

## INTRODUZIONE

Dalla fine dell'Ottocento la Terra ha registrato **cambiamenti climatici** sostanziali: la temperatura media globale del pianeta si è innalzata di un valore compreso tra 0,4 e 0,8 °C. I ghiacci artici e i ghiacciai di montagna hanno subito una notevole riduzione, i fenomeni atmosferici quali piogge alluvionali o temperature estreme (sia calde che fredde) si sono intensificati.

Queste rapide modificazioni meteo-climatiche generano effetti diversi nelle varie regioni del pianeta. In Italia, uno degli aspetti più critici legati all'incremento della temperatura è la variazione del livello del mare, che nei prossimi 30-40 anni si stima possa crescere tra i 5 e i 29 centimetri. Tale innalzamento avrà impatti rilevanti soprattutto sulle fasce costiere: aree litoranee molto basse potranno essere invase da parte delle acque marine, aumenteranno gli allagamenti nel caso di eventi meteorologici che provochino onde di altezza eccezionale, così come crescerà la possibilità di straripamento dei fiumi nei casi di forti piene, mentre il processo di erosione delle coste subirà un'accelerazione.

Non è da trascurare, a tale proposito, in particolare nella nostra regione l'evoluzione dell'inquinamento da intrusione salina nell'acquifero sia murgiano che salentino.

Altro elemento critico per il nostro Paese sono le previste variazioni nei regimi delle piogge, che assumeranno caratteristiche differenti al variare della latitudine. Il centro-nord va incontro ad un aumento delle precipitazioni con conseguenti rischi di alluvioni e di dissesto idrogeologico; l'Italia meridionale e le isole dovranno affrontare una netta riduzione della piovosità che, legata all'aumento della temperatura, porterà a processi di inaridimento dei terreni.

L'insieme di tutti i mutamenti repentini a cui il territorio sarà sottoposto da qui a breve non potrà che ripercuotersi sulle attività e sulle abitudini umane. Diminuzioni delle produzioni agricole, riduzione della disponibilità di risorse idriche, deficit energetici, vulnerabilità degli insediamenti urbani sono problematiche già manifestatesi in tutta la loro gravità e che riguardano l'intera popolazione.

Fortunatamente, negli ultimi 10-20 anni è cresciuta la consapevolezza da parte dell'opinione pubblica riguardo allo stato di sofferenza dell'atmosfera e dell'ecosistema terrestre: termini quali "effetto serra" (vedi **SCHEDA** n. 1), "buco nello strato dell'ozono" (vedi **SCHEDA** n. 2), "desertificazione", sono ormai entrati nel linguaggio comune ed è aumentata la coscienza della limitatezza delle risorse ambientali e dell'importanza di un loro uso razionale e sostenibile. Dal canto loro, le istituzioni politiche - sia a livello di singoli Stati, sia nell'ambito di organizzazioni internazionali - stanno mettendo in atto un numero crescente di misure per affrontare problematiche che, oltre ad una valenza ambientale, hanno ricadute di carattere economico e sanitario. Queste non possono essere affrontate unicamente con iniziative di tipo emergenziale, ma richiedono, invece, soluzioni strutturali in tempi molto ristretti.

*PARTE PRIMA*

**IL CLIMA CHE CAMBIA**



## 1. L'EFFETTO SERRA E IL PROTOCOLLO DI KYOTO: CONTENUTI E OBIETTIVI

Il nostro pianeta viene riscaldato dall'energia proveniente dal Sole. Della radiazione solare complessiva che raggiunge la Terra, circa la metà raggiunge la superficie, da cui viene assorbita. Un altro 20% viene assorbito dai gas presenti nell'atmosfera, mentre il restante 30% viene riflesso verso lo spazio dalle nubi, dalle superfici innevate e ghiacciate e da altri corpi riflettenti.

Affinché la temperatura della Terra resti costante, le quantità di energia assorbita ed emessa dal pianeta devono essere uguali. La Terra emette, infatti, energia specialmente sotto forma di radiazione infrarossa che si manifesta come calore e metano. Alcuni gas presenti nell'atmosfera (principalmente vapor acqueo e anidride carbonica) possono assorbire provvisoriamente parte di questa radiazione, cosicché non tutta sfugge verso lo spazio. Subito dopo essere stata assorbita dalle molecole di gas, la radiazione infrarossa viene riemessa in tutte le direzioni e parte torna alla superficie terrestre, dove viene assorbita, determinando il riscaldamento della superficie e dell'aria. Questo fenomeno, noto come *effetto serra*, permette alla superficie terrestre di avere una temperatura di circa 15 °C anziché di circa -15 °C, temperatura che si registrerebbe in assenza di atmosfera. L'equilibrio tra energia ricevuta ed energia emessa dalla Terra è stato alterato dall'accumulo nell'atmosfera dei cosiddetti *gas serra*, ovvero quei gas capaci di trattenere la radiazione infrarossa proveniente dalla superficie terrestre. Le attività umane civili ed industriali, negli ultimi decenni, hanno portato a massive emissioni di questi gas in atmosfera, generando un aumento *dell'effetto serra*, ovvero l'eccessivo riscaldamento del pianeta causato dalla difficoltà di disperdere nello spazio il calore emesso.

L'evidenza del legame tra le emissioni in atmosfera di gas serra e le alterazioni del clima ha portato la comunità internazionale ad adottare la *Convenzione delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici* (New York 9 maggio 1992).

Obiettivo della Convenzione è la stabilizzazione della concentrazione in atmosfera dei *gas serra* ad un livello tale da impedire interferenze pericolose per il sistema climatico.

I 6 gas ritenuti capaci di alterare l'effetto serra del nostro pianeta sono:

- l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>)
- il metano (CH<sub>4</sub>)
- il protossido di azoto (N<sub>2</sub>O)
- gli idrofluorocarburi (HFC)
- i perfluorocarburi (PFC)
- l'esfluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>)

Nell'ambito della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici è stato firmato, nel dicembre 1997, il **Protocollo di Kyoto** che ne rappresenta lo strumento attuativo.

Il Protocollo di Kyoto impone ai Paesi industrializzati, responsabili di oltre il 70% delle emissioni, di ridurre le proprie emissioni di gas serra del 5,2% rispetto al 1990 nell'arco temporale **2008-2012**.

Gli obiettivi stabiliti variano da Paese a Paese: gli USA devono ridurre le emissioni del 7%, il Giappone del 6%, i membri dell'Unione Europea dell'8%. L'**Italia**, in particolare, deve ridurre le sue emissioni del **6,5%**.

Il Protocollo di Kyoto, ratificato da 109 paesi, entrerà in vigore il novantesimo giorno successivo alla data dell'ultima ratifica da parte di almeno **55 Paesi**, tra i quali un numero di Paesi sviluppati le cui emissioni totali di anidride carbonica rappresentino almeno il **55% delle emissioni** del 1990.

Gli Stati Uniti d'America, che sono il più grande emettitore di gas serra con una quota del 36,1%, nel mese di marzo 2001 hanno dichiarato la volontà di non ratificare il Protocollo, mettendone a rischio la stessa entrata in vigore.

## **2. L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO**

L'inquinamento atmosferico è dato dalla presenza nell'atmosfera di sostanze che causano un effetto misurabile sull'essere umano, sugli animali, sulla vegetazione o sui diversi materiali. Tali sostanze di solito non sono presenti nella normale composizione dell'aria, oppure lo sono ad un livello di concentrazione estremamente basso.

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 da vari processi industriali e dai mezzi di trasporto. Le modalità di produzione e di liberazione dei vari inquinanti sono estremamente varie; allo stesso modo, sono moltissime le variabili che possono intervenire sulla loro diffusione in atmosfera.

Gli effetti dell'inquinamento atmosferico sopra descritto si possono classificare in effetti globali a larga scala, come cambiamenti climatici e ozono troposferico, sostanze acidificanti, ed effetti locali quali, ad esempio, alterazioni della qualità dell'aria

### **2.1 Le fonti di emissione correlate all'attività dell'uomo**

L'aria che respiriamo può essere contaminata da inquinanti provenienti da industrie, veicoli, centrali elettriche e da molte altre fonti. Questi inquinanti rappresentano un grosso problema per gli effetti dannosi che possono avere sulla salute o sull'ambiente in cui viviamo. Il loro impatto dipende da vari fattori quali la quantità di inquinante nell'aria che si respira, la durata dell'esposizione e la tossicità dell'inquinante stesso. Gli effetti sulla salute possono essere di piccola entità e reversibili (come un'irritazione agli occhi), oppure debilitanti (come un aggravamento dell'asma) o anche fatali (come il cancro).

Secondo le caratteristiche morfologiche, una delle più frequenti classificazioni distingue le sorgenti in: puntiformi, lineari e di grossa ampiezza. Alle prime fanno capo, per esempio, i camini degli impianti industriali; alle seconde il traffico veicolare su una grande arteria stradale; alle ultime l'insieme dell'area urbana o di un'area industriale.

Una seconda classificazione raggruppa le sorgenti in stazionarie e mobili; le prime a loro volta suddivise in puntuali e diffuse e le seconde differenziate tra lineari e diffuse. Alle stazionarie puntuali fanno capo i grossi impianti con emissioni misurabili sul luogo, le diffuse coincidono con l'insieme di piccole fonti autonome le cui emissioni vengono misurate ed interpretate con l'ausilio di modelli statistici. Alle sorgenti mobili lineari fanno capo le emissioni provenienti dalle grosse arterie stradali, mentre alle mobili diffuse sono collegate le emissioni causate dal traffico veicolare, specie urbano. Negli ultimi 200 anni, sia la crescita demografica mondiale che lo sviluppo industriale si sono tradotti in una crescente richiesta di energia con forte incremento dell'uso dei combustibili fossili. Ai processi combustivi è seguita una ingente liberazione nell'atmosfera di particolato e di ossidi di carbonio, di zolfo e di azoto.

### **2.2 Le fonti naturali di emissione**

Tra le sorgenti naturali più importanti vi sono le eruzioni vulcaniche responsabili della produzione di acido solfidrico ( $H_2S$ ), biossido di carbonio ( $CO_2$ ), biossido di zolfo ( $SO_2$ ) e di particolato. Non vanno dimenticati anche gli incendi estesi di aree boschive o forestali. Anche particolari condizioni meteorologiche possono fungere da causa di inquinamento, come avviene, ad esempio, nel caso del trasporto, da parte del vento, di sabbia sahariana, o la scarica di fulmini, durante i temporali, con formazione di ossidi di azoto ed ozono.

### **2.3 L'inquinamento atmosferico urbano**

Tipico delle aree molto popolate, l'inquinamento atmosferico urbano è associato alle emissioni dei gas di scarico da parte di autoveicoli, centrali elettriche, fabbriche, impianti di incenerimento e dalle emissioni rivenienti da impianti domestici.

Nelle 8 maggiori città italiane l'inquinamento atmosferico urbano è responsabile, su base annua, di circa 3.472 decessi, 4.597 ricoveri ospedalieri e decine di migliaia di casi di disturbi bronchiali e asmatici. Studi del Centro Europeo Ambiente e Salute dell'OMS, infatti, mettono in evidenza l'impatto sulla salute dei cittadini delle alte concentrazioni di inquinanti nell'aria delle nostre città, permettendo una stima delle morti, dei ricoveri ospedalieri e dei casi di malattia imputabili alle concentrazioni medie di polveri (PM<sub>10</sub>)<sup>1</sup>. L'impatto da PM<sub>10</sub> stimato sui residenti nelle 8 maggiori città italiane, ha rivelato che nella popolazione di oltre trenta anni il 4,7% di tutti i decessi osservati nel 1998, pari a 3.472 casi, è attribuibile al PM<sub>10</sub> in eccesso di 30 µg/m<sup>3</sup>. In altre parole, riducendo il PM<sub>10</sub> ad una media di 30 µg/m<sup>3</sup>, si potrebbero prevenire circa 3.500 morti all'anno nelle 8 città. Si sono stimate inoltre migliaia di ricoveri per patologie respiratorie e cardiovascolari, e decine di migliaia di casi di bronchite acuta e asma fra i bambini al di sotto dei quindici anni, che potrebbero essere evitati riducendo le concentrazioni medie di PM<sub>10</sub> a 30 µg/m<sup>3</sup>.

Un rilevante numero di decessi, ricoveri ospedalieri e disturbi respiratori, specie nei bambini, sono attribuibili all'inquinamento atmosferico urbano.

#### **2.4 Cosa accade a livello dell' atmosfera urbana.**

La conoscenza del numero e del tipo di reazioni che avvengono a tale livello è più ridotta rispetto a quella relativa ai processi ad altezze dal suolo molto grandi, a causa della complessità dei sistemi reagenti. Vanno considerate, inoltre, le interazioni fra componenti e deve essere valutata anche l'influenza esercitata dalla dimensione delle particelle in esame, come il variare della loro distribuzione dimensionale nel tempo. Questa, in particolare, si rivela di estrema importanza, sia perché determina molto spesso l'emivita del contaminante, tempo necessario affinché la concentrazione di una sostanza si riduca alla metà di quella misurata al tempo zero, sia perché, come già detto, la pericolosità di alcune specie è legata a tale grandezza. Ovviamente, vanno valutati tutti i parametri in gioco, quali temperatura, orario durante la giornata, umidità relativa, presenza di vento, sua intensità e direzione, nubi, intensità del traffico e relativa tipologia dei veicoli, presenza e tipologia degli insediamenti industriali circostanti l'area urbana, presenza di emissioni naturali e loro caratterizzazione.

#### **2.5 L'inquinamento termico**

E' determinato dall'emissione nell'ambiente di sostanze capaci di causare un aumento della temperatura, la quale raggiunge un valore superiore rispetto a quello atteso dall'irraggiamento naturale del sole. Le principali fonti di energia termica includono il calore di scarto derivante dal riscaldamento domestico e dalla maggior parte dei processi industriali, nonché dallo scarico dell'acqua calda proveniente dalle centrali elettriche. Il calore può essere liberato nell'atmosfera, negli oceani o nei fiumi, dove si accumula al punto da apportare modifiche indesiderate al flusso naturale dell'energia termica.

### **3. LE SORGENTI E GLI EFFETTI DEGLI INQUINANTI**

Prescindendo da eventi catastrofici imprevedibili ed attribuibili a forze geofisiche o ad incidenti industriali di particolare entità i cui effetti si traducono generalmente in

---

1. Frazione respirabile delle polveri che grazie al piccolo diametro può arrivare sino alle vie più profonde del sistema respiratorio, portandosi dietro sostanze altamente pericolose e spesso cancerogene come il benzo(a)pirene.

patologie acute e come tali in gran parte codificate, soffermeremo la nostra attenzione sulle sorgenti di emissione degli inquinanti più comuni e sui fenomeni di tossicità cronica, nonché su alcuni degli agenti coinvolti.

Sorgenti di emissione possono essere quelle industriali, quelle domestiche, o quelle dovute al traffico veicolare non solo nei centri urbani ma anche lungo le grandi direttrici stradali.

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

Una classificazione degli inquinanti può essere basata sulla loro caratterizzazione chimica e fisica o sulla loro genesi, ove possibile. Si considerano, quindi, come *contaminanti primari* quelli immessi dalle fonti direttamente in atmosfera e come *secondari* quelli frutto di reazioni chimiche che avvengono nella stessa atmosfera, spesso partendo dai contaminanti primari.

Fra i principali inquinanti primari annoveriamo: i composti dello zolfo, come il diossido e l'acido solfidrico; dell'azoto, come il monossido, il diossido e l'ammoniaca; del carbonio, come gli idrocarburi aromatici e non, il monossido ed il diossido; degli alogeni, come gli acidi cloridrico, bromidrico, fluoridrico; gli idrocarburi alogenati, come il cloroformio, il tetracloruro di carbonio ed il freon. Sempre fra i primari sono da ricordare i particolati che, per i motivi esposti in seguito, vengono classificati oltre che in base alla composizione chimica anche secondo il diametro medio.

Gli inquinanti secondari risultano tanto numerosi da non essere ad oggi tutti identificati. Citeremo, in seguito, come esempio, l'ozono a bassa altezza dal suolo.

Un'altra classificazione, spesso ricorrente, divide i contaminanti in base alla loro concentrazione nell'aria. Si parlerà quindi di macroinquinanti se le concentrazioni in atmosfera sono dell'ordine compreso fra i milligrammi ( $10^{-3}$  grammi) ed i microgrammi ( $10^{-6}$  grammi) per metro cubo di aria e di microinquinanti se le concentrazioni sono dell'ordine dei nanogrammi ( $10^{-9}$  grammi) o meno, sempre per metro cubo di aria. Fra i primi, ricordiamo l'ossido di carbonio (CO), il biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), il monossido di azoto (NO), il diossido di azoto (NO<sub>2</sub>), il diossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), il triossido di zolfo (SO<sub>3</sub>). Tra gli altri troviamo le diossine e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

L'ultima classificazione non è correlata in alcun modo agli effetti, acuti o cronici, che tali sostanze possono produrre sugli organismi viventi.

Sostanze appartenenti al secondo gruppo possono risultare estremamente più pericolose rispetto a quelle del primo gruppo, non esistendo alcuna relazione lineare fra effetto e concentrazione.

Per quanto attiene agli effetti, gli inquinanti possono arrecare danni alla salute umana, animale e vegetale, possono favorire o determinare fenomeni erosivi e corrosivi, con danni al patrimonio pubblico e privato e possono alterare eco-equilibri; in generale, quindi, possono indurre alterazioni più o meno reversibili all'intero ecosistema.

In seguito, verranno riportate informazioni inerenti ai principali inquinanti dell'aria: il benzene, il particolato, l'ozono, il monossido di carbonio, il piombo, gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo, l'amianto, i POP e gli IPA. Per ogni inquinante sono descritte le caratteristiche principali, le sorgenti, le modalità di diffusione, gli effetti sull'uomo e sull'ambiente.

### **3.1 La diffusione degli inquinanti**

La distribuzione in atmosfera degli inquinanti avviene in seguito a processi diffusivi, anche turbolenti, o di trasporto con le masse d'aria; il fenomeno risulta, quindi, strettamente correlato alle condizioni meteorologiche. Risulta necessario conoscere non solo l'aspetto qualitativo e quantitativo dei singoli inquinanti, ma anche possedere informazioni complete dei vari parametri meteorologici, in modo da poter prevedere non solo la ricaduta immediata sull'ecosistema, ma anche l'evoluzione temporale e spaziale del fenomeno, che inizia sempre come inquinamento locale.

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 considerazioni specifiche sugli inquinanti principali, è necessario sottolineare la massima importanza delle condizioni meteorologiche nella comprensione della insorgenza, 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. Un ruolo notevole è, altresì, svolto dalle precipitazioni atmosferiche che contribuiscono 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, o le aree localizzate in avvallamenti o depressioni del suolo.

Altri fattori che rivestono una notevole importanza negli episodi da inquinamento acuto sono l'intensità della luce solare e l'alta temperatura che, in determinate condizioni, possono portare al manifestarsi dello smog fotochimico (vedi **SCHEDA** n. 3).

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, in assenza di vento o in presenza di inversioni termiche.

Sebbene la nostra attenzione sia rivolta alla composizione chimica dello strato d'aria che si estende dal livello del suolo per alcuni metri in altezza, in realtà dobbiamo considerare, per una corretta valutazione dei fenomeni, che tale strato d'aria fisicamente non esiste come regione di spazio confinata. E' vero che la nostra vita si svolge per lo più ad una distanza misurabile in metri dal suolo, ma lo strato d'aria che ci circonda è in equilibrio, grazie ai fenomeni di mescolamento e diffusivi, con la restante troposfera e stratosfera. Ciò impone, al fine della costruzione di un modello reale, di valutare il bilancio di massa su scala globale, considerando, quindi, sia l'apporto nella troposfera dei contaminanti da parte delle sorgenti naturali ed umane, che i meccanismi e l'entità dei fenomeni di rimozione degli stessi.

### **3.2 Gli effetti sulla salute dell'uomo**

L'inquinamento atmosferico comporta numerose conseguenze a danno della salute, soprattutto nei casi in cui si verifichi un brusco innalzamento delle concentrazioni dei contaminanti. In questi casi, l'aumentata esposizione a vari irritanti atmosferici determina la riduzione della funzionalità polmonare, l'aumento delle malattie respiratorie specialmente nei bambini, attacchi acuti di bronchite e aggravamento dell'asma.

Studi tesi a dimostrare la correlazione fra gli inquinanti e le patologie acute e croniche a carico dei vari organi sono oggi in corso. Dai dati disponibili risultano evidenti le correlazioni con la funzione respiratoria e cardiovascolare.

A carico della funzione respiratoria, ad esempio, l'esposizione ad inquinanti può determinare riacutizzazione e/o influenzare la gravità dell'asma. Ad essere coinvolte risultano sia le alte vie respiratorie (naso, faringe, laringe, seni paranasali), che le basse vie respiratorie. Prevalenti risultano gli effetti a livello bronchiale ed alveolare.

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. La difficoltà, in tali tipi di valutazione, è determinata dalla necessità di disporre, da un lato, di un campione biologico da sottoporre ad esame, dall'altro, dalla conoscenza sia della quantità di contaminante con cui il campione è venuto a contatto, che della durata temporale del contatto stesso. Ulteriore elemento di difficoltà è rappresentato dal fatto che difficilmente un contaminante è isolato da altri, pertanto è da dimostrare a quale di questi sono da attribuire gli eventuali effetti rilevati. Inoltre, quando si parla di campione biologico, andrebbe precisata la sua composizione, nel senso che la risposta di un individuo in perfetto stato di salute può essere differente da quella di un altro individuo con patologie in atto o da quella di un bambino o di una donna in gravidanza. Fra l'altro, andrebbero valutati, al fine di una corretta composizione del campione, l'età, il tipo di eventuali patologie in atto, le abitudini alimentari, l'attività lavorativa e la zona di residenza abituale.

### **3.3 Gli effetti sull'ambiente**

L'azione operata dagli inquinanti dell'aria nei confronti dell'ambiente è evidente. Basti pensare al declino inesorabile del patrimonio animale, forestale ed agricolo, al degrado degli ecosistemi, ai danni provocati alle strutture metalliche, alle opere d'arte, alle pitture, ai fabbricati, ai materiali tessili.

Il meccanismo di aggressione da parte degli inquinanti può essere estremamente rapido o prolungato nel tempo in funzione del gran numero di fattori implicati. 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, poiché interessa sia le zone più industrializzate che le aree distali.

In alcuni casi, gli effetti ambientali a lungo termine, sebbene non ancora completamente definiti e noti, saranno devastanti se non interverrà una politica in grado di considerare, nell'ambito della logica della sostenibilità, non solo la produzione di beni e servizi, ma anche la preservazione della natura quale unico ambiente possibile di sviluppo per le generazioni future.



## *PARTE SECONDA*

### **GLI INQUINANTI IN ATMOSFERA**



## **1. BENZENE (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)**

### ***Caratteristiche***

Il benzene è un idrocarburo aromatico strutturato ad anello esagonale ed è costituito da 6 atomi di carbonio e 6 atomi di idrogeno (formula C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>). Rappresenta la sostanza aromatica a struttura molecolare più semplice e per questo lo si può definire composto-base della classe degli idrocarburi aromatici. Si trova nell'aria, in acqua e nel suolo.

Il benzene a temperatura ambiente si presenta come un liquido incolore che evapora all'aria velocemente. E' caratterizzato da un odore pungente e dolciastro che la maggior parte delle persone può già percepire alla concentrazione di 1,5-4,7 ppm (nell'acqua, dove si dissolve piuttosto lentamente, il sapore inizia a sentirsi a 0,5-4,5 ppm).

Il benzene è una sostanza altamente infiammabile, ma la sua pericolosità è dovuta principalmente al fatto che è un carcinogeno riconosciuto per l'uomo. Pur essendo la pericolosità del benzene ampiamente dimostrata da numerose ricerche mediche, per il suo ampio utilizzo questa sostanza è praticamente insostituibile. Molte industrie lo utilizzano per produrre altri composti chimici come lo stirene, il cumene (per realizzare varie resine) ed il cicloesano (per produrre il nylon e molte fibre sintetiche). Il benzene viene anche utilizzato per ottenere alcuni tipi di gomme, lubrificanti, coloranti, inchiostri, collanti, detergenti, solventi e pesticidi. Il benzene è inoltre uno dei componenti delle benzine, delle quali costituisce fino all'1% in volume. La produzione mondiale annua di benzene supera oramai i 30 milioni di tonnellate ed è dovuta per la maggior parte alla distillazione del petrolio, anche se una porzione notevole di benzene viene ancora ottenuta dalla distillazione dell'olio di catrame di carbon fossile.

### ***Fonti inquinanti***

Il benzene presente nell'ambiente deriva sia da processi naturali (emissioni vulcaniche, incendi di foreste) che da attività umane; le fonti naturali forniscono un contributo relativamente esiguo rispetto a quelle antropogeniche. Infatti, la maggior parte del benzene presente nell'aria è prodotto delle attività umane.

