



Università degli Studi di Torino
Dipartimento di Sanità Pubblica e Microbiologia

INQUINAMENTO ATMOSFERICO E SALUTE

Un documento di approfondimento sui temi della qualità dell'aria e delle implicazioni sulla salute

A Cura di:

Giorgio Gilli, Professore Ordinario di Igiene, Facoltà di Scienze MFN.
Tiziana Schiliro', Dipartimento di Sanità Pubblica e Microbiologia.
Alessandro Bertello, Provincia di Torino.

INDICE:

<u>L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO</u>	2
<u>PERCHÉ PREOCCUPARSI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO?</u>	4
<u>IL CONTROLLO DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO</u>	5
<u>LA PROTEZIONE DELLA SALUTE PUBBLICA NEI CONFRONTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO</u>	6
<u>I PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI</u>	7
<u>BIOSSIDO DI AZOTO (NO₂)</u>	7
<u>OZONO</u>	9
<u>MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)</u>	10
<u>BIOSSIDO DI ZOLFO (SO₂)</u>	11
<u>PARTICOLATO SOSPESO FINE (PM₁₀)</u>	12
<u>BENZENE</u>	13
<u>CONCLUSIONI</u>	14

L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO.

L'ambiente è definito come "l'insieme degli elementi che, nella complessità delle loro relazioni costituiscono le condizioni di vita dell'uomo" (CE, 1973); l'uomo, come tutti gli esseri viventi, interagisce continuamente con l'ambiente che può essere causa di effetti negativi sul suo stato di salute. L'equilibrio del rapporto uomo-ambiente è stato fortemente influenzato dai progressi socio-economici e tecnico-scientifici avvenuti negli ultimi due secoli. Lo sviluppo industriale, l'acquisizione di sempre più raffinati strumenti tecnologici e i livelli di sviluppo a cui l'uomo è arrivato fino ad oggi, hanno condotto nei paesi più sviluppati ad un generale miglioramento delle condizioni di vita. Tuttavia il crescente utilizzo di risorse alimentari ed energetiche, l'inurbamento, l'incremento dei bisogni e dei consumi, hanno causato l'instaurarsi di squilibri nell'ambiente con la comparsa di nuovi inquinanti e l'aumento delle loro concentrazioni. In particolar modo è andata crescendo la quantità e la qualità di sostanze chimiche immesse nell'atmosfera e questo ha portato ad un netto peggioramento delle caratteristiche qualitative dell'aria che normalmente respiriamo. L'aria rappresenta una materia prima indispensabile alla vita di tutti gli organismi e, inoltre, i rapporti che intervengono tra aria ed esseri viventi non possono essere identificati semplicemente con il processo di respirazione, in quanto ogni forma di vita è totalmente e costantemente avvolta da questa matrice e stabilisce con essa numerosi e diversi tipi di interscambio.

La normativa italiana, in particolare il D.P.R. n. 203 del 24 Maggio 1988, definisce l'**inquinamento atmosferico** come "ogni modificazione della normale composizione o stato fisico dell'aria atmosferica, dovuta alla presenza nella stessa di una o più sostanze, in quantità e con caratteristiche tali da alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità dell'aria, da costituire pericolo ovvero pregiudizio diretto o indiretto per la salute dell'uomo, da compromettere le attività ricreative e gli altri usi legittimi dell'ambiente, da alterare le risorse e gli ecosistemi ed i beni materiali pubblici e privati" (Art. 2, comma 1).

L'inquinamento atmosferico ha cominciato ad essere considerato un problema di sanità pubblica in seguito ad alcuni episodi caratterizzati da improvvisi incrementi della morbosità e della mortalità, successivi all'esposizione della popolazione generale ad alti livelli di inquinamento. Tra questi episodi vanno menzionati: il caso nella valle della Mosa (Belgio) del 1930, in cui, nell'arco di 36 ore, su 14.000 residenti furono registrate 6000 richieste di soccorso e un eccesso di 17 morti rispetto a quelle attese in riferimento all'anno precedente; nel 1946 a Donora (Pennsylvania) ci furono 63 decessi in più rispetto agli attesi. L'episodio più conosciuto, per la sua drammaticità, è quello verificatosi nel 1952 a Londra, un'analisi dettagliata dell'evento mostrò che la mortalità per bronchite aumentò di 9,3 volte, mentre la mortalità generale di 2,6 volte, il numero di morti in eccesso, rispetto allo stesso periodo degli anni precedenti e a seguire, fu di 4000. In tutte e tre le circostanze questi episodi acuti si verificarono in seguito ad una combinazione di eventi sfavorevoli: temperatura molto bassa e conseguente aumento del consumo di combustibili, inversione termica e conseguente ristagno degli inquinanti negli strati più bassi dell'atmosfera e nebbia; si registrarono così concentrazioni di particolato totale sospeso (TPS) di circa 4000 µg/m³. L'aria delle grandi città è contaminata da numerosi inquinanti dovuti alla presenza massiccia di insediamenti industriali, del traffico autoveicolare e di insediamenti umani. Gli inquinanti

