

Indice  
Tema  
**TRASFORMAZIONI DI ENERGIA**



L'energia è la capacità di compiere lavoro e possiede la proprietà di presentarsi sotto varie forme che possono convertirsi una nell'altra. Le trasformazioni dell'energia obbediscono alle leggi della termodinamica.

La prima legge della termodinamica afferma che *l'energia può essere trasformata da una forma in un'altra, ma non può essere creata né distrutta*. L'energia totale di ogni sistema rimane sempre costante nonostante tutte le trasformazioni energetiche che possono interessarlo.

L'energia potenziale, come indica il nome, è l'energia che non è stata ancora usata. L'energia cinetica è l'energia in uso.

La benzina possiede una certa energia potenziale contenuta nei legami chimici delle sue molecole. Quando la benzina viene bruciata nel motore, i legami chimici delle sue molecole si rompono e l'energia potenziale chimica si trasforma in energia cinetica che permette i movimenti meccanici dei vari elementi del motore; parte dell'energia si trasforma in calore a causa dell'attrito tra gli elementi in movimento e parte si disperde nell'ambiente con i prodotti di scarto.

L'acqua alla sorgente di un fiume possiede energia potenziale a causa del dislivello esistente rispetto alla superficie del mare; man mano che scorre verso il mare la sua energia potenziale diminuisce perché si trasforma in energia cinetica.

Il cibo è formato da sostanze chimiche organiche che possiedono energia potenziale nelle loro molecole. Quando un organismo digerisce il cibo, demolisce i legami e trasforma l'energia potenziale in essi accumulata in altre forme di energia.

In accordo con la prima legge della termodinamica in tutte queste trasformazioni l'energia non viene né creata né distrutta.

In tutte le trasformazioni energetiche, tuttavia, una parte dell'energia viene convertita in calore e dissipata in questa forma senza che possa essere utilizzata per compiere lavoro. Il calore prodotto per attrito nel motore di un'automobile è quello perduto con i prodotti di scarto non può essere utilizzato per far funzionare l'automobile in quanto si disperde nell'ambiente, dove si converte in energia cinetica degli atomi e delle molecole dell'aria.

In generale l'energia dissipata come calore in una trasformazione energetica non viene distrutta in quanto è ancora presente nell'ambiente, ma non è più disponibile per compiere un lavoro utile. Si dice che è degradata.

La seconda legge della termodinamica afferma che *in tutte le trasformazioni e in tutti gli scambi di energia che avvengono in un sistema chiuso l'energia potenziale presente alla fine sarà sempre minore di quella presente all'inizio*.

Questa legge è facilmente verificabile nell'esperienza quotidiana: un masso che rotola giù da una collina non potrà tornare da solo al punto di partenza, il calore passa sempre da un corpo più caldo a uno più freddo e non capiterà mai il contrario, una palla che rimbalza raggiungerà un'altezza sempre minore ad ogni rimbalzo.

In tutti questi processi l'energia potenziale disponibile alla fine è minore di quella iniziale. Un processo che presenta, alla fine, un'energia potenziale minore di quella iniziale perché libera energia viene detto esoterگونico. I processi esoterгонici sono in accordo con la seconda legge della termodinamica e possono avvenire spontaneamente.

Tuttavia esistono anche processi nei quali l'energia potenziale, alla fine, è maggiore di quella

iniziale. Questi però non possono avvenire spontaneamente perché richiedono un apporto di energia dall'esterno. Un processo che per avvenire richiede un apporto di energia dall'esterno viene detto endoterгонico.

Oltre al guadagno o alla perdita di calore, un altro fattore influenza la variazione di energia potenziale e quindi la direzione di un processo; questo fattore, al quale si dà il nome di entropia, fornisce la misura del disordine di un sistema. Un sistema chiuso tende a passare da uno stato più ordinato ad uno più disordinato e quindi in esso aumenta l'entropia.

Il sistema costituito da un corpo caldo e uno freddo si trova in uno stato ordinato; quando il calore passa dall'uno all'altro i due corpi diventano entrambi tiepidi e si passa ad uno stato meno ordinato.

Le molecole della benzina vengono tenute in uno stato ordinato dai legami chimici; quando la benzina viene bruciata si rompono i legami e gli atomi si ritrovano in uno stato più disordinato.

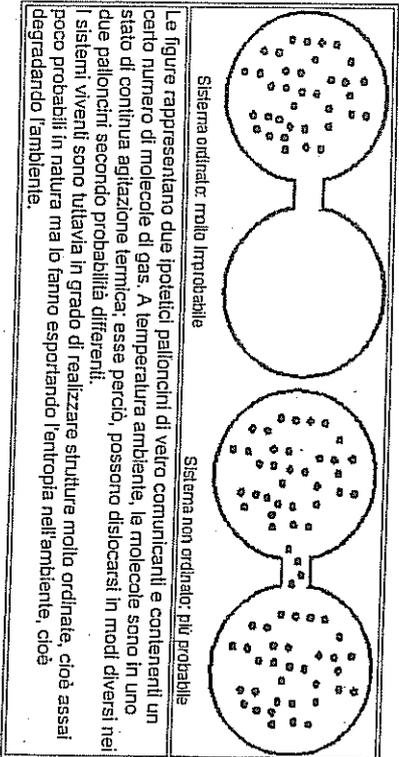
Il sistema costituito dall'acqua alla sorgente di un fiume e dal mare è un sistema ordinato (ognuno al suo posto); quando l'acqua scorrendo lungo il fiume raggiunge il mare si confonde con tutta l'altra acqua e quindi il sistema diventa disordinato.

Un bicchiere di cristallo costituisce un sistema ordinato; se il bicchiere si rompe rimangono i cocci, che costituiscono un sistema disordinato.

Il calore non si ripartisce più spontaneamente tra i due corpi, gli atomi della benzina non si riuniscono spontaneamente, l'acqua dispersa nel mare non torna spontaneamente alla sorgente del fiume, i cocci non si rimetteranno mai da soli insieme per ricostruire un bicchiere. Dal disordine non si ricostituisce spontaneamente l'ordine.

La seconda legge della termodinamica può essere riformulata tenendo conto dell'entropia: *tutti i processi naturali tendono sempre a far aumentare il disordine o la casualità dell'Universo*.

Quest'ultima formulazione della seconda legge della termodinamica fa riferimento all'Universo, esso. L'Universo è infatti un sistema chiuso, perché energia e materia non possono entrare né uscire da dopo il «big bang». Tuttavia, nonostante l'Universo nel suo insieme sia un sistema chiuso, la Terra non lo è: essa infatti riceve continuamente energia dal Sole il quale lentamente si degrada.



## Indice Tema

### RETROAZIONI E SINERGIE

Un sistema può mantenersi in equilibrio se è in grado di autoregolarsi. Se una perturbazione tende a spostare il sistema dalla sua posizione di equilibrio, entrano in gioco processi di compensazione: l'effetto "retroagisce" sulla causa che lo ha stimolato in modo da smorzare l'ulteriore effetto. Si dice che il sistema mette in atto meccanismi di *retroazione (feedback)*. Un sistema in grado di autoregolarsi si dice anche omeostatico.

Il termostato di un impianto di riscaldamento è programmato per mantenere una certa temperatura nell'ambiente. Se la temperatura scende al di sotto di quella programmata il termostato mette in funzione la caldaia che riporta la temperatura al valore programmato. Questo tipo di retroazione prende il nome di *retroazione negativa*.

Come tutti i sistemi, anche l'ecosistema terrestre ha la tendenza a raggiungere e a mantenere condizioni di equilibrio: se un fattore esterno lo sposta momentaneamente da questa situazione, si attiva una serie di reazioni spontanee, retroazioni o feedback negativi, che in breve tempo ristabiliscono lo stato preesistente di equilibrio.

Accanto a questi meccanismi "autoregolanti" ne esistono anche di opposti, la cui azione tende ad accentuare progressivamente il fenomeno su cui agiscono: si usa in tal caso il termine di *feedback positivo*. Questi tendono a destabilizzare, anziché a rendere stabili i sistemi. Sono anche chiamati meccanismi di amplificazione perché accentuano l'effetto della perturbazione iniziale fino a vincere la resistenza al cambiamento del sistema e a distruggerne l'organizzazione. Ciò significa che se lo squilibrio supera un determinato valore limite, il sistema non è più in grado di ritornare al preesistente equilibrio, quindi deve evolvere rapidamente verso un nuovo stato.

#### *Sinergie*

Si parla di sinergia quando più cause concorrono allo stesso effetto, rafforzandolo, oppure quando una causa produce più effetti. In un sistema complesso possono verificarsi sinergie che producono effetti dannosi e sinergie che producono effetti benefici. Nel caso dell'ecosistema terrestre, un esempio di sinergia con effetti dannosi è quello dei gas che distruggono l'ozono atmosferico e allo stesso tempo concorrono all'effetto serra; la riduzione dell'ozono a sua volta fa aumentare le radiazioni ultraviolette che arrivano a terra, queste danneggiano le alpine marine che fissano anidride carbonica; l'anidride carbonica non fissata si accumula nell'aria amplificando così l'effetto serra. Al contrario, il rimboschimento di una regione somma vari effetti positivi: rimuove anidride carbonica dall'aria riducendo l'effetto serra, protegge il suolo dall'erosione, fornisce legname, conserva la diversità biologica.

© Giuseppe Picciolo  
dicembre 2000

*Nessuna parte dei documenti contenuti in questo sito può essere pubblicata o comunque distribuita in qualsiasi forma, è consentito l'uso didattico.*

## Indice Tema

### CHE COS'È LA VITA?



I primi ad affrontare in modo scientifico il problema dell'origine e della natura della vita furono i Greci. Il filosofo Aristotele distingueva i viventi provvisti di «anima» dagli oggetti non viventi privi di anima e perciò «inanimati». Aristotele inoltre sosteneva l'esistenza di tre diversi tipi di anima: «razionale» propria dell'uomo che lo rende diverso, superiore a tutti gli altri animali e una «vegetale» posseduta dalle piante, una «animale» posseduta dagli animali.

Per molti secoli è stata questa la teoria dominante anche se molte, e spesso contrastanti, sono state le ipotesi formulate sul «qualcosa in più» che i viventi posseggono rispetto ai non viventi: anima, spirito, soffio vitale, forza vitale, ecc.

Il complesso delle teorie che hanno in comune l'idea che la vita sia qualcosa di soprannaturale che non può essere spiegato dalle normali leggi della fisica e chimica prende il nome di vitalismo. Per i vitalisti ogni manifestazione vitale di un organismo è governata da una forza soprannaturale e tutti i processi vitali tendono ad un fine prestabilito.

Al vitalismo si è presto contrapposto il meccanicismo, che esclude qualsiasi intervento di forze soprannaturali nei fenomeni biologici riducendo la vita a semplici processi chimico-fisici. Alla base del meccanicismo sta la teoria di Democrito, secondo la quale ogni essere vivente è formato da «atomi», piccole particelle che, diffuse in tutta la materia corporea, ne provocano e coordinano l'azione.

A partire dal XVII secolo l'applicazione del metodo scientifico-sperimentale anche alla biologia permise di comprendere che alcune parti degli organismi animali e vegetali funzionano obbedendo perfettamente alle leggi della chimica e della fisica. Molti scienziati, a partire da Cartesio, ipotizzarono che gli organismi viventi si potessero paragonare a delle macchine, anche se molto complicate.

Le idee dei meccanicisti e l'applicazione del metodo scientifico-sperimentale diedero un notevole impulso allo sviluppo delle scienze biologiche.

Ai tempi di Galileo la circolazione del sangue era sconosciuta, e i medici si basavano ancora sulle idee di Galeno, vissuto a Roma nel II secolo d.C.. Galeno aveva intuito che il sangue trasporta nutrimento, tuttavia riteneva che il movimento del sangue fosse controllato da «spiriti vitali»: il prezioso fluido si produceva nel fegato, si diffondeva a tutto il corpo e lentamente si consumava. Lo stesso Cartesio aveva ipotizzato che il sangue fosse in parte composto da «spiriti animali» capaci di entrare in contatto con la sostanza pensante della ghiandola pineale (che si trova nel cervello) per poi fluire lungo canali nervosi per muovere i muscoli e gli altri organi.

All'inizio del '600 il medico inglese William Harvey affrontò lo studio della circolazione del sangue con i metodi della scienza sperimentale e fornì la descrizione corretta del fenomeno. Con la scoperta della circolazione del sangue nasceva la fisiologia, la scienza che studia le funzioni organiche.

In seguito il dibattito si accentrò sulle trasformazioni chimiche che avvengono negli organismi viventi.

I vitalisti negavano che le reazioni chimiche tipiche dei tessuti viventi potessero essere realizzate sperimentalmente in laboratorio e distinguevano reazioni «chimiche» e reazioni «vitali». I loro nuovi oppositori, i riduzionisti, credevano invece che le complesse attività dei sistemi viventi potessero essere ridotte a schemi più semplici e riprodotte sperimentalmente in laboratorio. Una conferma alle tesi dei riduzionisti si ebbe nel 1828, quando il chimico tedesco Friedrich Wöhler riuscì a sintetizzare una sostanza organica, l'urea che è un componente dell'urina umana, a partire da sostanze inorganiche come carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto.

Nel 1833 A. Payen e J.F. Persoz scoprirono che una sostanza ottenuta dall'orzo germogliato che chiamarono *diastasi* era in grado di trasformare l'amido in uno zucchero, il maltosio. I due scienziati avevano identificato la prima molecola dotata di attività catalitica, capace cioè di favorire e indirizzare una determinata trasformazione chimica.

Nel 1898, i chimici tedeschi Eduard e Hans Büchner utilizzando una sostanza estratta dalle cellule del lievito, riuscirono a realizzare in laboratorio la fermentazione, una tipica reazione vitale, dimostrandone in questo modo l'aspetto chimico. Alla sostanza responsabile della fermentazione fu dato il nome di «enzima», dalla parola greca *zyme* che significa «lievito» o «fermento». Da allora la tesi dei vitalisti cominciò a perdere sempre più credibilità.

Oggi è generalmente accettato il fatto che i sistemi viventi obbediscano alle regole della fisica e della chimica. Tuttavia molti scienziati, eredi dei vitalisti, sono convinti che se si guarda alla complessità dei sistemi viventi, la vita non può essere spiegata soltanto usando le leggi della chimica e della fisica: i viventi hanno sempre qualcosa «in più» rispetto ai non viventi.

Altri scienziati invece, basandosi sulla loro fiducia nel progresso scientifico, sostengono che l'uomo non ha ancora raggiunto livelli di conoscenza sufficienti per spiegare completamente il funzionamento dei viventi, ma che questo obiettivo si raggiungerà nel tempo.