Le principali cause di esposizione al benzene sono il fumo di tabacco, la combustione incompleta del carbone e del petrolio (dei quali è un costituente naturale), i gas esausti dei veicoli a motore e le emissioni industriali (gli usi industriali del benzene, inclusi la produzione di plastiche e resine sintetiche, causano spesso il rilascio di vapori contenenti questo inquinante). Anche i vapori liberati dai prodotti che contengono benzene, come colle, vernici, cere per mobili e detergenti possono a loro volta essere fonte di esposizione.

Da notare che circa il 50% dell'esposizione al benzene è dovuta al fumo di tabacco (mentre i gas esausti delle auto e le emissioni industriali contribuiscono nella misura del 20% circa). Un fumatore medio assorbe circa 1,8 mg di benzene al giorno, quantità circa 10 volte superiore a quella di un non fumatore.

L'inquinamento urbano da benzene è da attribuirsi quasi esclusivamente al traffico veicolare di veicoli alimentati a benzina. La maggior parte di questo inquinante, circa l'85 %, ha origine dallo scarico dei veicoli. Nei gas esausti il benzene è presente sia incombusto, essendo un componente della benzina, che come prodotto di riarrangiamento di idrocarburi aromatici presenti nella benzina stessa. Una parte, stimata attorno al 15 %, deriva invece dalle emissioni evaporative, dovute sia ai ripetuti trasferimenti di carburante dalla produzione al serbatoio del singolo veicolo che all'evaporazione dal serbatoio, anche durante la sosta.

Una certa esposizione si verifica anche quando si pompa benzina nei serbatoi degli autoveicoli, e ciò vede il personale addetto ai distributori di carburante o ai grandi

impianti di stoccaggio la categoria di lavoratori più esposta ad elevate concentrazioni dell'inquinante.

A rischio di esposizione sono anche gli addetti ai processi di produzione, trasporto e utilizzazione del benzene nell'industria petrolifera, chimica e petrolchimica.

### ***Diffusione***

La maggior parte delle persone è esposta ogni giorno a piccole quantità di benzene sia nell'ambiente esterno che sul posto di lavoro. L'esposizione della popolazione avviene essenzialmente tramite l'aria, con il livello di benzene variabile da 2,8 a 20 ppb (1 ppb è una parte per miliardo e per il benzene corrisponde a  $3,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Le persone che vivono nelle città o nelle aree industriali sono generalmente esposte a concentrazioni maggiori rispetto alle persone residenti nelle zone rurali, soprattutto a causa delle emissioni dovute al traffico veicolare e alle emissioni industriali. Oltre a questo, bisogna ricordare che i livelli di benzene negli edifici sono generalmente più alti di quelli presenti nell'ambiente esterno. All'inquinamento di fondo si somma quello dovuto alle combustioni domestiche incomplete e quello generato dai vari prodotti contenenti benzene che vengono quotidianamente utilizzati in casa. Le concentrazioni più alte si individuano comunque nei pressi di discariche, di raffinerie, di impianti petrolchimici o di stazioni di rifornimento. In ogni caso, la concentrazione del benzene nell'aria è variabile, poiché condizionata sia dalle particolari condizioni meteorologiche, sia dall'attività lavorativa giornaliera. Nell'aria il benzene reagisce con altri composti e si trasforma in sostanze diverse nel giro di pochi giorni. Il benzene può anche essere assorbito da pioggia o neve e da queste essere trasportato al suolo o nelle acque, dove si degrada più lentamente. L'acqua del sottosuolo è spesso contaminata da perdite presenti in serbatoi sotterranei di impianti industriali. Quando il benzene penetra nella falda sotterranea può contaminare i pozzi e finire nell'acqua potabile (che contiene solitamente meno di 0,1 ppb di benzene).

### ***Effetti sull'uomo***

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 da questo composto organico hanno caratteristiche diverse e colpiscono organi differenti in base alla durata dell'esposizione.

Gli effetti tossici acuti sono in genere dovuti a inalazione o ad assorbimento per via cutanea e sono causati di norma da fughe o versamenti in ambienti di lavoro.

Brevi esposizioni di 5-10 minuti a livelli molto alti di benzene nell'aria (10000-20000 ppm) possono condurre alla morte. Livelli di concentrazione più bassi (700-3000 ppm) usualmente causano capogiri, sonnolenza, aumento del battito cardiaco, tremori, confusione e perdita di coscienza. Concentrazioni minori, ma associate ad esposizioni più prolungate nel tempo, possono alterare la memoria e talune capacità psichiche. Il benzene è anche irritante della pelle e delle mucose oculare e respiratoria. L'ingestione di cibi e bevande che contengono alti livelli di benzene possono causare vomito, irritazione allo stomaco, capogiri, sonnolenza, convulsioni, aumento del battito cardiaco, coma e morte. Gli effetti tossici cronici sono invece dovuti a periodi di esposizione molto lunghi e a basse concentrazioni.

Il benzene, per l'uomo, si è rivelato molto tossico per il midollo osseo. Diversi studi hanno messo in evidenza il pericolo di contrarre la leucemia mieloide o altre forme di cancro. L'insorgere di queste malattie si manifesta più frequentemente in seguito ad esposizioni basse e continuate piuttosto che elevate e intermittenti.

## **2. PARTICOLATO ATMOSFERICO**

### ***Caratteristiche***

Spesso il particolato rappresenta l'inquinante a maggiore impatto ambientale nelle aree urbane, tanto da indurre le autorità competenti a disporre blocchi del traffico per ridurre l'entità.

Si tratta di sostanze allo stato solido o liquido che, a causa delle loro piccole dimensioni, restano sospese in atmosfera per tempi più o meno lunghi. Le polveri totali sospese o PTS (espresso come  $\mu\text{g m}^{-3}$ , microgrammi per metro cubo) vengono anche indicate come PM (Particulate Matter). Il particolato nell'aria può essere costituito da diverse sostanze: sabbia, ceneri, polveri, fuliggine, sostanze silicee, sostanze vegetali, composti metallici, fibre tessili naturali e artificiali, sali, elementi come il piombo.

In base alla natura e alle dimensioni delle particelle possiamo distinguere:

- gli *aerosol*, le cui particelle sono formate da aggregati molecolari o da minutissimi frammenti di materiale solido di varia natura, fissati insieme per adesione. In altri casi, come nelle foschie e nelle nebbie, le particelle di aerosol sono piccole goccioline di acqua liquida, entro le quali il materiale insolubile rimane in sospensione e le sostanze solubili, come sali marini o solfati, sono disciolte. Queste particelle possono essere originate da processi naturali o da attività industriali, agricole e minerarie. La forma di una particella di aerosol è solitamente irregolare; le dimensioni possono variare da pochi millesimi di millimetro (come negli aggregati molecolari, che si formano nelle aree urbane congestionate dall'intenso traffico veicolare) a una decina di millimetri (come nel caso di particelle di origine marina o di particelle di combustione oppure particelle desertiche);
- le *foschie*, costituite da goccioline di diametro inferiore a  $2 \mu\text{m}$ ;
- le *esalazioni*, costituite da particelle solide di diametro inferiore ad  $1 \mu\text{m}$  e rilasciate solitamente da processi chimici e metallurgici;
- il *fumo*, dato da particelle solide di diametro inferiore ai  $2 \mu\text{m}$  e trasportate da miscele di gas;
- le *polveri* (vere e proprie), costituite da particelle solide con diametro fra  $0,25$  e  $500 \mu\text{m}$ ;
- le *sabbie*, date da particelle solide con diametro superiore ai  $500 \mu\text{m}$ .

Le particelle primarie sono quelle che vengono emesse come tali dalle sorgenti naturali ed antropiche, mentre le secondarie si originano da una serie di reazioni chimiche e fisiche in atmosfera. Le particelle fini sono quelle che hanno un diametro inferiore a  $2,5 \mu\text{m}$ , le altre sono dette grossolane. Il particolato grossolano è costituito esclusivamente da particelle primarie.

Le polveri  $\text{PM}_{10}$  rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a  $10 \mu\text{m}$  e vengono anche dette polveri inalabili, perché sono in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe). Le polveri toraciche sono quelle in grado di raggiungere i polmoni.

Le polveri  $\text{PM}_{2,5}$  costituiscono circa il 60% delle  $\text{PM}_{10}$  e rappresentano il particolato di diametro inferiore a  $2,5 \mu\text{m}$ . Le  $\text{PM}_{2,5}$  sono anche dette polveri respirabili perché possono penetrare nell'intero apparato respiratorio, dalla trachea fino agli alveoli polmonari.

### **Fonti inquinanti**

Le polveri si originano sia da fonti naturali che antropogeniche. Le polveri fini derivano principalmente da processi di combustione (particolato primario, cioè prodotto direttamente) e da prodotti di reazione dei gas (particolato secondario); la frazione grossolana delle polveri si origina in genere da processi meccanici (solo particolato primario).

Le principali fonti naturali di particolato primario sono le eruzioni vulcaniche, gli incendi boschivi, l'erosione e la disgregazione delle rocce, le piante (pollini e residui vegetali), le spore, lo spray marino e i resti degli insetti. Il particolato naturale secondario è costituito da particelle fini che si originano in seguito all'ossidazione di

varie sostanze quali: il biossido di zolfo e l'acido solfidrico emessi dagli incendi e dai vulcani; gli ossidi di azoto liberati dai terreni; i terpeni (idrocarburi) emessi dalla vegetazione.

Il particolato primario di origine antropica è, invece, dovuto: all'utilizzo dei combustibili fossili (riscaldamento domestico, centrali termoelettriche, ecc.); alle emissioni degli autoveicoli; all'usura di pneumatici, dei freni e del manto stradale; a vari processi industriali (fonderie, miniere, cementifici, ecc.). Anche in seguito a varie attività agricole si possono originare grandi quantità di polveri.

Le polveri secondarie antropogeniche sono dovute essenzialmente all'ossidazione degli idrocarburi e degli ossidi di zolfo e di azoto emessi in seguito alle varie attività umane.

### **Diffusione**

Si stima che ogni giorno vengano immesse nell'aria circa 10 milioni di tonnellate di particolato; di queste, il 94% è di origine naturale (nella foto a lato si vedono gli effetti di un'enorme tempesta di sabbia nel deserto del Sahara). La concentrazione nell'aria di queste particelle viene, comunque, limitata dalla naturale tendenza alla deposizione per effetto della gravità e dall'azione delle nubi o delle piogge (rimozione umida) che agiscono, in tal senso, da "spazzine dell'aria".

Il fatto, comunque, che ci sia ricaduta sul terreno non deve essere interpretato solo in termini positivi, sebbene l'aria ne risulti meno ricca. Va valutato, infatti, l'impatto che il particolato esercita su ciò che vive sul terreno e/o sul terreno stesso, che, tralasciando per il momento il mondo vegetale, è una struttura estremamente complessa, costituita da sostanze organiche ed inorganiche e ricca di microrganismi. Il tutto, in equilibrio, costituisce un ecosistema frutto di migliaia di anni di evoluzione. E' sufficiente l'inserimento di una nuova variabile per determinare uno squilibrio più o meno reversibile che può originare un differente sistema non più adatto alle forme di vita iniziali non solo batteriche, ma anche vegetali, animali ed umane.

Il danno potenziale va oltre; basta considerare, ad esempio, come con le piogge eventuali inquinanti depositati alla superficie del terreno possano giungere fino alle acque di falda e da qui ad altri sistemi o direttamente all'uomo.

Tali considerazioni sono applicabili non solo alla contaminazione da particolato, ma anche alla deposizione di altri inquinanti o al semplice uso improprio di pesticidi a scopo agricolo.

Nell'aria pulita in genere la concentrazione di questo inquinante è dell'ordine di 1-1,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Oltre che dalla natura dei venti e dalle precipitazioni, la permanenza in atmosfera è fortemente condizionata dalle dimensioni delle particelle. Quelle che hanno un diametro superiore a 50  $\mu\text{m}$  sono visibili nell'aria e sedimentano piuttosto velocemente causando fenomeni di inquinamento su scala ristretta.

Le più piccole possono rimanere in sospensione per molto tempo; alla fine gli urti casuali e la reciproca attrazione le fanno collidere e riunire assieme: in questo modo, raggiungono dimensioni tali da acquistare una velocità di caduta sufficiente a farle depositare al suolo.

Il particolato emesso dai camini di altezza elevata può essere trasportato dagli agenti atmosferici anche a grandi distanze. Per questo motivo, parte dell'inquinamento di fondo riscontrato in una determinata città può provenire da un'industria situata a diversi chilometri dal centro urbano. Nei centri urbani, l'inquinamento da polveri fini, le più pericolose per la salute, è essenzialmente dovuto al traffico veicolare ed al riscaldamento domestico.

Una delle caratteristiche delle particelle è che possono a loro volta disciogliere al loro interno, se liquide, o adsorbire alla loro superficie, se solide, altre sostanze a loro volta presenti nell'aria spesso concentrandole e trascinandole fisicamente con esse. L'insieme delle particelle risulta sottoposto alla forza di gravità, che ne determina, almeno per quelle di dimensioni maggiori, una rapida sedimentazione. La velocità del processo dipende da vari parametri, fra cui il quadrato del diametro; ciò spiega perché

particelle con diametro estremamente ridotto, per esempio inferiore a circa 3 millimetri, possono rimanere sospese per tempi anche estremamente lunghi. In tal caso il particolato viene definito "particolato fine".

Il materiale polverulento che si libera può essere trasportato dal vento anche a notevoli distanze dal luogo di emissione. La composizione risulta eterogenea e funzione degli elementi costituenti che possono essere, fra l'altro, ossidi, solfati, carbonati, silicati, solfuri, cloruri, prodotti di adsorbimento fra combustibili incombusti e metalli, tra questi anche arsenico e mercurio.

### ***Effetti sull'uomo***

A prescindere dalla tossicità, le particelle che possono produrre degli effetti indesiderati sull'uomo sono sostanzialmente quelle di dimensioni più ridotte: infatti, nel processo della respirazione le particelle maggiori di 15 µm vengono generalmente rimosse dal naso. Il particolato che si deposita nel tratto superiore dell'apparato respiratorio può generare vari effetti irritativi come l'infiammazione e la secchezza del naso e della gola; tutti questi fenomeni sono molto più gravi se le particelle hanno assorbito sostanze acide (biossido di zolfo, ossidi di azoto, ecc.).

Per la particolare struttura della superficie, le particelle possono anche adsorbire dall'aria sostanze chimiche cancerogene, trascinarle nei tratti respiratori e prolungarne i tempi di residenza. Le particelle più piccole penetrano nel sistema respiratorio a varie profondità e possono trascorrere lunghi periodi di tempo prima che vengano rimosse. E' per questo che sono le più pericolose. Queste polveri aggravano le malattie respiratorie croniche come l'asma, la bronchite e l'enfisema. Le persone più vulnerabili sono gli anziani, gli asmatici, i bambini e chi svolge un'intensa attività fisica all'aperto, sia di tipo lavorativo che sportivo.

Nei luoghi di lavoro più soggetti all'inquinamento da particolato l'inalazione prolungata di queste particelle può provocare reazioni fibrose croniche e necrosi dei tessuti, con conseguenze quali broncopolmonite cronica accompagnata spesso da enfisema polmonare. Di per sé risultano irritanti a livello oculare e delle vie respiratorie; la pericolosità maggiore è rappresentata dalla capacità di veicolare altre specie chimiche. Ricordiamo, ad esempio, la polvere di amianto e quella di cemento.

Anche i pollini sono rilasciati nell'aria e costituiscono dei particolati caratterizzati da particelle distribuite secondo classe dimensionale variabile a seconda della specie vegetale. In individui sensibili possono indurre allergie con effetti anche notevoli.

In realtà, risultano più pericolosi i particolati fini, perché questi, a differenza dei precedenti, non vengono bloccati dalle vie aeree superiori e possono con facilità giungere ai bronchi ed agli alveoli, determinando effetti locali e, se segue assorbimento, anche sistemici. A livello delle alte vie respiratorie, le particelle vengono infatti intrappolate dal muco e grazie all'epitelio ciliato espulse all'esterno attraverso il naso e la faringe. Ovviamente coloro che presentano alterazioni a livello del sistema muco-ciliare, come accade nei fumatori, risulteranno più sensibili.

### ***Effetti sull'ambiente***

Gli effetti del particolato sul clima e sui materiali sono piuttosto evidenti. Il particolato dei fumi e delle esalazioni provoca una diminuzione della visibilità atmosferica; allo stesso tempo, diminuisce la luminosità in seguito ad assorbimento o riflessione della luce solare. Le polveri sospese favoriscono la formazione di nebbie e nuvole e costituiscono i nuclei di condensazione attorno ai quali si condensano le gocce d'acqua. Favoriscono il verificarsi dei fenomeni delle nebbie e delle piogge acide, con effetti di erosione e corrosione dei materiali e dei metalli.

Il particolato, inoltre, danneggia i circuiti elettrici ed elettronici, insudicia gli edifici e le opere d'arte e riduce la durata dei tessuti. Le polveri (ad esempio quelle emesse dai cementifici) possono depositarsi sulle foglie delle piante e formare così una patina opaca che, schermando la luce, ostacola la fotosintesi.

Gli effetti del particolato sul clima della terra sono invece piuttosto discussi. Sicuramente, un aumento del particolato in atmosfera comporta una diminuzione della temperatura terrestre per un effetto di riflessione e schermatura della luce solare. In ogni caso, tale azione è mitigata dal fatto che le particelle riflettono anche le radiazioni infrarosse provenienti dalla terra. E' stato, comunque, dimostrato che gli anni immediatamente successivi alle più grandi eruzioni vulcaniche di tipo esplosivo, caratterizzate dalla emissione in atmosfera di un'enorme quantità di particolato, sono stati segnati da inverni particolarmente rigidi. Alcune ricerche affermano che un aumento di 4 volte della concentrazione del particolato in atmosfera comporterebbe una diminuzione della temperatura globale della terra pari a 3,5°C.

### **3. OZONO (O<sub>3</sub>)**

#### ***Caratteristiche***

L'ozono è un gas tossico di colore bluastrò, costituito da molecole instabili formate da tre atomi di ossigeno (O<sub>3</sub>); queste molecole si scindono facilmente, liberando ossigeno molecolare (O<sub>2</sub>) ed un atomo di ossigeno estremamente reattivo (O<sub>3</sub> -> O<sub>2</sub>+O). Per queste sue caratteristiche l'ozono è un energico ossidante, capace di reagire sia con materiali organici che inorganici.

L'ozono è presente per più del 90% nella stratosfera (la fascia dell'atmosfera che va dai 10 ai 50 Km di altezza), dove viene prodotto dall'ossigeno molecolare per azione dei raggi ultravioletti solari. In stratosfera costituisce una fascia protettiva nei confronti delle radiazioni UV generate dal sole.

Per effetto della circolazione atmosferica, viene in piccola parte trasportato anche negli strati più bassi dell'atmosfera (troposfera), nei quali si forma anche per effetto di scariche elettriche durante i temporali. Nella troposfera di norma è presente a basse concentrazioni e rappresenta un inquinante secondario particolarmente insidioso. Viene prodotto nel corso di varie reazioni chimiche in presenza della luce del sole a partire dagli inquinanti primari, in modo particolare dal biossido di azoto.

#### ***Fonti inquinanti***

La formazione dell'ozono stratosferico ha luogo per la maggior parte a più di 30 Km di altezza. Qui le radiazioni UV con lunghezza d'onda inferiore ai 242 nm dissociano l'ossigeno molecolare in ossigeno atomico che, per la sua reattività, si combina rapidamente con una molecola di ossigeno, originando l'ozono (O+O<sub>2</sub> -> O<sub>3</sub>). A loro volta, le molecole di ozono assorbono le radiazioni solari con lunghezza d'onda compresa fra 240 e 340 nm, con liberazione di un atomo ed una molecola di ossigeno (O<sub>3</sub> -> O<sub>2</sub>+O). In definitiva, questi processi sono in equilibrio dinamico. Questo fa sì, da un lato, che la concentrazione di ozono rimanga pressoché costante, e, dall'altro, permette di schermare più del 90% delle pericolose radiazioni UV provenienti dal sole. L'abbattimento delle radiazioni UV ad elevata energia spiega come nella troposfera inferiore il meccanismo di formazione dell'ozono non sia attivo. L'ozono troposferico presente deriva quindi esclusivamente dal ridotto scambio fra troposfera e stratosfera e dalla formazione di ozono a partire da inquinanti atmosferici primari.

Nella troposfera la sorgente principale di ozono è rappresentata dal biossido di azoto che in presenza della luce solare origina per fotolisi ossigeno atomico che, a sua volta, produce ozono per reagire con l'ossigeno molecolare. Una notevole quantità di ozono viene anche prodotta nel corso delle ossidazioni degli idrocarburi presenti nell'aria. La produzione di ozono da parte dell'uomo è, quindi, indiretta, dato che questo gas si origina a partire da inquinanti primari. Per estensione, si può affermare che le principali sorgenti antropogeniche coincidono con quelle che liberano gli inquinanti precursori e quindi il traffico automobilistico, i processi di combustione, l'evaporazione dei carburanti, i solventi, ecc.

## **Diffusione**

In natura è presente in concentrazioni rilevanti nella zona di stratosfera compresa fra 20 e 30 Km dalla superficie terrestre. A tale livello forma una zona di sbarramento al passaggio delle radiazioni solari ultraviolette con lunghezza d'onda inferiore ai 320 nm. La sua concentrazione viene mantenuta costante nel tempo grazie all'equilibrio dinamico fra reazioni di sintesi e di degradazione (fotolisi). La sintesi avviene, come detto, ad alta quota, ove la radiazione ultravioletta a lunghezza d'onda inferiore a 240 nm dissocia la molecola di ossigeno in due atomi di ossigeno. Questi, a loro volta, possono reagire con un'altra molecola di ossigeno formando ozono. La fotolisi, invece, richiede sempre l'intervento della radiazione ultravioletta con lunghezza d'onda compresa fra 240 e 320 nm. Questa, agendo sull'ozono, determina la formazione di ossigeno molecolare ed ossigeno atomico. È proprio a questa reazione che si deve l'effetto filtrante le radiazioni ultraviolette provenienti dal sole e dirette sulla superficie terrestre.

Ad altezze inferiori la concentrazione è estremamente ridotta e tale rimane, salvo che in particolari condizioni sia climatiche che di esposizione a irradiazione solare di particolare intensità ed in presenza di particolari inquinanti. La combinazione di tali eventi ne permette la sintesi in loco.

Infatti, in vicinanza della superficie terrestre le radiazioni ultraviolette necessarie alla sintesi di ozono sono assenti, perché schermate a livello della stratosfera; pertanto, i livelli di ozono naturalmente rilevabili sono da attribuire prevalentemente agli scambi esistenti fra stratosfera e troposfera. In alcune condizioni, l'equilibrio naturale viene compromesso, permettendo la rilevazione di ingenti quantità di ozono atmosferico. In condizioni di intensa produzione di smog fotochimico i livelli di ozono possono raggiungere concentrazioni tali da renderlo dannoso per la salute e per l'ambiente, poiché capace di deteriorare fra l'altro gomme, materiale plastico, prodotti tessili. L'ozono, in tali situazioni, viene considerato un inquinante secondario.

Per quanto riguarda l'ozono troposferico, bisogna ricordare che la concentrazione del gas varia anche di molto a seconda della zona geografica considerata, dell'ora, del periodo dell'anno, delle condizioni climatiche, della direzione e della velocità del vento, del grado di inquinamento primario, ecc.

La concentrazione di fondo alle nostre latitudini varia fra 0,03 e 0,07 ppm, anche se nell'ultimo secolo è praticamente raddoppiata.

Nelle zone industriali ed urbane aumenta al ritmo dell'1-2 % all'anno.

Nelle aree urbane i picchi massimi di concentrazione si verificano in genere verso mezzogiorno e sono preceduti, nelle prime ore del mattino, da concentrazioni massime di ossidi di azoto e di idrocarburi rilasciati dall'intenso traffico dei veicoli all'inizio della giornata (composti che ne costituiscono i precursori). Dopo le ore 18 di solito questi valori scendono e raggiungono i minimi durante la notte, a testimonianza dell'importanza della luce nella produzione dell'ozono.

Le più alte concentrazioni di ozono si rilevano nei mesi più caldi dell'anno, per la forte insolazione; le condizioni di alta pressione e di scarsa ventilazione favoriscono, inoltre, il ristagno degli inquinanti ed il loro accumulo.

Dato che l'inquinamento da ozono interessa in particolare solo 4-6 ore del giorno, si considera di solito solo la concentrazione media massima oraria.

Da sottolineare il fatto che l'ozono urbano si può diffondere anche in aree più periferiche o in campagna; nelle zone rurali può essere convogliato dal movimento di masse d'aria sotto l'azione dei venti e la sua permanenza risulta maggiore che a livello urbano poiché mancano gli agenti neutralizzanti che poi sono alla base della sua stessa sintesi: la concentrazione può quindi rimanere alta per lunghi periodi e raggiungere anche dei picchi in aree impensabili come, ad esempio, i parchi cittadini.

