

LA BIOSFERA E I BIOMI

Introduzione

La biosfera è l'insieme costituito dagli ambienti fisici della Terra in grado di ospitare forme di vita e da tutti gli organismi che popolano tali ambienti. Nella biosfera si riconoscono diverse zone geografiche caratterizzate da un clima, una vegetazione e una fauna propri: queste sono definite biomi. L'insieme dei biomi comprende l'intera varietà delle forme di vita della Terra. Le interferenze dell'attività umana a danno della biosfera sono determinate sia dall'immissione di sostanze chimiche che causano inquinamento, sia da perturbazioni fisiche del territorio (in particolare, la deforestazione, l'ampliamento di aree urbane e industriali, l'alterazione degli assetti idrogeologici). Tra le iniziative di tutela degli ambienti naturali si segnala l'istituzione di riserve naturali.

La biosfera

La biosfera è il sistema biologico che comprende tutti gli ecosistemi della Terra e che quindi si può considerare formata dall'insieme degli ambienti fisici del pianeta (terre emerse, o litosfera; acque, o idrosfera; aria, o atmosfera), che possono ospitare forme di vita, e delle comunità di organismi viventi che popolano tali ambienti.

La biosfera può essere immaginata come una sottile pellicola dello spessore di circa 20 km che circonda la superficie terrestre; fino a 10 km di altezza nell'atmosfera è stata rilevata la presenza passiva di polline e di spore, mentre nelle fosse oceaniche, a circa 10 km di profondità, è stata provata l'esistenza di batteri che vivono in assenza di luce e di ossigeno. La fascia della massima attività vitale degli organismi non supera tuttavia i 3000-4000 m negli ambienti montani e i 200 m di profondità negli ambienti marini (limite che corrisponde alla massima penetrazione della luce del Sole).

La biosfera si mantiene in condizioni di equilibrio stazionario; infatti possiede, come tutti i sistemi biologici, una capacità di autoregolazione che le permette di bilanciare le perdite di energia nello spazio con il continuo apporto di energia radiante del Sole, che viene trasformata in materia organica dalla fotosintesi delle piante.

Gli ecosistemi della Terra sono di una varietà straordinaria, tuttavia presentano elementi comuni, che sono da mettere in relazione all'influenza esercitata da alcuni fattori fisico-climatici ambientali, principalmente connessi alla disponibilità relativa di nutrienti, energia, acqua e alla temperatura media. Ciò fa sì che gli ecosistemi siano distribuiti sulla superficie terrestre secondo grandi raggruppamenti, aventi caratteristiche omogenee, detti biomi, e che rappresentino il primo livello di organizzazione della biosfera.

I biomi

I biomi sono sistemi ambientali complessi, di ampia estensione geografica, costituiti da un insieme di ecosistemi, le cui comunità animali e vegetali hanno raggiunto, in una determinata area della superficie terrestre, una relativa stabilità in relazione alle condizioni ambientali.

Ogni bioma è caratterizzato principalmente dalle condizioni climatiche della regione e da una particolare vegetazione che ospita una tipica fauna (insieme delle specie animali).

Il clima è l'insieme delle condizioni meteorologiche medie di una regione della Terra nel corso dell'anno: le condizioni meteorologiche dipendono dagli elementi del clima, come temperatura, piovosità, che a loro volta dipendono da latitudine, altitudine, distanza dal mare ecc.

Per vegetazione si intende l'associazione di specie che caratterizza una certa regione (per esempio, vegetazione alpina, vegetazione mediterranea) in quanto è dominante rispetto all'insieme delle specie vegetali (che costituiscono la flora).

La distribuzione dei biomi sulla Terra segue quindi a grandi linee la distribuzione delle fasce climatiche, in una successione orizzontale che corrisponde alle diverse latitudini (distanza dall'equatore) e una successione verticale corrispondente alle diverse altitudini.

I biomi sono distinti in:

biomi terrestri comprendenti principalmente la tundra, le foreste, le praterie e i deserti; biomi acquatici, con caratteristiche più uniformi, comprendenti biomi marini (delle regioni oceaniche, della piattaforma continentale, delle aree di risalita e delle aree di estuario) e biomi di acqua dolce (di lago, di fiume, di palude).

- **Tundra**

Si distinguono una tundra artica e una tundra alpina.

La tundra artica occupa circa il 20% delle terre emerse e si estende in una larga fascia tra la calotta polare artica e la foresta boreale ad aghifoglie, a latitudini comprese tra i 75° e il circolo polare (66° 33' N). La massima estensione di suoli a tundra si trova nella fascia settentrionale della Siberia.