### LA VITA PUO' ESSERE DEFINITA IN FUNZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI VIVENTI

Gli organismi viventi presentano alcune caratteristiche peculiari ed esclusive che li distinguono nettamente da tutto ciò che non è vivente. Tuttavia la materia vivente e quella inerte non appartengono a due mondi completamente diversi tra loro: in realtà la ricerca scientifica ci sta mostrando che si tratta essenzialmente di una differenza di struttura. Il nostro corpo è costituito esattamente dagli stessi atomi che si trovano in un sasso o in un elicottero solo che sono disposti nel modo giusto per fare di esso un organismo vivente. Inoltre gli organismi viventi operano e si evolvono nel rispetto delle leggi fondamentali della chimica e della fisica, in particolare le leggi che governano l'energia e le sue trasformazioni.

#### *Gli organismi sono costituiti da cellule*

Anche se a colpo d'occhio un rinoceronte, un criceto, una balena, un'aquila, o un albero hanno poco in comune, osservandoli da vicino, con l'aiuto di un microscopio, possiamo scoprire che tutti sono formati da tantissime unità, le cellule. Le cellule sono esse stesse minuscole unità viventi in grado cioè di svolgere tutte quelle che conosciamo come funzioni di un organismo vivente. I più semplici organismi viventi, come i batteri, molte specie di alghe e i lieviti, sono costituiti da una singola cellula e vengono perciò detti unicellulari mentre le piante, gli animali e quasi tutti i funghi, sono formati da un elevato numero di cellule (anche molti miliardi) e per questo vengono chiamati pluricellulari.



Le cellule di un organismo pluricellulare possono essere strettamente saldiate tra loro (per esempio, le cellule della pelle) o essere relativamente libere e indipendenti (per esempio, le cellule del sangue).

Tutte le cellule sono di piccole dimensioni; le cellule degli animali superiori misurano mediamente 20-30 micron. Le cellule di dimensioni maggiori sono le uova degli uccelli e degli squallidi ma queste cellule sono quasi interamente costituite da depositi di sostanze nutritive necessarie allo sviluppo dell'embrione.

Le cellule, a loro volta, sono composte da decine di migliaia di sostanze chimiche diverse distribuite in numerose strutture ultramicroscopiche (organuli cellulari). Le sostanze chimiche che costituiscono gli organuli cellulari sono formate da molecole e queste da atomi.

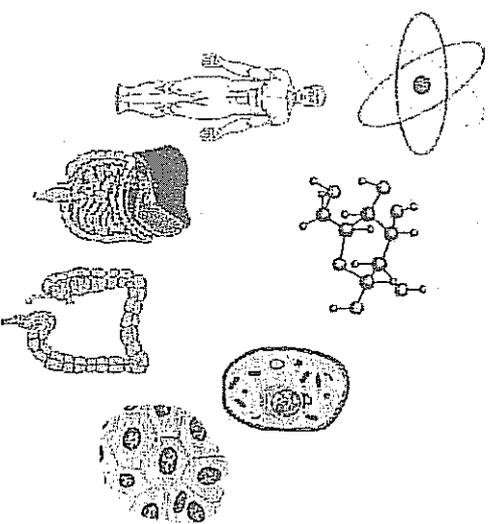
Ogni cellula è in grado di svolgere tutte le funzioni proprie dei viventi: si nutre, cresce, si riproduce e muore. Le funzioni di una cellula sono possibili perché ciascun organulo partecipa ad una specifica funzione cellulare. Tutte le proprietà e i caratteri di un organismo si possono far risalire alle funzioni e alle attività di un qualche gruppo di cellule o di una combinazione di più gruppi.

La funzione dell'organismo come un tutto unico è il risultato della somma delle attività e delle interazioni delle singole unità cellulari.

#### *Gli organismi hanno diversi livelli di organizzazione*

Ogni organulo cellulare è formato da molecole, queste sono formate da atomi e gli atomi da particelle subatomiche.

Cellule di struttura simile, specializzate in una determinata funzione necessaria alla sopravvivenza dell'organismo, formano associazioni chiamate tessuti. I tessuti, a loro volta, formano gli organi adibiti alle varie funzioni. Più organi che concorrono all'espletamento della stessa funzione costituiscono i sistemi e gli apparati e questi si integrano a formare l'organismo.



Un gruppo di individui simili, che vivono in una particolare area costituiscono una popolazione. Popolazioni differenti che vivono nello stesso luogo e interagiscono tra di loro formano una comunità. La somma di tutte le comunità di esseri viventi sulla Terra costituisce la biosfera. Una comunità insieme all'ambiente nel quale vive forma un ecosistema.

Un gruppo di individui simili, che vivono in una particolare area costituiscono una popolazione.

Popolazioni differenti che vivono nello stesso luogo e interagiscono tra di loro formano una comunità. La somma di tutte le comunità di esseri viventi sulla Terra costituisce la biosfera. Una comunità insieme all'ambiente nel quale vive forma un ecosistema.

#### *Gli organismi subiscono continue trasformazioni*

Per poter crescere, per mantenere la sua complessa struttura, per potersi adattare all'ambiente, ogni organismo va incontro a continue trasformazioni. Queste trasformazioni sono la conseguenza di una varietà di reazioni chimiche che complessivamente prendono il nome di metabolismo. L'alimentazione, la respirazione e l'eliminazione delle sostanze di rifiuto sono esempi dei processi metabolici che si compiono in un organismo. Attraverso il metabolismo, un essere vivente cambia continuamente i suoi stessi atomi: ogni giorno, respirando, mangiando, bevendo preleva dall'ambiente miliardi di atomi e altri miliardi ne immette traspirando, respirando, eliminando rifiuti.

Nel compiere questa grande mole di lavoro ogni organismo vivente si comporta come una macchina biochimica che come ogni altra macchina ha bisogno di energia per funzionare. L'energia utilizzata nei processi vitali proviene dal Sole. Le piante e gli altri organismi capaci di effettuare la fotosintesi possono catturarla direttamente, utilizzarne una parte per le loro esigenze e immagazzinare la parte rimanente in sostanze da loro prodotte che diventano cibo e quindi fonte di materia ed energia per gli altri organismi.

#### *Gli organismi si riproducono e trasmettono ai discendenti i caratteri ereditari*

I sistemi viventi sono in grado di riprodurre se stessi e di originare discendenti a loro volta in grado di riprodursi. Attraverso la riproduzione si ha la formazione di copie identiche o quasi identiche di una struttura complessa come è quella di un organismo. La trasmissione di questa complessità da una generazione all'altra richiede una notevole quantità di informazioni anche per il più semplice dei viventi. L'insieme di queste informazioni è chiamato patrimonio genetico o genoma e si trova in ogni cellula, scritto in forma chimica nelle molecole del DNA, la sostanza che costituisce la base della vita sulla Terra. Il DNA determina la natura di ogni organismo vivente, dai più semplici organismi unicellulari all'uomo. Ogni organismo ne riceve un esemplare dai genitori e ne fa tante «copie» in modo che ogni cellula abbia la sua. Il DNA costituisce il «codice della vita», il libro in cui sono scritte tutte le regole che le cellule dovranno seguire.

Il DNA è formato da tanti segmenti ciascuno dei quali costituisce un gene e l'insieme dei geni costituisce il genoma. Ogni struttura e ogni attività dell'organismo, sono codificate nei geni. Ciascun gene contiene un'informazione che riguarda una struttura o un'attività dell'organismo e può essere modulata e coordinata con quella di altri geni.



DNA

by Carol Gallery

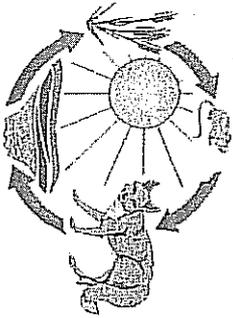
La trasmissione delle informazioni contenute nei geni dai genitori ai figli avviene attraverso la riproduzione e ciò è possibile perché il DNA è in grado di duplicarsi cioè di produrre copie di se stesso. Un organismo unicellulare (per esempio un batterio o un protozoo), per riprodursi duplica il proprio DNA, e poi si divide in due cellule figlie che ereditano una delle due copie del DNA.

Negli esseri pluri cellulari, di regola, la riproduzione avviene attraverso la fusione di due cellule specializzate (gameti) prodotte da due individui di sesso opposto ciascuna delle quali contiene soltanto il 50% del DNA di una cellula normale. Il risultato di questa fusione è una nuova cellula chiamata zigote dalla quale, in seguito a numerose divisioni, si sviluppa un nuovo individuo il cui DNA proviene per metà da un genitore e per metà dall'altro.

*Gli organismi interagiscono con l'ambiente e tra di loro*

Tutti gli organismi viventi interagiscono con l'ambiente e tra di loro. Una pianta per effettuare la fotosintesi e per crescere e riprodursi assorbe dall'ambiente fisico acqua, sali minerali, anidride carbonica, luce e ossigeno. Sulla vita delle piante inoltre influiscono la temperatura, la pioggia, il vento, la latitudine e l'altitudine.

Le piante stanno alla base dell'alimentazione per gli animali erbivori che da esse ricavano materia ed energia producendo a loro volta materia ed energia per gli animali carnivori. Gli organismi decompositori riciclano poi i rifiuti prodotti da piante ed animali trasformandoli in sostanze inorganiche che vengono riutilizzate dalle piante.



by Carol Gallery

*Individui e popolazioni si adattano all'ambiente e si evolvono*

Gli organismi viventi sono dotati della capacità di adeguare le proprie strutture e le proprie funzioni alle caratteristiche dell'ambiente in cui vivono.

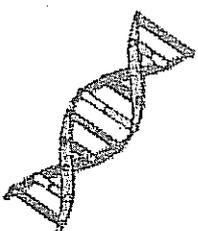
Si possono osservare diversi tipi di adattamento: **evolutivo, fisiologico, comportamentale e sensoriale.**

L'adattamento evolutivo si svolge nel corso di più generazioni e si traduce in cambiamenti strutturali e funzionali che non riguardano soltanto singoli individui ma intere specie. Questo processo prende il nome di **evoluzione biologica.**

L'adattamento fisiologico consiste in processi, normalmente reversibili, messi in atto per rispondere a cambiamenti nelle condizioni ambientali, che possono alterare l'equilibrio interno dell'organismo. Questa capacità dei viventi di mantenere stabile l'equilibrio interno nonostante il variare delle condizioni esterne è chiamata omeostasi. Per esempio, un mammifero reagisce alle variazioni della temperatura aumentando o riducendo la sudorazione e il ritmo respiratorio.

L'adattamento comportamentale avviene attraverso processi di apprendimento oppure si manifesta con comportamenti istintivi. Per esempio, un organismo impara a riconoscere il cibo di cui nutrirsi e a distinguere i predatori e i membri della propria specie.

L'adattamento sensoriale è il processo mediante il quale un organo di senso si adatta alle variazioni di intensità dello stimolo al quale è sensibile. Un esempio è dato dall'occhio che si adatta alla luminosità dell'ambiente dilatando o restringendo la pupilla.



## Indice Tema

### L'IPOTESI GAIA

In tutte le epoche sono esistiti pensatori e studiosi che hanno avvertito il mondo naturale e tutti i fenomeni che lo riguardano, come un "tutto unico", legato da numerose e in gran parte sconosciute interrelazioni e spesso animato da un particolare "spirito vitale".

All'inizio dell'Ottocento Henry D. Thoreau proponeva una visione della natura come essere organico animato da un principio vitale.

Più tardi ritroviamo il concetto di Terra come superorganismo, nell'opera del russo Vladimir I. Vernadskij (1863-1945) che descrive la biosfera come la regione occupata dalla vita, quest'ultima vista non come un fenomeno estimo o accidentale alla biosfera, ma parte indissolubile del suo meccanismo. È in questa tradizione che si inseriscono l'opera e le intuizioni del chimico inglese James Lovelock e della biologa americana Lynn Margulis, che agli inizi degli anni Settanta hanno formulato l'*ipotesi Gaia* (dal nome greco della dea della Terra) che rappresenta uno degli approcci sistematici all'ecologia più coerenti e completi.

L'ipotesi di Lovelock e Margulis concepisce la Terra come un unico sistema fisiologico, un'entità viva. Secondo questa visione gli organismi viventi, il clima, l'ambiente terrestre, sono un tutto integrato, un unico superorganismo in cui l'attività dei viventi modifica gli aspetti fisici e questi a loro volta influiscono sull'evoluzione e sul mantenimento della vita sul pianeta.

Gaia può essere definita come un sistema complesso i cui costituenti sono i viventi e il loro ambiente materiale che comprende l'atmosfera, gli oceani e la superficie delle rocce.

Si tratta di un sistema che si è sviluppato e continua a svilupparsi con un processo evolutivo che coinvolge contemporaneamente i viventi e il loro ambiente. Gli organismi condizionano l'ambiente e questo condiziona le forme della vita.

In tale sistema, il clima e la composizione chimica si regolano in maniera automatica (si autoregolano) per mantenersi sempre in uno stato favorevole alla vita; questa autoregolazione si realizza man mano che il sistema si evolve, senza rispondere a nessun progetto preventivo e senza un fine particolare. Gaia è un superorganismo capace di regolare la non-vita per la vita.

Una dimostrazione evidente dell'esistenza di Gaia sarebbe la stessa atmosfera definita "improbabile" da Lovelock. L'aria che respiriamo è infatti una miscela di gas altamente reattivi. Nella sua composizione è presente l'ossigeno indispensabile alla vita, ma insieme con il metano, che reagisce con l'ossigeno in presenza della luce solare formando anidride carbonica e acqua. Il tasso di metano può rimanere costante perché questo gas viene reintegrato dagli organismi metanogeni che ne producono circa 500 milioni di t per anno.

Se la vita scomparisse improvvisamente dalla Terra, tutti gli elementi chimici che costituiscono la superficie terrestre, gli oceani e l'atmosfera reagirebbero tra loro fino a esaurire ogni reazione possibile. Il pianeta diventerebbe troppo caldo, arido e inadatto alla vita.

Lovelock sostiene che le condizioni fisiche e chimiche della superficie della terra, dell'atmosfera, e degli oceani sono state rese e vengono continuamente rese adatte alla vita grazie alla presenza della vita stessa. Quindi l'atmosfera, con la sua attuale composizione può essere considerata un prodotto del metabolismo di Gaia, il risultato di uno scambio attivo di gas con gli organismi viventi.