direttamente emessi dalle sorgenti (processi di combustione) vengono definiti **inquinanti primari**, ovvero gli idrocarburi incombusti, il monossido di carbonio, gli ossidi di azoto (principalmente sotto forma di monossido) ed il particolato sospeso. Nel caso in cui i combustibili contengano zolfo, si ha inoltre anche emissione di anidride solforosa. A seguito dell'emissione in atmosfera, gli inquinanti primari sono soggetti a processi di diffusione, trasporto e deposizione, nonché a processi di trasformazione chimico-fisica che possono portare alla formazione di nuove specie inquinanti, detti **inquinanti secondari**, che spesso risultano più tossici e di più vasto raggio d'azione degli inquinanti originari. Fra i processi di formazione dell'inquinamento secondario, particolare importanza è assunta dalla serie di reazioni che avvengono fra gli ossidi di azoto e gli idrocarburi in presenza di luce solare. Questa catena di reazioni porta all'ossidazione del monossido di azoto (NO) a biossido di azoto (NO₂), alla produzione di ozono (O₃) ed all'ossidazione degli idrocarburi, con formazione di formaldeide, acido nitrico, nitrati e nitroderivati in fase particellare, e centinaia di altre specie chimiche minori. L'insieme dei prodotti di queste reazioni viene definito come smog fotochimico. Per l'insorgere di un processo di smog fotochimico è necessaria la presenza di luce solare e il processo è favorito dalla temperatura atmosferica elevata. Poiché gli ossidi di azoto ed i composti organici volatili sono fra i componenti principali delle emissioni nelle aree urbane, le città poste nelle aree geografiche caratterizzate da radiazione solare intensa e temperatura elevata (es. aree mediterranee) costituiscono dei candidati ideali allo sviluppo di episodi di inquinamento fotochimico intenso, specialmente nella stagione estiva.

Tutti questi inquinanti, su macroscala, variano molto quali-quantitativamente da luogo a luogo, sia in relazione alle emissioni, sia in relazione alle caratteristiche meteorologiche. Queste ultime sono un parametro di fondamentale importanza nel determinare la concentrazione di un inquinante atmosferico; è ovvio, infatti, che città che presentano una elevata piovosità e una presenza massiccia di venti hanno, a parità di emissioni di inquinanti in atmosfera, un'aria più pulita.

Oltre alle condizioni meteorologiche, ciò che determina livelli degli inquinanti aerodispersi, sono le quantità e le tipologie delle emissioni. Per quanto riguarda le emissioni, esistono principalmente tre fonti: trasporti, impianti di combustione e impianti industriali. Ciascuna di queste fonti influisce in modo diverso a seconda dell'inquinante considerato; ad esempio i trasporti contribuiscono principalmente all'incremento del monossido di carbonio, del benzene e degli ossidi di azoto, gli impianti di combustione (riscaldamento) contribuiscono all'incremento del biossido di zolfo e degli ossidi di azoto e gli impianti industriali influiscono soprattutto sulla concentrazione degli idrocarburi incombusti, delle polveri e degli ossidi di zolfo e azoto.

Il traffico autoveicolare, pur essendo la causa principale, non è quindi l'unico responsabile dell'inquinamento atmosferico. Tutti gli accorgimenti presi per limitare questo tipo di inquinamento (marmitte catalitiche, riformulazione delle benzine, provvedimenti atti a ringiovanire il parco auto circolante, limitazioni al traffico cittadino) hanno contribuito fortemente a contenere queste emissioni, ma comunque si è creata una situazione allarmante sia per l'inquinamento atmosferico sia per la congestione del traffico che affligge i grandi centri urbani. Secondo stime ACI in Italia, nel 1950 circolavano 342.000 auto, una ogni 135 abitanti, oggi le auto sono una ogni 1,8 abitanti. Sembra necessario cambiare atteggiamento culturale nei confronti della mobilità; si può affermare

che il sistema di mobilità attuale basato sulle auto private è pericoloso per l'ambiente e per l'uomo ed è economicamente molto costoso.

PERCHÉ PREOCCUPARSI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO?

Non è semplice mettere in relazione lo stato di salute della popolazione con le condizioni dell'ambiente. Gli inquinanti rilasciati in atmosfera possono penetrare nell'organismo umano direttamente attraverso le vie respiratorie o indirettamente attraverso acqua e cibo potenzialmente contaminati.

I potenziali effetti sulla salute derivanti dall'inquinamento atmosferico delle grandi aree urbane sono stati studiati e in parte evidenziati da molti dati epidemiologici e clinici; gran parte di essi concordano nell'evidenziare come ad ogni brusco innalzamento (concentrato nel tempo e nello spazio) della concentrazione di contaminanti atmosferici, si verifica un effetto acuto, ovvero un forte incremento del numero dei decessi nello stesso giorno o nei giorni immediatamente successivi, soprattutto fra gli anziani, i bambini e le persone già colpite da patologie respiratorie e cardiache. Tale aumento del rischio di mortalità è associato da gran parte degli studi ad un incremento di polveri sospese (PTS) o di frazioni di particolato più piccole (PM10, PM2,5) e di SO₂, mentre solo alcuni studi evidenziano un effetto sulla mortalità da parte di biossido di azoto (NO₂), ossido di carbonio (CO) e ozono (O₃). Tale effetto acuto sulla mortalità sembra plausibile biologicamente perché l'incremento dell'inquinamento urbano comporta riduzione della funzionalità respiratoria, aumento di malattie respiratorie nei bambini, attacchi acuti di bronchite e aggravamento dei quadri di asma. Studi più recenti indicano che la frazione più sottile delle particelle inalate sarebbe chimicamente attiva ed in grado di indurre una reazione infiammatoria nel polmone, da cui si liberano mediatori capaci di alterare i fattori della coagulabilità del sangue e di indurre quindi eventi cardiovascolari acuti. Tuttavia, le misure di sanità pubblica adottate nell'ultimo decennio hanno portato ad un decremento dei livelli di inquinamento urbano, spostando l'interesse sulla valutazione degli effetti determinati da bassi livelli d'inquinamento, così da poter aggiornare gli standard di qualità dell'aria. Fra gli effetti a breve termine rientrano disagio, irritazione, tossicità specifica, affezioni respiratorie acute. In questo ambito rimane ancora da chiarire quale sia la popolazione a rischio per gli effetti a breve termine, anche se, particolarmente suscettibili, sembrano essere gli anziani affetti da patologie croniche cardiovascolari o respiratorie. Rimane invece aperto il problema della valutazione degli effetti a lungo termine dell'inquinamento atmosferico, fra i quali risultano prevalere le broncopneumopatie croniche (bronchite cronica, asma, enfisema), alcune forme di neoplasie maligne (cancro polmonare, leucemie) e più in generale mortalità (per malattie cardiovascolari e respiratorie).