Il clima è caratterizzato da una stagione estiva molto breve (40-50 giorni), con temperature comprese tra 0 e 10 °C; durante il resto dell'anno le temperature sono sempre al disotto dello zero, toccando anche i -70 °C. I venti sono sempre intensi e le precipitazioni molto scarse. D'estate il terreno sgela solo superficialmente, per pochi decimetri; al di sotto di tale limite, il suolo è perennemente gelato (permafrost), perciò l'acqua di fusione dello strato superficiale non può essere assorbita dal terreno sottostante. Non è quindi possibile la crescita di alberi ad alto fusto, ma solo di una vegetazione bassa, costituita per lo più da licheni, muschi, sfagni e salici nani. In estate la tundra si popola di animali provenienti dalle regioni più meridionali (renne, volpi, lepri artiche, ermellini, pernici ecc.). La quota più consistente della fauna è costituita da insetti, che trovano un ambiente favorevole al loro sviluppo nei vasti acquitrini che ricoprono il suolo in estate.

La tundra alpina, molto simile per associazioni vegetali a quella artica, si trova alle alte altitudini, corrisponde al limite della vegetazione, oltre le praterie alpine, fino alle rocce nude o ai ghiacciai perenni.

- **Le foreste**

La foresta (v. fig. 27.1) è una vasta zona di alberi ad alto fusto.

Si distinguono le foreste decidue, in cui sono dominanti gli alberi che perdono le foglie d'inverno, e le foreste sempreverdi, in cui predominano alberi che mantengono le foglie tutto l'anno. Le foreste miste sono formate sia da alberi decidui sia da alberi sempreverdi.

Le foreste assumono caratteristiche diverse secondo la latitudine e l'altitudine a cui sono situate. Si distinguono le foreste di conifere, le foreste decidue di clima temperato e le foreste tropicali.

La foresta di conifere, detta anche taiga, occupa una fascia di circa 1500-2000 km tra il circolo polare artico, al limite inferiore della tundra, e il 50° parallelo nord, nel continente nordamericano e in Eurasia.

Il clima è caratterizzato da una stagione estiva calda e da una stagione invernale molto fredda.

Come vegetazione vi dominano le gimnosperme sempreverdi (abeti, pini) e decidue (larici), con sottobosco piuttosto rado; gli animali più caratteristici sono l'alce, il lupo, lo scoiattolo e il gallo cedrone.

In montagna, le foreste di conifere crescono oltre i boschi di latifoglie, fino a un'altitudine (variabile secondo le latitudini), detta limite della vegetazione arborea, oltre la quale non crescono piante ad alto fusto.

Le foreste decidue di clima temperato ricoprono parte dell'America nordorientale, l'Europa centrale, parte del Giappone e dell'Australia e la punta meridionale dell'America meridionale.

Il clima è caratterizzato da temperature miti e precipitazioni abbondanti distribuite uniformemente.

La vegetazione dominante è costituita da latifoglie decidue, come faggi, castagni, querce, con sottobosco fitto. Animali caratteristici sono cervi, cinghiali, linci, molte specie di uccelli.

Una volta molto più esteso, soprattutto nell'Europa centrale, è uno dei biomi più alterati dall'azione dell'uomo, che è intervenuto con ampie deforestazioni, sia per sfruttarne il legname, sia per ampliare le aree coltivabili.

In montagna, le foreste decidue occupano altitudini inferiori alle foreste di conifere.

Le foreste tropicali comprendono diverse tipologie di foreste della regione compresa fra i tropici del Cancro e del Capricorno.

Le foreste tropicali più note sono le foreste pluviali, che si estendono ad altitudini non troppo elevate in prossimità dell'Equatore: nell'America meridionale nel bacino del Rio delle Amazzoni e dell'Orinoco; in Africa nei bacini del Congo, del Niger e dello Zambesi; nella regione asiatica in India, Malesia, Borneo e nella Nuova Guinea.

Il clima di queste regioni è caratterizzato da una piovosità che supera i 200 cm di pioggia all'anno, ben distribuita nelle stagioni (spesso con l'alternanza di una o più stagioni secche).

È l'ambiente terrestre che ospita il più gran numero di specie diverse (biodiversità), con molte specie animali (soprattutto insetti e uccelli) e vegetali, soprattutto alberi molto alti, a latifoglie sempreverdi; sono caratterizzate da una stratificazione arborea che crea una fitta volta vegetale, per

cui solo una minima quantità di luce arriva al suolo e quindi il sottobosco è rado. La foresta pluviale è uno degli ambienti maggiormente minacciati dalla deforestazione.

