

L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

L'aria è una miscela di gas costituita da azoto (circa 78%), ossigeno (circa 21%) e da altri gas, come argon, anidride carbonica, metano, presenti in concentrazioni molto inferiori. Nell'aria si trovano inoltre vapore acqueo, in concentrazione molto variabile, e particelle solide di varia natura e dimensione.

Si parla di **inquinamento atmosferico** ogni qualvolta **una sostanza è presente nell'aria in concentrazione diversa rispetto a quella naturale**. Queste alterazioni possono essere causate sia da fenomeni di **origine naturale** (ne sono un esempio le eruzioni vulcaniche), che da attività umane: si parla in tal caso di **origine antropica**.

Tipiche sorgenti artificiali di inquinamento atmosferico sono le emissioni degli inquinanti industriali, delle centrali termiche, degli impianti di riscaldamento e dei mezzi di trasporto. Le sostanze contenute nelle emissioni possono ritrovarsi direttamente nell'ambiente (**inquinanti primari**) o subire in atmosfera dei processi di trasformazione, dando luogo a nuove sostanze inquinanti (**inquinanti secondari**).

Quando l'inquinamento viene rilevato in ambienti aperti si parla comunemente di **inquinamento esterno o outdoor**, mentre con il termine **interno o indoor** ci si riferisce all'inquinamento in ambienti chiusi come case, uffici, luoghi pubblici.

Macroinquinanti e microinquinanti

Ad oggi sono stati identificati **diverse migliaia di agenti inquinanti, la maggioranza dei quali di origine antropica**, prodotti dai vari processi industriali, dai sistemi di riscaldamento/condizionamento degli edifici e dai mezzi di trasporto. Fra essi, gli **agenti inquinanti tradizionalmente monitorati** sono il biossido di zolfo (SO₂), il monossido di carbonio (CO), il monossido e biossido di azoto (NO, NO₂), l'ozono (O₃) e il particolato atmosferico, indicato dalla sigla "PM"(dall'inglese particulate matter) seguito da un numero che indica la misura del particolato espressa in micron.

Tali sostanze, in parte inquinanti primari (SO₂, NO, CO, e PM₁₀) e in parte inquinanti secondari (NO₂, O₃), sono infatti:

Le **più facilmente misurabili** con strumenti automatici;

Le **più largamente diffuse**;

Quelle **presenti in concentrazioni maggiori**.

Il monitoraggio delle concentrazioni di questi inquinanti, spesso chiamati **macroinquinanti**, o inquinanti tradizionali, **permette la caratterizzazione dello stato generale di qualità dell'aria** atmosferica e ad essi si riferisce la maggior parte delle prescrizioni normative.

Ciò non significa, tuttavia, che tali sostanze siano le più pericolose per l'uomo e per l'ambiente. Da questo punto di vista, altri inquinanti, che sono presenti in concentrazioni molto inferiori e per tale ragione vengono detti **microinquinanti**, posseggono una maggiore nocività accertata.

Per la loro determinazione quantitativa sono richieste tecniche di misura molto più complesse. Microinquinanti importanti per nocività o per diffusione sono la formaldeide, l'acido nitroso (HNO₂), Il perossiacetilnitrate (indicato come PAN), e, tra gli idrocarburi, il benzene (C₆H₆), il Toluene e lo xilene, gli idrocarburi polinucleari aromatici, indicati come IPA, e tra questi in particolare il benzo(a)pirene (BaP).

Anche per quanto riguarda il particolato atmosferico si tende oggi sempre di più a fornire una determinazione quantitativa della frazione fine respirabile, con diametro aerodinamico inferiore a 10 o a 2,5 µm (micron), indicati rispettivamente come PM₁₀ e PM_{2,5}.

Importante è infine la presenza di metalli pesanti (piombo, cadmio, nichel ..) nella costituzione del particolato atmosferico.

