

EFFETTO SERRA

L'energia solare che raggiunge la superficie terrestre viene assorbita dal suolo e dalle acque degli oceani, che pertanto si riscaldano.

L'energia iniziale si trasforma così in calore, che viene continuamente emesso verso lo spazio come radiazioni infrarosse. Se queste radiazioni attraversassero completamente l'atmosfera, la temperatura nelle ore notturne scenderebbe a parecchie decine di gradi sotto lo zero, un po' come avviene sulla Luna. Invece succede che la maggior parte delle radiazioni infrarosse viene assorbita dalle molecole di alcuni gas presenti nell'atmosfera e rinviata verso la superficie terrestre, che così recupera parte del calore emesso e si mantiene più calda. Questi gas, principalmente costituiti da *vapor acqueo e diossido di carbonio*, agiscono in pratica come le pareti di vetro di una serra, che si lasciano attraversare dai raggi solari, ma "intrappolano" il calore, cioè le radiazioni infrarosse, emesse dal pavimento della serra e da ciò che vi è contenuto; ne deriva che all'interno della serra si mantiene una temperatura più elevata rispetto all'ambiente esterno.

Per questo il fenomeno che si verifica nell'atmosfera viene chiamato EFFETTO SERRA e i gas che ne sono la causa sono detti GAS SERRA.

Come è facile intuire, se aumenta la quantità presente nell'atmosfera di un gas serra, verrà trattenuto più calore, con conseguente INTENSIFICAZIONE DELL'EFFETTO SERRA.

E' proprio quello che si sta verificando e la causa è legata in particolare all'aumento del diossido di carbonio prodotto nei processi di combustione in quantità enorme su scala mondiale: circa 25 milioni di tonnellate all'anno.

Come risultato durante l'ultimo secolo, e soprattutto durante gli ultimi 50 anni, la concentrazione atmosferica di anidride carbonica è progressivamente aumentata.

C'è anche un altro fattore che favorisce l'aumento di diossido di carbonio: la *deforestazione*. Ogni anno si abbattono e si bruciano ampi tratti di foreste tropicali: in questo modo, oltre ad immettere nell'atmosfera grandi quantità di anidride carbonica, si riduce anche il numero di piante in grado di assorbirla attraverso la fotosintesi.

Infine, a peggiorare la situazione, si è registrato un aumento di altri gas a effetto serra, in particolare il metano (i numerosi bovini di allevamento emettono quantità di metano durante i processi digestivi) e il protossido di azoto (si forma in seguito all'uso di fertilizzanti azotati) che contribuiscono in modo non trascurabile al fenomeno.

Viene seguito con particolare interesse il metano che, pur essendo presente in concentrazioni piccolissime, ha una capacità di trattenere calore molto superiore al diossido di carbonio: anche il metano, pur essendo un componente naturale dell'atmosfera, ha mostrato un aumento sensibile di concentrazione nell'ultimo secolo, attribuibile in gran parte all'attività umana.

Il riscaldamento della terra

Molto si dibatte sull'entità del riscaldamento che si sarebbe già verificato negli ultimi 100anni e che sembra confermato da numerosi indizi: le stime indicano aumenti della temperatura media tra 0,5 e 1°C; non tutti gli studiosi, comunque, vedono come responsabili solo i gas serra; per alcuni, le cause di questo innalzamento termico potrebbero collegarsi a variazioni naturali connesse ai cicli di attività solare o a fluttuazioni climatiche ancora da chiarire.

I fenomeni relativi alla dinamica dell'atmosfera sono molto complessi e in parte da approfondire: le previsioni circa la loro evoluzione nel futuro possono quindi contenere un margine di incertezza difficile da quantificare. A questo proposito, però, conviene ricordare che il clima sulla Terra non è costante: nel corso di milioni di anni si sono succedute oscillazioni climatiche anche molto significative, con l'alternanza di ere glaciali ed ere interglaciali, con un significativo aumento della temperatura globale. Il problema quindi non risiede tanto nei mutamenti climatici in sé, quanto nella rapidità con cui questo mutamento si sta verificando, a causa dell'intervento dell'uomo.