- **Praterie**

Comprendono ecosistemi dominati da associazioni di piante erbacee (per lo più graminacee), che formano un tappeto denso e continuo. Si distinguono praterie a erbe alte e praterie a erbe basse.

Le praterie a erbe alte si estendono nelle zone a clima continentale delle medie latitudini, dove la quantità di acqua caduta con le precipitazioni bilancia quella persa per evaporazione e traspirazione; vi è quindi un accumulo di acqua nel suolo sufficiente solo allo sviluppo di isolati alberi. Ampie praterie di questo tipo si trovano nell'America settentrionale, nelle regioni settentrionali della Cina, in Argentina (pampa) e in Ungheria (puszta). Un particolare tipo di praterie di questo genere sono le savane dell'Africa tropicale, che vedono alternarsi lunghi periodi di siccità a forti piogge.

Le praterie a erbe basse, o steppe, si sviluppano nelle zone con clima più arido (sia caldo sia freddo): sono distribuite in due ampie fasce che si estendono oltre la zona equatoriale, fino alle latitudini di 55° N e 45° S. La steppa è caratterizzata da specie erbacee con una minore crescita in altezza, che tendono a formare raggruppamenti irregolari con ampi spazi di terreno scoperti, e qualche arbusto o albero basso isolati. Tra gli animali sono presenti canidi (volpi, coyote, lupi) e felini (puma, gatto selvatico).

Le praterie o pascoli alpini sono limitate alle regioni di alta quota, al di sopra del limite della vegetazione arborea, con climi molto freddi e ampia disponibilità di acqua nel suolo; vi dominano le graminacee e le ciperacee basse, ma sono presenti anche specie erbacee a fiore, muschi e licheni.

- **Deserti**

I deserti (v. fig. 27.2) sono regioni molto aride che ricevono meno di 25 cm di pioggia all'anno (o una quantità superiore ma distribuita irregolarmente). Sono modellati dagli sbalzi di temperatura (l'escursione termica fra giorno e notte è assai forte), che frantumano le rocce, e dal vento, che trasporta i detriti più fini: si formano così deserti roccioso-pietrosi (reg) e deserti sabbiosi (erg), con le caratteristiche dune. Dal punto di vista ecologico si distinguono i deserti caldi e i deserti freddi.

I deserti caldi si trovano in Africa, Arabia, Australia; in queste zone possono affiorare falde acquifere intorno alle quali si sviluppano una vegetazione rigogliosa e insediamenti umani (oasi)). I deserti freddi si trovano in Mongolia (deserto del Gobi).

Apparentemente privi di vita, i deserti ospitano comunità animali e vegetali con adattamenti particolari. Fra le piante vi sono piante annue, che crescono solo quando vi è una certa umidità; piante succulente come i cactus, che accumulano acqua nei tessuti; arbusti spinosi, che tendono a limitare al massimo la traspirazione; licheni e muschi.

Per sfuggire l'eccessiva calura, gli animali hanno in genere abitudini notturne o si rifugiano in tane o buche; comprendono soprattutto insetti, aracnidi, rettili; tra i mammiferi dei deserti caldi si ricordano gli orici, il topo delle piramidi e il fennec, o volpe del deserto.

- **Gli ambienti marini**

I principali fattori ecologici che condizionano la presenza e il mantenimento dell'equilibrio in un ecosistema marino sono:

- il tipo di substrato dei fondali;
- la profondità, da cui dipende la penetrazione della luce e la pressione;
- la salinità, la temperatura, la densità, il colore e la trasparenza dell'acqua, che influiscono sul grado di penetrazione della luce;
- le correnti, le maree e il moto ondoso.

In mare vivono molte specie di organismi che si sono adattati a tre forme di vita principali: plancton, necton e benton.

Il plancton comprende vegetali (fitoplancton) e animali (zooplancton) che vivono sospesi nell'acqua; di dimensioni per lo più microscopiche, sono in genere dotati di scarsa capacità di movimento, per cui sono trasportati dalle correnti.

Il fitoplancton comprende alghe unicellulari (come le diatomee) e cianobatteri; sono i produttori primari dell'ecosistema marino (la loro produttività è maggiore rispetto alle grandi alghe pluricellulari che vivono sul fondo, o bentoniche).

Lo zooplancton comprende protozoi (foraminiferi e radiolari), meduse e ctenofori, crostacei (come cladoceri e copepodi) e tunicati, che possono costituire grandi colonie galleggianti; fanno parte dello zooplancton anche organismi allo stadio di uova o larva. Lo zooplancton riunisce i consumatori primari.

