

PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI

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

In questa parte del sito ho riportato varie informazioni inerenti i principali inquinanti dell'aria: il monossido di carbonio, gli ossidi di zolfo, gli ossidi di azoto, l'ozono, il particolato, il radon, il benzene, l'asbesto, gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) ed il cloruro di vinile.

Per ognuno degli inquinanti sono descritte le caratteristiche principali, le sorgenti, le modalità di diffusione, gli effetti sull'uomo e sull'ambiente (se particolarmente rilevanti) ed infine le relative leggi e linee guida.

OSSIDI DI ZOLFO

Normalmente gli ossidi di zolfo presenti in atmosfera sono l'anidride solforosa (SO₂) e l'anidride solforica (SO₃); questi composti vengono anche indicati con il termine comune SO_x.

L'anidride solforosa o biossido di zolfo è un gas incolore, irritante, non infiammabile, molto solubile in acqua e dall'odore pungente. Dato che è più pesante dell'aria tende a stratificarsi nelle zone più basse. Rappresenta l'inquinante atmosferico per eccellenza essendo il più diffuso, uno dei più aggressivi e pericolosi e di gran lunga quello più studiato ed emesso in maggior quantità dalle sorgenti antropogeniche.

Deriva dalla ossidazione dello zolfo nel corso dei processi di combustione delle sostanze che contengono questo elemento sia come impurezza (come i combustibili fossili) che come costituente fondamentale.

Dall'ossidazione dell'anidride solforosa si origina l'anidride solforica o triossido di zolfo che reagendo con l'acqua, sia liquida che allo stato di vapore, origina rapidamente l'acido solforico, responsabile in gran parte del fenomeno delle piogge acide. Dato che la reazione di ossidazione che conduce alla formazione dell'anidride solforica è molto lenta, e data la reattività di questo composto con l'acqua, in genere la concentrazione del triossido di zolfo varia fra l'1 e il 5% della concentrazione del biossido di zolfo (che viene considerato l'inquinante di riferimento).

Le emissioni naturali di biossido di zolfo sono principalmente dovute all'attività vulcanica (circa 20 milioni di tonnellate l'anno). Le emissioni antropogeniche rappresentano più di 150 milioni di tonnellate all'anno e sono dovute principalmente ai processi di combustione dei combustibili fossili e liquidi (carbone, petrolio, gasolio); oltre il 90% del biossido di zolfo viene prodotto nell'emisfero Nord. Il carbon fossile ha un contenuto di zolfo che varia dallo 0,1 al 6% e il petrolio greggio dallo 0,05 al 4,5%. Oltre il 90% dello zolfo presente nel combustibile viene trasformato in biossido di zolfo (lo 0,5-2% viene trasformato in anidride solforica ed il resto rimane nelle ceneri sotto forma di solfati). Rilevanti sono anche le emissioni nei processi di produzione dell'acido solforico, nella lavorazione di molte materie plastiche, nella desolforazione dei gas naturali, nell'arrostimento delle piriti, nell'incenerimento dei rifiuti; l'apporto inquinante dato dalle emissioni dei mezzi di trasporto appare invece trascurabile.

L'emissione di biossido di zolfo in Italia è approssimativamente dovuta per il 5% al riscaldamento domestico, per il 40% ai processi industriali comprese le combustioni e per il 50% alla produzione di energia elettrica ad opera delle centrali termoelettriche; assieme le altre sorgenti contribuiscono per un valore pari al 5%.

Da notare che i combustibili a basso tenore di zolfo non sono facilmente disponibili e i processi di desolforazione sono costosi. Solo una maggiore sensibilizzazione dell'opinione pubblica sul problema delle piogge acide negli ultimi anni, sembra stia spingendo verso interventi nel settore.

