

# Atmosfera, Aria e Inquinamento di V.Pessina, E. de'Munari

## SOMMARIO

1. Introduzione
2. Ossidi di zolfo
3. Ossidi di carbonio
4. Ossidi di azoto
5. Ozono
6. Composti organici
7. Particolati
8. Metalli

## Introduzione\_

L'atmosfera terrestre, comunemente chiamata aria, è un aerosol di dispersioni di particelle liquide e solide in un involucro gassoso costituito da una miscela di gas composta da Azoto(N<sub>2</sub>), Ossigeno(O<sub>2</sub>), vapore acqueo, Argon (Ar), Biossido di Carbonio (CO<sub>2</sub>) e gas rari.

**Tabella 1 : Composizione dell'aria**

GAS	Formula	P.M.	Comp. in volume		Comp. in peso		g
			%	ppm*	%	ppm	
Azoto	N <sub>2</sub>	28.0	78.09	780 900	75.51	755 100	38 648 x 10 <sup>20</sup>
Ossigeno	O <sub>2</sub>	32.0	20.95	209 500	23.15	231 500	11 841
Argo	Ar	39.9	0.93	9 300	1.28	12 800	0.6555
Anidride Carbonica	CO <sub>2</sub>	44.0	0.03	300	0.04	460	0.0233
Neon	Ne	20.2		18		12.5	0.000636
Elio	He	4.0		5.2		0.72	0.000037
Metano	CH <sub>4</sub>	16.0		2.2		1.2	0.000062
Cripto	Kr	83.8		1		2.9	0.000146
Ossido nitroso	N <sub>2</sub> O	44.0		1		1.5	0.000002
Idrogeno	H <sub>2</sub>	2.0		0.5		0.03	0.000002
Xeno	Xe	131.3		0.08		0.36	0.000018

\*(T = 0°C, 273 °K, P = 1 atm., 101.3 pA)

La parte di atmosfera che ci interessa più da vicino è la cosiddetta "troposfera", avente uno spessore variabile dai 6 ai 17 Km a partire dalla superficie terrestre, in cui è concentrata la maggior quantità di aria che respiriamo e che quindi permette la continuazione della vita così come la conosciamo. Questa, purtroppo, è anche quella maggiormente influenzata dall'inquinamento atmosferico, eccezione fatta per l'ozonosfera situata ad una altezza maggiore che risente di particolari e più resistenti tipi di inquinanti quali i clorofluorocarburi che partecipano direttamente alla diminuzione dell'ozono in essa contenuto.

Caratteristica peculiare della troposfera è la diminuzione costante di temperatura con l'altezza (6°C per Km.), che permette la dispersione degli inquinanti in quota: tant'è che in particolari condizioni, ossia quando la temperatura comincia a crescere con l'allontanarsi dalla superficie terrestre (stato di inversione termica) gli inquinanti vengono schiacciati e mantenuti a livello del suolo.

La composizione dell'atmosfera, così come riportata in tabella, è giunta a noi grazie ad un equilibrio dinamico instauratosi durante le varie ere. L'introduzione di nuove sostanze o la variazione della concentrazione di quelle già esistenti porta ad un continuo spostamento del punto di equilibrio di cui "l'effetto serra", ossia l'aumentata concentrazione di biossido di carbonio principale imputato della formazione di una cappa che provoca l'aumento della temperatura a livello del suolo, è sicuramente la conseguenza più conosciuta.

In base alle modalità della loro produzione gli inquinanti si possono suddividere in:

- inquinanti primari: quelli che vengono direttamente immessi nell'atmosfera tal quali sia a causa di processi umani che naturali;
- inquinanti secondari: quelli che si formano per reazioni chimico fisiche tra gli inquinanti primari stessi o con l'atmosfera attivati o meno dall'energia solare;

**Tabella 2: Inquinanti primari, secondari e loro interazioni**

Inquinanti primari		Componenti in atmosfera		Inquinanti secondari	Tipo reazione
gas acidi NH <sub>3</sub>	+	particelle basiche H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	=	particelle saline (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	reazione acido base
SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, part. atmosf. NO	+	O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	=	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ossidazioni
	+	O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>	=	NO <sub>2</sub>	
Idrocarburi, HC+	+	NO, O <sub>3</sub>	=	NO <sub>2</sub>	reazioni fotochimiche
	+	rad. solare, O <sub>2</sub>	=	O <sub>3</sub>	
	+	rad. solare, NO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	=	NO	
	+	O <sub>3</sub>	=	radicali liberi	

# Ossidi di Zolfo

## Generalità

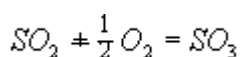
L'assenza di colore, l'odore acre e pungente e l'elevata reattività a contatto con l'acqua sono le caratteristiche principali degli ossidi di zolfo, genericamente indicati come SO<sub>x</sub>.