Il necton comprende gli animali sospesi nell'acqua in grado di nuotare attivamente vincendo la forza delle correnti: sono soprattutto pesci, alcuni molluschi cefalopodi (calamari), rettili come le tartarughe marine, mammiferi come foche e balene, delfini.

Il benton (o benthos) comprende gli animali e i vegetali che vivono sul fondo. Si può distinguere un fitobenton, costituito da alghe e da batteri, e uno zoobenton, composto dagli animali, con rappresentanti di quasi tutti i *phyla*.

In base alla capacità di spostamento si dicono sessili gli organismi che trascorrono la vita adulta fissati sul fondo, come alghe, poriferi (spugne), celenterati (coralli e madrepora, anemoni di mare), cirripedi incrostanti (balani); sedentari gli animali capaci di piccoli spostamenti sul substrato (come gli echinodermi: per esempio, le stelle di mare); vagile, la fauna capace di movimenti veri e propri sul fondo, come crostacei, molluschi e vermi.

Al benton appartengono anche organismi che si muovono nuotando, ma restano sempre nell'ambito del substrato a cui sono strettamente legati per il nutrimento o la riproduzione o in cui trovano riparo (molti pesci, molluschi e alcuni crostacei). Altri animali vivono all'interno del substrato (endobenton), nella sabbia e nel fango; sono soprattutto organismi scavatori e detritivori (policheti, bivalvi ecc.). Negli strati inferiori del mare vi sono anche i decompositori, in genere batteri che consumano i detriti di origine organica e i corpi morti degli organismi del necton e del plancton che cadono sul fondo: liberano enormi quantità di sostanze minerali arricchendo le acque più profonde.

Secondo la vicinanza alla costa, nell'ambiente marino si distinguono un dominio neritico e un dominio oceanico.

Il dominio neritico è la zona del mare più vicina alla costa; comprende, secondo la profondità:

una zona intercotidale, la parte di costa compresa tra il livello dell'alta marea e della bassa marea: durante l'alta marea, gli organismi (alghe, cirripedi, gasteropodi ecc.) sono immersi in acqua salata, durante la bassa marea devono affrontare il rischio di disidratazione; una zona litorale, che corrisponde alla piattaforma continentale, fino a circa 200 m di profondità, il limite di penetrazione della luce; la ricchezza di sali minerali trasportati in mare dai fiumi e le profondità non elevate, per cui la luce in genere arriva fino ai fondali, permettono la crescita di una rigogliosa comunità di fitoplancton e di conseguenza di una ricca rete alimentare.

Il dominio oceanico, o di oceano aperto, comprende, secondo la profondità:

- una zona fotica, fino a 200-250 m, dove arriva la luce e quindi si sviluppano alghe e fitoplancton alla base della catena alimentare; è la zona più popolata, ricca di plancton e di necton;
- una zona batiale, che corrisponde, vicino alle coste, alla scarpata continentale, tra 200 e 2000 m circa; non vi arriva la luce e la presenza di organismi viventi è più rarefatta, anche se si rilevano molte specie animali, tra cui echinodermi e calamari giganti;
- una zona abissale, da 2000 a 4000 m o fino alle massime profondità; ospita una particolare fauna abissale con poche specie animali (in genere pesci predatori, spesso con organi luminescenti, adattati alla forte pressione dell'acqua e alla totale mancanza di luce).

Il dominio oceanico è l'ambiente marino meno produttivo, paragonabile ai deserti sulla terraferma: la bassa concentrazione di sali minerali nell'acqua non permette lo sviluppo di grandi concentrazioni di fitoplancton e di conseguenza delle comunità marine a esso legate. Sono comunque presenti alcune specie di grossi pesci (pesci pelagici, tra cui squali, pesci spada e tonni).

Nelle profondità oceaniche, le aree più pescose sono le zone di risalita, o di risorgenza, dove le correnti verticali riportano i sali nutrienti accumulati sul fondo fino alla zona fotica. Di notevole interesse ecologico sono infine le comunità dei "camini" (*black smokers*), sorgenti sottomarine che eruttano acqua calda nera di zolfo e sali minerali. Si trovano a notevoli profondità e ospitano inaspettatamente una ricca comunità di solfobatteri chemiosintetici (che sono quindi produttori primari), pesci rosati, piccoli granchi ciechi, mitili, giganteschi anellidi e anemoni di mare.