Anche il suolo ha origine dalla vita. In ogni centimetro cubo di terreno sono presenti miliardi di organismi microscopici: nello strato superficiale del suolo ci sono batteri fotosintetici e azotofissatori, funghi, muffe e una miriade di invertebrati. Senza vita non vi sarebbe il suolo come lo conosciamo, ma solo inerti corpi rocciosi.

Secondo l'ipotesi Gaia le grandi strutture della crosta terrestre non sarebbero soltanto il risultato dei processi endogeni e di quelli meccanici ma anche di quelli biologici. Da quando si è formata, la crosta solida viene continuamente rimodellata dall'azione dell'aria e dell'acqua che si realizza attraverso l'erosione, la sedimentazione e la formazione di suoli e ghiacci. E questa azione è influenzata dagli organismi viventi che per vivere inducono modificazioni nella

composizione e nelle caratteristiche termodinamiche dell'atmosfera e degli oceani. Inoltre gli organismi hanno anche un ruolo diretto in questi fenomeni geologici esogeni.

Per Lovelock e Margulis tutta la materia vivente sulla Terra, dai virus alle balene e alle sequoie, deve essere considerata come una singola entità vivente capace di mantenere l'atmosfera terrestre nelle condizioni più adatte alle sue necessità.

Tutto ciò contrasta con la visione convenzionale che ipotizza che la vita si sia adattata alle condizioni del pianeta e che la vita ha potuto manifestarsi sulla Terra e non altrove nel sistema solare perché solo sulla Terra esistevano le condizioni adatte.

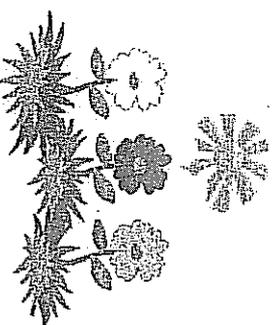
Per spiegare Gaia il fisico americano Jerome Rothstein è ricorso ad una analogia con la sequoia gigante (*Sequoia gigantea*). Questi alberi, diffusi lungo la costa occidentale dell'America del Nord, sono gli organismi più grandi e longevi attualmente esistenti: superano spesso i mille anni di età, sono alti 100 m e pesano più di 2000 t. Circa il 97% del loro corpo è però costituito da sostanza non vivente, nel senso che è già morta, come il legno del tronco e la corteccia. Le sole parti di una sequoia formate da cellule vive sono il cambio, un sottile strato anulare che avvolge il legno e si trova sotto la corteccia, le foglie, i fiori e i semi.

Come una sequoia anche Gaia, cioè la Terra, è costituita da una grande massa di materia morta con un sottile strato di organismi viventi racchiusi entro un involucro d'aria.

Nelle loro opere Lovelock e Margulis dedicano una particolare attenzione alla tendenza dell'uomo a degradare l'ambiente per soddisfare le proprie esigenze. Gaia reagisce alle modificazioni indotte dall'azione dell'uomo, ma le sue risposte obbediscono alle leggi della cibernetica e i tempi di risposta sono quelli dei sistemi di retroazione, cioè estremamente lunghi. Una simile lentezza non ci permette di comprendere abbastanza in fretta se le cose tendono al peggio. Prima che possiamo rendercene conto, la situazione ambientale può peggiorare in modo pericoloso e, a causa di questa lentezza (inerzia) nelle risposte che caratterizza il sistema, non possiamo fare nulla per rimediare efficacemente in tempi brevi. Dopo un periodo di indifferenza, a partire dagli anni Ottanta, l'ipotesi di Gaia ha cominciato ad alimentare un articolato dibattito tra gli scienziati, mentre i suoi propagatori continuano a produrre prove a sostegno della loro teoria. In ogni caso la teoria di Lovelock e Margulis ha il merito di aver sollevato una importante questione fino ad oggi trascurata dagli studi ecologici: il ruolo svolto dagli esseri viventi nella regolazione del loro ambiente.

### LA DAISYLANDIA DI LOVELLOCK

Daisylandia è un ipotetico pianeta, immaginato da Lovelock, con le stesse dimensioni della Terra e orbitante intorno ad una stella che si trova alla stessa distanza che separa il sole dalla terra. Questo pianeta è popolato esclusivamente da tre tipi di margherite: nere, bianche e grigie. Come il nostro Sole, la stella che riscalda e illumina Daisylandia ha aumentato progressivamente nel corso del tempo la sua luminosità, irradiando sempre più calore. Tuttavia la temperatura della superficie del pianeta si è mantenuta costante per gran parte della sua storia. E questo grazie all'influenza della biosfera di Daisylandia costituita, come abbiamo detto, dai tre tipi di margherite. Le margherite influenzano la temperatura della superficie semplicemente attraverso il loro potere riflettente (albedo): le margherite nere assorbono la maggior parte delle radiazioni che le colpiscono, le margherite bianche riflettono la maggior parte delle radiazioni e quelle grigie assorbono e riflettono le radiazioni in misura uguale.



Ma come può il potere riflettente delle margherite influenzare la temperatura globale?

Per rispondere a questa domanda dobbiamo tornare molto indietro nel tempo a quando il sole di Daisylandia era ancora giovane e quindi relativamente freddo. Allora le margherite nere erano la specie più adatta, perché piccoli gruppi di queste, assorbendo il calore, creavano delle zone più tiepide che favorivano la crescita di altre margherite. Gradualmente il pianeta si coprì di margherite nere e il loro effetto collettivo fu quello di far aumentare la temperatura globale facendola arrivare a valori superiori a quelli che sarebbero stati raggiunti in assenza di vita.

Una volta che le margherite nere ebbero realizzato condizioni di vita confortevoli, cominciarono a trarre vantaggio anche le grigie e le bianche.

Inizialmente le margherite grigie si trovarono più a loro agio delle bianche perché anche in piccoli gruppi riuscivano a creare condizioni locali di temperatura sufficientemente utili alla loro sopravvivenza.

Infine la radiazione solare riscaldava soprattutto le zone della superficie non coperte dalle margherite nere e grigie.

A questo punto le margherite bianche cominciarono ad essere la specie più adatta perché piccoli gruppi di esse creavano zone più fredde che favorivano la crescita delle stesse margherite. Aumentando di numero si diffusero in tutto il pianeta producendo l'effetto di abbassare la temperatura globale fino a farle raggiungere valori inferiori a quelli che si sarebbero avuti in assenza di ogni forma di vita.

Infine il calore prodotto dal sole, in tanto cresciuto, divenne così intenso che nessuna specie di margherite fu più in grado di moderare la temperatura e tutte le specie scomparvero dal pianeta.

Daisylandia è un modello che mostra in che modo uno stato omeostatico può essere mantenuto da organismi che agiscono soltanto nel loro proprio interesse costringendo il sistema globale a mantenersi entro un arco di temperature ragionevoli.

La crescita competitiva dei tre tipi di margherite imnesca un feedback negativo: in prossimità del limite inferiore di tolleranza la temperatura della superficie del pianeta è resa più alta di quanto sarebbe in assenza di fiori, mentre viene abbassata quando il riscaldamento è maggiore. In questo modo si protrae nel tempo il raggiungimento del limite oltre il quale non è possibile la vita.

#### Bibliografia:

Ricci Lucchi, *La scienza di Gata*, Zanichelli, Bologna 1996

J. Lovelock, *Gata: nuove idee sull'ecologia*, Boringhieri, Torino 1981

### ECOLOGIA DELLE POPOLAZIONI

Indice Tema		
CHE COS'È L'ECOLOGIA	HABITAT E NICCHIA ECOLOGICA	INIZIO
LA DINAMICA DELLE POPOLAZIONI	INTERAZIONI TRA SPECIE DIVERSE	

### CHE COS'È L'ECOLOGIA

La vita sulla Terra è organizzata in livelli di complessità crescente: dalla cellula si passa ai tessuti, agli organi, agli apparati, agli organismi, alle popolazioni, alle biocenosi, agli ecosistemi e infine alla biosfera. Ogni livello dipende da quello che lo precede, ma presenta anche strutture e qualità specifiche, di maggiore complessità, non riconducibili al livello precedente.

Una popolazione è un gruppo di individui della stessa specie che occupano una data area nello stesso tempo. Le popolazioni di ogni specie che abitano un posto particolare (una foresta, una singola pianta, uno stagno, una pozzanghera, l'oceano) formano una comunità.

L'insieme costituito da una comunità di organismi viventi in una determinata area e dal suo specifico ambiente fisico, con il quale gli organismi sono legati da complesse interazioni e scambi di materia forma un ecosistema.

Tutti i vegetali che vivono in un determinato ambiente, per esempio una foresta, un prato formano una fitocenosi. La comunità animale che vive nello stesso ambiente costituisce la zoocenosi che dipende strettamente dalla fitocenosi. In un centimetro cubo di suolo vivono inoltre milioni di organismi microscopici come batteri e protisti che formano la cosiddetta microbiocenosi.

Tutte le popolazioni di organismi che vivono in un determinato ambiente e hanno strette relazioni tra loro formano la biocenosi.

Lo spazio fisico nel quale vive una biocenosi costituisce invece il biotopo. Il biotopo è un tipo di luogo di vita che comprende tutti i fattori fisico-chimici che conferiscono determinate caratteristiche all'ambiente nel suo complesso. Per esempio in uno stagno il biotopo è costituito dai sedimenti e dalle rocce che formano le sponde e il fondale, dall'acqua e dalle sue caratteristiche fisico-chimiche, mentre la biocenosi è costituita dai fitoplancton, dallo zooplancton, dalle alghe, dalle piante acquatiche, dai pesci, e dai microrganismi che vivono nel fango.

L'insieme di tutte le parti del pianeta in cui sono presenti gli organismi si chiama biosfera. La biosfera comprende la parte inferiore dell'atmosfera, le acque della Terra, la parte superficiale delle rocce, i suoli e i sedimenti della crosta terrestre.

La scienza che studia le interazioni degli organismi tra loro e con l'ambiente fisico e chimico che li circonda che si verifica a vari livelli di organizzazione biologica è l'ecologia.

CHE COS'È L'ECOLOGIA	HABITAT E NICCHIA ECOLOGICA	INIZIO
LA DINAMICA DELLE POPOLAZIONI	INTERAZIONI TRA SPECIE DIVERSE	

### LA DINAMICA DELLE POPOLAZIONI

I caratteri che vanno presi in considerazione in una popolazione sono la dimensione, la densità, la dispersione e la struttura di età.

La dimensione di una popolazione è il numero di individui che la costituiscono. Essa influenza la capacità di

sopravvivere. Se è troppo piccola, la specie rischia l'estinzione; poiché un certo numero di individui in età riproduttiva non riescono a trovare partner e quindi a riprodursi, i nuovi nati sono in numero inferiore ai morti. Inoltre un evento catastrofico, un'epidemia o la predazione possono facilmente decimare i membri di una popolazione numericamente scarsa. In una popolazione piccola la variabilità genetica è ridotta, per cui è più difficile che siano presenti varianti adatte ad un ambiente mutato, e inoltre l'incrocio tra membri con caratteri ereditari troppo simili può generare individui deboli e malformati.

D'altro canto, se una popolazione cresce troppo, molti suoi membri hanno difficoltà a trovare il cibo e diventano facili bersagli per i loro predatori.

La densità (D) è il numero di individui (N) presenti in un certo momento nell'unità di superficie (S).  $D = N/S$ . La densità di una popolazione è legata a vari fattori, naturali e sociali, che possono modificarla. Alte densità rendono più facile il diffondersi di malattie, ma nello stesso tempo offrono protezione agli individui come accade nei banchi di pesci o nelle mandrie di erbivori.

La dispersione specifica il modo in cui gli individui di una popolazione sono distribuiti sul territorio. Solitamente prevede l'aggregazione (greggi, orde, boschi, cultri d'erba, ecc.) ma a volte gli individui, o le coppie nella stagione dell'estro, sono sparsi in modo casuale nel loro habitat. La dispersione cambia col tempo, in relazione alle stagioni e alle esigenze di accoppiamento.

La struttura di età il rapporto tra il numero di individui di una data età e il numero totale di individui di una popolazione. Le classi di età si possono raggruppare in categorie più ampie: età pre-riproduttiva, riproduttiva e post-riproduttiva. Una popolazione con un'alta percentuale dei suoi membri nelle prime due categorie, ha un'alta potenziale di crescita rapida.

#### Dimensioni di una popolazione e modelli di crescita

Il tasso di crescita di una popolazione è l'aumento del numero di individui, in un certo periodo di tempo, calcolato a partire da un singolo individuo.

In un dato periodo di tempo, le dimensioni numeriche di una popolazione dipendono da quanti individui entrano a farvi parte (per nascita o per immigrazione) e da quanti cessano di farvi parte (per morte o per emigrazione). In assenza di immigrazioni e di emigrazioni o in caso di equilibrio perfetto fra questi due fattori, il tasso di crescita si calcola con la formula  $r = (\text{nascite} - \text{morti})/N$  dove N è il numero di individui presenti all'inizio del periodo di tempo considerato. Prendiamo ad esempio una popolazione di 1000 individui ( $N=1000$ ) e supponiamo che ogni anno nascano 50 individui e ne muoiano 30. Il tasso di crescita sarà dato da  $r = (50-30)/1000 = 0,02$  pari al 2% annuo. Il tasso di crescita può essere positivo (la popolazione aumenta) o negativo (la popolazione diminuisce). Le dimensioni della popolazione rimangono stabili quando il tasso di natalità viene esattamente controbilanciato dal tasso di mortalità, si ha in questo caso una crescita zero.

#### La crescita esponenziale

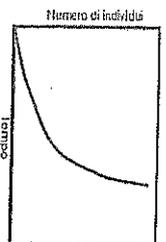
Quando il tasso di natalità supera quello di mortalità, le dimensioni di una popolazione aumentano. Fin tanto che il tasso di crescita resta positivo, le dimensioni della popolazione crescono a ritmo sempre maggiore. Per capire perché avviene questo, osserviamo come si riproducono i batteri. Parliamo da un singolo batterio posto in un terreno di coltura contenente sostanze nutritive in abbondanza. Dopo trenta minuti il batterio si dividerà in due, dopo altri trenta minuti, i batteri saranno diventati quattro, e così ogni trenta minuti il loro numero raddoppierebbe se non ci fossero morti. Dopo dieci ore la popolazione di batteri sarebbe di 1.000.000 di individui.

Se si rappresenta graficamente la crescita di questa popolazione, si ottiene una curva che diventa via via sempre più ripida al passare del tempo.