In natura tale tipo di inquinamento è causato dalle eruzioni vulcaniche. A livello antropico, SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub>, sono prodotti nelle reazioni di ossidazione per la combustione di materiali in cui sia presente zolfo quale contaminante, ad esempio gasolio, nafta, carbone, legna, ed altro, utilizzati, in misura molto maggiore sino a qualche anno fa, per la produzione di calore, vapore, energia elettrica ed altro. Fino a non molto tempo addietro veniva, infatti, usato come indicatore dell'inquinamento di origine umana.

Inoltre potenzialmente non trascurabile è l'apporto dell'industria chimica ed in particolare in impianti destinati alla produzione dell'acido solforico e in tutti quei processi produttivi in cui viene utilizzato come tale o sottoforma di suo composto.

## Reazioni caratteristiche a livello atmosferico

L'SO<sub>2</sub> è caratterizzato da una buona stabilità chimica in atmosfera che gli consente di mantenersi in sospensione aerea anche per lunghi periodi salvo poi trasformarsi in SO<sub>3</sub>, infatti le gocce di acqua presenti in atmosfera ed, anche se molto più lentamente, la via fotolitica trasformano l'SO<sub>2</sub> in atmosfera in SO<sub>3</sub>.



La conseguente idrolisi produce quindi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:



che in dispersione di aerosol acquoso funge da assorbitore per ulteriori quantità di SO<sub>2</sub>, sostanze basiche e tracce di metalli e cationi.

## Effetti sull'ambiente e sull'uomo

Al momento del dilavamento atmosferico durante le giornate di pioggia la ricaduta degli inquinanti derivanti dagli ossidi di zolfo è una delle componenti principali per la formazione delle "piogge acide" i cui effetti sulla vegetazione boschiva, defoliazione ed inaridimento di vaste zone, e sul patrimonio monumentale nelle grandi città sono sotto gli occhi di tutti. Si è quindi cercato creando una apposita legislazione di incentivare, con risultati differenti a seconda delle zone, l'utilizzo di combustibili il cui contenuto di zolfo sia molto basso se non addirittura assente (combustibili vegetali, metano) o di imporre impianti di abbattimento al fine di limitare l'emissione di fluidi gassosi con alti contenuti di tali inquinanti.

A livello dell'uomo si possono avere effetti che vanno da semplici irritazioni alle vie respiratorie e oculari, nel caso di una esposizione acuta, sino a fenomeni di bronco costrizione per esposizioni prolungate a quantitativi anche non elevati. A livello della vegetazione si possono avere fenomeni di danni cronici fino a danni acuti con distruzione del tessuto linfatico (necrosi).

**Tabella 3: Valori indicativi degli effetti dell SO<sub>2</sub> sull'uomo**

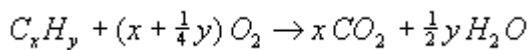
Principali effetti sull'uomo			Conc. Troposferica Media
livello di soglia di presenza avvertibile	0.3	ppm	0.2 ppb
primi effetti sanitari	1.0	ppm	
fenomeni di broncostrizione	1.6	ppm	
Principali effetti sulla vegetazione			
livello di soglia inizio danni	0.15	ppm	
livello danni cronici vegetazione sensibile	0.3	ppm	
livello di necrosi	1-2	ppm	

## Ossidi di Carbonio

### Generalità

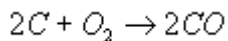
Gli ossidi di carbonio sono i tipici prodotti derivanti dalla combustione, sono incolori e inodori. La  $CO_2$  (anidride carbonica) è anche un costituente naturale dell'aria che, per la sua capacità di assorbire i raggi infrarossi, gioca un ruolo importante per il bilancio termico dell'atmosfera terrestre. Il CO (ossido di carbonio) viene formato in modo consistente durante la combustione di combustibili con difetto di aria e cioè quando il quantitativo di ossigeno non è sufficiente per ossidare completamente le sostanze organiche a  $CO_2$ , ciò avviene in modo consistente e sistematico in combustioni effettuate a volume costante come quella che avviene nei motori a scoppio.