Nell'ambito degli effetti a lungo termine, per quanto riguarda le patologie tumorali, il nesso appare di più difficile interpretazione, anche se sicuramente molti degli inquinanti che respiriamo sono cancerogeni e/o supposti tali. Le esposizioni passive ad agenti chimici cancerogeni sono molteplici, risulta quindi difficile capire quale sia il reale peso di ogni singola esposizione e in particolare la "quota" ascrivibile all'inquinamento atmosferico.

IL CONTROLLO DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO.

Nel corso dell'ultimo ventennio la concentrazione degli inquinanti atmosferici è nel complesso diminuita, in particolare nel 2001 a Torino, questo decremento è stato misurato per la gran parte degli inquinanti monitorati. E' doveroso però rilevare che spesso il miglioramento dei livelli d'inquinamento misurati durante l'anno, è influenzato pesantemente dalla variabile meteorologica. Questa variabile, come già accennato, esercita un peso sui valori misurati su base annuale che, nella maggior parte dei casi, è più rilevante delle riduzioni o degli incrementi delle emissioni su scala regionale. Naturalmente vi sono delle eccezioni riguardanti, ad esempio, l'esclusione dal commercio della benzina super, sostituita da quella verde, che ha determinato un'ulteriore ed evidente riduzione del contenuto di piombo, classico inquinante primario, nelle polveri sospese. Altri esempi, di rilevanza più locale, sono riferibili al miglioramento dei processi produttivi, in termini di emissioni, e alla diminuzione della frazione dei combustibili liquidi, di scarsa qualità, usati per la generazione di energia.

Il monossido di carbonio ha evidenziato nell'ultimo ventennio un netto calo delle concentrazioni dovuto al costante sviluppo della tecnologia dei motori per autotrazione ad accensione comandata ed al trattamento dei gas esausti tramite convertitori catalitici a tre vie (si è passati da una media annuale di 10 mg/m^3 nei primi anni '80 a 2.5 mg/m^3 nel 2001). La diminuzione del tenore di zolfo nei combustibili liquidi o solidi e l'introduzione sul mercato energetico del metano hanno determinato la notevole riduzione delle concentrazioni del biossido di zolfo (dai primi anni '80 ad oggi si è avuto un decremento delle concentrazioni annuali di due ordini di grandezza: da 700 a circa $6 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). L'analisi del benzene mostra che si è avuta una continua diminuzione delle concentrazioni (si è passati da una media annuale di circa $20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ nei primi anni '90 a $7.5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ nel 2001) sia grazie all'introduzione del limite dell'1% del tenore di benzene nelle benzine, sia grazie all'aumento nel tempo della percentuale di auto catalizzate sul totale del parco circolante. In generale si può affermare che il miglioramento della qualità dell'aria, evidenziabile su scala pluriennale, deriva principalmente dalle applicazioni delle innovazioni tecnologiche, per quanto riguarda le emissioni, promosse a loro volta dall'evoluzione della normativa europea, nazionale e locale inerente questo tema specifico.

Attualmente le principali criticità riguardano la presenza nell'aria di particolato fine, ozono e di biossido di azoto. Il biossido di azoto non ha mostrato un significativo calo delle sue concentrazioni nell'ultimo decennio, l'introduzione delle marmitte catalitiche non ha influenzato le immissioni di tale inquinante in quanto vi sono altre sorgenti di produzione quali i veicoli diesel e gli impianti di produzione di energia. L'ozono ha evidenziato nell'ultimo decennio una sostanziale costanza di comportamento, sia per le sue caratteristiche di inquinante secondario, sia perché per ottenere risultati significativi nella diminuzione della sua concentrazione si dovrebbe incidere più marcatamente sulla riduzione dei precursori. Negli ultimi 20 anni si è assistito ad un calo generalizzato del particolato totale e tale decremento è dovuto alla progressiva scomparsa delle industrie a maggiore impatto ambientale e dalla diminuzione delle emissioni da parte degli autoveicoli da trasporto, al contrario il particolato fine (PM10) non ha mostrato, presumibilmente, lo stesso decremento (il controllo delle polveri fini è stato introdotto solo negli ultimi anni).

LA PROTEZIONE DELLA SALUTE PUBBLICA NEI CONFRONTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO.

In generale, per formulare decisioni inerenti la protezione della salute pubblica nei confronti dell'inquinamento atmosferico, possono essere individuate due fasi fondamentali:

1. Fase scientifica:

- Conoscenza del pericolo
- Analisi e valutazione del rischio

2. Fase politico-amministrativa:

- Determinazione del rischio accettabile
- Determinazione della popolazione da proteggere
- Legislazione/standards
- Scelta delle tecnologie di controllo: formulazione di strategie.

