

IINQUINAMENTO DELL'ARIA

Si può definire l'**inquinamento atmosferico** come la presenza nell'atmosfera di sostanze che causano un effetto misurabile sull'essere umano, sugli animali, sulla vegetazione o sui diversi materiali; queste sostanze di solito non sono presenti nella normale composizione dell'aria, oppure lo sono ad un livello di concentrazione inferiore.

Gli inquinanti vengono solitamente distinti in due gruppi principali: quelli di **origine antropica**, cioè prodotti dall'uomo, e quelli **naturali**.

I contaminanti atmosferici, possono anche essere classificati in **primari** cioè liberati nell'ambiente come tali (come ad esempio il biossido di zolfo ed il monossido di azoto) e **secondari** (come l'ozono) che si formano successivamente in atmosfera attraverso reazioni chimico-fisiche.

L'inquinamento causato da queste sostanze negli ambienti aperti viene definito **esterno** (o **outdoor**), mentre l'inquinamento nei luoghi confinati, come gli edifici, viene indicato come inquinamento **interno** o **indoor**.

La qualità dell'aria negli ambienti confinati viene infatti spesso indicata come **Indoor Air Quality**.

Finora sono stati catalogati circa 3.000 contaminanti dell'aria, prodotti per lo più dalle attività umane con i vari processi industriali, con l'utilizzo dei mezzi di trasporto o in altre circostanze.

Le modalità di produzione e di liberazione dei vari inquinanti sono estremamente varie, allo stesso modo sono moltissime le variabili che possono intervenire nella loro diffusione in atmosfera.

Nel sito verranno affrontati nel modo più succinto e completo possibile i vari aspetti legati all'inquinamento dell'aria, confidando che una migliore conoscenza di questo problema possa far crescere in tutti noi una maggiore coscienza ambientale.

A prescindere dalla loro origine, gli inquinanti vengono distinti in **primari** e **secondari**.

Primari sono gli inquinanti che vengono immessi direttamente nell'ambiente in seguito al processo che li ha prodotti. Gli inquinanti secondari sono invece quelle sostanze che si formano dagli inquinanti primari (sia antropogenici che naturali) a seguito di modificazioni di varia natura causate da reazioni che, spesso, coinvolgono l'ossigeno atmosferico e la luce.

I principali inquinanti primari sono quelli emessi nel corso dei processi di combustione di qualunque natura, cioè il monossido di carbonio, il biossido di carbonio, gli ossidi di azoto (principalmente sottoforma di monossido di azoto), le polveri e gli idrocarburi incombusti. Nel caso in cui i combustibili contengano anche zolfo, si ha inoltre emissione di anidride solforosa.

Dopo la loro emissione in atmosfera, gli inquinanti primari sono soggetti a processi di diffusione, trasporto e deposizione. Subiscono inoltre dei processi di trasformazione chimico-fisica che possono portare alla formazione degli inquinanti secondari, nuove specie chimiche che spesso risultano più tossiche e di più vasto raggio d'azione dei composti originari.

Fra i processi di formazione degli inquinanti secondari, 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, vi è formazione di aldeidi, perossidi, di acidi nitriloperacetici (PAN), acido nitrico, nitrati e nitroderivati in fase particellare, e centinaia di altre specie chimiche minori. L'insieme dei prodotti di queste reazioni viene definito **smog fotochimico**, che rappresenta una delle forme di inquinamento più dannose per l'ecosistema. L'uso del termine smog è dovuto alla forte riduzione della visibilità che si determina nel corso degli episodi di inquinamento fotochimico, dovuta alla formazione di un grande numero di particelle di notevoli dimensioni.

La dispersione dei contaminanti in atmosfera è determinata dai fenomeni di diffusione turbolenta e di trasporto delle masse d'aria. La rimozione degli inquinanti è determinata dai vari processi di deposizione. Sia la dispersione che la rimozione sono strettamente dipendenti dai vari processi meteorologici che regolano il comportamento delle masse d'aria nella troposfera (lo strato più basso dell'atmosfera). Per lo studio del comportamento degli inquinanti primari è così necessario non solo conoscere il profilo qualitativo, quantitativo e

temporale delle emissioni, ma anche possedere delle informazioni sui processi meteorologici che interessano le aree soggette alla presenza dei vari inquinanti.

Anche se è l'inquinamento originato dall'uomo quello che risulta più imputato nel peggioramento della qualità dell'aria, non bisogna dimenticare l'importanza dell'inquinamento di origine naturale. Ci sono molte fonti di inquinanti naturali che spesso assumono più rilevanza delle loro controparti di origine antropogenica.

Gli inquinanti naturali dell'aria sono sempre stati parte della storia dell'uomo. Le polveri e i vari gas emessi dai vulcani, dagli incendi delle foreste e dalla decomposizione dei composti organici entrano in atmosfera ad intervalli più o meno regolari e in qualche caso a livelli che possono causare degli effetti drammatici a carico del clima. In ogni caso bisogna sottolineare che gli inquinanti naturali non rappresentano necessariamente un serio problema come possono esserlo gli inquinanti generati dalle attività umane perché risultano spesso notevolmente meno pericolosi dei composti prodotti dall'uomo e non si concentrano mai sulle grandi città.

Le sorgenti naturali di biossido di zolfo comprendono i vulcani, la decomposizioni organiche e gli incendi delle foreste. L'ammontare preciso delle emissioni naturali risulta difficile da quantificare, nel 1983 si stimava che le emissioni di biossido di zolfo si aggiravano sugli 80-290 milioni di tonnellate (le sorgenti antropogeniche nel mondo emettevano circa 69 milioni di tonnellate all'anno).

Le sorgenti naturali di ossidi di azoto includono i vulcani, gli oceani, le decomposizioni organiche e l'azione dei fulmini. Le stime ipotizzano un valore variabile fra i 20 e i 90 milioni di tonnellate all'anno per le sorgenti naturali, mentre per quelle antropogeniche un valore attorno ai 24 milioni di tonnellate.

L'ozono è un inquinante secondario che si forma in prossimità del livello del suolo come risultato di una serie di reazioni chimiche catalizzate dalla luce. In ogni caso, circa il 10-15% dell'ozono troposferico proviene dagli alti strati dell'atmosfera (stratosfera) dove si forma per azione dei raggi UV a partire dall'ossigeno molecolare.