La concentrazione di fondo è stata valutata attorno a 0,2-0,5 µg/mc, mentre nelle aree urbane si possono raggiungere i 50 µg/mc; nelle grandi città industrializzate ed in via di sviluppo vengono spesso rilevati anche livelli di 300 µg/mc (dati dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, 1998). Il biossido di zolfo permane in atmosfera per 1-4 giorni subendo reazioni di trasformazione e principalmente l'ossidazione ad acido solforico che ricade in forma di nebbie o piogge acide. Gli ossidi di zolfo di notte vengono anche assorbiti dalle goccioline di acqua presenti nell'aria dando origine ad un aerosol che determina una foschia mattutina. A causa della grande reattività del biossido di zolfo, le concentrazioni negli ambienti interni sono generalmente molto basse (almeno la metà di quelle esterne). Inoltre nei mesi invernali, quando il livello di concentrazione all'esterno tende ad aumentare per effetto del maggior utilizzo del riscaldamento domestico, le abitazioni restano chiuse per il freddo e pertanto la concentrazione indoor risulta più contenuta. Nelle abitazioni sono inoltre presenti numerose sostanze ed oggetti che assorbono il biossido di zolfo (oggetti in pelle, coperte di lana) e contribuiscono a diminuire la concentrazione dell'inquinante. Una precauzione da osservare durante gli episodi acuti di smog è infatti quella di rimanere chiusi nelle abitazioni.

Nel corso degli ultimi anni, a causa degli interventi che sono stati adottati per il miglioramento della qualità dei combustibili e per la diffusione della metanizzazione degli impianti di riscaldamento, l'emissione degli ossidi di zolfo nelle aree urbane dei Paesi Occidentali si è notevolmente ridotta, per cui l'importanza del biossido di zolfo come inquinante è leggermente diminuita (almeno nei centri abitati).

Per l'elevata solubilità in acqua il biossido di zolfo viene facilmente assorbito dalle mucose del naso e del tratto superiore dell'apparato respiratorio (questo rappresenta una fortuna dato che solo quantità molto ridotte possono raggiungere gli alveoli polmonari). L'alta reattività lo rende un composto estremamente irritante. È stato comunque notato un effetto sinergico con le polveri sospese per la capacità che queste hanno di veicolare gli inquinanti nelle zone più profonde dell'apparato respiratorio.

A basse concentrazioni gli effetti del biossido di zolfo sono principalmente legati a patologie dell'apparato respiratorio come bronchiti, asma e tracheiti e ad irritazioni della pelle, degli occhi e delle mucose. Analisi epidemiologiche hanno evidenziato un aumento dei ricoveri ospedalieri, specie di anziani e bambini, a concentrazioni superiori a 0,3 mg/mc. Già a concentrazioni di 0,06 mg/mc come valore medio annuale si verificano episodi di bronchite e infezioni alle prime vie respiratorie. Il caratteristico odore pungente del biossido di zolfo viene percepito dal naso alla concentrazione di 0,8-2,6 mg/mc. A questi livelli bisogna infilare la maschera antigas o, trattenendo il respiro, raggiungere una zona non contaminata. Per brevi periodi, in assenza di maschera, ci si può proteggere anche tenendo sul naso e sulla bocca un panno umido.

Brevi esposizioni di 10' a concentrazioni di 3 mg/mc provocano un aumento del ritmo respiratorio e del battito cardiaco; concentrazioni di 25 mg/mc provocano irritazioni agli occhi, al naso ed alla gola, oltre ad un aumento della frequenza cardiaca. Concentrazioni maggiori di 5 g/mc producono asfissia tossica con morte per collasso cardiocircolatorio.

L'azione principale operata ai danni dell'ambiente da parte degli ossidi di zolfo consiste nell'acidificazione delle precipitazioni meteorologiche con la conseguente compromissione dell'equilibrio degli ecosistemi interessati. Gli effetti corrosivi dell'acido solforico si riscontrano anche sui materiali da costruzione, sui metalli e sulle vernici. L'acido solforico trasforma i carbonati insolubili dei monumenti e delle opere d'arte in solfati solubili che vengono dilavati per azione della pioggia. (Per maggiori informazioni consiglio di fare riferimento alla parte del sito che tratta delle piogge acide).