Quindi l'anidride carbonica o biossido di carbonio e l'ossido di carbonio o monossido di carbonio, vengono generati sia antropicamente che naturalmente durante un processo di combustione che, se condotto in modo corretto e completo, darebbe luogo solo a  $CO_2$  e  $H_2O$ , come espresso dalla:

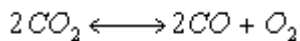
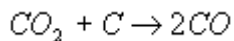


ma con un rapporto di formazione di CO e  $CO_2$  in stretta dipendenza dalle condizioni operative temperatura e rapporto combustibile comburente poiché:

In funzione dell'ossigeno presente si ha:



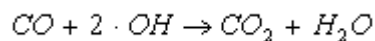
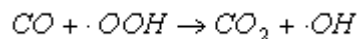
In funzione della temperatura elevata si ha:



Industrialmente il CO è contenuto negli effluenti gassosi degli impianti di produzione dei gas di sintesi per la produzione di idrogeno, metanolo e nella rigenerazione dei catalizzatori.

### Reazioni caratteristiche a livello atmosferico

Gli ossidi di carbonio sono composti generalmente piuttosto stabili tanto che le uniche reazioni, non interessanti le loro interazioni con le grandi biomasse ambientali (mari, vegetazione, inerti), avvengono a livello della troposfera e sono fondamentalmente volte alla conversione di CO in  $CO_2$ , grazie alla azione di radicali perossidrilici (è OOH) e idrossilici (è OH) formati da reazioni fotochimiche:



### Effetti sull'ambiente e sull'uomo

Elevate quantità di CO sembra portino ad una riduzione della capacità di fissare l'azoto da parte dei batteri presenti sulle radici delle piante con conseguente ridotta capacità di sviluppo della vegetazione.

L'organismo umano nella sua funzione respiratoria è largamente indipendente dalle variazioni rilevate del livello di  $CO_2$  in atmosfera e quindi generalmente per questo motivo non viene analizzata sistematicamente. In ambienti chiusi, al contrario, la  $CO_2$  potrebbe diventare un potenziale veleno, il suo accumulo crea fenomeni di soffocamento progressivo e già a concentrazione eccedenti il 6% all'insorgere di danni acuti.

Per la vegetazione quantitativi attorno all' 1% non sono dannosi anzi portano ad incrementare l'assimilazione e quindi ad un aumento della crescita.

Per quanto riguarda gli effetti del CO sulla salute umana è nota la sua pericolosità data dalla capacità di fissarsi a livello emoglobinico circa 200 volte maggiore di quella dell'ossigeno. Questo porta ad una immediata riduzione delle capacità vitali e di conseguenza, permanendo in zone in cui il CO sia presente in quantità elevate, la morte, motivo per cui il suo essere inodore lo rende un micidiale killer.

**Tabella 4: Valori indicativi degli effetti del CO sull'uomo**

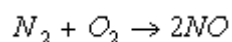
Concentrazioni per un'ora di esposizione , sintomi			Conc. Troposferica Media
nessun problema apprezzabile	500	ppm	0.1-0.2 ppm
primi effetti apprezzabili	650	ppm	
nausa, vomito, mal di testa e disagio	1500	ppm	
pericolo per la sopravvivenza	1500	ppm	
fatale	>3000	ppm	

# Ossidi di Azoto

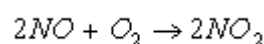
## Generalità

Con il termine  $NO_x$  vengono indicati genericamente l'insieme dei due più importanti ossidi di azoto a livello di inquinamento atmosferico ossia l'ossido di azoto, NO, e il biossido di azoto,  $NO_2$ , gas bruno di odore acre e pungente.

L'ossido di azoto, NO, è formato principalmente per reazione dell'azoto contenuto nell'aria (c.a. 70%  $N_2$ ) con l'ossigeno atmosferico in processi che avvengono ad elevata temperatura e in special modo durante le combustioni per la produzione di calore, vapore, energia elettrica, energia meccanica (autotrazione, esplosioni), incenerimento, ecc..



