

2 - ELEMENTI DI PALEOECOLOGIA

2.1 - Definizione di ecologia

Il termine **ecologia** deriva dal greco *oikos* che significa “casa” o “posto per vivere”. L’ecologia è lo studio degli organismi nella loro casa, ma viene anche definita come lo studio delle relazioni fra organismi o gruppi di organismi ed il loro ambiente e tenta di definire l’insieme di innumerevoli fenomeni e relazioni che caratterizzano sistemi molto complessi. Nello stagno, per esempio, avvengono processi di sedimentazione che, nel tempo, portano al suo riempimento. I materiali che si depositano sul fondo hanno caratteri che dipendono da quelli fisici e chimici delle acque e soprattutto dagli apporti di detriti minerali ed organici dagli ambienti circostanti. La presenza di organismi, solitamente rigogliosa, costituisce l’aspetto più rilevante ed arricchisce i sedimenti di sostanza organica. Ma la presenza di quegli organismi, sia come quantità, sia come composizione di specie, dipende dai caratteri fisici e chimici delle acque e questi a loro volta dipendono anche dal clima della regione nella quale si trova quello stagno. Il clima a sua volta influenza la composizione della vegetazione che si trova intorno al bacino, nell’ambito della quale trovano rifugio animali che si nutrono di prede che trovano nell’acqua. È un insieme di relazioni il cui elenco sembra senza fine, ma che, man mano che vengono studiate, consentono di ottenere un quadro generale sempre più attendibile di quell’ambiente.

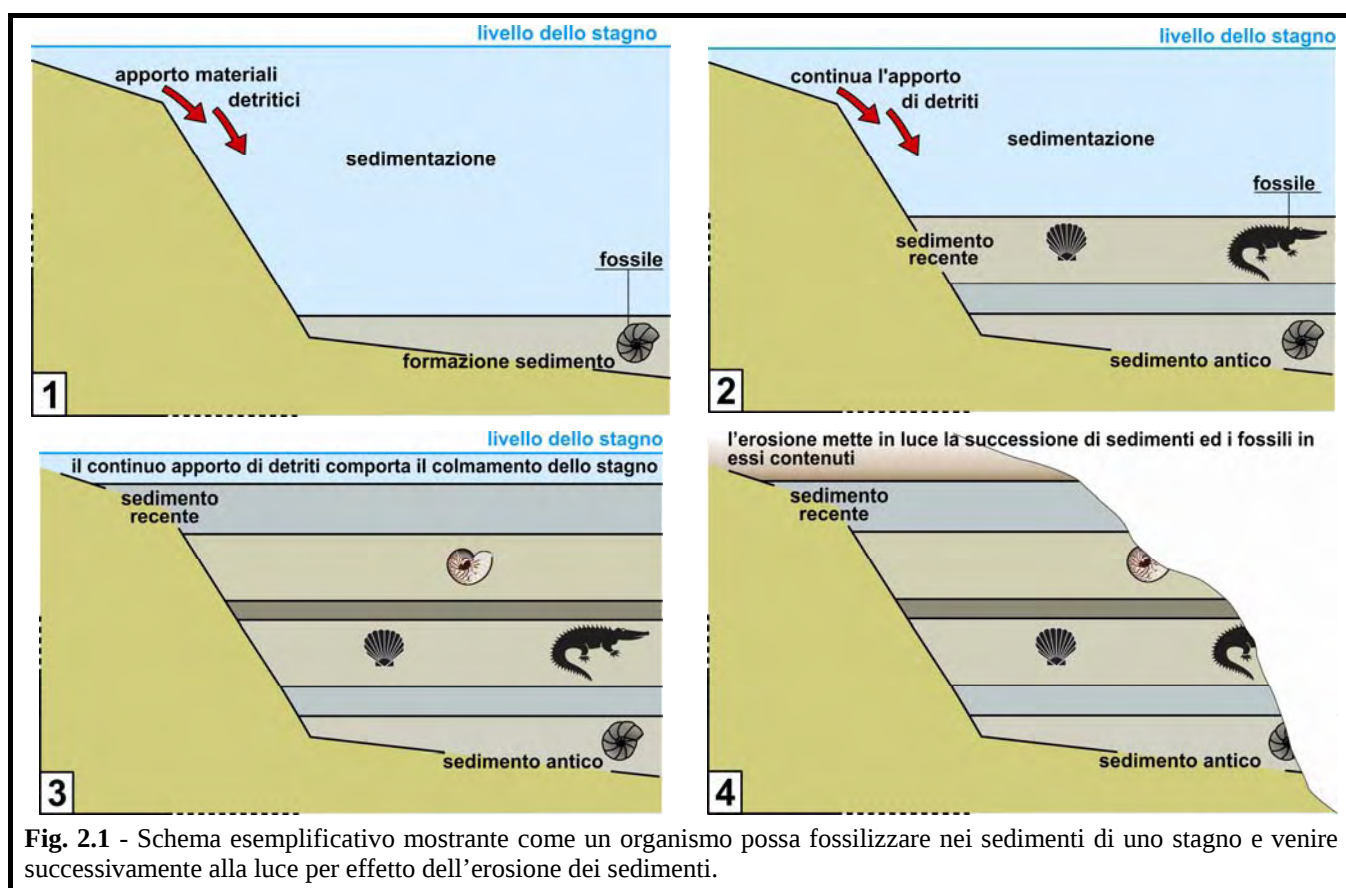
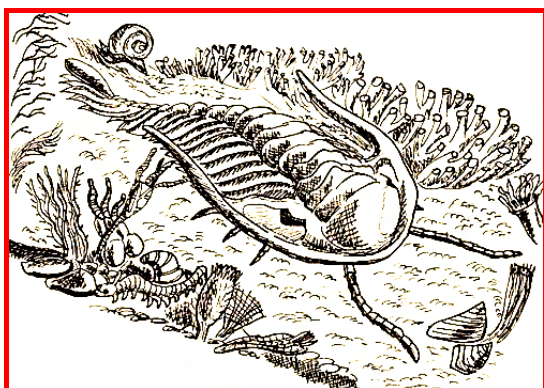


Fig. 2.1 - Schema esemplificativo mostrante come un organismo possa fossilizzare nei sedimenti di uno stagno e venire successivamente alla luce per effetto dell’erosione dei sedimenti.

Con la **paleoecologia** si introduce un parametro in più: il **tempo**. Essa ha lo scopo di studiare le situazioni che si sono verificate in passato recente, spesso definibile solo in modo relativo, sulla base di elementi talvolta molto frammentari (resti di animali e di vegetali, tracce di organismi e di fenomeni fisici,...) per ricostruire la storia degli ambienti che si sono succeduti in un dato luogo. La principale chiave di lettura del paleontologo è rappresentata dai **fossili**, resti di organismi, o loro tracce, vissuti nel passato (**scheda 2.1**). Purtroppo essi, quando vengono alla luce (**fig. 2.1**), sono quasi sempre frammenti di parti mineralizzate che richiedono spesso difficili interpretazioni.

La documentazione paleoecologica è assai più ampia per gli organismi dotati di parti scheletriche che meglio si conservano con il tempo. Inoltre la fossilizzazione è il risultato di una serie di processi (quelli che consentono ai resti degli organismi di conservarsi nei sedimenti) che si verificano in modo diverso a seconda degli ambienti. Nella prospettiva “tempo” infine, bisogna considerare che gli organismi non sono identici ed immutabili, ma sottoposti a “trasformazioni” dovuti all’evoluzione. Sulla base dei dati ricavati dall’esame dei fossili, si tenta di stabilire le relazioni fra gli antichi organismi e fra essi e l’ambiente, in un dato luogo ed in un determinato tempo.

A tal fine molto utile è lo studio dei sedimenti che inglobano i fossili; le loro caratteristiche rispecchiano infatti le condizioni ambientali del momento di deposizione.



A sinistra è la ricostruzione del Trilobite *Olenus* nel suo ambiente. A destra un gruppo di trilobiti incastonati in una arenaria. Sono un gruppo di Artropodi (di cui fanno parte Crostacei, Insetti, Ragni,...) abbondantemente distribuito nel Paleozoico, con numerose specie. Di dimen-



sioni di 3 ÷ 15 cm, avevano il capo ripartito in tre parti e guscio mineralizzato e chitinoso; prevalentemente bentonici erano ampiamente diffusi in tutti gli ambienti marini. Alla fine del Cambriano, una profonda crisi ridusse fortemente il gruppo, ma che si riprese con nuove varietà, fino alla loro scomparsa al termine del Permiano (~ 250 milioni di anni fa). I Trilobiti si diversificano in molte forme, facilmente riconoscibili e per intervalli cronologici ben definiti; pertanto sono considerati fossili guida del Paleozoico, avendo ampia diffusione geografica e netta presenza temporale. Il loro rinvenimento è molto utile per datare e correlare temporalmente le successioni rocciose del Paleozoico.

Lo studio del passato geologico di un'area permette di meglio interpretare il suo stato attuale, in quanto prodotto finale di una evoluzione fisica e biologica avvenuta in tempi dell'ordine di migliaia o di milioni o di centinaia di milioni di anni. Sappiamo infatti che la forma del paesaggio non è immutabile, ma deriva dall'interazione, in momenti diversi e con intensità differenti, di molteplici fattori che si manifestano sotto forma di processi disaggregatori oppure di accumulo, in un continuo dinamico succedersi di eventi modificatori del paesaggio che solo raramente e per brevi periodi raggiungono situazioni di equilibrio. Tutto ciò dipende dalle condizioni fisiche e chimiche e della struttura del substrato e dal tipo di associazioni biologiche presenti. *La storia geologica di una regione è anche la storia della successione di ambienti naturali che l'hanno caratterizzata nel tempo.*



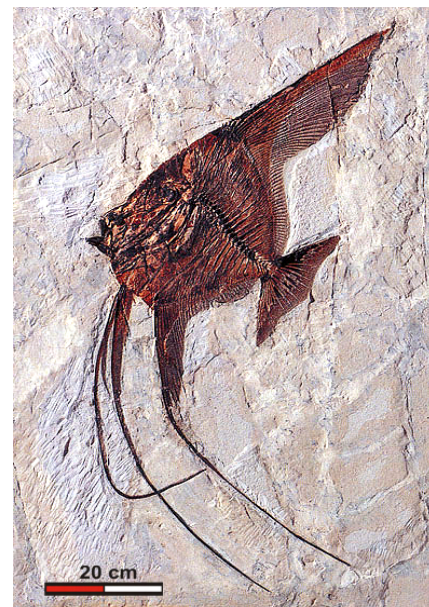
In Brasile è presente un vasto ed importante giacimento sedimentario costituito da calcari, probabilmente depositati sul fondo di un grande lago; al loro interno sono presenti fossili del Permiano (~ 250 milioni di anni fa), fra i quali resti di rettili adatti alla vita anfibia e bentonica, precursori dei grandi sauri che dominarono la vita sulla Terra nelle epoche successive. Si alimentavano con crostacei e piccoli pesci che venivano predati grazie al lungo muso e sottili denti aguzzi. Nell'immagine è rappresentata la specie denominata *Stereosternum tumidum*.

La paleontologia ed in particolare la paleoecologia, comprende le ricerche utili a ricostruire le condizioni ambientali in un determinato luogo durante un certo tempo geologico. Tale ricostruzione si basa sulla interpretazione dei fossili e dei caratteri litologici delle formazioni sedimentarie che li contengono, facendo riferimento anche a quanto oggi è noto sui rapporti fra gli organismi e gli ambienti attuali. Il paleontologo utilizza le moderne conoscenze dell'ecologia per interpretare, in base a scarsi dati disponibili, situazioni analoghe del passato. Un esempio è dato dalle descrizioni degli ambienti di sedimentazione nel precedente capitolo, supponendo che gli attuali meccanismi di formazione dei depositi siano analoghi a quelli del passato.