La concentrazione dell'ozono rappresenta un indice della presenza dello smog fotochimico (vedi **SCHEDA** n. 3 ) del quale l'ozono è uno dei componenti principali: L'OMS ne ha stabilito un limite massimo di 0,1 ppm. Negli ambienti interni la



concentrazione di ozono e di ossidanti fotochimici è di norma inferiore a quella esterna, dato che queste sostanze reagiscono con i materiali presenti. In ambienti interni di lavoro le esposizioni professionali all'ozono interessano le zone dove si effettuano operazioni di saldatura, si impiegano precipitatori elettrostatici per le polveri, si utilizzano lampade UV e negli uffici per l'uso di macchine fotocopiatrici.

### ***Effetti sull'uomo***

L'esposizione a basse dosi determina l'insorgere di patologie a livello respiratorio anche di notevole entità e a livello oculare determina forti irritazioni.

L'ozono è presente, anche in elevate concentrazioni, nel caso di inquinamento fotochimico e risulta responsabile di molti degli effetti più marcati ed evidenti di questo. Più sensibili appaiono i bambini e i soggetti asmatici o coloro che svolgono durante l'esposizione intensa attività fisica. E' evidente una notevole reattività individuale, tanto che la determinazione di una soglia capace di indurre effetto non è facilmente identificabile.

La molecola dell'ozono è estremamente reattiva, in grado di ossidare numerosi componenti cellulari, fra i quali amminoacidi, proteine e lipidi.

Alla concentrazione di 0,008-0,02 ppm (15-40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) è possibile già rilevarne l'odore; a 0,1 ppm provoca una irritazione agli occhi ed alla gola per la sua azione sulle mucose. Concentrazioni più elevate causano irritazioni all'apparato respiratorio, tosse ed un senso di oppressione al torace che rende difficoltosa la respirazione. Le categorie più sensibili, come gli asmatici e gli anziani, possono essere soggette ad attacchi di asma anche a basse concentrazioni. Alla concentrazione di 1 ppm provoca mal di testa e a 1,7 ppm può causare edema polmonare. In presenza di altri ossidanti fotochimici, di biossido di zolfo e di biossido di azoto, l'azione dell'ozono viene sempre potenziata per effetto sinergico. Concentrazioni elevate possono provocare la morte.

Studi sugli animali dimostrano che l'ozono può ridurre la capacità del sistema immunitario di combattere le infezioni batteriche. Tutte queste patologie si riferiscono ad esposizioni relativamente brevi, mentre le conseguenze derivate da un'esposizione per vari anni a concentrazioni non elevate sono ancora poco note. Gli eventuali disturbi correlati alla presenza dell'ozono in genere terminano se i soggetti colpiti soggiornano in ambienti salubri.

I soggetti più sensibili sono: gli asmatici, quelli con patologie polmonari e/o cardiovascolari, gli anziani, le donne incinte, i bambini, chi svolge attività fisica all'aperto, a causa del correlato aumento della respirazione. I danni dovuti all'ozono possono anche verificarsi senza alcun segno evidente. Le persone che vivono nelle aree dove i livelli di ozono sono spesso alti possono verificare che i sintomi iniziali dovuti alla presenza dell'ozono si affievoliscono col passar del tempo.

### ***Effetti sull'ambiente***

Per quanto riguarda la vegetazione, i danni provocati dall'ozono sono talmente ingenti che questo gas è considerato, assieme al biossido di zolfo, una delle principali cause del declino delle foreste. L'ozono (e gli ossidanti fotochimici in genere) provoca una riduzione nella crescita delle piante e, a maggior concentrazione, clorosi e necrosi delle foglie; i cloroplasti assumono una colorazione verde chiara e si rompono facilmente, disperdendo la clorofilla nel citoplasma cellulare.

Le piante risultano sensibili al gas che penetra al loro interno attraverso gli stomi, specialmente se in presenza di ampie quantità di vapore d'acqua che ne aumenta l'apertura. Le piante risultano così sensibili da poter essere utilizzate come spia biologica. Compaiono prima danni a livello fogliare fino alla necrosi con gravi ripercussioni sul metabolismo, specie fotosintetico. I danni alle foglie appaiono caratteristici poiché ne coinvolgono la pagina superiore; ciò permette la differenziazione da altri tipi di attacco come quelli operati da virus o da funghi.

L'ozono causa clorosi con colorazione giallo pallido delle foglie, particolarmente evidente negli aghi dei pini, e provoca un prematuro invecchiamento della pianta. Molti studi hanno dimostrato che è l'esposizione ad elevate concentrazioni per breve tempo che provoca i danni maggiori; le esposizioni a livelli costanti risultano invece meno dannose. Le specie più sensibili all'ozono sono: il tabacco, gli spinaci, l'erba medica, l'avena, la segala, i fagioli, l'orzo ed il noce; su queste piante, sempre meno frequenti in prossimità delle aree urbane, è possibile notare la comparsa dei primi sintomi di sofferenza già a concentrazioni di 0,05-0,12 ppm di ozono.

L'ozono causa ingenti danni a materiali e monumenti, con gravi ricadute sul patrimonio artistico e in termini economici.

Per la sua reattività attacca anche le gomme naturali e artificiali. I tessuti vengono indeboliti ed i colori perdono la loro brillantezza; le fibre di cellulosa sono molto sensibili all'ossidazione.

L'ozono produce anche dei danni alle vernici, specialmente per l'azione sinergica con il biossido di zolfo. Si deve comunque osservare che parecchi danni attribuiti all'ozono sono in realtà provocati dall'insieme degli ossidanti fotochimici, dei quali l'ozono è solo un rappresentante.

## **SCHEDA 1. LA RIDUZIONE DELLO STRATO DI OZONO STRATOSFERICO: CAUSE E SOLUZIONI**

### **Lo strato di ozono**

L'atmosfera terrestre viene concettualmente divisa in più strati. La regione più bassa, la troposfera, si estende dalla superficie terrestre fino a circa 10 Km in altitudine; lo strato successivo, la stratosfera, da 10 a 50 km.

Lo strato di ozono stratosferico, situato ad un'altezza compresa tra 15 e 30 km dal suolo, rappresenta il 90% di tutto l'ozono atmosferico. Sebbene sia molto diluito, esso svolge un ruolo fondamentale nella protezione degli esseri umani, degli animali e delle piante, assorbendo parte delle radiazioni UVB provenienti dal Sole e responsabili di effetti dannosi. L'ozono stratosferico, che si forma dall'interazione della radiazione solare con l'ossigeno, viene facilmente distrutto dalla reazione con sostanze contenenti cloro o bromo. Un singolo atomo di questi due elementi, infatti, può distruggere migliaia di molecole di ozono.

Le prolungate emissioni antropogeniche di questo genere di sostanze distruttrici dell'ozono hanno alterato il naturale equilibrio del processo di formazione e distruzione dell'ozono stratosferico portando ad una sua netta riduzione.

Tra i composti che causano una significativa riduzione dello strato di ozono ci sono i **clorofluorocarburi** (CFC), gli **idroclofluorocarburi** (HCFC), gli **halon**, il tetracloruro di carbonio (CCl<sub>4</sub>) e il bromuro di metile; usati come solventi, refrigeranti, propellenti per aerosol, sostanze estinguenti, pesticidi.

### **Il "buco nell'ozono"**

Un esempio ben noto dell'impoverimento dell'ozono è il "buco" dell'ozono sull'Antartide che si registra dai primi anni ottanta. In realtà, più che di un vero e proprio buco, si tratta di una larga area della stratosfera con concentrazioni di ozono estremamente basse. La comune definizione "buco nell'ozono" non risulta pertanto corretta in quanto è impossibile praticare un buco in un gas. Riduzioni del livello di ozono stratosferico si registrano anche in altre parti del pianeta: ad esempio, la colonna d'ozono (una misura dello spessore dello strato d'ozono) sull'Europa in Marzo nel periodo 1997-2001 era circa il 7% in meno rispetto al periodo 1979-81.

### **Il protocollo di Montreal**

La necessità di porre rimedio all'impoverimento dello strato di ozono ha portato la comunità internazionale ad adottare, nel 1987, il **Protocollo di Montreal**, che stabilisce i termini di scadenza entro cui le Parti firmatarie si impegnano a contenere i livelli di produzione e di consumo delle sostanze dannose per la fascia di ozono stratosferico (CFC, HCFC, halon tetracloruro di carbonio, tricloroetano, bromuro di metile), e disciplina gli scambi commerciali, la comunicazione dei dati di monitoraggio, l'attività di ricerca, lo scambio di informazioni e l'assistenza tecnica.

### **Lo scenario futuro**

La prima versione del Protocollo di Montreal stabiliva che la produzione di CFC fosse ridotta a partire dalla metà del 1998. Dopo la sua sottoscrizione, nuove rilevazioni mostrarono che lo strato di ozono aveva subito danni maggiori di quelli supposti. Nel 1992 fu quindi deciso di arrestare del tutto la produzione di halon dall'inizio del 1994 e dei CFC dall'inizio del 1996 nei Paesi industrializzati. Grazie alle misure adottate nell'ambito del Protocollo, le emissioni di sostanze dannose per l'ozono sono diminuite. In base alle misure del cloro totale presente in atmosfera, la cui crescita si è arrestata tra il 1997 e il 1998, i livelli di cloro nella stratosfera hanno raggiunto il loro massimo. Nei prossimi 50 anni, il processo naturale di produzione di ozono dovrebbe permettere di ricostituire completamente lo strato di ozono stratosferico.

## **4. MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)**

### ***Caratteristiche***

L'ossido di carbonio (CO), o monossido di carbonio, è un gas inodore ed incolore, infiammabile e molto tossico, con densità simile a quella dell'aria.

Origina dalla combustione incompleta, cioè per mancanza di ossigeno, del materiale organico. Le emissioni naturali e quelle antropogeniche sono oramai dello stesso ordine di grandezza. Il monossido di carbonio è estremamente diffuso soprattutto nelle aree urbane a causa dell'inquinamento prodotto dagli scarichi degli autoveicoli; si stima che circa l'80% del CO presente in atmosfera derivi dai fumi di scarico dei veicoli con motore a combustione. Gli effetti sull'ambiente sono da considerarsi trascurabili, mentre gli effetti sull'uomo sono particolarmente pericolosi.

### ***Fonti inquinanti***

Le principali emissioni naturali sono dovute agli incendi delle foreste, alle eruzioni dei vulcani, alle emissioni da oceani e paludi e all'ossidazione del metano e degli idrocarburi in genere.

La fonte principale di emissione da parte dell'uomo è costituita dall'utilizzo dei combustibili fossili per i motori a scoppio degli autoveicoli e per le attività industriali, quali, ad esempio, impianti siderurgici e raffinerie di petrolio.

Escludendo l'anidride carbonica, la quantità di ossido carbonio che viene emesso dai processi di combustione che avvengono negli autoveicoli è circa 10 volte maggiore di quella degli altri inquinanti. A seconda del regime di marcia, la concentrazione usuale che si riscontra nei gas di scarico delle automobili varia fra il 3,5 e il 10%. Le concentrazioni più elevate nei gas di scarico si riscontrano quando il motore funziona al minimo, mentre a regimi più elevati la produzione di CO è nettamente minore. Per questo motivo nelle zone urbane dove il traffico procede a rilento e dove le fermate ai semafori sono frequenti, la concentrazione del CO può raggiungere punte particolarmente elevate. I motori Diesel, funzionando con maggiori quantità di aria, garantiscono una combustione più completa ed emettono minori quantità di CO rispetto ai motori a benzina (emettono però una maggior quantità di particolati). Negli ultimi anni la quantità di CO emessa dagli scarichi degli autoveicoli è diminuita per il miglioramento dell'efficienza dei motori, per il controllo obbligatorio delle emissioni e per il crescente utilizzo delle marmitte catalitiche.

Per ciò che riguarda le attività industriali c'è da sottolineare il fatto che il CO è, a sua volta, un combustibile e la sua emissione con i gas di combustione costituisce una perdita energetica. Per questo motivo, si cerca di far avvenire le combustioni in eccesso di aria, al fine di migliorarne la resa. Combustioni incomplete possono avvenire quando gli impianti non vengono mantenuti, al loro avvio o quando la combustione si svolge in difetto di aria. Fra i processi industriali che provocano emissioni rilevanti di CO in atmosfera ricordiamo gli impianti siderurgici, dove si impiega il coke per la riduzione del materiale ferroso, o dove si adopera l'ossigeno per ossidare il carbonio contenuto nelle ghise, per convertirle in acciaio o per abbassare il tasso di carbonio. Altre fonti sono le industrie petrolchimiche che producono il gas di sintesi (una miscela di CO e idrogeno) necessario per le produzioni di importanti composti chimici, e le raffinerie di petrolio.

### ***Diffusione***

In atmosfera la concentrazione di fondo del monossido di carbonio è di 0,1-0,2 ppm nell'emisfero nord e di 0,04-0,06 ppm nell'emisfero sud, a dimostrazione dell'importanza del consumo di combustibili come fonte dell'inquinamento. Nell'aria inquinata di aree intensamente urbanizzate può raggiungere 1-10 ppm. In alcune gallerie stradali sono state addirittura rilevate concentrazioni di 500 ppm. Il CO

permane in atmosfera per circa 3-4 mesi e viene rimosso attraverso reazioni di ossidazione ad anidride carbonica o attraverso reazioni fotochimiche coinvolgenti il metano e i radicali OH. Negli ambienti interni il monossido di carbonio proviene dalle stufe a gas, a legna, ad olio combustibile, dai fornelli, dalle sigarette e dagli autoveicoli in moto nei locali chiusi. In alcuni casi sono stati rilevate anche concentrazioni di 50 ppm per operazioni di movimentazione dell'auto in garage, che confina di norma con l'abitazione, quando all'esterno la concentrazione misurata era al massimo di 1 ppm.

### **Effetti sull'uomo**

Per le sue caratteristiche l'ossido di carbonio rappresenta un inquinante molto insidioso, soprattutto nei luoghi chiusi, dove si può accumulare in concentrazioni letali. Tali situazioni sono purtroppo frequenti e innumerevoli sono i casi di avvelenamento e di incidenti anche mortali imputabili alle stufe o agli scaldabagni difettosi o non controllati o a causa di motori a combustione tenuti in funzione in locali non ben areati. Nel primo caso va ricordato che la verifica periodica dei sistemi di riscaldamento anche autonomi e domestici deve prevedere il controllo anche dei sistemi di tiraggio dei fumi esausti. Essendo il CO incolore, insapore, inodore e non irritante, può causare morti accidentali senza che le vittime si rendano conto di quel che sta loro accadendo.

La pericolosità del CO è dovuta alla formazione con l'emoglobina del sangue (con una affinità che è 220 volte superiore a quella dell'ossigeno) di un composto fisiologicamente inattivo, la carbossiemoglobina (COHb), incapace di svolgere la funzione di trasportatore di ossigeno nei tessuti.

A basse concentrazioni, provoca emicranie, debolezza diffusa, giramenti di testa; a concentrazioni maggiori, può provocare esiti letali per asfissia. L'effetto del CO risulta maggiore in altitudine, per la ridotta percentuale di ossigeno nell'aria. In caso di intossicazione bisogna immediatamente portare all'aria aperta il soggetto colpito, perché la respirazione di aria arricchita di ossigeno aiuta l'eliminazione del CO dalla COHb. I primi sintomi dell'avvelenamento sono l'emicrania e un senso di vertigine. Purtroppo, però, il gas provoca sonnolenza e questo impedisce spesso alle vittime di avvertire il pericolo e di aerare il locale.

A causa del traffico automobilistico la popolazione urbana è spesso soggetta a lunghe esposizioni a basse concentrazioni. La lenta intossicazione da ossido di carbonio prende il nome di *ossicarbonismo* e si manifesta con sintomi nervosi e respiratori. Nel sangue è presente una percentuale di carbossiemoglobina che dipende dalla concentrazione di CO alla quale una persona è esposta: per ogni ppm di CO presente in aria, lo 0,16% di emoglobina viene trasformato in COHb. Quando nell'aria la concentrazione di CO è di 12-31 ppm si arriva al 2-5% di carbossiemoglobina e si manifestano i primi segni con aumento delle pulsazioni cardiache, aumento della frequenza respiratoria e disturbi psicomotori (nei guidatori di auto si allungano in modo pericoloso i tempi di reazione).

Anche il fumo di sigaretta è ricco di CO, tanto che nei fumatori i livelli di COHb risultano significativamente maggiori rispetto ai non fumatori: la percentuale di COHb presente nel sangue può variare dal 6% in fumatori moderati sino al 10% in accaniti fumatori di sigarette che siano esposti anche ad una concentrazione esterna di CO di circa 40 ppm per 1 ora, quando invece un non fumatore ha un aumento di COHb da 1,6% al 2,6%.

Ovviamente, gli effetti sono legati alla durata di esposizione, ai livelli di CO nell'aria, alla pressione parziale dell'ossigeno nell'aria inspirata, alla temperatura, all'attività fisica dell'individuo ed al suo stato di salute generale.

## **5. PIOMBO (Pb)**

### **Caratteristiche**

Il piombo si ritrova in alcuni tipi di benzine generalmente come piombo tetraetile o tetrametile aggiunti sia al fine di stabilizzare il numero di ottano che di fungere da lubrificanti. Per inertizzare il piombo presente nei fumi di scarico vengono aggiunti, sempre alla benzina, etilene dicloruro ed etilene dibromuro; in tal modo il piombo si ritrova nel prodotto terminale della combustione come bromocloruro (PbBrCl) spesso associato all'ammonio cloruro ( $\text{NH}_4\text{Cl}$  2PbBrCl oppure  $2\text{NH}_4\text{Cl}$  PbBrCl) o all'ossido ( $2\text{PbO}$  PbBrCl).

Sotto tali forme il piombo costituisce gran parte del particolato con un diametro medio particellare inferiore a  $5\ \mu\text{m}$  e può essere assorbito per via aerea.

La dimensione del particolato, ad esempio, si è rivelata uno dei fattori più importanti: particelle, in media, con diametro inferiore a  $10\ \mu\text{m}$  sono capaci di attraversare la trachea mentre quelle di diametro, sempre in media, pari o inferiore a  $1\ \mu\text{m}$  di giungere agli alveoli polmonari.

### **Fonti inquinanti**

Fonti esogene di piombo risultano nell'ordine: cibo, acqua, aria. Ad eccezione di coloro che per attività lavorativa risultano esposti al metallo, per la restante popolazione la fonte di rischio maggiore deriva dai gas di scarico dei veicoli a motore operanti con combustibili "non ecologici". In tali reflui il piombo si ritrova nel particolato che, se presenta una distribuzione media di diametro inferiore ad  $1\ \text{mm}$ , giunge a livello alveolare e viene assorbito.

Interessanti risultano gli effetti in seguito all'esposizione a lungo termine ed a bassi livelli; come anche l'osservazione che i livelli ematici variano con le stagioni. In primavera risultano, in media, maggiori che in autunno. E' stato ipotizzato che ci sia correlazione fra sintesi di vitamina D, mediata dai raggi solari, e deposizione del calcio nelle ossa come anche risulta possibile la mobilitazione del piombo ivi depositato.

### **Diffusione**

La vita media dell'aerosol di piombo in atmosfera dipende dalla distribuzione dimensionale del particolato, dalle condizioni atmosferiche, dalla sua concentrazione nel particolato stesso.

Le particelle di diametro maggiore ( $0,3\text{-}3\ \text{mm}$ ) si depositano al suolo per effetto della forza gravitazionale. Anche particelle di dimensione compresa fra  $5$  e  $50\ \mu\text{m}$  sedimentano rapidamente, mentre più complesso risulta il destino di quelle comprese fra  $0,1$  e  $1,0\ \mu\text{m}$ .

Il meccanismo, basato su fenomeni coagulativi, prevede l'aggregazione delle minute particelle con evoluzione di queste in altre di dimensioni via via maggiori, tanto che la velocità di sedimentazione cresce al crescere del livello di contaminazione (effetto paradosso). Ovviamente il processo è legato a condizioni esterne quali temperatura, umidità relativa, presenza di vento e sua velocità, localizzazione rurale o urbana.

### **Effetti sull'uomo**

La sintomatologia dell'avvelenamento da piombo presenta crampi addominali, inappetenza, anemia, insonnia, irritabilità fino all'encefalopatia. Nei bambini l'intossicazione può determinare: malattie renali, ritardo mentale, atrofia del nervo ottico, alterazioni nello sviluppo del sistema nervoso centrale. In ogni modo la tossicità da piombo sembra correlata a fattori nutrizionali. Il piombo, inoltre, attraversa la placenta esplicando effetti tossici sul feto, mentre sul maschio può interferire con la spermatogenesi.

## **6. OSSIDI DI AZOTO (NO<sub>x</sub>)**

### **Caratteristiche**

Pur essendo presenti in atmosfera diverse specie di ossidi di azoto, per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO<sub>x</sub> che sta ad indicare la somma pesata del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO<sub>2</sub>). L'origine degli NO<sub>x</sub> è sia naturale, causata da processi di nitrificazione o denitrificazione, che antropica in seguito alla combustione, dalla quale originano quasi completamente. A livello atmosferico NO viene ossidato a NO<sub>2</sub> ed in parte trasformato in nitrati che ritornano sulla superficie terrestre sia disciolti nelle gocce di pioggia che sotto forma di particolato solido.

L'ossido di azoto (NO) è un gas incolore, insapore ed inodore. E' prodotto soprattutto nel corso dei processi di combustione ad alta temperatura assieme al biossido di azoto, che costituisce meno del 5% degli NO<sub>x</sub> totali emessi. Viene poi ossidato in atmosfera dall'ossigeno più rapidamente dall'ozono producendo biossido di azoto. La tossicità acuta del monossido di azoto è inferiore a quella del biossido di azoto che risulta invece notevole.

Il biossido di azoto è un gas tossico di colore giallo-rosso, dall'odore forte e pungente e con grande potere irritante; è un energico ossidante, molto reattivo e quindi altamente corrosivo. Esiste nelle due forme N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (forma dimera) e NO<sub>2</sub> che si forma per dissociazione delle molecole dimere. Il colore rossastro dei fumi è dato dalla presenza della forma NO<sub>2</sub> (che è quella prevalente). Il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto per l'appunto al biossido di azoto. Rappresenta un inquinante secondario dato che deriva, per lo più, dall'ossidazione in atmosfera del monossido di azoto. Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari fra cui l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso, gli alchilnitrati, i perossiacetilnitrati.

Si stima che gli ossidi di azoto contribuiscano per il 30% alla formazione delle piogge acide (il restante è imputabile al biossido di zolfo e ad altri inquinanti). Da notare che gli NO<sub>x</sub> vengono per lo più emessi da sorgenti al suolo e sono solo parzialmente solubili in acqua, questo influenza notevolmente il trasporto e gli effetti a distanza.

### **Fonti inquinanti**

Su scala globale si stima che le emissioni di ossidi di azoto naturali ed antropogeniche siano dello stesso ordine di grandezza (circa 200 milioni di tonnellate). Le sorgenti naturali sono costituite essenzialmente dalle decomposizioni organiche anaerobiche che riducono i nitrati a nitriti; i nitriti in ambiente acido formano acido nitroso che, essendo instabile, libera ossidi di azoto. Da segnalare anche l'azione dei fulmini, gli incendi e le emissioni vulcaniche.

In ambiente urbano la fonte principale risulta essere costituita dal traffico veicolare.

La principale fonte antropogenica di ossido di azoto è data dalle combustioni ad alta temperatura, come quelle che avvengono nei motori degli autoveicoli: l'elevata temperatura che si origina durante lo scoppio provoca la reazione fra l'azoto dell'aria e l'ossigeno formando NO.

La quantità prodotta è tanto più elevata quanto maggiore è la temperatura di combustione e quanto più veloce è il successivo raffreddamento dei gas prodotti, che impedisce la decomposizione in azoto ed ossigeno. Da notare che le miscele "ricche", cioè con poca aria, danno luogo ad emissioni con basso tenore di monossido di azoto, ma elevate emissioni di idrocarburi e monossido di carbonio per effetto di combustioni incomplete, a causa della bassa temperatura raggiunta nella camera di combustione. Miscela "povere", cioè con elevata quantità di aria, danno ancora luogo a basse concentrazioni di NO nelle emissioni, ma impediscono una buona resa del motore perché l'eccesso di aria raffredda la camera di combustione. Quando i fumi vengono mescolati con aria allo scarico si forma una significativa quantità di biossido di azoto per ossidazione del monossido ad opera dell'ossigeno. In generale i motori diesel emettono più ossidi di azoto e particolati (fumo) 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. Altre importanti fonti di ossidi di azoto sono gli impianti termici e le centrali termoelettriche; le quantità emesse sono comunque relativamente minori dato che nel corso della combustione vengono raggiunte temperature di fiamma più basse. Sorgenti antropogeniche di ossidi di azoto sono, inoltre, la produzione dei fertilizzanti azotati, la produzione di acido nitrico per ossidazione dell'ammoniaca e la fabbricazione degli esplosivi, tutti i processi chimici che impiegano acido nitrico (come ad esempio la dissoluzione di metalli).

Gli ossidi di azoto durante la respirazione giungono facilmente agli alveoli polmonari dove originano acido nitroso e nitrico. Gli  $\text{NO}_x$  sono ritrovabili anche nel fumo di tabacco.