L'importanza delle sorgenti naturali di particolato è invece minore di quelle antropogeniche dato che originano particelle di dimensioni tali da non poter arrecare danni rilevanti all'apparato respiratorio. Includono i vulcani e le tempeste di sabbia. Queste sorgenti solitamente non provocano degli episodi di inquinamento particolarmente acuto in quanto l'inquinamento in genere avviene su scala temporale relativamente ridotta. Esistono comunque le eccezioni: l'esplosione del vulcano Saint Helens nel maggio del 1980, per esempio, ha causato un peggioramento della qualità dell'aria negli Stati Uniti ed in tutto il Pacifico nord-orientale per mesi dopo la sua eruzione, con ripercussioni anche sul clima a livello mondiale. Le polveri provenienti dal Sahara possono viaggiare nell'aria per migliaia di Km per poi giungere non solo in paesi relativamente vicini come l'Italia e la Grecia, ma anche in zone più remote come il Regno Unito.

Molti composti organici volatili (VOC) vengono prodotti in natura dalle piante. L'isoprene è un comune VOC prodotto dalla vegetazione; alcuni ricercatori ritengono che la sua importanza nello scatenare l'asma ed altre reazioni allergiche sia molto più significativa di altri composti di origine antropogenica. Le piante inoltre producono i pollini (considerati componenti del particolato atmosferico) e tutti sono a conoscenza degli effetti allergici che possono causare queste sostanze nei soggetti predisposti.

Le radiazioni ionizzanti sono in grado di produrre, direttamente o indirettamente, la ionizzazione degli atomi e delle molecole. Questa proprietà ha importanti conseguenze in termini sanitari, in quanto i danni indotti da queste radiazioni sulle macromolecole biologiche possono dare origine a processi di cancerogenesi. Tra le principali sorgenti naturali di esposizione vi sono la radiazione cosmica e la radiazione terrestre (radionuclidi presenti nella crosta terrestre). Tra le sorgenti naturali il radon (Rn) rappresenta la principale fonte di esposizione a radiazioni ionizzanti nell'uomo, soprattutto negli ambienti interni. Altri inquinanti naturali di notevole importanza negli ambienti confinati (indoor) sono le spore delle muffe e le polveri generiche.

La maggior parte dei composti gassosi dell'aria costituisce parte dei cicli naturali, per questo gli ecosistemi sono in grado di mantenere l'equilibrio tra le varie parti del sistema. Comunque, l'introduzione di grandi quantità di composti addizionali può compromettere anche definitivamente i naturali cicli biochimici preesistenti. Dato che molto poco può essere fatto

dall'uomo nei riguardi dell'inquinamento naturale, la maggior preoccupazione deve essere quella di ridurre le emissioni inquinanti prodotte dalle attività umane.

Nel corso della storia l'uomo ha sempre utilizzato le risorse a propria disposizione in modo pressochè indiscriminato, senza curarsi minimamente delle particolari ricadute ambientali che poteva avere la sua presenza nell'ambito dei vari cicli naturali. La distruzione e l'inquinamento ambientale sono sempre andati di pari passo con l'evoluzione della cosiddetta civiltà. Un tempo la popolazione umana era comunque molto meno rappresentata e l'impatto ambientale risultava praticamente ininfluenza, almeno in ambito globale. Ora, purtroppo, l'enorme incremento demografico e l'addensamento abitativo in alcune specifiche zone comporta un'azione inquinante a livello locale e mondiale notevolmente più elevata, estremamente preoccupante e spesso particolarmente nociva sia per l'uomo che per l'ambiente.

L'inquinamento atmosferico maggiore è quello che l'uomo produce per soddisfare le proprie necessità civili ed industriali. I vari processi di combustione utilizzati per cuocere i cibi, per riscaldarsi, per alimentare i veicoli a motore e i macchinari, producono gli inquinanti più diffusi. L'inquinamento dell'aria di origine antropogenica si sprigiona dalle grandi sorgenti fisse (industrie, impianti per la produzione di energia elettrica ed inceneritori); da piccole sorgenti fisse (impianti per il riscaldamento domestico) e da sorgenti mobili (il traffico veicolare). Molte di queste sorgenti sono strettamente legate alla produzione ed al consumo di energia, specialmente combustibili fossili.

L'uso di combustibili fossili per il riscaldamento domestico, in particolare di oli combustibili pesanti, di biomassa e di carbone è una fonte significativa di inquinamento ambientale di particolati e di biossido di zolfo, specialmente nelle regioni temperate (soprattutto in Cina ed Europa dell'Est). Anche il traffico contribuisce in gran parte alle emissioni di questi inquinanti nelle città caratterizzate da una grande congestione veicolare, e questo a causa della presenza di una sterminata serie di autoveicoli che utilizzano benzine ad alto tenore di zolfo (soprattutto in Asia). Nelle città dove viene ancora utilizzata la benzina col piombo (l'ex benzina rossa), il traffico può contribuire per l'80-90% alla concentrazione atmosferica di questo pericoloso inquinante.

Per quanto riguarda gli altri inquinanti principali è da sottolineare che nell'emissione di ozono e di composti organici volatili le sorgenti antropogeniche hanno un ruolo fondamentale tanto quanto quelle naturali; le combustioni in genere rappresentano la causa principale delle emissioni di ossido di azoto; i motori dei mezzi di trasporto rappresentano tipicamente la causa principale delle emissioni di monossido di carbonio.

Oltre alle sostanze che vengono prodotte a seguito dei vari processi di combustione, sono da segnalare tutti quegli inquinanti che vengono prodotti nel corso di particolari cicli tecnologici. Questi composti vengono liberati in quantità notevolmente inferiori e per questo risultano poco rilevanti come impatto globale a livello planetario; in ogni caso, sono spesso dotati di elevata tossicità, e la loro presenza è particolarmente importante a livello locale. La strategia di approccio è chiaramente diversa: gli specifici inquinanti di origine industriale sono infatti da ricercare non dopo la loro diffusione nell'ambiente (immissioni atmosferiche), ma al momento del loro rilascio (emissioni atmosferiche).