Il biossido di zolfo a basse concentrazioni provoca un rallentamento nella crescita delle piante, mentre ad alte concentrazioni ne provoca la morte alterandone la fisiologia in modo irreparabile. Nelle foglie il biossido di zolfo viene trasformato in acido solforoso e solfiti, da questi per ossidazione si

generano i solfati (la forma in cui lo zolfo viene metabolizzato nelle piante). Quando il livello di anidride solforosa nell'aria diviene insostenibile, nelle foglie si accumulano inutilizzati i solfiti che ad alta concentrazione causano la distruzione della clorofilla, il collasso delle cellule e la necrosi dei tessuti. Le foglie presentano fra i margini e le nervature delle aree irregolari di colore bianco, giallo o marrone, che presentano necrosi; negli aghi delle conifere diviene marrone l'apice delle foglie. Questi effetti aumentano quando si è in presenza di un'umidità relativa elevata, vi sono alte temperature, c'è un'intensa luminosità ed anche nel caso in cui le piante siano vecchie. L'effetto di una esposizione prolungata a concentrazioni di anidride solforosa incapaci di causare sintomi evidenti è più difficile da rilevare: consiste in una serie di alterazioni fisiologiche fra le quali la riduzione della crescita e della riproduzione e la senescenza anticipata. L'effetto sulle piante è particolarmente accentuato quando l'anidride solforosa si trova in presenza di ozono (sinergismo).

Il DPR n. 203 del 24 maggio 1988 fissa i valori limite per il biossido di zolfo: la mediana delle concentrazioni medie nelle 24 ore rilevate nell'arco di un anno ha il valore limite pari a 80 µg/mc; il 98° percentile delle concentrazioni medie nelle 24 ore rilevate nell'arco di un anno ha il valore limite pari a 250 µg/mc; la mediana delle concentrazioni medie nelle 24 ore rilevate durante il semestre invernale (1 ott.-31 mar.) ha il valore limite pari a 130 µg/mc.

Il DPR n. 203 prevede anche dei valori guida per il biossido di zolfo: la media aritmetica delle concentrazioni medie nelle 24 ore rilevate nell'arco di 1 anno ha il valore guida di 40-60 µg/mc; il valore medio nelle 24 ore ha il valore guida di 100-150 µg/mc.

Il Decreto Ministeriale 25/11/94 fissa inoltre il livello di attenzione ed il livello di allarme per quanto riguarda il biossido di zolfo nelle aree urbane: considerando la media delle medie orarie rilevate nell'arco di 24 ore il livello di attenzione è fissato in 125 µg/mc, mentre il livello di allarme è posto a 250 µg/mc.

Il Decreto Ministeriale n.60 del 02-04-2002 va ad abrogare in parte le leggi precedenti. Emanato per ottemperare alle Direttive Europee, pone come valore limite orario 350 µg/mc (da raggiungere entro il 2005), come limite giornaliero 125 µg/mc (anche questo da raggiungere entro il 2005) e come limite annuale per la protezione della vegetazione 20 µg/mc. La soglia di allarme è di 500 µg/mc.

Il limite di sicurezza per i lavoratori esposti al biossido di zolfo, come TLV-TWA, è di 2 ppm, pari a 5,2 mg/mc; come TLV-STEL è di 5 ppm, pari a 13 mg/mc (limiti indicati dall'ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

NB: I livelli di attenzione sono definiti come le concentrazioni di inquinanti atmosferici che determinano lo stato di attenzione, cioè una situazione di inquinamento atmosferico che, se persistente, determina il rischio di raggiungere lo stato d'allarme. Lo stato di allarme è definito come uno stato suscettibile di determinare una condizione di rischio ambientale e sanitario. Gli stati di attenzione o di allarme si raggiungono quando, al termine di un ciclo di monitoraggio, si rileva il superamento, per uno o più inquinanti, del livello di attenzione o di allarme. Quando questi livelli vengono raggiunti scatta una serie di provvedimenti finalizzata alla difesa della popolazione da eventuali esposizioni a rischio.