ORIGINE E NATURA DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI

Forniamo ora una descrizione dei principali inquinanti: per ognuno di essi si vengono evidenziate caratteristiche, sorgenti, effetti sull'uomo e sull'ambiente, possibili misure di controllo e prevenzione.

Ossidi di azoto (NO, NO₂)

Il **monossido di azoto (NO)** è un **gas incolore, inodore e insapore**, chiamato anche ossido nitrico, mentre il **biossido di azoto (NO₂)** si presenta sotto forma di un **gas rossastro di odore forte e pungente**.

L'NO si forma in tutti i processi di combustione in presenza di aria per reazione dell'azoto con l'ossigeno atmosferico, soprattutto in condizioni di elevata temperatura.

L'NO così prodotto reagisce successivamente con l'ossigeno (O₂) dell'atmosfera, dando origine al **biossido di azoto – NO₂** (il 10-15 % dell'NO prodotto si trasforma in NO₂). La concentrazione di NO₂ in aria dipende però anche da altri processi ossidativi, tra i quali è particolarmente rilevante la **reazione dell'NO con l'ozono (O₃)** prodotto nelle ore di maggiore irraggiamento solare. L' NO₂ è dunque da considerare un inquinante secondario, anche se piccole quantità di questo gas si formano durante il processo di combustione stesso.

L'NO₂ è uno dei fattori inquinanti che attivano i processi di formazione dello smog fotochimico. In particolare la sua presenza conduce alla formazione perossiacetilnitrato (PAN), di acido nitroso (HNO₂) e di acido nitrico (HNO₃).

Le principali sorgenti artificiali di NO, e dunque di NO₂, sono gli **impianti di riscaldamento, alcuni processi industriali e i gas di scarico dei veicoli a motore**: in particolare per tale tipo di sorgente, a differenza dell'ossido di carbonio, le concentrazioni più elevate vengono emesse in condizione di accelerazione e marcia a velocità elevata (combustione a temperatura più elevata). Tra le **fonti di origine naturale** vi sono invece l'azione dei fulmini, gli incendi e le emissioni vulcaniche.

In generale i motori diesel emettono più ossidi di azoto e particolato rispetto ai motori a benzina, i quali però emettono più ossido di carbonio e idrocarburi. Si stima che in Italia vengano emesse in atmosfera circa 2 milioni di tonnellate all'anno di ossidi di azoto, di cui circa la metà è dovuta al traffico degli autoveicoli.

Negli ambienti chiusi la concentrazione di ossidi di azoto risulta più elevata nelle cucine per le combustioni aperte dei fornelli e spesso si può arrivare a concentrazioni più elevate di quelle esterne. La diminuzione di questi inquinanti risulta comunque estremamente rapida non appena viene meno la causa della loro produzione.

Anche le loro concentrazioni presentano un **andamento stagionale**, che però è meno marcato rispetto a quello dell'SO₂.

Anche perché più stabile, NO₂ è considerato più importante per gli effetti sulla salute umana: esso provoca **irritazioni alle mucose degli occhi e danni alle vie respiratorie e alla funzionalità polmonare** quali bronchiti croniche, asma ed enfisema polmonare. Lunghe esposizioni anche a basse concentrazioni provocano una drastica diminuzione delle difese polmonari con conseguente aumento del rischio di affezioni alle vie respiratorie.

Misure di controllo:

Utilizzare preferibilmente caldaie a gas con camere di combustione sigillata;

Mantenere in perfetta efficienza le apparecchiature garantendo gli sfoghi verso l'esterno.

Ozono (O₃)

L'ossigeno dell'aria si presenta abitualmente in forma di molecola (O₂). Quando però si presenta in forma di molecola triatomica (cioè costituita da 3 atomi: O₃) prende il nome di ozono.

