

Allegato 9

Effetti sull'Uomo di Ossidi di Azoto, Ossidi di Zolfo e Polveri.

INDICE

1	<i>IMPATTI DEGLI OSSIDI DI AZOTO, DEGLI OSSIDI DI ZOLFO E DELLE POLVERI SULL'UOMO</i>	1
1.1	<i>INTRODUZIONE</i>	1
1.2	<i>MECCANISMI DI EMISSIONE E DEPOSIZIONE AL SUOLO DEGLI OSSIDI DI AZOTO, ANIDRIDE SOLFOROSA E POLVERI</i>	1
1.2.1	<i>Ossidi di Azoto</i>	1
1.2.2	<i>Anidride Solforosa</i>	2
1.2.3	<i>Polveri</i>	3
1.2.4	<i>Meccanismi di Deposizione per gli Ossidi di Azoto, Anidride Solforosa e Polveri</i>	3
1.3	<i>LA PENETRAZIONE DEGLI INQUINANTI NELL'APPARATO RESPIRATORIO</i>	4
1.4	<i>EFFETTI DEGLI OSSIDI DI AZOTO, ANIDRIDE SOLFOROSA E POLVERI SULL'UOMO</i>	5
1.4.1	<i>Studi di Correlazione tra Morbilità e Inquinanti</i>	5
1.4.2	<i>Particolari Studi sulla Correlazione tra le Variazioni delle Concentrazioni di PM10 – PM2,5 e Mortalità</i>	10
1.4.3	<i>Conclusioni</i>	12
1.5	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	14

1 *IMPATTI DEGLI OSSIDI DI AZOTO, DEGLI OSSIDI DI ZOLFO E DELLE POLVERI SULL'UOMO*

1.1 *INTRODUZIONE*

Nei seguenti paragrafi sono presentati i risultati di alcuni studi volti a individuare interazioni tra le concentrazioni medie giornaliere od orarie di alcuni inquinanti e alcuni tipi di patologie. L'attenzione è particolarmente focalizzata sugli ossidi di azoto, sul biossido di zolfo e sulle polveri.

Poiché sull'argomento esistono numerosi studi, spesso con risultati tra loro contrastanti, nel seguito, dopo una breve introduzione sulle modalità di azione degli inquinanti atmosferici, sono riportati i risultati di alcune analisi, cercando di fornire un quadro quanto più completo possibile. Al termine sono riportate alcune valutazioni di sintesi.

1.2 *MECCANISMI DI EMISSIONE E DEPOSIZIONE AL SUOLO DEGLI OSSIDI DI AZOTO, ANIDRIDE SOLFOROSA E POLVERI*

1.2.1 *Ossidi di Azoto*

I principali ossidi di azoto sono il monossido o ossido nitrico (NO) e il biossido (NO₂), complessivamente indicati come NO_x. Numerosi altri ossidi possono formarsi in vari processi chimico - industriali diversi dalla semplice combustione. Il campo di indagine di questo documento è limitato al solo monossido e biossido.

L'ossido nitrico è un gas incolore e inodore, mentre il biossido ha colore bruno/rossastro e odore soffocante, sebbene la concentrazione minima per l'individuazione dell'odore sia uguale o superiore a 2.000 µg/m³.

Le emissioni naturali degli ossidi sono sostanzialmente dovute a:

- attività microbica, ed in particolare alla denitrificazione operata da funghi e batteri autotrofi ed eterotrofi, aerobi e anaerobi;
- scariche elettriche (fulmini), che sintetizzano gli NO_x a partire da molecole di ossigeno e azoto presenti nell'aria.

Le emissioni artificiali sono prevalentemente connesse all'impiego di combustibili fossili per la produzione di calore ed energia, al traffico veicolare e a processi industriali in cui si producono fertilizzanti, solventi, pesticidi, freon e prodotti chimici in genere.

La produzione globale di NO_x da fonti naturali è molto elevata, nettamente superiore alla produzione antropica che però è concentrata in aree di limitata estensione e può quindi essere causa di locali elevate concentrazioni.

Il livello di concentrazione del fondo naturale in atmosfera, per il solo biossido di azoto, è interno all'intervallo [0,4; 9,4] $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una ampia variabilità da luogo a luogo e con i valori massimi registrati in aree extraeuropee. Il livello di fondo (naturale + antropico) in aree a bassa densità abitativa dell'Europa è compreso nell'intervallo [2,0; 4,2] e [0,0; 7,4] $\mu\text{g}/\text{m}^3$, rispettivamente per il biossido e l'ossido di azoto (WHO, 1987, 2000).