Una volta formatosi, l'ossido di azoto, interagendo con l'ossigeno durante il processo di raffreddamento dei fumi, sempre in eccesso in un processo di combustione, si trasforma parzialmente in biossido di azoto con formazione di un miscuglio dei due ossidi chiamato  $NO_x$ .



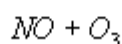
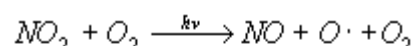
Entrambe le suddette reazioni sono strettamente correlate con la temperatura, con il residuo di ossigeno presente ed, in particolare per il biossido di azoto, con il quadrato della concentrazione del monossido. In generale si può ritenere che la produzione di  $NO_2$ , quale inquinante primario, sia pari al 10 % dell'ossido di azoto complessivamente generato.

Il maggiore responsabile dell'inquinamento antropico da ossidi di azoto è il traffico autoveicolare che rappresenta quasi il 50% della produzione globale ed in particolare per l'utilizzo dei motori diesel.

Industrialmente questi possono essere emessi essenzialmente dagli impianti di produzione dell'acido nitrico e da quelli che lavorano composti azotati o che utilizzano direttamente l'acido nitrico come composto base come per la produzione di fertilizzanti, acido adipico, nylon 6.6, ecc..

## Reazioni caratteristiche a livello atmosferico

La notevole reattività fotochimica è sicuramente la caratteristica peculiare degli ossidi di azoto. Le reazioni fotochimiche avvengono in seguito all'assorbimento di energia proveniente dalla radiazione solare da parte di molecole, atomi e ioni. Questo tipo di reattività li rende precursori di una innumerevole serie di reazioni radicaliche che avvengono nella troposfera le cui fondamentali sono riassunte nel seguente "Ciclo Fotolitico":



Da queste reazioni si vede che se non intervenissero altri fattori si manterrebbero costanti i rapporti tra  $NO_2$  e NO presenti in atmosfera. In realtà la presenza di altre molecole accettrici di radicali, quali ad esempio particolari idrocarburi, favoriscono l'accumulo di  $NO_2$  e di ozono,  $O_3$ . Ulteriori reazioni non ancora completamente studiate sono quelle che portano nel giro di tre, quattro giorni alla scomparsa completa sia di NO che di  $NO_2$ , si pensa per la loro trasformazione in presenza di umidità atmosferica in acido nitrico e di conseguenza in nitrati che ricadono poi al suolo con le piogge o sotto forma di particolati.

## Effetti sull'ambiente e sull'uomo

I maggiori effetti diretti sull'ambiente degli ossidi di azoto sono dovuti alla loro ricaduta sotto forma di acido nitrico che creano zone di aggressione puntiformi ad elevata concentrazione, sia dagli ossidi in quanto tali. Esperimenti condotti hanno portato a verificare che 1 ppm di  $NO_2$  per 24 ore di esposizione crea già le prime necrosi a livello del fogliame, mentre 10 ppm di NO per 24 ore debilitano già in modo sensibile la fotosintesi clorofilliana.

Sull'uomo è stato riscontrato che l'NO<sub>2</sub> pare essere 4 volte più pericoloso dell' NO ma data la facilità del loro interscambio entrambi sono potenzialmente pericolosi. Particolarmente significative sono comunque le esposizioni prolungate anche a bassi tassi di ossidi di azoto tanto che si sta studiando la possibilità che ben più importante debba essere l'apporto di ossidi di azoto respirati durante il soggiorno nelle abitazioni (inquinamento indoor) dovuto all'utilizzo dei fornelli a gas o alle caldaie di riscaldamento acqua e/o ambiente. Oltre alla loro pericolosità intrinseca, essendo questi particolarmente reattivi specialmente con sostanze di origine idrocarburica, si arriva alla formazione di composti la cui tossicità ne risulta fortemente amplificata.

**Tabella 5: Valori indicativi degli effetti del NO sull'uomo**

Principali effetti sull'uomo			Con. Troposferica Media
presenza avvertibile	0.12	ppm	trascurabile
irritazioni delle mucose e degli occhi	15	ppm	
problemi di respirazione edemi polmonari	100	ppm	

# Ozono\_

## Generalità

L'ozono (formula chimica  $O_3$ ), è un gas di colore azzurro pallido, di peso molecolare circa doppio rispetto a quello dell'aria, che assorbe fortemente la radiazione solare UV (ultravioletta) nella regione spettrale da 200 a 350 nm e debolmente attorno a 600 nm risultando quindi un formidabile schermo di protezione per le temibili radiazioni ultraviolette pericolose per le forme di vita del nostro pianeta.