E' un gas altamente reattivo, di odore penetrante, ad alte concentrazioni di colore blu e dotato di elevato potere ossidante. Nel dibattito ecologico contemporaneo, l'ozono compare in un **duplice ruolo:**

come ozono **"buono"**, presente naturalmente negli strati superiori della troposfera (10-15 km di quota), con funzione di filtro per la componente ultravioletta B e C della radiazione solare, altamente nociva per le cellule viventi. Questo è **l'ozono di cui si parla in riferimento al problema dell'assottigliamento dello strato di ozono** nelle regioni polari (buco dell'ozono); al contrario l'ozono nell'aria respirabile (strati inferiori dell'atmosfera, a contatto con il suolo) è un indice di inquinamento dell'aria medesima (ozono **"cattivo"**) e ad esso ci si riferisce parlando dell'**ozono come agente inquinante.**

L'ozono **"cattivo"** è **generato a partire dall'azione della radiazione solare sulle molecole di biossido di azoto presenti in atmosfera. Le reazioni dell'ozono con gli ossidi di azoto sarebbero tuttavia a bilancio complessivo nullo:** sotto l'azione della luce solare si avrebbe un ciclo continuo di formazione e distruzione dell'ozono.

Si ha accumulo di ozono solo se l'atmosfera, oltre ad essere inquinata da ossidi di azoto, contiene anche idrocarburi reattivi, trovandosi in situazione favorevole allo sviluppo di **smog fotochimico.**

L'ozono è quindi un **tipico inquinante secondario, caratteristico dei mesi primaverili ed estivi** a più alta insolazione. Esso **raggiunge le maggiori concentrazioni alla periferia delle aree inquinate urbane:** qui infatti le molecole di O₃, prodotte durante le ore di sole in ambienti urbani inquinati e trasportate dalle brezze locali, incontrano aria più pura e possono accumularsi, in quanto nessun agente inquinante reagisce con esse distruggendole. In ambiente urbano inquinato invece nelle ore serali e notturne prosegue l'emissione di agenti inquinanti che reagiscono con l'ozono accumulato nelle ore di sole.

Nei locali chiusi (**inquinamento indoor**) le fonti di ozono possono derivare dall'uso di depuratori di aria, di lampade ultraviolette, di fotocopiatrici o stampanti laser.

In assenza di specifiche sorgenti, i fattori che tendono a ridurre la concentrazione di ozono negli ambienti confinati sono predominanti per cui, generalmente, nelle normali condizioni di ventilazione degli edifici la principale sorgente di ozono indoor resta l'aria esterna.

L'ozono, gas irritante e aggressivo, ha effetti sull'uomo anche a concentrazioni minime e può provocare reazioni variabili da individuo ad individuo: la sensibilità all'ozono si manifesta con stanchezza, mal di testa, limitazione delle capacità respiratorie e, nel caso di concentrazioni maggiormente elevate, è **particolarmente irritante per le vie respiratorie e per gli occhi.** Provoca **lesioni sulle foglie di alcuni vegetali.** Su gomme e fibre tessili provoca alterazioni chimiche riducendo l'elasticità e rendendo fragile il materiale.

L'ozono è inoltre un gas serra, ovvero in grado di modificare, significativamente, anche a basse concentrazioni, l'equilibrio del sistema terra-atmosfera, producendo un **riscaldamento globale dell'atmosfera.** Il suo contributo percentuale al riscaldamento globale è stato stimato nell'8%, contro il 50% dell'anidride carbonica (CO₂), il 20% dei clorofluorocarburi, il 16% del metano e il 6% del protossido di azoto (N₂O).

Misure di controllo:

Maggior controllo dell'inquinamento in genere;

Un utilizzo razionale delle apparecchiature responsabili della produzione di ozono.