• **Gli ambienti di acqua dolce**

Gli ambienti di acqua dolce hanno un'estensione relativamente modesta; si dividono in ambienti di acque correnti (a corrente rapida, come i torrenti, e a corrente lenta, come i grandi fiumi e i laghi) e in ambienti di acque stagnanti (come paludi e stagni, in cui l'ossigenazione è scarsa).

I più estesi ambienti di acqua dolce sono i laghi, bacini continentali con stratificazioni nel senso della profondità simili a quelle del mare. Si distinguono infatti:

- una zona litoranea, con acque poco profonde, caratterizzata da vegetazione di sponda, immersa almeno in parte nell'acqua, con foglie sommerse o galleggianti e piccoli animali che vi trovano rifugio; una zona limnica, con acque più profonde;
- una zona profonda.

Anche i laghi contengono plancton, necton e benton; il plancton lacustre è più ricco di individui rispetto a quello marino, ma comprende un minor numero di specie.

Nei laghi delle regioni temperate tende a stabilirsi una stratificazione termica delle acque, dovuta a differenze di temperatura, e quindi di densità, dei diversi strati. Ciò impedisce la libera circolazione delle acque (e quindi dei sali minerali e dell'ossigeno), causando talvolta condizioni di anossia (mancanza di ossigeno) a livello del fondo e bassa concentrazione di sostanze nutritive negli strati superficiali, con rilevanti conseguenze ecologiche.

Le interazioni uomo-ambiente

Da migliaia di anni, e in particolare dalla rivoluzione industriale, la specie umana altera più di ogni altra gli equilibri naturali, causando una rilevante riduzione della biodiversità e un peggioramento delle condizioni ambientali.

La riduzione della biodiversità

Si definisce biodiversità il numero totale delle diverse specie (e quindi il totale dei patrimoni genetici) presenti in un ambiente, della cui integrità è indice diretto.

Si stima che sulla Terra esistano da 5 a 30 milioni di specie vegetali e animali differenti, di cui ne sono state descritte solo 1,4 milioni. Le foreste pluviali, benché degradate dalle attività umane mantengono uno dei valori più alti di biodiversità (con più del 50% della biodiversità globale); al contrario, per esempio, un campo coltivato con una sola varietà di cereali ha una biodiversità molto bassa.

La diminuzione della biodiversità è provocata dall'estinzione delle specie dovuta sia a cause naturali (come le grandi estinzioni del passato, probabilmente per competizione e selezione naturale), sia, soprattutto nel '900, all'azione dell'uomo: molte specie sono scomparse in seguito alla caccia indiscriminata e più recentemente a causa di alterazioni dell'ambiente naturale e degli inquinamenti.

Il peggioramento delle condizioni ambientali

L'alterazione dell'ambiente da parte dell'uomo porta spesso alla distruzione di molti habitat naturali a causa sia delle diverse forme di inquinamento, sia di altri tipi di perturbazioni, quali la deforestazione e il pascolo eccessivo, che contribuiscono alla desertificazione, la compromissione dell'assetto idrogeologico del territorio, l'espansione degli insediamenti urbani, industriali e agricoli.

Si definisce inquinamento il complesso delle alterazioni arrecate all'ambiente (atmosfera, acque e suolo) da agenti che ne modificano le caratteristiche chimiche, fisiche o biologiche, in genere in senso sfavorevole alla vita. Benché possano verificarsi fenomeni di inquinamento dovuto a cause naturali (per esempio, l'immissione di gas e ceneri di origine vulcanica), il termine si riferisce oggi

soprattutto alle alterazioni dannose provocate dall'azione dell'uomo, la specie che più di ogni altra è in grado di modificare l'ambiente.

Le sostanze inquinanti sono nocive all'ambiente sia per la loro intrinseca tossicità, sia perché immesse in dosi eccedenti la naturale capacità di autodepurazione degli ecosistemi.

Le sostanze inquinanti sono residui o sottoprodotti dell'attività industriale (produzione di energia o beni di consumo) e agricola (uso di fertilizzanti e pesticidi, deiezioni di animali) e rifiuti biologici civili.

Le cause dell'inquinamento sono da collegare a vari fattori in relazione tra loro, tra cui la crescita demografica, la progressiva concentrazione urbana e il conseguente aumento dei bisogni e quindi della produzione dei beni di consumo. Gli effetti dell'inquinamento continuo e incontrollato interessano il ritmo di crescita e lo stato di salute delle specie viventi e interferiscono con le catene alimentari; questi effetti, sommandosi alle alterazioni degli habitat, minano l'integrità della biosfera a diversi livelli: atmosfera, acqua e suolo.