In genere il tempo medio di permanenza degli NO_x in atmosfera è dell'ordine dei 3÷4 giorni: passato un tale periodo dal momento dell'emissione, i meccanismi di rimozione (deposizione e trasformazione chimica) riducono praticamente a zero la massa residua in atmosfera.

1.2.2 *Anidride Solforosa*

L'anidride solforosa (SO_2) è un gas incolore con un caratteristico odore pungente, la concentrazione minima per poterne percepire olfattivamente la presenza è di 80 ppb (circa 210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Le emissioni di SO_2 in atmosfera sono dovute sia a fenomeni naturali quali:

- le emissioni vulcaniche;
- le trasformazioni biologiche che avvengono negli ecosistemi acquatici e nel terreno, l'elemento viene volatilizzato come H_2S (il cui tempo di residenza non supera le 48 ore e viene ossidato velocemente in SO_2), attraverso la riduzione dei solfati ad opera di batteri solforiduttori e la decomposizione della sostanza organica ad opera di microorganismi;
- dall'aerosol di acqua marina;

mentre le emissioni causate dalle attività antropiche sono dovute alla combustione di materiale fossile e alla lavorazione dei metalli.

La produzione di SO_2 è principalmente dovuta alla combustione di materiali fossili. In generale le concentrazioni di SO_2 nell'ambiente possono essere inferiori a 1ppb (2,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in zone remote, mentre variano da 1 -30 ppb (2,62 – 78,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in aree rurali a 30 – 200 ppb (78,6 – 524 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in quelle moderatamente inquinate (Lorenzini, Nadali, 2005). Il livello di concentrazione di fondo nelle aree rurali è generalmente inferiore a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, anche se l'utilizzo, da parte delle centrali termoelettriche di camini molto alti, che disperdono gli inquinanti su aree più vaste, ha determinato un incremento della concentrazione nelle aree agricole. (WHO, 2000)

Il biossido di zolfo permane in atmosfera per circa 1-4 giorni subendo principalmente processi di ossidazione che portano alla formazione di acido solforico che ricade in forma di nebbie o piogge acide.

Le polveri sospese sono costituite sia da sostanze organiche che inorganiche. In base alla massa e alla composizione le polveri sono divise in polveri fini, con diametro superiore a 2,5 μm e inferiore a 10 μm (PM_{10}) e nanopolveri, con diametro inferiore a 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$). Le particelle più piccole (<2,5 μm) contengono sostanze gassose di formazione secondaria, particelle derivanti dai processi di combustione e composti originatisi dalla condensa di vapori organici e inorganici. Le particelle più grosse (>2,5 μm) sono normalmente costituite da materiale proveniente dalla crosta terrestre e dalle polveri prodotte dalle attività industriali e dal traffico veicolare. Da studi condotti sulla composizione del $\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} , in California e in Europa, è stato evidenziato come le nanopolveri ($\text{PM}_{2,5}$) sono principalmente costituite (70 – 80%) da nitrati, solfati, ioni ammonio ed elementi organici (composti del carbonio), mentre le polveri di diametro superiore risultano costituite per quasi il 50% da alluminio, silicio, zolfo, potassio, calcio e ferro.

Le polveri sono anche suddivise in base alla penetrabilità nelle vie respiratorie e sono così classificate:

- polveri inalabili quelle in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe);
- polveri toraciche quelle in grado di raggiungere i polmoni;
- polveri respirabili quelle in grado di penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea fino agli alveoli polmonari).

Le polveri sospese sono originate sia da fenomeni naturali quali le eruzioni vulcaniche e i fenomeni erosivi, che da attività antropiche quali i processi industriali, il funzionamento delle centrali termoelettriche, il traffico veicolare e gli inceneritori di rifiuti.

La permanenza nell'aria delle polveri è condizionata dalla naturale tendenza alla deposizione per effetto della gravità e dalla rimozione umida dovuta all'azione delle nubi o delle piogge. In generale è stato osservato che le polveri PM_{10} possono rimanere in sospensione per 12 ore circa, mentre le particelle con un diametro inferiore ad 1 μm possono fluttuare nell'aria anche per 1 mese.

La concentrazione di fondo delle polveri sospese è stimata, in aree non soggette ad inquinamento, nell'ordine di 1-1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 2000).

