale e inquinamento da traffico, anche se vanno ancora superati vari problemi metodologici, ad esempio va presa in considerazione la suscettibilità personale e va migliorata la valutazione dell'esposizione.

SVILUPPO NEUROLOGICO, NEURODEGENERAZIONE E INQUINAMENTO DA TRAFFICO

Il piombo organico è l'inquinante generato dal traffico più conosciuto ed è associato a deficit dello sviluppo neurologico nei bambini. I rapporti dose-risposta tra i deficit di intelligenza e i livelli di piombo nel sangue sono stati studiati, senza indicazioni di una soglia più bassa, fino a un minimo di $10 \mu\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$ di sangue. Studi di coorte su adulti esposti al piombo suggeriscono che l'esposizione a lungo termine al piombo, misurata sulla base del piombo depositato nelle ossa, è anche legata a un declino

Riquadro 6d

Vivere a contatto con il traffico può creare problemi di salute

Una percentuale molto elevata della popolazione europea vive in appartamenti o case costruite in corrispondenza di strade molto trafficate. Gli inquinanti contenuti nei gas di scarico, come le particelle ultrasottili, il monossido di carbonio o altri gas primari, raggiungono concentrazioni molto elevate lungo le strade; le situazioni più gravi si riscontrano lungo strade strette ai lati delle quali sono presenti edifici elevati. Grazie ai fenomeni di dispersione e di aggregazione, le concentrazioni di questi inquinanti diminuiscono rapidamente a livelli di fondo a soli 50-100 m di distanza dalle arterie del traffico. Le automobili diesel, i camion e gli autobus emettono concentrazioni particolarmente elevate di fuliggine e queste particelle sono cariche di moltissime sostanze altamente tossiche; sono inoltre presenti sostanze tossiche nelle particelle grossolane che si formano in seguito all'usura dei freni e all'usura superficiale delle strade e queste particelle vengono risospese nell'aria dal passaggio del traffico. Ne consegue che l'esposizione a questi inquinanti può essere molto alta nelle ore di punta e nelle persone che camminano, giocano o vivono in prossimità di strade principali.

Molti nuovi studi epidemiologici stanno analizzando o hanno analizzato le conseguenze sulla salute legati alla vicinanza al traffico. Questi studi tengono conto dei potenziali fattori confondenti e suggeriscono con convinzione che vivere nelle vicinanze di una strada trafficata rappresenta un rischio per la salute a causa dell'inquinamento. Tuttavia, questi studi seguono anche metodologie molto eterogenee e una recente valutazione critica ha sottolineato la necessità che vengano svolte ricerche più mirate, in quanto l'attuale evidenza è suggestiva ma non conclusiva (si veda la tabella 6b.1). Lo sviluppo dell'asma nei bambini è un'eccezione, in quanto sono disponibili numerosissimi dati. Una recente pubblicazione del Californian Children's Health Study ha fornito l'evidenza del fatto che gli inquinanti legati al traffico contribuiscono allo sviluppo dell'asma infantile, almeno nei bambini che sono geneticamente predisposti [23]. Questa evidenza genera nuove sfide per i decisori in quanto le scelte di pianificazione urbana possono avere importanti implicazioni per la salute pubblica. Queste scoperte possono inoltre favorire dibattiti all'interno delle scuole e delle comunità in merito al posizionamento delle scuole e degli asili nelle immediate vicinanze delle principali arterie stradali.

cognitivo prematuro. Il divieto di utilizzo del piombo organico nei carburanti ha prodotto riduzioni di >90% dei livelli medi di piombo nel sangue della popolazione nelle nazioni industrializzate. Le attuali concentrazioni di piombo nell'aria sono considerate minime anche nelle vicinanze delle strade principali caratterizzate da traffico intenso.