Nella troposfera non vi sono emissioni significative di ozono prodotte dall'uomo e l'ozono presente è di origine secondaria, ovvero prodotto naturalmente da reazioni fotochimiche che coinvolgono direttamente l'ossigeno atmosferico, reazioni attualmente enormemente amplificate dagli inquinanti immessi direttamente in atmosfera dall'uomo (precursori). Nelle aree non inquinate del pianeta le concentrazioni di fondo osservate variano da circa 40 a 160  $\mu g/m^3$ , dovuto essenzialmente al trasporto di ozono dall'alta troposfera, dalla stratosfera (20-40 Km.) e da produzione locale provocata da irraggiamento solare (scarsamente significativa al livello del mare ma più significativa in quota es. in montagna); quantitativi di ozono sensibilmente inferiori vengono prodotti dalle scariche atmosferiche durante i temporali.

Nelle aree popolate del pianeta interessate dalla presenza di inquinanti primari di origine umana il principale meccanismo di produzione dell'ozono è costituito dal processo chimico-fisico che da origine allo smog fotochimico.

Tali fenomeni si presentano generalmente nelle aree urbane interessate da intenso traffico di autoveicoli e nelle regioni intensamente industrializzate, specie con alta intensità di industrie petrolchimiche. Esistono anche casi di inquinamento fotochimico in aree rurali, a causa del trasporto degli inquinanti dovuto ai venti, dalle aree metropolitane e dalle zone ad alta industrializzazione pertanto l'inquinamento da ozono non esplica i suoi potenziali pericoli solo all'interno di zone ad elevato inquinamento ma può essere responsabile di problemi anche in zone potenzialmente non interessate direttamente dall'inquinamento atmosferico.

Per smog fotochimico si intendono i prodotti ottenuti dalle svariate reazioni possibili tra ozono, ossidi di azoto e VOC (composti organici volatili, tra cui gli idrocarburi provenienti dalle benzine) innescate dalla radiazione solare di cui l'ozono rappresenta oltre che il precursore anche il principale tracciante.

## Reazioni in atmosfera

L'ozono reagisce con i VOC e  $NO_x$  con reazioni alquanto complesse dando origine a radicali ed a prodotti finali anche altamente tossici quali i perossilcitrati (PAN) in un processo noto in letteratura come ciclo fotolitico i cui prodotti finali sono identificati genericamente con il nome di inquinanti fotochimici.

La grande importanza attribuita all'inquinamento fotochimico dipende dal fatto che il tempo di permanenza dell'ozono nell'atmosfera (qualche giornata) è lungo abbastanza da consentire la sua propagazione a grande distanza, una volta che si sia formato e ciò accade normalmente quando un anticiclone (alta pressione) si stabilizza in zone caratterizzate da intensa emissione di VOC e  $NO_x$  (aree urbane e altamente industriali).

Il principale processo del ciclo fotolitico implica una fase di produzione ed una di rimozione dell'ozono da parte degli ossidi di azoto ma da quanto verificabile sperimentalmente questi non sono sufficienti a spiegare le elevate concentrazioni di  $O_3$  osservate nelle aree urbane, bisogna quindi per forza considerare le complesse e poco studiabili reazioni che coinvolgono anche i VOC.

La descrizione del complesso fenomeno di formazione dello smog fotochimico si avvale di modelli teorici che descrivono le principali reazioni coinvolte e gli stati di equilibrio conseguenti più o meno complessi la cui completezza non riesce a spiegare tutti gli aspetti coinvolti. Schematicamente si può quindi descrivere il tutto come segue:

- a. gli idrocarburi vengono ossidati e la loro concentrazione si abbassa nel sistema;
- b. i radicali formati per ossidazione di R. ed RCO convertono rapidamente NO in  $NO_2$ , la concentrazione di  $NO_2$  sale mentre quella di NO scende;
- c. quando la concentrazione di NO si avvicina a zero il normale processo di eliminazione dell'ozono non interviene e aumenta la concentrazione di  $O_3$  nell'atmosfera;
- d. compaiono e salgono in concentrazioni gli inquinanti secondari, prodotti dall'ossidazione di idrocarburi;



- e. quando la concentrazione di NO diventa sufficientemente bassa i radicali perossiacetilici possono reagire con NO<sub>3</sub> per dare i PAN.

