

# Sostenibilità ambientale e responsabilità sociale d'impresa

## Gli effetti sulla salute dell'organismo umano dei prodotti di combustione



Dott. Ing. Sarah Burgarella

L'attenzione per le problematiche ambientali è un tema di fondamentale importanza per la salvaguardia della salute umana. Le fonti energetiche rinnovabili presentate nella Settimana per l'Energia costituiscono non solo un'opportunità per il crescente fabbisogno energetico globale, ma anche un'alternativa alle tradizionali fonti ener-

getiche inquinanti, basate su processi di combustione.

La combustione è infatti il processo attualmente più utilizzato per la produzione di energia e il processo che maggiormente incide sulla produzione ed emissione di inquinanti in atmosfera, con pericolose conseguenze per la salute umana. La richiesta energetica mondiale è in continua ascesa: secondo i dati dell'ISPRA (Istituto Superiore Per la Ricerca Ambientale), in Italia dal 1993 al 2007 l'incremento di richiesta di energia elettrica è stato del 38%. Attualmente il 74% dell'energia elettrica è prodotta tramite impianti termoelettrici (basati su processi di combustione di olio combustibile, gas naturale, carbone, biomasse), mentre solo l'11% è prodotta dalle centrali idroelettriche e il 13% è importato dall'estero. Per quanto riguarda i settori di consumo, se in Italia negli anni '70 era l'industria il settore con il maggior consumo di energia, oggi industria, trasporti e usi civili consumano la stessa quota di energia.

Le sorgenti di emissioni inquinanti si dividono in grandi sorgenti di emissione (grandi impianti industriali o di produzione di energia elettrica) e fonti di emissioni distribuite, ossia fonti che prese singolarmente non sono molto rilevanti ma che a causa della loro numerosità hanno emissioni comparabili a quelle dei grandi impianti (traffico veicolare, riscaldamento degli ambienti).

L'atmosfera è composta prevalentemente da azoto (78%), ossigeno (21%), argon (0,93%) e anidride carbonica (0,038%). Oltre a queste componenti gassose principali, esistono componenti in traccia la cui presenza si indica in microgrammi per metro cubo, e tra le quali rientrano gli inquinanti dell'aria. Si definisce inquinante atmosferico "qualsiasi sostanza presente nell'aria che potrebbe, a concentrazioni sufficientemente elevate, costituire un pericolo per l'uomo, gli animali, la vegetazione o i materiali".

Gli inquinanti atmosferici si distinguono in primari e secondari. Gli inquinanti primari sono le sostanze emesse in atmosfera direttamente durante il processo di combustione, come ossidi di azoto, ossidi di zolfo, monossido di carbonio. Gli inquinanti secondari sono le sostanze che si formano nell'atmosfera a partire da inquinanti primari a seguito di fenomeni fisico-chimici, come l'ozono: esso si forma infatti nella troposfera a partire da ossidi di azoto e composti organici volatili in presenza della radiazione solare.

Esistono inoltre inquinanti di origine in parte primaria e in parte secondaria, come il particolato (PM10 e PM2.5): esso è in parte emesso direttamente nell'aria dalla combustione di olio, carbone e legna e in parte si forma in atmosfera a partire da ossidi di azoto, ossidi di zolfo, composti organici volatili, ammoniaca. La componente secondaria costituisce il 50% del PM10 totale nelle aree urbane. La conformazione orografica del territorio può contribuire a peggiorare il livello di inquinanti atmosferici: è il caso della Pianura Padana, per esempio, che essendo chiusa tra le Alpi e gli Appennini soffre di

una condizione climatica più stagnante rispetto ad altre regioni europee e di un aggravamento dei valori inquinanti, come si può osservare dalla Figura 1, tratta dal sito [www.nasa.org](http://www.nasa.org), che mostra la rilevazione satellitare della concentrazione di PM2.5 sul territorio europeo.