Da più segnali viene comunque l'indicazione che sul nostro pianeta sarebbe in atto un **riscaldamento globale**, che desta serie preoccupazioni per le sue conseguenze climatiche.

Le conseguenze per l'ambiente e l'uomo

Un aumento della temperatura atmosferica e superficiale è potenzialmente in grado di generare *effetti devastanti sul pianeta Terra*.

Secondo le previsioni dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), la temperatura terrestre potrebbe aumentare ulteriormente tra 1,4 e 5,8°C nei prossimi decenni.

Le conseguenze per l'ambiente sono:

- Ritiro dei ghiacciai, scioglimento delle calotte polari e conseguente aumento dei livelli dei mari tra i 2 e i 6 metri (il che causerebbe inondazioni: per esempio, le regioni pianeggianti agricole e i delta dei grandi fiumi in India, Cina e Bangladesh sarebbero invase dalle acque; inoltre sarebbero seriamente minacciate città come Venezia, New York, Londra e Sidney; molte piccole isole dell'oceano Pacifico e dell'oceano Indiano potrebbero venire parzialmente sommerse dall'acqua. In Italia, i ghiacciai delle Alpi, già dimezzati rispetto al 1850, potrebbero ridursi ulteriormente e in parte scomparire, mentre il meridione potrebbe diventare una regione semidesertica; per contro, l'Inghilterra potrebbe godere di un clima mite, quasi mediterraneo.
- Modifiche nella distribuzione e nella quantità delle piogge e aumento del numero e dell'intensità degli uragani (l'aumento delle temperature terrestri ha già provocato, negli ultimi quindici anni, un susseguirsi mai visto prima di eventi meteorologici estremi. Ricordiamo nel 2013 il ciclone Cleopatra che colpì il Mediterraneo; il tifone Haiyan che si abbatté su Filippine, Vietnam e Cina)
- Acidificazione degli oceani: avrebbe disastrose conseguenze per gli organismi e l'ecosistema marino e dunque per la catena alimentare. Se è normale che la temperatura di superficie aumenti nel periodo estivo, preoccupa che tale fenomeno interessi anche gli

strati più profondi del mare, quelli al di sotto dei 1000 metri. Gli oceani assorbono tra un terzo e un quarto dell'anidride carbonica rilasciata ogni anno nell'atmosfera. Questo gas si scioglie nell'acqua di mare formando un acido debole, l'acido carbonico, che determina l'abbassamento del pH: un processo noto come acidificazione degli oceani. Cambiamenti apparentemente piccoli del pH dell'acqua possono in realtà avere conseguenze gravissime per l'ambiente marino. La diminuzione della quantità di ioni carbonato, per esempio, che sono i mattoni necessari alla formazione degli scheletri e dei gusci calcarei, mette a serio rischio la vita di molluschi e crostacei. Il loro guscio, a base di carbonato di calcio, costruito assorbendo ioni calcio dall'acqua marina, rischia di indebolirsi moltissimo o di non formarsi affatto, con ovvie conseguenze per le specie coinvolte. L'acidificazione degli oceani potrebbe avere conseguenze ancora più preoccupanti sulle barriere coralline, l'habitat di almeno un quarto di tutte le specie acquatiche note. Ma le prime aree del Pianeta a essere colpite dal fenomeno saranno i poli, dove le basse temperature facilitano lo scioglimento della CO₂ in mare. Il riscaldamento dell'atmosfera e quello degli oceani sono entrambi il segnale che i meccanismi di smaltimento della CO₂ si stanno inceppando. Con l'aggravante che il riscaldamento dell'oceano ha effetti più protratti nel tempo rispetto a quelli provocati dall'atmosfera: l'acqua infatti ha un calore specifico superiore a quello dell'aria, per cui si riscalda più lentamente e più lentamente rilascia il calore accumulato.