In particolare a causa della reazione (c) si ha l'impossibilità della coesistenza in grandi concentrazioni di O<sub>3</sub> e di NO. La concentrazione di O<sub>3</sub>, se presente, tende a ridursi in vicinanza di sorgenti di NO, come strade ad alta densità di traffico.

Nel ciclo giornaliero si verifica sperimentalmente che nelle ore che precedono l'alba, quando l'attività umana è al minimo, la concentrazione dei primari è stazionaria e la concentrazione dei secondari è ad un livello minimo. All'aumentare della attività umana inizia l'accumulare di NO<sub>x</sub> (in particolare NO) ed idrocarburi e quando l'intensità della radiazione UV diventa tale da generare quantità di O<sub>3</sub> considerevoli, l'ossido di azoto viene da questo convertito in biossido di azoto in cui inizia l'aumento dell'ozono che raggiungerà il massimo a metà giornata. Mentre aumenta O<sub>3</sub> diminuisce NO<sub>2</sub>, calano gli idrocarburi e si accumulano aldeidi, chetoni e PAN, solo verso sera la luce non è più sufficiente per generare nuovo O<sub>3</sub> per convertire tutto l'NO prodotto in NO<sub>2</sub> che consumerà l'O<sub>3</sub> accumulatosi durante la giornata facendone diminuire i livelli.

### Effetti sull'ambiente e sull'uomo

Sulle piante gli effetti dell'ozono sono segnalati da macchie o piccoli punti di necrosi cellulare sulla superficie delle foglie o da bruciature a livello dei germogli. Pare altresì che più la pianta sia ricca di zuccheri e più sia resistente all'ozono fattore che influisce notevolmente nella determinazione del valore soglia di tossicità.

La pericolosità nei confronti dell'uomo deriva dall'alto potere ossidante della molecola di ozono e della sua capacità di giungere facilmente a livello alveolare, i primi sintomi sono irritazione degli occhi e disturbi respiratori.

Grazie alla sua reattività nei confronti delle matrici organiche appare chiaro che qualunque zona dell'apparato respiratorio è un bersaglio per questo inquinante, se una esposizione acuta crea problemi in generale risolvibili una volta cessata l'esposizione per un periodo di almeno 48 ore, una esposizione prolungata a quantitativi anche non elevati provoca fenomeni di sensibilizzazione ed irritazione persistenti.

**Tabella 6: Valori indicativi degli effetti dell'O<sub>3</sub> sull'uomo**

Principali effetti sull'uomo			Conc. Troposferica Media
presenza avvertibile	0.05	ppm	40 a 160 mg/m <sup>3</sup>
secchezza delle fauci	0.1	ppm	
manca di coordinazione (2h di esposiz.)	1-3	ppm	
edema polmonare (2h di esposiz.)	9	ppm	

# Composti Organici

## Generalità

Con la dicitura composti organici volatili, VOC - Volatile Organic Compound, si intendono tutta quella serie di composti organici, prodotti dalle attività umane o naturali, che si trovano allo stato di gas alle condizioni di temperatura e pressione esistenti a livello troposferico. Possono essere semplici idrocarburi saturi o insaturi a molecola lineare e non, composte esclusivamente da carbonio e idrogeno, o molecole più complesse in cui, tra i più diffusi, sono presenti atomi di azoto, ossigeno e cloro. A livello naturale si ha la presenza di 1.0-2.0 ppm di metano, la più semplice molecola organica esistente, e valori inferiori a 0.1 ppm per la totalità di tutti gli altri idrocarburi più complessi.

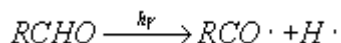
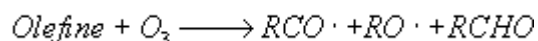
Questi valori sono giustificabili dall'elevato numero di processi di decomposizione biologica della materia organica dalle biomasse, quantità più modeste sono invece attribuibili ad attività geotermiche, dai giacimenti fossili, di gas naturale, e di petrolio e nei processi di combustione.