Secondo le linee guida pubblicate dalla European Lung Foundation ([www.european-lung-foundation.org](http://www.european-lung-foundation.org)) per la Health & Environment Alliance (Figura 2), gli effetti sulla salute umana ed in particolare respiratori degli inquinanti atmosferici dipendono da numerosi fattori quali il tipo e miscela di inquinanti, la loro concentrazione nell'aria, la durata dell'esposizione all'inquinante, la quantità di inquinante respirato e le condizioni di sensibilità respiratoria dei soggetti. Tra i soggetti più a rischio vi sono i pazienti affetti da condizioni respiratorie croniche, come asma e bronco-pneumopatia cronica ostruttiva (BPCO), per le quali l'esposizione agli inquinanti può causare il riaccendersi della patologia cronica. Altri soggetti a rischio sono anziani, bambini e neonati, oltre che soggetti con vie aeree sensibili per i quali l'esposizione può causare attacchi d'asma, respiro ansimante, tosse e irritazioni. Sono soggetti a rischio anche le persone sane che lavorano o svolgono esercizio fisico all'aperto in presenza di inquinamento atmosferico: l'esposizione può causare effetti tossici a lungo termine.

Secondo quanto previsto dalla normativa italiana vigente (D.Lgs. 183/2004, D.Lgs. 152/2007, D.Lgs. 155/2010 del 13 agosto 2010), gli inquinanti monitorati sono monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), ossidi di azoto (NO e NO<sub>2</sub>), benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), particolato (PM10 e PM2.5), idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e metalli pesanti (arsenico, cadmio, mercurio, nichel).

Le polveri sottili, o particolato (PM, Particulate Matter) sono costituite da un insieme di particelle solide o liquide di dimensioni molto piccole disperse nell'atmosfera. Il particolato è classificato secondo le dimensioni caratteristiche: con PM10 sono indicate le particelle di dimensioni fino a 10 micrometri di diametro, con PM2.5 sono indicate le particelle "fini", di diametro fino a 2,5 micrometri). Il PM10 è prevalentemente un particolato di origine primaria, rilasciato in atmosfera da veicoli, impianti industriali, cantieri e dalla combustione del legno. Il PM2.5 è un particolato di origine secondaria, composto prevalentemente da solfati e nitrati (formati da reazioni di ossidi di zolfo e azoto con l'ammoniaca) e da sostanze organiche. Le polveri sottili hanno effetti critici sull'organismo: le componenti più fini, in particolare, possono penetrare nelle ramificazioni più sottili dei polmoni, per poi raggiungere, in parte, i vasi linfatici e sanguigni. Il grafico in Figura 3 mostra la concentrazione di PM10 nelle principali città italiane, secondo i risultati del Progetto di Sorveglianza Epidemiologica del Centro Nazionale per la Prevenzione e il Controllo delle Malattie (CCM), pubblicati nel 2009. La Figura 4 mostra per le città precedentemente considerate nel Progetto i risultati meta-analitici relativi all'associazione tra livelli di inquinanti atmosferici (PM10, biossido di azoto e ozono) e mortalità per cause naturali: i grafici riportano per ogni inquinante gli incrementi percentuali di rischio corrispondenti a variazioni di 10 µg/m<sup>3</sup> dell'inquinante nel periodo 2001-2005 (nei mesi da aprile a settembre per l'ozono).

L'ozono (O<sub>3</sub>) è un inquinante secondario che si forma per reazione di ossidi di azoto e idrocarburi sotto l'azione di raggi solari ultravioletti e influenzata da variabili meteorologiche come l'intensità delle radiazioni solari, la temperatura e la velocità del vento. L'ozono è causa di inquinamento transfrontaliero perché è un tipo di inqui-

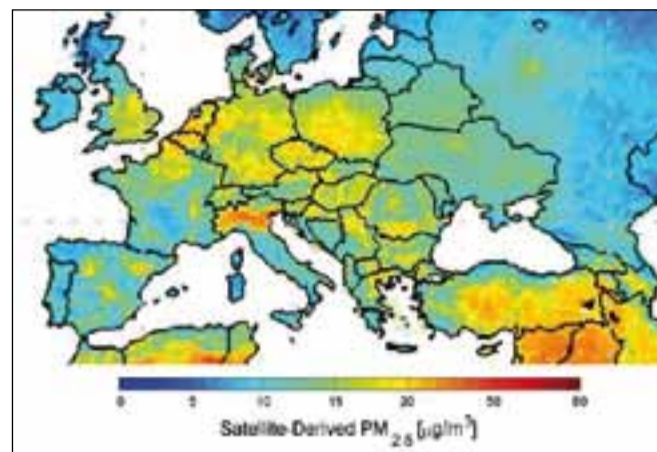


Figura 1: rilevazione satellitare della concentrazione di PM2.5 (media annua 2001-2006) - dal sito web [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)