1. Nella prima fase vengono individuati e studiati i **pericoli** e i **rischi** per la salute pubblica derivanti dall'esposizione alle sostanze inquinanti. Gli effetti negativi degli inquinanti aerodispersi sono comunemente divisi principalmente in: tossicità acuta, tossicità cronica e cancerogenicità. La principale caratteristica che differenzia queste categorie di effetti è l'ipotesi che esiste una dose-soglia a cui si manifestano i sintomi per gli effetti acuti e cronici, ma non per gli effetti cancerogeni (o comunque non è ancora stata dimostrata). La maggior parte delle decisioni inerenti la tossicità degli inquinanti sono basate sui risultati ottenuti attraverso test su animali e, sebbene le basi dei processi biologici siano simili tra specie mammifere, ci sono alcune differenze tra il modello animale e quello umano. Le estrapolazioni fornite dai modelli animali, comunque, sono state di estrema utilità nella definizione degli effetti degli inquinanti sull'uomo e, in associazione con i risultati degli studi epidemiologici, è stato possibile valutare il rischio per l'uomo associato all'esposizione a particolari inquinanti. In pratica, per le sostanze tossiche, nel caso della valutazione della dose-soglia, non è sempre possibile specificare un valore soglia opportuno perché: la relazione dose-risposta varia al variare della diversità fisiologica degli individui di una popolazione esposta e a livelli molto bassi di esposizione è difficile valutare gli effetti. Per le sostanze cancerogene invece, esiste rischio zero solo ad esposizione zero.

Nella valutazione del rischio viene anche calcolato un fattore di sicurezza (incertezza) che riflette il grado di incertezza che deve essere incorporato nella estrapolazione dei dati sperimentali alla popolazione umana: quando la quantità e la qualità dei dati sono alte, il fattore di sicurezza è basso; quando i dati sono inadeguati o confusi, il fattore di sicurezza deve essere più alto:

- Fattore 10 viene applicato a dati provenienti da validi studi sperimentali sull'uomo inerenti assunzioni prolungate nel tempo. Questo fattore 10 protegge anche i membri sensibili della popolazione.
- Fattore 100 viene applicato quando non sono disponibili o sono limitati i risultati provenienti da studi sperimentali sull'uomo inerenti assunzioni prolungate nel tempo, o

provenienti da studi a lungo termine su una o più specie di animali da laboratorio, oppure quando mancano indicazioni sulla cancerogenicità.

- Fattore 1000 viene applicato quando: - non esistono dati provenienti da studi sull'uomo acuti o cronici; - sono scarsi i risultati su animali da laboratorio; - mancano indicazioni sulla cancerogenicità.

I fattori di sicurezza non sono regole precise, dovrebbero essere utilizzati applicando un giudizio scientifico in ogni particolare situazione.

Una volta valutato che l'esposizione ad un inquinante ambientale deve essere contenuta al fine di proteggere al salute umana, bisogna selezionare le misure appropriate per raggiungere tale scopo.

2. Nella seconda fase il **rischio accettabile** rappresenta la soglia alla quale i benefici, che si attendono da una determinata azione o decisione, risultano superiori ai rischi di danno che il decisore è disposto ad accettare. La decisione di una soglia di accettabilità di rischio per la salute umana si rende necessaria quando non si ritiene ragionevolmente possibile raggiungere l'eliminazione del rischio o se una riduzione ulteriore determinerebbe costi sociali ed economici giudicati non accettabili per la società. Nel caso delle sostanze ad azione tossica, gli standards ambientali, dovrebbero avere come obiettivo la definizione di una dose al di sotto della quale nessun effetto negativo possa verificarsi per alcun individuo della popolazione; consegue, nel caso delle sostanze cancerogene che possa esistere un rischio minimo a qualsiasi dose diversa da zero, quindi, in questo caso, la definizione degli standards dovrebbe avere come fine ultimo la riduzione dell'esposizione a livelli prossimi allo zero o comunque livelli che possano contribuire in modo trascurabile ad incrementare il rischio life-time per la popolazione esposta.

Quando viene determinata la dose tossica di un determinato inquinante per la popolazione sana, occorre considerare la dose tossica per la **popolazione a rischio** (neonati, bambini, anziani, immunodepressi, etc...) in quanto tale dose risulta protettiva anche nei confronti della popolazione cosiddetta "normale".

I PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI.

BIOSSIDO DI AZOTO (NO₂)

Gli ossidi di azoto o NO_x sono un gruppo di gas altamente reattivi che contengono azoto e ossigeno in quantità variabile. La maggior parte di questi gas sono inodore e incolore, ma il gas più comune di questa categoria è il biossido di azoto che insieme alle polveri può essere notato per il colore rosso-marrone che caratterizza il panorama dei centri urbani. Gli ossidi di azoto si formano quando i carburanti bruciano ad alte temperature e derivano principalmente dal traffico autoveicolare (49%), da fonti energetiche (27%), da fonti industriali, commerciali e residenziali (19%) che comunque bruciano carburanti. I principali effetti riguardano la riduzione della funzionalità respiratoria e dei meccanismi di difesa polmonare, l'infiammazione delle vie aeree,

danni al sistema cardiocircolatorio e maggiore suscettibilità alle infezioni respiratorie. L'azione degli ossidi di azoto si esplica anche in modo indiretto: reagiscono formando ozono e reagiscono formando nitrati che si depositano sul particolato che è in grado di penetrare in profondità nell'apparato respiratorio causando problemi respiratori seri come bronchiti o aggravare situazioni negative già esistenti.

Esposizione a breve termine: i dati provenienti da studi condotti su animali indicano che l'esposizione acuta a NO₂ al di sotto di 1880 µg/m³ non produce nessun effetto osservabile, tale dato viene confermato anche sull'uomo. Sulle persone con malattie polmonari croniche e su persone asmatiche, che rappresentano i gruppi maggiormente a rischio nell'esposizione al biossido di azoto, un'esposizione a 560 µg/m³ comincia ad evidenziare un minimo effetto.

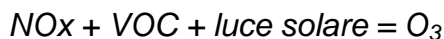
Esposizione a lungo termine: i dati provenienti da studi condotti su animali indicano che l'esposizione cronica a NO₂ (da alcune settimane a mesi) a 1880 µg/m³ produce diversi effetti osservabili nei polmoni, nel sangue, milza e fegato. Non esistono comunque dati sufficienti per stabilire una concentrazione nociva per esposizioni croniche sull'uomo, solo uno studio condotto su bambini osserva alcuni effetti sull'apparato respiratorio per un'esposizione annuale a 75 µg/m³.