Questo tipo di curva è caratteristico di tutte i fenomeni fisici, chimici, economici che hanno un andamento esponenziale. Se non c'è nulla che limiti la crescita di una popolazione, l'andamento risulta esponenziale anche quando il tasso di natalità supera di pochissimo quello di mortalità. Nel nostro esempio, se in una divisione e l'altra minuto, occorrerebbero circa trenta ore per arrivare a un milione di batteri, ma anche in questo caso si otterrebbe una curva esponenziale.

Quando il tasso di natalità supera quello di mortalità, la popolazione cresce in modo esponenziale, mentre diminuisce allo stesso modo se prevale il tasso di mortalità.





Il potenziale biotico di una popolazione è il tasso massimo al quale essa può crescere quando non vi siano limiti di sorta. Esso varia nelle diverse specie, a seconda di quando comincia e quanto dura l'età riproduttiva, della frequenza con cui avviene la riproduzione, di quanti nati vivi vengono alla luce ogni volta, e di quanti nati sopravvivono fino all'età riproduttiva. Per molti batteri, il potenziale biotico è del 100% (un raddoppio) ogni mezz'ora; per gli esseri umani e altri grossi mammiferi, tra il 2% e il 5% per ogni anno.

**Capacità di sostentamento e curva logistica**

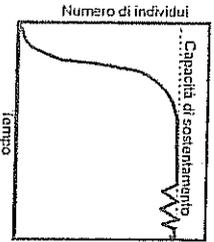
Con risorse illimitate e un ambiente ideale a disposizione, una specie può crescere al massimo delle sue possibilità. Ma una crescita infinita per un periodo indefinito non è possibile: prima o poi arriva a un limite imposto da restrizioni in uno o più fattori limitanti, quali acqua, luce, spazio e sostanze nutritive. Contando il numero di individui ad intervalli di tempo regolari, si ottengono dei dati dalla cui estrapolazione si ottiene una curva a forma di S, che si chiama curva di crescita reale o curva logistica di una popolazione. Si osserva che la popolazione si accresce lentamente all'inizio, poi con notevole rapidità (livello di rapida crescita) ed infine tende ad assumere un andamento orizzontale, stabilizzandosi su di un valore pressoché costante. Questo valore costante esprime il "carico massimo" compatibile con determinate condizioni ambientali e con la quantità di cibo disponibile: è cioè il numero massimo di individui di quella popolazione che quell'ambiente può sostenere.

Anche i batteri del nostro esempio cominceranno a rallentare la crescita quando le sostanze nutritive cominceranno a scarseggiare e poiché non possono allontanarsi dal terreno di coltura preparato dagli sperimentatori finiranno col morire tutti.

Tramite l'azione combinata di tutti i suoi fattori limitanti, l'ambiente oppure una resistenza alla crescita della popolazione. Si definisce capacità portante o limite di saturazione ( $K$ ) il numero massimo di individui di una data specie che una certa zona può sostenere per un tempo indefinito. La capacità portante per una data popolazione può variare nel tempo in seguito a cambiamenti stagionali o ambientali.

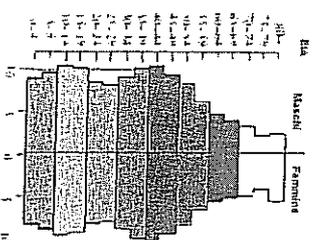
Lo studio del modello logistico ha delle applicazioni pratiche assai importanti. Per esempio, se si vuole controllare l'ucidentante quanti è possibile, bisogna considerare che se il numero dei sopravvissuti è vicino al punto della curva in cui si ha la maggiore velocità di crescita, cosa assai probabile, non si otterrà alcun risultato concreto. Conviene, in questo caso ridurre la capacità di sostentamento dell'ambiente con un più efficace smaltimento dei rifiuti.

Così la curva logistica deve essere tenuta presente, per esempio, dai pescatori, che devono evitare di far scendere le popolazioni dei pesci pescati al di sotto del livello di rapida crescita.



**Istogrammi delle età**

L'istogramma delle età di una popolazione mostra la proporzione degli individui di età o classi di età differenti. L'istogramma delle età consente di esaminare la situazione in un dato momento ma anche di fare previsioni sui cambiamenti futuri nella dimensione della popolazione. Se ad esempio in una popolazione c'è una prevalenza di individui in età riproduttiva e pre-riproduttiva, la popolazione continuerà a crescere a un ritmo elevato anche se gli individui mettersero al mondo soltanto tanti figli quanto basta a sostituire se stessi. Questa situazione nella popolazione umana si verifica in alcuni paesi in via di sviluppo, in particolare in India. L'istogramma delle età della popolazione degli Stati Uniti dà ragione del fatto che la popolazione di quel paese ha continuato a crescere nonostante anche se le coppie giovani tendono ad avere in media meno di due figli.



**Mecanismi di regolazione della crescita**

Le variazioni nel tasso di natalità o nel tasso di mortalità o in entrambi sono in genere conseguenza di un mutamento intervenuto nella disponibilità di risorse o in qualche altro fattore ambientale. I cambiamenti favorevoli inducono a far aumentare le nascite, quelli sfavorevoli a diminuirle e quindi a far aumentare il peso relativo della mortalità.

Quando la densità di una popolazione supera certi valori e ci si avvicina ai limiti di sfruttamento delle risorse, i tassi di natalità e di mortalità tendono a variare in modo da incrementare i decessi rispetto alle nascite. A tal fine vengono messe in atto varie strategie. Dal lato della natalità si limita il numero di individui fertili che hanno accesso alla riproduzione, o il numero di figli che possono avere, si sviluppano gerarchie sociali che inibiscono la maturazione sessuale dei giovani adulti. Dal lato della mortalità, si riducono le cure materne, non si aiutano gli individui fertili o indeboliti.

Al contrario, se c'è un declino nella popolazione, viene incrementata la natalità e ridotta la mortalità.

Quando ci si avvicina ai limiti delle risorse, tassi di natalità e mortalità non possono variare troppo in fretta, ma richiedono un certo tempo; questo ritardo fa da volano e costringe il numero degli abitanti a superare temporaneamente, per inerzia, la capacità portante.

Nel tratto esponenziale della curva di crescita si possono osservare, in alcuni casi, dei picchi. Nella curva di crescita della popolazione umana si sono avuti, in passato, dei picchi causati da malattie infettive e carestie. Le epidemie di epidemie, carestie e altri disastri, la popolazione umana complessiva ha continuato a crescere. Il progresso della tecnologia e i cambiamenti sanitari, sociali e culturali hanno alzato il limite di saturazione a crescere. Il progresso della specie e dell'ambiente, infatti per rendere il mondo più abitabile per noi, per aumentare la produzione di cibo, controllare le malattie, urbanizzare, facilitare i collegamenti e le comunicazioni, ecc., abbiamo dovuto sfruttare investendo molta energia, e questo inevitabilmente, ma in qualche caso anche evitabilmente, ha comportato il degrado dell'ambiente.

**Strategie riproduttive**

Le specie hanno diverse strategie riproduttive, o più semplicemente modi di riprodursi. I due modelli prevalenti sono stati chiamati in vario modo: «prodighi» e «prudenti», «opportunisti» ed «equilibrati», «r» e «K». In tutti i casi da elevato, sfornando cioè molti piccoli in poco tempo. Questa prole è in genere di piccola taglia e di vita breve, matura velocemente e non riceve cure parentali. Gli individui sono vulnerabili e muoiono in gran numero prima di raggiungere la maturità sessuale; solo pochi riescono a riprodursi. Ve ne sono esempi tra le piante caducifoglie, le alghe, i batteri, i roditori, molti pesci e insetti. Queste specie tendono ad essere opportunistiche, perché si riproducono rapidamente appena le condizioni diventano favorevoli. Condizioni sfavorevoli, viceversa, le riducono ai minimi termini. In molti casi, quindi, le dimensioni delle popolazioni hanno degli alti e dei bassi molto accentuati.

Dall'altra parte vi sono le specie con pochi nati di dimensioni relativamente grosse, su cui i genitori investono molto tempo ed energia per consentire loro di raggiungere l'età riproduttiva. Queste specie vivono piuttosto a lungo, hanno ambienti abbastanza stabili e mantengono la dimensione delle loro popolazioni vicine al limite di saturazione, con oscillazioni modeste. Esseri umani, elefanti, rinoceronti, balene, squali e grosse piante centenarie seguono questa strategia.

Molte specie tuttavia presentano le caratteristiche di entrambi i gruppi. Per esempio alcune specie di stelle marine vivono a lungo (come le specie del secondo gruppo) e producono numerose uova (come le specie del primo gruppo).

Altre specie invece alternano le due strategie in momenti diversi del loro ciclo vitale.

*Selezione ed estinzione*

Quando alcuni fattori ambientali oltrepassano i limiti di tolleranza di una o più specie, individui e popolazioni entrano in crisi, cioè in uno stato di tensione o stress.

I membri di alcune specie animali possono evitare o ridurre gli effetti dello stress ambientale abbandonando una zona (emigrazione) e migrando in un'altra (immigrazione). Anche le piante, attraverso la disseminazione, possono migrare, ma impiegano decenni o secoli a farlo.

Il cambiamento di dimensioni di una popolazione, in un certo intervallo di tempo, viene così a essere determinato da quattro variabili: nascite, morti, immigrazione, emigrazione:

$$\text{tasso di variazione} = (\text{nascite} + \text{immigrazione}) - (\text{morti} + \text{emigrazione}).$$

La risposta allo stress ambientale può comportare anche un cambiamento nella struttura d'età della popolazione in quanto i membri deboli, soprattutto i più giovani e i più vecchi, sono esposti maggiormente alla morte.

La risposta allo stress ambientale può far leva sul patrimonio genetico e, in particolare, sulla sua ricchezza e variabilità. La diversità genetica aiuta infatti le specie a evitare l'estinzione. Quando si verifica un cambiamento ambientale, una popolazione con un alto grado di diversità genetica ha maggiori probabilità di avere tra i suoi membri alcuni che possono sopportarlo. Una popolazione, viceversa, con poca variabilità genetica rischia l'estinzione anche con un piccolo cambiamento delle condizioni ambientali. Ecco perché è importante non distruggere la diversità genetica esistente in ogni specie.

Quando l'adattamento non è più possibile subentrano altre risposte agli stimoli ambientali. Una è la speciazione: da una specie se ne formano due. L'altra è appunto l'estinzione: una specie cessa di esistere perché il suo corredo genetico non le consente di adattarsi e di riprodursi con successo nelle nuove condizioni ambientali. Essa scompare del tutto o si trasforma in una nuova specie geneticamente modificata e adattata; gli uccelli, per esempio, derivano da un ramo della dinastia dei dinosauri, che si è esaurita alla fine dell'era mesozoica.

La speciazione può avvenire in una singola linea evolutiva su un lungo arco di tempo, spesso in commensone coi cambiamenti climatici, oppure per la separazione di linee ereditarie (fillette) in due o più nuove specie.

CHE COS'È L'ECOLOGIA	HABITAT E NICCHIA ECOLOGICA	INIZIO
LA DINAMICA DELLE POPOLAZIONI	INTERAZIONI TRA SPECIE DIVERSE	

**I CONCETTI DI HABITAT E NICCHIA ECOLOGICA**

L'habitat di un organismo è l'ambiente naturale in cui esso normalmente vive. Si è detto nell'introduzione che lo spazio fisico nel quale vive una biocenosi costituisce il biotopo; l'habitat è quindi la somma dei biotopi in cui un organismo può vivere in quanto possiede tutti i requisiti necessari alla vita dello stesso. Ogni habitat è caratterizzato dai suoi particolari aspetti fisici e chimici, e dalla struttura della vegetazione. Così, ad esempio, l'habitat dell'aquila reale sono le zone montuose poste al di là del limite degli alberi sotto il livello delle nevi perenni, il koola vive esclusivamente nell'habitat costituito dalle foreste di eucalipto dell'Australia orientale, l'habitat del castoreo di montagna è costituito da fitti boschi in prossimità dell'acqua, gli scoiattoli hanno un habitat arboreo, le alpe un habitat sotterraneo.



Gli esseri umani vivono in habitat alterati, nei quali le caratteristiche del paesaggio sono state volutamente modificate per consentire la pratica dell'agricoltura, lo sviluppo delle città e delle vie di comunicazione, ecc.

Una comunità è un'associazione di popolazioni di specie diverse che hanno lo stesso habitat, legate tra loro, direttamente o indirettamente, attraverso una varietà di interazioni. Caratteristiche di una comunità sono la diversità (*abbondanza relativa*) e la loro dispersione nell'habitat. Queste caratteristiche sono influenzate dall'azione combinata di vari fattori:

- la piovosità, la temperatura, la composizione del suolo e altre caratteristiche geochimiche e climatiche dell'habitat;
- il tipo e la quantità di cibo e di altre risorse disponibili;
- gli adattamenti anatomici, fisiologici e comportamentali, grazie ai quali i componenti di una specie sono in grado di sfruttare determinate risorse;
- le interazioni tra le diverse specie presenti nell'habitat.

In un dato habitat, ogni specie occupa una sua nicchia ecologica, che non è semplicemente un luogo, ma un modo di vita, un ruolo, e comprende tutte le condizioni fisiche, chimiche e biologiche di cui la specie necessita per vivere e riprodursi (luce, anidride carbonica, ossigeno, acqua e sostanze nutritive, temperatura, tipo di cibo, predatori, specie che competono per le stesse risorse).

Le specie in genere occupano nicchie tanto più diverse quanto più diversi sono le loro abitudini alimentari e ciò perché in questo modo viene a mancare un importante fattore di competizione.

Vi sono specie chiamate *specialiste* e altre *generaliste*. Le prime hanno nicchie limitate, possono vivere in un solo tipo di habitat, si nutrono di un solo tipo di cibo e sono molto sensibili alle variazioni dei fattori ambientali e climatici. Ne sono esempi il panda gigante della Cina e il koola australiano, che si alimentano esclusivamente di piante di bambù ed eucalipto rispettivamente.

I generalisti sono gli organismi che hanno nicchie ampie e grande capacità di adattamento. Sono specie generaliste le mosche, gli scarafaggi, i ratti, gli esseri umani. Negli ambienti in cui le condizioni si mantengono costanti nel tempo, come le foreste pluviali, sono avvantaggiati gli specialisti mentre i generalisti, essendo più adattabili sono favoriti negli ambienti soggetti a repentini cambiamenti.

Talora una specie occupa, nei diversi stadi della sua vita, nicchie diverse; basti ricordare, ad esempio i numerosi stadi larvali degli insetti che si sviluppano attraverso la metamorfosi. Inoltre la stessa specie può occupare nicchie diverse in regioni diverse.