Figura 2: European Lung Foundation, Health & Environment Alliance

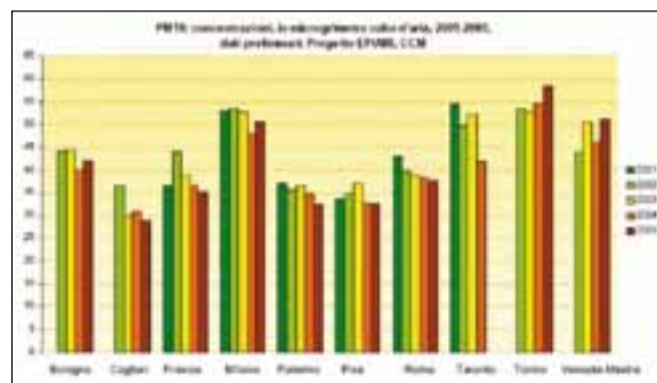


Figura 3: concentrazione di PM10, in microgrammi per metro cubo di aria, nel periodo 2001-2005, secondo i dati raccolti dal Progetto EPIAIR del CCM

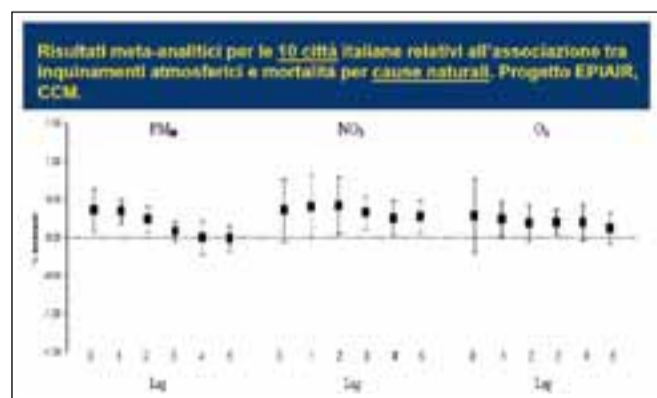


Figura 4: inquinanti atmosferici e incidenza del rischio di mortalità, nel periodo 2001-2005, secondo i dati raccolti dal Progetto EPIAIR del CCM

nante che si diffonde con facilità a grande distanza ed è la principale causa di inquinamento estivo per le elevate concentrazioni raggiunte a livello del terreno. È importante non confondere l'ozono a livello del suolo (nella troposfera - ozono "cattivo") dall'ozono presente nella stratosfera (tra i 20 e i 30 km di altezza - ozono "buono"), che protegge dalle componenti dannose dei raggi solari. Il monossido di carbonio (CO) è un gas tossico incolore, inodore e insapore, prodotto dalla combustione incompleta di sostanze contenenti carbonio. Esso è considerato tracciante di inquinamento veicolare perché principale inquinante rilasciato dallo scarico dei veicoli a benzina in condizioni tipiche di traffico urbano rallentato (motore al minimo, fasi di decelerazione). Gli autoveicoli a ciclo diesel ne emettono quantità minori per il tipo di combustione più completa. Altre fonti di emissioni di monossido di carbonio sono le centrali termoelettriche, gli impianti di

riscaldamento domestico e gli inceneritori di rifiuti. La sua tossicità per l'organismo umano deriva dalla sua elevata affinità per l'emoglobina che riduce la disponibilità di ossigeno ai tessuti.

Gli ossidi di azoto (monossido, NO, e biossido, NO<sub>2</sub>) sono generati nei processi di combustione per reazione diretta tra l'azoto e l'ossigeno dell'aria ad alta temperatura. Hanno colore rosso bruno, odore forte e pungente, e sono altamente tossici ed irritanti. I fumi di scarico degli autoveicoli sono la principale fonte di emissione. La quantità emessa dipende dalle caratteristiche del motore e suo utilizzo, in particolare aumenta quando il motore lavora ad elevato numero di giri (condizione tipica delle arterie urbane a scorrimento veloce e delle autostrade). Gli ossidi di azoto permangono diversi giorni in atmosfera e sono rimossi con formazione di acido nitrico (HNO<sub>3</sub>) e quindi di nitrati, responsabili dell'inquinamento del suolo.