	CONCENTRAZIONE AMBIENTALE h µg/m ³	EFFETTO
NO ₂	400 - 600	- in soggetti asmatici e bronchitici cronici: lieve calo della funzionalità respiratoria (< 5%FEV)
	950	- in soggetti asmatici e bronchitici cronici: aumento della suscettibilità nei confronti delle infezioni polmonari
	> 1880	- in soggetti sani: rari sintomi respiratori osservabili
	4700	- in soggetti sani sottoposti a leggero esercizio fisico: lievi difficoltà respiratorie reversibili
	9400	- in soggetti sani: difficoltà respiratorie reversibili
	47000	- in soggetti sani: irritazione respiratoria e dolore toracico
	94000	- in soggetti sani: lesioni ed edema polmonare
	> 188000	- in soggetti sani: edema polmonare e possibile morte

L'esposizione acuta produce effetti solo a concentrazioni superiori ai 1880 µg/m³ nelle persone sane, mentre un'esposizione variabile tra 400 e 600 µg/m³ può provocare i primi effetti su persone asmatiche o con patologie polmonari croniche. Viene proposto un margine di sicurezza del 50% circa per l'esposizione acuta (1 ora), pertanto il valore di attenzione per la salute umana è 200 µg/m³, circa il doppio di tale concentrazione evidenzia leggeri effetti sulle persone asmatiche e per tanto il livello di allarme per la salute umana è di 400 µg/m³. Nonostante le difficoltà nell'individuare un valore guida per esposizioni croniche viene ritenuto valido per la salvaguardia della salute delle fasce più sensibili della popolazione un valore annuale di 40 µg/m³.

OZONO

E' un gas inodore e incolore, composto da tre atomi di ossigeno. E' un inquinante secondario e quindi non viene emesso direttamente nell'aria ma viene creato dalla reazione chimica degli ossidi di azoto (NOx) e dei composti organici volatili (VOC) in presenza della luce solare. L'ozono può essere definito "buono" o "cattivo" a seconda della sua posizione in atmosfera. L'ozono "buono" si trova naturalmente nella stratosfera (15 – 50 Km al di sopra della superficie terrestre) e forma uno strato che protegge la vita sulla terra dai raggi ultravioletti del sole. Nella bassa atmosfera terrestre, a livello del terreno, si trova invece l'ozono "cattivo".



Gli scarichi autoveicolari, le emissioni industriali, i vapori delle benzine e i solventi chimici sono le principali fonti di NOx e VOC ed insieme alla luce solare e alle temperature elevate favoriscono la formazione di ozono a livello terrestre; l'ozono viene tipicamente considerato un inquinante estivo. Le aree urbane, nei mesi estivi, tendono ad avere livelli di ozono molto elevati, spesso al di sopra dei limiti normativi. Anche le zone rurali sono soggette a livelli elevati di ozono a causa del vento che trasporta l'ozono stesso o gli inquinanti precursori di questo a molti chilometri dalle fonti originarie. Nell'atmosfera non contaminata (alto mare, alta montagna) esiste una concentrazione di fondo naturale di ozono con una media oraria che oscilla fra i 40-60µg/m³.

L'ozono "cattivo" è considerato un irritante delle vie respiratorie, può causare tosse, irritazione alla gola e dolore a seguito di respiri profondi; tutti questi sintomi possono essere acuiti a seguito di esercizio fisico praticato all'aria aperta, visto che la quantità di aria inalata durante l'attività fisica è maggiore e l'ozono può penetrare più profondamente nell'apparato respiratorio. Un gruppo particolarmente a rischio nell'esposizione all'ozono è quello dei bambini che, nei mesi estivi, trascorrono molto tempo giocando all'aria aperta, ad ogni modo, le persone di tutte le età sono a rischio praticando attività fisica nei mesi estivi, specialmente nelle ore centrali della giornata, quando l'irraggiamento solare è più elevato. Le persone con problemi respiratori (ad esempio gli anziani) sono particolarmente sensibili all'azione dell'ozono, infatti possono avvertire effetti negativi a concentrazioni di ozono inferiori rispetto alle altre persone. L'ozono può aggravare la situazione delle persone sofferenti di asma ed aumentare la suscettibilità alle infezioni respiratorie.

La definizione di standards per la concentrazione di Ozono nell'aria risulta complicata in quanto, nelle persone più sensibili, alcuni effetti possono manifestarsi già ai livelli di fondo di questo inquinante. Non è quindi possibile basarsi su una concentrazione alla quale non si manifestano effetti. E' stata fatta una valutazione sulla funzionalità respiratoria nelle persone più sensibili: al di sotto di una riduzione del 10% i casi non vengono considerati clinici, e ciò avviene a concentrazioni di circa 160 µg/m³ per esposizioni di 8 ore e 360 µg/m³ per esposizioni di un ora. E' importante sottolineare che gli effetti dovuti all'esposizione ad ozono sono reversibili quando la concentrazione dell'inquinante decresce: adulti sani esposti a concentrazioni molto elevate di ozono (4000 µg/m³) manifestano congestione polmonare che cessa quando la concentrazione dell'inquinante arriva a 400 µg/m³.

Per esposizioni croniche non esistono dati sufficienti per determinare un valore soglia tale da garantire una protezione per la salute pubblica. La concentrazione di ozono che determina effetti

avversi alla salute derivanti da esposizioni croniche varia in funzione del tempo di permanenza all'aperto e con il volume di aria inalato.