Meccanismi di Deposizione per gli Ossidi di Azoto, Anidride Solforosa e Polveri

I meccanismi di deposizione sono sostanzialmente tre:

- *Deposizione secca*, particolarmente rilevante in prossimità della sorgente di emissione, dovuta ad impatto, assorbimento o passaggio in soluzione al suolo;

- *Deposizione umida*, dovuta alla combinazione degli inquinanti con l'umidità atmosferica (pioggia, neve, grandine e nebbia), che dà origine ad acidi nitrici e successivamente ai nitrati, nel caso degli NO_x e acido solforoso nel caso del SO₂. La presenza di questi composti acidi modifica l'equilibrio tra l'acqua e la CO₂ dell'atmosfera, provocando un abbassamento del valore del pH. Le precipitazioni meteorologiche provocano la deposizione al suolo dei composti così formati;
- *Deposizione occulta* di goccioline di nebbia o delle nubi, che non vengono raccolte efficacemente dai convenzionali campionatori di precipitazione e il cui apporto quindi non è compreso nei bilanci di deposizione chimica. Questo tipo di deposizione è particolarmente rilevante nelle zone sub - alpine.

Per quanto riguarda la deposizione secca, se è nota la concentrazione C_0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dell'inquinante, il rateo di deposizione secca D ($\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{anno}$) può essere calcolato tramite la relazione:

$$D = \frac{C_0 \cdot v_d \cdot t}{1.000.000}$$

dove v_d è un parametro denominato velocità di deposizione secca (m/s) e t è il numero di secondi in un anno. La velocità di deposizione secca varia a seconda del tipo di suolo, della vegetazione, dell'ora del giorno e della stagione dell'anno.

La velocità di deposizione umida media annuale è funzione della concentrazione media in atmosfera dell'inquinante, del numero di ore di pioggia, del rateo di pioggia e dell'altezza delle nubi. Per le polveri sospese bisogna considerare anche il diametro delle particelle. Sebbene il rateo di deposizione umida istantanea possa risultare molto elevato, nel caso di emissioni puntiformi, e limitatamente alla zona prossima al punto di emissione (2-3 km dal camino), il fenomeno è di minore importanza rispetto alla deposizione secca.

1.3

LA PENETRAZIONE DEGLI INQUINANTI NELL'APPARATO RESPIRATORIO

La respirazione è composta da due fasi, una di ispirazione, in cui l'ossigeno attraverso il naso o la bocca viene mandato ai polmoni, e una di espirazione, in cui si espelle l'anidride carbonica prodotta.

I corpi solidi estranei (polveri) che penetrano all'interno del corpo umano generalmente vengono espulsi. Tuttavia alcuni di questi possono interagire e provocare alterazioni più o meno gravi. All'interno dell'apparato respiratorio esiste un meccanismo di difesa da sostanze estranee quali gli inquinanti: le ciglia che rivestono tutto l'albero tracheo-branchiale determinano il rapido trasporto, insieme al muco, delle particelle corpuscolate verso il naso-faringe,

favorendone l'espulsione. Inoltre quando le sostanze estranee raggiungono gli alveoli vengono fagocitate da speciali cellule "spazzino", i macrofagi, che le eliminano. In genere le particelle di diametro inferiore a 5 µm raggiungono gli alveoli mentre le più grandi sono intercettate dalle ciglia.

Il sistema di depurazione muco-ciliare può tuttavia essere danneggiato dagli inquinanti gassosi e risultare pertanto meno efficiente in diverse circostanze (per esempio fumo di sigarette, infezioni virali, ecc.).

Sia i gas che le polveri penetrano nell'apparato respiratorio insieme all'aria ispirata e la reazione dell'apparato stesso è differente a seconda del tipo di sostanza estranea che entra nel corpo umano. I gas inquinanti (CO e NO_x) e PM₁₀ riescono a raggiungere direttamente gli alveoli polmonari, da cui possono eventualmente passare nel sangue. I gas molto solubili in acqua, come la SO₂, vengono assorbiti già a livello tracheo-branchiale, là dove esercitano i loro effetti tossici. In particolare, per quanto riguarda le polveri, è stato evidenziato che la loro deposizione nelle vie respiratorie dipende dal diametro e dalla modalità con cui si inspira l'aria. Particelle con diametro superiore ai 10 µm si depositano sopra la laringe, polveri con diametro compreso tra 5 µm – 10 µm si depositano in corrispondenza dei bronchi, mentre le polveri con diametro di circa 2,5 µm si depositano nei bronchioli. Nel caso si respiri con la bocca si verifica un incremento della deposizione nella zona polmonare e un decremento delle deposizioni nella zona extratoracica.

1.4 *EFFETTI DEGLI OSSIDI DI AZOTO, ANIDRIDE SOLFOROSA E POLVERI SULL'UOMO*

1.4.1 *Studi di Correlazione tra Morbilità e Inquinanti*

Nel seguito sono presentati alcuni studi inerenti le correlazioni tra inquinamento e morbilità o mortalità tra la popolazione. Gli studi sono stati suddivisi a seconda che siano volti alla ricerca di effetti a medio termine (prevalentemente volti al ricercare correlazioni tra incidenza di asma e inquinamento atmosferico) o a breve termine (relazioni tra numero giornaliero di decessi e concentrazione oraria o giornaliera), dando infine particolare rilievo ad uno studio di particolare rilievo scientifico.