Gli ossidi di zolfo (monossido, SO, e biossido, SO<sub>2</sub>) sono gas incolori, di odore pungente, e si formano per ossidazione dello zolfo nel corso dei processi di combustione di materiali che contengono questo elemento come impurità. Le principali fonti inquinanti derivano dalla combustione di combustibili fossili (gasolio, olio combustibile, cherosene, carbone – ad esclusione del metano), dalla lavorazione delle materie plastiche e dai processi impiegati nelle fonderie. Gli effetti sulla salute sono principalmente legati alla caratteristica di essere altamente idrosolubili: l'ossido di zolfo è infatti trattenuto per l'85% dalla rinofaringe ed è pertanto molto irritante per gola, occhi e vie respiratorie, oltre ad essere un fattore predisponente all'acuirsi di malattie croniche. L'ossido di zolfo ha pericolosi effetti anche per l'ambiente: combinandosi con il vapore acqueo forma acido solforico, responsabile delle "piogge acide".

Il benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) è un liquido incolore di odore pungente. Esso è un costituente della benzina verde: ne incrementa il potere antidetonante aumentando il numero di ottano (sostituisce il piombo nel limite di 1% in vo-

Inquinante	Tempo medio	Linee guida sulla qualità dell'aria
PM	1 anno	10 mg/m <sup>3</sup>
	24 ore	25 mg/m <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	1 anno	20 mg/m <sup>3</sup>
	24 ore	50 mg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub>	8 ore (al giorno)	100 mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	1 anno	40 mg/m <sup>3</sup>
	1 ora	200 mg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	24 ore	20 mg/m <sup>3</sup>
	10 minuti	500 mg/m <sup>3</sup>

Figura 7 : i massimi livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici secondo le linee guida dell'OMS

lume). Il settore dei trasporti è responsabile di oltre il 70% delle emissioni di benzene in Italia (fonte ISPRA). Il benzene è classificato come cancerogeno dalla Comunità Europea, dalla I.A.R.C. (International Agency for Research on Cancer) nel gruppo 1 delle "sostanze per le quali esiste un'accertata evidenza in relazione all'induzione di tumori nell'uomo", dalla A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) in classe A1 come "cancerogeno accertato per l'uomo".

I metalli pesanti si caratterizzano per una densità maggiore di 4,5 grammi per centimetro cubo (arsenico, cadmio, cromo, mercurio, nichel, piombo, tallio, vanadio). Essi sono pericolosi per la salute umana per la tendenza ad accumularsi nei tessuti degli esseri viventi (fenomeno definito bioaccumulo). Sono prodotti da combustione e processi industriali e si trovano in atmosfera come particolato.

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) sono composti organici formati da uno o più anelli benzenici e sono emessi in atmosfera come residui di combustioni incomplete, attività industriali, ed emissioni da autoveicoli. Sono composti organici volatili tra i più pericolosi per la salute dell'uomo: l'assorbimento degli IPA può avvenire per inalazione di polveri, aerosol o vapori, essendo presenti come sostanze adsorbite sul particolato, per ingestione di alimenti contaminati o attraverso la cute. Presentano attività cancerogena.

Secondo le stime dell'ISPRA (l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), gli attuali principali inquinanti atmosferici sono il particolato PM<sub>10</sub> e gli ossidi di azoto. Il trasporto stradale è responsabile del 27% delle emissioni di PM<sub>10</sub> e del 45% delle emissioni di ossidi di azoto; il settore industriale è responsabile del 26% delle emissioni di PM<sub>10</sub> e del 18% delle emissioni di ossidi di azoto; il riscaldamento domestico è responsabile del 13% delle emissioni di PM<sub>10</sub> e del 9% delle emissioni di ossidi di azoto (Figura 5).

Nel 2005 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha pubblicato le linee guida sulla qualità dell'aria per la tutela della salute umana (Figura 6). L'inquinamento dell'aria costituisce un rischio sia ambientale che per la salute, e richiede specifici interventi da parte dell'autorità pubblica. Le linee guida mostrano una relazione quantitativa tra i livelli di inquinamento e i danni alla salute umana in termini di mortalità e patologie respiratorie e cardiovascolari. Sono inoltre indicati i massimi livelli di concentrazione dei principali inquinanti atmosferici (Figura 7).

La normativa europea ha recepito le linee guida ed emanato la Direttiva 2008/50/EC relativa alla qualità dell'aria. Essa prevede la riunificazione della legislazione europea esistente in merito e pone nuovi obiettivi di qualità dell'aria per il PM<sub>2.5</sub> (polveri fini o polveri respirabili) in aggiunta a quelli esistenti per il PM<sub>10</sub> (frazione toracica delle polveri).