- Estinzione di specie vegetali e animali uno studio prevede che se ne estingueranno dal 18% al 35% nei prossimi 40 anni.

I cambiamenti al clima, all'ambiente e all'ecosistema riguardano da vicino anche l'uomo, poiché essi incidono sugli equilibri sociali ed economici della popolazione umana. Il riscaldamento potrebbe avere come conseguenze:

- Un aumento della diffusione di malattie

L'ambiente in cui viviamo è carico di sostanze tossiche per il nostro organismo, dalle polveri sottili e ultrasottili, ai pesticidi usati in agricoltura, agli antibiotici e ai farmaci per uso medico e zootecnico, agli additivi alimentari.

Sono loro i principali responsabili di allergie, mutazioni del DNA, insorgenza di tumori e di danni a carico delle vie respiratorie. In una situazione già critica, l'aumento della temperatura globale contribuisce a sua volta alla diffusione di quelle malattie provocate da microorganismi che infettano l'ospite in modo indiretto, sfruttando come veicolo gli insetti o l'acqua. Per questo, già da qualche anno, l'organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) tiene sotto stretto controllo l'impatto dei cambiamenti climatici sulla salute e mantiene alta l'attenzione dell'opinione pubblica sul problema. Secondo i dati che l'OMS ha pubblicato nel 2000, le cause di morte strettamente correlate al fenomeno del riscaldamento globale sono la malnutrizione (Africa, soprattutto sud-est asiatico e in parte anche l'area mediterranea orientale), le alluvioni, la malaria (Africa) e una malattia virale chiamata Dengue (malattia virale che si manifesta con febbre anche molto alta. Nei casi più gravi può provocare una febbre emorragica, con perdite di sangue che possono portare a veri e propri collassi. La malattia è causata da quattro virus molto simili ed è trasmessa agli esseri umani dalle punture di zanzare del genere *Aedes aegypti*, anche se si sono registrati casi trasmessi da *Aedes albopictus*. Tipica delle aree tropicali e sub-tropicali, la sua

atipica diffusione in Europa è dovuta all'aumento degli spostamenti di merci e di persone). Non vanno però sottovalutate le patologie cardiovascolari e respiratorie provocate dall'inquinamento atmosferico, alle quali sono certamente più soggetti i paesi industrializzati o le aree, come il territorio sovietico, che sono state colpite da disastri ecologici (come l'incidente nucleare di Chernobyl, nell'ex Unione Sovietica).

L'ampliamento al Nord e al Sud delle zone climatiche sub-tropicali, oltre a facilitare la contaminazione microbica delle acque (perché a temperatura più elevata i microbi si riproducono più facilmente), ha prodotto la diffusione di alcuni insetti in latitudini diverse da quelli usuali. Sono proprio questi i principali agenti dell'espansione delle malattie tipiche delle zone tropicali e sub-tropicali. La comparsa della zanzara tigre (*Aedes albopictus*) nelle zone climatiche temperate è un noto esempio di migrazione e colonizzazione di insetti vettori in aree diverse da quelle originarie. Oltre alle fastidiosissime punture, la zanzara tigre ha provocato nell'agosto del 2007 in Emilia Romagna la trasmissione di malattie infettive come la Chikungunya e la Dengue. L'insetto originario dell'Asia sud-orientale, negli ultimi cinquant'anni ha esteso la sua area di diffusione arrivando fino alle Hawaii, alle isole del sud-Pacifico e giungendo in Italia nei primi anni novanta, probabilmente attraverso il commercio di copertoni usati, dove evidentemente ha trovato una nicchia adatta alla sua diffusione. A proposito di virus è importante ricordare il caso dell'influenza aviaria: l'eccezionale ondata di freddo di fine 2005 che ha congelato il Mar Nero ha fatto sì che alcuni cigni, non trovando cibo, arrivassero in Italia, trasportando il virus.