La regione per cui si accetta l'ipotesi che i modelli di relazione fra le comunità di organismi ed il loro ambiente, che sono alla base dell'ecologia, possano essere validi anche per il passato, si basa sul presupposto che, nel tempo, le modalità con le quali si manifestarono gli eventi naturali non erano sostanzialmente differenti da quelli attuali (teoria dell'*attualismo*). Se abbiamo l'impressione che in tempi a noi lontani, nel corso della storia della Terra, si siano succedute profonde e repentine modificazioni fisiche e biologiche, tali da farcele apparire come eventi catastrofici come, per esempio, sosteneva il naturalista francese George CUVIER (1769 ÷ 1832), è perché vediamo

la proiezione nel tempo di fenomeni che ebbero lunghe durate, corrispondenti a milioni di anni. Nella realtà spesso ci troviamo di fronte, da una parte, a serie di strati di notevole potenza formati in tempi relativamente brevi e dall'altra, a serie di strati di potenza ridotta, magari formati in tempi molto più lunghi e nei quali leggiamo, attraverso le associazioni dei fossili, una sorta di storia condensata. Fenomeni apparentemente insignificanti, se si succedono per parecchio tempo, assumono un ruolo determinante nella trasformazione di un ambiente. Si pensi ai fenomeni responsabili dell'erosione e del modellamento dei rilievi ed il conseguente accumulo di detriti a valle che, se prolungati nel tempo, sono in grado di riempire bacini anche di grandi estensioni.

Nei monti Lessini (tra le province di Verona e Vicenza) e precisamente presso *Bolca di Vastenanuova*, è presente uno dei più importanti siti paleontologici a livello mondiale. In quell'area, nell'eocene (circa 50 milioni di anni fa) si trovava il margine costiero del grande mare della Tetide (di cui l'attuale Mediterraneo rappresenta un piccolo residuo). Era un ambiente con acque relativamente calde e costellate di atolli corallini, ricchissimi di vita, con numerosissime specie vegetali e animali. Nelle rocce sedimentarie che si sono originate sui fondali di quell'antico mare sono presenti numerosi fossili, molto spesso ben conservati ed il cui studio ha permesso di ricostruire le caratteristiche e l'evoluzione di quell'ambiente marino. L'area più ricca di fossili del sito paleontologico di Bolca è l'antica cava della Lastrara, poi denominata "*pesciara*" perché in essa sono stati rinvenuti e classificati resti di pesci appartenenti a ben 200 specie. Alcuni reperti sono perfettamente conservati. Nell'immagine è rappresentato il *Ceratoichthys pinnatiformis*, uno degli esempi più spettacolari.



2.2 - La biocenosi

La **popolazione** è un gruppo di organismi vegetali o animali della stessa specie (o di individui fra i quali esiste la possibilità di scambio genetico) che occupano una determinata area, con caratteristiche tipiche del gruppo e non dei singoli individui. La **biocenosi** (o **cenosi** o **comunità biotica**) è l'*insieme di popolazioni che vivono in una determinata area* o habitat fisico; cioè l'insieme di tutti gli organismi presenti in un determinato ambiente ed in equilibrio dinamico con lo stesso. Tale equilibrio non costituisce un sistema immutabile, ma si modifica nel tempo, al variare anche di una sola delle sue componenti, fisiche o biotiche. In un dato momento della storia evolutiva gli organismi sono adattati all'ambiente in cui vivono con uno stretto legame di interdipendenza.



L'**ambra** è un insieme di resine fossilizzate. Esse sono secrete dalle conifere (pini, abeti, larici,...); È un materiale amorfo, traslucido e semitrasparente, con tenui colori che vanno dal giallo all'arancio e al bruno-rossiccio. Appena secreta dalle piante è particolarmente appiccicosa ed in essa possono rimanere imbrigliati resti



vegetali e/o di animali e spesso i corpi interi di insetti e di ragni che vengono quindi inglobati e perfettamente conservati. Le piante ed in particolare le loro parti con le masserelle di ambra possono entrare e a far parte di sedimenti e diventare fossili. I processi di diagenesi, che comportano la trasformazione da sedimenti sciolti in rocce sedimentarie, provocano l'indurimento dell'ambra, fino a farla diventare simile a pietre, all'interno delle quali, per trasparenza, si possono talora osservare i resti perfettamente conservati dei piccoli organismi che vivevano nell'epoca durante la quale l'ambra stessa fu secreta dalle piante.

L'adattamento può essere morfologico, fisiologico ed etologico, sia a livello di individuo (per esempio singoli organismi di una specie possono tollerare maggiori variazioni ambientali di determinati parametri fisici o chimici), sia a livello di specie, oppure di gruppo sistematico più ampio. Un esempio di adattamento morfologico, a livello di individuo, è quello del *Cardium* (Mollusco Bivalve frequente sulle nostre coste). Gli individui delle popolazioni che vivono in mare, in condizioni di normale salinità, raggiungono maggiori dimensioni; quelli delle popolazioni della stessa specie presenti in ambienti lagunari, soggetti a forti variazioni di salinità, sopravvivono raggiungendo dimensioni minori e con una conchiglia di minor spessore. Similmente le patelle (Molluschi Gasteropodi), che vivono attaccate agli scogli nella zona litorale, presentano una certa variabilità adattativa nell'ambito della specie. Gli individui che vivono sulle scogliere battute più violentemente dalle onde, hanno un guscio spesso, adatto a resistere alla violenza del moto ondoso e quasi completamente privo di ornamentazioni, in modo da offrire minor resistenza all'acqua. Al contrario gli individui che vivono sulle scogliere meno battute dalle onde, hanno conchiglia più sottile, con contorno più frastagliato e con ornamentazioni a coste più evidenti.

Analizzando organismi attuali e fossili appartenenti a gruppi sistematici anche lontani tra loro (famiglia, ordine, classe) si possono notare delle *convergenze morfologiche* acquisite nel corso dell'evoluzione. Queste sono dovute, nella maggior parte dei casi, a progressive modificazioni sollecitate dall'ambiente o da un particolare bisogno fisiologico. Le acquisizioni di certe caratteristiche morfologiche funzionali sono state realizzate per vie diverse; pertanto la *convergenza* può manifestarsi sia tra gruppi vissuti o che vivono contemporaneamente, sia tra quelli che hanno occupato, in momenti successivi della storia della Terra, la stessa nicchia ecologica. L'esempio forse più noto è rappresentato dalla forma del corpo affusolata e adatta al nuoto in almeno quattro gruppi di vertebrati, non solo molto lontani sistematicamente, ma comparsi in epoche successive e con storie evolutive assai differenti: Selacei, Pesci ossei, ittiosauri, delfini, a cui potremmo aggiungere anche i pinguini.



Nell'immagine di sinistra è rappresentata una serie di denti fossili dell'*Helicoprion*, uno dei primi grandi squali apparsi sulla Terra: visse dal carbonifero (~ 280 milioni di anni fa) fino al triassico (~ 225 milioni di anni fa). I primi rinvenimenti di questo fossile avevano



indotto i paleontologi ad ipotizzare che si trattasse di una specie di ammonite. A differenza degli squali moderni, che una volta perso un dente viene sostituito immediatamente da un altro, l'*Helicoprion* non perdeva i denti, che invece crescevano (man mano che si formavano) costituendo una specie di spirale. Tale ipotesi non è del tutto confermata e probabilmente quell'antico

squalo doveva avere un aspetto veramente temibile (ricostruzione a destra)

Ogni specie animale e vegetale, in funzione delle sue capacità di adattamento, possiede una certa tolleranza per le variazioni delle condizioni ambientali. Non esistono però organismi in grado di vivere in due ambienti opposti come quelli, per esempio, dei ghiacci polari e delle foreste equatoriali. Le specie che possiedono un'ampia tollerabilità hanno conseguentemente una distribuzione geografica molto ampia (*cosmopolite*); esse sono molto poco specializzate ed hanno realizzato meccanismi, detti di *seclusione*, che consentono loro di sopportare, entro certi limiti, ampie variazioni delle condizioni ambientali. Altre specie hanno tollerabilità molto limitata, sono molto specializzate e in genere sono confinate entro ambienti arealmente limitati. Un esempio limite è rappresentato dagli insetti cavernicoli, dei quali ogni specie abita una sola grotta; è sufficiente una piccola variazione delle condizioni ambientali per votare tali organismi all'estinzione. Quando si arriva ad un così elevato grado di specializzazione e quindi ad una bassa tolleranza nei confronti delle variazioni delle condizioni ambientali, la specie non è più "plastica" e perciò ha minime possibilità di successo evolutivo, cioè di conservarsi, pur modificandosi, nelle epoche successive.

Nello studio degli ecosistemi attuali e del passato, è importante comprendere l'interdipendenza tra le forme di adattamento caratteristiche degli organismi del presente o riconoscibili nei fossili e le condizioni che le hanno determinate. Altrettanto importanti sono i meccanismi di relazione fra gli organismi che costituiscono una comunità. Ogni individuo infatti, oltre che dall'ambiente fisico, dipende anche dal resto della cenosi che lo circonda attraverso una serie di relazioni, alcune delle quali sono brevemente descritte nella **scheda 2.2**. La **scheda 2.3** riporta le definizioni dei termini più frequentemente utilizzati nell'ecologia.

2.3 - La tanatocenosi

Le relazioni fra gli organismi e l'ambiente sono aspetti molto importanti sui quali l'ecologo deve indagare per ottenere un quadro attendibile sul tipo di interazione fra la biocenosi e l'ambiente fisico. Ciò vale anche per il paleoecologo che, nel tentativo di ricostruire gli ambienti del passato, incontra delle difficoltà derivate, come succitato, dal fatto che non vi è una corrispondenza semplice e diretta tra la biocenosi originaria (la comunità vissuta in passato) e ciò che di essa è rimasto come fossile nei sedimenti.

L'*insieme di tutti i fossili che si trovano in un sedimento in un determinato luogo* è la **tanatocenosi**. Biocenosi è il termine per indicare gli organismi che popolano un determinato ambiente; solo una parte di essa (a volte nulla) è conservata allo stato fossile nel sedimento, mentre possono aggiungersi elementi estranei trasportati dopo la morte. Purtroppo, nella maggior parte dei casi non ci sono rapporti diretti tra una antica biocenosi e la corrispondente tanatocenosi (**fig. 2.2**). Per passare dalla prima alla seconda, cioè dal momento in cui un organismo muore e quello in cui i suoi resti subiscono i processi di fossilizzazione, può avvenire un *trasporto post-mortale*: i resti di un organismo vengano sepolti in un ambiente completamente diverso rispetto a quello in cui viveva l'organismo stesso. Il trasporto post-mortale è il più importante fattore di alterazione delle tanatocenosi rispetto alle biocenosi originarie.