Figura 5: trasporto stradale, industria e riscaldamento domestico - le principali fonti inquinanti secondo l'ISPRA

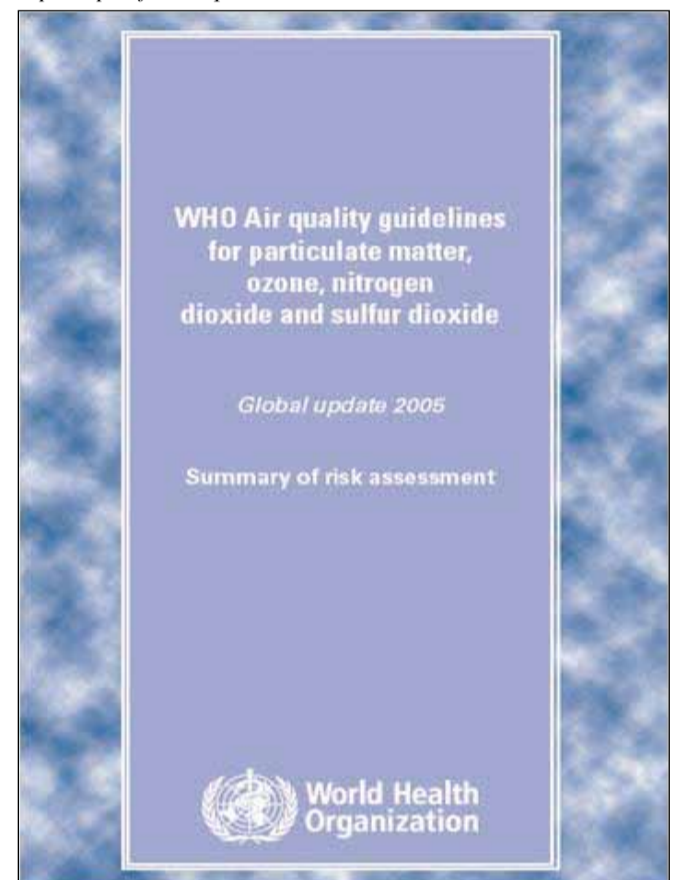


Figura 6: le linee guida dell'OMS sulla qualità dell'aria

La normativa italiana ha recepito la direttiva europea mediante il Decreto Legislativo n. 155 del 13 agosto 2010: "Attuazione della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa". Il decreto è entrato in vigore il 30 settembre 2010.

Dott. Ing. Sarah Burgarella

## I ringraziamenti di Barbara Ratti Carrara

A conclusione di questa bella esperienza, sia professionale che personale, credo sia doveroso portare alcuni ringraziamenti, sinceri.

Alla nostra Presidente, Donatella, che rinunciando ad un'importante viaggio di lavoro all'estero per essere di supporto, con la sua presenza, durante lo svolgersi

della settimana, ha dato un concreto sostegno a tutti noi, molto più che con parole facili.

Ai Consiglieri, tutti, che mi hanno fiduciosamente attribuito l'importante compito di coordinare questo copioso gruppo di lavoro e a quanti di loro hanno condiviso con me le diverse sessioni di lavoro, ritagliando spazio

ai mille impegni quotidiani, anche istituzionali. A Giovanbattista Testolin, ottimo compagno di viaggio.

A tutti i colleghi del gruppo di lavoro, indistintamente. A chi ha relazionato; a chi ha contribuito con la propria esperienza ed il proprio impegno alla stesura dei programmi, delle bozze,

delle relazioni, dei supporti informatici; a chi ha portato idee; anche a chi ha fatto un passo indietro, per poter essere vicino alla propria famiglia.

E' questo è il bagaglio vero che mi porterò e che rispecchia il mio concetto dell'Ordine degli Ingegneri di Bergamo: la possibilità concreta di operare in un gruppo di perso-

ne molto diverse fra loro che riescono a superare le diversità dei singoli, in modo molto civile e costruttivo, per qualcosa di più grande che appartiene a tutti. Sarà inevitabile la critica di buonismo, ma - con molta serenità - ricordo che la mia tesi di laurea e quelle di tanti altri studenti, ora colleghi stimati, finivano pro-

prio con i ringraziamenti a coloro che avevano permesso l'impresa... le buone abitudini, per me, vanno mantenute anche a costo di sembrare fuori moda.