OSSIDI DI AZOTO

Pur essendo presenti in atmosfera diverse specie di ossidi di azoto, per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO_x che sta ad indicare la somma pesata del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO₂).

L'ossido di azoto (NO) è un gas incolore, insapore ed inodore; è anche chiamato ossido nitrico. E' prodotto soprattutto nel corso dei processi di combustione ad alta temperatura assieme al biossido di azoto (che costituisce meno del 5% degli NO_x totali emessi). Viene poi ossidato in atmosfera dall'ossigeno e più rapidamente dall'ozono producendo biossido di azoto. La tossicità del monossido di azoto è limitata, al contrario di quella del biossido di azoto che risulta invece notevole.

Il biossido di azoto è un gas tossico di colore giallo-rosso, dall'odore forte e pungente e con grande potere irritante; è un energico ossidante, molto reattivo e quindi altamente corrosivo. Esiste nelle due forme N₂O₄ (forma dimera) e NO₂ che si forma per dissociazione delle molecole dimere. Il colore rossastro dei fumi è dato dalla presenza della forma NO₂ (che è quella prevalente). Il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto per l'appunto al biossido di azoto. Rappresenta un inquinante secondario dato che deriva, per lo più, dall'ossidazione in atmosfera del monossido di azoto. Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari molto pericolosi come l'ozono, l'acido nitrico, l'acido nitroso, gli alchilnitriti, i perossiacetilnitriti, ecc. (per maggiori informazioni consiglio di fare riferimento alla parte del sito che tratta dello smog fotochimico). Si stima che gli ossidi di azoto contribuiscano per il 30% alla formazione delle piogge acide (il restante è imputabile al biossido di zolfo e ad altri inquinanti). Da notare che gli NO_x vengono per lo più emessi da sorgenti al suolo e sono solo parzialmente solubili in acqua, questo influenza notevolmente il trasporto e gli effetti a distanza.

Su scala globale si stima che le emissioni di ossidi di azoto naturali ed antropogeniche siano dello stesso ordine di grandezza (circa 200 milioni di tonnellate). Le sorgenti naturali sono costituite essenzialmente

dalle decomposizioni organiche anaerobiche che riducono i nitrati a nitriti; i nitriti in ambiente acido formano acido nitroso che, essendo instabile, libera ossidi di azoto. Da segnalare anche l'azione dei fulmini, gli incendi e le emissioni vulcaniche. La principale fonte antropogenica di ossido di azoto è data dalle combustioni ad alta temperatura, come quelle che avvengono nei motori degli autoveicoli: l'elevata temperatura che si origina durante lo scoppio provoca la reazione fra l'azoto dell'aria e l'ossigeno formando monossido di azoto. La quantità prodotta è tanto più elevata quanto maggiore è la temperatura di combustione e quanto più veloce è il successivo raffreddamento dei gas prodotti, che impedisce la decomposizione in azoto ed ossigeno. Da notare che le miscele "ricche" (cioè con poca aria) danno luogo ad emissioni con basso tenore di monossido di azoto (ma elevate emissioni di idrocarburi e monossido di carbonio per effetto di combustioni incomplete) a causa della bassa temperatura raggiunta nella camera di combustione. Miscele "povere" (cioè con elevata quantità di aria) danno ancora luogo a basse concentrazioni di NO nelle emissioni, ma impediscono una buona resa del motore perché l'eccesso di aria raffredda la camera di combustione. Quando i fumi vengono mescolati con aria allo scarico si forma una significativa quantità di biossido di azoto per ossidazione del monossido ad opera dell'ossigeno.