L'impatto degli inquinanti sull'uomo dipende dalla zona di produzione degli inquinanti e dalla loro dispersione. Le grandi sorgenti fisse, spesso localizzate lontano dai più grandi centri abitati, disperdono nell'aria a grandi altezze, mentre il riscaldamento domestico ed il traffico producono inquinanti che si liberano a livello del suolo in aree densamente abitate. Come conseguenza, le sorgenti mobili e quelle fisse di piccole dimensioni contribuiscono in modo maggiore all'inquinamento dell'aria nelle aree urbane e, di conseguenza, attentano alla salute pubblica molto di più di quanto non si potrebbe supporre facendo un semplice confronto quantitativo fra i vari tipi di emissioni.

La concentrazione degli inquinanti nell'aria è determinata da diversi fattori:

- dalla quantità dei contaminanti presenti nelle emissioni;
- dal numero e dal concentramento delle sorgenti inquinanti;
- dalla distanza dai punti di emissione;
- dalle trasformazioni chimico-fisiche alle quali sono sottoposte le sostanze emesse;
- dalla eventuale velocità di ricaduta al suolo;

dalla situazione morfologica delle aree interessate all'inquinamento;
dalle condizioni meteorologiche locali e su grande scala.

Tralasciando le opportune considerazioni specifiche che vengono trattate nella parte del sito dedicata agli inquinanti principali, è necessario sottolineare la massima importanza delle condizioni meteorologiche nella comprensione della nascita, della gravità e dello sviluppo nel tempo di un fenomeno di inquinamento atmosferico.

Su scala locale il fattore che più influenza il trasporto e la diffusione atmosferica degli inquinanti è l'intensità del vento; inoltre un ruolo notevole è svolto dalle precipitazioni atmosferiche che contribuiscono letteralmente a dilavare l'aria dai contaminanti presenti. Di solito le zone più soggette ai fenomeni di inquinamento sono le zone urbane ed industriali, soprattutto se si trovano in aree dove sono presenti dei naturali impedimenti alla circolazione dell'aria: ad esempio le valli chiuse da montagne, che presentano sempre problemi di ristagno per la ridotta ventilazione atmosferica; oppure allo stesso modo le aree localizzate in avvallamenti o depressioni del terreno.

Altri fattori che rivestono una notevole importanza negli episodi da inquinamento acuto sono l'intensità della luce solare e l'alta temperatura, in determinate condizioni possono portare al manifestarsi dello smog fotochimico (vedi per maggiori informazioni).

In genere le concentrazioni dei contaminanti dell'aria sono minori quando il vento è almeno moderato e l'atmosfera è instabile nei bassi strati. Al contrario, le concentrazioni degli inquinanti sono elevate in presenza di nebbia persistente oppure in assenza di vento o quando si è in presenza di inversioni termiche.

Le **inversioni termiche** sono dei fenomeni atmosferici che impediscono il normale rimescolamento delle masse d'aria: in genere, la temperatura dell'aria decresce man mano che aumenta l'altezza (circa 7°C per Km) e questo fa sì che le masse d'aria più calde, essendo meno dense, salgano e prendano il posto dell'aria più fredda che scende. Dato che quest'aria calda è anche quella più inquinata perché si trova nella zona delle maggiori emissioni inquinanti, ne risulta un rimescolamento dei vari strati della troposfera che porta ad una diminuzione della concentrazione dei contaminanti atmosferici. In alcuni casi, però, si possono formare degli strati d'aria più calda a qualche decina o centinaia di metri d'altezza (inversione termica) per cui lo strato sottostante non sale e ristagna al suolo; il tutto comporta inevitabili processi di accumulo delle sostanze inquinanti. Le inversioni termiche si formano solitamente nelle notti limpide subito dopo il tramonto, a causa del rapido raffreddamento del terreno (che a sua volta provoca un rapido raffreddamento dell'aria con cui è a contatto). Questo fenomeno è detto inversione termica di tipo radiativo e in genere termina col riscaldamento mattutino della superficie terrestre; se questo non avviene gli inquinanti si possono accumulare anche per più giorni consecutivi, con tutti i problemi che ciò comporta.

L'inquinamento atmosferico comporta spesso numerose conseguenze a carico della salute, soprattutto nei casi in cui si verifichi un brusco innalzamento delle concentrazioni dei comuni contaminanti dell'aria (**inquinamento acuto**). In questi casi, l'aumentata esposizione a vari irritanti atmosferici provoca la riduzione della funzionalità polmonare, l'aumento delle malattie respiratorie nei bambini, gli attacchi acuti di bronchite e l'aggravamento dei quadri di asma; il tutto comporta un forte incremento nel numero dei decessi fra le persone più sensibili a determinati inquinanti, come gli anziani o le persone affette da malattie respiratorie e cardiovascolari. Famosi sono alcuni casi che si verificarono il secolo scorso: a Londra, ad esempio, fra il 5 ed il 9 dicembre 1952 morirono più di 4000 persone già sofferenti di malattie polmonari a causa di una densa coltre di smog che ristagnava in città.

L'effetto dell'inquinamento a bassi livelli e per lungo tempo risulta invece più subdolo e difficile da individuare. Si presume che provochi a breve termine disagio, irritazione, tossicità specifica, affezioni respiratorie acute e, in rari casi, mortalità, soprattutto fra gli anziani affetti da patologie croniche cardiovascolari o respiratorie. Gli effetti a lungo termine causati da una esposizione ad inquinanti presenti a concentrazioni relativamente basse non sono ancora completamente chiari; in ogni caso si ritiene che fra i vari effetti vi sia la comparsa di malattie polmonari croniche aspecifiche (come la bronchite cronica, l'asma e l'enfisema), la formazione di varie neoplasie maligne (cancro polmonare, leucemie) ed un aumento della mortalità per malattie cardiovascolari e respiratorie.

L'aria inquinata delle grandi aree urbane ed industriali è ricca di contaminanti che possono esplicare la loro azione sia singolarmente che sinergicamente. All'interno del sito ho riportato gli effetti sulla salute causati dai vari inquinanti principali nell'apposita sezione indicizzata a lato, un appunto è comunque necessario per sottolineare l'indiretto effetto psicologico determinato dalla presenza di queste sostanze nell'aria.