Effetti a Medio Termine

Pollution and the Development of Allergy: the East and West Germany Story, Archives of Toxicology, Supplement, 1997

Per studiare eventuali correlazioni tra tipologie di inquinamento atmosferico e manifestazioni di asma e allergie, è stata svolta una ricerca su di una popolazione geneticamente omogenea, ma caratterizzata da diverse condizioni ambientali e sociali.

Sono stati quindi conteggiati i casi di allergie e asma in due campioni di bambini: il primo selezionato in Germania Ovest nel periodo

dell'unificazione, caratterizzata da alti valori di inquinanti da traffico (NO_x), l'altro in Germania Est, caratterizzata da alti valori di inquinanti da industria pesante e riscaldamento (Polveri e SO₂).

È stato rilevato che in Germania Ovest sono più frequenti i casi di allergia mentre il numero di asmatici è simile nei due paesi. Pertanto si sostiene che gli NO_x abbiano statisticamente maggiori effetti di tipo allergenico, mentre gli effetti asmatici sono conseguenti a entrambi le tipologie di inquinamento.

Lifestyle Factors and Pediatric Asthma, 96th International Conference of the American Thoracic Society, 1999

Uno studio condotto in America evidenzia che nonostante vi sia un generalizzato declino di alcuni inquinanti urbani tradizionali (biossido di azoto e zolfo) l'incidenza di asma continua a salire. Ciò ad esempio è ampiamente documentato per l'area di Filadelfia, ove il trend dei casi di asma e concentrazione di inquinanti è opposto (1994).

Numerosi studi condotti in Nord America (USA e Canada) mostrano la sostanziale coincidenza dei ratei di asma in zone rurali ed urbane, sebbene i nati in zone urbane e che continuano a vivere in città nei primi due anni di vita abbiano una leggera maggiore probabilità di contrarre l'asma.

Viceversa, vi è una forte differenza tra i ratei di asma riscontrati in aree urbane e rurali nei paesi in via di sviluppo. In altre parole, la maggiore incidenza di asma nelle aree urbane è un fenomeno legato alle dinamiche di sviluppo di un paese.

SIDRIA, Studi Italiani sui Disturbi Respiratori nell'Infanzia e Ambiente

Uno studio collaborativo italiano, SIDRIA, ha avuto l'obiettivo principale di analizzare la relazione tra diversi sintomi tra cui malattie respiratorie infantili e fattori di rischio, specialmente ambientali. Lo studio è stato condotto su un campione di bambini delle scuole elementari (6-7 anni di età) e di ragazzi delle medie (13-14 anni), in diverse zone, quali municipalità, unità sanitarie locali, province, intere regioni. E' stato possibile tra l'altro indagare sull'associazione tra esposizione a emissioni da traffico veicolare e malattie respiratorie. E' emersa una chiara correlazione tra la densità del traffico di veicoli industriali (camion) nella strada di abitazione dei soggetti esposti e la prevalenza di disturbi respiratori sia correnti, ossia presenti nell'anno dell'indagine, sia della prima infanzia (primi due anni di vita).

Tali risultati mostrano che le emissioni da traffico determinano un significativo aumento del rischio relativo sia per le infezioni broncopolmonari acute nei primi due anni di vita, sia per la sintomatologia respiratoria acuta corrente (verificatasi cioè nel corso dell'anno di intervista). In particolare, l'aumento del rischio non è associato tanto alla densità del traffico in generale, quanto più specificamente a quello di veicoli pesanti, come evidenziato dal numero di linee di autobus e dalla frequenza di passaggio di camion nella via di abitazione.

A partire dagli anni '50 è stata segnalata l'esistenza di un gradiente città-campagna nella mortalità per tumore polmonare, come mostra la rassegna del 1990 di Pershagen e Simonato. Sebbene l'esistenza di questo differenziale sia stata segnalata in tutto il mondo industrializzato, vi è stata ampia controversia sul significato da dare a questa osservazione. Diversi autori hanno sostenuto il ruolo causale dell'inquinamento atmosferico. Nel complesso tuttavia ha avuto largo credito la tendenza a non attribuirle un effettivo significato causale ed in particolare a non attribuire il ruolo di causa al gradiente all'inquinamento atmosferico delle città, o per lo meno ad esso solamente.