Elevate concentrazioni possono ritrovarsi nelle emissioni di tutti i processi che utilizzano la combustione di combustibili fossili o in attività industriali quali raffinazione del petrolio, produzione di coke, siderurgia, ecc. In ogni modo gli  $\text{NO}_x$  possono venire trasportati, in determinate condizioni climatiche e di ventilazione, lontano dalle fonti di emissione dando luogo quindi a forme di inquinamento locali le cui origini risiedono altrove. Il diossido di azoto è fondamentale nella genesi dello smog fotochimico (vedi **SCHEDA** n. 3) portando alla produzione di ozono, di acido nitrico, perossiacetilnitrato e della serie di composti nitrati aromatici e non.

Uno dei prodotti terminali del biossido di azoto è l'acido nitrico ( $\text{HNO}_3$ ); gli effetti dell'acido nitrico sull'ecosistema sono intrerpretabili ricordando il carattere acido della molecola che comunque viene velocemente neutralizzata sia per reazione con ammoniaca, che attraverso la rimozione fisica dall'aria tramite pioggia. Quest'ultimo meccanismo è alla base del fenomeno noto come "piogge acide" (vedi **SCHEDA** n. 4).

### **Diffusione**

Negli ultimi anni le emissioni antropogeniche di ossidi di azoto sono aumentate enormemente, soprattutto a causa dell'aumento del traffico veicolare; questo ha comportato di conseguenza un aumento dei livelli di concentrazione nelle aree urbane. La concentrazione di fondo del monossido di azoto in atmosfera varia da 0,2 a 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; nell'aria inquinata la concentrazione di NO è in genere di 50-750 ppb (62-930  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Nelle atmosfere inquinate in modo continuativo (in genere dagli autoveicoli) si assiste ad un ciclo giornaliero di formazione di inquinanti secondari: il monossido di azoto viene ossidato tramite reazioni fotochimiche (catalizzate dalla luce) a biossido di azoto; si forma così una miscela  $\text{NO-NO}_2$ , che raggiunge il picco di concentrazione nelle zone e nelle ore di traffico più intenso. Attraverso una serie di reazioni, ancora catalizzate dalla luce solare, si giunge alla formazione di ozono e di composti organici ossidanti (vedi **SCHEDA** n. 3). Durante la notte queste sostanze decadono formando composti organici nitrati, perossidi ed aerosol acidi. La concentrazione ambientale del biossido di azoto oscilla tra 1 e 9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; nei Paesi Occidentali la media annuale è compresa fra 20 e 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre nelle città in genere non supera i 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Negli ambienti indoor la concentrazione di ossidi di azoto risulta più elevata nelle cucine per le combustioni aperte dei fornelli e spesso può arrivare a concentrazioni più elevate di quelle esterne.

### **Effetti sull'uomo**

L'azione sull'uomo dell'ossido di azoto è relativamente blanda; inoltre, a causa della rapida ossidazione a biossido di azoto, si fa spesso riferimento esclusivo solo a quest'ultimo inquinante. Il biossido di azoto è un gas irritante per le mucose e può contribuire all'insorgere di varie alterazioni delle funzioni polmonari, bronchiti croniche, asma ed enfisema polmonare. Lunghe esposizioni anche a basse



concentrazioni provocano una drastica diminuzione delle difese polmonari con conseguente aumento di rischio di affezioni alle vie respiratorie.

Gli effetti del biossido di azoto si manifestano generalmente parecchie ore dopo l'esposizione e le persone non si rendono conto che il loro malessere è dovuto all'aria inquinata respirata. Per il biossido di azoto l'Organizzazione Mondiale per la Sanità (OMS) raccomanda il limite guida orario di  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , il limite per la media annuale è invece  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Brevi esposizioni a  $50\text{-}150 \text{ mg}/\text{m}^3$  comportano risentimenti polmonari;  $100 \text{ mg}/\text{m}^3$ , inalati per 1 minuto, provocano notevoli danni al tratto respiratorio; concentrazioni di  $300\text{-}400 \text{ mg}/\text{m}^3$  portano alla morte per fibrosi polmonare. I lavoratori più esposti ad alte concentrazioni di biossido di azoto sono gli addetti alla manipolazione dell'acido nitrico (industrie chimiche, galvaniche, orafe) e chi opera la saldatura ad arco elettrico.

### ***Effetti sull'ambiente***

L'inquinamento da biossido di azoto ha un impatto sulla vegetazione di minore entità rispetto al biossido di zolfo. In alcuni casi, brevi periodi di esposizione a basse concentrazioni possono incrementare i livelli di clorofilla; lunghi periodi causano invece la senescenza e la caduta delle foglie più giovani. Il meccanismo principale di aggressione comunque è costituito dall'acidificazione del suolo (vedi fenomeno delle piogge acide); gli inquinanti acidi causano un impoverimento del terreno per la perdita di ioni calcio, magnesio, sodio e potassio e conducono alla liberazione di ioni metallici tossici per le piante. Da notare che l'abbassamento del pH compromette anche molti processi microbici del terreno, fra cui la fissazione dell'azoto.

Gli ossidi di azoto e i loro derivati danneggiano anche edifici e monumenti, provocando un invecchiamento accelerato e, in molti casi, irreversibile.

## **SCHEDA 2: I fenomeni di smog e di smog fotochimico**

Iniziamo col fare una netta distinzione fra i fenomeni noti come **smog** e **smog fotochimico**. Questi, sebbene abbiano un nome simile e siano entrambi il risultato di fenomeni connessi all'inquinamento atmosferico, presentano origine ed effetti completamente differenti. La parola smog deriva da due termini anglosassoni *smoke* e *fog* rispettivamente: fumo e nebbia. L'origine dello **smog** propriamente detto risiede nella emissione di quantità ingenti in atmosfera di materiale particolato. L'origine naturale è attribuibile alla attività vulcanica, al vento, a fenomeni che coinvolgono i bacini d'acqua anche marini, agli incendi. La genesi antropica deriva dall'attività industriale, dai trasporti, in generale dai processi di combustione.

Emesse in atmosfera, le polveri sospese sono oggetto di trasformazioni chimiche e fisiche che ne altereranno anche le proprietà aerodinamiche. Ricordiamo l'importanza non solo della composizione, ma anche della distribuzione dimensionale delle polveri poiché da questa dipende, come già analizzato, non solo il tempo di permanenza in aria, ma anche gli effetti sul mondo animale e vegetale.

Lo **smog fotochimico** è un fenomeno completamente diverso dal precedente sebbene anch'esso richieda, ma non solo, l'immissione di contaminanti nell'aria. I contaminanti primari più significativi corrispondono agli ossidi di azoto ed agli idrocarburi, mentre il contaminante secondario più noto e di più semplice determinazione è l'ozono associato anche ad altre sostanze quali ad esempio il perossiacetilnitrato (PAN). Perché il fenomeno abbia luogo, oltre ai precursori citati è richiesta la presenza di radiazione solare di intensità opportunamente elevata e di condizioni meteorologiche favorevoli. Lo smog fotochimico può essere inquadrato, con una certa approssimazione, fra i fenomeni stagionali presentandosi, di norma, fra i mesi di aprile e settembre con un massimo fra luglio ed agosto. In tali periodi la radiazione solare raggiunge il massimo di intensità e giunge quasi perpendicolarmente alla superficie terrestre determinando il massimo irraggiamento per unità di superficie esposta. La radiazione solare è indispensabile così come una opportuna temperatura non inferiore ai 18 °C perché fornisce l'energia necessaria alle reazioni endotermiche coinvolte. Non ha senso, quindi, parlare di smog fotochimico in periodo invernale o in presenza di forte vento o di condizioni climatiche che non permettono il superamento dell'energia di attivazione delle reazioni coinvolte.

In condizioni di assenza di inquinanti, l'ozono ( $O_3$ ) è presente a livello troposferico in bassa concentrazione. L'origine dell'ozono a tali altezze dal suolo deriva sia dai processi diffusivi dello stesso dalla stratosfera, sia da sintesi diretta. Il biossido di azoto ( $NO_2$ ) per azione della luce ultravioletta di lunghezza d'onda di circa 400 nm origina, per via fotochimica, una molecola di monossido di azoto (NO) ed un atomo di ossigeno (O). Quest'ultimo, reagendo con una molecola di ossigeno ( $O_2$ ), origina ozono.

L'ozono però, sebbene continuamente sintetizzato, non aumenta di concentrazione perché reagisce rapidamente con una molecola di NO formando  $NO_2$  e ossigeno molecolare  $O_2$ , rimanendo, quindi, in equilibrio dinamico. Supponiamo ora che l'ultima reazione competa con un'altra capace anch'essa di riossidare il monossido a diossido. Il sistema risulterebbe squilibrato poiché verrebbe meno, anche se in parte, la reazione di rimozione dell'ozono. In tale situazione questo verrebbe solo prodotto, ma non consumato. Composti capaci di ossidare il monossido a diossido in modo molto efficiente sono i radicali ossidrilici ( $OH\cdot$ ), alchilossi ( $RO\cdot$ ) e perossido ( $ROO\cdot$ ) dove con R si indica un generico raggruppamento organico. Questi originano per via fotochimica dall'interazione fra radiazione luminosa, di idonea intensità e lunghezza d'onda, e composti organici volatili, acido nitroso, formaldeide, ecc., presenti nell'atmosfera come inquinanti.

Ovviamente il fenomeno, sebbene più frequente nelle aree urbane, può interessare anche zone suburbane anche distanti per l'effetto di trascinamento dell'aria inquinata

da parte dei venti. In tali zone il fenomeno è facilmente rilevabile dall'aumento della concentrazione di ozono e può perdurare più che in città, a causa della inferiore concentrazione di NO. La carenza di NO impedisce, specie di notte, a differenza di quello che avviene in città, il consumo dell'ozono prodotto.

Riepilogando: perché il fenomeno si instauri è necessario che contemporaneamente ci sia una intensa radiazione solare, che dovrebbe giungere perpendicolarmente al suolo, scarsità di vento e di precipitazioni, temperatura di almeno 18 °C e presenza di precursori, rappresentati dagli idrocarburi volatili.

## **7. OSSIDI DI ZOLFO (SO<sub>x</sub>)**

### ***Caratteristiche***

Normalmente gli ossidi di zolfo presenti in atmosfera sono l'anidride solforosa (SO<sub>2</sub>) e l'anidride solforica (SO<sub>3</sub>); questi composti vengono anche indicati con il termine comune SO<sub>x</sub>.

L'anidride solforosa o biossido di zolfo è un gas incolore, irritante, non infiammabile, molto solubile in acqua e dall'odore pungente. Dato che è più pesante dell'aria tende a stratificarsi nelle zone più basse. Rappresenta l'inquinante atmosferico per eccellenza essendo il più diffuso, uno dei più aggressivi e pericolosi e di gran lunga quello più studiato ed emesso in maggior quantità dalle sorgenti antropogeniche. Deriva dalla ossidazione dello zolfo nel corso dei processi di combustione delle sostanze che contengono questo elemento sia come impurezza (come i combustibili fossili) che come costituente fondamentale. Dall'ossidazione dell'anidride solforosa si origina l'anidride solforica o triossido di zolfo che reagendo con l'acqua, sia liquida che allo stato di vapore, origina rapidamente l'acido solforico, responsabile in gran parte del fenomeno delle piogge acide. Dato che la reazione di ossidazione che conduce alla formazione dell'anidride solforica è molto lenta, e data la reattività di questo composto con l'acqua, in genere la concentrazione del triossido di zolfo varia fra l'1 e il 5% della concentrazione del biossido di zolfo (che viene considerato l'inquinante di riferimento). L'SO<sub>2</sub> è un gas irritante, determina broncocostrizione con effetti più evidenti a carico di individui esposti che svolgono intenso esercizio fisico o in asmatici. Gli effetti, a causa della solubilità, risultano notevoli a livello del tratto respiratorio superiore e sembrano correlati alla ossidazione a zolfo triossido ed alla conversione di questo in acido solforico.

### ***Fonti inquinanti***

Le emissioni naturali di biossido di zolfo sono principalmente dovute all'attività vulcanica (circa 20 milioni di tonnellate l'anno). Le emissioni antropogeniche rappresentano più di 150 milioni di tonnellate all'anno e sono dovute principalmente ai processi di combustione dei combustibili fossili e liquidi (carbone, petrolio, gasolio); oltre il 90% del biossido di zolfo viene prodotto nell'emisfero Nord. La principale fonte antropogenica è riconducibile alla combustione specialmente del carbone che presenta un contenuto di zolfo variabile secondo il luogo di estrazione. Il carbon fossile ha un contenuto di zolfo che varia dallo 0,1 al 6%, il petrolio greggio dallo 0,05 al 4,5% mentre è quasi nullo nella benzina. Oltre il 90% dello zolfo presente nel combustibile viene trasformato in biossido di zolfo. Solo una parte dello zolfo contenuta nel carbone può essere separata con semplici ed economici procedimenti meccanici, l'altra richiederebbe trattamenti tali da non renderne più conveniente l'uso.

Fortunatamente l'uso del carbone a livello mondiale è in forte riduzione.

Rilevanti sono anche le emissioni nei processi di produzione dell'acido solforico, nella lavorazione di molte materie plastiche, nella desolforazione dei gas naturali, nell'arrostimento delle pirite, nell'incenerimento dei rifiuti; l'apporto inquinante dato dalle emissioni dei mezzi di trasporto appare invece trascurabile. L'emissione di biossido di zolfo in Italia è approssimativamente dovuta per il 5% al riscaldamento domestico, per il 40% ai processi industriali comprese le combustioni e per il 50% alla produzione di energia elettrica ad opera delle centrali termoelettriche; assieme le altre sorgenti contribuiscono per un valore pari al 5%. Da notare che i combustibili a basso tenore di zolfo non sono facilmente disponibili e i processi di desolforazione sono costosi. Solo una maggiore sensibilizzazione dell'opinione pubblica sul problema delle piogge acide negli ultimi anni sembra stia spingendo verso interventi nel settore.

Fra le sorgenti di SO<sub>2</sub> sempre antropogeniche sono rilevanti anche alcuni processi presso industrie dei metalli come alcuni trattamenti dei solfuri. L'abbattimento del SO<sub>2</sub> può avvenire anche per reazione con sostanze basiche come il calcio carbonato; si formano solfati e solfiti di calcio solidi più innocui da smaltire successivamente.

### **Diffusione**

La concentrazione di fondo è stata valutata attorno a  $0,2-0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre nelle aree urbane si possono raggiungere i  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; nelle grandi città industrializzate ed in via di sviluppo vengono spesso rilevati anche livelli di  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (dati dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, 1998). Il biossido di zolfo permane in atmosfera per 1-4 giorni subendo reazioni di trasformazione come l'ossidazione ad acido solforico che ricade in forma di nebbie o piogge acide.

A causa della grande reattività del biossido di zolfo, le concentrazioni negli ambienti interni sono generalmente molto basse. Inoltre nei mesi invernali, quando il livello di concentrazione all'esterno tende ad aumentare per effetto del maggior utilizzo del riscaldamento domestico, le abitazioni restano chiuse per il freddo e pertanto la concentrazione indoor risulta più contenuta. Nelle abitazioni sono, inoltre, presenti numerose sostanze ed oggetti che assorbono il biossido di zolfo (oggetti in pelle, coperte di lana) e contribuiscono a diminuire la concentrazione dell'inquinante. Una precauzione da osservare durante gli episodi acuti di smog è infatti quella di rimanere chiusi nelle abitazioni. Nel corso degli ultimi anni, a causa degli interventi che sono stati adottati per il miglioramento della qualità dei combustibili e per la diffusione della metanizzazione degli impianti di riscaldamento, l'emissione degli ossidi di zolfo nelle aree urbane dei Paesi Occidentali si è notevolmente ridotta.

### **Effetti sull'uomo**

Per l'elevata solubilità in acqua il biossido di zolfo viene facilmente assorbito dalle mucose del naso e del tratto superiore dell'apparato respiratorio; questo rappresenta una fortuna dato che solo quantità molto ridotte possono raggiungere gli alveoli polmonari. L'alta reattività lo rende un composto estremamente irritante. E' stato comunque notato un effetto sinergico con le polveri sospese per la capacità che queste hanno di veicolare gli inquinanti nelle zone più profonde dell'apparato respiratorio. A basse concentrazioni gli effetti del biossido di zolfo sono principalmente legati a patologie dell'apparato respiratorio come bronchiti, asma e tracheiti e ad irritazioni della pelle, degli occhi e delle mucose. Analisi epidemiologiche hanno evidenziato un aumento dei ricoveri ospedalieri, specie di anziani e bambini, a concentrazioni superiori a  $0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Il caratteristico odore pungente del biossido di zolfo viene percepito dal naso alla concentrazione di  $0,8-2,6 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Brevi esposizioni di 10' a concentrazioni di  $3 \text{ mg}/\text{m}^3$  provocano un aumento del ritmo respiratorio e del battito cardiaco; concentrazioni di  $25 \text{ mg}/\text{m}^3$  provocano irritazioni agli occhi, al naso ed alla gola, oltre ad un aumento della frequenza cardiaca. Concentrazioni maggiori di  $5 \text{ g}/\text{m}^3$  producono asfissia tossica con morte per collasso cardiocircolatorio.

### **Effetti sull'ambiente**

L'azione principale operata ai danni dell'ambiente da parte degli ossidi di zolfo consiste nell'acidificazione delle precipitazioni meteorologiche compromettendo l'equilibrio degli ecosistemi interessati. Gli effetti corrosivi dell'acido solforico si riscontrano anche sui materiali da costruzione, sui metalli e sulle vernici. L'acido solforico trasforma i carbonati insolubili dei monumenti e delle opere d'arte in solfati solubili, che vengono dilavati per azione della pioggia.

Il biossido di zolfo a basse concentrazioni provoca un rallentamento nella crescita delle piante, mentre ad alte concentrazioni ne provoca la morte alterandone la fisiologia. Quando il livello di anidride solforosa nell'aria diviene insostenibile, nelle foglie si accumulano i solfiti che ad alta concentrazione causano distruzione della clorofilla, collasso delle cellule con necrosi dei tessuti. L'effetto di una esposizione prolungata a concentrazioni di anidride solforosa incapaci di causare sintomi evidenti è più difficile da rilevare; consiste in una serie di alterazioni fisiologiche fra le quali la riduzione della crescita, della riproduzione e la senescenza anticipata. L'effetto sulle piante è

particolarmente accentuato quando l'anidride solforosa si trova in presenza di ozono (sinergismo).

### **Scheda 3: Le piogge acide**

L'immissione di inquinanti come NO<sub>x</sub> ed SO<sub>2</sub> porta ad una ricaduta sulla superficie terrestre di sostanze acide, in particolare l'acido nitrico e solforico, dannosi sia per effetto diretto sugli organismi viventi, vegetali in modo particolare, che indiretto a causa della loro azione a livello del suolo. Tali sostanze penetrano negli stomi delle piante alterando più o meno significativamente la funzionalità dei cloroplasti, indispensabili per la fotosintesi e quindi per la vita del vegetale. Gli acidi giunti al suolo vengono rilasciati sulla superficie terrestre o sugli specchi d'acqua con l'effetto di aumentare l'acidità locale. Tale fenomeno porta, da un lato, al deterioramento dei vari manufatti umani, edilizi ed artistici pubblici e privati, dall'altro alla solubilizzazione di alcuni metalli presenti nel suolo che vengono in tal modo asportati. Tale situazione favorisce il fenomeno della desertificazione.

La composizione del terreno determina la resistenza al fenomeno che interessa anche le acque. In un bacino idrico la presenza di cationi basici (specie chimiche cariche positivamente le cui soluzioni hanno un pH maggiore di 7) permette al sistema di neutralizzare l'acidità indotta dalle piogge acide. Tale capacità, peraltro limitata, è definita quale potere o capacità tampone del sistema. Ovviamente quando il potere tampone viene superato, il pH dell'acqua inizia ad abbassarsi e, a determinati valori, iniziano a solubilizzarsi cationi, come l'alluminio, che possono raggiungere concentrazioni tali da interferire con le forme di vita animali e vegetali. Le forme di vita più sensibili al fenomeno sono quelle più semplici: microrganismi e plancton. Alla loro scomparsa si collega una maggiore trasparenza dell'acqua non collegata allo stato di salute del sistema.

Sulle piante gli effetti possono tradursi in danni di varia entità legati al tempo di esposizione ed alla concentrazione degli agenti acidi. I sintomi più evidenti riguardano le foglie che possono presentare punteggiature specialmente sulla pagina superiore, sbiancamento, alterazioni nel contenuto in clorofilla (clorosi), fenomeni di necrosi per distruzione del tessuto fra epidermide superiore ed inferiore.

Anche i manufatti come i monumenti, specie se di natura calcarea, risultano interessati dal fenomeno. Spesso al deterioramento per piogge acide si accompagna anche l'annerimento per deposizione di particolato. Inoltre, la presenza di inquinanti, specialmente se fortemente ossidanti, può determinare alterazioni dei dipinti, di vernici e di rivestimenti.

Combustibili capaci di emettere, in seguito a combustione, elevate quantità di precursori sono il carbone e la nafta poco raffinata prodotti questi che, almeno in Italia, non vengono più massivamente utilizzati. Ricordiamo che la normativa vigente fissa un tenore massimo di zolfo perché il prodotto possa essere commercializzato.

## **8. ASBESTO (amianto)**

### ***Caratteristiche***

Asbesto, o amianto, è il nome dato ad una famiglia di minerali fibrosi (silicati) che si possono trovare naturalmente nell'ambiente: il Crisotilo [ $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ] (anche detto amianto bianco), appartenente alla serie mineralogica del serpentino; e gli anfiboli Crocidolite (amianto blu), Amosite (amianto bruno, ricco di ferro), Antofillite, Actinolite e Tremolite. Solo due tipi sono commercializzati: la Crocidolite o asbesto blu e la Amosite, ricca di ferro. Altri metalli quali cromo, nickel, cobalto possono essere presenti in tracce.

Il Crisotilo è composto da un foglio di infinite unità di silice ( $Si_2O_5$ )<sub>n</sub>; la presenza dell'idrossido di magnesio definisce la curvatura del foglietto tanto da determinarne una geometria cilindrica che ricorda quella di un tappeto avvolto.

L'asbesto ha trovato molteplici applicazioni in quanto presenta ottime proprietà isolanti acustiche e termiche, rientra nella composizione degli elementi frenanti dei veicoli e si è rivelato un ottimo materiale ignifugo. Lo si può ritrovare anche nei sistemi filtranti.

I minerali appartenenti alla famiglia dell'asbesto non hanno alcun odore o sapore chiaramente individuabili, sono molto resistenti al calore ed alla maggior parte delle sostanze chimiche e sono facilmente lavorabili. Comodamente reperibili, venivano ricavati per lo più da miniere a cielo aperto in seguito alla macinazione della roccia madre e successivo arricchimento. Per le loro proprietà dovute essenzialmente alla struttura fibrosa, per la facile reperibilità e per il basso costo sono stati utilizzati in un'ampia gamma di prodotti ed in varie attività industriali; l'asbesto veniva utilizzato puro o più solitamente miscelato ad altri materiali in percentuali diverse, per sfruttarne meglio le caratteristiche chimico-fisiche e per produrre una quantità innumerevole di prodotti. Purtroppo tutti questi beni hanno dimostrato nel tempo una deperibilità più o meno alta, ed il loro deterioramento provoca il rilascio nell'ambiente di una quantità di fibre direttamente proporzionale alla loro friabilità. L'amianto friabile è in grado di disgregarsi alla semplice pressione delle dita e si è dimostrato estremamente pericoloso, mentre l'amianto compattato (miscelato a cemento o a sostanze che ne garantiscano una notevole durezza) è pericoloso nel caso in cui sia stato deteriorato da eventi meteorologici o da interventi più o meno accidentali. Le fibre minerali rilasciate da questi materiali risultano potenzialmente inalabili e, una volta nei polmoni, possono provocare dei danni estremamente gravi come l'asbestosi e il mesotelioma. Per tutti questi motivi fin dal 1994 l'amianto è stato abbandonato e ne è vietata per legge l'estrazione, la lavorazione ed il commercio. Quindi, ad oggi, la pericolosità dell'asbesto è dovuta essenzialmente alla presenza di quella sterminata serie di prodotti ancora in circolazione che lo contengono in quantità variabile e che lentamente vengono smaltiti in aree appositamente predisposte.

### ***Fonti inquinanti***

L'inquinamento dovuto all'asbesto è direttamente relazionato all'ampio uso che ne è stato fatto in passato. L'amianto è stato infatti utilizzato per produrre una grande varietà di prodotti che, nel tempo, si sono dimostrati delle fonti di inquinamento particolarmente insidiose a causa della loro diffusione e della loro deperibilità. Dalla tessitura delle fibre minerali si ottenevano corde, guaine, nastri e tessuti; con la pressatura si realizzavano carta, cartoni e filtri; l'amianto miscelato a particolari sostanze chimiche veniva spesso utilizzato come isolante termico ed acustico. Dall'asbesto impastato con resine sintetiche si ottenevano anche i ferodi, guarnizioni ad alto coefficiente di attrito per freni e frizioni degli autoveicoli. Miscelato con il cemento costituiva l'eternit, un materiale leggero ed estremamente resistente, ampiamente utilizzato nella produzione di tubi, tegole, canne fumarie, serbatoi e vari tipi di lastre piane o ondulate utilizzate come copertura o come pareti divisorie.