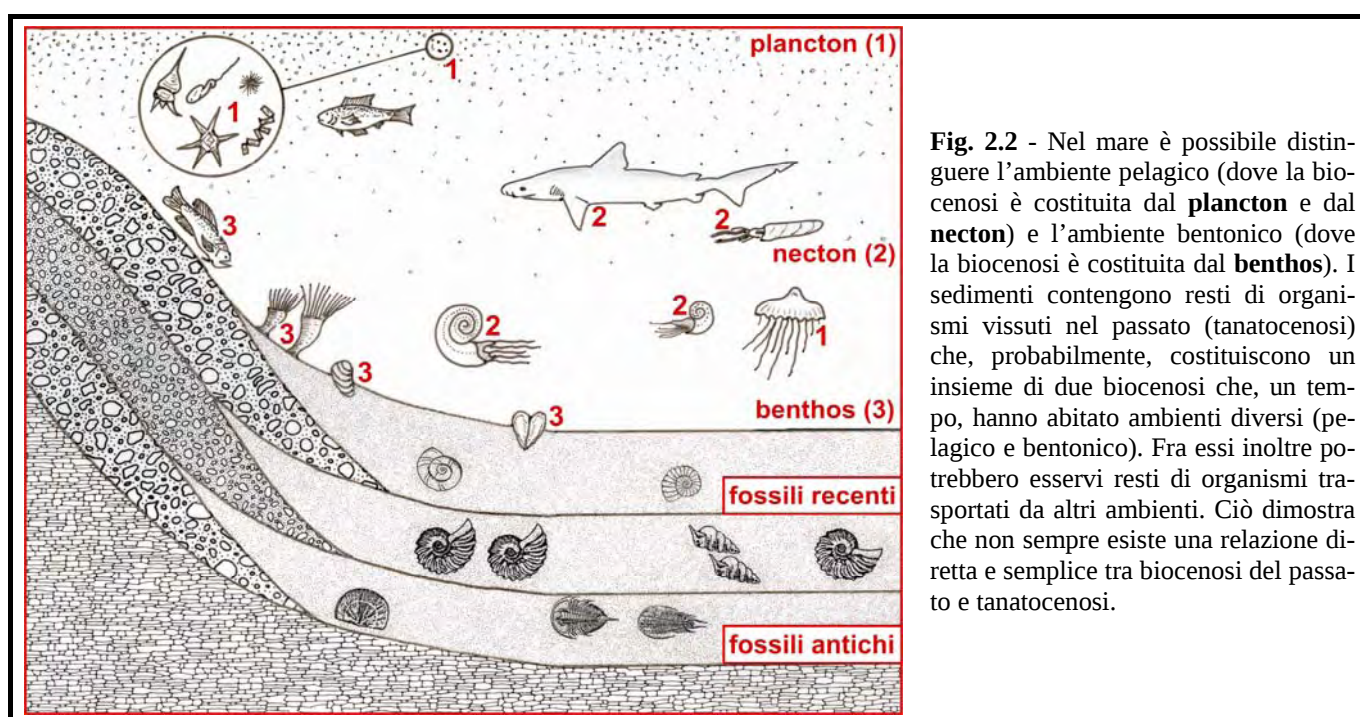


Fig. 2.2 - Nel mare è possibile distinguere l'ambiente pelagico (dove la biocenosi è costituita dal **plancton** e dal **necton**) e l'ambiente bentonico (dove la biocenosi è costituita dal **bentos**). I sedimenti contengono resti di organismi vissuti nel passato (tanatocenosi) che, probabilmente, costituiscono un insieme di due biocenosi che, un tempo, hanno abitato ambienti diversi (pelagico e bentonico). Fra essi inoltre potrebbero esservi resti di organismi trasportati da altri ambienti. Ciò dimostra che non sempre esiste una relazione diretta e semplice tra biocenosi del passato e tanatocenosi.

Occorre distinguere, in una tanatocenosi, gli *elementi autoctoni* (la parte dei resti di organismi che si sono conservati in loco), sui quali ci si basa per definire l'ambiente, dagli *elementi alloctoni* (depositi nello stesso ambiente, ma provenienti da altre biocenosi in seguito a trasporto post-mortale). Per esempio il vento può trasportare, anche da molto lontano, foglie, semi, insetti in stagni e paludi; succede così che, in certi ambienti palustri, insieme a fossili autoctoni, come i pesci, si trovano spesso resti di vita continentale.

Un fiume, quando sfocia in mare, in prossimità del delta o immediatamente più al largo, scarica materiale detritico prevalentemente fine. In occasione di piene, quando maggiore è il trasporto solido, possono finire in mare, trascinati dalle acque, resti di vita continentale (carcasse di animali, tronchi,...) che possono fossilizzarsi nei depositi marini insieme a quelli autoctoni.

Le frane sottomarine sono fenomeni che portano alla sedimentazione, in ambiente batiale, di materiali detritici precipitati dallo shelf. Il detrito così franato, di composizione eterogenea e talvolta contenenti fossili tipici di ambienti poco profondi, si deposita sopra al fango contenente fossili planctonici di origine pelagica. Sulle torbiditi sedimenta successivamente altro fango. Per effetto di ulteriori accumuli sul bordo della scarpata, si può verificare, in seguito, una nuova frana che verrà successivamente coperta da sedimenti di ambiente batiale. Questa successione di fenomeni porta alla formazione di una alternanza di depositi di ambiente batiale, contenenti fossili autoctoni e strati di accumuli rimaneggiati originatisi primitivamente in ambiente litorale e perciò contenenti fossili alloctoni.

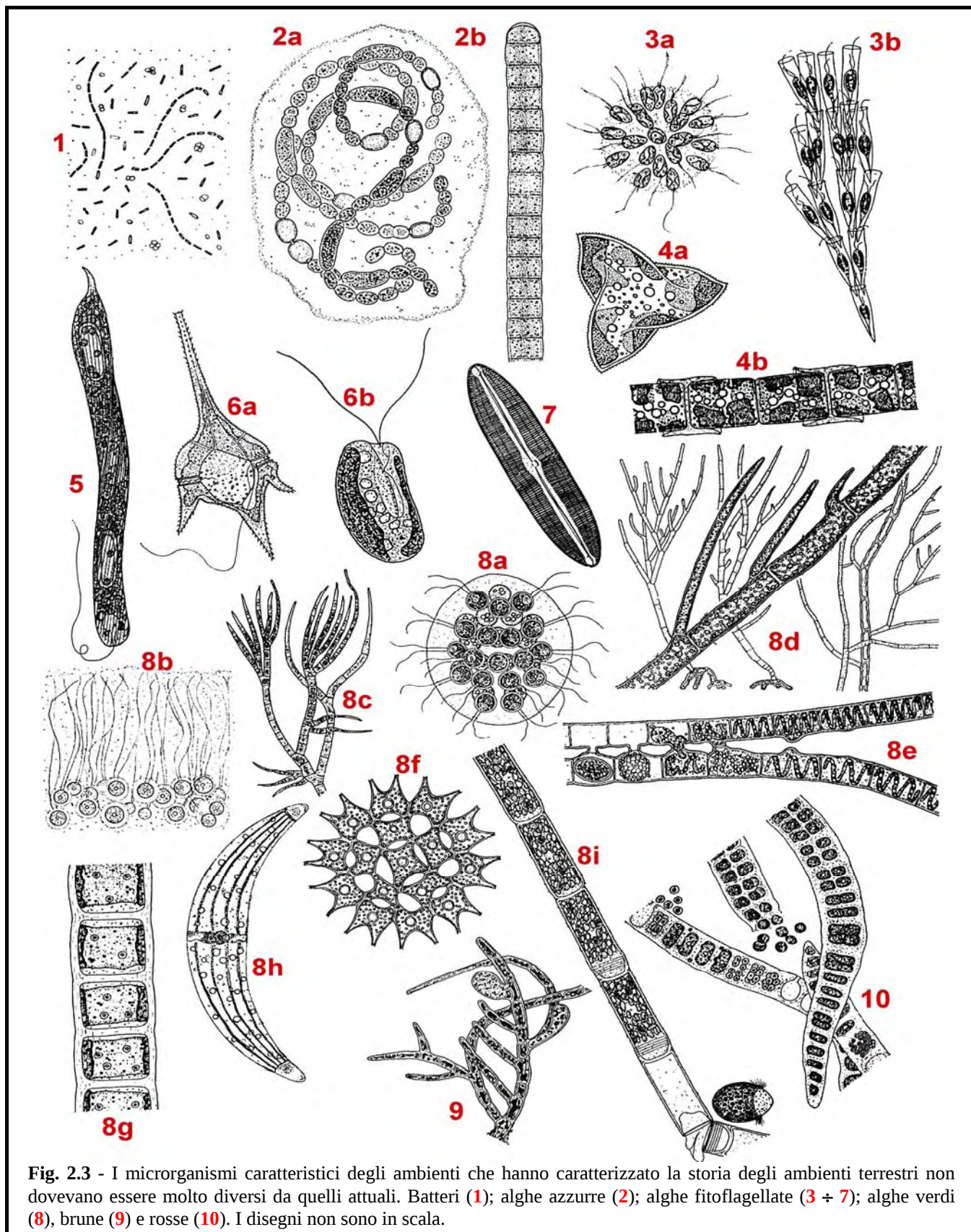


Fig. 2.3 - I microrganismi caratteristici degli ambienti che hanno caratterizzato la storia degli ambienti terrestri non dovevano essere molto diversi da quelli attuali. Batteri (1); alghe azzurre (2); alghe fitoflagellate (3 + 7); alghe verdi (8), brune (9) e rosse (10). I disegni non sono in scala.

Dagli esempi succitati si capisce che i fossili autoctoni derivano da forme bentoniche; tutti gli altri organismi subiscono, in genere, almeno uno spostamento verticale scendendo verso l'area di sedimentazione, ove esistono possibilità di fossilizzazione. Tra gli organismi bentonici, quelli sessili hanno le maggiori probabilità di fossilizzarsi in situ. I fossili alloctoni invece hanno sempre subito un trasporto di qualche genere, magari limitato semplicemente alla caduta verticale sul fondo del mare. In molti casi il trasporto post-mortale comporta una selezione ed una orientazione del materiale trasportato; sono prove importanti dell'alloctonia, unitamente ad eventuali danni di origine meccanica.