La ragione di ciò è da ricercarsi nello scetticismo nei confronti degli studi di correlazione geografica, in quanto intrinsecamente inadatti a tenere conto a livello individuale di fattori come le abitudini voluttuarie, la professione, l'alimentazione, all'interno delle quali si annoverano i più noti ed importanti agenti causali per il tumore del polmone: il fumo di sigaretta, determinati cancerogeni tipici di processi industriali o lavorazioni associate al tumore del polmone e così via.

Effetti a Breve Termine

Mechanism of Pollution Induced Airway Disease: In Vivo Studies. Allergy, 1997
Gli effetti dell'ozono, della SO₂ e degli NO₂ sulle funzioni polmonari in soggetti normali e asmatici sono stati studiati in ambiente controllato.

Livelli di ozono pari a 0,15 ppm inducono effetti infiammatori ai meccanismi neurali, che si riflettono sulle funzioni polmonari solo sui soggetti asmatici, non sui soggetti normali. Inoltre si è verificato che l'ozono induce allergie e broncocostrizioni sugli asmatici con effetti più significativi di qualunque effetto diretto al sistema neurale.

Lo stesso studio ha dimostrato che in soggetti normali la SO₂ non genera alterazioni alle funzioni polmonari, mentre può indurre broncocostrizioni in soggetti asmatici: respirando con il naso si riducono gli effetti della SO₂ sui polmoni, grazie alla mucosa nasale. Anche gli NO₂ possono indurre effetti polmonari negativi negli asmatici, ma in modo decisamente meno rilevante. Sono comunque necessari altri approfondimenti. E' invece certo che la presenza contemporanea di NO₂ e SO₂ ha effetti negativi sulla funzionalità polmonare dei soggetti asmatici.

Frequency of Patients with Acute Asthma in Relation to Ozone, Nitrogen Dioxide, Other Pollutants of Ambient Air and Meteorological Observation, International Archives of Occupational & Environmental Health, 1997

Da una ricerca condotta in Svezia attraverso visite giornaliere a pazienti affetti da asma acuta e correlazione con i valori di concentrazione degli inquinanti e con le condizioni meteorologiche di quel giorno, è emerso che esistono diversi effetti sui bambini e sugli adulti. In particolare, gli effetti sono massimi sui bambini quando la temperatura è bassa e i livelli di concentrazione di NO_x

sono elevati mentre sugli adulti sono massimi con alte temperature e alti valori delle concentrazioni di ozono.

Air Pollution and Respiratory Health among Children with Asthmatic or Cough Symptoms, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, Agosto 1997

Lo studio, condotto nell'inverno 1994 in Finlandia, evidenzia una correlazione tra il Picco Espiratorio Mattutino di bambini asmatici (7-12 anni di età) e il livello di concentrazione atmosferica di PM₁₀, SO₂ ed NO₂. In particolare il PM₁₀ risulta l'inquinante più strettamente correlato con il parametro biomedico analizzato, assieme all'anidride solforosa.

Studio APHEA

APHEA A pan European Study on the Effect of Air Pollution

La Commissione dell'Unione Europea ha avviato un programma per lo studio delle eventuali relazioni esistenti tra livelli di inquinamento urbano a breve termine e salute della popolazione. Al programma hanno aderito 15 paesi tra cui l'Italia e i risultati del primo periodo di studio sono già stati pubblicati (CONCAWE rep. N° 96/61). Attualmente è in fase di preparazione la pubblicazione dei risultati di un secondo periodo di studio.

I principali risultati del primo studio APHEA possono essere così riassunti: sia il particolato che l'anidride solforosa, ossia le principali componenti dello smog di tipo "invernale", sono associate ad un aumento della mortalità giornaliera, quantificabile nel 3% (per l'SO₂) o nel 2% (per il PM₁₀) per ogni incremento di 50 µg/m³ della concentrazione media giornaliera di inquinante. Per quanto riguarda lo smog di tipo "estivo", fotochimico, l'O₃ è associato ad un incremento di mortalità del 3% per ogni incremento di 50 µg/m³ della concentrazione oraria massima giornaliera; i risultati per il biossido di azoto sono meno spiccati, indicando un incremento di mortalità di 1,3% per ogni incremento di 50 µg/m³ della concentrazione oraria massima giornaliera.

Questo effetto è soprattutto evidente nelle città caratterizzate da elevati livelli di particolato fine, e pertanto è stato considerato incerto se l'NO₂ abbia un proprio effetto indipendente dagli altri inquinanti. Per quanto riguarda la morbilità, è stato osservato un marcato effetto dell'O₃, dell'SO₂ e del particolato fine sui ricoveri per malattie respiratorie in generale nella stagione calda e a danno degli anziani. Si è anche notato un analogo effetto sui ricoveri d'emergenza per broncopneumopatia cronica ostruttiva, anche se in questo caso l'effetto dell'SO₂ era osservabile in inverno; gli effetti inoltre sono stati presenti in tutte le età, anche se gli anziani sembrano essere stati affetti più intensamente degli altri.