- Il peggioramento della qualità dell'aria che respiriamo con l'aumento di patologie respiratorie.

Evaporazione, condensazione, precipitazione, infiltrazione e scorrimento non sono altro che continui scambi di acqua tra atmosfera, terra, organismi, acque superficiali e sotterranee. Tutto avviene nella troposfera, la fascia dell'atmosfera a diretto contatto con la superficie terrestre che ha uno spessore variabile a seconda della latitudine: ai poli conta appena 8 km di spessore, mentre raggiunge i 20 km all'equatore. Si tratta solo di una piccola fetta di cielo terrestre, tuttavia la troposfera è lo strato in cui avviene la maggior parte dei fenomeni di carattere meteorologico, causati dalla circolazione delle masse d'aria, dove hanno origine i venti, le nuvole, le precipitazioni atmosferiche e dove sempre più spesso vengono registrate elevate quantità di inquinanti. Nella sua trasparenza il cielo nasconde una serie di elementi chimici, che lo hanno popolato seguendo le vie più diverse: respirazione, fotosintesi, decomposizione, evaporazione, combustione.

La combustione è un processo chimico molto frequente in natura e, di fatto, è il modo più semplice per ottenere energia. Sappiamo che per accendere un fuoco abbiamo bisogno di un combustibile (es metano), un comburente (es ossigeno) e di un innesco e si produce calore. I combustibili più diffusi e utilizzati sono i combustibili fossili, gassosi e liquidi, composti di idrogeno e carbonio (da cui il nome idrocarburi) caratterizzati da un numero variabile di atomi di carbonio estremamente variabile: si parte da un atomo nel metano e si arriva a circa trenta negli oli combustibili.

Le miscele comunemente usate come combustibile contengono tracce di composti contenenti zolfo, azoto e metalli pesanti che, durante il processo di combustione, contribuiscono a formare

quelle particelle e molecole indesiderate che chiamiamo inquinanti. Nel motore dell'auto, così come nella caldaia di casa, insieme ai prodotti principali della combustione (anidride carbonica e vapore acqueo) si possono formare, infatti, ossidi di azoto, monossido di carbonio e altri. La presenza di questo tipo di emissioni, rilevata dalle centraline della Protezione ambientale e ben visibile dal satellite, ha spinto la ricerca scientifica a concentrarsi su tecnologie capaci di contenerle. Un esempio di queste tecnologie è l'uso di catalizzatori e marmitte catalitiche, che sono in grado di convertire tre dei principali inquinanti (ossidi di azoto, idrocarburi incombusti e monossido di carbonio) in sostanze non tossiche (azoto, anidride carbonica e acqua).

In Italia, la Pianura Padana ha una particolare conformazione geografica che la vede circondata dalle Alpi e libera solo sul lato orientale; questa conformazione ostacola i venti e favorisce l'accumulo di forte umidità nell'aria. Le conseguenze principali sono due: nebbia e smog. I rilevamenti satellitari mostrano come l'inquinamento di quest'area sia la più grave d'Europa (e il quarto nel mondo). Un fenomeno analogo si riscontra in Germania, nel bacino industriale della Ruhr. La qualità dell'aria insomma è strettamente legata alla meteorologia. Le precipitazioni atmosferiche ripuliscono il cielo da polveri e micropolveri in sospensione. Pioggia e neve determinano quindi la salubrità dell'aria.