	CONCENTRAZIONE AMBIENTALE $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Esposizione 1h	EFFETTO	
		Soggetti sani	Soggetti sensibili
O₃	360 - 500	Nessuno	Durante attività fisica riduzione funzionalità respiratoria ($\text{FEV}_1 < 10\%$).
	500 - 1000	Durante attività fisica riduzione funzionalità respiratoria ($\text{FEV}_1 < 3\%$).	Irritazione delle mucose delle vie respiratorie, tosse
	1000 - 2000	Irritazione delle mucose delle vie respiratorie, tosse, cefalea	Secchezza della gola, severa irritazione delle mucose dell'apparato respiratorio, palpitazioni.
	>3000	Sonnolenza, irritazioni dell'apparato respiratorio, riduzione funzionalità respiratoria ($\text{FEV}_1 20\%$).	

Sulla base di queste considerazioni la nuova normativa europea (Dir 2002/3/CE) pone come valore per la protezione della salute umana $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valore invariato rispetto alla normativa precedente DM 15/4/94, 25/11/94, 16/5/96) per esposizioni di un ora e come valore di allarme $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (viene abbassato il livello di allarme della precedente normativa: $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e garantisce un livello minimo di rischio per l'esposizione acuta di persone sensibili, inoltre pone come valore bersaglio per la protezione della salute umana sulle 8 ore $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, che risulta essere il 30% inferiore rispetto al valore che in persone patologiche manifesta i primi flebili effetti sull'apparato respiratorio, comunque reversibili.

MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)

Il CO presente nell'aria deriva sia da fonti naturali che antropiche. E' il prodotto della combustione incompleta di sostanze organiche contenenti carbonio; le fonti naturali sono rappresentate dai processi di ossidazione del metano nell'atmosfera, dalle emissioni da parte degli oceani, dagli incendi delle foreste, dalle attività vulcaniche, dai gas di palude. Fra le fonti antropiche vanno annoverati tutti quei processi che bruciano carbone, petrolio, cherosene, metano, benzina. La fonte più rilevante è costituita dagli autoveicoli a benzina (solo trascurabilmente dai diesel a causa del più elevato rapporto aria/combustibile) che arrivano al 70% delle emissioni totali, mentre il rimanente 30% è ascrivibile alle emissioni di alcune industrie, degli inceneritori e degli impianti per la produzione di energia. L'emissione di CO da parte degli autoveicoli a benzina varia a seconda delle caratteristiche del motore, della temperatura (in quanto influenza l'efficienza del motore), della velocità e della presenza o meno di marmitte catalitiche.

Esercita una alta tossicità per via del legame che contrae, se inalato, con l'emoglobina (formando COHb, carbossiemoglobina), con cui ha una alta affinità (240 volte maggiore dell'O₂). Circa l'80 - 90% del CO assorbito si lega all'emoglobina e forma la carbossiemoglobina (COHb). La produzione endogena di CO porta ad un livello di COHb che varia tra 0.4 e 0.7% (in gravidanza

tale livello arriva anche a 2.5%). Nelle persone sane non fumatrici il livello di COHb medio risulta essere compreso tra 0.5 e 1.5% sia per la produzione endogena di CO che per l'esposizione ambientale, tale livello aumenta a seconda del lavoro svolto (es. esposizione al traffico), con il fumo (da 5 a 10%) e con l'esercizio fisico praticato all'esterno. Gli effetti fisiopatologici variano in relazione alla percentuale di COHb nel sangue: diminuzione della vigilanza, dell'acuità visiva, della capacità di apprendimento, di esecuzione di test manuali, alterazioni cardiovascolari e polmonari, deficit respiratori, fino ad arrivare a coma e morte.

La produzione endogena di CO porta ad un livello di COHb che varia tra 0.4 e 0.7% (in gravidanza tale livello arriva anche a 2.5%). Nelle persone sane non fumatrici il livello di COHb medio risulta essere compreso tra 0.5 e 1.5% sia per la produzione endogena di CO che per l'esposizione ambientale, tale livello aumenta a seconda del lavoro svolto (es. esposizione al traffico), con il fumo (da 5 a 10%) e con l'esercizio fisico praticato all'esterno.

Al fine di proteggere la popolazione sensibile (non fumatori, bambini, anziani, soggetti affetti da coronaropatie) viene fissato come valore da non superare 2.5% COHb. Sono stati determinati i livelli e il tempo di esposizione al fine di non superare tale soglia sulla base di studi sperimentali ed epidemiologici pregressi: 100 mg/m³ per 15 min, 60 mg/m³ per 30 minuti, 30 mg/m³ per 1 ora, 10 mg/m³ per 8 ore.

Percentuale di CO nel sangue	Sintomi
0-10%	Di solito non avvertiti, scambiati per un malessere generico
10-20%	Mal di testa, affanno, dolore al petto
20-30%	Emicrania pulsante, nausea, vomito, affaticamento, poca concentrazione
30-40%	Vertigini, affaticamento, processi mentali indeboliti
40-50%	Respiro rapido, battito cardiaco accelerato, vertigini, stato confusionale
50-60%	Insufficienza respiratoria, collasso, convulsioni e coma
60-70%	Insufficienza respiratoria, pressione del sangue bassa e coma
oltre 70%	Coma, rapidamente fatale

BIOSSIDO DI ZOLFO (SO₂)

L'SO₂ è un gas che viene prodotto dalla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo (carbone, petrolio grezzo). Le fonti di maggior emissione sono le raffinerie di petrolio, gli impianti di produzione di energia elettrica, le industrie della carta, le fonderie e il riscaldamento per uso domestico (cherosene). L'SO₂ è un tracciante dell'inquinamento da impianti fissi di combustione: gran parte dello zolfo dei combustibili si ritrova nei fumi come SO₂. Fra i derivati più tossici dell'SO₂ vi è l'acido solforico (H₂SO₄) che rappresenta la maggior componente acida dell'inquinamento atmosferico. L'acido solforico in atmosfera si presenta sotto forma di aerosol, spesso associato ad altri inquinanti in gocce o particelle solide; i livelli di H₂SO₄ dipendono in gran parte dal grado di ossidazione dell'SO₂. Insieme ad altri prodotti non solforati, l'SO₂ e i suoi derivati formano lo smog pesante delle aree urbane industrializzate presente in inverno e caratterizzato da azione riducente o acida. Negli ultimi anni a seguito delle nuove discipline sui combustibili e dell'utilizzazione di nuovi combustibili i livelli di SO₂ nell'aria urbana sono scesi.