Tuttavia, un nuovo motivo di preoccupazione è rappresentato dalle particelle ultrasottili generate da processi di combustione. È stato dimostrato su animali che queste particelle passano dal naso attraverso il nervo olfattivo e raggiungono il cervello provocando processi infiammatori simili a patologie degenerative. Un team di ricerca messicano ha riscontrato la presenza

di maggiori infiammazioni del cervello e accumuli di amiloidi all'esame *post mortem* di soggetti provenienti da aree caratterizzate da un inquinamento atmosferico elevato rispetto a soggetti provenienti da aree nelle quali la qualità dell'aria è migliore. Anche il livello di intelligenza è risultato essere inferiore nei bambini soggetti a un'esposizione maggiore agli IPA durante la gravidanza. Tuttavia, in questi studi tutti gli indicatori delle esposizioni sono strettamente correlati a indicatori sociali come l'educazione e l'appartenenza razziale delle madri, il reddito e l'esposizione ai rumori, si è inoltre registrata un'elevata percentuale di abbandono dei coorti. Non è pertanto ancora possibile concludere che questi effetti siano davvero provocati dalle particelle ultrasottili.

Tabella 6d.1. Attuale evidenza del ruolo causale dell'inquinamento locale generato dal traffico sui problemi di salute. Modificato dal Rapporto dell'Health Effects Institute Report sugli effetti dell'esposizione al traffico sulla salute [24]. Il rapporto dell'HEI si limita a prendere in esame la letteratura più recente che tratta soltanto degli effetti locali di questi inquinanti che si manifestano in presenza di concentrazioni molto elevate in prossimità di strade trafficate. Per quanto riguarda molte delle conseguenze sulla salute, sono disponibili evidenze più forti che confermano gli effetti sulla salute dell'“inquinamento urbano di fondo” (ad esempio quello provocato dai PM2.5 e da altri inquinanti secondari, anch'essi generati dal traffico).

CONSEGUENZA SULLA SALUTE	CLASSIFICAZIONE	PRINCIPALE RAGIONE ALLA BASE DELLA CLASSIFICAZIONE
Mortalità per qualsiasi causa	Suggestiva ma non sufficiente	Scarsità di studi
Mortalità cardiovascolare	Suggestiva ma non sufficiente	Scarsità di studi
Morbilità cardiovascolare	Suggestiva ma non sufficiente	Non sono stati inclusi fattori confondenti potenzialmente importanti
Incidenza e diffusione dell'asma	Sufficiente, oppure suggestiva ma non sufficiente	Sussistono dubbi sulla precisione delle stime
Aggravamento dei sintomi nei bambini affetti da asma	Sufficiente	
Aggravamento dei sintomi nei bambini non affetti da asma	Inadeguata e insufficiente	Gli effetti possono essere provocati dall'asma
Ricorso all'assistenza sanitaria per bambini	Inadeguata e insufficiente	Sussistono dubbi sulla validità dell'indicatore di risultato
Asma negli adulti	Inadeguata e insufficiente	Solo uno studio disponibile
Sintomi respiratori negli adulti	Suggestiva ma non sufficiente	Risultati incompatibili tra le stime di associazione basate sulla vicinanza e quelle basate su modelli
Funzioni polmonari (tutte le età)	Suggestiva ma non sufficiente	Eterogeneità dei metodi di studio e dei criteri di misurazione delle funzioni
Broncopneumopatia cronica ostruttiva	Insufficiente	Solo due studi disponibili
Allergie	Inadeguata e insufficiente	Metodi non coerenti
Effetti alla nascita	Insufficiente	Solo quattro studi disponibili
Cancro	Inadeguata e insufficiente	Scarsità di studi

Definizione delle classificazioni. Sufficiente: i fattori casuali, di pregiudizio e confondenti possono essere esclusi con ragionevole sicurezza nel mostrare un'associazione; Suggestiva ma non sufficiente: i fattori casuali, di pregiudizio e confondenti non possono essere esclusi con ragionevole sicurezza nel mostrare un'associazione; Inadeguato e insufficiente: Studi insufficienti in termini di qualità, coerenza o potere statistico.