Particolato atmosferico

Per particolato atmosferico si intendono **tutte le particelle presenti in atmosfera,** allo stato solido o liquido, **che grazie alle loro minuscole dimensioni restano sospese nell'aria** per periodi più o meno lunghi. Queste sono in grado di influire sulla salute delle persone quando vengono inalate e **raggiungono le vie respiratorie più profonde,** arrivando agli alveoli polmonari e **rilasciando alcuni elementi tossici che possono sciogliersi nel sangue.** Le particelle vengono classificate

secondo il diametro aerodinamico, e l'unità di misura convenzionalmente usata è il micrometro. La classificazione convenzionale le suddivide in:

PM10, che include tutte le particelle di dimensioni molecolari fino a 10 micrometri di diametro;

PM2.5, che include tutte le particelle di diametro fino a 2.5 micrometri.

La composizione del particolato è estremamente variabile in base all'origine delle particelle (piombo, nichel, zinco, rame, cadmio, fibre di amianto, solfati, nitrati, idrocarburi policiclici pesanti, polvere di carbone e cemento).

La concentrazione viene espressa in microgrammi per metro cubo di aria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

L'origine di tali particelle è di tipo naturale (sabbie, polveri delle eruzioni vulcaniche, pollini e spore) **ed antropica**: generalmente **prodotte dalla combustione e dai processi industriali**. Quelle prodotte dalla combustione (qualsiasi tipo di combustione: i motori delle auto, le sigarette, le candele, il riscaldamento, i caminetti, etc.) sono prevalentemente al di sotto del micrometro (frazione fine del particolato) e quindi sono le più pericolose.

Queste ultime soprattutto possono inoltre veicolare metalli pesanti (piombo, cadmio, zinco, ecc.) e, adsorbiti sulla loro superficie, molecole complesse di idrocarburi (idrocarburi policiclici aromatici ad alto peso molecolare).

Le principali sorgenti di particolato **negli ambienti indoor** sono gli apparati di combustione e il fumo di tabacco. Altre sorgenti secondarie sono: gli spray, i fumi degli alimenti cucinati, batteri e spore, pollini. Particelle più grossolane provengono essenzialmente dall'esterno (polveri, frammenti biologici, muffe) attraverso il trasporto umano, la deposizione e il successivo risollevarlo.

La nocività per la salute umana dipende sia dalla composizione chimica che dalla dimensione delle particelle: quelle di diametro **superiore a 10 μm** si fermano nelle mucose rinofaringee dando luogo a irritazioni e allergie; quelle di diametro **compreso tra 5-10 μm** raggiungono la trachea e i bronchi: quelle infine con diametro **inferiore a 5 μm** possono penetrare fino agli alveoli polmonari. Questa ultima classe di particelle è dunque particolarmente pericolosa sia per la composizione chimica sia per la dimensione. **Le sostanze veicolate negli alveoli polmonari possono avere anche effetto cancerogeno.**

Recentemente è stata avanzata l'ipotesi che infiammazioni causate da particelle ultrafini negli alveoli polmonari possano scatenare una risposta immunitaria, la quale porta, come conseguenza, un aumento nella coagulazione nel sangue e quindi un **aumento del rischio di insorgenza di crisi cardiache in soggetti predisposti**.

Proprio per questa particolare pericolosità del particolato fine, la legislazione italiana ha preso in considerazione la misura selettiva della frazione di particolato atmosferico con diametro aerodinamico inferiore a 10 μm , indicato come PM10, stabilendo per essa specifici valori di riferimento di concentrazione.

Il particolato atmosferico produce infine **degradazione delle superfici** esposte e **riduzione della visibilità** (foschia che spesso vediamo in aria e chiamiamo generalmente smog) Su larga scala può **produrre modificazioni sul clima**.

Misure di controllo:

Ci sono alcuni accorgimenti individuali che si possono tenere presenti al fine di ridurre l'esposizione al particolato aerodisperso:

Evitare di fare attività fisica molto forte nei giorni in cui la qualità dell'aria è molto bassa;

Evitare l'uso di camini nei giorni in cui la qualità dell'aria è molto bassa;

Ridurre il numero di spostamenti in strada nei giorni in cui la qualità dell'aria è molto bassa;

Guidare meno velocemente.