I fattori inquinanti che vengono oggi monitorati dalle ARPA (enti regionali preposti al controllo e alla protezione ambientale) sono molti. Ma i "nasi elettronici" che oggi sorvegliano in città la qualità dell'aria sono il prodotto di una tecnologia che si è sviluppata solo negli ultimi cinquant'anni, cioè da quando le analisi dei cieli metropolitani hanno scoperto tracce di piombo, zolfo e metalli pesanti gravemente dannosi per la salute). Erano gli anni sessanta e la norma, per gli operai delle grandi fabbriche che uscivano dal turno lavorativo, era trovare la propria auto coperta da un sottile strato di fuliggine. La stessa che respiravano durante la giornata. Da allora per fortuna molte cose sono cambiate. L'altissima percentuale di anidride solforosa è stata riportata entro livelli di guardia grazie all'uso di combustibili più puliti. Il diossido di azoto che negli anni ottanta aveva livelli di concentrazione allarmanti ha invertito la tendenza alla crescita. Il piombo è stato eliminato dai carburanti con nuovi processi di raffinazione. Ma nuovi inquinanti, a volte cancerogeni, vengono alla ribalta: il benzene, l'ozono e le polveri sospese respirabili sono al limite dei valori di legge e spesso li superano. Il ruolo della ricerca scientifica, ancora una volta, è determinante per monitorare e migliorare questi aspetti e cercare soluzioni in equilibrio tra necessità energetiche e rispetto dell'ambiente.

Ecco una breve descrizione dei principali inquinanti che incidono in maniera importante sulla qualità dell'aria. Per ognuno di essi è indicata la % di cui sono responsabili le auto e gli effetti sul corpo umano:

- *78% MONOSSIDO DI CARBONIO gas inodore e incolore, deriva dalla combustione di carburanti e combustibili. Il monossido di carbonio si combina con l'emoglobina del sangue creando problemi al trasporto dell'ossigeno nei tessuti. Ha effetti negativi sull'app cardiovascolare e sul sistema nervoso. I gas di scarico dei veicoli rappresentano la principale fonte di questo inquinante, soprattutto quando funzionano a basso regime in situazione di traffico intenso e rallentato*

- 60% OSSIDI DI AZOTO miscela gassosa di ossidi di azoto che, ad alte concentrazioni, ha colore bruno rossastro e odore pungente. Gli ossidi di azoto si generano in tutti i processi di combustione che avvengono in presenza di aria. La miscela è irritante per il sistema respiratorio e le mucose del naso e degli occhi
 - 40% COMPOSTI ORGANICI VOLATILI (COV) sotto questa dicitura vengono di norma raggruppati la maggior parte dei composti organici presenti nell'atmosfera, pur avendo caratteristiche molto diverse fra loro. Alcuni, come il benzene hanno un'azione oncogena ed è generato quasi esclusivamente dal traffico.
 - 33% ANIDRIDE CARBONICA è una molecola molto stabile e questo consente l'accumulo in atmosfera come conseguenza dell'incremento del consumo di combustibili fossili. Non è nociva per l'uomo, ma è il principale responsabile dell'effetto serra
 - 31% POLVERI SOTTILI E ULTRASOTTILI sono particelle solide con diametro dell'ordine di grandezza dei micron (millesimi di millimetro) che rimangono in sospensione nell'aria. L'entità del rischio sanitario legato a questo tipo di inquinante dipende, oltre che dalla loro concentrazione, dalla dimensione delle particelle stesse. Le particelle di dimensioni inferiori possono penetrare in profondità nell'albero respiratorio e arrivare fino ai bronchi e agli alveoli polmonari, contribuendo alla manifestazione di malattie croniche delle vie respiratorie come asma, bronchiti, enfisemi.
 - 8% ANIDRIDE SOLFOROSA è un gas incolore con odore pungente, prodotto dall'utilizzo di combustibili e carburanti contenente zolfo. L'introduzione di carburanti a basso contenuto di zolfo ne ha notevolmente ridotto i quantitativi presenti in atmosfera. A causa della sua elevata solubilità in acqua, viene facilmente assorbita dalle mucose del naso e del tratto superiore dell'app respiratorio provocando patologie come bronchiti, asma e tracheiti oltre a forme di irritazione della pelle e degli occhi.
-
- L'innalzamento dei mari farebbe diminuire le scorte di acqua dolce
 - I raccolti agricoli dell'Africa subsahariana peggiorerebbero drasticamente a causa della temperatura
 - Se alcune zone ora popolate diventassero inabitabili, ci sarebbero enormi migrazioni di massa
 - Uno spostamento delle zone di produzione e una trasformazione delle rotte commerciali