L'inquinamento atmosferico può effettivamente causare uno stato di ansietà e paura. La percezione di una minaccia che non è ben chiara o che non viene adeguatamente spiegata pubblicamente può determinare alcune malattie psicosomatiche e forme maniacali. Queste malattie, tra l'altro, si riscontrano con frequenza maggiore dove, soprattutto per scelta politica od economica, si tende a nascondere un eventuale pericolo o addirittura dei dati di fatto, al fine di tutelare più la propria posizione che l'intera comunità.

L'azione operata dagli inquinanti dell'aria nei confronti dell'ambiente è sotto gli occhi di tutti. Il declino inesorabile del patrimonio animale, forestale ed agricolo, la degradazione degli ecosistemi, i danni provocati alle strutture metalliche, alle opere d'arte, alle pitture, ai fabbricati, ai materiali tessili ed in genere ai diversi materiali usati dall'uomo e per finire la riduzione della visibilità, sono tutti aspetti del complesso problema generato dall'inquinamento operato dall'uomo.

Il meccanismo di aggressione operato dagli inquinanti può essere estremamente rapido o prolungato nel tempo, a seconda del gran numero di fattori che possono essere implicati nel fenomeno. Gli inquinanti possono agire a livello locale magari distruggendo un'area boschiva relativamente piccola, oppure possono agire a livello globale, interessando tutte le popolazioni della terra.

Fenomeni come l'insorgenza dello smog fotochimico interessano generalmente solo le aree a grande urbanizzazione, mentre l'azione delle piogge acide è di più vasta portata, interessando sia le zone più industrializzate che le aree distali. L'azione dell'effetto serra coinvolge tutte le nazioni, sia quelle civilizzate che quelle in via di sviluppo, mentre gli effetti di molti inquinanti industriali possono essere localizzati semplicemente a ridosso dell'area di produzione.

Data la complessità dell'argomento ho ritenuto più opportuno trattare i singoli danni ambientali in modo indipendente, affrontandoli di volta in volta con la principale causa scatenante nell'ambito dei singoli argomenti trattati. In alcuni casi, gli effetti ambientali a lungo termine non sono ancora completamente chiari, ma sicuramente saranno devastanti se non interverrà una politica in grado di considerare, nell'ambito della logica del profitto, non solo la produzione di beni e servizi, ma anche la preservazione della natura quale unico ambiente possibile di sviluppo per le generazioni future.

INQUINAMENTO INDOOR

Generalmente, per indicare l'inquinamento presente all'aperto ci si riferisce all'**inquinamento outdoor** o **in ambiente**, anche se quest'ultimo termine può dar luogo a fraintendimenti, per cui in alcuni casi sarebbe preferibile specificare **ambiente esterno**.

Con **inquinamento dell'aria indoor** si intende l'inquinamento che interessa l'aria degli **ambienti confinati**, cioè quella presente in quei luoghi all'interno dei quali si svolgono attività umane sia di lavoro che conviviali, di svago o di riposo. E' comunque opportuno sottolineare che nell'ambito della definizione "indoor" vengono esclusi gli ambienti industriali, che pur essendo spesso confinati, presentano un tipo di inquinamento ben specifico e relazionato alla tipologia di lavoro; per la sua caratteristica natura, questo tipo di inquinamento richiede grande attenzione e controlli severi puntualmente imposti da normative e leggi apposite. Invece, al contrario di quanto succede in ambito industriale, nel caso di abitazioni, scuole, uffici, edifici pubblici, mezzi di trasporto, ecc., l'inquinamento indoor viene frequentemente sottovalutato per fattori di natura squisitamente culturale, psicologica o storica. In realtà, diverse ricerche hanno dimostrato che in questi luoghi l'esposizione ad inquinanti di varia natura può essere addirittura superiore a quella relativa agli inquinanti in ambiente esterno o industriale.

Un'eccezione a riguardo è data da un caso particolare di inquinamento dell'aria indoor: quello in ambito ospedaliero. Qui l'attenzione è maggiore anche per la frequente possibilità di

contrarre varie malattie, anche di tipo professionale; di conseguenza sono maggiori i controlli volti a tutelare la salute del personale e degli ospedalizzati.

Il problema dell'inquinamento indoor è emerso nel corso di questi ultimi anni: parallelamente al crescente desiderio di migliorare la qualità della vita in senso lato, ci si è posti il problema di migliorare la qualità dell'aria negli ambienti confinati, anche considerando che oramai le persone occidentali vi trascorrono circa il 90% del proprio tempo.

Allo scopo di realizzare quelle condizioni di benessere e di salubrità ottimali per far sì che la maggior parte delle persone possano vivere pienamente, si sono definite nel tempo diverse linee guida e normative tecniche che pongono l'attenzione sugli **inquinanti** in causa, la loro **azione sulla salute**, gli **standard qualitativi ambientali** da perseguire e le **migliori procedure e tecnologie edilizie e impiantistiche** per ottenerli.

Per la maggior parte, gli inquinanti presenti negli ambienti confinati sono gli stessi presenti all'esterno dato che penetrano negli edifici per infiltrazione o per l'aerazione. Comunque capita di frequente che alcuni inquinanti indoor siano presenti a concentrazioni maggiori di quelle ambientali, in quanto possono provenire direttamente anche da sorgenti interne all'edificio o addirittura dal terreno sottostante. I valori più elevati in ambiente indoor sono dovuti al fatto che gli inquinanti si liberano in spazi circoscritti, spesso relativamente ristretti e con uno scarso ricambio d'aria con l'esterno, per cui generalmente tendono ad accumularsi.

Gli inquinanti dell'aria indoor possono presentarsi sottoforma di **gas e vapori** o di **particolato**. Quest'ultimo termine è comunque molto generico e comprende tutte le microscopiche particelle presenti in sospensione di natura inorganica, organica ed anche biologica: polveri, pollini, allergeni animali, amianto, fibre di vetro, particolato da combustione, spore fungine, ecc.

Sulla base della loro natura, la concentrazione degli inquinanti indoor può variare nel tempo; a tal proposito riveste una notevole importanza non solo il **tasso con cui gli inquinanti vengono immessi nei luoghi confinati** e lo **scambio dell'aria con l'ambiente esterno**, ma anche la loro **velocità di reazione** con le varie sostanze chimiche presenti o con le superfici con cui vengono a contatto. Nel caso dei microrganismi, la concentrazione varia sulla base di fattori logicamente più complessi, e in condizioni ambientali adatte la loro crescita può avvenire anche esponenzialmente.