Per quanto riguarda l'introduzione di composti organici da parte dell'uomo si può affermare che la fonte maggiore è sicuramente quella dovuta al traffico autoveicolare. Infatti mentre nei fumi di combustioni delle centrali termiche (combustione a pressione costante) il contributo all'inquinamento atmosferico in idrocarburi incombusti, o parzialmente combusti sotto forma di aldeidi o acidi organici è modesto, quello dovuto alla combustione per la motorizzazione risulta assai elevato (combustione a volume costante).

Nei processi industriali le maggiori fonti sono derivanti dai processi di verniciatura, produzione di monomeri per l'industria delle materie plastiche e alle industrie collegate alla produzione e utilizzo dell'etilene, a livello civile non sono altresì trascurabili i contributi derivanti dai processi di lavaggio tessuti e grassaggio di particolari da sottoporre al processo di verniciatura.

## Reazioni in atmosfera

Essendo molto variegato il numero di possibili molecole organiche immesse in atmosfera è praticamente impossibile la descrizione e la conoscenza di tutti i processi in cui queste sono implicate, certamente il gruppo di reazioni in cui sono maggiormente implicate sono i processi fotochimici, le cui reazioni più significative si possono riassumere come segue:



Ricordiamo inoltre come la produzione di un elevato numero di radicali liberi risulta determinante sia a livello del ciclo degli ossidi di azoto che per quello dell'ozono e come anzi siano direttamente correlate tutte queste reazioni.

## Effetti sull'ambiente e sull'uomo

Per la flora gli idrocarburi più nocivi sono soprattutto quelli difficilmente metabolizzabili che danno di conseguenza fenomeni di accumulo con i problemi connessi.

**Tabella 7: I più significativi inquinanti organici in atmosfera**

Concentrazione indicativa in zone urbane			Conc. Troposferica Media
metano	1.6 - 10	ppm	Totale sost. organiche 1.0 - 3.0 ppm
etano	0.05-0.50	ppm	
propano	0.05-0.40	ppm	
n-butano, isobutano	0.1-0.75	ppm	
n-pentano, isopentano	0.1-0.7	ppm	
etilene	0.012-0.25	ppm	
acetilene	0.015-0.25	ppm	
propilene	0.005-0.05	ppm	
benzene, toluene, etil-benzene, xilene	0.03-0.15	ppm	
aromatici policiclici	0.01-0.2	ppm	

L'etilene, per dare un esempio di un composto specifico, già con valori di circa 1 ppm da inibizione allo sviluppo, cambiamento di colore e in alcuni casi morte della vegetazione.

Sull'uomo gli effetti sono fondamentalmente dovuti o a macromolecole delle quali si conoscono i possibili effetti sulla salute umana, ad esempio pireni e policiclici aromatici in genere, IPA, o a molecole attivate per reazione fotochimica e che quindi, essendo generalmente piuttosto reattive svolgono un'azione di sicuro interesse tossicologico, oppure molecole tal quali di cui si conoscono gli effetti nocivi quale può essere il benzene.

Interessante è notare che la maggior azione a livello tossicologico viene espletata qualora questi composti siano supportati su pulviscolo o particolato che funge da substrato di trasporto per una sua introduzione permanente a livello polmonare.

# Particolati

## Generalità

Il particolato, comunemente identificato con il termine di polvere, è un inquinante presente sia naturalmente che dovuto alle attività umane, prodotto di arrivo della frantumazione, di degrado o di produzione di un materiale è anche generato da reazioni specificatamente chimiche o fisiche quali la crescita di cristalli in fase gassosa. Fattori intrinseci di pericolosità dei particolati è la loro granulometria associata alla specifica attività a livello polmonare. Una prima suddivisione di massima li raggruppa in Polveri Fini il cui diametro è inferiore a 100  $\mu\text{m}$  e polveri grossolane il cui diametro è maggiore di 100  $\mu\text{m}$  .. In generale quelli che interessano la troposfera che ci circonda possono avere diametri da 0.1 $\mu\text{m}$  a 100 $\mu\text{m}$  ed in base alla loro grossezza varia la loro capacità di restare sospesi a livello aereo.

## Reazioni in atmosfera

Qualora il particolato sia costituito da sostanze chimicamente attive, queste danno luogo a tutte quelle reazioni superficiali caratteristiche per i composti che lo costituiscono.

Di notevole e maggiore interesse è però la capacità anche di particolati inerti di adsorbire sostanze che si rendono così disponibili a reazioni con elevata reattività in quanto allo stato micronizzato e attivato.

Non a caso il particolato creato dagli autoveicoli è ben più pericoloso di quello dovuto alle industrie poiché sul primo, generalmente particelle carboniose, possono essere adsorbiti tutta una serie di inquinanti, soprattutto organici, che vengono quindi dispersi su un supporto particolarmente efficace sia come catalizzatore intrinseco che come veicolo di trasporto ai polmoni, mentre in generale i processi industriali danno granulometrie più grosse che quindi permangono per un minor tempo in atmosfera.

## Effetti sull'ambiente e sull'uomo

Gli effetti ambientali del particolato sono direttamente connessi con la pericolosità intrinseca delle sostanze che lo formano o che sono adsorbite su di esso. Particolari effetti vengono riscontrati sulla vegetazione che risente in maniera sensibile sia delle particelle di polvere in quanto tali che di molte delle sostanze che su di esse si trovano adsorbite, metalli, sostanze organiche e altre.

Gli effetti sull'uomo sono evidenti tanto più le particelle sono piccole ed attive sia chimicamente che per la loro struttura (quarzo) o forma (amianto), in quanto superate le barriere naturalmente create dal nostro organismo si annidano a livello delle mucose polmonari per parecchio tempo dando così la possibilità ad eventuali reazioni nocive di instaurarsi nelle condizioni più favorevoli.

Sembra comunque che anche il pulviscolo inerte con diametro inferiore a 20  $\mu\text{m}$  , qualora la concentrazione superi la media annuale di 0.1 mg/m<sup>3</sup> determini una maggiore incidenza di infiammazioni croniche delle vie aeree, riniti faringiti, laringiti, bronchiti.

**Tabella 8: Provenienza ed effetti indicativi dei particolati sull'uomo**

Effetto	Diametro	Provenienza
fermate dal naso e dalla bocca	$\varnothing > 10 \mu\text{m}$	processi meccanici, es. Erosione vento
	$5 \mu\text{m} < \varnothing < 10 \mu\text{m}$	tipi di terreno, determinate combustioni, alcuni sali marini
depositi a livello dei bronchioli	$1 \mu\text{m} < \varnothing < 5 \mu\text{m}$	combustione e aerosol fotochimici
	$0.5 \mu\text{m} < \varnothing < 1 \mu\text{m}$	
possibili depositi alveolari	$0.1 \mu\text{m} < \varnothing < 0.5 \mu\text{m}$	praticamente derivanti dai soli processi di combustione
	$\varnothing < 0.1 \mu\text{m}$	

# Metalli

## Generalità

Con questa denominazione si raggruppano una serie di elementi metallici che si ritrovano nel particolato atmosferico a seguito del loro adsorbimento come da parte del piombo generato dal traffico autoveicolare o di specifici metalli immessi direttamente dalle industrie che li utilizzano nei più svariati processi produttivi, che come parte integrante o inquinante del materiale stesso areodisperso.

## Reazioni in atmosfera

Generalmente considerati come facenti parte del particolato non sono responsabili di particolari reazioni a livello atmosferico a causa della loro necessaria attivazione se presenti allo stato metallico o per la necessaria presenza di ulteriori molecole per le quali si comportano in generale come catalizzatori per la produzione di composti nocivi.

## Effetti sull'ambiente e sull'uomo

I loro effetti sono sostanzialmente diversi a seconda del tipo di metallo considerato e la così grande casistica non ci permette di darne una visione di assieme. Per quanto riguarda la salute dell'uomo ci limitiamo invece a considerare i metalli più indicativi con i loro effetti.

**Tabella 9: Metalli più importanti ed effetti indicativi sull'uomo**

Metallo	Fonte Principale	Effetto
Nichel	nafta, olii, acciaio, leghe	cancro polmonare
Boro	carbone, vetrerie, ceramiche	non tossico se non sotto forma di borani
Arsenico	carbone, petrolio	può causare cancro
Mercurio	carbone, pile	danno sistema nervoso , a volte morte
Cadmio	carbone, lavorazione zinco	sospetto malattie cardiovascolari, ipertensione
Piombo	Benzina super	danni al cervello, convulsioni