Spesso un organismo riveste più di un ruolo entro la comunità. Per esempio la tartaruga uzzannatrice è un predatore di giovani tartarughe acquatiche, ma è anche un sproprio: si ciba, cioè, di resti di animali morti che non ha ucciso.

CHE COS'È L'ECOLOGIA	HABITAT E NICCHIA ECOLOGICA	INIZIO
LA DINAMICA DELLE POPOLAZIONI	INTERAZIONI TRA SPECIE DIVERSE	

**INTERAZIONI TRA SPECIE DIVERSE**

Due specie interagiscono quando hanno qualche attività o necessità in comune; i modi di interagire sono diversi e possono essere benefici, dannosi o neutri per una o entrambe le specie. I tipi principali di interazione sono la competizione interspecifica, la predazione, il parassitismo, il mutualismo e il commensalismo. Gli ultimi due non comportano danni per alcuna delle due specie; insieme al parassitismo rappresentano relazioni simbiotiche.

**Competizione interspecifica**

La competizione è una relazione tra due specie nella quale entrambe subiscono qualche svantaggio. Gli organismi possono competere per fattori come il cibo, lo spazio, la luce solare o l'acqua. Quando uno o più risorse sono limitate ogni specie entra in competizione con altre per la loro conquista. In un fiume, chioccioline e tartarughe acquatiche si nutrono entrambe dello stesso tipo di erba perciò la presenza nello stesso luogo di uno di questi due erbivori è dannosa per l'altro. In un habitat dove scarseggia una certa risorsa, due specie non possono convivere esattamente nella stessa nicchia ecologica, se non per tempi limitati.

Quando vi è competizione tra due specie, quella che produce più prole, cultura più cibo o energia solare, si difende meglio o riesce a limitare o impedire l'accesso dell'altra alle risorse, allarga la sua nicchia a spese di quella dell'altra specie. La coesistenza così a lungo termine o ne causa addirittura l'estinzione.

Due specie che sfruttano la stessa risorsa possono coesistere se riescono a ridurre la sovrapposizione delle rispettive nicchie ecologiche. Un modo di ridurre la sovrapposizione delle nicchie è quello di accedere alla stessa risorsa in tempi, modi o luoghi diversi. Per esempio, falco e gufo si nutrono di prede simili, ma uno va a caccia di giorno, l'altro di notte.

**Predazione**

Vi è predazione quando un organismo vivente si ciba di un altro organismo vivente. I due organismi possono essere una pianta ed un animale erbivoro, un animale erbivoro e un carnivoro, due animali carnivori.

Certi animali catturano prede vive, altri si nutrono di carogne; tra questi vi sono gli avvoltoi, i corvi, le mosche. Le specie cui spetta il ruolo di prede hanno elaborato vari meccanismi di protezione e difesa, velocità negli spostamenti, vista acuta, olfatto molto sensibile, pelli coriacee, corcece, cornazze, spine, colori mimetici, produzione di sostanze chimiche repellenti, irritanti o tossiche. Numerosissime sono poi le strategie di comportamento, sia individuali che di gruppo.

I predatori, dal canto loro, hanno armi e metodi altrettanto vari per catturare e mangiare le prede.

Nel rapporto preda-predatore i due protagonisti si trasmettono a vicenda stimoli per elaborare metodi più efficaci di difesa o di offesa. Il rapporto preda-predatore è molto importante per il mantenimento dell'equilibrio ecologico perché controllano l'uno la popolazione dell'altro. I predatori eliminano dalla popolazione delle loro prede gli individui meno sani e più deboli, mantenendo in vita gli individui più resistenti e adatti, i quali trasmettono le loro caratteristiche ai discendenti. Se vi sono prede abbondanti, aumentano i predatori, ma se questi catturano troppe prede il numero di esse si riduce eccessivamente e vari predatori muoiono o si riproducono di meno. Per ogni coppia predatore-preda esiste un rapporto ottimale tra numero delle prede e numero dei predatori, ma i numeri degli individui dell'una o di entrambe le specie variano continuamente, facendo oscillare anche il rapporto attorno al valore medio di riferimento.

Un esempio dell'importanza del rapporto predatore-preda per il mantenimento dell'equilibrio ecologico è fornito dalle vicende che di una popolazione di cervi che viveva in Arizona. Poiché la popolazione era minacciata dai predatori, nel 1907 fu avviata una campagna per la cattura di questi (coyuni, lupi, puma). Nel giro di 15 anni ne furono eliminati circa 8000, e la popolazione di cervi iniziò a crescere esponenzialmente. Nel 1924 la mandria era di quasi 100.000 esemplari. Purtroppo i magri pascoli non potevano sostenere tutti i cervi e nel giro di un paio d'anni il 60% degli animali morì di fame e iniziò un calo inarrestabile della popolazione di cervi. Insomma, i cervi stavano meglio quando erano presenti anche i loro predatori.



**Parassitismo**

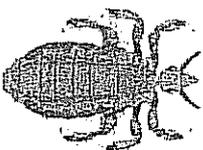
Il parassitismo è la relazione simbiotica che si instaura tra due organismi di cui uno, il parassita, vive a spese dell'altro, l'ospite. Parassiti sono virus, batteri, protozoi, funghi, piante e animali e tra i loro ospiti si trovano pressoché tutte le specie di organismi viventi. I microrganismi più grandi possono ospitare parassiti di più piccole dimensioni. Durante il loro ciclo vitale molti parassiti sfruttano due o più ospiti, un ospite definitivo o finale e uno o più ospiti intermedi in cui trascorrono parte del loro ciclo vitale. Gli ospiti intermedi che trasmettono attivamente i

parassiti da un ospite finale a un altro sono detti **vettori**.

In base alla parte del corpo dell'ospite che viene parassitata, si distinguono gli endoparassiti (come i cestodi), che vivono all'interno dell'ospite, e gli ectoparassiti (ad esempio i pidocchi), che colonizzano la superficie. La relazione può essere temporanea o permanente.

Il **plasmodio della malaria** è un protozoo endoparassita permanente che colonizza i globuli rossi del sangue umano e viene trasmesso da una specie di zanzara (vettoce). Ogni anno i parassiti della malaria colpiscono nel mondo, fino a 500 milioni di individui, uccidendone più di 2 milioni. I **trypanosomi** in Africa causano la malattia del sonno e in Sud America il morbo di Chagas, malattie che complessivamente affliggono circa 20 milioni di individui. I **neozantidi** colpiscono più di 1400 milioni di individui, mentre la **fiarita**, responsabile dell'elefantiasi, ne affligge circa 100 milioni.

Fra gli ectoparassiti, le pulci, le zecche, gli acari e le sanguisughe causano irritazioni e ferite e sono i vettori di molte gravi malattie.



Anche le piante possono avere dei parassiti che comprendono muffe, microrganismi o anche altre piante come il vischio che vive sui rami dei pini.

La stretta relazione esistente tra ospiti e parassiti è dovuta a una serie di adattamenti reciproci che si sviluppa nel corso di molte generazioni. I parassiti sono organismi altamente adattabili, che spesso sviluppano sistemi per schivare i meccanismi di difesa del loro ospite e resistenze ai farmaci e ai composti chimici usati per eliminarli. Per questi motivi sono molto difficili da distruggere.

**Mutualismo**

Il mutualismo è un tipo di interazione in cui entrambe le specie hanno benefici. Molte piante vengono impollinate da insetti, uccelli e altri animali. Queste piante hanno sviluppato particolari mezzi di richiamo per gli animali, quali il nettare oppure il polline ricco di vitamine e proteine. Contemporaneamente la struttura florale si è adattata agli animali impollinatori in maniera da facilitare il loro compito e da garantire il trasporto del polline. Le piante di legumi nutrono i batteri simbiotici nei loro noduli radicali ma ne ottengono l'azoto in forma utilizzabile. Piccoli pesci puliscono i denti a pesci più grossi ricavandone cibo.

I licheni crescono sulle rocce o sulla corteccia degli alberi; un lichene è, in realtà, composto da due differenti organismi che vivono in associazione assai stretta. Uno è un'alga, un produttore microscopico che sintetizza il cibo con la fotosintesi. L'altro è un fungo, un consumatore che trae il suo cibo dall'alga, ma, in cambio, fornisce all'alga l'umidità necessaria.



**Commensalismo**

Nei commensalismo una specie trae vantaggi senza che l'altra ne venga aiutata né danneggiata. Molti crostacei vivono attaccati al corpo di grossi pesci o di balene dove trovano il cibo di cui si nutrono senza danneggiare il loro ospite. La remora è un pesce dotato di una ventosa ovale sul lato dorsale della testa con la quale si attacca a grandi animali marini, il più delle volte squali. Poiché lo squalo la porta a spasso, la remora usa poca energia per i suoi movimenti. Inoltre la remora mangia i piccoli pezzi delle prede dello squalo che rimangono sospesi nell'acqua. Così la remora *viola* *Stenotis* *halla* *sua* *relazione* *con* *lo* *squalo*, *usando* *la* *ventosa* *per* *non* *affondare* *ma* *per* *nutrirsi* *dei* *restanti* *dei* *prezzi* *che* *rimangono* *sospesi* *nell'acqua*.

## CICLI DELLA MATERIA E DELL'ENERGIA

Nello studio dei sistemi assumono particolare importanza le trasformazioni che riguardano le forme di energia.

Il primo principio della termodinamica afferma che l'energia non può essere né creata né distrutta, pertanto la quantità di energia presente nell'Universo non subisce variazioni; essa può essere convertita da una forma all'altra, ma la quantità totale rimane sempre la stessa.

Il secondo principio della termodinamica stabilisce che ogni volta che avviene una trasformazione spontanea, una parte dell'energia viene dispersa (generalmente sotto forma di calore) e non può essere più disponibile per compiere lavoro. Questa parte parte di energia non si dissolve nel nulla, ma rappresenta una forma di energia, detta *degradata*, di scarso valore perché non più utilizzabile. A causa del degrado l'energia trasformabile è destinata ad esaurirsi col tempo.

In alcuni casi è possibile la reversibilità, cioè è possibile tornare alla situazione precedente la trasformazione, ma in questi casi occorre pagare un prezzo, occorre cioè spendere energia. Questo avviene, ad esempio, quando sciogliamo del sale nell'acqua. È possibile recuperare il sale facendo evaporare l'acqua, ma per fare evaporare l'acqua bisogna riscaldarla, cioè bisogna spendere energia sotto forma di calore.

Ogni sistema isolato che disponga di una quantità finita di energia è destinato ad esaurire prima o poi la sua quantità di energia trasformabile mentre la quantità di energia intrasformabile andrà sempre aumentando, fino a quando non sarà più possibile alcuna trasformazione. L'aumento dell'energia intrasformabile si esprime con una grandezza chiamata entropia.

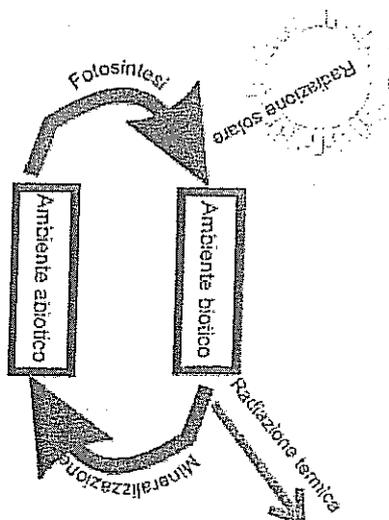
In natura esistono sistemi aperti che sembrano contraddire la regola del degrado dell'energia. Lo sviluppo di un organismo consiste nella formazione di una struttura complessa a partire da materiali semplici. In questo caso si ha un incremento di complessità, e la struttura complessa possiede più energia dei materiali semplici di partenza. Quindi sembra esserci diminuzione di entropia, in contrasto con il principio che stabilisce che l'entropia deve sempre aumentare nei processi spontanei naturali. Questo è possibile perché l'organismo è un sistema aperto che scambia continuamente materia ed energia con l'esterno. I sistemi aperti non contraddicono la regola del degrado: esistono perché possono "pompare" al loro interno l'energia presente nell'ambiente circostante. Così facendo però, esportano il degrado, e quindi l'entropia, nell'ambiente circostante.

La Terra può essere considerata un sistema chiuso, poiché è composta di un quantitativo costante di materia che non può disperdersi nello spazio, né può ricevere ulteriori apporti dall'esterno. In realtà vi sono apporti di materia da parte dei meteoriti e perdite a causa del gas che abbandonano l'alta atmosfera, ma si tratta di quantità assolutamente insignificanti.

Tuttavia se consideriamo la componente energetica del sistema Terra, osserviamo che il nostro pianeta riceve un flusso continuo di energia dal Sole e disperde un analogo flusso di energia nello spazio circostante.

Gli elementi chimici che compongono il pianeta sono sottoposti a continui processi ciclici, che comportano la formazione di molecole sempre diverse, che vengono continuamente spostate da un ambiente all'altro. A questi processi gli ecologi danno il nome di cicli biogeochimici, perché coinvolgono sia la componente biotica sia quella abiotica dell'ecosistema terrestre. Tra i principali cicli biogeochimici ricordiamo quelli del carbonio, dell'ossigeno, dell'azoto e del fosforo.

L'energia che continuamente fluisce attraverso il sistema terrestre attiva la parte ascendente dei cicli, quella che porta dal mondo inanimato a quello vivente e che comporta la trasformazione di sostanze inorganiche in sostanze organiche, cioè in materia vivente. Il principale processo responsabile di questa trasformazione è la fotosintesi, reazione esclusiva di molte cellule vegetali che utilizza l'energia solare accumulandola nelle sostanze organiche prodotte.



La parte discendente dei cicli biogeochimici consiste nella trasformazione delle sostanze organiche, di cui sono composti gli esseri viventi, in sostanze inorganiche, tipiche dell'ambiente abiotico (mineralizzazione). Questa trasformazione comporta la liberazione, per lo più sotto forma di calore, dell'energia precedentemente accumulata, ed è svolto da tutti gli esseri viventi. Essa si svolge attraverso processi differenti, i più importanti dei quali sono la respirazione cellulare che si verifica solo in presenza di ossigeno e la fermentazione che è tipica degli organismi anaerobici.

Accanto a quelli biogeochimici, possiamo collocare altri due cicli della materia, importanti perché contribuiscono a modellare la superficie del pianeta: il ciclo idrologico e il ciclo litologico.