Esposizione a breve termine. Le risposte acute si verificano entro i primi minuti dall'inizio dell'inspirazione; l'ulteriore esposizione non aumenta gli effetti. Gli effetti includono riduzioni nel volume medio forzato in un secondo (FEV1), aumenti nella resistenza specifica delle vie aeree (sRAW) e sintomi come ansimare o brevità di respiro. Questi effetti peggiorano all'aumentare del volume di aria ispirata e quindi con l'esercizio, evento che permette all' SO₂ di penetrare più in profondità nel tratto respiratorio. In ragione della sua alta idrosolubilità, l'85% dell' SO₂ viene trattenuta dal rinofaringe e solo minime percentuali raggiungono le zone più distali (bronchioli e alveoli).

Esposizione a lungo termine. E' stato verificato un LOEL (Lowest Observed Effect Level) per SO₂ di 100 µg/m³ come media annua (in presenza di TPS). Gli studi più recenti relativi a sorgenti industriali di SO₂ o alle mutate miscele di inquinanti urbani, hanno mostrato effetti al di sotto di questo livello. La principale difficoltà nell'interpretazione degli studi a lungo termine è che gli effetti derivano non solo delle condizioni attuali, ma anche dal diverso inquinamento degli anni precedenti.

I valori guida per l'SO₂ sono stati definiti applicando un fattore di incertezza pari al 50% sul valore di LOEL e sulla base degli studi effettuati su soggetti asmatici esposti a SO₂ per brevi periodi, è raccomandabile non superare il valore di 500 µg/m³ per esposizioni acute.

PARTICOLATO SOSPESO FINE (PM10)

Le fonti di particolato atmosferico possono essere dirette o indirette, nelle prime rientrano il traffico autoveicolare, le industrie, il riscaldamento e ogni fonte di combustione ed abrasione naturale o indotta dall'uomo; delle seconde fanno parte le trasformazioni chimiche dei gas aerodispersi (reazioni con la luce solare e con il vapor acqueo).

Gli effetti sulla salute del particolato dipendono dalle dimensioni del particolato stesso (PM₁₀ o PM_{2,5}) e dalla sua concentrazione. Tali effetti si dividono in:

- effetti acuti: aumento della tosse, aumento nell'utilizzo di broncodilatatori, aumento dei ricoveri ospedalieri giornalieri per acutizzazione delle patologie respiratorie;
- effetti cronici: aumento della mortalità generale e della morbilità.

Gli studi esistenti a riguardo sono piuttosto divergenti nei risultati e le contraddizioni sono dovute essenzialmente a differenti condizioni espositive, differenti effetti considerati, differente metodologia di ricerca e soprattutto alla composizione del PM che è variabile e dipende da diversi fattori: Fonte – Clima - Stagione – Topografia, in una stessa località varia da anno ad anno, da stagione a stagione, da giorno a giorno e varia anche all'interno dello stesso giorno. Non è quindi possibile definire un valore soglia al di sotto del quale non si verificano effetti avversi alla salute umana. L'azione fisiopatologica del particolato, che non contenga sostanze di per sé tossiche, si estrinseca sull'apparato respiratorio: sui meccanismi di clearance alveolare e mucociliare. Tutto ciò è in grado di potenziare l'azione tossica di altri contaminanti contemporaneamente inalati e di determinare effetti a breve e a lungo termine. La pericolosità del particolato cresce col diminuire delle dimensioni del particolato stesso, e quindi con la capacità di penetrare nell'apparato respiratorio, inoltre gli effetti dipendono dal contenuto del particolato (ad es. acidità, solfati e metalli).

Le informazioni disponibili non permettono di stabilire un valore certo per la salvaguardia della salute; empiricamente viene ritenuto come limite massimo accettabile in aria esterna $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e la normativa italiana pone come valore giornaliero per la salvaguardia della salute umana il valore medio giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e come obiettivo di qualità annuale la media di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (D.M. 2.04.2002 n. 60).

BENZENE

Il benzene presente in atmosfera viene prodotto dall'attività umana, in particolare dall'uso del petrolio, degli oli minerali e dei loro derivati.

La maggior fonte di esposizione per la popolazione deriva dai gas di scarico degli autoveicoli, in particolare dei veicoli alimentati a benzina; stime effettuate a livello di Unione Europea attribuiscono questa categoria di veicoli più del 70% del totale delle emissioni di benzene.

Il benzene è presente nelle benzine come tale e si produce inoltre durante la combustione a partire soprattutto da altri idrocarburi aromatici. La normativa italiana in vigore fissa, a partire dal 1 luglio 1998, il tenore massimo di benzene nelle benzine all'uno per cento.