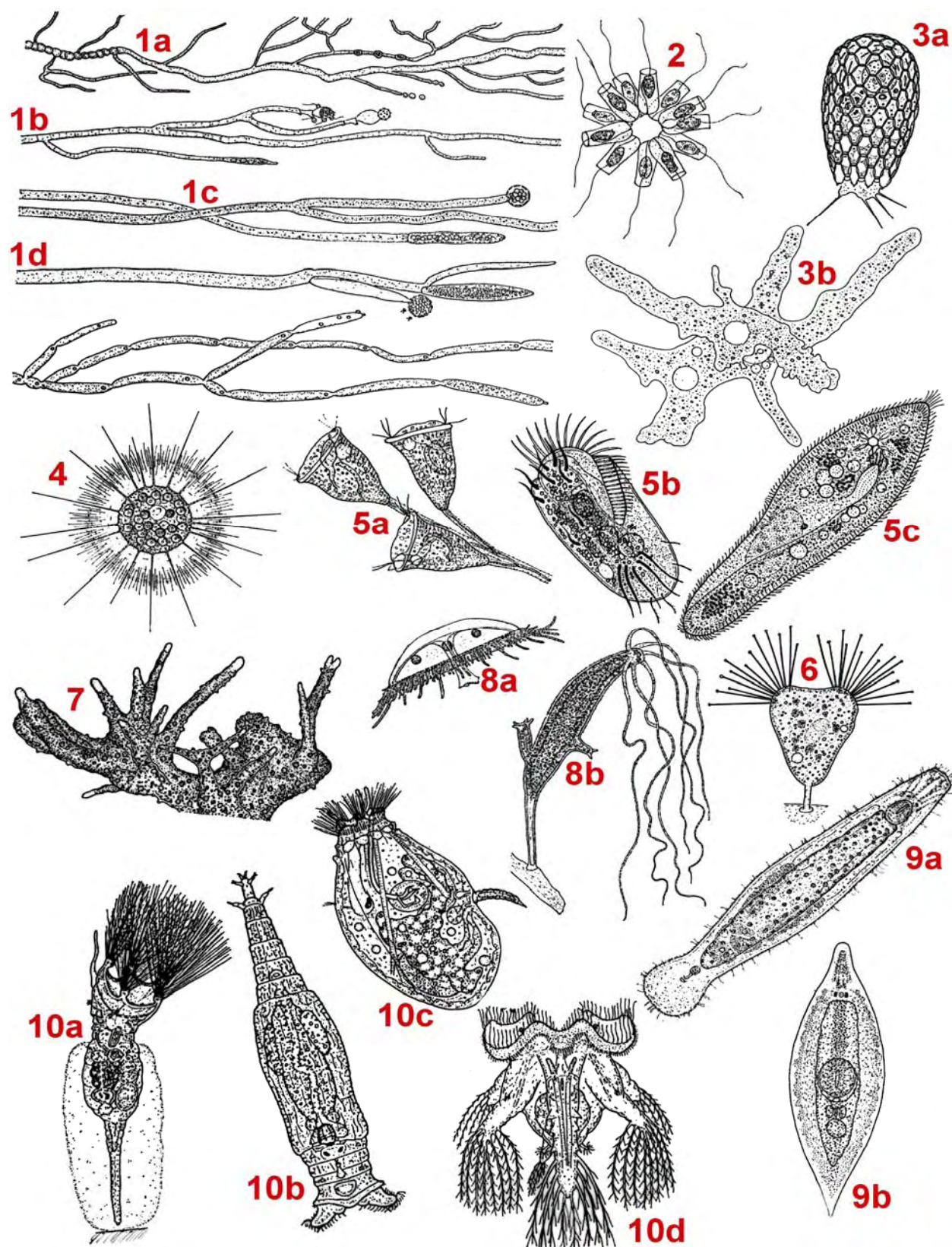


Fig. 2.4 - Alcuni organismi di maggiori dimensioni, dai Protozoi (unicellulari, fino ad un decimo di millimetro) a forme più complesse (pluricellulari), sono visibili anche con una buona lente di ingrandimento o addirittura “ad occhio nudo”. Essi, in gran parte, costituiscono il plancton, oggi come milioni di anni fa. Sono forme prive di parti del corpo “dure” e facilmente fossilizzabili; pertanto di tali organismi vissuti nel passato si hanno pochissime tracce. Tra quelli attuali si possono citare, quali esempi, Funghi (1), Protozoi (2 ÷ 6), spugne e meduse (7 e 8), Turbellari (9), Rotiferi (10).

Il paleontologo possiede conoscenze approfondite sulla sistematica degli organismi in generale e dei fossili in particolare. Le classificazioni botaniche e zoologiche tengono conto anche delle forme fossili, in quanto esse sono gli “antenati” degli attuali viventi. Perciò la paleontologia sistematica integra la classificazione generale, ma raramente si occupa dei gruppi di organismi che, privi di parti solide, hanno lasciato solo eccezionalmente tracce

di sé. Un esempio è dato dai microrganismi, la maggior parte dei quali non è rimasta fossilizzata. Eppure la loro importanza nel regolare i cicli della materia e dell'energia negli ecosistemi è fondamentale. La loro presenza e le loro attività, negli ambienti del passato, si deducono dalle ricostruzioni paleoecologiche, anche grazie alle scoperte ed alle tecniche proprie della moderna ecologia. A parte qualche eccezione è quasi impossibile proporre immagini di microrganismi del passato; tuttavia essi non dovevano essere molto diversi da quelli attuali, in una moltitudine di forme di cui quelle in **figg. 2.3 e 2.4** sono una frazione minima.

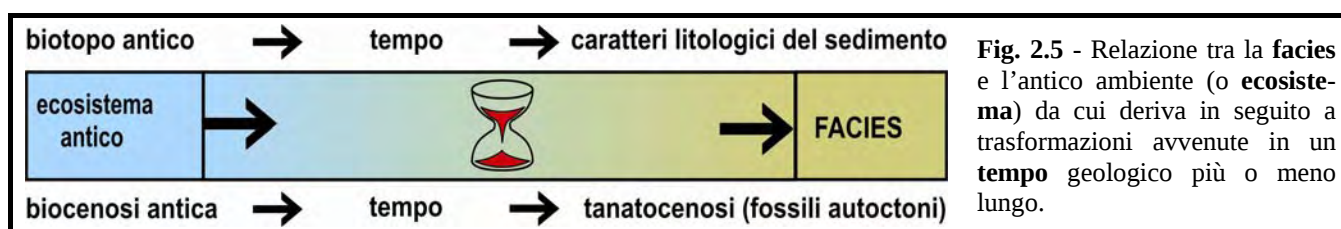
2.4 - Stratigrafia e concetto di facies

Negli ambienti marini e nei laghi, gli organismi sessili, endobionti ed epibionti, hanno maggiori probabilità di fossilizzarsi nel luogo in cui vivevano. Tutti gli altri (pelagici, planctonici, nectonici) possono essere trasportati e quindi di diventare alloctoni. La conoscenza della biologia degli organismi del passato è alla base di qualsiasi ricostruzione ambientale. Ma non tutti gli individui che vissero un tempo hanno rappresentanti attuali e la loro interpretazione è quindi difficile. Ci si deve basare allora su altri elementi; per esempio la presenza di fossili orientati nella stessa direzione e delle stesse dimensioni presuppone l'intervento di azioni meccaniche e può essere indizio di alloctonia. Più semplice è interpretare quegli organismi simili ai corrispondenti viventi. Di questi conosciamo infatti la biologia ed i loro rapporti con l'ambiente; trovando quei fossili in un determinato sedimento, è più semplice dedurre, dalla loro presenza, il tipo di ambiente al momento della loro morte.

I fossili caratteristici di un dato ambiente sono indicatori dell'ambiente stesso. Essi sono definiti **fossili di facies**. La **facies** è il complesso di fattori organici ed inorganici di un sedimento che determinano la sua appartenenza ad una determinata categoria di ambiente. Per esempio un corallo è un fossile di facies, mentre non lo può essere uno squalo, in quanto è una specie cosmopolita, molto mobile e comune in più ambienti. A complicare le cose va rimarcato che certi organismi, presenti dal cambriano (era geologica iniziata 570 milioni di anni fa) ad oggi, pur non avendo subito una evidente evoluzione morfologica, hanno modificato la loro biologia adattandosi in ambienti diversi. Un esempio è la lingula; essa appartiene al gruppo dei Brachiopodi, simili ai Molluschi Bivalvi, oggi presenti con poche specie marine e sessili, un tempo molto più diffusi. La lingula ha una distribuzione attuale limitata all'ambiente batiale; le indicazioni che ci provengono dagli studi paleontologici fanno ritenere che tale specie, nelle epoche geologiche passate, avesse una distribuzione molto più ampia. In questo caso la lingula, come fossile, è poco adatta ai fini di una ricostruzione paleoecologica.

In alcuni giacimenti si può rinvenire una grande quantità di fossili che permettono dettagliate ricostruzioni paleoambientali. Può essere così possibile determinare la profondità dei mari e le condizioni climatiche; infatti alcuni fossili sono considerati come veri e propri "termometri" geologici. Le ricostruzioni paleoambientali diventano invece molto difficili in presenza di fossili che non hanno riscontri con gli organismi attuali. Ancora più critiche sono le situazioni in cui non si trovano fossili; in tali casi si ricorre unicamente allo studio delle caratteristiche litologiche dei sedimenti. A volte si cerca di sfruttare l'eventuale presenza di *tracce*, cioè il prodotto di attività di organismi quali piste, gallerie, impronte, escrementi, fori, ecc.... oppure segni prodotti da fenomeni fisici quali forme dovute al moto ondoso o alle gocce di pioggia, solchi dovuti al trascinarsi di ciottoli, ecc.... Tali tracce servono per comprendere, per esempio, le direzioni preferenziali di antiche correnti marine, oppure indicano luoghi di provenienza di certi accumuli, ecc....

Esistono relazioni tra i caratteri litologici dei sedimenti e quelli ambientali del passato in cui si sono formati, tanto più difficile da individuare, quanto maggiori sono state le trasformazioni intervenute successivamente al momento della formazione. A tal proposito conviene ribadire che la *facies*, cioè l'insieme dei caratteri litologici (fisici e chimici) e paleontologici (tanatocenosi) caratteristici di un "ecosistema fossile", riflette le condizioni paleoambientali legate rispettivamente agli antichi biotopo e biocenosi. Il concetto di facies quindi evidenzia il fattore tempo (**fig. 2.5**). In sintesi È importante non confondere i concetti di ambiente (o di ecosistema) e di facies. Il primo è oggetto di studio dell'ecologia ed il secondo della paleoecologia ed in parte le relative tecniche di studio sono simili. Le facies rappresentano quanto è rimasto, dopo che nel tempo sono avvenuti processi di trasformazione (tra i quali la diagenesi) degli antichi ambienti.



2.5 - Stratigrafia e cronologia con i fossili

Esiste uno stretto rapporto tra i fossili ed il sedimento che li ingloba tanto che, in molti casi, sedimento e fossili si sono formati contemporaneamente e quindi nelle stesse condizioni ambientali. In alcuni casi questo rapporto non è verificabile, in quanto fenomeni geologici possono rimaneggiare una tanatocenosi per depositarla altrove. È dunque importante definire il rapporto sedimento/fossili. Come i resti organici, per trasformarsi in fossili, subiscono processi fisici e chimici, anche un sedimento, dopo la sua deposizione, è sottoposto ad una serie di mutamenti (**diagenesi**) che lo trasformano in una roccia sedimentaria. La sedimentazione è iniziata con la storia della Terra ed i sedimenti formano successioni di strati di spessore (potenza) variabile in funzione del tempo. Tali successioni di rocce vengono dette **serie stratigrafiche**. Esse, nei casi migliori, consentono di analizzare la successione degli eventi biologici a condizione che si riesca ad assegnare, a ciascuno di essi, una precisa datazione. In linea generale, per stabilire la serie cronologica dei sedimenti e delle loro associazioni fossili, occorre tenere conto dei **criteri stratigrafici**.

Un fiume trasporta materiale detritico in un lago o in un mare, dove avviene sedimentazione, insieme a resti organici. Sul fondo si accumula una “pila” di sedimenti che aumenta di spessore man a mano che se ne aggiungono di nuovi. Ciò avviene in tutti gli ambienti dove i processi di sedimentazione prevalgono su quelli di erosione. In una “pila” di strati ognuno è più recente di quello che sta sotto e più antico di quello che sta sopra (fig. 2.6). Questo, detto **criterio di sovrapposizione**, è valido se i sedimenti hanno mantenuto una giacitura orizzontale o debolmente inclinata (gli strati non devono aver mutato sostanzialmente la disposizione originaria dalla loro formazione). Tale criterio non è applicabile nelle zone interessate da fenomeni in grado di produrre piegamenti e scorrimenti di strati più antichi su altri più recenti (come si verifica soprattutto nelle catene alpine in cui l'ordine di sovrapposizione è spesso ribaltato). In tali casi è difficile stabilire correlazioni fra formazioni della stessa età (*isocrone*) di facies simili o diverse (*eteropiche*), perché se è importante “stimare” l'ambiente che ha determinato un certo deposito, è importante conoscere anche i caratteri degli ambienti vicini con i quali esistono relazioni.

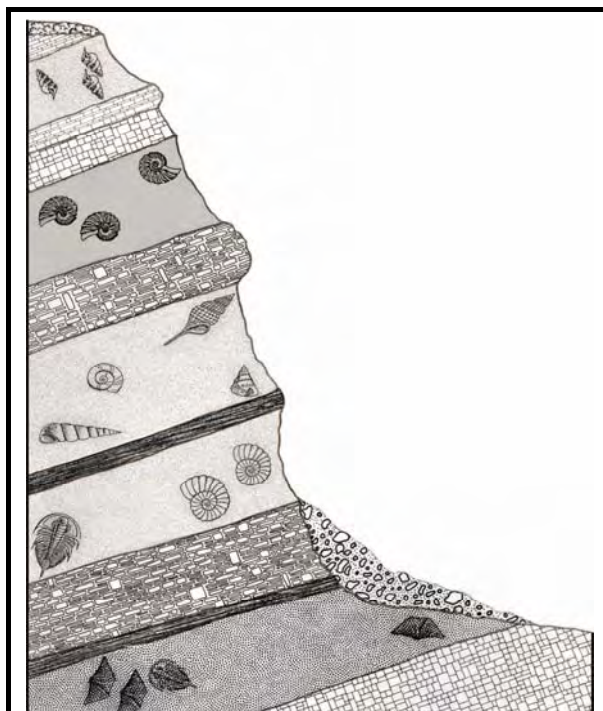


Fig. 2.6 - Secondo il **criterio di sovrapposizione**, in una “pila” di sedimenti ognuno è più recente di quello che sta sotto e più antico di quello che sta sopra.

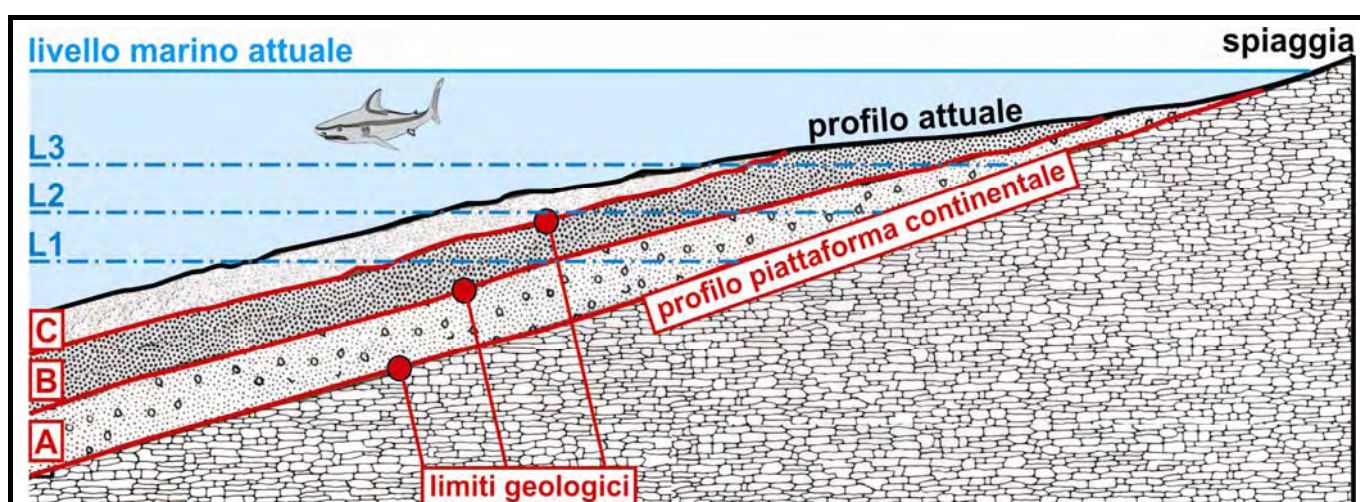
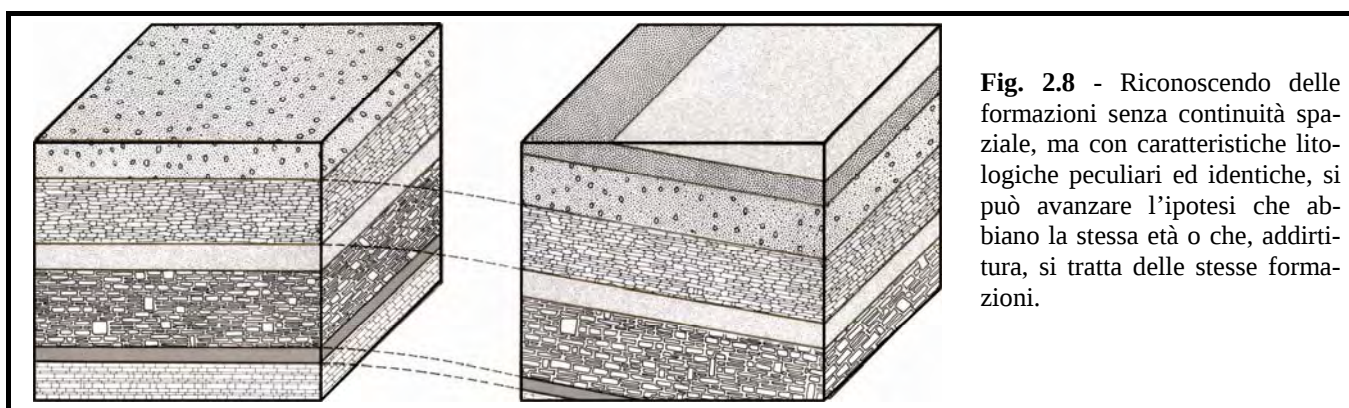


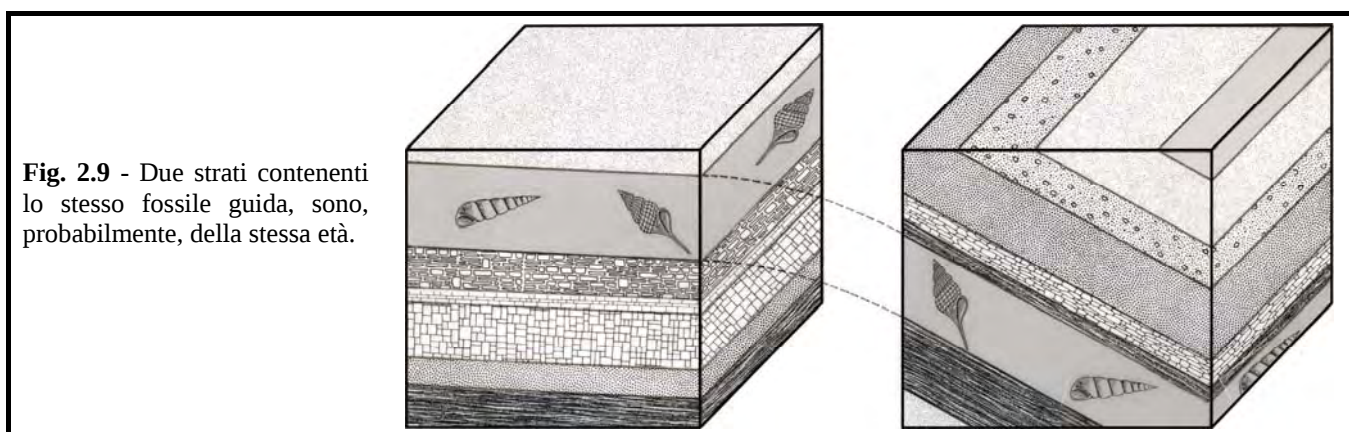
Fig. 2.7 - Le **trasgressioni marine** (il mare che avanza verso la terra ferma a causa, per esempio, dell'innalzamento del livello dell'acqua per la fusione dei ghiacci in una fase climatica più calda) comportano la formazione di depositi per i quali non vale il criterio della continuità laterale. I sedimenti detritici in ambiente costiero (A ÷ C) tagliano le linee isocrone (di uguale età) rappresentate dai livelli marini dal più antico (L1) a quelli, più recenti (L2 ed L3). Gli strati A ÷ C, quindi, sono sedimenti caratteristici di ambienti tipici di diverse profondità (a granulometria più fine verso il largo) ed i **limiti geologici** non sono coincidenti con le isocrone.

Uno strato, quando individuato (affiorante sul fianco eroso di una collina o sulla parete di una cava,...), in base ai suoi caratteristiche litologiche (composizione fisica e chimica) e paleontologiche (la tanatocenosi che contiene), può essere seguito semplicemente camminando finché affiora. Se mantiene inalterate le sue caratteristiche si può affermare che si tratta della stessa facies e presumibilmente della stessa età (**criterio di continuità laterale**). Anche questo criterio ha i suoi limiti, in quanto sono rari gli affioramenti per lunghi tratti ed inoltre ci sono facies che si sono spostate lateralmente durante la loro formazione. Pensiamo, per esempio, ai sedimenti che si accumulano in ambiente litorale in un certo momento della storia geologica. Se il livello marino si alza, quel tipo di ambiente si sposta in alto e così anche i sedimenti, pur conservando le stesse caratteristiche, anche se di età diverse (**fig. 2.7**).

Riconoscendo due formazioni senza continuità spaziale, distanti tra loro, ma con identici caratteri litologici, si può ipotizzare che abbiano la stessa età o che addirittura si tratti della stessa formazione (**fig. 2.8**). L'applicazione di questo che viene detto **criterio di identità litologica**, va fatta con molta cautela, perché se è vero che le caratteristiche fisiche e chimiche dei sedimenti dipendono da quelle dell'ambiente in cui si sono formati, è anche vero che in zone diverse ed in epoche tra loro anche lontane, vi possono essere stati ambienti analoghi.



Esistono organismi, tuttora viventi, che sono stati rinvenuti, come fossili, in rocce molto antiche. Abbiamo precedentemente citato, quale esempio, la lingula, caratterizzata da un'ampia distribuzione verticale. I fossili hanno generalmente una distribuzione verticale limitata e rappresentano ciò che resta di organismi che hanno vissuto per un tempo breve, tanto che i sedimenti possono essere identificati e datati in base ai fossili che contengono. Alcuni di tali organismi (**fossili guida**) si prestano bene per l'applicazione del **criterio paleontologico**. I fossili guida, per essere tali, devono avere una *distribuzione verticale limitata* (hanno avuto una rapida evoluzione), una *ampia distribuzione geografica* (sono così possibili correlazioni su grandi distanze; **fig. 2.9**) ed una *alta frequenza* (elevato numero di esemplari). Sono, in genere, organismi marini; in ambienti continentali le possibilità di fossilizzazione sono scarse, anche con popolazioni numerose. Inoltre gli organismi marini hanno maggiori possibilità di diffondersi per la più facile comunicazione fra i mari.

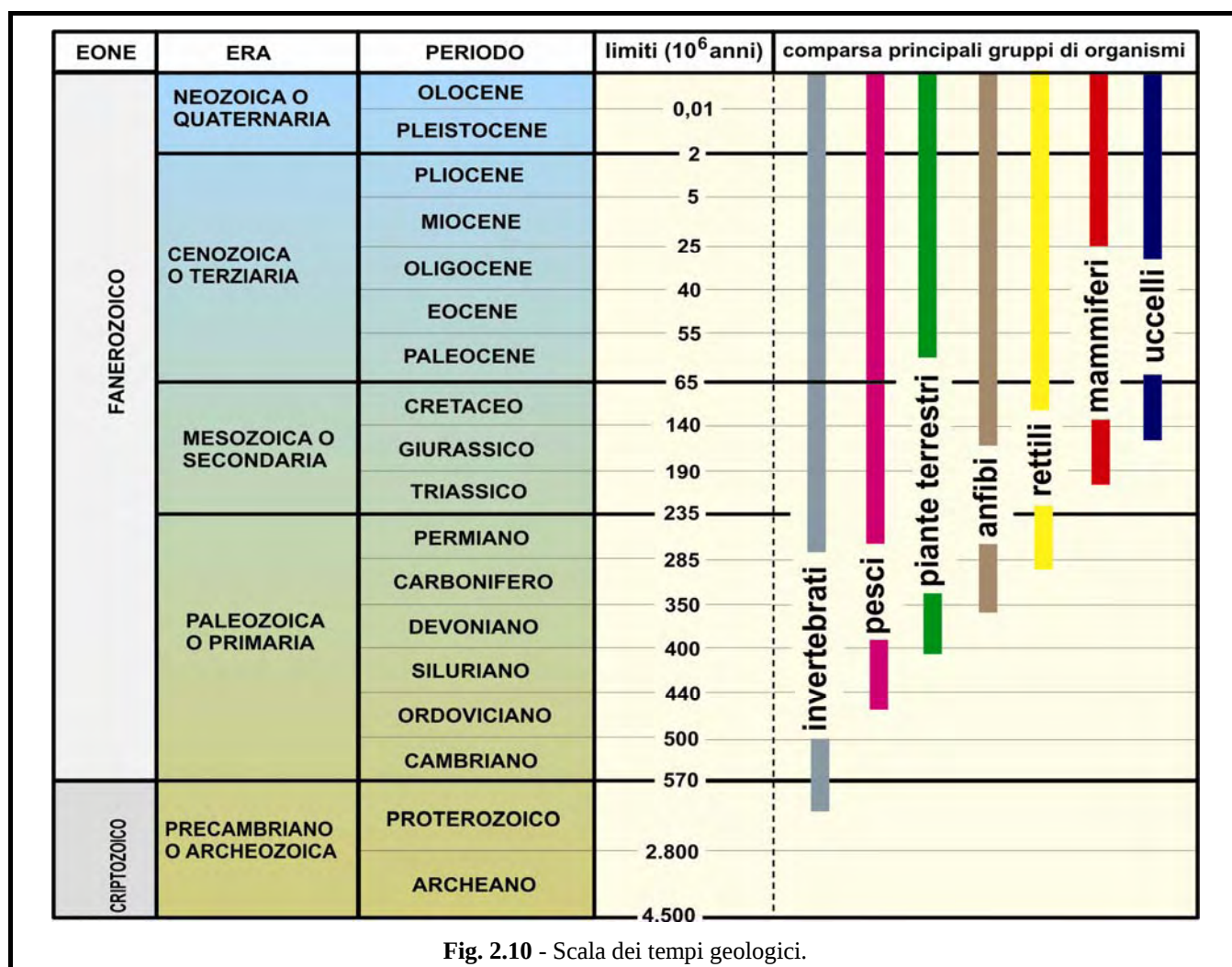


Anche l'applicazione del criterio paleontologico comporta talvolta delle difficoltà. Negli ambienti continentali prevale il disfacimento degli agenti esogeni, che possono agire su materiali costituiti da depositi formati in epoche precedenti in bacini di accumulo (laghi, mari,...) e quindi contenenti fossili. Questi possono essere "strappati" dagli agenti erosivi e trascinati dalle acque dilavanti nei fiumi quindi nei laghi e nei mari dove si depositano sul fondo per essere inglobati in un nuovo sedimento. È un fenomeno che si verifica oggi come in passato per cui possono essere seppelliti in un sedimento resti di organismi autoctoni (rappresentativi

dell'ambiente in cui sono vissuti), alloctoni (giunti dopo un trasporto post-mortale, della stessa età, ma di altri ambienti) e fossili *rimaneggiati* (non solo rappresentativi di altri ambienti, ma anche di altre età).

Il paleoecologo, quando si appresta ad analizzare una tanatocenosi, deve individuare queste tre grandi categorie, considerare i fossili autoctoni per la ricostruzione dell'ambiente passato, i fossili alloctoni per individuare le relazioni con gli ambienti vicini ed escludere i fossili rimaneggiati. Questi ultimi si possono riconoscere perché, in molti casi, si presentano abrasati e più frantumati, avendo subito una fase di trasporto; oppure sono di un ambiente incompatibile con la facies in studio e con quelle vicine. Questi ed altri elementi sono considerati per riconoscere i fossili rimaneggiati che potrebbero, tra l'altro, portare ad includere anche quelli alloctoni che, oltre a provenire da ambienti diversi, avendo subito un trasporto post-mortale, possono presentare anch'essi segni di trasporto. Il sistema più sicuro per operare questa distinzione è quello, quando possibile, di considerare l'età; se nella tanatocenosi sono rappresentati fossili di età diverse è evidente che quelli rimaneggiati sono i più antichi, mentre sono quelli più recenti ad indicare l'età del sedimento.

I fossili permettono la datazione relativa delle rocce che li contengono, per stabilire se uno strato è più vecchio o più giovane di altri sopra o sottostanti ad esso, quando siano accertate evidenti difficoltà nell'applicare il criterio di sovrapposizione. Occorre però precisare che i fossili, inclusi in sedimenti di età diverse, rappresentano l'evoluzione degli organismi così come si è succeduta nel tempo. Il fattore evoluzione può limitare l'utilizzazione pratica in senso cronologico. Non tutti i gruppi vegetali ed animali hanno subito trasformazioni evolutive in periodi di tempo paralleli e confrontabili (si pensi agli esempi di convergenza) in conseguenza soprattutto delle limitazioni ambientali.



Quando si tenta di correlare zone biogeografiche distanti tra loro (es. Europa e America), i fattori evolutivi sono da tenere ben presenti. A causa di barriere geografiche instauratisi con la "deriva dei continenti", da un certo punto in avanti interi gruppi sistematici hanno avuto storie evolutive indipendenti: ad un fossile europeo non necessariamente ne corrisponde uno simile in America. Oppure certi gruppi sistematici estinti precocemente su un continente, hanno continuato a sussistere per tempi più lunghi in altre zone del pianeta. A grande scala, sia i fenomeni che hanno portato all'estinzione diffusa in tutto il globo di interi gruppi, sia quelli che hanno

determinato il successo di altri, sono presi come limiti nella scala cronostratigrafica. Infine bisogna considerare la necessità di fornire, quando possibile, datazioni assolute dei reperti inclusi nei sedimenti e spesso ciò è possibile con le **datazioni radiometriche** (**scheda 2.4**) che forniscono riferimenti molto utili anche per le datazioni relative.

2.6 - Scala del tempo geologico

I tempi geologici sono ripartiti in divisioni di primo ordine, dette **ere** (**archeozoica**, **paleozoica**, **mesozoica**, **cenozoica** e **neozoica**; **fig. 2.10**), delimitate da tempi ben precisi; per esempio l'inizio dell'era paleozoica è 570 milioni di anni fa, mentre il suo limite superiore corrisponde a 235 milioni di anni fa. Gli insiemi delle rocce che si sono formate in questi intervalli di tempo costituiscono gli **eratem**. Le ere vengono divise in **periodi**; per esempio l'era mesozoica comprende i periodi triassico, giurassico e cretaceo. A queste divisioni cronologiche corrispondono quelle stratigrafiche (i depositi formati in quegli intervalli di tempo) dette **sistemi**. Per esempio all'intervallo di tempo dell'oligocene corrisponde il sistema oligocenico, costituito dai materiali formati in quello stesso intervallo. I periodi sono divisi in **epoche**; per esempio il periodo triassico è diviso in epoche inferiore, media e superiore ed i terreni corrispondenti ad essi vengono denominati **serie**. Le epoche vengono divise in **età**, mentre i corrispondenti terreni vengono detti **piani**. Infine le età sono divise in **tempi** ed i sedimenti ad essi riferibili in **sottopiani** (**tab. 2.1**). Spesso si usa il termine **eone** per indicare due grandi tempi geologici, rispondenti alla storia della Terra anteriore e successiva al Cambriano. Nei terreni del più antico (**criptozoico**) non vi sono quasi tracce di vita; nei terreni del (**fanerozoico**) i fossili sono, in generale, abbondanti (**fig. 2.11**).

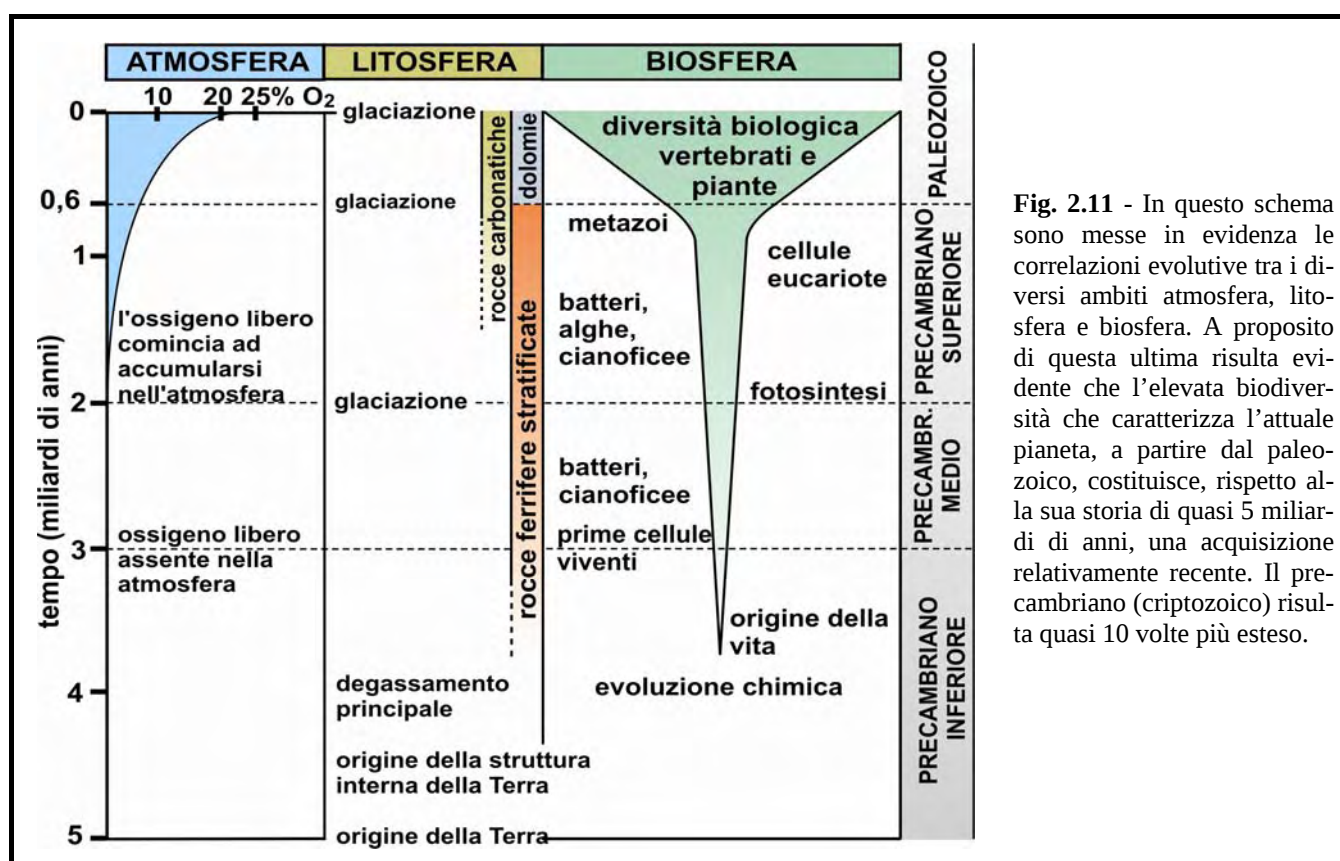


Fig. 2.11 - In questo schema sono messe in evidenza le correlazioni evolutive tra i diversi ambiti atmosfera, litosfera e biosfera. A proposito di questa ultima risulta evidente che l'elevata biodiversità che caratterizza l'attuale pianeta, a partire dal paleozoico, costituisce, rispetto alla sua storia di quasi 5 miliardi di anni, una acquisizione relativamente recente. Il precambriano (criptozoico) risulta quasi 10 volte più esteso.

Le denominazioni delle unità geocronologiche hanno origini diverse. Cretaceo deriva dal nome di una formazione (*crate* in francese e *chaik* in inglese) di calcari biancastri, ricchi di fossili, con noduli di selce, che affiorano nel bacino di Parigi e nell'Inghilterra meridionale (le bianche scogliere di Dover). Giurassico deriva dalla catena del Giura (Francia - Svizzera - Germania). Il sistema triassico viene detto in tal modo in quanto, in tutta l'Europa, è diviso in tre parti: una prima di origine continentale in basso (arenarie di ambiente desertico), una intermedia di origine marina (calcari conchigliari) ed una superiore lagunare (marne, gessi, depositi di sale). Permiano deriva dal distretto russo di Perm, ai piedi degli Urali, dove le rocce di questo sistema sono molto sviluppate e ricche di fossili. Le rocce del sistema del carbonifero, sia in Europa, sia in America, sono frequentemente ricche di carbon fossile. Devoniano deriva dalla contea di Devonshire (Inghilterra), dove il corrispondente sistema fu individuato e studiato per la prima volta. Siluriano ha origine dai siluri, una tribù dell'età preistorica del Galles. Cambriano deriva dalla tribù dei Cambri, nello stesso Galles, dove il sistema è stato studiato per la prima volta.

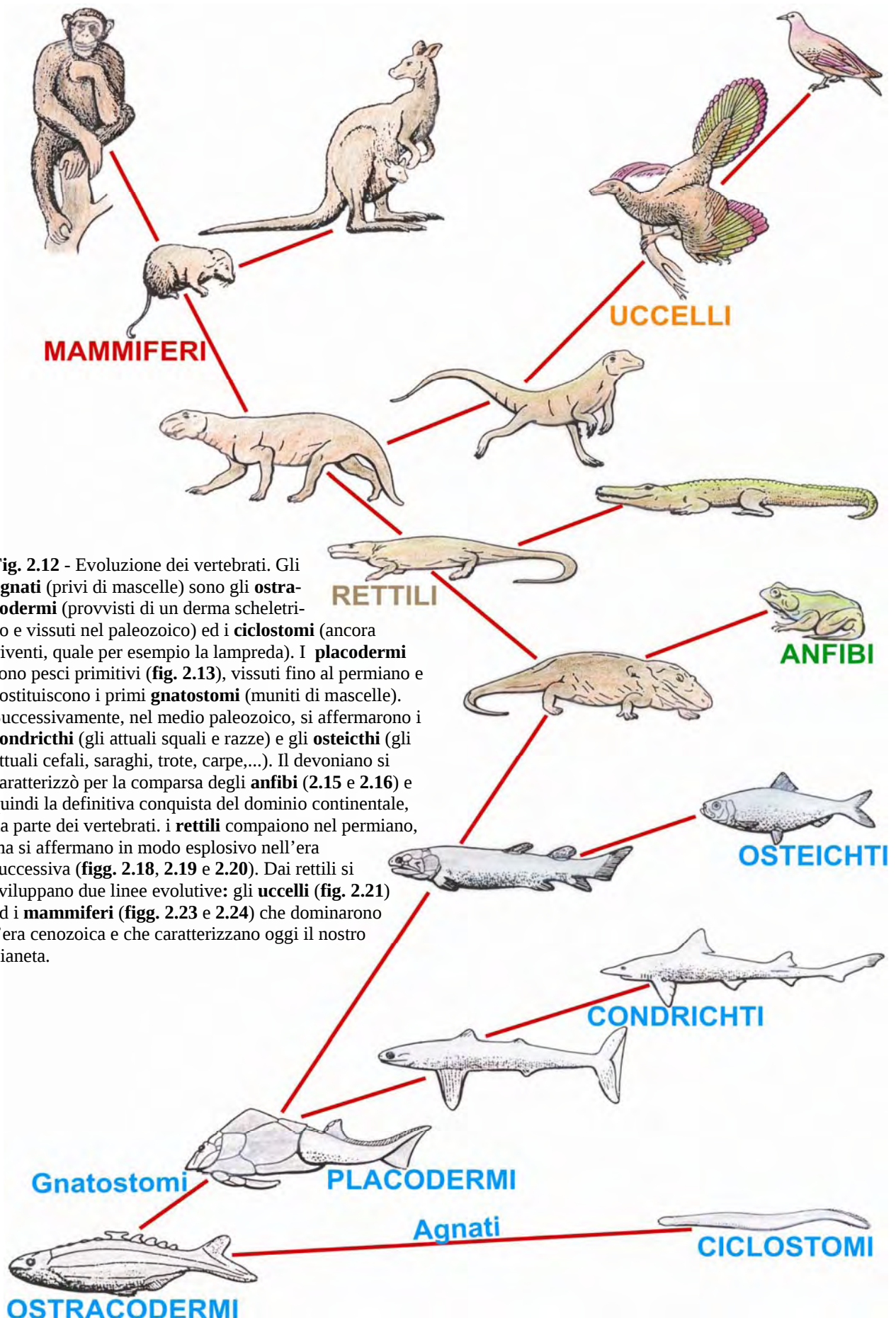


Fig. 2.12 - Evoluzione dei vertebrati. Gli **agnati** (privi di mascelle) sono gli **ostracodermi** (provvisi di un derma scheletrico e vissuti nel paleozoico) ed i **ciclostomi** (ancora viventi, quale per esempio la lampreda). I **placodermi** sono pesci primitivi (fig. 2.13), vissuti fino al permiano e costituiscono i primi **gnatostomi** (muniti di mascelle). Successivamente, nel medio paleozoico, si affermarono i **condricthi** (gli attuali squali e razze) e gli **osteicthi** (gli attuali cefali, saraghi, trote, carpe,...). Il devoniano si caratterizzò per la comparsa degli **anfibi** (2.15 e 2.16) e quindi la definitiva conquista del dominio continentale, da parte dei vertebrati. i **rettili** compaiono nel permiano, ma si affermano in modo esplosivo nell'era successiva (figg. 2.18, 2.19 e 2.20). Dai rettili si sviluppano due linee evolutive: gli **uccelli** (fig. 2.21) ed i **mammiferi** (figg. 2.23 e 2.24) che dominarono l'era cenozoica e che caratterizzano oggi il nostro pianeta.

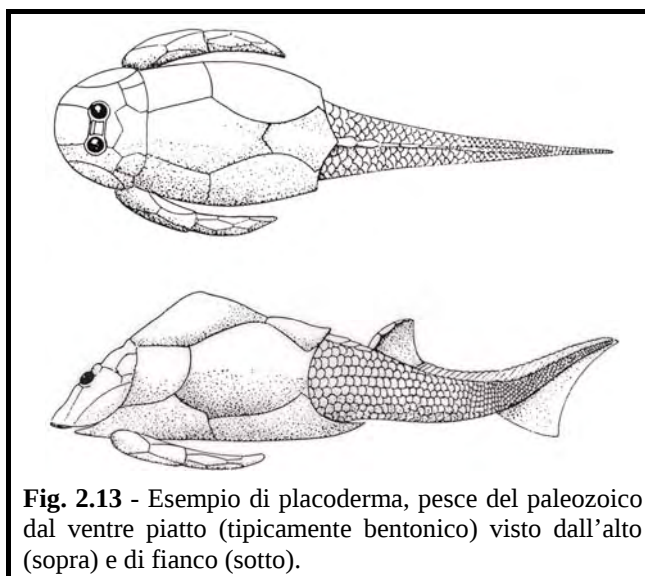


Fig. 2.13 - Esempio di placoderma, pesce del paleozoico dal ventre piatto (tipicamente bentonico) visto dall'alto (sopra) e di fianco (sotto).

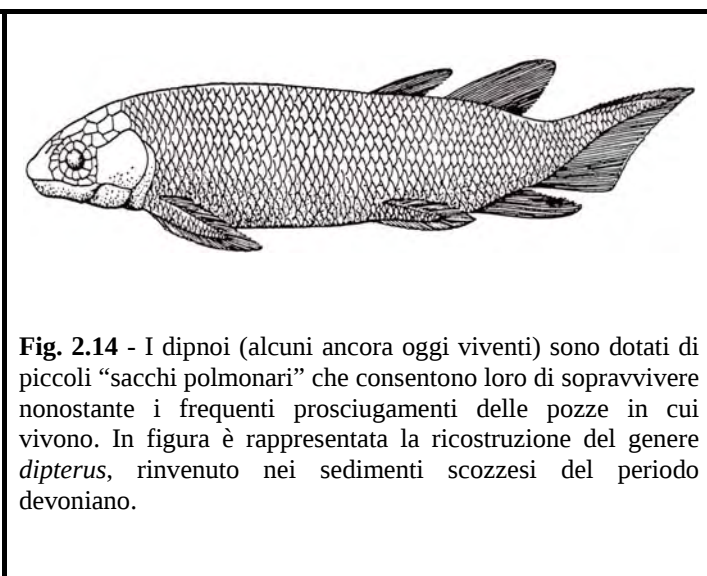


Fig. 2.14 - I dipnoi (alcuni ancora oggi viventi) sono dotati di piccoli "sacchi polmonari" che consentono loro di sopravvivere nonostante i frequenti prosciugamenti delle pozze in cui vivono. In figura è rappresentata la ricostruzione del genere *diptherus*, rinvenuto nei sedimenti scozzesi del periodo devoniano.

2.7 - Era archeozoica

grado	unità geocronologica	Unità stratigrafica
primo ordine	era	eratesta
secondo ordine	periodo	sistema
terzo ordine	epoca	serie
quarto ordine	età	piano
quinto ordine	tempo	sottopiano

Tab. 2.1 - Correlazione tra unità geocronologiche e stratigrafiche.

I fossili più antichi sono tracce di vita di un passato molto lontano, oltre due miliardi di anni fa e si riferiscono ad organismi privi di parti dure e quindi con scarse possibilità di conservarsi. Sono stati riconosciuti corpi algali sferoidali, stromatoliti (resti calcarei, probabilmente di origine algale) e strutture filamentose in rocce di $3,2 \cdot 10^9$ anni in Sud Africa. Poco meno antiche sono le selci di Fig Tree (Sud Africa), nelle quali si sono rinvenute tracce

di batteri. In selci presenti in rocce di circa $2 \cdot 10^9$ anni, nella regione canadese del Lago Superiore, sono state rinvenute tracce di cianofite e batteri. Nel 1980 vennero scoperti resti che vengono attualmente ritenuti i più antichi; si tratta probabilmente di batteri filiformi rinvenuti in una roccia sedimentaria australiana, vecchia di $3,4 \cdot 10^9$ anni. È possibile che, andando più indietro nella storia della Terra, non vi siano più tracce di vita; oltre tutto le rocce più antiche che si conoscono (Groenlandia) hanno un'età di $3,9 \cdot 10^9$ anni ed in esse non si sono rinvenuti fossili, mentre l'età della Terra può essere stimata in $4,5 \cdot 10^9$ anni. Pertanto si può ipotizzare che intorno a $3,5 \cdot 10^9$ di anni fa vi fossero le condizioni per la formazione di cellule vere e proprie, seppure molto primitive.

Nell'intervallo $3,5 \div 3 \cdot 10^9$ anni di anni fa, si affermarono le prime cellule procariote, simili alle attuali cianofite e batteri, con regione nucleare poco evidente e priva di una membrana; anaerobi (l'ossigeno non era ancora presente allo stato libero) eterotrofi o chemiosintetici. I primi organismi fotoautotrofi (capaci di produrre sostanza organica utilizzando, come fonte di energia, la luce solare), che dovevano essere ancora procarioti tipo le cianofite, probabilmente consentirono la produzione di ossigeno allo stato libero che successivamente passò all'atmosfera. Questo passaggio dell'evoluzione microbiologica, nell'intervallo $3 \div 2,5 \cdot 10^9$ anni fa, segnò un momento importante della storia della vita. L'ossigeno degli strati più alti dell'atmosfera, sotto l'azione dei raggi ultra violetti (U.V.) di origine solare, si trasformò in parte in ozono costituendo la cosiddetta "ozonofera" che, a sua volta, formò una barriera capace di impedire agli stessi U.V. di giungere in dosi eccessive sulla superficie della Terra. Prima della formazione della barriera di ozono la vita era possibile solo nei mari e ad una certa profondità, in quanto in superficie l'azione dei raggi U.V. risultava ancora efficace. Successivamente si instaurarono le condizioni per la colonizzazione delle terre emerse.