Il secondo studio APHEA (anni 1997-1999) presenta risultati in sostanziale accordo con il quadro già descritto dal primo studio, evidenziando effetti negativi dell'inquinamento atmosferico sulle fasce d'età svantaggiate (bambini e anziani).

Di seguito si riportano i risultati prodotti dall'Università di Hong Kong. Il *Dipartimento di Community Medicine* dell'Università di Hong Kong ha condotto due studi sulle correlazioni tra inquinamento atmosferico e salute pubblica, il secondo dei quali (*Short Term Effects of Ambient Air Pollution on Public Health in Hong Kong. An APHEA-2 Study, University of Hong Kong, 1999*) attualmente in fase conclusiva, seguendo il protocollo APHEA, descritto in precedenza.

Dalla pubblicazione dei dati parziali (maggio 1999), emerge che:

- rispetto all'omonimo studio europeo emerge un ruolo più importante del biossido di azoto, che sembra associato ad un incremento del 10% dei casi di morte giornalieri dei ricoverati per malattie cardiorespiratorie per ogni aumento di concentrazione media giornaliera di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- lo status sociale e la scolarità dei soggetti (e quindi lo stile di vita dei vari soggetti) è, in Hong Kong, un fattore importante nel determinare l'effetto dell'inquinamento atmosferico: negli strati alti della società l'inquinamento ha un effetto quasi trascurabile mentre è marcato negli strati bassi.

1.4.1.2 *Particolari Studi di Correlazione tra Mortalità, Morbilità e Anidride Solforosa*

Esperimenti in Camera di Controllo

Gli studi effettuati in camera di controllo hanno permesso di valutare gli effetti causati dall'esposizione a diverse concentrazioni di SO_2 sull'uomo senza l'interferenza di altri inquinanti. I dati essenziali che emergono da numerosi studi sono:

- una riduzione della funzionalità media polmonare in soggetti normali ad una esposizione di 10 minuti a concentrazioni pari a $11.440 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $14.300 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- nessuna mutazione nella capacità polmonare per esposizioni inferiori a $2.860 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in individui sani;
- cambiamenti della capacità polmonare di individui asmatici sono state registrate a concentrazioni di $1.144 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Effetti a Breve Termine

Dall'esame degli studi epidemiologici e di mortalità condotti dal 1985 a oggi e sintetizzati dalla WHO nel documento "Air Quality Guidelines, 2000", non è rilevabile un valore soglia sopra il quale si attendono effetti sugli individui soggetti ad una breve esposizione, perché molti di questi studi hanno valutato gli effetti dell'anidride solforosa associata ad altri inquinanti.

Da questi studi si rilevano comunque effetti sull'uomo, quali ricoveri urgenti in ospedale, a concentrazioni giornalieri di 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e medie annue di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Effetti a Lungo Termine

Studi effettuati per valutare gli effetti a lungo termine all'esposizione al SO_2 hanno rilevato, in soggetti esposti a concentrazioni medie annue comprese compreso tra 68-275 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sintomi di difficoltà respiratoria. Tuttavia nelle aree di studio considerate è sempre stata evidenziata una alta concentrazioni di particolato sospeso che rende difficile stabilire una causa effetto diretta tra concentrazioni di SO_2 e sintomi.

1.4.2 Particolari Studi sulla Correlazione tra le Variazioni delle Concentrazioni di PM_{10} – $\text{PM}_{2,5}$ e Mortalità

Effetti a Breve Termine sulla Morbilità e sulla Mortalità

Diversi studi (*Pope et al., Dockery et al.*), condotti per verificare eventuali correlazioni tra la mortalità giornaliera e le concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} , hanno rilevato una relazione tra la mortalità giornaliera e l'incremento della concentrazione di PM_{10} . In particolare è stato rilevato un incremento della mortalità del 13- 16% per ogni aumento di 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione media giornaliera di PM_{10} e dello 0,5 - 0,7% per ogni incremento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione media giornaliera.

In tutti i casi di studio analizzati è stato calcolato il rischio relativo (RR) per verificare il tipo di correlazione tra l'incremento generale delle morti e l'incremento di 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ della media giornaliera della concentrazioni di PM_{10} .