L'amianto è stato impiegato anche come componente di forni, stufe, phon, teli da stiro, guanti da forno, tende, tappezzerie, materiali da imballaggio, adesivi e collanti, coperte, grembiuli, giacche, pantaloni e stivali; in alcuni casi si è anche utilizzato in polvere come sabbia per i parco-giochi dei bambini. A tutt'oggi le persone più a rischio sono proprio quelle che più hanno a che fare con questi materiali a causa del deterioramento che provoca il rilascio nell'aria delle fibre minerali. Nell'ambito lavorativo le maggiori precauzioni dovrebbero essere adottate dai muratori, dai demolitori, dai carpentieri, dai solaisti, dagli elettricisti, dagli idraulici e dai meccanici. Una certa esposizione accidentale può anche avvenire in ambito minerario: pur essendone vietata l'estrazione, è possibile che l'amianto sia presente in quantità più o meno rilevanti come contaminante. In effetti, ad esempio, accade spesso che vi sia della tremolite nelle miniere di vermicolite o di talco. Al contrario, risulta di importanza relativamente minore (almeno in Italia) l'esposizione alle fibre minerali dell'asbesto liberate dalla degradazione naturale delle rocce che affiorano dal sottosuolo.

### ***Diffusione***

Le fibre di asbesto presenti nell'aria delle aree abitate derivano principalmente dal deterioramento dei prodotti di origine antropogenica ed in parte dallo sgretolamento dei depositi naturali. Queste fibre estremamente resistenti non vengono degradate da altri composti presenti nell'atmosfera. Pertanto vi possono permanere per decenni. Le fibre e le particelle più piccole sono quelle più pericolose: una volta sospese nell'aria possono essere trasportate dal vento per lunghe distanze prima di depositarsi. Praticamente ogni campione di aria contiene una certa quantità di asbesto, solitamente a concentrazioni che si presume non siano particolarmente pericolose per la salute. Definendo fibre quelle particelle di asbesto che presentano una lunghezza di almeno 5 micrometri e un rapporto lunghezza:larghezza superiore o uguale a 3:1, si può stimare che la concentrazione ambientale di queste fibre minerali varia solitamente da 0,001 a 0,1 fibre per litro (fibre/L). Livelli di esposizione più elevati si possono riscontrare nelle città, dove la concentrazione può raggiungere anche 2-300 fibre per metro cubo (1 m<sup>3</sup> di aria corrisponde a 1000 litri ed equivale all'incirca alla quantità di aria che ognuno di noi inspira in un'ora). Nei pressi delle miniere di asbesto o delle industrie che utilizzavano questo materiale si potevano riscontrare concentrazioni dell'ordine delle 2000 fibre/m<sup>3</sup>. Al giorno d'oggi dei valori notevolmente elevati possono essere individuati solamente all'interno o nei pressi degli edifici che contengono prodotti a base di asbesto e che sono stati ristrutturati o abbattuti oppure vicino alle discariche dove l'asbesto non è stato coperto o immagazzinato in modo appropriato. Negli ambienti di lavoro dove viene manipolato l'amianto friabile o dove vengono smontati i freni delle auto si possono raggiungere delle concentrazioni di fibre pari a 2 mila per litro. (N.B. il livello d'azione per legge è di 10 fibre per litro). Si può essere esposti all'asbesto anche bevendo dell'acqua contaminata. La concentrazione delle fibre può raggiungere dei valori di concentrazione estremamente elevati, anche di alcuni milioni per litro. C'è da dire, comunque, che vi sono ancora molte perplessità sulla potenziale pericolosità dell'amianto all'interno del sistema digerente: pur essendo chiaramente dimostrato che l'asbesto provoca dei danni devastanti se inalato, vari ricercatori non lo considerano particolarmente pericoloso se ingerito.

### ***Effetti sull'uomo***

La presenza delle fibre di asbesto nell'ambiente comporta inevitabilmente dei danni a carico della salute. L'esposizione può avvenire essenzialmente per ingestione o per inalazione, anche se una quantità ridottissima di fibre può penetrare nel corpo anche per contatto cutaneo. Le fibre ingerite vengono quasi tutte eliminate nel giro di pochi giorni nelle feci, alcune possono però penetrare nelle cellule dell'apparato gastro-intestinale ed altre possono finire addirittura nel sangue. Una certa quantità di fibre può rimanere intrappolata nei vari tessuti con cui vengono a contatto, mentre altre

sono eliminate con le urine. Gli effetti sulla salute dovuti all'ingestione di fibre di asbesto non sono ancora perfettamente chiari, anche se delle ricerche in merito dimostrano che alcuni gruppi di persone esposte alle fibre per assunzione di acqua potabile contaminata presentano una media di morti per tumore all'esofago, allo stomaco e all'intestino maggiori della media riscontrata nella popolazione.

I pericoli maggiori sono comunque dovuti alla presenza delle fibre nell'aria. Una volta inalate, le fibre si possono depositare all'interno delle vie aeree e sulle cellule polmonari. La maggior parte delle fibre viene rimossa dai polmoni nel giro di poche ore venendo eliminata con la tosse e dilavata dal muco prodotto nell'apparato respiratorio che la trasporta fino in gola e quindi nello stomaco. Le fibre che si sono depositate nelle parti più profonde del polmone vengono rimosse più lentamente; alcune fibre possono rimanere nei polmoni per diversi anni, altre per tutta la vita. La presenza di queste fibre estranee all'interno dei polmoni può comportare l'insorgenza di malattie come l'asbestosi ed il mesotelioma.

Il mesotelioma è un tipo di tumore che si sviluppa a carico della membrana che riveste i polmoni e gli altri organi interni. La sua casistica è fortemente relazionata alla presenza di asbesto aerodisperso e la sua comparsa avviene anche a distanza di 30 anni dall'esposizione. Ogni anno ve ne sono circa un migliaio di casi solo in Italia.

La correlazione asbesto-mesotelioma è ormai universalmente accertata. Sono interessati in modo particolare gli addetti alla produzione, alla manipolazione e coloro che risiedono nelle zone limitrofe ai luoghi di manifattura.

Sebbene le fibre di asbesto possono essere rilevate in tracce nella atmosfera urbana, non c'è a tutto oggi evidente correlazione fra queste e l'incidenza di mesotelioma nella popolazione.

Come il mesotelioma, anche il cancro polmonare compare solitamente a molti anni di distanza dall'inizio dell'esposizione e può insorgere anche per esposizione a bassi livelli di asbesto.

L'asbestosi è una malattia che colpisce prevalentemente le persone che sono state esposte nei luoghi di lavoro ad alte concentrazioni di fibre aerodisperse. In genere compare dopo 10-15 anni dall'inizio del periodo di esposizione e consiste in una lenta crescita di tessuto fibroso nei polmoni e nella membrana che circonda i polmoni. Questo tessuto rende difficoltosa la respirazione dato che non si espande e non si contrae come il normale tessuto polmonare. Anche il flusso di sangue ai polmoni può diminuire e questo provoca un ingrossamento del cuore. Il respiro diviene corto ed è spesso accompagnato da tosse. La malattia è incurabile e può condurre alla morte.

Per quanto riguarda la diversa pericolosità dei vari tipi di amianto sembra che gli anfiboli (tremolite, amosite e specialmente crocidolite) siano più pericolosi del crisotile. Molte ricerche indicano che le fibre lunghe (più grandi di 5 micrometri) sono le maggiori imputate nel causare danno rispetto a quelle più corte (meno di 2,5 micrometri). In genere, le fibre più piccole sono associate con il mesotelioma, mentre quelle più grandi sono associate con il cancro ai polmoni.

## **9. IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA)**

### ***Caratteristiche***

La classe è estremamente eterogenea e ricca di composti alcuni dei quali risultano noti da tempo per le proprietà cancerogene, come il benzo(a)pirene. La sigla utilizzata per indicarli è IPA.

Gli IPA sono una classe di inquinanti atmosferici a struttura piana contenenti due o più anelli aromatici condensati. Dal punto di vista strutturale sono molecole molto stabili e relativamente poco volatili, condensano facilmente e si ritrovano spesso adsorbite sul particolato. Nell'aria esterna urbana si riscontra una concentrazione di IPA equivalente ad alcuni nanogrammi per metro cubo; tale concentrazione può raggiungere livelli dieci volte superiori negli ambienti molto inquinati.

In natura sono emessi da sorgenti come alghe, microrganismi, piante ed incendi.

### **Fonti di emissione**

Gli IPA si formano in seguito alla combustione incompleta di materiale organico. Le sorgenti di immissione sono numerose: scarichi di veicoli a motore, catrame, fumo delle sigarette, alimenti affumicati o cucinati alla griglia, fumo esalato dalla combustione del legno o del carbone. In ambienti chiusi la presenza di IPA è dovuta essenzialmente al fumo di tabacco ed alla combustione del legno o del carbone.

Gli IPA immessi in atmosfera hanno un destino diverso a seconda delle loro dimensioni e della loro tensione di vapore: quelli fino a quattro anelli, in genere rimangono in forma gassosa; dopo aver stazionato meno di 24 ore nell'aria esterna, di solito vengono degradati attraverso una sequenza di reazioni. Gli IPA con cinque o più anelli benzenici vengono rapidamente adsorbiti sulle particelle di particolato atmosferico. Anche gli IPA con due-quattro anelli aderiscono a tali particelle nel periodo invernale. Poiché molte particelle di fuliggine hanno dimensioni tali da essere respirate, gli IPA possono raggiungere i polmoni.

Per gli inceneritori la presenza di abbattitori di polveri ha permesso l'abbattimento delle ceneri volatili e con queste l'emissione di benzopirene.

Gli idrocarburi policiclici aromatici rappresentano anche importanti inquinanti delle acque; inquinano l'ambiente acquatico in seguito alla fuoriuscita di petrolio dalle petroliere, da raffinerie e dai punti di trivellazione del petrolio in mare aperto. Nell'acqua potabile, il livello rappresentativo degli IPA ammonta a pochi nanogrammi per litro tanto da essere considerato una fonte trascurabile di tali composti per l'uomo. I gas e il particolato emessi dagli scarichi degli autoveicoli a motore diesel, contengono non solo IPA, ma anche composti derivati che presentano come sostituito il nitrogruppo e che risultano ancora più cancerogeni degli IPA corrispondenti; tra questi i più importanti in virtù delle loro proprietà mutagene sono le molecole di nitropirene e di dinitropirene.

Per gli impianti di produzione di calore domestici le emissioni sono correlate al tipo di combustibile utilizzato ed alla efficienza dell'impianto di combustione. Le emissioni rilevate utilizzando carbone hanno evidenziato ampia presenza di pirene e di benzo(a)pirene, in quelle dove si utilizza combustibile liquido la quantità di polinucleati è nettamente inferiore, anche se risulta presente il pirene.

### **Effetti sull'uomo**

Alcuni IPA sono sospettati di essere agenti cancerogeni. Tra tutti, il benzo[a]pirene (BaP) è considerato il più pericoloso per la salute umana.

Esso è ritenuto responsabile del cancro polmonare. L'OMS stima che l'esposizione per tutta la vita (0-75 anni) ad una concentrazione di un nanogrammo per metro cubo di BaP provochi 1 caso aggiuntivo di cancro polmonare ogni centomila individui esposti.

Un altro IPA di cui si conosce il potere cancerogeno è il benzo[a]antracene.

Prolungate esposizioni negli ambienti lavorativi a livelli molto alti di catrame del carbone, la cui principale componente tossica è il BaP, comporta l'insorgenza del cancro nell'uomo. Coloro che lavorano negli impianti con forni da carbone coke e produzione di gas manifestano un'aumentata frequenza del cancro ai reni e ai polmoni dovuta agli IPA sprigionati. Nella popolazione non professionalmente esposta, le prove di un incremento del cancro derivante da un'esposizione a tali sostanze in concentrazione nettamente inferiore rispetto a quella degli ambienti di lavoro, non è accertata. La causa principale del cancro al polmone è l'inalazione del fumo di sigaretta che contiene molti altri composti cancerogeni oltre gli IPA.

Recentemente molti ricercatori hanno stabilito una connessione fra inquinamento atmosferico da particolati e allergie; si è notato, infatti, come l'esposizione alle esalazioni dei motori diesel e ad altri particolati aerogeni incrementi la sensibilizzazione e le reazioni allergiche al polline e alle polveri domestiche.

L'alimentazione, più che l'inquinamento dell'aria e dell'acqua, è considerata la via d'esposizione principale agli IPA: gli alimenti affumicati o cucinati alla griglia contengono livelli molto elevati di IPA, così come i vegetali a foglia larga, come la lattuga e gli spinaci, sui quali gli IPA trasportati dall'aria si depositano.

## **10. IDROCARBURI ALOGENATI E DIOSSINE**

### **Caratteristiche**

Alcuni idrocarburi alogenati trovano impiego quali insetticidi, erbicidi e fungicidi in agricoltura, pertanto è inevitabile che rientrino nella catena alimentare tanto che le quantità assorbite per inalazione dall'atmosfera, di norma, sono di due ordini di grandezza inferiori di quelle introdotte tramite dieta. Nonostante ciò il fatto che l'uso preveda la formazione di aerosol, che siano uniformemente distribuiti nella troposfera e che in seguito a piogge ci sia una notevole ricaduta sulla superficie terrestre, fa sì che siano inclusi fra i contaminanti atmosferici. Presentano generalmente una lunga emivita.

Il più noto fra gli idrocarburi alogenati è il DDT per il quale si è in possesso di molte informazioni relative alla tossicità. Il DDT si accumula nei tessuti degli insetti e degli animali provocando convulsioni, degenerazione della muscolatura cardiaca ed alterazione della funzione renale.

Dalla sintesi del cloro con idrocarburi derivati dal petrolio si originano una moltitudine di composti che, già dagli anni '30-'40, costituiscono una produzione industriale imponente di solventi, pesticidi, disinfettanti, materie plastiche ed affini.

Questi composti clorurati, sia durante il processo produttivo che in seguito a combustione, liberano alcuni sottoprodotti indesiderati, tra i quali le diossine. Diossina è il nome comune usato per indicare dibenzo-p-diossine e dibenzofurani. Si tratta di sostanze caratterizzate da una distribuzione pressoché ubiquitaria come contaminanti ambientali persistenti, formate da idrocarburi aromatici legati ad atomi di cloro più o meno numerosi (figura 1).

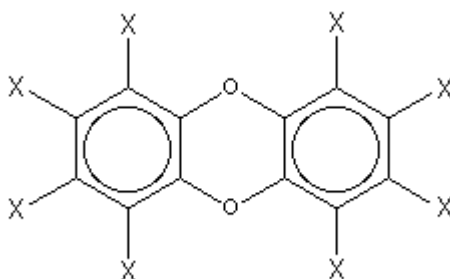


Fig. 1 Formula di struttura delle diossine.

Nella terminologia corrente il termine diossina è spesso usato come sinonimo di TCDD o 2,3,7,8-tetracloro-dibenzo-p-diossina (figura 2):

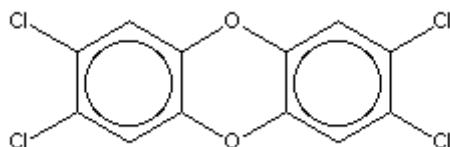


Fig. 2 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina.

in realtà si conoscono 210 tipi diversi tra diossine e furani, strettamente correlati per caratteristiche e tossicità.

Diciassette di queste molecole sono considerate estremamente tossiche per l'uomo e gli animali.

Attualmente, con il termine "diossina", si intende l'intero gruppo, la cui tossicità come composto viene espressa in riferimento alla tossicità della 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-diossina, la più tossica, in I-TEQ (International Toxicity Equivalents). Altre sostanze possiedono caratteristiche di tossicità sovrapponibili a quelle delle diossine, come i PCB (bifenili policlorurati, figura 3)

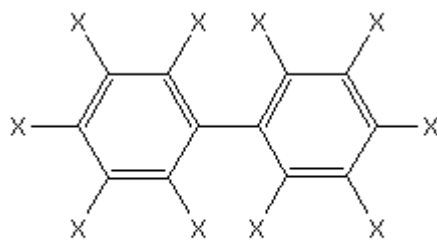


Fig. 3 Formula di struttura dei bifenili policlorurati (PCB) in cui X può essere H o Cl.

e i PCP (policlorofenoli), sia a causa del loro contenuto di diossine come impurità, sia per la struttura chimica molto simile: tuttavia, a differenza dei furani, essi vengono considerati separatamente dal punto di vista tossicologico.

La TCDD allo stato cristallino è una sostanza solida inodore, di colore bianco, con punto di fusione di 307°C, termostabile fino a 800°C, liposolubile, resistente ad acidi ed alcali. È chimicamente degradabile in pochi giorni dalla radiazione solare ultravioletta in presenza di donatori di ioni idrogeno (ad esempio a contatto con il fogliame verde delle piante): se invece viene dilavata nel terreno, si lega al materiale organico ivi presente e viene degradata molto lentamente.

Le diossine vengono generate come sottoprodotti non voluti di numerosi processi di riproduzione, utilizzazione e smaltimento del cloro e dei suoi derivati. Le emissioni industriali di diossine possono essere trasportate per grandi distanze dalle correnti atmosferiche, e, in misura minore, dai fiumi e dalle correnti marine. Questa è la ragione della presenza di diossine in tutto il mondo. Anche se la loro produzione cessasse, i livelli già presenti nell'ambiente impiegherebbero anni prima di diminuire. Le diossine, infatti, sono sostanze persistenti, per la cui degradazione sono necessari decenni o secoli, e che possono essere riciclate continuamente in diversi comparti ambientali.

Le diossine ed i dibenzofurani si formano come sottoprodotti indesiderati nella preparazione industriale di erbicidi clorofenossilici o di composti intermedi di sintesi di disinfettanti. Questi processi avvengono in condizioni potenzialmente favorevoli alla formazione di TCDD.

### **Fonti di diossina**

Le diossine di per sé non rivestono alcuna utilità pratica, e non sono mai state un prodotto industriale. Sono tuttavia reperibili pressoché ovunque nell'ambiente: possono essere isolate nel tessuto adiposo di un animale dell'Antartide come nel terriccio di una foresta. Ciò è dovuto alla elevata stabilità chimica e all'uso indiscriminato fatto nel recente passato di elevatissime quantità di prodotti chimici contaminati. In pochi decenni, centinaia di migliaia di tonnellate di PCB (bifenili policlorurati) e PCP (pentaclorofenoli), contaminate da quantità variabili di diossine, sono state impiegate nell'industria (i bifenili come oli isolanti e termoconduttori nell'industria elettrica ed elettronica, i clorofenoli come additivi antimuffa nelle vernici e come impregnanti per il legno) e di conseguenza disperse in ambiente.

Il problema della presenza delle diossine nell'ambiente è molto più complesso di quello che potrebbe sembrare ad un primo esame. Due dati sono particolarmente significativi:

1) alcuni Autori sostengono che, sommando tutte le fonti conosciute di diossine, si riesca a giustificare non più del 10% della quantità totale stimata presente in ambiente;

2) le diossine possono essere rinvenute anche in strati geologici risalenti ad epoche preindustriali, anche se in minime quantità. E' probabile quindi che una parte della diossina rinvenibile in ambiente possa avere avuto origine da fonti non ancora chiaramente individuate, sia di origine antropogenica che naturale. In effetti è stato dimostrato che le diossine si possono formare in molti processi di combustione con presenza molto bassa, anche se non nulla, di precursori clorurati (motori a combustione interna di auto, navi ed aerei, stufe e caminetti domestici, incendi forestali).

Anche la fermentazione anaerobica da parte di alcuni microorganismi naturalmente presenti nell'humus sembra portare alla sintesi di quantità non trascurabili di diossine. E' comunque da sottolineare che la discussione scientifica sull'argomento dell'origine naturale delle diossine è vivissima ed ancora molto aperta. Comunque sia, l'incuria e la superficialità dell'uomo sono le sole cause della elevata concentrazione di diossina riscontrabile nelle vicinanze di inceneritori tecnicamente obsoleti o mal funzionanti, come pure in corrispondenza di complessi industriali che non abbiano adottato severi mezzi di prevenzione e di trattamento dei reflui (inceneritori, cartiere, fonderie, raffinerie, impianti per la sintesi di materie plastiche). E' un dato di fatto che l'andamento della concentrazione di diossine nei sedimenti lacustri e marini è temporalmente e quantitativamente correlato con la diffusione di composti clorurati industriali nell' ambiente, piuttosto che l'utilizzo generalizzato del carbone come combustibile. Di conseguenza, pur essendovi delle concause, è l'uso indiscriminato dei prodotti di sintesi che ha contaminato l'intero pianeta con le diossine.

Attualmente, bandito l'utilizzo dei più pericolosi organoclorurati dai processi industriali e dalle tecniche agronomiche, la fonte accertata maggiormente significativa di diossine consiste nei processi inefficienti di combustione, specialmente in presenza di elevate quantità di sostanze clorurate (basti pensare all'incenerimento dei rifiuti solidi urbani e dei rifiuti ospedalieri, caratterizzati dall'elevatissima percentuale di imballi e prodotti usa-e-getta in gran parte realizzati in PVC (Polivinile Cloruro). Gli impianti destinati alla termodistruzione di questi rifiuti lavorano spesso in condizioni tecniche inadeguate per carenze di progetto o di manutenzione. E' stato dimostrato come l'emissione di diossina da parte di un inceneritore possa dipendere in gran parte da inadeguati parametri di funzionamento e solo in seconda battuta dalla concentrazione di cloro nei materiali combustibili.

### ***Effetti sull'uomo***

L'esposizione dell'uomo alle diossine ha luogo quasi esclusivamente attraverso l'assunzione di cibo, soprattutto carne, pesce e latticini. In casi di esposizione di soggetti a concentrazioni particolarmente elevate di diossine (ad esempio per esposizione accidentale o sul lavoro), si è potuto constatare la capacità di questi composti di ridurre la fertilità, le capacità di sviluppo e quelle di immunodifesa oltre che l'insorgenza di tumori. I risultati di recenti studi dimostrano che le concentrazioni di diossine nei tessuti umani della popolazione generale (dei paesi industrializzati) hanno già raggiunto o quasi livelli ai quali si possono verificare effetti negativi sulla salute.

Tra le diossine, la TCDD è la molecola dotata di più spiccata tossicità, esplicando una ampia gamma di effetti specie- e tessuto-specifici come, ad esempio, induzione a trasformazione neoplastica; tossicità a carico del sistema immunitario, del fegato, della pelle; azione mutagena ed embriotossica, nonché un evidente potere di induzione a carico delle monossigenasi epatiche.

Le conoscenze più recenti sul meccanismo d'azione della diossina hanno chiarito il ruolo di "perturbatore ormonale" di questa sostanza, con tutte le gravissime implicazioni che ne conseguono.

Nei paesi industrializzati, i livelli di diossina presenti nel latte umano fanno spesso sì che i lattanti assumano quantità di diossina di gran lunga superiori alla TDI proposta dall'OMS. Questo fenomeno è ancor più preoccupante se si considera che le stime dei rischi alla salute dovuti alle diossine non tengono conto di altre sostanze chimiche, quali i bifenili policlorurati (PCB), alle quali siamo esposti. La presenza contemporanea di questi composti in un organismo può indurre effetti cumulativi o addirittura sinergici rispetto a quelli indotti dai singoli inquinanti.

La diossina è cancerogena per l'uomo e per gli animali. L'EPA ha stimato che l'attuale esposizione di fondo della popolazione generale alle diossine determina un rischio di contrarre tumore variabile da 1/1.000 a 1/10.000 cittadini.

## PARTE TERZA

### **L'ARIA NEI CENTRI URBANI DELLA PUGLIA**





## 1. LE MODIFICAZIONI DEL CLIMA NEI CENTRI URBANI

Le città moderne, a causa del modo in cui sono pensate, costruite e vissute, esercitano forti pressioni sull'ambiente, modificando localmente le caratteristiche atmosferiche e climatiche. Queste alterazioni degli equilibri naturali inevitabilmente si riflettono, in una sequenza di cause ed effetti, sulle condizioni di vita degli abitanti delle stesse città.

Innalzamento delle temperature e piogge intense, ma di breve durata, sono fenomeni familiari a chi vive in città e che, come ogni fenomeno fisico in natura, hanno cause precise e possibili soluzioni.

### 1.1 L'isola di calore

Sulle grandi aree urbane ristagna in permanenza una cappa di aria calda, alta 200-300 metri, che prende il nome di **"isola di calore"**.

L'isola di calore ha origine principalmente dai materiali utilizzati nella costruzione delle città: asfalto, calcestruzzo, mattoni e cemento assorbono in media il 10% in più di energia solare rispetto alla protezione vegetale della campagna. Il surplus di energia immagazzinato dagli edifici e dalle strade viene poi riemesso per irraggiamento, ovvero sotto forma di radiazione infrarossa, con conseguente surriscaldamento dell'aria che sovrasta la città.