A seconda della variabilità dei fattori in gioco, la concentrazione dei medesimi inquinanti indoor rilevabile in edifici diversi può variare di molto, anche di 4 o 5 ordini di grandezza (se non di più in alcuni casi particolari).

In questa parte del sito verranno presentati i principali inquinanti aerodispersi degli ambienti confinati, in un elenco che non è né esaustivo, né indicizzato sulla base della loro pericolosità. Verranno trattati i gas da combustione, il fumo di tabacco, i composti organici volatili (fra i quali in particolare la formaldeide), il radon, l'amianto, e i contaminanti biologici (batteri, muffe, pollini, allergeni animali). In un capitolo a parte verranno presi in esame anche i bioeffluenti umani, in quanto pur essendo dei contaminanti di origine biologica, non si possono considerare pericolosi ma più che altro molesti e fastidiosi alla comune concentrazione alla quale vengono rilevati.

L'utilizzo dei combustibili fossili, come ad esempio il gas dei fornelli o dello scaldabagno, origina sempre vapor d'acqua, **anidride carbonica** (CO₂) e vari sottoprodotti, in quanto la combustione non è mai perfetta. Gli inquinanti generati come sottoprodotti sono in definitiva quelli più pericolosi e sono sostanzialmente il **monossido di carbonio** (CO), il **biossido di zolfo** (SO₂), vari **composti organici volatili** (COV) e il **monossido di azoto** (NO), che dà origine al più pericoloso **biossido di azoto** (NO₂), all'**ozono** e ad altri **derivati idrocarburici** per mezzo di reazioni complesse.

Premesso che la presenza di questi sottoprodotti inquinanti può essere dovuta anche ad un'immissione dall'ambiente esterno, generalmente la loro alta concentrazione è dovuta al fatto che le fonti si trovano in ambienti non sufficientemente aerati oppure perché si utilizzano dispositivi ed impianti difettosi o con scarsa aerazione della fiamma. Di volta in volta il problema può essere ricondotto alla presenza di stufe, elettrodomestici a gas, caminetti, scaldabagno, ecc.

Per maggiori informazioni specifiche sui vari inquinanti, consiglio di consultare la sezione del sito dedicata proprio agli inquinanti principali.

In genere, l'abbattimento sostanziale della concentrazione indoor dei prodotti di combustione si può attuare essenzialmente in due modi: **umentando il ricambio d'aria e riducendo il tasso di produzione degli inquinanti.**

Di per sé, pur essendo spesso auspicabili e opportune, la maggiore ventilazione ed aerazione in alcuni casi non risolvono efficacemente il problema: le fonti continuano ad emettere gli inquinanti e, se per un motivo o per l'altro il ricambio d'aria diminuisce, allora ci si ritrova al punto di partenza.

La riduzione delle emissioni si può ottenere con la pulizia o la riparazione dei dispositivi malfunzionanti o particolarmente inquinanti; in certi casi anche con la loro sostituzione con altri prodotti nuovi o più ecologici. Un'ottima soluzione è anche quella che prevede l'eliminazione dello scarico diretto nell'ambiente indoor; in questo modo si rimuove del tutto la fonte inquinante. Se invece è il tipo di combustibile ad inquinare particolarmente, vedi ad es. i sistemi di riscaldamento a gasolio, si può passare ad un sistema a gas e a pannelli solari.

In ogni caso, è opportuno ottimizzare i processi di combustione, anche con l'aiuto di tecnici specializzati che possono meglio dimensionare e realizzare i condotti di scarico e le eventuali prese d'aria di alimentazione. Sempre consigliati sono anche i vari dispositivi che controllano le condizioni della combustione e che interrompono il processo in caso di malfunzionamenti, cosa estremamente indicata soprattutto nel caso degli scaldabagno e delle caldaie.

Per prevenire incidenti domestici è anche opportuno dotarsi di segnalatori acustici della concentrazione di gas nell'aria. In effetti questi inquinanti non sono da prendere sottogamba; il solo monossido di carbonio provoca più di 6000 ricoveri e 350 morti all'anno solo in Italia.

Da notare che una grossa fonte di inquinamento è anche il garage: se è collegato alla parte abitativa vi può diffondere i gas di scarico dei veicoli; in questo caso il problema si può risolvere semplicemente aumentando il suo isolamento dal resto dell'edificio. Allo stesso modo, è opportuno isolare maggiormente l'abitazione nel caso in cui vi sia un rilevante inquinamento proveniente dall'esterno, cosa abbastanza frequente se si abita in zone particolarmente trafficate.

La presenza di fumatori all'interno o nei pressi di un ambiente confinato comporta inevitabilmente l'insorgenza di un inquinamento indoor.

Il fumo di tabacco è una miscela estremamente complessa e variabile, anche nel tempo; in questa miscela sono presenti **oltre 4mila composti chimici diversi, in fase gassosa** o nel **particolato** che si libera con la combustione. Molti di questi composti sono irritanti, tossici, cancerogeni, mutageni e teratogeni.

L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha dichiarato ufficialmente che il fumo di tabacco è cancerogeno per l'uomo, sia nel caso in cui venga aspirato direttamente da sigarette, pipe, sigari, ecc., sia nel caso in cui venga assunto come fumo passivo.

Oltre a questo, è dimostrato scientificamente che il fumo provoca un ampio spettro di effetti dannosi sulla salute, sia a breve che a lungo termine; effetti che vanno dall'aumento delle allergie e delle irritazioni, fino allo sviluppo di malattie respiratorie croniche, cardiovascolari e coronariche.

L'inquinamento negli ambienti indoor fa sì che l'esposizione si protragga nel tempo e questo comporta un aumento dei rischi per la salute, soprattutto a carico dei soggetti più deboli od anziani. Da notare che l'esposizione al fumo passivo è fortemente sconsigliata soprattutto a donne incinte e nell'infanzia, in quanto è associata alla comparsa di danni allo sviluppo della funzione respiratoria, all'insorgenza di malattie respiratorie, all'otite ed anche alla sindrome delle morti improvvise del neonato (SIDS). Secondo stime epidemiologiche del 2002, ogni anno in Italia muoiono per cause riconducibili al fumo circa 90mila persone, delle quali **oltre 3mila** per il fumo passivo.