Benzene (C₆H₆)

Il benzene è il composto aromatico più semplice ed ha un tempo di permanenza in atmosfera dell'ordine di un giorno.

Più precisamente, è **un componente dei prodotti derivati dal carbone e dal petrolio e si trova anche nella benzina e negli altri carburanti**.

A temperatura ambiente si presenta come un liquido incolore che evapora all'aria molto velocemente. E' caratterizzato da un odore pungente e dolciastro, la maggior parte delle persone può percepirlo in concentrazione molto basse.

Il benzene è una sostanza altamente infiammabile, ma la sua pericolosità è dovuta principalmente al fatto che è **un cancerogeno riconosciuto per l'uomo**.

Pur essendo dimostrata la sua pericolosità, per il suo ampio utilizzo il benzene è praticamente insostituibile; molte industrie lo utilizzano per produrre altri composti chimici e alcuni tipi di gomme, lubrificanti, coloranti, inchiostri, collanti, detergenti, solventi e pesticidi.

Questo inquinante primario **proviene per circa il 90% dagli autoveicoli**, emesso per la maggior parte dai gas di scarico e , in misura inferiore, dall'evaporazione del combustibile. Sono particolarmente ricche di benzene alcune benzine "verdi" in cui esso è utilizzato come antidetonante in sostituzione del piombo. La parte restante proviene dalla **distribuzione e immagazzinamento del combustibile e dalla combustione del legno e di altri composti organici, quali la nafta**. **Anche il fumo di sigaretta contiene elevate concentrazioni di tale sostanza** e rappresenta una notevole fonte di esposizione per i fumatori attivi e passivi.

In ambiente confinato le concentrazioni di Benzene possono raggiungere valori confrontabili a quelli dell'atmosfera esterna inquinata per effetto, come si è detto, del fumo di sigarette e dell'utilizzo di materiali per l'edilizia, colle, vernici, legnami, prodotti per la pulizia contenenti benzene come solvente.

Le principali fonti del benzene all'interno degli ambienti chiusi provengono dall'esterno (i gas esausti dei veicoli a motore e le emissioni industriali), mentre il benzene in ambienti indoor proviene principalmente dal fumo di tabacco, dalle combustioni domestiche incomplete, dal carbone, dal petrolio, ed anche dai vapori liberati dai prodotti utilizzati nelle case che contengono benzene (ad esempio colle, vernici, cere per mobili, detergenti).

La concentrazione del benzene proveniente dall'esterno è particolarmente variabile, in quanto è soggetta ai cambiamenti dovuti sia alle condizioni meteorologiche sia alle attività lavorative giornaliere (sono le ore di maggior traffico che presentano i picchi di inquinamento da benzene). Le concentrazioni esterne generalmente variano tra 5 e 20 µg/m³. In assenza di sorgenti interne, le concentrazioni "indoor" sono minori rispetto a quelle "outdoor", ma in presenza di sorgenti interne, possono arrivare a valori anche considerevolmente superiori.

L'esposizione al benzene avviene essenzialmente per inalazione (circa il 99% del benzene assunto), per contatto cutaneo o per ingestione (consumo di cibo o di bevande contaminate). Gli effetti tossici provocati hanno caratteristiche diverse e colpiscono organi sostanzialmente differenti secondo la durata della esposizione.

Effetti tossici acuti possono presentarsi dopo brevi esposizioni di 5-10 minuti a livelli molto alti di benzene nell'aria mentre livelli di concentrazione più bassi possono causare giramenti, sonnolenza, aumento del battito cardiaco, tremori, confusione e perdita di coscienza. Concentrazioni minori ma più prolungate nel tempo possono alterare la memoria e certe capacità psichiche. Il benzene è anche responsabile di molti disturbi ed effetti irritanti sulla pelle e sulle mucose (oculare e respiratoria, in particolare).

Gli effetti tossici cronici sono invece dovuti a periodi di esposizione molto lunghi a basse concentrazioni.