All'isola di calore dà un rilevante contributo anche l'assetto geometrico delle metropoli, con strade paragonabili a canyon, ovvero corridoi relativamente stretti rispetto all'altezza degli edifici. L'energia infrarossa irraggiata nell'ambiente dalle superfici che delimitano il corridoio stradale, anziché disperdersi liberamente nello spazio, viene in gran parte catturata e successivamente riflessa più volte da parte degli edifici che si fronteggiano. È soprattutto a causa di tale fenomeno, noto appunto come "effetto canyon", che l'isola di calore si conserva anche nelle ore notturne, quando il raffreddamento dell'aria che ristagna entro i canyon è molto più lento che nelle adiacenti campagne.

Al surriscaldamento del clima urbano, inoltre, dà un apporto sostanzioso anche la continua immissione nell'atmosfera del calore artificiale generato in gran parte dalla combustione di idrocarburi per riscaldamento, trasporti e usi industriali e, in misura minore, dai processi metabolici degli abitanti.

Il fenomeno dell'isola di calore è meno evidente nelle aree più vecchie delle città sia perché gli edifici antichi sono di solito poco alti, e quindi risentono meno dell'effetto canyon, sia perché i loro spessi muri perimetrali rallentano la penetrazione del calore dall'esterno verso l'interno, mentre il largo impiego di pietra, mattoni e calce - materiali ad elevata capacità termica - fa sì che gli stessi divengano ottimi accumulatori di calore nelle ore più calde.

### 1.2 Le piogge in città

Nell'ambiente urbano le reazioni chimiche degli inquinanti con il vapore acqueo generano, anche con l'aiuto dei raggi solari, microscopiche particelle di acido solforico, acido nitrico e relativi sali, nitrati e solfati. Tali sostanze sono fortemente igroscopiche (attirano cioè l'acqua), cosicché fungono da nuclei di condensazione, intorno ai quali tendono ad aggregarsi miliardi di molecole di vapore acqueo, dando luogo alle microscopiche goccioline delle nubi. Al di sopra delle città la formazione delle nubi avviene dunque più facilmente che altrove e questo è il motivo per cui sulle aree urbane piove di più che nelle vicine zone di campagna. L'intensità delle piogge è influenzata anche dall'isola di calore: il surriscaldamento dell'atmosfera urbana,



infatti, rende più intensi i moti ascensionali di tipo convettivo, i quali sono la causa primaria, nelle ore pomeridiane della stagione calda, della formazione di nuvole cumuliformi temporalesche. Ma più la velocità ascensionale è elevata, tanto maggiore è la quantità di vapore acqueo condensata nell'unità di tempo e, di conseguenza, anche la probabilità di piogge di forte intensità. Negli anni recenti la percentuale di giorni con piogge violente nelle grandi città è cresciuta nonostante in tutta Italia, soprattutto in estate, sia diminuito il numero di episodi piovosi.

Anche la composizione chimica delle precipitazioni viene modificata dalle città. Infatti, le gocce di pioggia che cadono sugli agglomerati urbani sono a forte contenuto acido, perché trascinano al suolo i nuclei di condensazione in esse inglobati, i quali, in ambiente urbano, sono in prevalenza di natura acida. Inoltre, durante la caduta, le gocce di pioggia catturano altri nuclei, accrescendo ulteriormente il proprio contenuto acido. L'effetto più evidente e noto delle piogge acide in una città è la corrosione degli edifici, visibile in particolare sui monumenti.

### **1.3 Il ruolo delle aree verdi**

Ogni politica che si prefigga l'obiettivo di rendere più vivibili le città deve contemplare interventi che da una parte mitigano l'isola di calore e dall'altra riducano le concentrazioni degli inquinanti. Per limitare la produzione di calore artificiale occorrerebbe ridurre gli sprechi di calore da abitazioni civili e da trasporto, riciclare il calore in eccesso prodotto dagli impianti industriali e contenere l'espansione delle dimensioni della città. Ma i migliori risultati potrebbero essere ottenuti attraverso una riduzione dell'energia solare catturata dall'area urbana, con politiche mirate, ad esempio, ad arricchire le città di aree verdi e specchi d'acqua che possono fare diminuire la temperatura anche in maniera notevole (basti pensare che ai bordi dei parchi cittadini si riscontrano differenze di 2-3 °C in soli 200-300 metri).

In particolare è essenziale l'effetto refrigerante degli alberi, i quali raffreddano l'ambiente non solo mediante la traspirazione delle foglie, ma anche attraverso l'ombra proiettata al suolo.

Ripensare le città, dotarle tra l'altro di una viabilità più sostenibile e di una copertura vegetazionale ampia, è una priorità nella tutela della salute pubblica ed uno degli strumenti più efficaci nella gestione dell'ambiente, che richiede, però, scelte radicali da parte delle amministrazioni e mutamenti nelle abitudini dei cittadini, abituati ad un modello di città che, come visto, ha impatti sull'ambiente e costi sociali troppo elevati.



## 2. LO STATO DEL MONITORAGGIO IN PUGLIA

Questa parte del lavoro ha l'obiettivo di illustrare il livello di conoscenza della qualità dell'aria in Puglia e lo stato delle reti di monitoraggio attive sul territorio regionale, evidenziando sia l'incremento del numero di stazioni installate dagli Enti pubblici e privati, sia le criticità in termini di disomogeneità nella copertura del territorio e di metodologie di gestione e trattamento dei dati. Inoltre, viene affrontato il ruolo di ARPA Puglia nella gestione del Centro di Elaborazione Dati della rete di monitoraggio regionale, gli obiettivi dell'Agenzia per l'immediato futuro, le iniziative pianificate e quelle già in atto (come ad esempio il progetto **SIMAGE** per le aree a rischio ambientale di Brindisi e Taranto), finalizzate all'ottimizzazione delle reti e ad una gestione integrata delle stesse.

Il tema ambientale "Aria", a scala locale, deve essere analizzato alla luce delle criticità ambientali del territorio pugliese determinate da fattori antropici, quali il complesso delle attività che si svolgono nelle aree urbane (es. Bari, Taranto), le infrastrutture stradali, le attività agricole e gli insediamenti produttivi, soprattutto in considerazione della presenza sul territorio di due poli industriali, quello chimico-energetico di Brindisi e quello siderurgico di Taranto, che sono tra i maggiori fattori di pressione sulla componente atmosferica.

Un'analisi esaustiva della tematica "Aria" richiede un livello di conoscenza che, allo stato attuale, non è garantito dai sistemi di rilevamento degli inquinanti atmosferici presenti nella regione. La copertura non ottimale del territorio si traduce, infatti, in informazioni caratterizzate da lacune, sia spaziali che temporali, tali da non consentire una valutazione accurata e puntuale dello stato della qualità dell'aria.

### 2.1 Reti di monitoraggio attive in Puglia

Con la precedente programmazione dei Fondi Strutturali (1994-1999) sono state finanziate delle reti di monitoraggio fisse di proprietà della Regione Puglia, nelle cinque province pugliesi, per ognuna di esse sono state previste cinque stazioni fisse che monitorano sia parametri chimici che meteorologici. I dati raccolti su tutto il territorio dalle 25 centraline (ad oggi tutte collaudate) pervengono ai Dipartimenti Provinciali dell'ARPA Puglia (D.A.P.) e da qui al "Centro Elaborazione Dati" localizzato presso la sede della Direzione Scientifica dell'Agenzia a Bari dove si effettua, quindi, attività di monitoraggio della qualità dell'aria.

Nel corso dell'anno 2002 erano attive in totale 16 stazioni di monitoraggio della rete regionale, le quali hanno fornito dati utili per una valutazione globale della qualità dell'aria nella nostra regione.

Nella mappa in figura n. 1 viene indicata la situazione della rete di monitoraggio della Regione Puglia in gestione all'ARPA.



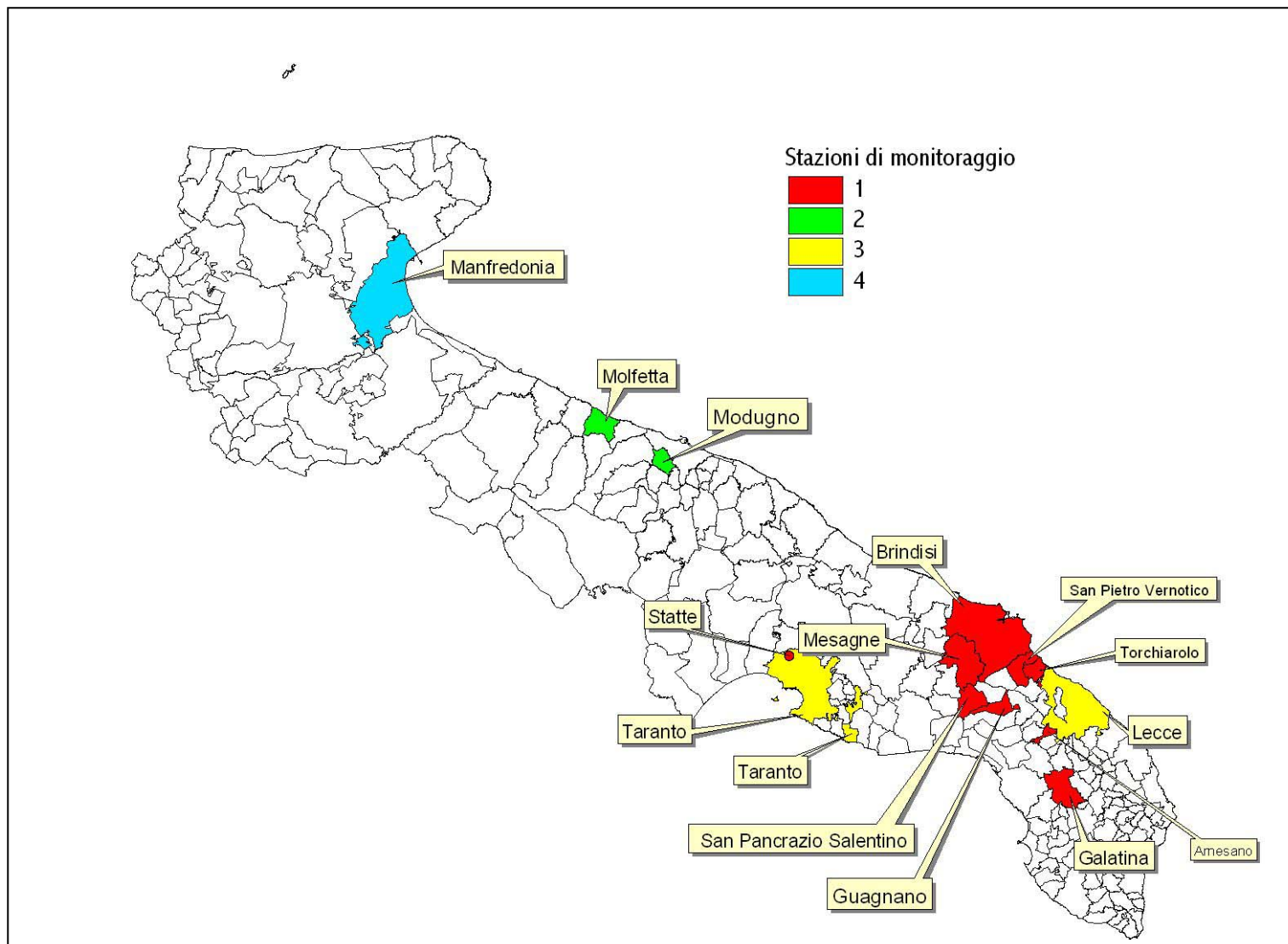


Fig. 1 Localizzazione delle stazioni di monitoraggio della Regione Puglia

Le reti di monitoraggio attive sul territorio pugliese di proprietà di Comuni, Province, Regione e società private sono collocate prevalentemente nei grossi centri urbani e ciò significa che il maggior numero di informazioni sono relative a queste aree, mentre risulta scarsa la conoscenza sulla qualità dell'aria delle grosse aree industriali, come ad esempio quella di Taranto.

I dati raccolti consentono esclusivamente considerazioni circoscritte al sito di rilevamento. In base alle indagini svolte, emerge chiaramente l'esigenza di una maggiore uniformità ed integrazione delle informazioni che i diversi soggetti pubblici e privati raccolgono dalle reti e durante le diverse campagne di monitoraggio, ai fini di una validazione omogenea. La necessità che si rileva è quella di una adeguata elaborazione statistica dei dati, che superi il limite del carattere puntuale delle misure e che preveda, anche alla luce della recente normativa di settore, l'applicazione integrata di strumenti diversi per la valutazione della qualità dell'aria, assegnando un ruolo fondamentale ai modelli matematici di dispersione degli inquinanti.

Nell'ottica di garantire la copertura omogenea del territorio e la tempestiva individuazione delle situazioni di rischio per la salute umana e per l'ambiente, la Regione Puglia ha previsto l'integrazione delle reti di monitoraggio atmosferico esistenti attraverso la misura 5.2 del POR Puglia 2000-2006.

La tipologia e il numero delle reti di monitoraggio ad oggi esistenti situate nella regione Puglia, comunali, provinciali e regionali, vengono descritti nella tabella che segue dove, per ogni stazione, sono riportati i parametri monitorati e la localizzazione sul territorio.

Tabella - Stazioni fisse di monitoraggio e relativi parametri misurati (anno 2002)

Provincia	Comune	Rete	Biossido di Azoto (NO <sub>2</sub> )	Ossidi di Azoto (NOx)	Monossido di Azoto (NO)	Biossido di Zolfo (SO <sub>2</sub> )	Monossido di Carbonio (CO)	Ozono (O <sub>3</sub> )	Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	BTEX	PM <sub>10</sub>	Polveri Totali (PTS)	Piombo (Pb)	IPA	Idrogeno Solforato (H <sub>2</sub> S)	Metano (CH <sub>4</sub> )	Idrocarburi non Metanici (NMHC)	VOC
BARI	Bari - S. Nicola	comunale	•			•	•	•	•		•		•	•				
	Bari - Japigia	comunale	•			•			•		•		•	•				
	Bari -King	comunale	•			•					•							
	Bari - Savoia	comunale					•		•		•							
	Bari - Cavour	comunale					•		•		•							
	Bari - Kennedy	comunale	•					•										
	Modugno -ex-ENAIP	regionale	•	•	•	•	•					•						
	Modugno - ex-CIAPI	regionale	•	•	•	•												
	Molfetta - Area ASM	regionale	*	*	*	*						*						
	Molfetta - Verdi	regionale	*	*	*	*						*						
BRINDISI	Brindisi - Moro	comunale	•	•			•	•	•			•						
	Brindisi - Togliatti	comunale	•	•			•	•	•			•						
	Brindisi - Via prov.le per S. Vito	comunale	•	•			•	•	•			•						
	Brindisi - Via Taranto	regionale	•	•	•	•	•	•		•					•	•	•	
	Mesagne	regionale	•	•	•	•						•						
	Torchiarolo - Don Minzoni	regionale	•	•	•	•	•					•						
	San Pietro Vernotico	regionale	•	•	•	•						•						
	San Pancrazio Salentino	regionale	•	•	•	•						•						
FOGGIA	Foggia - Giordano	comunale	•	•	•	•	•	•		•		•						•
	Foggia - Municipio	comunale	•	•	•	•	•	•		•		•						•
	Foggia	provinciale	•			•	•	•										
	Cerignola	provinciale	•				•	•	•			•						
	S. Severo	provinciale	•				•	•	•			•						
	Manfredonia - ZONA 167	regionale	•	•	•	•	•											
	Manfredonia - Ungaretti	regionale	•	•	•	•												
	Manfredonia - Suolo Giuffreda	regionale	*	*	*	*												
	Manfredonia - via dei Mandorli	regionale	*	*	*	*	*	*	*	*						*	*	

Provincia	Comune	Rete	Biossido di Azoto (NO <sub>2</sub> )	Ossidi di Azoto (NOx)	Monossido di Azoto (NO)	Biossido di Zolfo (SO <sub>2</sub> )	Monossido di Carbonio (CO)	Ozono (O <sub>3</sub> )	Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	BTEX	PM <sub>10</sub>	Polveri Totali (PTS)	Piombo (Pb)	IPA	Idrogeno Solforato (H <sub>2</sub> S)	Metano (CH <sub>4</sub> )	Idrocarburi non Metanici (NMHC)	VOC
LECCE	Lecce - De Santis	comunale	*	*	*			*		*	*							
	Lecce - Grassi	comunale	*	*	*					*	*							
	Lecce	provinciale																
	Maglie	provinciale																
	Campi Salentina	provinciale																
	Lecce	regionale	•	•	•	•	•	•		•		•				•	•	
	Surbo - Fraz. Giorgilorio	regionale	•	•	•	•	•					•						
	Guagnano	regionale	•	•	•	•						•						
	Arnesano	regionale	•	•	•	•						•						
	Galatina	regionale	•	•	•	•						•						
TARANTO	Taranto - Dante	comunale		•		•	•	•		•	•	•		•		•	•	
	Taranto - Via Orsini	comunale		•		•	•	•		•		•		•		•	•	
	Taranto - Garibaldi	comunale		•		•				•	•	•		•		•	•	
	Taranto - Paolo VI	comunale		•		•				•	•	•		•		•	•	
	Taranto - San Vito	comunale		•				•						•				
	Taranto - Villa Peripato	comunale		•		•	•	•		•	•			•		•	•	
	Manduria	provinciale	•	•	•		•	•	•			•						
	Grottaglie	provinciale	•	•	•		•	•	•			•						
	Martina Franca	provinciale	•	•	•		•	•	•			•						
	Taranto - Scuola G.B. Vico	regionale	•	•	•	•	•					•			•			
	Taranto - Colonia Marina Regione Puglia	regionale	•	•	•	•						•						
	Taranto - Scuola Materna XX Circolo	regionale	•	•	•	•						•						
	Statte	regionale	*	*	*	*						*						

Con l'asterisco sono segnalate le stazioni attivate nel corso del 2003

Altre reti fisse appartengono a società private tra cui ENEL, ENICHEM e ILVA.

Reti ENEL di Brindisi: le stazioni sono in totale 10 e rilevano tutte le concentrazioni di NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e PTS.

CTE EDIPOWER (Brindisi Nord): Quart. La Rosa (BR), Brindisi Centro Bastioni San Giorgio, Brindisi Casale, Cerano, Tutturano Nord.

CTE ENEL S.p.A. (Brindisi Sud): Tutturano Sud, San Pietro V.co, Torchiarolo, Surbo, Lendinoso, Cerano, Tutturano Nord.

Rete ENICHEM: n. 2 stazioni (EniChem Nord e EniChem Sud).

Rete ILVA: n. 3 stazioni (S. Croce, Tamburi, Magna Grecia).

## **2.2 Dati sulla qualità dell'aria in Puglia**

L'assenza di reti di monitoraggio della qualità dell'aria in alcuni casi, o la mancanza di informazioni sulle reti di alcune province rende molto difficile, allo stato attuale, la realizzazione di un quadro conoscitivo d'insieme sulla componente in esame.

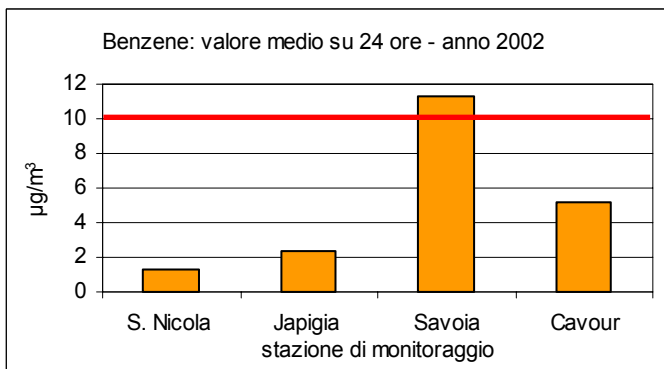
Tenuto conto di questo limite, di seguito si riportano i livelli qualitativi dell'aria nelle aree urbane di Bari e Taranto, per le quali si dispone di dati validati per l'intero anno 2002. Gli inquinanti presi in considerazione sono quelli che destano maggior preoccupazione nelle aree urbane: benzene, ozono e polveri.



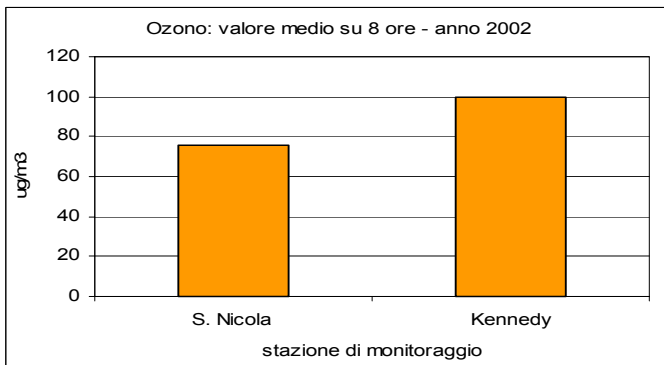
## Qualità dell'aria nel comune di Bari



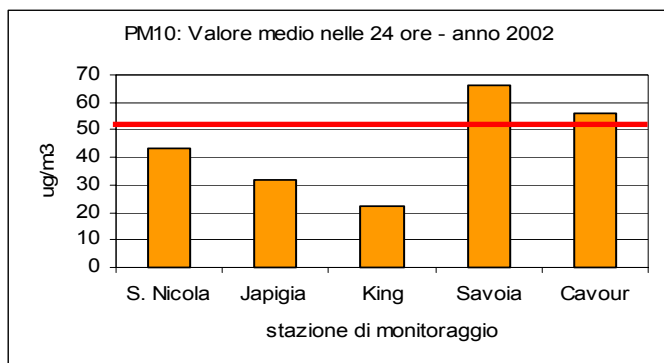
Fig. 2 Localizzazione delle stazioni di monitoraggio del Comune di Bari



Le criticità maggiori per l'area urbana di Bari riguardano gli inquinanti "da traffico". Per il **benzene**, nel 2002 in P.zza L. di Savoia il valore medio annuale sulle 24 ore è stato di **11,3** µg/m<sup>3</sup> superiore al **limite** di legge pari a **10** µg/m<sup>3</sup>. Nelle altre stazioni il valore medio annuale è stato inferiore a questo limite; nella stazione di C.so Cavour, però, il valore medio massimo sulle 24 ore è stato di **12,4** µg/m<sup>3</sup>.



Per l'**ozono** il valore medio annuo, calcolato sulle 8 ore, è inferiore al limite per la protezione della salute fissato in **110** µg/m<sup>3</sup>, ma sia allo Stadio S. Nicola che in V.le Kennedy si sono avuti superamenti di questo valore con un massimo di **169** µg/m<sup>3</sup> allo stadio S. Nicola e di **195** in µg/m<sup>3</sup> in V.le Kennedy. Anche il valore medio orario nelle due stazioni è inferiore alla soglia di allarme fissata in 360 µg/m<sup>3</sup>.



Il valore medio annuale di **PM<sub>10</sub>** è superiore al limite di legge per il 2002 di **65** µg/m<sup>3</sup> solo in P.zza L. di Savoia. In tutte le 5 stazioni che monitorano questo inquinante, però, si sono avuti **superamenti** giornalieri del limite di legge: **26** nella stazione S. Nicola, **1** nella stazione del quartiere Japigia, **2** nella stazione di V.le M.L. King, **129** nella stazione di P.zza L. di Savoia e **47** nella stazione di C.so Cavour.

## Qualità dell'aria nel comune di Taranto

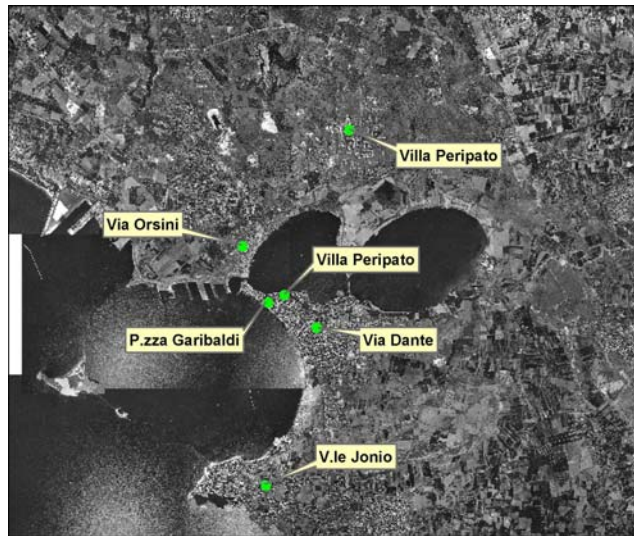
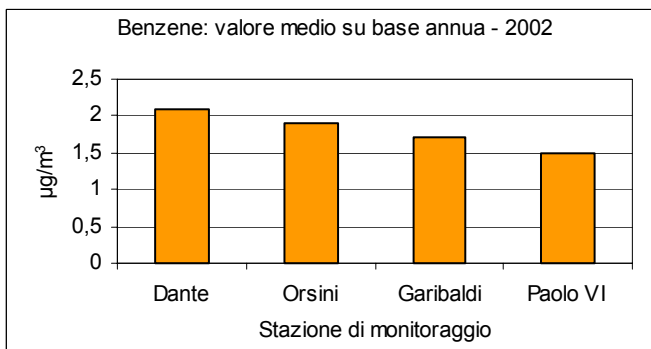
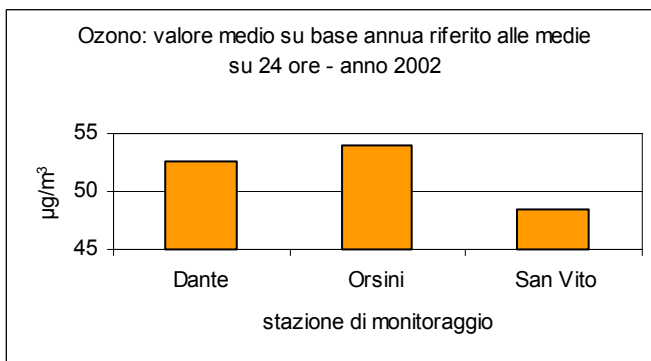


Fig. 8 Localizzazione delle stazioni di monitoraggio del Comune di Taranto

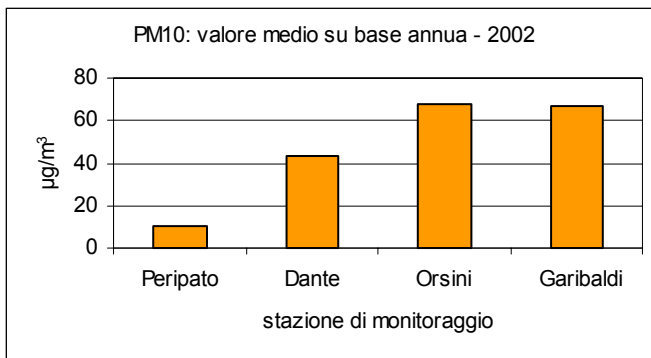


Per il comune di Taranto si dispone solo dei valori medi su base annua.