Ogni goccia d'acqua presente nel nostro pianeta non è destinata a rimanere perennemente nell'ambiente in cui si trova, ma viene continuamente spostata e messa in circolazione attraverso un processo che prende il nome di ciclo idrologico nel corso del quale l'acqua cambia stato fisico (da liquido a vapore e a solido) e ambiente. Il ciclo litologico riguarda la parte solida del pianeta, le rocce, che vengono continuamente trasformate e spostate dalla loro posizione sotto l'azione combinata di forze endogene (agenti all'interno della Terra) di forze esogene provenienti dall'atmosfera e dall'idrosfera.

◦ Giuseppe Picciolo  
dicembre 2000

Nessuna parte dei documenti contenuti in questo sito può essere pubblicata o comunque distribuita in qualsiasi forma. È consentito l'uso didattico.

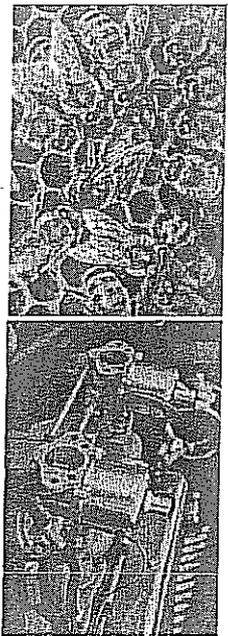
## GLI ECOSISTEMI

IL CONCETTO DI SISTEMA COMPLESSO	IL FLUSSO DI ENERGIA ATTRAVERSO GLI ECOSISTEMI	INIZIO
CARATTERISTICHE GENERALI DEGLI ECOSISTEMI	ICICLI BIOGEOCHIMICI	

### IL CONCETTO DI SISTEMA COMPLESSO

Un sistema complesso può essere definito come un insieme di parti interagenti tra di loro e al loro interno. Esempi di sistemi sono il codice genetico degli esseri viventi, il cervello di un organismo, le api di un alveare, il sistema economico di una nazione, i motori, i generatori elettrici e i sistemi informatici sono sistemi creati dall'uomo. Ci sono infine i sistemi sociali: le fabbriche, le famiglie, le comunità umane.

La stessa Terra è un sistema ed è al tempo stesso un sottosistema del Sistema solare. Sulla Terra ci sono poi una moltitudine di sistemi naturali.



Le api di un alveare e un motore sono due diversi esempi di sistemi complessi

Un sistema si dice *isolato* quando non può scambiare con l'esterno né materia, né energia in caso contrario si dice *non isolato*. I sistemi non isolati si dividono in *chiusi* e *aperti*. I sistemi chiusi possono scambiare con l'esterno soltanto energia, quelli aperti possono scambiare con l'esterno sia materia che energia. La Terra come pianeta è un esempio di sistema chiuso, mentre un organismo costituisce un sistema aperto.

Nello studio dei sistemi assumono particolare importanza le trasformazioni che riguardano le forme di energia.

Il primo principio della termodinamica afferma che l'energia non può essere né creata né distrutta, pertanto la quantità di energia presente nell'Universo non subisce variazioni; essa può essere convertita da una forma all'altra, ma la quantità totale rimane sempre invariata.

Il secondo principio della termodinamica stabilisce che ogni volta che avviene una trasformazione spontanea, una parte dell'energia viene dispersa (generalmente sotto forma di calore) e non può essere più disponibile per compiere lavoro. Questa parte di energia non si dissolva nel nulla, ma rappresenta una forma di energia detta *degradata*, di scarso valore perché non più utilizzabile. Poiché non esistono fonti infinite di energia, la regola del degrado, implica che l'energia trasformata si esaurisca col tempo.

In alcuni casi è possibile la reversibilità, cioè è possibile tornare alla situazione iniziale, ma in questi casi occorre pagare un prezzo, occorre cioè spendere energia. Questo avviene, ad esempio, quando sciogliamo del sale nell'acqua. È possibile recuperare il sale facendo evaporare l'acqua, ma per fare evaporare l'acqua bisogna riscaldarla, cioè bisogna spendere energia sotto forma di calore.

Ogni sistema isolato che dispone di una quantità finita di energia è destinato ad esaurire prima o poi la sua quantità di energia trasformabile mentre la quantità di energia trasformabile andrà sempre aumentando, fino a quando non sarà più possibile alcuna trasformazione. L'aumento dell'energia trasformabile andrà sempre aumentando, fino a quando non sarà più possibile alcuna trasformazione. L'aumento dell'energia trasformabile si esprime con una grandezza chiamata entropia. L'Universo è un sistema isolato e la sua entropia va sempre aumentando.

*Sistemi aperti e degrado dell'energia*

In natura esistono sistemi aperti che sembrano contraddire le regole del degrado dell'energia.

Lo sviluppo di un organismo consiste nella formazione di una struttura complessa a partire da materiali semplici. In questo caso si ha un incremento di complessità, e la struttura complessa possiede più energia dei materiali semplici di partenza. Quindi sembra esserci diminuzione di entropia, in contrasto con il principio che stabilisce che l'entropia deve sempre aumentare nei processi spontanei naturali.

Questo è possibile perché l'organismo scambia continuamente materia ed energia con l'esterno. Esso si trova in una condizione di equilibrio dinamico che dura finché il sistema rimane aperto. I sistemi aperti non contraddicono la regola del degrado: esistono perché possono "pompare" al loro interno l'energia presente nell'ambiente circostante. Così facendo però, esportano il degrado nell'ambiente circostante.

*Stabilità dei sistemi e retroazioni*

Un sistema può mantenersi in equilibrio se è in grado di autoregolarsi. Se una perturbazione tende a spostare il sistema dalla sua posizione di equilibrio, entrano in gioco processi di compensazione: l'effetto "retroagisce" sulla causa che lo ha stimolato in modo da smorzare l'ulteriore effetto. Il sistema quindi mette in atto meccanismi di *retroazione (feedback)*. Un sistema in grado di autoregolarsi si dice anche omeostatico.

Il termostato di un impianto di riscaldamento è programmato per mantenere una certa temperatura nell'ambiente. Se la temperatura scende al di sotto di quella programmata il termostato mette in funzione la caldaia che riporta la temperatura al valore programmato. Questo tipo di retroazione prende il nome di *retroazione negativa*.

Nei sistemi aperti naturali oltre a vari meccanismi di retroazione negativa si osservano anche meccanismi di retroazione positiva. Questi tendono a destabilizzare, anziché a rendere stabili i sistemi. Sono anche chiamati meccanismi di amplificazione perché accentuano l'effetto della perturbazione iniziale fino a vincere la resistenza al cambiamento del sistema e a distruggerne l'organizzazione.

Alla retroazione positiva è spesso associato il cosiddetto effetto soglia che fa sì che il sistema reagisca a una perturbazione solo quando questa raggiunge una certa intensità. In altri casi il sistema reagisce ad ogni piccola perturbazione con modifiche piccole e graduali finché l'ennesima perturbazione (la classica goccia che fa traboccare il vaso) provoca una risposta forte e il sistema si destabilizza.

Fra il momento in cui il sistema riceve uno stimolo e il momento in cui intraprende un'azione correttiva intercorre un certo intervallo di tempo chiamato ritardo di risposta o inerzia temporale. Questo ritardo può proteggere il sistema impedendogli di dare risposte azzardate.

*Sinergie*

Si parla di sinergia quando più cause concorrono allo stesso effetto, rafforzandolo, oppure quando una causa produce più effetti. In un sistema complesso possono verificarsi sinergie che producono effetti dannosi e sinergie che producono effetti benefici. Un esempio di riduzione dell'ozono a sua volta fa aumentare le radiazioni ultravioletta che arrivano a terra, queste danneggiano le alghe marine che fissano anidride carbonica; i mandrile carbonica non fissata si accumulano nell'aria amplificando così l'effetto serra.

Al contrario, il rimboscimento di una regione somma vari effetti positivi: rimuove anidride carbonica dall'aria riducendo l'effetto serra, protegge il suolo dall'erosione, fornisce legname, conserva la diversità biologica.

*La biosfera come sistema*

La biosfera si mantiene in condizioni di equilibrio stazionario in quanto è in grado di bilanciare le perdite di energia nello spazio con il continuo apporto di energia radiente dal Sole. Essa possiede meccanismi di autoregolazione che le permettono di assorbire eventuali perturbazioni attraverso un gioco di equilibri dinamici. Molte attività umane influiscono negativamente su tali equilibri e ciò causa problemi ambientali di portata planetaria quali l'effetto serra e il buco dell'ozono.

IL CONCETTO DI SISTEMA COMPLESSO	IL FLUSSO DI ENERGIA ATTRAVERSO GLI ECOSISTEMI	INIZIO
CARATTERISTICHE GENERALI DEGLI ECOSISTEMI	ICICLI BIOGEOCHIMICI	

### CARATTERISTICHE GENERALI DEGLI ECOSISTEMI



Un ecosistema è un complesso di organismi che interagiscono tra loro e con l'ambiente fisico attraverso un flusso di energia e un riciclaggio dei materiali. Ogni ecosistema può essere descritto attraverso una serie di caratteristiche che in parte rappresentano la componente non vivente (fattori abiotici) e in parte la componente vivente (fattori biotici) e che nel loro complesso vengono indicate come fattori ecologici.

I fattori biotici sono rappresentati da tutti gli organismi, i quali sono legati tra loro da un complesso sistema di rapporti essenzialmente di tipo alimentare e riproduttivo, e si condizionano reciprocamente.

I fattori abiotici vengono distinti in fattori di tipo fisico, fattori di tipo chimico e fattori di natura geologica. Sono fattori di tipo fisico la luce, la temperatura, la pressione dell'aria, la gravità.

I principali fattori di tipo chimico sono l'acqua, l'aria e le sostanze minerali.

I fattori di natura geologica sono rappresentati dal tipo di rocce e di suolo e dalla morfologia del territorio.

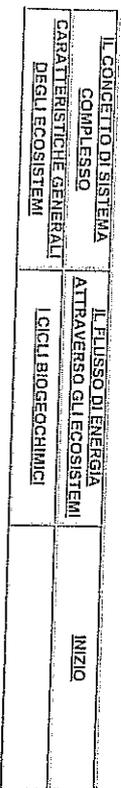
Ciascun fattore può essere presente in misura diversa in un dato ecosistema. Si dice che un determinato fattore diventa limitante per la vita quando il suo valore si avvicina al minimo o al massimo tollerabile dagli organismi. Ambienti diversi presentano fattori limitanti diversi: per esempio, sulla terraferma l'ossigeno non è mai limitante, mentre può esserlo in un ambiente acquatico. Gli ecosistemi sono sistemi aperti e in quanto tali non sono in grado di autolimitarsi. Essi necessitano pertanto di un apporto di energia proveniente dall'esterno (flusso in entrata di energia) e spesso anche di un apporto di nutrienti. La fonte esterna primaria di energia è la radiazione solare; gli organismi autotrofi possono utilizzarla tramite un pigmento, la clorofilla, nel processo di fotosintesi clorofilliana. Un'altra fonte di energia utilizzata nei processi biologici è data dalle sorgenti idrotermali che forniscono calore e composti chimici a organismi batterici che li usano per la chemiosintesi.

Le piante e i protisti (alghe e batteri unicellulari) sono quindi gli organismi autotrofi che sono in grado di fabbricare la sostanza organica per sé e per gli altri utilizzando energia e materia presenti nell'ambiente.

Una parte degli organismi si procura l'energia tramite il cibo che è costituito da altri organismi vivi o morti o da escrementi; sono questi gli organismi eterotrofi. Per essi ogni tipo di cibo è energia chimica sotto forma di sostanza organica. Alcuni eterotrofi, i *destruttori*, ricavano l'energia da frammenti parzialmente decomposti di materia organica. Sono destruttori granchi, nematodi e lombrichi. Altri ancora, i *decompositori*, ricavano l'energia dai resti o dai prodotti di rifiuto di altri organismi. Sono decompositori i funghi e i batteri. Gli organismi che costituiscono la fonte di energia per gli eterotrofi possono a loro volta averla ricavata allo stesso modo, cioè nutrendosi di altri organismi eterotrofi, ma prima o poi si arriva agli organismi che si nutrono direttamente, anche se non sempre evolutivamente, di organismi autotrofi.

Col tempo l'energia che era stata inizialmente catturata dagli autotrofi si disperde nell'ambiente sotto forma di calore generato dall'attività metabolica dei vari organismi e non può essere riciclata. Si ha quindi un flusso in uscita di energia.

I nutrienti in generale vengono riciclati, tuttavia possono esservi delle perdite (ad esempio attraverso il dilavamento del suolo) e quindi un flusso in uscita anche di nutrienti.



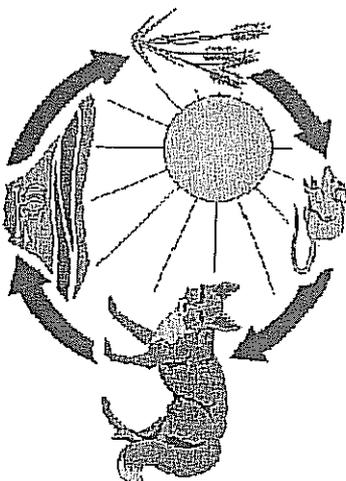
## IL FLUSSO DI ENERGIA ATTRAVERSO GLI ECOSISTEMI

I processi vitali che si svolgono negli ecosistemi sono basati su una rete di trasformazioni chimiche che sfociano, da una lato, nella sintesi di materia organica (biomassa), cioè di molecole organiche con legami "ricchi" di energia (carboidrati, proteine e lipidi) a partire da composti inorganici semplici (acqua, biossido di carbonio, sali minerali), dall'altro, nella degradazione della materia organica a composti inorganici semplici con legami poveri di energia, che vengono restituiti all'ambiente per essere nuovamente utilizzati. Questo ciclo di trasformazioni deve essere alimentato da un flusso continuo di energia che ha inizio dagli organismi autotrofi come le piante verdi, in grado, attraverso la fotosintesi, di sfruttare l'energia solare per fabbricare il proprio nutrimento.

Una catena alimentare è una successione di organismi in cui gli uni si alimentano di quelli che li precedono e, a loro volta, costituiscono alimento per quelli che li seguono. Le catene alimentari collegano gli organismi produttori ai consumatori, cioè agli organismi eterotrofi che si nutrono di altri esseri viventi o di sostanze organiche già esistenti. I consumatori vengono distinti in primari (erbivori che si nutrono direttamente di vegetali), secondari (carnivori che si nutrono di erbivori), terziari (carnivori che si nutrono di altri carnivori) ecc., fino ad arrivare ai detritivori e ai decompositori, che comprendono invertebrati, funghi e batteri, che si nutrono di vegetali e di animali morti, operandone la decomposizione in composti semplici che sono rimessi in ciclo.