Il rischio relativo (RR) è il rapporto fra l'incidenza negli esposti e l'incidenza nei non esposti. Il rapporto calcolato fornisce valori compresi tra 0 e +infinito, dove:

- valore = 1 significa assenza di correlazione tra malattia ed esposizione;
- valore <1 significa una associazione negativa (il fattore protegge dalla malattia);
- valore >1 indica l'esistenza di una associazione positiva (il fattore può causare la malattia). Valori crescenti indicano associazioni più forti.

I risultati ottenuti negli studi sul PM_{10} analizzati indicano valori di Rischio Relativo > 1.

Risultati simili sono stati riscontrati dall'analisi di studi condotti per valutare la relazione tra le concentrazioni medie giornaliere di $\text{PM}_{2,5}$ e la mortalità giornaliera.

Tabella 1.4.2a

Sintesi della Stima del Rischio Relativo per gli Effetti a Breve Termine sulla Morbilità e sulla Mortalità Associati all'Incremento di 10 µg/m³ nelle Concentrazioni di PM₁₀ e PM_{2,5}

	Rischio Relativo per PM _{2,5} (Intervallo di Confidenza 95%)	Rischio Relativo per PM ₁₀ (Intervallo di Confidenza 95%)
Utilizzo di Broncodilatatore	-	1,0305 (1,0201 – 1,0410)
Tosse	-	1,0356 (1,0185 – 1,0518)
sintomi respiratori bassi (LRS)	-	1,0324 (1,0185 – 1,0464)
Cambiamenti nel picco di flusso espiratorio (PEF)	-	-0,13% (-0,17% a -0,09%)
Ricoveri ospedalieri dovuti a problemi respiratori	-	1,0080 (1,0048 – 1,0112)
mortalità	1,015 (1,011 – 1,019)	1,0074 (1,0062 – 1,0086)

Nota:

(Tabella estratta da "Air Quality Guidelines, WHO 2000")

Dati più recenti sono stati rielaborati dalla WHO (2004) che, per quanto riguarda il PM₁₀, sulla base di 33 studi epidemiologici effettuati in Europa, ha calcolato un Rischio Relativo di 1,006 (Intervallo di Confidenza al 95%: 1,004 – 1,008), considerando tutte le cause di mortalità correlabili ad un incremento giornaliero delle concentrazioni pari a 10 µg/m³.

Effetti a Lungo Termine sulla Morbilità e sulla Mortalità

L'analisi condotta da EPA (2005) su studi realizzati da Harvard Six Cities Study e dall'American Cancer Society, sulle possibili correlazioni tra polveri e mortalità, ha evidenziato un incremento del rischio della mortalità dovuta a diverse cause e a sole cause cardiache e polmonari, compreso rispettivamente in un range di 6–13% e di 6-19% per un incremento di 10 µg/m³ di PM_{2,5} della media annua. Un ulteriore studio dell'American Cancer Society realizzato da Pope nel 2002 ha rilevato un incremento del 13% del rischio di contrarre un tumore ai polmoni per un aumento di 10 µg/m³ di PM_{2,5} della media annua.

Dalla sintesi di studi riportati dal WHO si rileva un incremento delle bronchiti (nei bambini) e una riduzione della funzionalità polmonare in individui esposti a concentrazioni medie annue inferiori a 20 µg/m³ (PM_{2,5}) o a 30 µg/m³ (PM₁₀).

Una sintesi dei risultati degli studi è riportata nella seguente Tabella 1.4.2b.

Tabella 1.4.2b

Sintesi della Stima del Rischio Relativo per gli Effetti a lungo Termine sulla Morbilità e sulla Mortalità Associati all'Incremento di 10 µg/m³ nelle Concentrazioni di PM₁₀ e PM_{2,5}

	Rischio Relativo per PM _{2,5} (Intervallo di Confidenza 95%)	Rischio Relativo per PM ₁₀ (Intervallo di Confidenza 95%)
Morbilità	1,14 (1,04 – 1,24)	1,10
Mortalità	1,07 (1,04 – 1,11)	n.a.
Bronchiti	1,34 (0,94 – 1,99)	1,29 (0,96 – 1,83)

	Rischio Relativo per PM _{2,5} (Intervallo di Confidenza 95%)	Rischio Relativo per PM ₁₀ (Intervallo di Confidenza 95%)
%cambiamento nella funzionalità polmonare, Bambini	- 1,9% (- 3,1% a - 0,6%)	-1,2% (-2,3% a - 0,1%)
%cambiamento nella funzionalità polmonare, adulti	-	-1,0% (n.a.)