Premesso che è sempre consigliato l'abbandono del vizio del fumo nel caso si sia tabagisti, l'esposizione al fumo di tabacco ambientale può essere sostanzialmente abbattuta vietando il fumo nelle aree che possono dar luogo a contaminazione indoor, magari obbligando i fumatori a permanere in ambienti con una loro ventilazione separata. Da notare che un aumento della ventilazione può solo far diminuire l'odore del fumo, a tutti gli effetti i rischi per la salute possono essere abbattuti completamente solo con la sua eliminazione totale. Alcuni depuratori

d'aria ad alta efficienza sono in grado di rimuovere gran parte del particolato prodotto; la maggior parte, comunque, non è in grado di rimuovere gli inquinanti gassosi che compongono il fumo, se non in minima parte.

Il termine **composti organici volatili** (COV, o anche VOC) è quanto mai generico e sta ad indicare tutta una serie di composti chimici a base di carbonio che si trovano sotto forma di vapore o in forma liquida, ma in grado di evaporare facilmente a temperatura e pressione ambiente. In questa categoria rientrano alcoli, idrocarburi alifatici (come il metano), idrocarburi aromatici (ad es. il benzene), aldeidi (come la formaldeide), chetoni, esteri, idrocarburi alogenati (ad es. il cloroformio), e vari altri. Solitamente la loro presenza è facilmente percepibile per il caratteristico odore che emanano anche a bassa concentrazione. Data la grande varietà di questi composti, si può ben capire che i loro effetti sulla salute spaziano enormemente a seconda del tipo di sostanza inquinante, della sua concentrazione nell'aria e della suscettibilità degli esposti: si va dalla semplice irritazione agli occhi, naso e gola, fino al mal di testa, nausea, vertigini, asma; dalle patologie al fegato, reni, sistema nervoso, ecc., fino al cancro (provocato ad esempio dal benzene, da vari idrocarburi aromatici policiclici e dalla formaldeide).

Negli ambienti indoor i composti organici volatili sono sempre presenti in quanto possono essere emessi da una gran quantità di prodotti: vernici, colle, mobili, tessuti, stampanti, prodotti di pulizia, fumo di tabacco, insetticidi, materiali da costruzione, ecc. Inoltre dall'esterno possono provenire COV emessi da veicoli, industrie ed attività agricole (pesticidi). Da sottolineare che una certa quantità di composti organici volatili è liberata nell'aria anche naturalmente, soprattutto dalle piante (come ad es. i terpeni, composti chimici che danno anche il caratteristico profumo ai fiori). E' evidente, comunque, che la pericolosità dei composti organici volatili di origine vegetale ed animale è generalmente molto minore di quella dei COV prodotti dalle attività umane.

Per abbattere la concentrazione dei VOC presenti negli ambienti confinati bisogna essenzialmente eliminarne le fonti principali, inoltre è sempre opportuno utilizzare prodotti e materiali con un basso contenuto di composti organici volatili. Nei limiti del possibile, si dovrebbero anche favorire la ventilazione e la frequente aerazione delle stanze, soprattutto se si stanno facendo le pulizie con prodotti che li contengono. Nel caso in cui non si riesca ad abbassare la concentrazione di questi inquinanti indoor con i metodi tradizionali, magari anche per la presenza di forti immissioni dall'esterno su cui non si riesce ad agire, allora si deve necessariamente operare cercando di purificare l'aria con metodi più tecnologici. Per far questo si possono utilizzare degli opportuni depuratori d'aria domestici, anche portatili, che sono in grado di ridurre la concentrazione di questi inquinanti in un tempo più o meno breve.

La **formaldeide** è un composto organico volatile che a temperatura ambiente si presenta come un gas incolore e dall'odore pungente. Può essere presente sia in ambiente indoor che all'esterno, quasi sempre a minore concentrazione.

In ambiente la formaldeide si origina per **fotoossidazione naturale** a partire da molti composti organici sia naturali che prodotti dall'uomo, dai più semplici come il metano ai più complessi. Quantità relativamente alte di questo composto vengono prodotte anche nel corso delle **combustioni incomplete**; in effetti spesso si ritrova come prodotto secondario nei gas di scarico dei veicoli e soprattutto nel fumo di sigaretta. La formaldeide è da molti anni ampiamente utilizzata nella **produzione** di materiali per l'edilizia, mobili, prodotti per la pulizia, colle, vernici, disinfettanti, plastiche, coloranti, imballaggi, ecc.; può essere presente anche nell'abbigliamento e nella tappezzeria, in quanto viene spesso utilizzata nei trattamenti di stampa dei tessuti. Da tutto questo, si può facilmente capire il gran numero di materiali che in tempi più o meno lunghi liberano nell'aria la formaldeide che contengono.

Ora sembrerà abbastanza difficile crederci, visto la frequenza con cui viene utilizzata in ambito industriale e civile, ma la formaldeide è un composto cancerogeno per l'uomo: è stata ufficialmente definita come tale dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro ancora nel 2004. Oltre a questo, provoca irritazioni al naso e alla gola, arrossamenti degli occhi, congiuntivite, tumefazione delle palpebre, dermatite per contatto, attacchi di asma, tosse, stanchezza, sonnolenza, emicrania, nausea e vertigini. La gravità dei sintomi cresce con l'aumentare della sua concentrazione nell'aria. Gli effetti comunque variano anche di molto in base alla salute degli esposti, alla loro età e alla loro suscettibilità. L'odore si può percepire a circa 30-600 µg/mcubo; a 0,1-3 mg/mc c'è la soglia dove scatta l'irritazione a naso, gola e occhi; a circa 37-60 mg/mc insorge l'edema polmonare e la polmonite; verso i 60-125 mg/mc

c'è la morte.