• **Inquinamento atmosferico**

I principali inquinanti atmosferici (v. tab. 27.1) sono i prodotti dei processi di combustione di combustibili fossili (petrolio, carbone e gas naturale), a cui si aggiungono gli incendi appiccati a scopo di disboscamento (pratica ancora diffusa nei paesi in via di sviluppo; per esempio, il disastroso incendio delle foreste dell'Indonesia nell'autunno 1997). Le principali fonti di inquinamento atmosferico sono quindi gli impianti di riscaldamento domestico, i motori degli autoveicoli a combustione interna, gli impianti termici industriali, le centrali termoelettriche e gli impianti di incenerimento dei rifiuti solidi, che liberano nell'atmosfera diossido di carbonio, monossido di carbonio, diossido di zolfo, ossidi di azoto, piombo, particelle sospese, idrocarburi.

Numerosi altri settori industriali (chimico, metallurgico, estrattivo) sono responsabili dell'emissione di polveri e composti organici di varia natura (tra cui i clorofluorocarburi).

Inquinanti atmosferici sono anche i prodotti radioattivi artificiali dovuti, oltre che alle esplosioni atomiche sperimentali, a lavorazioni di sostanze radioattive per l'utilizzazione pacifica dell'energia nucleare, all'impiego di nuclidi radioattivi nella ricerca scientifica, nell'industria e in campo medico (considerando anche le fughe di radioattività da incidenti delle centrali nucleari).

Gli inquinanti possono diffondere negli strati alti dell'atmosfera oppure precipitare al suolo, portati dalle correnti atmosferiche anche a grandi distanze dalla sorgente inquinante, causando diversi effetti.

L'effetto serra (v. fig. 27.4) è il fenomeno per cui l'energia emessa dalla superficie terrestre verso lo spazio (in prevalenza come radiazione infrarossa), per bilanciare il flusso di energia ricevuta dal Sole, viene parzialmente assorbita da alcuni gas presenti nell'atmosfera (detti gas serra; in particolare, il diossido di carbonio) e da questi irradiata nuovamente verso la Terra, come fanno i vetri di una serra.

Questo fenomeno mantiene sulla superficie terrestre una temperatura media maggiore di quella che ci sarebbe in assenza di atmosfera e permette così la vita. Tuttavia l'aumento dell'emissione da parte delle attività umane dei gas serra (oltre al diossido di carbonio, il metano, il protossido di azoto e i

clorofluorocarburi, o CFC) rafforza l'effetto serra e potrebbe portare come conseguenza a un progressivo aumento della temperatura sulla Terra con disastrose modificazioni climatiche e sul regime delle acque).

L'ozono, una forma allotropica dell'ossigeno, è costituito da una molecola triatomica (O₃); è un gas tossico, di colore bluastro e dal caratteristico odore acre; si forma dall'ossigeno per azione di scariche elettriche (per esempio, durante i temporali) o per azione dei raggi ultravioletti provenienti dal Sole: quest'ultimo processo avviene nella parte alta dell'atmosfera, la stratosfera, in una fascia compresa tra 15 e 40 km di altezza, particolarmente ricca di ozono (detta ozonosfera). L'ozono stratosferico ha un'importante funzione biologica, perché crea una barriera contro i raggi ultravioletti dannosi per gli esseri viventi. L'integrità dello strato di ozono è minacciata da una serie di contaminanti (tra cui, in particolare, i clorofluorocarburi) originati dall'attività umana.

Nell'atmosfera, le sostanze inquinanti gassose possono subire trasformazioni chimiche e formare prodotti che si sciolgono nelle goccioline di acqua delle nubi e, in seguito, essere trascinate al suolo con le precipitazioni. In particolare, l'acido solforico (H₂SO₄) e l'acido nitrico (HNO₃), che si formano in seguito a reazioni di ossidazione rispettivamente del diossido di zolfo (SO₂) e degli ossidi di azoto (NO⁺, NO₂) provenienti dalla combustione di combustibili fossili, determinano l'aumento dell'acidità delle precipitazioni fino a un pH compreso fra 2 e 3 (piogge acide) rispetto ai valori normali (pH 5,6 circa, dovuto alla reazione tra il diossido di carbonio CO₂ e l'acqua, con formazione di acido carbonico). Le piogge acide colpiscono soprattutto gli ecosistemi forestali (per esempio, indebolendo le difese delle piante ed esponendole all'attacco di agenti patogeni) e lacustri (l'aumento di acidità può ridurre il numero delle specie acquatiche). Nel suolo le piogge acide possono rendere solubile l'alluminio, che in forma di ioni ha effetto tossico sulle piante; asportare per dilavamento ioni calcio o altri elementi dal terreno. Inoltre sono responsabili di danni al patrimonio artistico e architettonico per l'azione disgregante delle pietre da costruzione calcaree (carbonato di calcio).