In generale i motori diesel emettono più ossidi di azoto e particolati (fumo) rispetto ai motori a benzina, i quali però emettono più ossido di carbonio e idrocarburi. Si stima che in Italia vengano emesse in atmosfera circa 2 milioni di tonnellate all'anno di ossidi di azoto, di cui circa la metà è dovuta al traffico degli autoveicoli.

Altre importanti fonti di ossidi di azoto sono gli impianti termici e le centrali termoelettriche; le quantità emesse sono comunque relativamente minori dato che nel corso della combustione vengono raggiunte temperature di fiamma più basse. Sorgenti antropogeniche di ossidi di azoto sono inoltre la produzione dei fertilizzanti azotati, la produzione di acido nitrico per ossidazione dell'ammoniaca e la fabbricazione degli esplosivi, tutti i processi chimici che impiegano acido nitrico (come ad esempio la dissoluzione di metalli).

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

Nel caso in cui l'inquinamento sia dovuto ad una casualità fortuita, la concentrazione dell'inquinante nell'aria cala rapidamente nel giro di 2-5 giorni: infatti l'ossido di azoto viene sempre rimosso per ossidazione. Nelle atmosfere inquinate in modo continuativo (in genere dagli autoveicoli) si assiste ad un ciclo giornaliero di formazione di inquinanti secondari: il monossido di azoto viene ossidato tramite reazioni

fotochimiche (catalizzate dalla luce) a biossido di azoto; si forma così una miscela NO-NO₂, che raggiunge il picco di concentrazione nelle zone e nelle ore di traffico più intenso. Attraverso una serie di reazioni, ancora catalizzate dalla luce solare, si giunge alla formazione di ozono e di composti organici ossidanti (vedi smog fotochimico). Durante la notte queste sostanze decadono formando composti organici nitrati, perossidi ed aerosol acidi. Una situazione del genere si verifica specialmente nelle città ad elevato traffico e molto soleggiate come ad esempio Los Angeles, Città del Messico, Santiago del Cile (nella foto a lato), Roma, ecc. Le città sembrano avvolte che una nube di inquinanti che, oltre a provocare una diminuzione della visibilità costituiscono un pericolo per la salute dei soggetti più deboli come i bambini, gli anziani e gli asmatici. La situazione può diventare estremamente seria se fenomeni di intrappolamento ed assenza di vento impediscono alla nube di disperdersi. La concentrazione ambientale del biossido di azoto oscilla tra 1 e 9 µg/mc; nei Paesi Occidentali la media annuale è compresa fra 20 e 90 µg/mc, mentre nelle città in genere non supera i 40 µg/mc. Negli ambienti indoor la concentrazione di ossidi di azoto risulta più elevata nelle cucine per le combustioni aperte dei fornelli (spesso può arrivare a concentrazioni più elevate di quelle esterne). La diminuzione di questi inquinanti risulta comunque estremamente rapida non appena vien meno la causa della loro produzione.

L'azione sull'uomo dell'ossido di azoto è relativamente blanda; inoltre, a causa della rapida ossidazione a biossido di azoto, si fa spesso riferimento esclusivo solo a quest'ultimo inquinante, in quanto risulta molto più tossico del monossido. Il biossido di azoto è un gas irritante per le mucose e può contribuire all'insorgere di varie alterazioni delle funzioni polmonari, bronchiti croniche, asma ed enfisema polmonare. Lunghe esposizioni anche a basse concentrazioni provocano una drastica diminuzione delle difese polmonari con conseguente aumento di rischio di affezioni alle vie respiratorie. Gli effetti del biossido di azoto si manifestano generalmente parecchie ore dopo l'esposizione, così che spesso le persone normalmente non si rendono conto che il loro malessere è dovuto all'aria inquinata che hanno respirato. Per il biossido di azoto l'Organizzazione Mondiale per la Sanità (OMS) raccomanda il limite guida orario di 200 µg/mc, il limite per la media annuale è invece 40 µg/mc.