Mediamente una catena alimentare è composta da 3 - 4 anelli, raramente di più, come nella seguente successione che si può osservare in un bosco:

pianta -> roditore -> piccolo carnivoro -> carnivoro più grande.



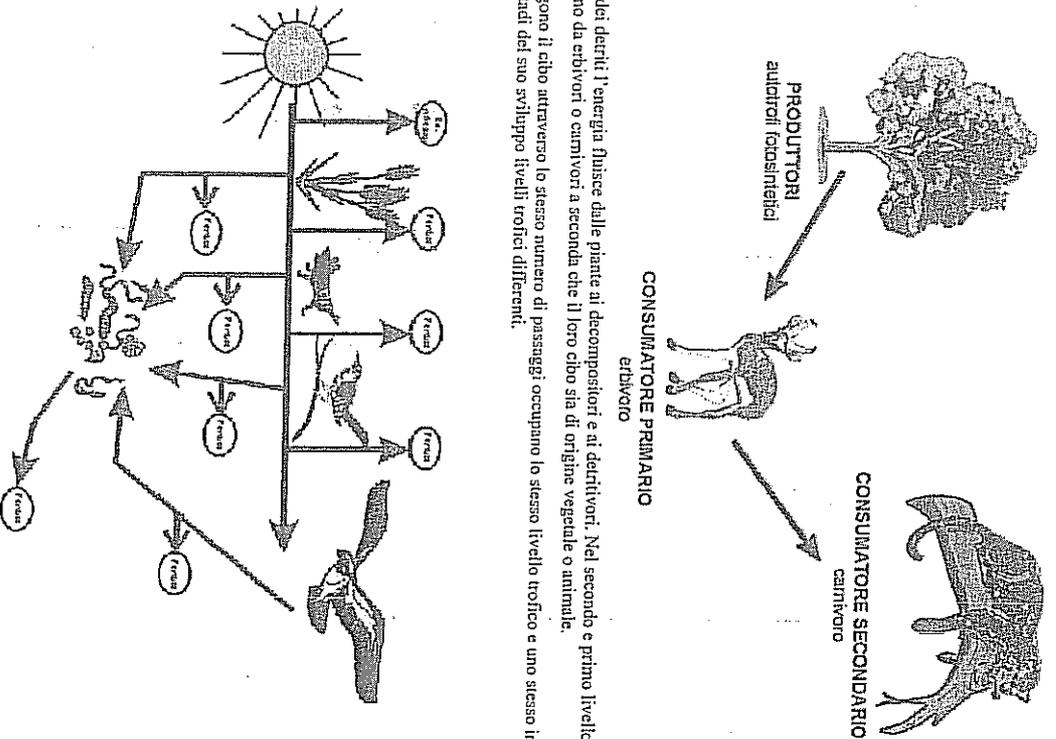
### La rete alimentare

Le sequenze lineari che costituiscono i diversi passaggi della catena alimentare non sono sufficienti a rappresentare la complessità delle relazioni che si stabiliscono tra gli organismi di una comunità. Per rappresentare in modo più completo le diverse fonti di approvvigionamento degli organismi e dell'intera comunità è stato introdotto il concetto di rete alimentare: una rete alimentare è costituita dall'intersecarsi delle diverse catene alimentari all'interno della comunità.

Una rete alimentare, come la catena alimentare, è sostanzialmente un sistema di trasferimento dell'energia. L'energia solare catturata dagli organismi produttori attraverso i successivi livelli costituiti dai consumatori. Ciascuno di essi cede all'ambiente una parte dell'energia assimilata sotto forma di calore e la quantità di energia totale catturata dai produttori diminuisce progressivamente (a ogni livello se ne perde circa il 90%). Le perdite di calore rappresentano un flusso di energia in uscita dall'ecosistema.

Una rete alimentare può essere vista anche visiva come una serie di livelli trofici (o nutrizionali). Si possono distinguere due tipi di reti alimentari: le *reti alimentari di pascolo* e le *reti alimentari di detriti*.

Nelle reti alimentari di pascolo le piante verdi, produttori primari, occupano il primo livello trofico. Gli erbivori, consumatori di piante verdi, occupano il secondo livello trofico. I carnivori, predatori che si nutrono di erbivori, occupano il terzo. Gli onnivori, consumatori sia di piante che di animali occupano il secondo e il terzo. I carnivori secondari, che sono predatori che si nutrono di altri predatori, occupano il quarto livello trofico. Salendo di livello trofico, i predatori diminuiscono, diventano più grossi, più aggressivi e più agili.



Nelle reti alimentari dei detriti l'energia fluisce dalle piante ai decompositori e ai detritivori. Nel secondo e primo livello, i detritivori e i decompositori fungono da erbivori o carnivori a seconda che il loro cibo sia di origine vegetale o animale.

Organismi che ottengono il cibo attraverso lo stesso numero di passaggi occupano lo stesso livello trofico e uno stesso individuo può occupare in diversi stadi del suo sviluppo livelli trofici differenti.

**Produzione primaria e produttività**

Si definisce produzione primaria lorda (P<sub>l</sub>) la quantità di energia prodotta in un certo tempo dai produttori di un ecosistema. Essa si misura in kcal/anno. Il produttore usa una parte dell'energia prodotta per mantenersi in vita, la parte rimanente viene fissata nella biomassa. La differenza tra la produzione primaria lorda (P<sub>l</sub>) e la parte di energia (R<sub>a</sub>) consumata dai produttori si definisce produzione primaria netta (P<sub>n</sub>).

$$P_n = P_l - R_a$$

La produzione primaria dipende dai meccanismi della fotosintesi e dai fattori limitanti di questa come le dimensioni, la forma e l'anatomia della foglia, la resistenza della pianta alla perdita d'acqua, la temperatura, la luce, ecc.

Se si considera la produzione primaria netta per unità di superficie si ha la produttività, una misura dell'efficienza di un ecosistema al suo livello fondamentale, dove si formano le riserve per tutti gli organismi.

Gli ecosistemi più produttivi sono le cosiddette zone umide, cioè gli estuari dei fiumi e le paludi; le foreste tropicali e temperate occupano il secondo posto; i mari, coprendo i due terzi della superficie terrestre, sono al primo posto per la produzione tra tutti gli ecosistemi, ma sono all'ultimo posto per la produttività.

La produzione secondaria è quella dei consumatori. Gli animali erbivori consumano parte della produzione primaria. Non tutti i carboidrati vegetali sono però assimilabili da essi; la cellulosa, per esempio, può essere digerita solo dagli animali, come i ruminanti, che hanno speciali batteri in simbiosi nei loro apparati intestinali; la lignina è praticamente indigeribile. Molte piante hanno poi difese meccaniche (spine) o chimiche (ossine) che tengono lontani gli erbivori.

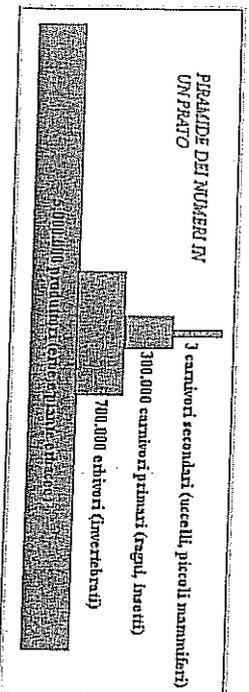
Gli animali, dunque, assimilano solo una parte della biomassa vegetale, e siccome da soli fabbricano pochi aminoacidi e nessuna vitamina, per cui li debbono ricavare dal cibo, sono obbligati a mangiare una quantità di vegetali sufficiente a fornire il fabbisogno di sostanze limitanti, e quindi un volume in eccesso che poi finisce come scarto nelle feci.

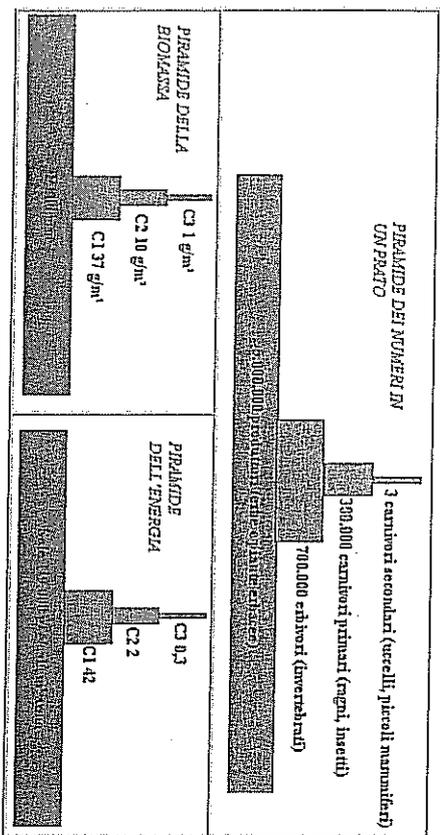
**Piramidi ecologiche**

La struttura alimentare, o trofica, di un ecosistema può essere rappresentata schematicamente sotto forma di una piramide alla base della quale si trovano i produttori e nei gradini successivi i consumatori. Una piramide ecologica può basarsi sul numero di di individui presenti nell'ecosistema e in questo caso prende il nome di *piramide dei numeri*, oppure sulla biomassa. Ogni livello contiene infatti una certa biomassa, misurata come peso a secco di sostanza organica; la piramide della biomassa mette in evidenza che una data biomassa vegetale non può nutrire più di tanti erbivori, che i carnivori primari sono meno degli erbivori e i carnivori secondari ancora meno, secondo rapporti abbastanza costanti.

Il modo più accurato per rappresentare la struttura trofica di un ecosistema è però la piramide dell'energia che si basa sul flusso di energia che si ha in corrispondenza di ciascuno dei passaggi da un livello trofico al successivo. Nella biomassa è accumulata energia chimica che si trasferisce in parte da un livello al successivo. Ad ogni livello, una certa quantità di energia viene dissipata come calore attraverso il metabolismo e la respirazione aerobica e un'altra quantità rimane imprigionata nelle parti dell'organismo-cibo che non viene mangiato o assimilato. La percentuale di energia non degradata che passa da un livello trofico all'altro varia dal 5 al 20%.

Prendendo come media il 10% si costruisce la piramide dell'energia, nella quale la quantità di energia disponibile in ciascun livello è pari al 10% di quella del livello precedente.





La magnificazione biologica

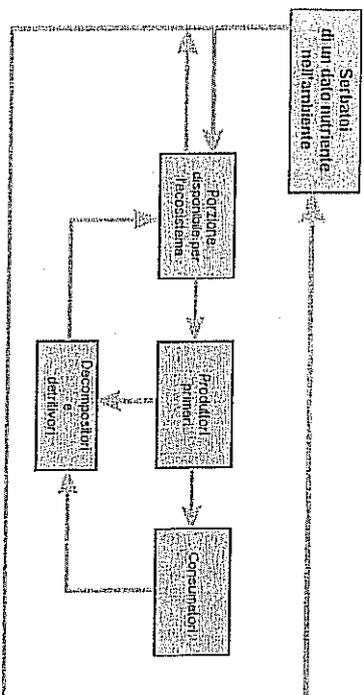
Un fenomeno particolarmente importante che caratterizza il trasporto di alcune sostanze lungo la catena alimentare è quello della magnificazione biologica. Questo fenomeno si realizza quando una particolare sostanza si accumula lungo i diversi passaggi. Il caso del DDT, un insetticida di cui si è fatto largo uso dalla fine della seconda guerra mondiale agli anni Sessanta, è un ottimo esempio di questo fenomeno. Se presente in un fiume, questo inquinante viene assorbito dai pesci più piccoli che lo accumulano nel loro tessuto. I pesci piccoli vengono mangiati da quelli più grandi che lo accumulano in misura ancora maggiore. La percentuale accumulata aumenta via via nei successivi passaggi della catena alimentare che possono essere rappresentati in successione da un uccello e da un mammifero carnivoro (uomo compreso). A ogni stadio la quantità di una sostanza che va incontro al processo di bio-amplificazione aumenta di 10-100 volte, cosicché negli esseri umani la concentrazione finisce col diventare un milione di volte superiore a quella iniziale: proprio per questo motivo, data la sua pericolosità e le sue probabili proprietà cancerogene, il DDT è stato messo al bando quasi in tutti i paesi del mondo.

<b>IL CONCETTO DI SISTEMA COMPLESSO</b>	<b>IL FLUSSO DI ENERGIA ATTRAVERSO GLI ECOSISTEMI</b>	<b>INIZIO</b>
<b>CARATTERISTICHE GENERALI DEGLI ECOSISTEMI</b>	<b>LCICLI BIOGEOCHIMICI</b>	

I CICLI BIOGEOCHIMICI

I percorsi dei vari elementi chimici di interesse biologico fra gli organismi e l'ambiente sono noti come cicli biogeochimici.

Ogni elemento, o composto, può essere trasferito direttamente da un organismo all'altro, oppure entrare a far parte di sedimenti e depositi nella litosfera e rimanere per tempi anche lunghissimi prima di ritornare in circolo. Particolarmente importanti sono i cicli dell'acqua e dell'ossigeno, e quelli del carbonio, dell'azoto e del fosforo.



Ciclo dell'acqua

Il ciclo dell'acqua avviene grazie a una continua serie di passaggi di stato di questa sostanza: la superficie terrestre fornisce acqua all'atmosfera attraverso l'evaporazione e l'evapotraspirazione da parte degli organismi. L'atmosfera restituisce acqua alla superficie terrestre attraverso le precipitazioni. Sulla terraferma l'acqua si infiltra nel sottosuolo o scorre in superficie, tornando al mare attraverso i corsi d'acqua.

Cicli del carbonio e dell'ossigeno

Il carbonio e l'ossigeno compiono due cicli paralleli, regolati da due processi fondamentali: il carbonio passa continuamente dalla forma inorganica, come anidride carbonica, carbonati, bicarbonati e ossido di carbonio, alla forma organica, nelle molecole dei protidi, dei glucidi, dei lipidi, degli acidi nucleici, ecc. Il passaggio del carbonio dalla forma inorganica a quella organica avviene con l'ibridazione di ossigeno gassoso, mentre nella respirazione l'ossigeno viene consumato per riportare il carbonio nella forma inorganica.

In seguito all'azione che acqua e anidride carbonica esercitano sulle rocce silicatiche queste si decompongono liberando silice, mentre nello stesso tempo viene fissata altrettanta anidride carbonica sotto forma di carbonati, inutilizzabili dalle piante. Tuttavia nello stesso tempo si ha un continuo arricchimento di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera ad opera di emanazioni vulcaniche e, in generale, di ogni tipo di combustione di sostanze organiche.