Nella bassa atmosfera certi composti chimici possono subire ossidazioni fotochimiche, cioè promosse dalla luce solare, e innescare una catena di reazioni responsabili dello smog fotochimico. Questo è dovuto soprattutto alle emissioni gassose di ossidi d'azoto e idrocarburi connesse al traffico automobilistico ed è favorito da una particolare condizione meteorologica, detta inversione termica: è un fenomeno per cui la temperatura dell'aria aumenta con l'altezza dal suolo; ciò impedisce i processi di rimescolamento dell'atmosfera con conseguente ristagno a bassa quota degli inquinanti in forma concentrata.

Una conseguenza dello smog fotochimico è l'aumento della concentrazione di ozono, tossico, nello strato più basso dell'atmosfera; inoltre i composti organici poco volatili possono condensare, formando una caratteristica nebbia di minuscole goccioline. Lo smog fotochimico produce sull'uomo effetti irritanti a carico degli occhi, della gola e delle vie respiratorie.

- **L'inquinamento delle acque**

Nel suo ciclo idrologico l'acqua è colpita da diverse forme di inquinamento, alcune dovute all'immissione diretta di sostanze contaminanti, altre all'ingresso indiretto nei corpi idrici di inquinanti provenienti dall'atmosfera (piogge acide) e dal suolo.

Le acque naturali possiedono un potere autodepurante che si manifesta nella capacità di decomporre biologicamente (biodegradare) le sostanze organiche di provenienza animale e vegetale e alcune sintetiche, oltre ai sali inorganici del fosforo e dell'azoto e a vari composti inorganici. Questa capacità è dovuta all'azione di microrganismi presenti nelle acque, che sono in grado di ossidare questi materiali, detti biodegradabili, demolendoli in molecole semplici che entrano nei cicli naturali biogeochimici.

I processi di autodepurazione avvengono in presenza di ossigeno, il cui consumo è gradualmente compensato dall'assorbimento di nuovo ossigeno dall'atmosfera. Se la richiesta di ossigeno di un corpo idrico è eccessiva, e quindi supera la capacità di riossigenazione, subentrano fenomeni putrefattivi (dovuti a microrganismi anaerobi) nel corso dei quali vengono liberate sostanze tossiche (solfo di idrogeno H_2S ; fosfina PH_3 ; metano CH_4); come conseguenza, si ha una degradazione dell'ecosistema acquatico.

I principali inquinanti delle acque derivano da scarichi urbani, industriali e agricoli (v. tab. 27.2).

L'eutrofizzazione è dovuta all'eccessivo apporto in un corpo idrico di sostanze nutritive (sali di azoto e di fosforo contenuti in fertilizzanti e detersivi), che provocano un'enorme proliferazione della vegetazione sommersa. La successiva decomposizione di questa vegetazione determina un impoverimento dell'ossigeno disciolto nelle acque del fondo e la conseguente morte di organismi e lo sviluppo di gas tossici.

In particolari condizioni stagionali le acque di fondo prive di ossigeno possono mescolarsi a quelle più superficiali, facendo abbassare il contenuto di ossigeno, tanto da non essere più compatibile con la vita e provocare imponenti morie di pesci.

Il petrolio è l'inquinante marino più diffuso a causa della pratica delle petroliere di scaricare in mare le acque di lavaggio delle cisterne, degli incidenti non rari che coinvolgono petroliere e dell'estrazione di petrolio dalle piattaforme marine.

Le acque possono essere inquinate anche dal calore, principalmente a causa del crescente impiego di acqua nei processi di raffreddamento delle industrie e soprattutto delle centrali termoelettriche e nucleari; l'acqua di raffreddamento, riscaldata, viene alla fine immessa in corsi d'acqua o bacini lacustri. L'aumento della temperatura dell'acqua ha come primo effetto la diminuzione della solubilità dell'ossigeno; inoltre accelera i processi di sviluppo delle forme di vita acquatica accentuando i processi di eutrofizzazione. Gli effetti più gravi sono dovuti agli improvvisi abbassamenti di temperatura che provocano, negli animali ormai adattati a un ambiente più caldo, i cosiddetti "stress freddi", che possono anche essere letali.