CHE COSA POSSIAMO FARE PER FRONTEGGIARE IL PROBLEMA A LIVELLO MONDIALE

Per cercare di rallentare il più possibile la tendenza al surriscaldamento globale e le catastrofi naturali che ne derivano, nel 1997 le Nazioni Unite hanno sottoscritto un **Protocollo messo a punto a Kyoto**. Si tratta di un accordo firmato da oltre 160 nazioni che prevede la riduzione di almeno il 5% delle emissioni inquinanti rispetto ai valori registrati nel 1990.

Proprio gli Stati Uniti, che sono responsabili della quota maggiore delle emissioni di CO₂ (circa il 36% del totale), sono gli unici fra i Paesi industrializzati a non aderire al Protocollo. India e Cina, invece, hanno ratificato l'accordo, ma al momento non sono tenute a ridurre le emissioni di anidride carbonica. Come altri Paesi in via di sviluppo, infatti, non hanno partecipato all'esplosione dell'era industriale e quindi non rientrano fra i diritti responsabili del danno ambientale. Per quanto riguarda l'Europa, invece, gli obiettivi da raggiungere entro il 2020 sono:

- Un aumento dell'efficienza energetica pari al 20%
- La riduzione del 20% delle emissioni di gas serra
- La produzione da fonti rinnovabili del 20% del consumo energetico globale dei Paesi dell'UE

Nel dicembre 2011, nel corso della 17^a Conferenza mondiale sul clima dell'ONU di Durban, è stato raggiunto un accordo che prevede un'ulteriore estensione, per cinque anni, del protocollo di Kyoto. La conferenza ha però evidenziato varie divergenze tra i Paesi emergenti (Sudafrica, Brasile, India e Cina) e quelli di più lontana industrializzazione. Proprio a Durban, il Canada ha annunciato di non voler più aderire al Protocollo di Kyoto. Secondo i dati dell'*International Energy Agency (IEA)*, Cina e Stati Uniti sono responsabili del 41% delle emissioni globali di CO₂: tra il 1990 e il 2009, le emissioni della Cina sono aumentate del 206,5% e quelle degli Stati Uniti del 6,7%.

Oltre al pacchetto 20-20-20, l'Europa è in prima fila nella corsa al futuro verde e ha un piano anche per il lungo periodo. La Road Map 2050 che è stata delineata dalla Fondazione Europea per il Clima (European Climate Foundation, ECF) prevede obiettivi decisamente ambiziosi: installazione di 100.000 turbine eoliche e 5000 Km quadrati di pannelli solari, 200 milioni di auto elettriche in circolazione. Si tratta di un progetto complesso da realizzare, ma che fra 40 anni potrebbe portare l'Europa a essere indipendente dall'approvvigionamento di petrolio, carbone e gas naturale e a creare un forte slancio economico e milioni di posti di lavoro nel campo delle energie verdi.

L'ASSOTTIGLIAMENTO DELLO STRATO DI OZONO

Una frazione dell'energia solare in arrivo sulla Terra è costituita da radiazioni ultraviolette (UV), che sono in grado di danneggiare gravemente gli esseri viventi, animali e piante, poiché interferiscono con i processi biologici che avvengono nelle cellule. Tuttavia, la maggior parte dei raggi UV sono intercettati, prima che raggiungano la superficie terrestre, dalle molecole ozono, un gas che è particolarmente concentrato nella stratosfera, in una fascia detta strato di ozono.