*Nota:
(Tabella estratta da "Air Quality Guidelines, WHO 2000")*

1.4.3

Conclusioni

Effetti degli Ossidi Azoto sull'Uomo

La rassegna sopra riportata mostra risultati spesso contrastanti e comunque poco chiari. In alcuni studi il ruolo degli NO_x appare importante, in altri trascurabile. Probabilmente le uniche conclusioni certe sono che:

- gli NO_x non hanno effetti a lungo termine, cancerogeni e teratogeni;
- un incremento della concentrazione media giornaliera di NO_x significativamente inferiore a 50 µg/m³ non comporta incrementi significativi di effetti né a breve né a medio termine.

Le attuali disposizioni legislative comunitarie (che accolgono tra l'altro le raccomandazioni dell'Organizzazione Mondiale della Sanità), riassunte nella *Tabella 1.4.3a* sembrano quindi sufficienti a tutelare la salute pubblica.

A fronte di un valore medio annuo più basso degli attuali livelli medi registrati in molti centri urbani, i livelli di concentrazione massima ammessa sono relativamente elevati ma la frequenza di superamento tollerata è molto bassa: addirittura inferiore a 24 ore complessive in un anno.

Tabella 1.4.3a

Limiti Fissati dalla Direttiva CEE/30/1999 all'Inquinamento da NO₂ per la Protezione della Popolazione

Parametro	Valore [µg/m ³]
Valore Medio Annuo	40
Valore Medio Orario da Non Superare oltre 18 Volte in un Anno Civile	200

Effetti dell'Anidride Solforosa sull'Uomo

Dagli studi sopra citati risulta difficile individuare una soglia univoca delle concentrazioni di SO₂ sotto la quale non sono rilevabili effetti sulla salute umana, ciò a causa della difficoltà, negli studi di morbilità e mortalità, di considerare separatamente gli SO₂ dagli altri inquinanti. Da ciò, WHO consiglia, in via precauzionale di non superare i limiti di 125 µg/m³ della concentrazione media giornaliera e di 50 µg/m³ per le medie annue.

In *Tabella 1.4.3b* si riportano i limiti imposti dalla normativa nazionale, DM n.60/2002, a tutela della salute umana.

Tabella 1.4.3b

Limiti Imposti dal DM n.60/02 per la tutela della Salute Umane alle Esposizioni di SO₂

Parametro	Valore
Limite di 24 h da non superare più di 3 volte per anno civile	Dal 1 gennaio 2005: 125 µg/m ³
Valore limite annuale per la protezione della salute umana. Anno civile	1 gennaio 2007: 46 µg/m ³

Effetti delle Polveri sull'Uomo

In generale sono stati rilevati effetti sulla mortalità con concentrazioni medie giornaliere inferiori a 100 µg/m³ ed è stata evidenziata una relazione certa tra incremento delle concentrazioni delle polveri ed effetti sulla salute umana. La WHO non indica dei valori soglia per le concentrazioni di polveri poiché, nonostante i numerosi studi realizzati negli ultimi anni, non è possibile stabilire una soglia sotto la quale non si verificano effetti sulla salute umana. Comunque, in via "cautelativa" la Comunità Europea e la normativa nazionale prevedono dei limiti da rispettare.

I limiti imposti dalla normativa nazionale a tutela della salute umana, DM n.60/02, sono riportati nella *Tabella* seguente:

Tabella 1.4.3c

Limiti Imposti dal DM n. 60/02 per la Tutela della Salute Umane alle Esposizioni di PM₁₀

Parametro	Valore
Limite di 24 h da non superare più di 35 volte per anno civile	Dal 1 gennaio 2005: 50 µg/m ³
Valore limite annuale per la protezione della salute umana. Anno civile	1 gennaio 2007: 40 µg/m ³

1.5

BIBLIOGRAFIA

- Irving P., Miller J.E. (1984) Can. J. Bot. 62 (pag. 840-846)
- Gould R.P., Mansfield T.A. (1989) Environ. Pollut, 56 (31-3)
- HEALTH IMPACT OF PM10 AND OZONE IN 13 ITALIAN CITIES – WHO 2006
- Lorenzini Giacomo – Cristina Nali (2005) *“Le piante e l’inquinamento dell’aria”* - Edagricole Edizioni
- Rapporti ISTISAN (1994) *“Indicazioni per gli studi di Impatto Ambientale relativamente alla componente salute pubblica – Centrali termoelettriche e turbogas”* Parte II – Istituto Superiore di Sanità
- UN ECE CLRTAP Task Force on Mapping and the CCE (1996) *“Manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded”* Pubblicato da Umweltbundesamt, Berlino, Germania - ISSN 0722-186X
- WHO (2000) *“Air quality guidelines”* - WHO Regional Publications, European series n°23 Copenhagen