Per un'esposizione di mezz'ora la concentrazione di 560 µg/mc è la più alta concentrazione alla quale non si hanno effetti rilevabili. Brevi esposizioni a 50-150 mg/mc provocano risentimenti polmonari; 100 mg/mc, inalati per 1 minuto, provocano notevoli danni al tratto respiratorio; concentrazioni di 300-400 mg/mc portano alla morte per fibrosi polmonare. I lavoratori più esposti ad alte concentrazioni di biossido di azoto sono gli addetti alla manipolazione dell'acido nitrico (industrie chimiche, galvaniche, orafe) e chi opera la saldatura ad arco elettrico.

L'inquinamento da biossido di azoto ha un impatto sulla vegetazione di minore entità rispetto al biossido di zolfo. In alcuni casi, brevi periodi di esposizione a

basse concentrazioni possono incrementare i livelli di clorofilla; lunghi periodi causano invece la senescenza e la caduta delle foglie più giovani. Il meccanismo principale di aggressione comunque è costituito dall'acidificazione del suolo (vedi fenomeno delle piogge acide); gli inquinanti acidi causano un impoverimento del terreno per la perdita di ioni calcio, magnesio, sodio e potassio e conducono alla liberazione di ioni metallici tossici per le piante. Da notare che l'abbassamento del pH compromette anche molti processi microbici del terreno, fra cui l'azotofissazione.

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

Il DPR n. 203 del 24 maggio 1988 fissa il valore limite per il biossido di azoto: il 98° percentile delle concentrazioni medie di un'ora rilevate nell'arco di un anno ha il valore limite pari a 200 µg/mc.

Il DPR n. 203 prevede anche dei valori guida per il biossido di azoto: il 50° percentile delle concentrazioni medie di 1 ora rilevate durante l'anno ha il valore guida di 50 µg/mc; il 98° percentile delle concentrazioni medie di 1 ora rilevate durante l'anno ha il valore guida di 135 µg/mc.

Il Decreto Ministeriale 25/11/94 fissa inoltre il livello di attenzione ed il livello di allarme per quanto riguarda il biossido di azoto nelle aree urbane: considerando la media oraria (media delle misure effettuate nell'arco di 1 ora) il livello di attenzione è fissato in 200 µg/mc, mentre il livello di allarme è posto a 400 µg/mc. Il Decreto Ministeriale n.60 del 02-04-2002 va ad abrogare in parte le leggi precedenti. Emanato per ottemperare alle Direttive Europee, pone come valore limite orario 200 µg/mc (da raggiungere entro il 2010), come limite annuale 40 µg/mc (anche questo da raggiungere entro il 2010) e come limite annuale per la protezione della vegetazione 30 µg/mc. La soglia di allarme è di 400 µg/mc.

Il limite di sicurezza per i lavoratori esposti al biossido di azoto, come TLV-TWA, è di 3 ppm, pari a 5,6 mg/mc; come TLV-STEL è di 5 ppm, pari a 9,4 mg/mc (limiti indicati dall'ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Il limite di sicurezza per i lavoratori esposti all'ossido di azoto (ossido nitrico), come TLV-TWA, è di 25 ppm, pari a 31 mg/mc (indicato dall'ACGIH).

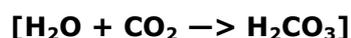
NB: I livelli di attenzione sono definiti come le concentrazioni di inquinanti atmosferici che determinano lo stato di attenzione, cioè una situazione di inquinamento atmosferico che, se persistente, determina il rischio di raggiungere lo stato d'allarme. Lo stato di allarme è definito come uno stato suscettibile di determinare una condizione di rischio ambientale e sanitario. Gli stati di attenzione o di allarme si raggiungono quando, al termine di un ciclo di monitoraggio, si rileva il superamento, per uno o più inquinanti, del livello di attenzione o di allarme. Quando questi livelli vengono raggiunti scatta una serie di provvedimenti finalizzata alla difesa della popolazione da eventuali esposizioni a rischio.