L'ozono si forma a partire dall'ossigeno: la sua molecola è infatti formata da tre atomi di ossigeno (O_3). L'ozono funziona da "filtro" dei raggi UV perché quando viene colpito da questi, ne assorbe l'energia, scindendosi in ossigeno molecolare (O_2) e in ossigeno atomico (O), che poi si ricombinano rigenerando ozono; questo meccanismo consente di mantenere, mediante un equilibrio naturale, una costante barriera protettiva di ozono nell'atmosfera.

A partire dal 1976-77, gli scienziati hanno cominciato ad osservare che lo strato di ozono andava assottigliandosi. Negli anni seguenti si è potuto rilevare che, in particolare sopra l'Antartide, l'ozono si era talmente ridotto da far parlare di "buco di ozono". La causa di questa diminuzione è stata attribuita ad alcune sostanze gassose, i clorofluorocarburi (CFC), composti contenenti fluoro, cloro e carbonio, che erano ampiamente usati come fluidi refrigeranti nei frigoriferi e nei condizionatori, come propellenti nelle bombolette spray e nella produzione di materie plastiche espansive.

I CFC emessi nell'atmosfera, per la loro stabilità chimica, persistono a lungo e diffondono fino alla stratosfera. Qui, le molecole di CFC si decompongono liberando atomi di cloro (Cl) che, attraverso una catena di reazioni, reagiscono con l'ozono trasformandolo in ossigeno e quindi distruggendolo. Un solo atomo di cloro può convertire in ossigeno fino a 10000 molecole di ozono.

La grave minaccia rappresentata dai CFC ha indotto i paesi industrializzati a sottoscrivere un accordo internazionale che, a partire dal 1987, ha imposto una graduale riduzione del loro consumo, fino alla definitiva messa al bando di questi composti nel 2000. Nel frattempo sono stati approntati prodotti sostitutivi non dannosi per l'ozono e i risultati non si sono fatti attendere: nei primi anni del 2000, gli scienziati hanno constatato che il buco dell'ozono comincia gradualmente a restringersi; ci sono fondate speranze che nel giro di circa 50 anni l'ozono si ricostituisca e il buco si chiuda.

LE PIOGGE ACIDE

Due pericolosi inquinanti atmosferici sono il diossido di azoto (NO_2) che si forma nei processi di combustione a elevata temperatura, come nei motori degli autoveicoli e nelle centrali termoelettriche, e il diossido di zolfo (SO_2), che si forma nella combustione del carbone e del petrolio che contengono zolfo e i suoi derivati come impurezze, e in altri processi industriali, specialmente metallurgici. Le centrali termoelettriche e gli impianti termici industriali sono le fonti principali.

Questi due gas, a contatto con le goccioline di acqua in sospensione nell'atmosfera, formano soluzioni diluite di acido nitrico (HNO_3) e acido solforico (H_2SO_4), rispettivamente, che possono essere trasportate dai venti anche a grandi distanze dai luoghi di emissione, superando i confini nazionali; si parla infatti di inquinamento transfrontaliero; raggiungendo il suolo con le precipitazioni, esse originano le piogge acide, così chiamate perché hanno un'acidità da 10 a 100 volte superiore a quella della pioggia "normale", che è debolmente acida per la presenza di acido carbonico, derivato dal diossido di carbonio; talvolta l'acidità delle piogge eguaglia quelle del succo di limone.

Le piogge acide corrodono i manufatti di metallo e le costruzioni in marmo; inoltre sono dannose per gli organismi viventi: i più colpiti sono gli ambienti forestali, in quanto sono indebolite le difese delle piante che sono così esposte all'attacco di organismi patogeni e gli ambienti lacustri, dove molte specie acquatiche, soprattutto pesci, soccombono all'aumento di acidità. In Italia le regioni più danneggiate dal fenomeno delle piogge acide nel recente passato sono state la Lombardia e il Piemonte.