Dato che la formaldeide è cancerogena, risulta evidente che la sua concentrazione dovrebbe essere mantenuta a livelli estremamente bassi, almeno nei limiti del possibile. La sua concentrazione di fondo nell'ambiente esterno è circa 1 µg/mc, a meno che non ci si trovi in aree trafficate o nei pressi di qualche impianto produttivo che la utilizza. All'interno degli edifici, invece, la sua concentrazione può variare anche di molto sulla base delle fonti inquinanti presenti; in genere si aggira sui 20-60 µg/mc.

Per ridurre la concentrazione nell'aria, bisogna innanzitutto eliminarne le fonti: evitare di fumare in casa, utilizzare prodotti che non la contengono, non acquistare mobili truciolati con resine a base di formaldeide, ecc. Dato che sia il calore che l'umidità aumentano le emissioni delle fonti, è anche opportuno favorire i ricambi d'aria e mantenere un'umidità fra il 40 e il 60%.

L'**amianto**, o **asbesto**, è una fibra minerale che è stata per lungo tempo utilizzata in edilizia come isolante e ritardante di fiamma. Per le sue caratteristiche è stata anche impiegata per realizzare una grande quantità di materiali di largo consumo in molti altri campi, per cui ora l'asbesto si può trovare praticamente ovunque. Purtroppo si è appurato scientificamente che l'amianto è cancerogeno per l'uomo, per cui ne è stata vietata l'estrazione, la lavorazione ed anche il suo commercio. Da vari anni si sta cercando di limitarne la presenza nell'ambiente tramite la sua rimozione ed il suo stoccaggio in depositi dedicati, ma la cosa è estremamente ardua da realizzare in quanto questo materiale risulta estremamente diffuso ancora oggi.

In ambiente indoor l'asbesto risulta ancora presente nelle vecchie case soprattutto come materiale di rivestimento ed insonorizzazione e sottoforma di pannelli isolanti. Di per sé non è pericoloso se non rilascia fibre nell'aria, ma dopo molti anni è quasi inevitabile che molti dei materiali in amianto tendano a sgretolarsi e a disperdere fibre.

E' anche possibile che l'asbesto venga disperso nell'aria a seguito della nebulizzazione delle goccioline d'acqua liberate nel corso della doccia o tramite l'utilizzo di umidificatori meccanici, questo logicamente a patto che l'acqua presenti una contaminazione da fibre di amianto.

Solitamente, a parte rare eccezioni, all'interno degli edifici la concentrazione di amianto aerodisperso è bassa, più o meno dello stesso ordine di quella presente nell'ambiente esterno. In ogni caso, se si ritiene di avere dell'amianto in casa, è estremamente consigliato di ricorrere all'intervento di ditte specializzate nella sua rimozione. Bisogna assolutamente evitare di rimuoverlo se non si è a conoscenza delle modalità operative e dei rischi che si possono correre: spesso un'erronea procedura di rimozione può comportare un'esposizione paragonabile a quella che si avrebbe nel corso di molti anni lasciando la situazione inalterata.

Il **radon** è un gas radioattivo naturale, incolore ed insapore, caratterizzato da una grande inerzia chimica grazie alla quale si diffonde rapidamente nell'ambiente senza combinarsi con altri elementi per formare dei composti. Fra i suoi isotopi, il Radon222 è quello più pericoloso perché è presente in misura maggiore all'interno degli edifici e perché origina col suo decadimento altri isotopi radioattivi, molto più radioattivi del progenitore.

Il Radon è un cancerogeno riconosciuto; si stima che la sua presenza negli ambienti indoor causi circa 50mila morti ogni anno in tutto il mondo, più di 1000 solo in Italia.

Per quanto riguarda l'abbattimento della sua concentrazione negli ambienti indoor, i depuratori d'aria sono pressochè inutili quando si ha a che fare con esso, per cui è indispensabile arieggiare le stanze nei limiti del possibile e favorire i ricambi d'aria. Il radon è comunque un inquinante ubiquitario, in quanto si libera dal suolo e vi è sempre una certa sua concentrazione di fondo all'aperto che si aggira sui 5-10 Bq/mcubo; per questo motivo, la sua concentrazione non può essere mai portata ad un valore pari a zero.

In caso di rilevante inquinamento indoor da radon, bisogna essenzialmente agire limitando l'apporto delle sue fonti e quindi è spesso necessario: sigillare le crepe vicino alle fondamenta; impermeabilizzare il terreno dello scantinato se è in terra battuta; sigillare le aperture attorno alle tubazioni o ai cavi elettrici ed anche i punti di contatto tra il pavimento e i muri; creare eventualmente delle bocche di lupo per far fluire l'aria contaminata della cantina verso l'esterno. In casi estremi, si deve provvedere a depressurizzare il suolo realizzando sotto la superficie dell'edificio un piccolo pozzetto. Qui un ventilatore provvede ad aspirare l'aria presente, espellendola in ambiente esterno: la depressione d'aria che si crea per l'aspirazione

fa sì che il radon tenda a penetrare ulteriormente nel pozzetto, piuttosto che all'interno dell'edificio, e in questo modo si riesce ad abbattere drasticamente le immissioni di radon nell'ambiente residenziale o lavorativo.

Un altro utile accorgimento per limitare la presenza indoor del radon, consiste nel non utilizzare materiali da costruzione che lo disperdono nell'aria, come ad es. il tufo; è stato chiaramente dimostrato che gli edifici costruiti in tufo sono generalmente anche quelli più inquinati.

I **contaminanti biologici indoor** rappresentano un'importante ed eterogenea categoria di inquinanti, tutti di origine biologica. Fra di essi vi sono virus, batteri, pollini, muffe, acari ed allergeni vari (come ad es. i residui degli organismi, le feci degli acari, i residui di pelle, la saliva, la forfora e l'urina degli animali domestici, ecc.).

Negli ambienti confinati, le fonti di questi inquinanti sono estremamente numerose e sono rappresentate essenzialmente dalla polvere, dagli occupanti degli spazi indoor (uomini, animali, funghi o vegetali che siano) e dagli impianti e dalle stutture degli edifici.

Parte degli inquinanti biologici può comunque provenire anche dall'ambiente esterno, fatto che si verifica specialmente nel caso dei pollini.