Gli effetti tossici che si possono imputare all'esposizione a benzene sono sostanzialmente tre: effetti ematopoietici e immunosoppressivi, leucemogeni e clastogeni. L'evidenza che il benzene sia in grado di indurre leucemia nell'uomo è innanzitutto su basi epidemiologiche, dato che non esistono modelli animali capaci di riprodurre significativamente la malattia. Anche se sono ormai numerosi i rapporti di casi clinici e di studi citogenetici che indicano una stretta correlazione tra esposizione al benzene e leucemia, vi sono varie ragioni perché ancora non sia accettata da tutti una relazione causa-effetto. Ciò nonostante è ormai accettato (dall'Agenzia per la Ricerca sul Cancro, IARC, dell'OMS) il fatto che il benzene sia una sostanza cancerogena e probabilmente un'importante causa nell'uomo di leucemia mielogena acuta e forse anche di leucemia di altro tipo.

Il concetto di soglia per l'effetto biologico, se largamente accettato per le sostanze chimiche non cancerogene, resta invece argomento di forte dibattito scientifico nell'ambito delle sostanze mutagene e cancerogene. Esiste rischio zero solo ad esposizione zero. Molti modelli matematici sono stati sviluppati per stimare il rischio tumorale associato a basse dosi di sostanze cancerogene. Tale stima viene definita correntemente Unit Risk (U.R.) che rappresenta il rischio addizionale di sviluppare un tumore nel tempo vita, all'interno di una ipotetica popolazione, nella quale tutti gli individui sono esposti continuamente alla concentrazione di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di sostanza cancerogena nell'aria che respirano. Per la definizione di standard di qualità per l'aria, di regola, si considerano accettabili valori di esposizione che comportino un rischio di 1 caso su 100.000 o 1 caso su 1.000.000.

Rischio Unitario per esposizione a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ <i>lifetime</i>	
WHO. 1987	1×10^{-6}
WHO, 1996	6×10^{-6}
US EPA. 1994	1×10^{-5}
California EPA, 1994	20×10^{-5}
WHO. 1999	1.7×10^{-6}

CONCLUSIONI

Al momento la salvaguardia della salute dell'intera comunità viene affidata al rispetto dei limiti normativi, i quali sono ampiamente cautelativi anche per la fasce di popolazione più sensibili. Al fine di garantire il rispetto di tali limiti, oggi si è consolidata la necessità della prevenzione dell'inquinamento, che, nel corso degli ultimi anni, ha prodotto numerosi risultati positivi. Per supportare l'azione preventiva risulta necessaria la responsabilizzazione e l'informazione della popolazione attraverso la comunicazione del rischio cui è sottoposta.

In generale ci troviamo in una situazione in cui si stanno verificando molte delle cause che portano ad un incremento di percezione del rischio. In particolare :

- esposizione involontaria: la popolazione ritiene di non poter essere in grado di evitare il rischio per la salute e l'ambiente derivante dalla contaminazione dell'aria;
- mancanza di controllo personale sulle situazioni: il cittadino in quanto individuo non ritiene di avere la possibilità di scegliere in merito alle politiche e alle strategie di sviluppo e di programmazione dell'assetto urbano e degli altri fattori di condizionamento della qualità dell'aria;
- mancanza di familiarità rispetto a ciò che viene considerato rischio: la popolazione non riesce a decodificare con facilità le caratteristiche di eventuali rischi legati al fenomeno;
- non consapevolezza precisa degli eventi suppostamente derivanti dall'esposizione: in alcuni casi la popolazione attribuisce un peso eccessivo alle possibili conseguenze del fenomeno perché non ha termini di riferimento, perché circolano informazioni incontrollate, perché sono molto forti i movimenti di opinione, in altri si assiste a una sottostima dei fenomeni;
- percezione di non equità nelle decisioni di gestione del territorio: la popolazione si sente estromessa dalla possibilità di decidere in merito alle scelte in campo produttivo e ambientale.

A fronte di un alto livello di percezione del rischio determinato dalla combinazione delle variabili di cui sopra, nel mondo scientifico esistono ancora o delle interpretazioni non pienamente condivise perché basate su studi contraddittori o non definitivi, oppure dei dati difficilmente traducibili in informazioni per la collettività.

La percezione e la conoscenza dello stato di salute dell'ambiente nel quale si vive è pertanto un tema prioritario. Le popolazioni, a questo proposito, sono costituite da soggetti che devono capire di giocare un duplice ruolo di "vittime" e "carnefici", subendo, l'esposizione ai diversi inquinanti atmosferici (da pedoni) e giocando il ruolo di inquinatori quando, ad esempio, viene fatto un uso superfluo o eccessivo dell'automobile. Nel caso specifico il cittadino, con un comportamento inappropriato, o meglio non informato, provoca danni aggiuntivi sull'ambiente i cui costi si ripercuotono sull'intera collettività.

Alla luce di quanto detto, appaiono necessari strumenti informativi atti alla conoscenza della qualità dell'ambiente dove le popolazioni vivono, ma anche alla crescita della consapevolezza del fatto che un corretto uso del territorio è utile prima di tutto per il cittadino stesso.

BIBLIOGRAFIA

- “Guidelines for air quality”, WHO, Geneva, 1999
- “Guidelines for reporting of Daily Air Quality – Air Quality Index”, U.S. E.P.A.,2000
- “Ozone, “MICROMEDEX Healthcare Series” Vol 114, 12/2002
- Nitrogen Dioxide, “MICROMEDEX Healthcare Series” Vol 114, 12/2002
- Carbon monoxide, “MICROMEDEX Healthcare Series” Vol 114, 12/2002
- Sulfur dioxide, “MICROMEDEX Healthcare Series” Vol 114, 12/2002
- Benzene, “MICROMEDEX Healthcare Series” Vol 114, 12/2002
- “Understanding the health effects of components of the Particulate matter mix: Progress and next steps” HEI Perspectives, April 2002.
- “Rapporto sullo stato dell’ambiente, 2002”, ARPA Piemonte
- “Uno sguardo all’aria, 2001”, Provincia di Torino