L'inquinamento del suolo

Le cause di inquinamento del suolo sono in parte le stesse che interessano l'aria e le acque; in parte sono legate allo smaltimento dei rifiuti solidi urbani (RSU) e di fanghi provenienti dagli impianti di depurazione delle acque luride delle città e delle lavorazioni industriali.

Gli effetti più gravi sono l'accumulo delle sostanze inquinanti nelle catene alimentari (in particolare di antiparassitari e sostanze tossiche contenute nei fertilizzanti, quali arsenico, cadmio, piombo); la perdita di fertilità del suolo, la predisposizione all'erosione.

• I principali inquinanti atmosferici

• INQUINANTE

• diossido di carbonio (CO₂)

• monossido di carbonio (CO)

• diossido di zolfo (SO₂)

• ossidi di azoto: monossido di azoto (NO) e diossido di azoto (NO₂)

• protossido di azoto (N₂O)

• metano (CH₄)

• piombo

• clorofluorocarburi

• particelle sospese

• idrocarburi

• FONTE ED EFFETTI

• fonte: uso di combustibili fossili; combustione di materia organica; incendi a scopo di deforestazione; decomposizione di materia organica
effetti sull'ambiente: effetto serra

• fonte: combustioni incomplete (specialmente nei motori a combustione interna a benzina)
effetti sulla salute: tossico, riduce la capacità dell'emoglobina di trasportare l'ossigeno ai tessuti (viene anche limitata l'acutezza visiva e l'attività mentale)

• fonte: uso di combustibili fossili (in cui sono presenti composti dello zolfo come impurezze); processi metallurgici
effetti sulla salute: danni alle vie respiratorie; presente nello smog invernale
effetti sull'ambiente: piogge acide

• fonte: uso di combustibili fossili (specialmente nei motori a combustione interna); materia organica
effetti sulla salute: danni alle vie respiratorie
effetti sull'ambiente: contribuiscono allo smog fotochimico; piogge acide; diminuzione dello strato di ozono (nella stratosfera)

• fonte: uso di fertilizzanti azotati; combustione di materia organica
effetti sull'ambiente: effetto serra

• fonte: decomposizione in condizioni anaerobiche di materia organica (risaie); allevamento di bestiame; perdite durante l'estrazione di combustibili fossili
effetti sull'ambiente: effetto serra; diminuzione dell'ozono (nella stratosfera)

• fonte: motori a combustione interna a benzina (con additivi contenenti piombo); alcuni processi industriali
effetti sulla salute: saturnismo

• fonte: bombolette spray; fluidi frigoriferi; fabbricazione di materie plastiche espanse
effetti sull'ambiente: diminuzione dello strato di ozono; effetto serra

• fonte: processi di combustione; processi industriali
effetti sulla salute: danni alle vie respiratorie (contribuiscono allo smog invernale)
effetti sull'ambiente: diminuzione della trasparenza dell'aria

• fonte: combustioni incomplete (specialmente autoveicoli); raffinerie di petrolio; movimentazione di combustibili e di solventi; evaporazione di idrocarburi

Fonti dei principali inquinanti delle acque

- effluenti urbani contengono soprattutto sostanze organiche biodegradabili provenienti dal metabolismo umano, accanto a prodotti chimici di varia natura (tra cui solventi organici) derivati da attività artigianali e commerciali e dall'impiego domestico di prodotti, quali i detersivi; hanno elevato contenuto di microrganismi patogeni (colibatteri e streptococchi fecali)
- effluenti industriali possono contenere una vasta serie di composti chimici inquinanti, inorganici e organici, provenienti dalla produzione di varie attività industriali (principalmente chimica, farmaceutica, petrolchimica, cartaria, tessile, galvanica, conciaria e alimentare); gli inquinanti inorganici comprendono acidi e basi forti, solfuri, cianuri, fluoruri, solfiti, sali metallici e non, metalli tossici (arsenico, cadmio, cromo esavalente, rame, mercurio, nichel, piombo, selenio); gli inquinanti organici includono oli minerali, fenoli, solventi (aromatici, clorurati e azotati) e, per quanto riguarda l'industria alimentare, materiali organici biodegradabili
- effluenti agricoli provengono dallo smaltimento di deiezioni animali degli allevamenti (in particolare suini) non utilizzate come concimi naturali; a queste si sommano fertilizzanti e antiparassitari, che mediante la pioggia sono in parte trascinati nei corsi d'acqua superficiali e in parte possono penetrare nel terreno fino a raggiungere la falda acquifera, contaminando l'acqua potabile