Per quanto riguarda l'effetto sulla salute, a seconda della loro natura i contaminanti biologici possono innescare reazioni allergiche, malattie infettive, tosse, affanno, febbre, stanchezza, problemi digestivi, mal di testa, ecc. I bambini, le persone più anziane, le persone allergiche oppure affette da patologie polmonari, sono le più suscettibili alle malattie causate dalla presenza dei contaminanti biologici dell'aria.

La riduzione dell'esposizione a questi contaminanti si può realizzare attuando tutta una serie di interventi di prevenzione e di protezione. Innanzitutto bisogna mantenere gli edifici puliti: la pulizia regolare e sistematica permette di eliminare o almeno di ridurre efficacemente la presenza della stragrande maggioranza degli inquinanti biologici.

Allo stesso modo è estremamente importante ventilare ed arieggiare gli interni per prevenire nei limiti del possibile il ristagno degli inquinanti ed anche l'aumento dell'umidità, che ad alti livelli crea un habitat estremamente favorevole per lo sviluppo dei microrganismi. A questo proposito è opportuno sottolineare che si dovrebbe mantenere il livello dell'umidità sotto il 50% per prevenire la condensazione del vapor d'acqua sulle superfici. Se non è possibile aprire le finestre, eventualmente si dovrebbero installare delle ventole nei bagni e in cucina per far fuoriuscire l'umidità e l'aria ricca di contaminanti organici evaporati dall'acqua calda utilizzata nei lavelli, nelle pentole, nella vasca e nella doccia.

E' inoltre opportuno: mantenere asciutti e puliti i tappeti, i mobili e le superfici; evitare l'installazione della moquette; pulire frequentemente tutti quegli apparecchi che agiscono sul trattamento dell'aria, come gli umidificatori e i climatizzatori; far asciugare all'aperto i vestiti lavati; evitare la presenza di animali domestici nell'ambiente indoor, soprattutto nel caso in cui si soffre di allergie; evitare il sovraffollamento dei locali; utilizzare dei dispositivi per purificare l'aria nei casi in cui non si possa o non si voglia attuare delle soluzioni troppo drastiche.

La **qualità dell'aria** negli ambienti confinati è essenzialmente una percezione soggettiva, basata in genere sulla temperatura dell'aria, sulla sua umidità, sul grado di ventilazione e sulla concentrazione degli inquinanti presenti. In questo senso, è estremamente difficile definire delle precise caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche che possano garantire un pieno benessere di tutti gli occupanti di un qualsiasi ambiente indoor: la percezione varia a seconda delle condizioni di salute, dell'età, della suscettibilità individuale, della cultura, dell'attività fisica, del grasso corporeo, ecc. Oltre a questo, c'è da dire che pur essendo abbastanza semplice la regolazione termo-igrometrica dell'aria, esistono invece delle limitazioni tecnico/economiche all'abbattimento degli inquinanti, per cui sotto determinate soglie di inquinamento non si può arrivare, se non nel caso di ambienti che richiedono condizioni estreme di sterilità e pulizia.

Per questi motivi, si tende a perseguire una qualità dell'aria che viene definita non "ideale", ma piuttosto "**accettabile**", in quanto soddisfa sia le normative imposte dagli organi competenti, sia le esigenze di comfort di una gran percentuale degli occupanti degli ambienti indoor.

E' inutile dire che queste condizioni accettabili vengono raggiunte in non molte occasioni.

Inevitabilmente chi lavora in ambienti come gli uffici o chi va a scuola lamenta delle situazioni

di malessere e può presentare dei sintomi ricorrenti che vanno dal mal di testa alla gola secca, dall'irritazione a naso, gola e occhi, fino alla nausea; c'è chi tossisce e chi starnutisce, chi si soffia il naso in continuazione e chi si ammala per qualche giorno. In moltissimi casi questa sintomatologia è riconducibile alle condizioni termo-igrometriche dell'edificio e soprattutto al grado di inquinamento che lo affligge.

Nel caso in cui si venga colpiti da una malattia ben precisa e relazionata alla presenza di un determinato inquinante all'interno dell'edificio, si parla di **Malattia Correlata all'Edificio** (Building Related Illness, **BRI**).

Invece, quando gli occupanti di un edificio lamentano dei generici disturbi della salute, che svaniscono o si attenuano fortemente quando lo si lascia e che non sono riconducibili ad una determinata malattia, si parla di **Sindrome dell'Edificio Malato** (Sick Building Syndrome, **SBS**).

Da notare che le cause effettive dei malesseri possono non essere individuate anche se vengono effettuati degli accurati controlli sulla composizione dell'aria e sulle condizioni dell'edificio. In effetti la qualità dell'aria è solo uno dei vari fattori che determinano il benessere degli occupanti, notevole importanza rivestono anche l'illuminazione, l'ergonomia, la rumorosità, ecc., per cui non possono essere esclusi anche degli effetti di natura sinergica fra i vari fattori implicati.

In Italia non c'è una normativa specifica a livello nazionale per il controllo della qualità dell'aria indoor negli edifici generici. Esistono comunque delle norme che vengono emanate dai **Comuni**, nell'ambito del **Regolamento di Igiene e Sanità**, e che fissano dei parametri di salubrità delle abitazioni e degli abitati in genere. Queste norme seguono le indicazioni emanate dal Ministero della Sanità ed individuano, fra le varie cose, anche varie raccomandazioni obbligatorie relative alla ventilazione, alla presenza delle canne fumarie, alla volumetria degli alloggi, ecc.

Relativamente agli ambienti di lavoro, si seguono le indicazioni del **Decreto Legislativo del 9 aprile 2008, n. 81** inerente la tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria in settori più delicati, come l'ambito sanitario, esistono diverse **normative specifiche** emanate sia in ambito nazionale che regionale.

Per quanto riguarda le linee guida, l'Accordo Ministero della Salute, Regioni e Province autonome del 27/09/2001, riporta le **Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati** e fornisce le linee di indirizzo tecnico indispensabili per la realizzazione di un Programma Nazionale di Prevenzione negli ambienti indoor.

Di fondamentale importanza sono anche le recenti **Linee guida su: microclima, aerazione e illuminazione nei posti di lavoro**, realizzate dal Coordinamento tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro e pubblicate il 01 giugno 2006.

Entrambe le linee guida si possono scaricare nella sezione della normativa dedicata ai documenti rilevanti in tema di inquinamento dell'aria.