I livelli registrati di **benzene** sono tutti largamente al di sotto del limite di legge, quindi, per questo inquinante, la situazione può definirsi accettabile.



Per l'ozono non si dispone, come detto, dei dati orari e delle medie calcolate sulle 8 ore: questo significa che non è possibile effettuare raffronti con i limiti di legge che fanno riferimento proprio a questi intervalli orari. Non si può, di conseguenza, esprimere un giudizio sulla qualità dell'aria di Taranto per questo inquinante.



Il valore medio annuale di **PM<sub>10</sub>** nelle stazioni di Via Orsini e di P.zza Garibaldi supera il valore limite, per il 2002, di **65** µg/m<sup>3</sup>. Le polveri sottili sono, quindi, la **criticità** maggiore per l'area urbana di Taranto.

### **2.3 Le prospettive future per la gestione delle reti di monitoraggio in Puglia**

La Direttiva Quadro Europea 96/62/CE del 27 settembre 1996, in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente introduce esplicitamente i modelli di dispersione degli inquinanti tra gli strumenti utili alla valutazione della qualità dell'aria. L'art. 6 del D. Lgs. 351/99, di attuazione della Direttiva stessa, recita che *"La misurazione può essere completata da tecniche modellistiche per fornire un adeguato livello di informazione sulla qualità dell'aria ambiente"*.

I suddetti modelli statistici potranno essere applicati ai dati provenienti dalle stazioni di rilevamento di proprietà della Regione Puglia, sia fisse sia mobili, ad oggi attive sull'intero territorio regionale, o già previste dal Ministero dell'Ambiente nell'ambito del Progetto **SIMAGE** per le aree a rischio ambientale di Brindisi e Taranto.

Inoltre, al fine di garantire una copertura territoriale maggiore e omogenea ed una banca dati più dettagliata, sarebbero auspicabili la raccolta, l'utilizzo e l'integrazione dei dati provenienti dalle reti gestite dagli Enti locali (Province e Comuni) e dai soggetti privati.

E', quindi, necessario porsi l'obiettivo di massimizzare, in termini di conoscenze acquisite, i vantaggi derivanti dalla recente attivazione della rete di monitoraggio regionale, superando il carattere puntuale dell'informazione proveniente dalle stesse reti e colmando le lacune esistenti sullo stato della componente ambientale *"aria"*, in modo da permettere l'esaustiva descrizione dello stato dell'atmosfera e l'individuazione delle criticità ambientali nell'intera regione, quindi anche nelle aree sprovviste delle suddette reti di rilevamento.

#### **SCHEDA 4: I Campionatori passivi e il Biomonitoraggio**

Negli ultimi anni l'impiego di tecniche di monitoraggio innovative sta diffondendosi in modo considerevole. Esse rappresentano un'integrazione del monitoraggio "classico" con rete fissa permettendo l'acquisizione di informazioni aggiuntive sulla qualità dell'aria e mappature del territorio più complete e flessibili. Tra queste, si ritiene utile approfondire le seguenti: il **campionamento passivo** e il **biomonitoraggio**.

L'impiego dei **campionatori passivi** per il monitoraggio di inquinanti atmosferici iniziò nei tardi anni '70 per la determinazione di ossidi di zolfo ed azoto. Attualmente, questi strumenti sono utilizzati per l'analisi di inquinanti atmosferici sia organici che inorganici oltre che in ambienti esterni, per studiare la distribuzione geografica e l'andamento nel tempo, anche in ambienti interni e di lavoro con le seguenti finalità: monitoraggio personale dell'esposizione diretta del lavoratore agli inquinanti; controllo della salubrità dell'aria; identificazione e la localizzazione delle fonti di inquinamento; valutazione dell'impatto ambientale di nuovi materiali da costruzione e da arredo; controllo personale e fisso dell'esposizione non professionale in ambito domestico, in uffici, scuole, asili, locali pubblici.

Il mezzo adsorbente garantisce una velocità di campionamento costante. L'adsorbimento di acqua dovuto all'umidità atmosferica abbassa il limite di adsorbimento fino alla metà del valore in condizioni di aria secca.

La scelta di preferire il campionamento passivo a quello attivo è dettata in alcuni casi dai numerosi vantaggi che essa comporta:

- limiti di rilevabilità molto bassi, nel range di  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- semplicità e rapidità di analisi;
- materiali costitutivi inerti che permettono di riutilizzare più volte lo stesso campionatore;
- linearità di risposta al variare della velocità del vento tra 0,01 e 10 m/s e dell'umidità relativa tra 0 e 90%;
- costo ed ingombro di spazio contenuti per l'impiego di manodopera e per la strumentazione;
- possibilità di collocare i campionatori ovunque per una più semplice mappatura del territorio in numerosi punti di misura sia in aree urbane che extraurbane, e anche in aree remote (aree forestali, montane, ma anche rurali) nelle quali in genere non è disponibile un allacciamento elettrico;
- assenza di manutenzione.

I metodi passivi di campionamento sono basati sul campionamento diretto della specie inquinante in atmosfera su di un mezzo opportuno che si realizza grazie alla diffusione gassosa. I metodi di campionamento passivo si differenziano dai metodi tradizionali "attivi" in quanto non fanno uso di pompe e il flusso equivalente di campionamento corrisponde a pochi centimetri cubici di aria al minuto. In questo caso la captazione delle molecole di inquinante è regolata dalla velocità di diffusione all'interno di un "cammino diffusionale" di dimensioni geometriche note.

Il campionamento con campionatori passivi ha, comunque, degli inconvenienti:

- impossibilità di acquisizione di profili orari di concentrazione;
- sensibilità ridotta per esposizioni brevi;
- elevato carico analitico in relazione al grande numero di campioni raccolti;
- l'utilizzo di solventi organici.

Il termine "**qualità dell'aria**" si riferisce agli effetti dell'inquinamento su diversi soggetti, tra cui l'uomo, altri animali, piante o oggetti inanimati, come i monumenti. La determinazione della qualità dell'aria dovrebbe essere affidata ad indici numerici

basati su di un altissimo numero di parametri e ciò, tuttavia, è reso difficile dai seguenti motivi:

- a. le conoscenze sugli effetti di molte sostanze inquinanti su uomo, animali, piante sono scarse;
- b. il danno provocato dagli inquinanti non sempre dipende dai valori medi annuali, ma anche da quelli massimi o dalla durata dell'esposizione;
- c. le conoscenze sugli effetti sinergici degli inquinanti su diversi organismi sono scarse;
- d. le conoscenze sul trasferimento degli inquinanti negli ecosistemi sono scarse.

Queste difficoltà hanno portato alla ricerca di "*indicatori della qualità dell'aria*" che sono parametri di diversa natura che si suppone correlati con la qualità dell'aria.

Il monitoraggio delle alterazioni ambientali realizzato mediante l'uso di organismi viventi viene definito "**biomonitoraggio**". Il biomonitoraggio della qualità dell'aria si basa sulla valutazione degli effetti prodotti dall'inquinamento atmosferico sugli organismi e sulle loro comunità. Gli organismi possono essere impiegati nel monitoraggio della qualità dell'aria sia come *bioindicatori*, sia come *bioaccumulatori*.

Questa metodologia si basa sulle variazioni ecologiche indotte dall'inquinamento, che si manifestano a tre livelli diversi:

- a) accumulo degli inquinanti negli organismi;
- b) modificazioni morfologiche o strutturali degli organismi delle comunità animali e vegetali.

Le tecniche di biomonitoraggio seguono due principali strategie:

- a. **bioindicazione**, quando si correla il disturbo ambientale a variazioni morfologiche, o a dati di biodiversità;
- b. **bioaccumulo**, quando si sfrutta la capacità di certi organismi di assorbire ed accumulare sostanze dall'atmosfera.

Viene definito "**bioindicatore**" un organismo che risponde con variazioni identificabili del suo stato a determinati livelli di sostanze inquinanti. Come bioindicatori vengono selezionati organismi che soddisfano i seguenti requisiti principali:

- accertata sensibilità agli agenti inquinanti;
- presenza diffusa nell'area di studio;
- scarsa mobilità, lungo ciclo vitale;
- uniformità genetica.

Un organismo viene definito "**bioaccumulatore**" quando viene usato per misurare la concentrazione di una sostanza, ottenendo risposte quantitative oltre che qualitative. Alcuni organismi, quali in particolare licheni, muschi ed alcune piante superiori, hanno la capacità di assorbire ed accumulare i contaminanti persistenti, generalmente presenti nell'atmosfera in concentrazioni molto basse. Tali organismi sono stati largamente impiegati nel monitoraggio di metalli, radionuclidi, non-metalli come zolfo e fluoro e di composti xenobiotici come idrocarburi clorurati. Il biomonitoraggio dei contaminanti atmosferici mediante tecniche di bioaccumulo permette di stimare indirettamente il loro grado di diffusione e quindi di individuare le sorgenti di inquinamento.

L'utilizzo di organismi quali indicatori biologici di inquinamento presenta notevoli vantaggi quali, ad esempio:

- il biomonitoraggio si avvale di metodiche la cui efficacia è comprovata da una ricchissima letteratura a livello internazionale;
- le indagini richiedono bassi costi e tempi ridotti e possono venir effettuate utilizzando tecniche diverse, in grado di evidenziare tipi di inquinanti diversi.

Gli studi effettuati tramite bioindicatori non vanno, comunque, considerati come un'alternativa nei confronti dell'uso di centraline di rilevamento: il biomonitoraggio può essere infatti utilizzato come integrazione alle metodiche di analisi dirette, poiché,

individuando le zone a rischio presenti sul territorio, costituisce lo studio di base per una localizzazione ottimale delle centraline di rilevamento.

PARTE QUARTA

**LE BUONE PRATICHE**

## 1. PREMESSA

Il miglioramento della qualità dell'aria rappresenta una priorità al fine di garantire migliori livelli di vita alla popolazione. Un'aria più respirabile è frutto di un concorso di iniziative e assunzioni di responsabilità, che partono dalle decisioni del legislatore, passano per le iniziative degli amministratori locali ed arrivano alle azioni quotidiane di ogni cittadino. Un'aria più respirabile, soprattutto, si ottiene solo con la presa di coscienza, individuale e collettiva, della necessità di modificare i comportamenti radicati da anni di convivenza con un modello –seppure insostenibile– di città, e dei rischi sanitari a cui espone lo stile di vita attuale.

Di seguito si riportano alcune iniziative o azioni, distinguendo tra quelle individuali e quelle che competono alle amministrazioni, che possono contribuire a raggiungere l'obiettivo di migliorare la qualità dell'aria che respiriamo quotidianamente.

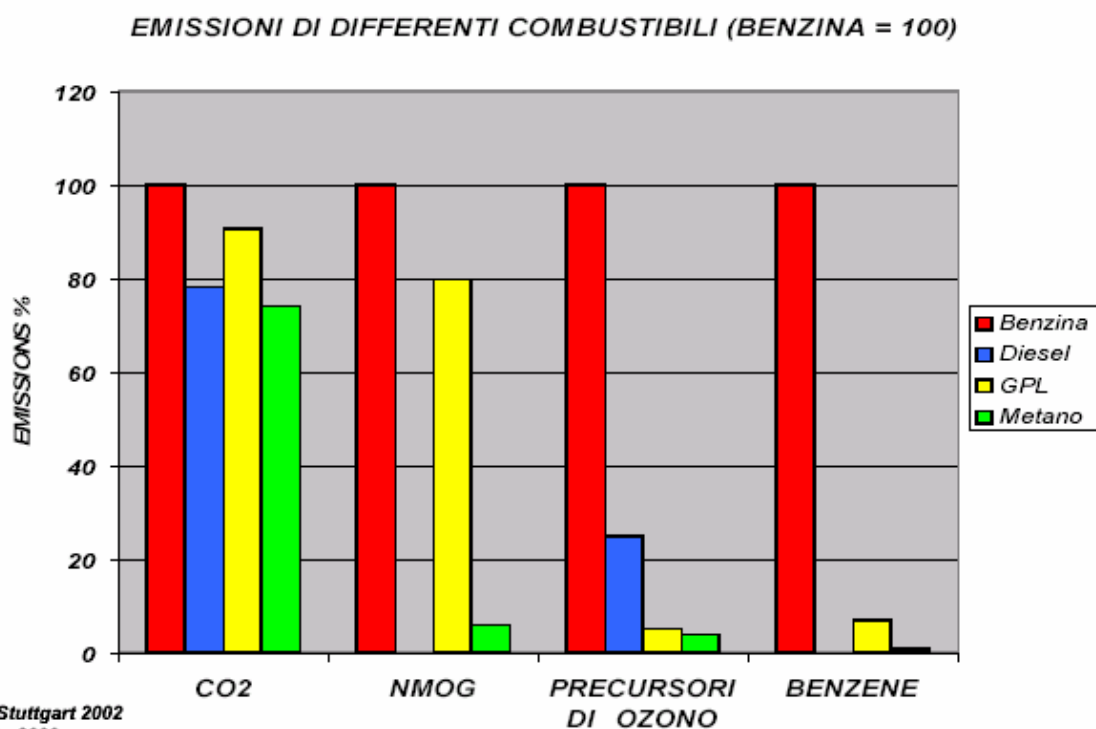
## 2. LE BUONE PRATICHE PER I CITTADINI

### 2.1 La scelta di un veicolo ecologico

Scegliere un veicolo ecologico, alimentato cioè a **metano** o a **GPL**, rappresenta una delle vie migliori per ridurre le emissioni di sostanze inquinanti in atmosfera che produciamo singolarmente.

Il metano e il GPL, oltre a garantire un impatto ambientale ridotto, presentano **vantaggi economici** per chi li utilizza, sia in termini di minor costo rispetto ai combustibili tradizionali (benzina e gasolio) sia in ragione degli **incentivi** offerti dallo Stato.

*Minori emissioni.* La tabella seguente riporta un confronto tra le emissioni derivanti dall'impiego di quattro diversi combustibili. Le emissioni di gasolio, GPL e metano sono espresse rispetto a quelle della benzina, poste uguali a 100.



NMOG: gas organici non volatili

**Figura 1: Emissioni di inquinanti per tipologia di carburante**



Dalla figura 1 si evince come i motori alimentati a **metano** siano quelli con le emissioni più ridotte: fino al **25%** in meno di CO<sub>2</sub> e fino all'**90%** in meno di composti precursori di ozono rispetto alla benzina. Il metano, inoltre, non contiene benzene, piombo, composti di zolfo e IPA.

Anche le emissioni di inquinanti da **GPL** sono significativamente ridotte: prive di **benzene** e con un limitato contenuto di precursori dell'ozono, hanno anche un contenuto in CO<sub>2</sub> inferiore del **10%** rispetto alla benzina.

**Carburanti per risparmiare.** Sia il metano che il GPL hanno un **costo inferiore** rispetto a benzina e gasolio. La scelta di un veicolo alimentato con uno di questi due carburanti, quindi, oltre ad assicurare emissioni ridotte di inquinanti, offre anche un vantaggio economico.

In più lo Stato offre **incentivi** a chi sceglie di acquistare un'automobile alimentata a metano o GPL. Con D.M. n. 183 del 02.07.03, il Ministero delle Attività Produttive ha incrementato l'importo di tali incentivi, portandoli a **1.500,00 euro** l'acquisto di un autoveicolo nuovo di fabbrica omologato anche o esclusivamente a metano o a GPL e a **650,00 euro** per l'installazione di un impianto di alimentazione a metano o a GPL su autoveicolo, entro un anno successivo alla data di prima immatricolazione.



## 2.2 L'uso corretto degli autoveicoli

Scegliere un veicolo alimentato a metano o GPL è il modo migliore per contribuire a migliorare la qualità dell'aria urbana, ma non il solo. Facili accorgimenti e piccole **modifiche** nello **stile di guida** permettono di ridurre in maniera considerevole sia i consumi di carburante che le emissioni di inquinanti in atmosfera. Di seguito si riportano alcune delle variabili che influiscono in modo significativo sui consumi e sulle emissioni da traffico e, per ognuna di esse, delle indicazioni su come migliorare lo stile di guida di ognuno.

*Temperatura del motore e della marmitta catalitica.* Un motore e un convertitore catalitico lavorano "a caldo" dopo 10-12 km nel traffico scorrevole o dopo 3-4 km nel traffico congestionato. L'energia consumata e gli inquinanti emessi dipendono dalla loro temperatura d'esercizio: sia i consumi di carburante che le emissioni di inquinanti in atmosfera sono maggiori a basse temperature. Anche la meccanica delle automobili soffre il freddo: l'usura del motore è maggiore quando il lubrificante non ha raggiunto la temperatura corretta.

*Portare il motore alla **giusta temperatura**, quindi, significa sia inquinare e consumare meno sia usurare meno il motore. È quindi utile **evitare** il più possibile **partenze "a freddo"**, portare il motore alla **temperatura ottimale** d'esercizio e, all'avvio, viaggiare a **velocità moderata**. Inoltre è consigliabile ridurre l'utilizzo dei freni che consuma una grande quantità di energia: meglio decelerare per tempo ed utilizzare il freno del motore*



*Lunghezza degli spostamenti.* Un viaggio su due in automobile è inferiore a tre chilometri, uno su cinque a un chilometro, uno su otto a 500 metri. Questi **spostamenti brevi**, a motore freddo e bassa velocità, consumano in proporzione più energia di un viaggio lungo ed è *quindi consigliabile, quando possibile, evitarli.*

*Velocità di marcia, guida urbana.* Con motore caldo, tra 0 e 80 Km/h più una macchina è veloce meno consuma; oltre gli 80Km/h, invece, i consumi aumentano con la velocità.

In città, a causa degli ingorghi e dei frequenti "stop and go" una macchina consuma dal 20 al 40% in più. Inoltre il 60% dell'energia è spesa dal motore solo per accelerare e decelerare.

*Per ridurre consumi ed emissioni è pertanto importante **controllare la velocità** ed evitare, durante il viaggio, fermate e partenze ripetute; inoltre la scelta di **mezzi pubblici** o di veicoli non inquinanti è una valida alternativa all'uso di autoveicoli in città, non solo in termini di impatto ambientale, ma anche dal punto di vista del consumo energetico e quindi del **risparmio economico**.*

## **Scheda 5: Le marmitte catalitiche. Principio e limiti di funzionamento**

Mentre in passato le benzine "rosse" utilizzavano come agente antidetonante un composto organometallico di piombo, tossico e non degradabile, con l'introduzione delle benzine "verdi" si è passati a impiegare come agente antidetonante una miscela di composti aromatici semplici (benzene, toluene e xilene), indicati per brevità con la sigla BTX. Tali sostanze sono tossiche e accertatamente cancerogene, e non vengono degradate completamente nel processo di combustione. Al fine, dunque, di promuoverne la completa combustione a produrre anidride carbonica e acqua le autovetture a benzina verde sono attrezzate con una marmitta catalitica.

Il termine "*marmitta catalitica*" si riferisce al "*convertitore catalitico*", dispositivo applicato nel primo tratto del sistema di scarico degli autoveicoli al fine di ridurre sensibilmente le emissioni inquinanti (essenzialmente quelle di monossido di carbonio, idrocarburi e ossidi di azoto), favorendo reazioni di ossidazione e/o riduzione degli stessi con formazione di composti non nocivi.

Una marmitta catalitica in genere è costituita da un involucro metallico contenente il supporto poroso (ceramico "a nido di ape", oppure metallico) sul quale viene depositato il supporto, in genere a base di allumina e detto anche wash-coat. Sulla superficie del wash-coat viene depositato il materiale catalitico attivo, formato da miscele di metalli nobili (platino, palladio, rodio), in piccole quantità ma distribuiti sul supporto ad elevata superficie specifica.

Ogni motore ha le sue particolari esigenze in termini di abbattimento delle emissioni. Conseguentemente il catalizzatore va opportunamente adattato, variando numerosi parametri: funzionalità chimica, tipo di impregnazione, quantità e tipo di metallo nobile, porosità dei supporti, posizionamento lungo lo scarico ecc. La funzionalità delle marmitte catalitiche può essere classificata in tre categorie:

1) Marmitta solo ossidante (a base di Pt e/o Pd): usata solo per i motori Diesel, possono solo limitare le emissioni di monossido di carbonio e di idrocarburi.

2) Marmitta solo riducente: utilizzata solo per i motori Diesel scindono gli ossidi di azoto in ossigeno e azoto.

3) Marmitta ossidante e riducente, detta a **tre vie** in quanto agisce su tre inquinanti: monossido di carbonio, idrocarburi e ossidi di azoto. Poiché la marmitta catalitica a tre vie abbia una elevata efficienza di conversione (che può arrivare anche intorno al 90%), è indispensabile che il motore sia alimentato con una miscela aria-benzina avente un titolo controllato con la massima accuratezza. Per questo motivo si impiega un sensore di ossigeno, detto **sonda lambda**, che inviando la rilevazione dell'O<sub>2</sub> ad una centralina elettronica, permette a questa di variare la quantità di benzina alimentata in modo da riportare il rapporto di miscela (kg aria/kg combustibile) entro la "finestra" di efficienza ottimale del catalizzatore.

### **Limiti operativi e deterioramento**

Se la marmitta catalitica operasse in maniera ideale, un'automobile a benzina verde dovrebbe dar luogo a emissioni tossiche ridottissime. In realtà una serie di fattori addizionali rendono il quadro più complesso. In primo luogo, le benzine verdi contengono quantità non trascurabili di composti solforati e azotati, che nel processo di combustione generano ossidi di azoto e di zolfo che la marmitta catalitica non riesce ad abbattere. In secondo luogo, i composti dello zolfo, legandosi irreversibilmente con il platino del catalizzatore, ne provocano il lento e costante avvelenamento abbattendone in pochi anni la funzionalità. In terzo luogo, affinché l'intero sistema catalitico funzioni correttamente è essenziale che il letto catalitico raggiunga la corretta temperatura d'esercizio, cosa che avviene solo dopo un certo tempo

dall'avviamento del motore. Complessivamente, pertanto, le emissioni di una vettura "verde" dopo alcuni anni d'uso sono tutt'altro che trascurabili: essa emette CO, SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> (oltre alle polveri fini), e di regola a queste emissioni si aggiungono quantità rilevanti di sostanze aromatiche che vanno dai BTX non degradati agli IPA prodotti durante la combustione della benzina. Né la normativa italiana né quella europea prevedono, nei controlli delle emissioni degli autoveicoli, alcuna verifica dei livelli di emissione di composti aromatici. Questo porta normalmente gli automobilisti a non intervenire in alcun modo sulla marmitta catalitica, che andrebbe in realtà rimpiazzata con regolarità. Inoltre le automobili **non dotate** di marmitta catalitica non dovrebbero utilizzare la "benzina verde" poiché l'assenza del dispositivo catalitico provoca emissioni di BTX in concentrazioni elevate con gli impatti conseguenti sia in termini di inquinamento atmosferico sia soprattutto, considerata la tossicità e cancerogenicità di queste sostanze, sulla salute umana.

### **2.3 Il risparmio energetico in casa**

L'illuminazione domestica, così come l'utilizzo degli elettrodomestici, consuma energia elettrica la cui produzione comporta il rilascio di inquinanti in atmosfera, più o meno rilevanti a secondo della fonte energetica utilizzata. Pure il riscaldamento domestico genera emissioni in atmosfera; fortunatamente la progressiva metanizzazione delle nostre città e l'abbandono quasi completo del gasolio da riscaldamento hanno ridotto in maniera consistente questo genere di emissioni.

Ridurre i consumi energetici casalinghi, consumare ed inquinare meno è possibile e semplice, richiede solo piccoli accorgimenti e maggiore attenzione nell'acquisto di alcune tipologie di prodotti.