Ancora maggiore importanza riveste il ciclo del carbonio dovuto all'attività stessa degli organismi viventi. Una gran parte di CO<sub>2</sub> viene restituita all'atmosfera durante molteplici funzioni caratteristiche di tutti o di alcuni organismi viventi. Nel processo respiratorio le sostanze organiche vengono trasformate in acqua e anidride carbonica. I processi di fermentazione, compiuti da microrganismi eterotrofi anaerobi, demoliscono una enorme quantità di sostanze presenti nell'ambiente dando come prodotti finali CO<sub>2</sub>, alcool, acido lattico, acido butirrico, metano ecc.

Altri microrganismi, sempre anaerobi, sono responsabili della fermentazione metanica, propria delle torbiere e delle paludi, in cui si formano metano e anidride carbonica.

Nel caso delle fermentazioni, però, non tutto il carbonio viene immediatamente liberato: una certa quantità rimane legata ai composti organici, e la completa restituzione all'atmosfera sotto forma di CO<sub>2</sub> si avrà soltanto con la mineralizzazione completa di tutti i residui organici animali e vegetali. Questa mineralizzazione avviene nel tempo ad opera di altri microrganismi eterotrofi aerobi, che demoliscono i prodotti delle fermentazioni mediante processi di ossidazione fino a ridurli ad acqua e anidride carbonica.

La mineralizzazione dei residui organici avviene anche ad opera di batteri autotrofi, come ad esempio i metanobatteri.

Molto spesso batteri e funghi, che demoliscono i residui organici del suolo, utilizzano l'energia che ne ricavano per fissare l'azoto atmosferico. Inoltre, con la demolizione di questi residui, rimettono in circolazione sotto forma inorganica, un'immensa quantità di carbonio, dando un notevole contributo alla chiusura del ciclo.

In tempi relativamente recenti l'uomo è intervenuto a modificare il ciclo del carbonio. Infatti, a partire dalla metà del secolo scorso, con la combustione del carbone e del petrolio, l'uomo ha cominciato a restituire all'atmosfera una parte del carbonio che, nel corso delle ere geologiche era stato fissato per fotosintesi dai vegetali, e si era accumulato nei giacimenti fossili di combustibili, determinando un conseguente aumento dell'anidride carbonica dell'aria. Inoltre, parte del carbonio della biosfera è stato immobilizzato in composti difficilmente degradabili, come le materie plastiche, e quindi sottratto al ciclo.

### Ciclo dell'azoto

L'azoto è un elemento importante per gli organismi, in quanto è presente nelle molecole proteiche e negli acidi nucleici. Benché l'azoto gassoso ( $N_2$ ) rappresenti il 78% del gas che costituisce l'atmosfera, la maggior parte degli organismi non può utilizzarlo in questa forma per sintetizzare le proteine. Solo alcuni batteri possono trasformare l'azoto gassoso in composti azotati, come l'ammoniac e i nitrati, utilizzabili negli ecosistemi.

Gli animali utilizzano solo azoto organico, mentre i vegetali possono utilizzare l'azoto inorganico, ma soltanto se esso si trova sotto forma di nitrati, i soli composti azotati che possono essere assorbiti dalle radici; gli animali poi lo ricevono, attraverso la catena alimentare, sotto forma di amminoacidi.

Quando un organismo muore, quando le foglie cadono, o quando un animale espelle i prodotti di rifiuto, i composti azotati passano nel terreno e nell'acqua. Alcuni batteri, detti batteri nitrificanti, presenti nell'ambiente, cominciano a demolire le molecole proteiche dapprima in amminoacidi, poi in composti organici azotati più semplici, come l'ammoniac. L'ammoniac in presenza di acqua si trasforma in ione ammonio ( $NH_4^+$ ), che viene in seguito ossidato a ione nitrato.

Gli ioni nitrato sono molto solubili in acqua e in questa forma vengono assorbiti dai vegetali che utilizzano l'azoto per sintetizzare gli amminoacidi, le proteine e i nucleotidi.

Gli organismi azotofissatori degli ambienti acquatici sono *Anabaena*, *Nostoc* e altri cianobatteri, mentre negli ambienti terrestri questa funzione è svolta principalmente dai batteri del genere *Azotobacter*.

L'azoto atmosferico può entrare nell'ecosistema attraverso processi di fissazione operati da batteri azotofissatori. Alcuni di questi batteri vivono liberi nel suolo o nell'acqua, altri (*Rhizobium*) vivono in simbiosi con le radici di alcune leguminose come il fagiolo, l'erba medica, il trifoglio, la ginestra ecc.

L'azoto viene perduto dagli ecosistemi per effetto delle attività metaboliche di altri batteri che trasformano l'azoto fissato nel terreno in azoto gassoso.

### Ciclo del fosforo

Il fosforo è un elemento di importanza fondamentale per la vita, perché entra a far parte delle molecole degli acidi nucleici, dell'ATP, del tessuto osseo, ecc. Il fosforo utilizzabile dai produttori primari proviene, nella sua totalità dall'erosione delle rocce che contengono fosfati. Dai vegetali il fosforo passa agli animali, lungo la catena alimentare e questi lo restituiscono all'ambiente nei rifiuti organici. Quindi i decompositori lo rimineralizzano rendendolo nuovamente disponibile per i vegetali.

Il fosforo dei fertilizzanti utilizzati in agricoltura proviene in massima parte dai giacimenti di rocce fosfatiche che sono state costruite nel tempo dagli escrementi di uccelli marini. La quantità di queste rocce è molto limitata e si teme che il loro esaurimento potrà causare seri problemi alla produzione agricola.

### Ciclo dello zolfo

Lo zolfo viene assorbito dai vegetali superiori sotto diverse forme, ma di tutte la più importante è quella di solfato. Nelle piante i solfati passano a forme più ridotte, fino a che lo zolfo viene incorporato negli amminoacidi. Tutto lo zolfo utilizzato dagli animali si trova praticamente sotto forma di proteine. Lo zolfo organico delle piante e degli animali morti, e quello escretto dagli animali nella bile o eliminato nel fimo di unghe, peli, ecc, viene decomposto ad opera di microrganismi eterotrofi.

L'idrogeno solforato che così si libera, viene parzialmente trasformato in solfato da sollobatteri specializzati. Altri microrganismi eterotrofi non specializzati, batteri e funghi, sono in grado di produrre l'ossidazione dello zolfo nel terreno in presenza di sostanze organiche.

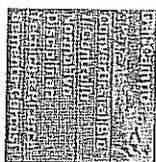
La riduzione dei solfati avviene ad opera del *Desulfovibrio desulfuricans* ed assume particolare importanza in ambienti con acqua stagnante, come paludi e torbiere, al cui fondo si ha sviluppo di idrogeno solforato.

### Ciclo degli elementi biogeni

Sodio, potassio, calcio, magnesio ed altri oligoelementi, vengono estratti naturalmente dal terreno ad opera delle radici delle piante. La restituzione al suolo di tali elementi avviene dopo la morte degli organismi che li contengono. In alcuni molto piovosi viene tuttavia sottratta gran parte di questi elementi in seguito a lisciviazione.



ALBA.IT / Tavola / Dieta / Ambiente /



- 1. Alluvione bio
- 2. Coltivare bio
- 3. Cerco e Offro
- 4. Morte bio

**AGROEMIA**

- Ambiente**
- Introduzione**
- Agricoltura, salute e ambiente**
- La sostenibilità delle diverse coltivature**
- Cibo e ambiente**
- Produzione e consumo di energia nella catena alimentare**
- Quattro animali per ogni italiano**
- Allevamenti intensivi e inquinamento ambientale**
- La qualità dei prodotti biologici**
- Produzione e consumo di energia nella catena alimentare**

Una delle classificazioni possibili degli organismi viventi riguarda la loro collocazione nella catena alimentare, detta anche catena trofica. La caratteristica di questo tipo di classificazione è che a un determinato livello trofico si trovano organismi viventi appartenenti a specie diverse ma che mangiano le stesse cose, o quasi.

**La piramide trofica**

Al primo livello della catena trofica si trovano le piante, definite produttori in quanto sono gli unici organismi in grado di utilizzare l'energia solare per trasformare in cibo le sostanze inorganiche presenti nel suolo. Per questo le piante vengono definite anche autotrofe (capaci di costruirsi il cibo) mentre tutti gli altri organismi viventi sono eterotrofi (vive e dire che si nutrono di altri organismi). Al livello immediatamente successivo alle piante si trovano gli organismi che dalle piante direttamente si nutrono. Sono questi i consumatori primari o erbivori. Per esempio le cavallette o i cervi. Immediatamente dopo troviamo i consumatori secondari, i carnivori primari, che mangiano gli erbivori. Per esempio le rane che mangiano insetti erbivori.

Ci sono poi i carnivori secondari i quali si cibano anche di carnivori primari. Per esempio il serpente che mangia la rana. Qualcuno pone in cima alla catena un'ulteriore categoria, i carnivori terziari, che si nutrono di carnivori secondari. Come l'aquila che mangia il serpente.

Nella catena trofica si trova, infine, un'altra categoria accanto alle due già viste dei produttori e dei consumatori, quella dei trasformatori, vale a dire quella miriade di organismi che trasformano vari materiali organici (piante e animali morti, deiezioni, rifiuti ecc.) in sostanze inorganiche che possono così rientrare nella catena alimentare attraverso l'uso che ne fanno le piante.

**La rappresentazione che di solito si fa della catena trofica consiste in una piramide alta cui base stanno le piante con sopra vari "piani", sempre più stretti, e in cima i carnivori terziari.**

**A ogni passaggio si "perde" dall'80 al 90%.**

Naturalmente le cose nella realtà sono più complesse, per esempio ci sono animali che non sono collocabili in maniera rigida in nessuno delle categorie viste fin qui. Fra questi ci sono gli onnivori, gli animali che attingono ai diversi livelli della catena alimentare, sono cioè sia erbivori che carnivori di diverso grado, a seconda delle condizioni ambientali, delle stagioni, delle fasi della vita ecc. Fra questi animali onnivori ci sono anche gli umani.

Le piante, l'abbiamo visto, sono gli unici organismi capaci di utilizzare l'energia solare per trasformare materiali inorganici in materiali organici. Tutta la vita esistente sul pianeta dipende dunque da questa capacità. Ciò significa che la parte di energia solare immagazzinata nella pianta attraverso la fotosintesi è poi quella che scorre lungo tutta la catena alimentare, non ce n'è e non ce ne può essere altra. Di conseguenza, dalle piante in avanti, il flusso di energia non potrà che diminuire, a ogni passaggio nella catena trofica, infatti, una parte



- 1. I siti partner
- 2. Associazioni regionali
- 3. Le aziende ALBA
- 4. I siti istituzionali

Aggiornata in Guida  
 con i nuovi agriturismi  
 Bio Ecologici di ALBA.  
 Consultala sul web

dell'energia entrata in ciascun livello trofico non può passare a quello successivo in quanto consumato al suo interno. Gli esperti calcolano che questa "dispersione" vada dall'80 al 90%, in ogni passaggio. Questo spiega anche la forma a piramide che si è data alla catena alimentare: man mano che si sale, la dispersione energetica fa sì che gli organismi che vivono a un certo livello devono essere in numero minore di quelli del livello inferiore di cui si nutrono.

**Avvicinarsi alla "base" vegetale**

Allora è chiaro che, potendo scegliere, quanto più nella catena alimentare ci si colloca vicino al livello dei produttori (piante) tanto più efficiente sarà l'uso del flusso energetico proveniente dal sole e altri animali, sono anche nelle condizioni di poter scegliere perché, a differenza degli altri animali, da un certo punto in poi della loro storia hanno cominciato a produrre il loro cibo e a guadagnare una relativa autonomia da quanto l'ambiente offriva.

Accusare un leone, un cane o un'aquila di spreco energetico perché sono carnivori sarebbe ridicolo. Avrebbe poco senso parlare di spreco energetico anche in situazioni in cui gli umani vivono in ambienti che non offrono alternative al compimento o in cui, per l'abbandanza diffusa di ogni tipo di alimento, è possibile dispiegare tutte le possibilità dell'omnivoro senza conseguenze negative per l'ambiente e gli umani stessi.

Se oggi, invece, è necessario parlare di spreco energetico è perché gli umani, considerati nel loro insieme, in tutto il mondo, non sono in nessuno di queste condizioni. Al contrario ciò che caratterizza la nostra epoca è che l'omnivoro dei paesi ricchi (che prevede una quota molto elevata di alimenti di origine animale) ha già prodotto notevoli danni alla salute e all'ambiente. Non solo, se, come sta succedendo, dovesse essere preso a modello dai paesi in via di sviluppo questi danni verrebbero moltiplicati in maniera esponenziale. Questo è tanto più vero se si considera che nella catena alimentare, trofici incorporano altri flussi energetici oltre quello del sole (anche se antichi, in ultima analisi, derivano dall'energia solare). Basta pensare al lavoro umano, ai combustibili, ai macchinari ecc. Se si mangiano alimenti di origine animale in quantità superiori allo stretto necessario non c'è solo lo spreco delle calorie alimentari incorporate nel cibo ma anche di tutte le altre energie che hanno concorso alla sua produzione.

Purtroppo sono pochi i dati disponibili per rendere evidente in modo analitico la dimensione dello spreco energetico nei coltivi in una posizione elevata della catena alimentare e, viceversa, le conseguenze positive che si avrebbero scendendo più in basso.

A titolo esemplificativo di questo tipo di calcoli riportiamo una tabella tratta da World Cancer Research Fund e American Institute for Cancer Research, Food, Nutrition and the Prevention of Cancer: a global perspective, Washington 1997

**Produttività della terra per cibi vegetali e animali.**

Numero di persone che possono essere alimentate dalla produzione di un ettaro di terra.

Cibi di origine vegetale	Produzione di energia (kcal/ettaro)	Numero di persone nutrite
Grano	69.234	14
Mais	75.046	17
Ris	87.726	19
Pasta	102.034	22
Cereali	105.580	23
Legumi	43.404	9
Frutta	40.059	8
Cibi di origine animale		
Carne bovina	4.736	1
Carne ovina	7.466	1
Carne di maiale	14.436	3
Uova	13.251	3
Pesce	7.054	2
Latte	4.116	1
Altre	0.776	0

1. La colonna "persone" stima il numero di persone che il singolo energetico che in un anno possono essere soddisfatte. Si suppone che la esigenze energetiche a persona siano di 4.600 kcal/anno.