L'affezione che preoccupa di più, sia a livello professionale che ambientale, è la comparsa del cancro del sangue dovuta all'esposizione ripetuta a concentrazioni di benzene (anche di pochi ppm) per decine di anni. Per esposizione cronica esso esercita **un'azione tossica sul midollo osseo con possibile induzione di leucemia**. **Altri effetti sono a carico del sistema nervoso centrale**. Per tali motivi, il benzene viene classificato dall'IARC (International Agency for Research on Cancer) nel gruppo I, cui appartengono tutte quelle sostanze per le quali è stato accertato il **potere di induzione di tumore nell'uomo**.

L'esposizione al benzene può comportare danni ai cromosomi, la parte delle cellule responsabile dello sviluppo delle caratteristiche ereditarie, ed agli organi riproduttivi. Inoltre da uno studio dell'istituto francese che si occupa dei rischi ambientali dell'industria è risultato che **i bambini**

assorbono il benzene e i suoi derivati nella misura del doppio rispetto agli adulti.

Misure di controllo:

Per le concentrazioni di benzene che provengono dall'esterno potrebbe essere importante:

Controllare ed eventualmente modificare i sistemi di parcheggio delle auto all'interno degli edifici con sistemi di ventilazione ed aerazione e altri metodi utili a ridurre la penetrazione del benzene nelle abitazioni a partire dai luoghi in cui sono posteggiate le auto;

Se si abita su una strada molto trafficata non aprire le finestre per aerare nelle ore di punta.

Mentre per le concentrazioni indoor è importante:

Cercare di eliminare o ridurre al massimo il fumo di tabacco;

Controllare le etichette dei solventi e ricordare che il benzene nei solventi è tollerato come impurità solo fino al 2%. La sua indicazione sull'etichetta oltre a essere obbligatoria va separata dalle altre percentuali di solventi contenuti nei prodotti;

Osservare bene la composizione delle vernici, evitando quelle con contenuti di solventi e preferendo le lacche diluite con acqua;

Pulire frequentemente moquettes e tappeti.

I.P.A. (Idrocarburi policiclici aromatici)

Gli idrocarburi policiclici aromatici, noti anche con l'acronimo IPA, sono **idrocarburi** costituiti da due o più anelli aromatici, quali quello del benzene uniti fra loro, in un'unica struttura generalmente piana.

Si ritrovano naturalmente nel **carbon fossile e nel petrolio**, da cui si estraggono, particolarmente dalle qualità ricche in aromatici. La loro formazione per cause antropiche avviene invece nel corso di **combustioni incomplete di combustibili fossili**, legname, grassi, tabacco, incenso e prodotti organici in generale, quali i rifiuti urbani. Gli utilizzi sono svariati; vengono utilizzati a fini di ricerca e alcuni vengono sintetizzati artificialmente. In alcuni casi vengono impiegati per la sintesi di coloranti, plastiche, pesticidi e medicinali.

Esistono più di cento diversi IPA, e **molte possono causare dei danni per la salute** dell'uomo e degli animali.

Vari IPA sono stati classificati come **probabili o possibili cancerogeni** per l'uomo. Tra quelli comunemente presenti nelle matrici ambientali, vi sono il benzo(a)pirene, il benzo(b)fluorantene, il benzo(k)fluorantene, l'indeno(1,2,3-c,d)pirene, il benzo(a)antracene, il benzo(j)fluorantene ed il dibenzo(a,h)antracene.

Pur essendo lo studio di queste miscele particolarmente complicato, è stato comunque dimostrato che l'esposizione alle miscele IPA comporta un aumento dell'insorgenza del cancro, soprattutto in presenza di benzo(a)pirene (presente anche nel fumo di sigaretta).

L'attività cancerogena è dovuta ai prodotti del metabolismo di queste sostanze, quindi sono sostanze pre-mutagene. Difatti nel fegato vengono ossidate e ad un doppio legame viene sostituito un gruppo epossidico.

Fonti: APAT, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio