

GLI INQUINANTI INORGANICI

Gli inquinanti inorganici

Composti inorganici

Raggruppati in composti metallici e non metallici. I composti metallici comprendono i metalli e i radionuclidi.

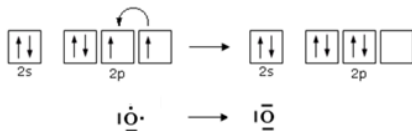
I composti inorganici non metallici sono:

- composti inorganici dell'azoto
- composti inorganici dell'ossigeno
- composti inorganici del carbonio
- composti inorganici dello zolfo e del fosforo
- composti del silicio (silicati, amianto)

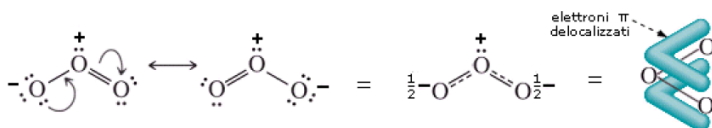
Il particolato atmosferico (polvere aerodispersa nell'atmosfera) può contenere sia composti organici che inorganici.

I composti inorganici dell'ossigeno nell'ambiente

L'ossigeno possiede una configurazione $1s^2, 2s^2, 2p^4$.



L'ossigeno è presente nell'atmosfera (oltre come acqua) come ossigeno molecolare, O_2 , ozono, O_3 , acqua ossigenata, H_2O_2 e radicali OH^\bullet e HO_2^\bullet . Le specie O_2 e O_3 assorbono le radiazioni UV (oltre che N_2).



La radiazione luminosa è costituita da un insieme di lunghezze d'onda, suddivise in zone:

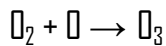
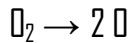
100–200 nm: regione ultravioletto (UV) nel vuoto

200–400 nm: regione UV

400–800 nm: regione visibile (VIS)

800–25000 nm: regione infrarossa (IR).

La regione UV si suddivide in tre zone: UV-A (320–400nm), UV-B (280–320 nm) e UV-C (200–280 nm). L'ozono O_3 si forma nella stratosfera per dissociazione delle molecole di O_2 (raggi con $\lambda < 320$).



L'ossigeno atomico si trova in uno stato eccitato, non stabile. L'ozono esercita un effetto di protezione assorbendo le radiazioni UV-C.

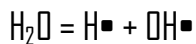


Esposizione ed effetti sulla salute

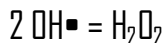
L'ozono è il principale ossidante presente nello smog fotochimico. L'esposizione a ozono avviene per via inalatoria e i suoi effetti dannosi più evidenti si hanno sulle mucose che ne è a contatto. Il rapporto tra concentrazioni indoor e concentrazioni outdoor può raggiungere il valore di 0,8 in ambienti molto ventilati e ridursi a valori vicini allo 0 in ambienti con ventilazione. Generalmente si ha un valore del rapporto tra concentrazioni indoor/outdoor inferiore a 0,5. I valori nell'aria sono contenuti nell'intervallo 80–120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Formazione di specie radicaliche dell'ossigeno (OH^\bullet e OOH^\bullet) ed acqua ossigenata

Il radicale OH^\bullet si forma dalla fotolisi dell'acqua:



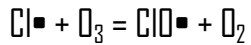
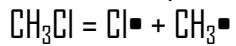
La reazione tra 2 OH^\bullet o 2 OOH^\bullet produce H_2O_2 :



Il buco dell'ozono

Riduzione della concentrazione di ozono nella stratosfera sopra l'Antartide, in seguito a reazioni radicaliche. Le specie reagenti con l'ozono sono: $\text{Cl}\cdot$, $\text{Br}\cdot$, $\text{F}\cdot$ ed alcuni radicali come $\text{NO}\cdot$ e $\text{OH}\cdot$.

Tali specie si formano per rottura di legami in composti alogenati. La diminuzione dell'ozono avviene con reazioni tra specie radicaliche:



La stessa reazione ha luogo con $\text{NO}\cdot$ e $\text{OH}\cdot$.

$\text{Cl}\cdot$ deriva da composti artificiali oppure da fonti naturali, come CH_3Cl o CH_3Br , ed anche artificiali come i CFC (Clorofluorocarburi: CF_2Cl_2 e CFCl_3) e gli Halons (miscele di clorofluorobromocarburi, usati negli estintori). I CFC erano utilizzati come fluidi di refrigerazione negli impianti frigoriferi, come agenti per formare cavità in materie plastiche (schiume espanse) e come propellenti per bombole a gas. Oggi queste sostanze sono sostituite da alcani (esano nei frigoriferi e butano nelle bombole).

I composti inorganici dell'azoto nell'ambiente

L'azoto possiede una configurazione $1s^2, 2s^2, 2p^3$

Nell'atmosfera sono presenti:

–azoto molecolare (N_2)

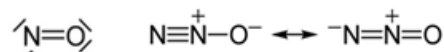
–monossido di azoto (NO): $\bullet N=O$ (possiede un elettrone spaiato: è quindi un radicale)

–biossido di azoto (NO_2): $\bullet O-N=O$ (molecola con un elettrone spaiato)

La somma NO + NO_2 si indica con NO_x

–tracce di protossido di azoto (N_2O): $N\equiv N^+-O^-$

–tracce di pentossido di azoto (N_2O_5)



Nelle acque, nei suoli (e sedimenti) l'azoto inorganico è presente come NH_4^+ (ione ammonio), NO_2^- (ione nitrito), NO_3^- (ione nitrato).

Le fonti principali degli ossidi di azoto nell'aria sono i processi di combustione (combinazione di N_2 e O_2), da fonti naturali (incendi, emissioni vulcaniche), da emissioni antropogeniche (motori a scoppio, riscaldamento domestico, centrali elettriche, processi industriali) e da processi biologici. In atmosfera si ha la formazione di altri inquinanti, come l'acido nitroso (HNO_2), l'acido nitrico (HNO_3), il perossiacetilnitrato (PAN) e nitrati inorganici, che possono essere presenti in atmosfera in forma di particolato. I composti acidi danno luogo alla formazione di deposizioni acide. I valori di concentrazione del biossido di azoto, NO_2 , sono compresi nell'intervallo $40-100 \mu g/m^3$.

Esposizione ed effetti sulla salute

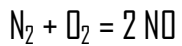
Gli NO_x sono tossici per l'uomo. Mediante l'azione della radiazione solare e in presenza di altri reagenti (come i COV) possono portare alla formazione di altri derivati azotati tossici (acido nitrico, acido nitroso, perossiacetilnitrato), che producono ozono e smog fotochimico.

Sotto forma di nitrati rappresentano componenti delle polveri fini, anch'esse importanti per i loro effetti sulla salute. Tra i vari ossidi di azoto NO_2 è il più tossico: possiede un forte potere ossidante, che esercita prevalentemente sulle mucose (sugli occhi e tratto respiratorio). Nell'organismo gli ossidi di azoto reagiscono con i lipidi insaturi delle membrane cellulari, formando dei perossidi (con alterazione dei processi biologici).

Gli ossidi di azoto sono prevalentemente emessi sotto forma di monossido (NO), che può formare rapidamente NO_2 , reagendo con ozono e altri composti ossidanti.

Monossido di azoto (NO)

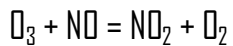
NO[•] è una molecola con un elettrone spaiato. Esso deriva da processi di combustione:



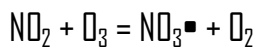
NO è convertito in NO₂ dall'ozono nell'atmosfera.

Biossido di azoto (NO₂) e radicale nitrato NO₃[•]

La formazione di NO₂ da reazioni di combustione (N₂ + O₂) è poco favorita. Si forma dalla reazione con ozono nell'atmosfera (reazione che porta a una diminuzione dell'ozono):



Dal biossido di azoto si può formare un **radicale nitrato** NO₃[•], dalla reazione:

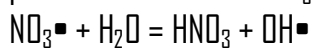


Lo smog fotochimico

Aumento della concentrazione di ozono e di altre sostanze irritanti a livello del suolo (perossiacetilnitrato PAN, aldeidi, nitrati organici). Il fenomeno è catalizzato dalla luce (fotochimico) e si origina dalla reazione tra NO e sostanze organiche volatili, come gli idrocarburi incombusti (traffico veicolare).

La formazione di HNO₃ e le piogge acide

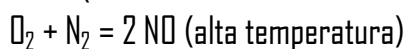
Le piogge acide sono precipitazioni atmosferiche, nebbie, neve e deposizioni secche contenenti sostanze acide, come HNO₃ e H₂SO₄, fino ad avere un pH compreso tra 4 e 5. La pioggia non inquinata contiene CO₂ disciolta, che si trasforma in parte in H₂CO₃ (il pH naturale della pioggia è 5.6). Il radicale NO₃• è importante per la formazione di HNO₃:



HNO₃ ha una tensione di vapore maggiore di H₂SO₄ (altro componente delle piogge acide), che condensa poco sul particolato. La formazione di H₂SO₄ è descritta in un paragrafo successivo.

Le emissioni dei veicoli a combustione

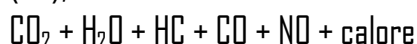
I motori a combustione sono la principale fonte di idrocarburi incombusti (HC), ossidi di carbonio ed ossidi di azoto (condizioni nel motore: 2400 °C, 10 Atm).



NO è il principale ossido

Le marmitte catalitiche

Sono costituite da catalizzatori che svolgono 3 funzioni (a 3 vie): abbattimento degli idrocarburi incombusti (HC), di CO e di NO. Dalla combustione del carburante si ottiene:

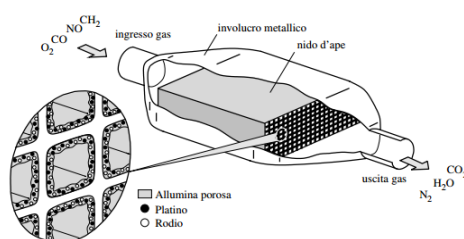


(HC idrocarburi incombusti)

Il primo passaggio consente la riduzione di NO a N₂ (catalizzatore a base di rodio (Rh)).

Ha luogo, poi, l'ossidazione di CO e degli idrocarburi incombusti (HC) a CO₂ (catalizzatori: Pd, Pt, Ru, Rh).

Il piombo avvelena i catalizzatori occorre, quindi, utilizzare la benzina senza piombo ("verde"), che contiene come additivi il benzene e altri composti aromatici.



I composti inorganici dell'azoto nell'acqua e nei suoli

Nelle acque l'azoto organico proviene dalla degradazione del materiale organico. L'azoto inorganico è presente come NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻ e come N₂ disciolto. I nitrati provengono dai liquami urbani, dai rifiuti, dai fertilizzanti e dai processi di combustione.

Nei suoli (e sedimenti) l'azoto inorganico è presente come NH₄⁺, NO₂⁻ e NO₃⁻. L'azoto è coinvolto in due processi biologici:

– processo di nitrificazione (ambiente aerobio): NH₄⁺ è ossidato a NO₂⁻ e poi a NO₃⁻ (superficie dei laghi)

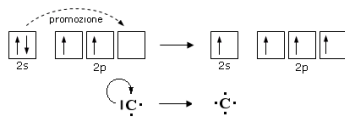
– processo di denitrificazione (ambiente anaerobio): NO₂⁻ e NO₃⁻ sono ridotti a N₂ (fondali dei laghi)

L'ammoniaca nei suoli si forma dalla degradazione delle sostanze organiche. La maggior parte delle piante assorbono azoto come NO₃⁻; i fertilizzanti ammoniacali devono essere ossidati prima di essere utilizzati.

Nell'acqua potabile, eccessive concentrazioni di nitrati (maggiori di 50 mg/dm³) sono nocive perché possono essere ridotti a nitriti. Questi ultimi possono causare metaemoglobinemia, soprattutto nei bambini. Inoltre, i nitriti reagendo con alcune ammine possono dare origine a nitrosammine, composti cancerogeni. In concentrazioni normali i nitrati sono rapidamente eliminati con le urine.

I composti inorganici del carbonio nell'ambiente

Il carbonio inorganico presenta una configurazione $1s^2, 2s^2, 2p^2$



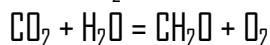
Nell'aria è presente come:

–monossido di carbonio: CO , $\text{C}\equiv\text{O}^+$

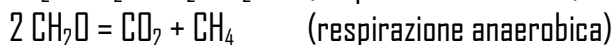
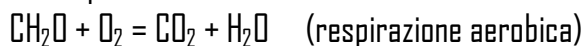
–anidride carbonica: CO_2 , $\text{O}=\text{C}=\text{O}$

Nell'ambiente acquatico e nei suoli si trova come CO_2 disciolta, H_2CO_3 , HCO_3^- e CO_3^{2-} . È presente nei suoli come carbonati e bicarbonati (Ca, Mg, Al, Fe, ecc...).

L'anidride carbonica è un composto molto importante, coinvolto in una reazione importante come la fotosintesi delle piante, che fissa la CO_2 sotto forma di composti organici. Indicando la sostanza organica come CH_2O si ha:



In questo modo piante e alghe si comportano da organismi autotrofi. Il processo opposto, la biodegradazione, decompone la biomassa:



L'ultima reazione rappresenta la fonte principale di metano atmosferico. I resti non degradati vanno a costituire il materiale organico presente nei sedimenti. Il carbonio, fissato dalla fotosintesi, forma la base di tutti i combustibili fossili presenti nella geosfera.

Il monossido di carbonio è un gas incolore, inodore e insapore prodotto dai processi di combustione incompleta di materiali contenenti carbonio. Malgrado siano presenti fonti naturali di tale gas (incendi boschivi, vulcani, ossidazione del metano, oceani ecc...), la sua concentrazione nell'aria, lontano da sorgenti artificiali di emissione, è estremamente bassa (0,01–0,20 ppm) grazie all'esistenza di meccanismi naturali di eliminazione (ossidazione atmosferica a CO_2 , solubilizzazione in acqua, reazioni biologiche, trasformazione in CO_2 e metano da parte di alcuni microrganismi). Negli autoveicoli la combustione è sempre incompleta (per insufficiente quantità di O_2 o insufficiente tempo di reazione) e l'ossidazione del carbonio si ferma in parte ad un primo stadio, con produzione di CO . La produzione di tale gas è maggiore nei motori a benzina rispetto ai motori diesel, che lavorano in eccesso di aria. Nel traffico urbano quindi la quantità di CO prodotta dagli autoveicoli è relativamente elevata (bassa velocità, frequenti decelerazioni e soste con il motore al minimo).

Formazione di perossiradicali

CO reagisce con la specie OH^\bullet per formare radicali COO^\bullet

Esposizione ed effetti sulla salute

Le fonti più importanti di CO sono rappresentate dal fumo di sigaretta e dall'aria inquinata delle aree urbane. I soggetti più esposti sono coinvolti particolari attività professionali (tassisti, autisti, garagisti, meccanici, benzinai, vigili urbani, pompieri, cuochi, lavoratori dell'industria siderurgica). Il più attendibile indicatore di esposizione è rappresentato dal tasso ematico di carbossiemoglobina (HbCO). Nel sangue il CO si lega con l'atomo di ferro presente nell'eme dell'emoglobina, dando luogo alla formazione di carbossiemoglobina. Nel sistema extravascolare, prevalentemente nel cuore e nel muscolo scheletrico, il CO presente è quasi totalmente legato alla mioglobina e solo una piccola quantità è legata ad enzimi.

Gli effetti dell'esposizione sono dovuti all'ipossigenazione tessutale; gli organi prevalentemente interessati sono il cuore e il sistema nervoso centrale. I valori delle concentrazioni di CO in ambiente esterno sono di circa 10 mg/m^3 .

Effetto serra (*Green House Effect* riscaldamento globale artificiale)

La radiazione infrarossa (IR) é una radiazione termica, che provoca un aumento della temperatura della superficie investita. La radiazione solare attraversa l'atmosfera e riscalda la superficie terrestre, la quale emette radiazione IR. Tale radiazione è confinata sotto l'atmosfera in quanto assorbita dai gas dell'atmosfera (come avviene in una serra). L'effetto naturale è il riscaldamento della superficie della terra da $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (senza effetto serra) a $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Si intende per effetto serra l'aumento eccessivo della temperatura della superficie terrestre ($4-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) dovuto all'aumento della concentrazione di gas assorbenti nell'atmosfera.

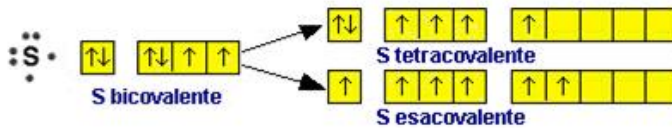
I gas responsabili del fenomeno (che assorbono le radiazioni) sono (nell'ordine di importanza): CO_2 (380 ppm), H_2O (1-1.5%), CH_4 (2 ppm), N_2O (0.28 ppm), clorofluorocarburi. Anche il vapor d'acqua assorbe la radiazione IR: l'effetto serra comporta un aumento della temperatura della terra con conseguente aumento anche della concentrazione di H_2O . La concentrazione media della CO_2 è 380 ppm (0.0380%).

I composti inorganici del carbonio nelle acque e nei suoli

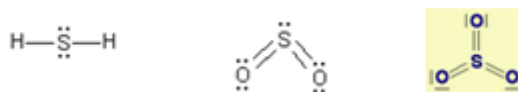
Le acque contengono CO_2 disciolta, HCO_3^- e CO_3^{2-} provenienti dalla dissoluzione di minerali (calcite, ecc...). La dissoluzione di CO_2 nell'ambiente acquatico produce acido carbonico. L'acido carbonico si dissocia in ioni HCO_3^- e CO_3^{2-} , presenti entrambi nell'ambiente acquatico.

I composti inorganici dello zolfo e del fosforo nell'ambiente

Lo zolfo e i suoi composti



Lo zolfo è presente negli stati di ossidazione (-2) (H_2S e solfuri inorganici), (0) zolfo elementare, +4 (SO_2) e +6 (SO_3), con le seguenti strutture:



Essi derivano dalla combustione di carbone (con impurezze di S) nelle centrali elettriche e di minerali nelle fonderie (nonché per attività vulcaniche). H_2S possiede una tossicità maggiore di SO_2 che deriva da processi biologici, dall'industria della carta e dal traffico veicolare, per azione della marmitta catalitica su SO_2 (i combustibili per autotrazione possono contenere tracce di composti solforati, fino a 100 mg/dm^3). Alcuni composti si ottengono da processi biologici come il metantiolo, dimetilsolfuro e solfuro di carbonio (CS_2). Il dimetilsolfuro forma per ossidazione nell'aria il solfuro di carbonile COS , e poi il solfato. Gli altri composti organici formano SO_2 .

I solfati nelle acque possono provenire dalla dissoluzione di minerali (gessi o anidriti) a contatto con le acque sotterranee, per ossidazione di solfuri (piriti, ecc...) e da aerosol marini in zone costiere.

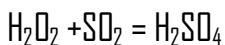
Dalla decomposizione delle sostanze organiche per via anaerobia si forma solfuro di idrogeno H_2S , metantiolo (CH_3SH) e dimetildisolfuro ($\text{CH}_3\text{S}-\text{SCH}_3$) (con odore sgradevole).

Il solfuro di idrogeno può essere ossidato da batteri a zolfo, S, e poi a solfato (SO_4^{2-}). Alcuni batteri anaerobi possono utilizzare il solfato come fonte di ossigeno, per ossidare la sostanza organica (in assenza di ossigeno) a CO_2 , producendo S (soprattutto nell'acqua di mare).

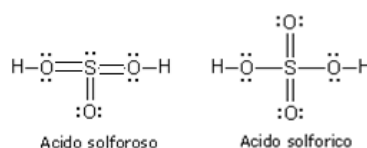
Formazione di H_2SO_4 nelle piogge acide

La formazione di SO_3 nell'aria può avvenire attraverso la reazione tra SO_2 e le specie OH^\bullet oppure NO^\bullet .

L'anidride solforica, SO_3 , si può anche formare nel vapor d'acqua per la presenza di H_2O_2 :



L'acido solforico è un acido forte, cioè completamente dissociato nei suoi ioni. L'anidride solforosa, SO_2 , in acqua forma l'acido solforoso, che è un acido debole. In acqua esiste la specie HSO_3^- .



Il fosforo e i suoi composti

Il fosforo elementare è tetraatomico, solido, e molto infiammabile, poiché tende ad ossidarsi facilmente e si può presentare in diverse forme allotropiche. Il fosforo elementare si trova come P_4 , con una struttura tetraedrica. Il fosforo forma due anidridi: P_2O_3 e P_2O_5 .

I suoi principali composti sono l'acido fosforico, H_3PO_4 , e i suoi sali, i fosfati. Il fosfato tricalcico $Ca_3(PO_4)_2$ è il componente principale delle rocce fosfatiche; queste costituiscono i principali giacimenti di fosfati nel mondo, soprattutto sotto forma di apatiti. Da queste si ottengono fosforo elementare e acido fosforico, sostanze che costituiscono la base di prodotti organici e inorganici di grande importanza come fertilizzanti, detergenti, pesticidi, additivi per alimenti, ecc...

Il fosforo è un elemento indispensabile per gli esseri viventi: oltre che costituente delle ossa, come fosfato tricalcico, entra a far parte, generalmente sotto forma di gruppo fosforico, dello scheletro di molecole essenziali come DNA e RNA, ed è inoltre presente nei fosfolipidi e nell'ATP, molecola indispensabile nelle trasformazioni bioenergetiche e biosintetiche.

I fertilizzanti sono miscele di sostanze naturali o sintetiche, minerali o organiche, che conferiscono maggiore fertilità al terreno. Se ne migliorano le proprietà chimiche, fisiche, biologiche e meccaniche, si chiamano inoltre ammendanti. Se forniscono elementi chimici nutritivi (in particolare N, P, K), sono chiamati concimi.

Si possono utilizzare concimi semplici, con un solo principio nutritivo, come nel caso dei concimi fosfatici o concimi azotati, oppure concimi complessi, contenenti due o più elementi nutritivi.

I concimi sono assorbiti rapidamente dal terreno mediante processi chimici o chimico-fisici. Entro il limite di saturazione non subiscono dilavamento, ma oltre questo limite il fosfato non assorbito dalle piante e non trattenuto dal terreno, è trasportato dall'acqua negli alvei naturali, dove contribuisce all'**eutrofizzazione** assieme ai composti azotati. Il termine eutrofizzazione indica una condizione di ricchezza di sostanze nutritive in particolare una sovrabbondanza di nitrati e fosfati in ambiente acquatico. Tali elementi causano la proliferazione di alghe che, a loro volta, determinano una maggiore attività batterica aumentando così il consumo globale di ossigeno, e la mancanza di quest'ultimo provoca alla lunga la morte dei pesci.

Per contrastare l'eutrofizzazione sono necessari interventi che riducano gli afflussi di nutrienti ai corpi idrici (riduzione dei fertilizzanti in agricoltura, depurazione degli scarichi civili e industriali, trattamento delle acque di scolo delle colture tramite agenti sequestranti ed impianti di fitodepurazione).

Il particolato atmosferico

Dimensione delle particelle

Il materiale particellare totale sospeso (PTS) nell'atmosfera è una sospensione di particelle solide o liquide relativamente stabili nell'aria circostante (aerosol).

Si definisce diametro aerodinamico equivalente (Da), il diametro di una particella sferica con una densità pari a 1 g/cm^3 (acqua), che sotto l'azione della forza di gravità nelle stesse condizioni di temperatura, pressione e umidità relativa, raggiunge la stessa velocità finale della particella considerata.

Il limite superiore delle particelle è $100 \text{ }\mu\text{m}$, mentre le particelle più piccole raggiungono $0,002 \text{ }\mu\text{m}$ (2 nm).

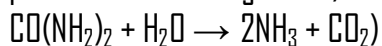
Le proprietà chimico-fisiche dipendono dalle dimensioni delle particelle. Si definiscono:

–particelle grossolane ($\text{Da} > 2,5 \text{ }\mu\text{m}$): poco solubili in acqua, alta velocità di sedimentazione.

–particelle fini ($\text{Da} < 2,5 \text{ }\mu\text{m}$): molto solubili in acqua e bassa velocità di sedimentazione.

–particelle ultrafini ($\text{Da} < 0,1 \text{ }\mu\text{m}$): particolato emesso principalmente dai motori diesel.

Le particelle grossolane sono i principali costituenti dagli elementi della crosta terrestre (Si, Al, Ca, Fe, K, Na, Ti, Mn, Sr) e dei loro composti (SiO_2 , CaCO_3 , Al_2O_3 , alluminosilicati, carbonati ed ossidi metallici). Le particelle fini sono formate da composti inorganici (60–70%) e composti organici da combustione (30–40%) (fuliggine contenente carbonio inorganico (5%) e una serie di composti organici (25%)). I composti secondari inorganici sono composti neutri o acidi: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4HSO_4 , NH_4NO_3 e $(\text{NH}_4)_3\text{H}(\text{SO}_4)_2$. I solfati e i nitrati derivano dalla neutralizzazione di NH_3 (decomposizione del materiale organico nel suolo, come l'urea prodotta dai microrganismi):



La frazione organica sul particolato è costituita da prodotti organici secondari (ossigenati e azotati), da idrocarburi aromatici con 7–8 atomi di carbonio. Gli idrocarburi a basso peso molecolare sono volatili e permangono nell'aria (anche come prodotti ossidati). Sulle superficie delle particelle (soprattutto organiche) possono essere adsorbiti composti metallici (metallo, ossidi, ecc...) e composti organici non volatili (idrocarburi aromatici policiclici, ecc...). L'acqua adsorbita facilita la dissoluzione di composti polari.

Negli ambienti indoor il particolato è prodotto principalmente dal fumo di sigaretta, dalle fonti di combustione e dalle attività degli occupanti. Le concentrazioni di PM_{10} sono comprese tra $10\text{--}100 \text{ }\mu\text{g/m}^3$. La composizione del particolato da combustione varia in base al tipo di combustibile e dalle condizioni in cui avviene la combustione. L'esame del particolato fine raccolto all'interno di abitazioni ha consentito di verificare la presenza di cadmio, polonio, n-alcani (1,3, butadiene), aldeidi (formaldeide), acidi grassi (palmitico e stearico), esteri ftalati, ecc...

Particelle inalabili (PM₁₀)

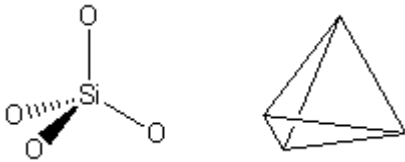
Sono le polveri che rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 10 μm (PM₁₀). Sono polveri inalabili perché sono in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe) e costituiscono circa il 60% del particolato totale.

Particelle respirabili (PM_{2.5})

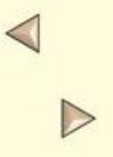

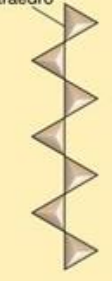



Sono le polveri che rappresentano il particolato che ha un diametro inferiore a 2,5 μm (PM_{2.5}). Le PM_{2.5} sono anche dette polveri respirabili perché possono penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea fino agli alveoli polmonari). Le concentrazioni naturali su base annua variano da 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM₁₀ e da 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM_{2.5} nei luoghi remoti del Nord America.

L'amianto nell'ambiente

L'asbesto (o amianto) è un insieme di minerali del gruppo dei silicati. In tali minerali ogni atomo di silicio è coordinato tetraedricamente da quattro atomi di ossigeno (tetraedri SiO_4^{4-}). In composti dove il rapporto O/Si è inferiore a 4, atomi di ossigeno possono essere coordinati in comune a due o più atomi di silicio. In questo modo tetraedri SiO_4 sono legati insieme da angoli in comune da formare polisilicati.



La classificazione dei silicati è fatta secondo il grado di accoppiamento dei tetraedri SiO_4 . In molti silicati l'elemento più abbondante, dopo Si e O, è l'alluminio. Il raggio ionico di Al^{3+} è solo di poco più grande di quello di Si^{4+} , cosicché Al^{3+} può rimpiazzare Si^{4+} come atomo centrale nei tetraedri SiO_4 . Si ottengono così gli alluminosilicati. Si classificano in 5 classi, a seconda della loro struttura:

nesosilicati	sorosilicati	inosilicati		fillosilicati	tettosilicati
tetraedri separati	gruppi isolati	catena singola indefinita	catena doppia indefinita	strato indefinito	intelaiatura tridimensionale
		 tetraedro			
olivina, granato		pirosseni	anfibioli	miche, talco	quarzo, feldspati

Gli amianti appartengono alla categoria degli inosilicati e si suddividono in pirosseni (a singola catena) ed anfibioli (a doppia catena). Dal punto di vista della composizione chimica sono silicati e alluminosilicati di ferro, magnesio, calcio, contenenti talora alluminio, sodio, manganese e titanio, spesso in miscele isomorfe per le numerose possibilità di sostituzione tra elementi o gruppi atomici.

Tossicità dell'amianto: formazione di ROS e RNS

Le specie reattive dell'ossigeno, ROS (*reactive oxygen species*), sono radicali liberi a maggior diffusione. I più importanti ROS sono l'anione superossido, O_2^- , il perossido d'idrogeno, H_2O_2 , e il radicale ossidrilico, OH^\bullet .

Le specie reattive derivate dall'azoto, RNS (*reactive nitrogen species*), di maggior interesse sono l'ossido nitrico, NO e il perossinitrito, ONOO^- . La presenza di fibre di amianto nei polmoni genera situazioni di stress ossidativo, che determina la formazione di specie reattive radicali responsabili di tumori.