### **2.4 Il corretto riscaldamento**

Di tutta l'energia utilizzata per riscaldare un edificio, una buona parte viene dispersa dalle strutture (tetto, muri, finestre) ed una parte dall'impianto di riscaldamento. Misure utili per limitare questa dissipazione di energia sono le seguenti:

1. **Ridurre le dispersioni** di calore attraverso la coibentazione (cioè l'aggiunta di uno strato di materiale isolante) delle pareti e il tetto della casa.
2. **Limitare le fughe di aria** calda dalle finestre, con l'aggiunta di un secondo infisso, l'impiego di guarnizioni per serramenti e per il cassonetto o anche di tendaggi pesanti davanti alle finestre.
3. **Abbassare la temperatura** dei locali non utilizzati e assicurare ad ogni ambiente la **temperatura giusta** utilizzando, ad esempio, delle **valvole termostatiche** che, applicate ad ogni radiatore, ne regolano automaticamente l'afflusso di acqua calda, in base alla temperatura impostata. La valvola si chiude quando la temperatura ambiente si avvicina a quella desiderata, consentendo di dirottare ulteriore acqua calda verso quei radiatori che non hanno ancora raggiunto la temperatura impostata.
4. **Sfruttare** al meglio l'energia contenuta nel combustibile, attraverso i controlli e la **manutenzione** periodica dell'**impianto** di riscaldamento.

### **2.5 La migliore illuminazione**

Anche con la scelta attenta del sistema di illuminazione della propria abitazione è possibile risparmiare energia. Esistono diversi tipi di lampade, ma esistono anche diverse necessità di illuminazione e diverse possibilità di impiego. In base a quale lampada si sceglie cambiano notevolmente, oltre la qualità e la quantità di luce ottenuta, anche i consumi.

Generalmente, ad un maggior costo iniziale per un determinato tipo di lampada, corrisponde un minor costo di gestione, dovuto a minori consumi e a una vita più lunga. Le comuni lampadine hanno un'efficienza luminosa modesta, cioè gran parte dell'energia elettrica è trasformata in gran parte in calore e solo in minima parte in luce. Sebbene siano le più economiche al momento dell'acquisto sono le più costose per quel che riguarda i consumi.

È, pertanto, conveniente scegliere altri tipi di lampade, come ad esempio quelle "**alogene**" che hanno un'efficienza luminosa superiore, emettono luce a temperature di colore superiore e quindi più gradevole perché più "bianca" e sempre con una eccellente resa dei colori, durano il doppio (circa 2000 ore).

Anche le lampade **fluorescenti** (sia quelle tradizionali, comunemente dette "**al neon**", che quelle più recenti "**compatte**") hanno efficienza maggiore e consumi inferiori rispetto alle lampadine classiche e sono quindi da preferire.

### **2.6 La scelta degli elettrodomestici**

Anche una scelta ed un uso corretto degli elettrodomestici può permettere di ottenere un risparmio energetico e, di conseguenza, economico.

**Lavastoviglie.** Acquistando una nuova lavastoviglie è meglio sceglierei modelli più recenti che permettono di effettuare cicli ridotti o rapidi con un risparmio di tempo ed energia anche del 60%. Richiedete sempre la scheda tecnica del prodotto facendo attenzione al consumo di energia espresso in Kw/h considerando che valori che rientrano tra 1,4 e 1,8 Kw/h sono da considerarsi buoni.

**Lavatrice.** Anche per questo elettrodomestico recenti evoluzioni della tecnologia di base hanno introdotto il lavaggio "a pioggia" che sottopone gli indumenti ad una duplice azione di spruzzo dall'alto con acqua e detersivo. È previsto anche il riuso dell'acqua di lavaggio che viene riciclata e reimpressa nella vasca. Questo perché diminuendo la quantità d'acqua occorrente all'intero ciclo di lavaggio serve meno energia per portare l'acqua a temperatura e meno detersivo.

**Frigorifero.** Ci sono sul mercato frigoriferi "ecologici" che risparmiano energia e rispettano l'ambiente, presentando un doppio isolamento ed il 50% di gas refrigerante in meno. Il frigo va posizionato lontano dai fornelli, dal termosifone e dalla finestra lasciando uno spazio di almeno 10 cm tra la parete e l'apparecchio per garantire una buona ventilazione. Il termostato va regolato su una posizione intermedia e i cibi vanno collocati ricordando che la zona più fredda è in basso. Non stipare mai il frigo e lasciare spazio tra cibi e pareti interne; non introdurre mai cibi caldi e non lasciare mai aperta la porta del frigo. La manutenzione è molto importante per il buon funzionamento e per il risparmio energetico: controllare che le guarnizioni siano in buono stato e sbrinare l'apparecchio quando lo spessore del ghiaccio supera i 5-6 mm.

**Scaldabagno.** Se si sceglie uno scaldabagno elettrico è meglio acquistarne due piccoli anziché uno grande, se si deve alimentare sia la cucina che il bagno. I due ambienti hanno funzioni (e quindi richieste) molto diverse. Inserire un timer per evitare che lo scaldabagno funzioni quando non serve, oppure regolare il termostato sui 40°C d'estate e 60°C d'inverno, altrimenti l'apparecchio sarà costretto a miscelare acqua calda e fredda ad ogni richiesta; inserire un miscelatore sullo scaldacqua perché si elimini dispersione di calore nel tratto che va dalle tubazioni al rubinetto dove in genere è inserito il miscelatore stesso. Infine, installare gli scaldabagno vicino al punto di utilizzo per evitare dispersioni durante il percorso.

## **2.7 Le fonti energetiche rinnovabili per le abitazioni**

Negli ultimi anni sta crescendo il ricorso alle fonti energetiche alternative per abitazioni civili. L'efficienza crescente di queste tecnologie, la riduzione dei costi di installazione degli impianti e i finanziamenti pubblici erogati con soddisfacente regolarità hanno permesso di aumentare la percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili non per essere immessa nella rete di distribuzione energetica nazionale o per alimentare impianti industriali.

Sono fondamentalmente due le tecnologie che possono essere utilizzate, nelle abitazioni singole o condominiali, per produrre energia "pulita" ed entrambe sfruttano la radiazione proveniente dal sole: il **solare fotovoltaico** ed il **solare termico**.

Il **solare fotovoltaico** è una tecnologia che permette la conversione diretta dell'energia solare in **energia elettrica**. Il dispositivo base, la cella fotovoltaica, è costituito da una piccola lastra di materiale semiconduttore (generalmente silicio). La radiazione solare incidente sulla cella è in grado di mettere in movimento gli elettroni interni al materiale generando una corrente continua. Le celle vengono connesse tra loro e incapsulate in maniera da formare delle superfici più grandi, i moduli, che a loro volta vengono connessi tra loro a formare il Generatore Fotovoltaico, in grado di generare potenze più consistenti. L'energia elettrica prodotta dal generatore

Fotovoltaico durante le ore del giorno viene accumulata per poi poter essere utilizzata nelle ore notturne.

Il **solare Termico** è una tecnologia che permette la conversione diretta dell'energia solare in **energia termica** per la produzione di **acqua calda**.

Il dispositivo base, "il collettore solare", è costituito da un corpo nero assorbente entro il quale può scorrere un fluido (con la funzione di captare l'energia irradiata dal sole attraverso la superficie scura) e una copertura selettiva trasparente sulla parte esposta al sole (con la funzione di limitare le dispersioni per irraggiamento verso l'ambiente esterno), tutto racchiuso in un contenitore opportunamente isolato sulle pareti laterali e sulla parete opposta a quella di ricezione della radiazione .

I Collettori Solari vengono connessi in modo da riuscire a produrre consistenti quantità di acqua calda ad una temperatura compresa tra i 50°C e 160 °C.

Sia il solare fotovoltaico che solare termico non comportano emissioni di inquinanti in atmosfera e permettono, col tempo, di recuperare i costi di installazione. Oltre a ciò, un ulteriore vantaggio economico del dotare la propria abitazione di un impianto del genere sta nella possibilità, già accennata, di accedere ai finanziamenti pubblici che coprono, anche in misura del 70%, parte delle spese di realizzazione dell'impianto.

C'è da dire, infine, che difficilmente questi impianti possono costituire l'unica fonte di approvvigionamento energetico: più realisticamente, come tutte le altre fonti rinnovabili, permettono di coprire una frazione, comunque considerevole, della necessità di energia termica ed elettrica di un'abitazione.

### **3. LE BUONE PRATICHE PER LE AMMINISTRAZIONI LOCALI**

#### ***3.1 Gli strumenti per la mobilità sostenibile***

Vengono qui proposti alcuni interventi possibili per un'amministrazione locale al fine di favorire una mobilità urbana sostenibile, che, affiancando azioni di lungo respiro come il rinnovo del parco veicolare con veicoli ed il miglioramento dell'offerta del trasporto collettivo, possono portare risultati nel breve medio termine con investimenti relativamente contenuti. In particolare l'azione viene posta su modalità di trasporto collettivo complementari al trasporto di massa (taxi collettivo, car sharing, car pooling) e alla introduzione di misure per la gestione della domanda di mobilità (mobility manager).

##### ***Car Sharing***

Il Car Sharing è un servizio di mobilità che consente agli utenti di accedere dietro richiesta ad una flotta comune di veicoli posizionati su più aree. L'uso dei veicoli da parte dell'utente avviene in modo autonomo ed è consentito anche per periodi limitati di tempo. Il costo complessivo sostenuto dall'utente comprende una quota fissa di associazione ed una quota variabile proporzionale al tempo di uso e alla percorrenza realizzata.

Il Car Sharing, nato spontaneamente come iniziativa tra privati spinti soprattutto da ideali ecologici, è stato caratterizzato in questo ultimo decennio da un progressivo cambiamento che ha portato l'idea originaria della multiproprietà verso un'organizzazione commerciale ed imprenditoriale dell'offerta. Lo sviluppo e la diffusione del Car Sharing appare attualmente essere in una fase particolarmente positiva soprattutto a causa dell'attuale rigidità del mercato veicolare che offre agli utenti svariate possibilità di scelta se essi vogliono acquistare un'automobile, ma che allo stesso tempo concede poche alternative

convenienti e pratiche per un uso sporadico del veicolo per periodi e percorsi limitati.

La formula del Car Sharing, contraddistinta da una struttura tariffaria basata su costi fissi ridotti e costi variabili legati all'uso dei veicoli relativamente più alti, è particolarmente vantaggiosa per gli automobilisti che utilizzano occasionalmente l'auto. Il vantaggio principale che il Car Sharing può dare a questa categoria di automobilisti è di poter disporre nei momenti di necessità di un mezzo individuale con caratteristiche e dimensioni più adatte ad ogni esigenza di viaggio senza dover sostenere gli alti costi fissi di esercizio legati al possesso dell'auto che alle basse percorrenze hanno un'incidenza rilevante sul costo complessivo.

### ***Il Mobility Management***

Il *Mobility Management* è un approccio fondamentalmente orientato alla gestione della domanda di mobilità, in particolare per quanto riguarda gli spostamenti sistematici casa-lavoro, che sviluppa e implementa concetti e strategie volti ad assicurare la mobilità delle persone e il trasporto delle merci in modo efficiente, con particolare riguardo a scopi sociali e ambientali. Il *mobility management* è fondamentalmente basato sull'informazione, la comunicazione, il coordinamento e l'organizzazione.

Il Decreto Ronchi sulla "*Mobilità sostenibile nelle aree urbane*" emanato il 27 Marzo 1998 propone che tutte le aziende e gli enti pubblici con più di 300 dipendenti per unità locale e le imprese con complessivamente oltre 800 dipendenti debbano identificare un "**Mobility Manager**" che ottimizzi gli spostamenti sistematici dei dipendenti riducendo l'uso dell'auto privata e adottino il "**Piano degli Spostamenti Casa-Lavoro**". Quest'ultimo consiste nello sviluppo, nell'implementazione e nel controllo di un insieme ottimale di misure, tenendo conto delle condizioni dell'ambito specifico (comportamenti e bisogni di mobilità dei dipendenti, strumenti di pianificazione dei trasporti, situazione politica dei trasporti dell'area urbana nella quale le imprese sono situate) e degli obiettivi generali da raggiungere (riduzione del consumo energetico, dell'inquinamento atmosferico ed acustico, delle emissioni di gas serra e trasferimento dall'uso di mezzi individuali a quelli collettivi) per la modulazione degli spostamenti casa-lavoro del personale dipendente.

### ***Il taxi collettivo***

Il taxi collettivo è un servizio di trasporto alternativo, che impiega vetture aventi una capienza massima di 10-12 passeggeri, con doti di comodità e duttilità, a un prezzo inferiore a quello del taxi tradizionale. Sebbene un servizio di taxi collettivo possa essere realizzato semplicemente ricalcando il percorso di linee bus già esistenti o comunque su itinerari fissi, può diventare un servizio più personalizzato e aderente ai bisogni degli utenti, per flessibilità dei percorsi e gestione della flotta in tempo reale, realizzato facendo ricorso a tecnologie telematiche. Può prevedere uno o più luoghi di salita o discesa comune e comprendere un servizio da porta a porta, a somiglianza del taxi individuale, differenziandosi, sotto questo aspetto, dalle esperienze dei servizi pubblici a chiamata e percorso variabile.

Il servizio può anche rispondere a motivazioni di ordine sociale, come nei casi in cui esso è: 1) destinato a una utenza debole, come ad esempio anziani, bambini, portatori di handicap, casi in cui il servizio porta a porta è insostituibile e non surrogabile da nessuna linea bus, oppure 2) realizzato in aree a domanda debole, caratterizzate cioè da insediamenti molto dispersi. In quest'ultimo caso il servizio di taxi collettivo può, in prospettiva, diventare un valido sostituto di antieconomiche, ingombranti e inquinanti linee extraurbane.



### **Car pooling**

Il *Car pooling* è la condivisione di un mezzo di trasporto privato da parte di più individui che percorrono lo stesso tragitto. Si fa *car pooling*, ad esempio, quando più colleghi utilizzano la stessa auto per andare al lavoro. L'uso collettivo dell'auto è già praticata nelle aziende, ma in forma spontanea e disarticolata da parte dei dipendenti e quindi con risultati modesti ai fini della riduzione delle percorrenze complessive.

I vantaggi del *car pooling* sono: minori costi di trasporto e diminuzione del rischio di incidenti; riduzione dell'inquinamento atmosferico; minor stress psicofisico da traffico; riduzione della congestione stradale; riduzione dei tempi di trasporto; migliore efficienza del trasporto pubblico. Per un'azienda o per un Ente i vantaggi principali sono: l'offerta di un servizio utile ai propri dipendenti che garantisca anche la regolarità nell'arrivo; la riduzione dei piazzali di sosta dedicati a parcheggi per i dipendenti con la conseguente possibilità di riutilizzo per altre funzioni aziendali; il rafforzamento dell'immagine aziendale.

### **3.2 Le iniziative comunitarie**

Il **Sesto programma di azione per l'ambiente** della Comunità europea "Ambiente 2010: il nostro futuro, la nostra scelta" individua tra le priorità sia il cambiamento climatico che l'ambiente e la salute. Il Programma d'azione si pone gli obiettivi di *stabilizzare le concentrazioni atmosferiche di gas di serra ad un livello che non generi variazioni innaturali del clima terrestre e di ottenere una qualità dell'ambiente in virtù della quale il livello dei contaminanti di origine antropica [...] non dia adito ad impatti o a rischi significativi per la salute umana.*

Per raggiungere questi obiettivi, le istituzioni comunitarie, oltre alle iniziative legislative in materia ambientale, propongono eventi che coinvolgono direttamente il maggior numero di amministrazioni e cittadini europei e che sono strumento diretto di diffusione di una coscienza ambientale.

Di seguito si riportano alcune delle iniziative comunitarie, in tema di mobilità e sviluppo sostenibile, rivolte alle amministrazioni locali e ad altre istituzioni quali, ad esempio, le **scuole**.

#### **European mobility week (16-22 settembre)**

La settimana europea della mobilità (16-22 settembre) è un'iniziativa dell'Unione Europea che ha per obiettivo la promozione della mobilità sostenibile.

Essa rappresenta un'occasione per le autorità locali, così come per le organizzazioni e le associazioni di tutta Europa, per:

- promuovere le loro politiche attuali, iniziative e best practise sulla mobilità urbana sostenibile,
- lanciare nuove politiche e iniziative,
- contribuire ad aumentare la consapevolezza dei cittadini sui danni generati dalla tendenza attuale della mobilità urbana sull'ambiente e sulla qualità della vita,
- stabilire partnerships con stakeholder locali,
- essere parte di una campagna europea condividendo un comune obiettivo ed una comune identità con altri paesi e città d'Europa,
- dare risalto all'impegno locale verso politiche per un trasporto pubblico sostenibile.

Le autorità locali che partecipano alla Settimana Europea per la Mobilità sono chiamate ad organizzare un evento al giorno.



### **Car free day**

Ogni autorità locale che partecipa alla Settimana Europea per la Mobilità è tenuta ad organizzare, il 22 settembre, "**In town without my car!**", giornata internazionale senz'auto.

Lo scopo principale della campagna "In town without my car!" è accrescere la coscienza pubblica della necessità di agire contro l'inquinamento prodotto dal traffico urbano al fine di migliorare il livello di qualità della vita.

In tal senso, l'iniziativa è centrata su tre tipi di misure, pensate per:

- incoraggiare l'uso di mezzi di trasporto e viaggio diversi dalle auto private,
- accrescere la coscienza e informare i cittadini sui rischi connessi all'inquinamento,
- mostrare la città in un'altra luce in seguito alla riduzione del traffico motorizzato in aree delimitate.

"**In town without my car!**" è un'opportunità per tutte le città partecipanti per dimostrare quanto i temi ambientali li preoccupino. L'iniziativa permette loro di esprimersi sulla materia e allo stesso tempo dà ai cittadini l'opportunità di mostrare il loro supporto, attraverso il loro interessamento e coinvolgimento, a misure per una migliore qualità della vita nell'ambito urbano. Inoltre, "In town without my car!" è un momento unico, nel corso dell'anno, per le amministrazioni locali di testare in situ le proprie politiche dei trasporti.

Indirizzo internet: [www.22september.org/](http://www.22september.org/)



### **Green week**

La Settimana Verde si tiene ogni anno a Bruxelles, in Belgio. Si tratta di una conferenza accompagnata da una mostra organizzata dalla **Direzione Generale dell'Ambiente** della **Commissione Europea**, su temi che variano e che riguardano l'ambiente e lo sviluppo



sostenibile. Green Week è diretta ai decisori locali, regionali e nazionali, così come agli stakeholder in campo ambientale quali le associazioni di industriali e le organizzazioni non governative. La manifestazione propone una serie di incontri politici di alto livello, workshop per i giovani e una esibizione di progetti che mostrano le best practise in campo ambientale.

Uno dei principali obiettivi della Green Week è incoraggiare la gente a "pensare ad alta voce" su come i cittadini, le autorità, gli insegnanti, gli scienziati e i giovani possono realmente cambiare i loro comportamenti ambientali per rendere il mondo un posto sano in cui vivere. Green Week si propone inoltre di sviluppare approcci innovativi per risolvere problemi ambientali, offrendo l'opportunità di condividere esperienze e creare nuove partnership per lo scambio di idee ed esperienze.

Nell'ambito della manifestazione, le **scuole** dell'Unione Europea sono invitate a partecipare al **concorso** della Settimana Verde. Ai ragazzi viene proposto di

realizzare opere (disegni, pitture, sculture, etc.) su un tema prestabilito n materiale riciclato. I lavori vengono valutati da una giuria di insegnanti ed esperti dell'ambiente e i vincitori sono invitati a Bruxelles per prendere parte agli eventi della Settimana Verde e per essere premiati in presenza della stampa.

Indirizzo internet: [http://europa.eu.int/comm/environment/greenweek/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/greenweek/index_en.htm)

### **Green Day**

I Green Day sono il primo passo sulla strada dell'organizzazione di Green Week locali.

Mentre la Green Week promuove il concetto di sviluppo sostenibile fornendo una piattaforma per il dibattito politico e per lo scambio di informazioni e conoscenze, le Giornate Verdi Europee focalizzano l'attenzione su **azioni** dirette **locali** a supporto di programmi di sviluppo sostenibile.

I Green Day sono finalizzati ad accrescere la coscienza ambientale e a far mutare ai cittadini europei i loro comportamenti al fine di impattare meno sull'ambiente. La Direzione Generale dell'Ambiente della Commissione Europea incoraggia le autorità locali e le organizzazioni a realizzare le Giornate Verdi locali fornendo, tra l'altro, delle linee guida per la loro organizzazione.

I Green Day sono anche dedicati a **Natura 2000**, la rete europea progettata per proteggere gli habitat e le specie animali e vegetali minacciate. Un obiettivo dei Green Day è la promozione di eventi attraverso l'Europa che facilitino la comprensione e l'accettazione di Natura 2000 a livello locale.

Indirizzo internet: [http://europa.eu.int/comm/environment/greenweek/greendays/greendays\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/environment/greenweek/greendays/greendays_en.htm)

### **3.3 Le iniziative volontarie**

Si presentano, di seguito, due associazioni che coinvolgono le amministrazioni locali italiane ed europee e che, pur con finalità diverse, pongono al centro della loro azione l'attenzione alla qualità dell'aria urbana ed il risparmio energetico. Si vuole portare queste iniziative, che non hanno una risonanza adeguata, a conoscenza delle nostre amministrazioni locali per dare loro un potenziale strumento aggiuntivo per le politiche di sostenibilità urbana.

#### ***L'Alleanza per il Clima delle Città Europee con i Popoli Indigeni delle Foreste Pluviali***

I **Partner** nell'Alleanza sono **Comuni europei** e **popoli** indigeni delle **foreste pluviali**. I membri dell'associazione sono attualmente **1000 città** e **comuni** europei. Collaborano come membri associati Regioni, Province e organizzazioni non-governative.

Gli **Obiettivi** dell'Associazione comprendono, tra l'altro, la **riduzione** del 50% di **CO<sub>2</sub>** entro il 2010, il **non utilizzo** dei **legni tropicali** e il **sostegno** ai popoli indigeni dell'**Amazzonia** nel loro sforzo per la salvaguardia delle foreste, per la demarcazione dei loro territori e per l'uso sostenibile di questi territori.

La Costituzione dell'Alleanza per il Clima risale al **1990** con rappresentanti di Comuni europei e di popoli indigeni dell'Amazzonia. In quella occasione il manifesto è stato elaborato per promuovere attività a livello locale per la



salvaguardia del clima e delle foreste pluviali. Nel 1992 l'Organizzazione ha preso la forma dell'associazione "Klima-Bündnis/Alleanza del Clima e.V". Le decisioni sul programma e sulle strategie vengono prese coinvolgendo **tutti i membri**. Annualmente si svolge la riunione dei soci, che discute le questioni fondamentali, definisce le posizioni politiche e elegge il consiglio di amministrazione. In Italia l'iniziativa viene coordinata dal Comune di **Città di Castello** e dalla **Provincia Autonoma di Bolzano**. Il lavoro dell'Alleanza si finanzia con le quote annuali dei Comuni membri, con finanziamenti dell'UE e di enti nazionali.

Il **trasferimento di esperienze e soluzioni** è uno dei compiti principali dell'Alleanza. Il coordinamento europeo e quelli nazionali promuovono lo scambio diretto di esperienze tra i Comuni in **convegni** e **seminari** nazionali ed internazionali. Un'ampia **attività di ricerca** sulle strategie e sugli effetti delle attività Comunali fornisce i dati per la divulgazione di esempi positivi e di strategie promettenti e per l'elaborazione di raccomandazioni ai membri.

Indirizzo Internet: [www.climatealliance.it](http://www.climatealliance.it)

### **Energie-Cités**

Energie-Cités è un'associazione di **autorità locali** europee, soprattutto Comuni. Uno degli scopi dell'associazione è fornire ai suoi membri le informazioni sulla



promozione delle politiche locali per l'**energia sostenibile**. La rete si estende in oltre 20 Paesi europei e comprende circa 100 Comuni, la maggior parte dei quali con una popolazione tra 100.000 e 300.000 abitanti.

Creata nel 1990 da diversi Comuni europei e formalmente costituita in associazione nel 1994, Energie-Cités è guidata da un coordinamento composto da 11 Comuni.

Con sede in Besançon (Francia) e rappresentanza a Bruxelles, Energie-Cités è coinvolta in numerosi progetti nazionali ed europei e fornisce assistenza nella definizione delle strategie energetiche

Gli obiettivi di Energie-Cités sono:

- Rafforzare il ruolo e i poteri dei Comuni nell'ambito dell'energia, dell'**efficienza energetica**, delle fonti **rinnovabili** e della protezione dell'ambiente
- Promuovere il **dibattito** sulle politiche della UE nel campo dell'energia, dell'ambiente e del governo urbano e presentare il punto di vista dei Comuni
- Sviluppare **iniziative municipali** attraverso lo scambio di esperienze, il trasferimento di conoscenze e l'organizzazione di progetti condivisi.

Indirizzo Internet: [www.energie-cites.org](http://www.energie-cites.org)