PIOGGE ACIDE

Gli ossidi di zolfo e gli ossidi di azoto a contatto con l'acqua causano un meccanismo di acidificazione concettualmente semplice.

Nell'atmosfera l'acqua è presente sotto forma di vapore che condensando determina la formazione delle gocce.

Queste, essendo costituite da sola acqua, hanno un pH pari circa a 7,0; per la dissoluzione dell'anidride carbonica (CO₂), presente naturalmente nell'atmosfera, si produce l'acido carbonico



che causa un abbassamento del pH delle gocce a valori intorno a 5,5 e cioè a valori considerati naturali.

In presenza di anidride solforica e di biossido di azoto l'acqua reagisce formando rispettivamente acido solforico



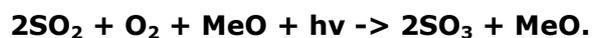
e nitrico



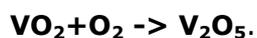
che essendo acidi forti determinano un ulteriore abbassamento del pH a valori estremamente bassi.

Tanto per fare un esempio, nel 1979 la neve caduta in Virginia occidentale (USA) aveva un pH pari a 1,7.

In genere l'anidride solforica si forma nell'atmosfera a partire dal biossido di zolfo: la SO₂, emessa nel corso dei vari processi inquinanti, reagisce con microscopiche particelle metalliche che catalizzano, con il contributo delle radiazioni luminose, la reazione che conduce all'anidride:



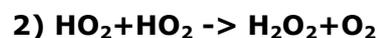
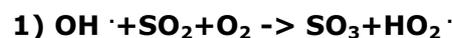
Questi ossidi metallici (MeO) che fungono da catalizzatori sono costituiti principalmente da manganese, ferro e vanadio; ossidandosi all'aria riescono a rigenerare la reazione di formazione del triossido di zolfo con un meccanismo analogo per tutti i metalli:



A contatto con l'acqua, l'anidride solforica che viene così prodotta dà luogo all'acido solforico.

In genere, comunque, una parte di queste reazioni di ossidazione è regolata dai composti prodotti nel corso

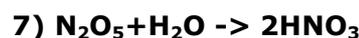
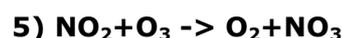
di varie reazioni fotochimiche: radicali ossidrilici e perossidrilici, perossidi, ecc. responsabili degli intermedi di reazione. Si possono definire 4 reazioni principali:



Nella reazione (1) una molecola di anidride solforosa reagendo con il radicale ossidrilico, dà origine ad una molecola di anidride solforica, la quale idrolizzata produrrà acido solforico (reazione 4). Sempre nella (1) si origina anche il radicale perossidrilico che reagendo forma perossido di idrogeno (reazione 2). Il perossido di idrogeno che si origina nel corso della seconda reazione origina l'acido solforico reagendo con il biossido di zolfo (3).

Come si può notare, tutte le reazioni chimiche indicate convergono verso la formazione di acido solforico che solubilizza nel vapore acqueo.

Gli ossidi di azoto a contatto con il vapore acqueo portano invece alla formazione dell'acido nitrico (HNO₃), secondo le reazioni (5), (6) e (7).



Nella reazione (5) il biossido di azoto reagisce con una molecola di ozono per originare triossido di azoto (NO₃). Questa reazione porta paradossalmente ad un miglioramento della qualità dell'aria in quanto abbassa la concentrazione di ozono nelle aree urbane, dove il biossido di azoto viene emesso per la maggior parte dagli scarichi degli autoveicoli. Infatti è questo il motivo per cui nelle aree urbane la concentrazione di ozono risulta spesso più elevata nei parchi (dove mancano queste emissioni) piuttosto che nelle zone a maggiore traffico veicolare.

Il biossido ed il triossido di azoto originano l'anidride nitrica (reazione 6). Successivamente per idrolisi l'anidride nitrica origina due molecole di acido nitrico (7)