Tali considerazioni sono solo supposizioni, in quanto non si hanno tracce fossili di questi possibili eventi. Quegli organismi non possedevano parti dure, con buona possibilità di conservarsi nel tempo; sono piuttosto rari gli ambienti continentali dove prevale la sedimentazione con buone condizioni di conservazione di resti di organismi; inoltre troppo lungo è l'intervallo (miliardi di anni) affinché tracce di vita abbiano potuto conservarsi in rocce che hanno subito profonde trasformazioni in seguito alle vicende geologiche che hanno coinvolto il nostro pianeta. La

presenza dell'ossigeno consentì l'affermarsi del processo metabolico che permette, ancora oggi, il miglior utilizzo energetico della sostanza organica: la respirazione aerobica.

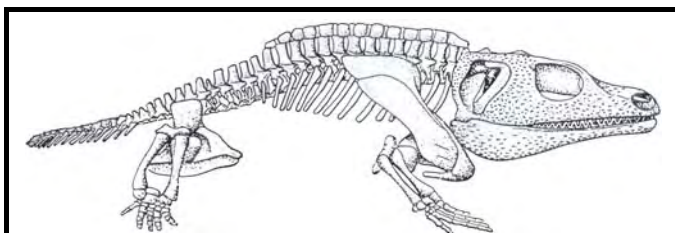


Fig. 2.15 - Tra i grandi anfibi più adatti all'ambiente terrestre, viventi alla fine del paleozoico, merita citare il gruppo dei Rachitomi.

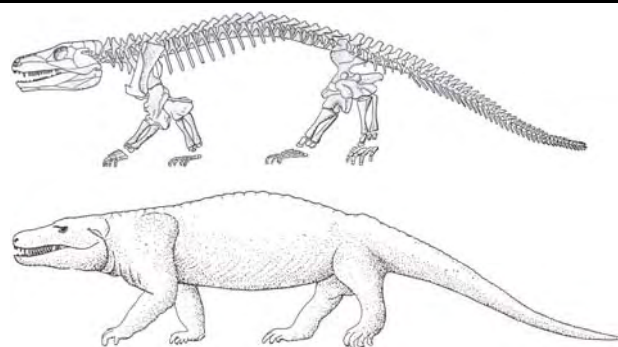


Fig. 2.16 - Nel tardo paleozoico vivevano grandi anfibi predatori fra i quali, per esempio, il *Seymouria* (scheletro e ricostruzione).

Non è chiaro quando si verificò l'affermazione degli organismi eucarioti (cellule con nucleo ben differenziato e membrane interne). Tutti gli organismi attuali, ad eccezione dei batteri e delle cianofitiche, sono costituiti da cellule eucariote. Attualmente non si hanno prove certe che organismi eucarioti esistessero anteriormente ad un miliardo di anni fa e solo verso la fine del precambriano, circa 700 milioni di anni fa, la vita ha iniziato a differenziarsi in modo significativo, dando origine ad organismi complessi, pluricellulari, alcuni dei quali con forme simili a quelle attualmente esistenti, altri con morfologie ormai scomparse.

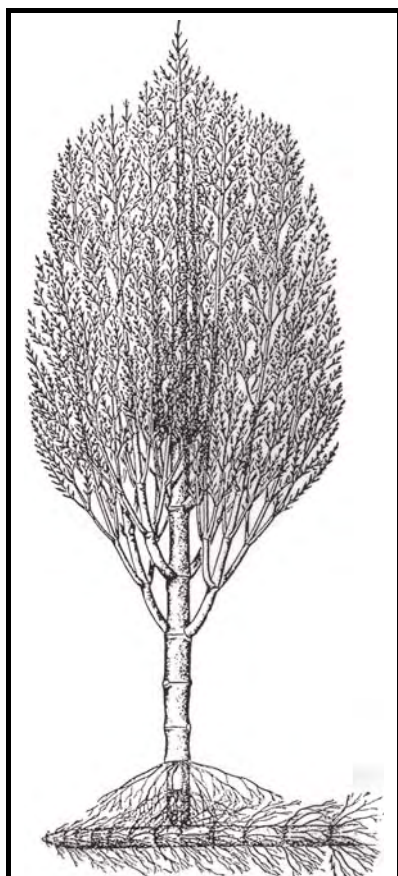


Fig. 2.17 - Ricostruzione di *Calamites*, un equisetide vivente nel permiano. Ancora attualmente vivono equisetidi, seppure meno diffusi e di ridotte dimensioni.

Le aree di affioramento degli eretmi archeozoici sono denominate *scudi*: penisola scandinava, due terzi del Canada (intorno alla baia di Hudson), Siberia, Africa, parte dell'Arabia, Brasile, India, Antartide e Ucraina. Su tali rocce possono poi sovrapporsi materiali sedimentari di origine meno antica. In Italia sono quasi certamente archeozoici i massicci ercinici delle Alpi, come l'Argentera ed il Monte Bianco. Forse rocce dell'archeozoico sono presenti anche nel massiccio calabrese. L'archeozoico del territorio italiano è poco rappresentato, in quanto è geologicamente molto più giovane.

2.8 - Era paleozoica

La vita, così scarsamente rappresentata nell'archeozoico, ebbe un improvviso e rigoglioso sviluppo a partire dal **cambriano**. Nei mari comparve una grande varietà di forme: alghe, Artropodi, Brachiopodi, Spugne, Celenterati (coralli, idre, anemoni), vermi, Molluschi, Echinodermi (ricci, stelle di mare), Trilobiti. Nell'**ordoviciano**, continuarono a prevalere le forme acquatiche e comparvero i primi vertebrati (Pesci; **figg. 2.12, 2.13 e 2.14**), mentre nel **siluriano** si affermarono le prime vere piante acquatiche e Pesci ben strutturati.

Il **Devoniano** segnò la conquista della terra ferma con la comparsa dei primi Anfibi (**figg. 2.15 e 2.16**), Insetti e ragni. Nei mari comparvero gli squali primitivi (placodermi, lunghi 10 m) con pelle costituita da robuste placche sovrapposte. Nel **carbonifero** le terre emerse, grazie ad un clima caldo e umido, si copirono di grandi e rigogliose foreste con alberi a squame, con felci arboree, equiseti (**fig. 2.17**) e con le prime conifere. Da questi grandi ammassi di materiali organici derivarono i depositi di carbon fossile in Francia, Belgio, Inghilterra, Stati Uniti,.... Nel **permiano** infine comparvero le prime forme assimilabili ai dinosauri che caratterizzarono l'era successiva, ma contemporaneamente scomparirono molti gruppi di invertebrati marini.

In Italia sono presenti rocce cambriane in Sardegna (calcari, arenarie, filladi con Trilobiti e Brachiopodi). Il siluriano ed il devoniano, oltre che in Sardegna, sono diffusi nelle Alpi Carniche (imponenti masse carbonatiche che raggiungono

una potenza anche di 1.000 m e che danno origine alle rupi calcaree dall'aspetto simile a quello delle Dolomiti). Nelle Alpi Carniche sono anche presenti rocce del carbonifero e del permiano, ma depositi permiano - carboniferi si

trovano in altre zone delle Alpi, in Toscana (isola d'Elba), in Lucania, in Sicilia e in Sardegna. In genere sono rocce sedimentarie continentali (conglomerati ed arenarie), spesso di colore rossastro, di ambienti fluviali o di climi aridi.

2.9 - Era mesozoica

L'era mesozoica rappresenta un intervallo di transizione fra l'era paleozoica caratterizzata dall'esplosione della vita e dalla comparsa dei vertebrati, ma con forme primitive e l'era successiva, durante la quale si affermarono forme di vita ormai molto simili a quelle attuali. Il mesozoico, ad eccezione della sua parte più antica, fu caratterizzato da un generale aumento del livello marino che raggiunse il suo massimo verso la fine dell'era.

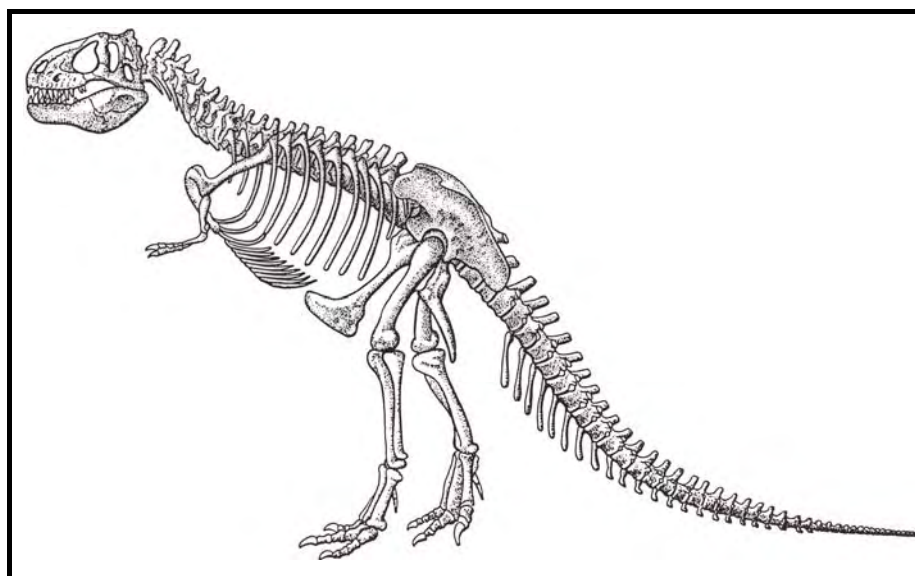


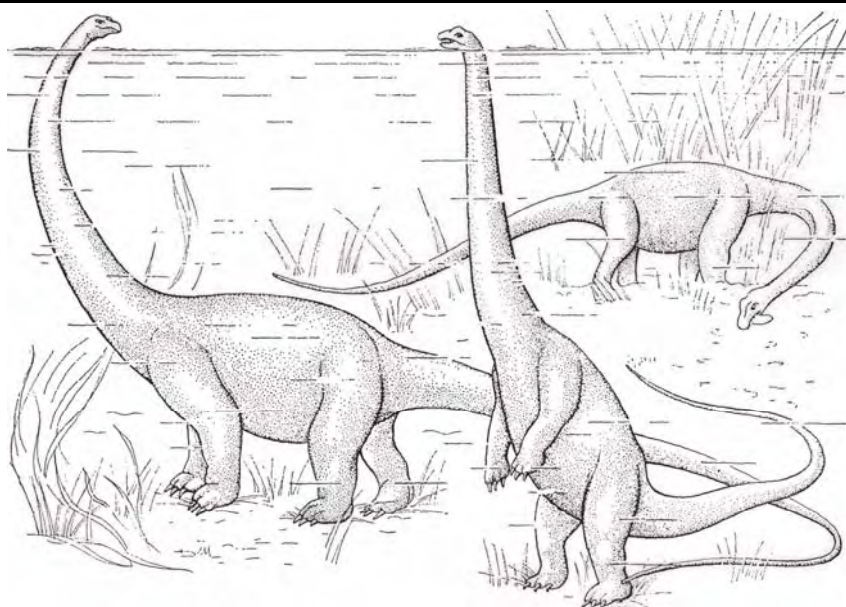
Fig. 2.18 - Fra i dinosauri più noti al grande pubblico è il *Tyrannosaurus rex* (cretaceo), predatore che misurava 6 m di altezza e 15 m di lunghezza; il cranio, da solo, era lungo quasi un metro e mezzo.



Il *Nautilus* attuale.

Del **triassico** sono le prime impronte dei dinosauri; comparvero grandi Rettili marini quali l'ittiosauro, accanto alle forme più primitive dei Mammiferi. Il **Giurassico** segnò la massima diffusione dei dinosauri (**figg. 2.18, 2.19 e 2.20**), la comparsa dei primi Uccelli (**fig. 2.21**) ed il grande sviluppo delle ammoniti; queste sono Molluschi Cefalopodi dotati di conchiglia avvolta a spirale, con due paia di branchie, di atri e di reni; di questo gruppo oggi sopravvive una sola specie, il *Nautilus pompilius*.

Fig. 2.19 - Fra i Sauropodi (cretaceo inferiore) si conoscono le forme continentali più gigantesche del regno animale. Gli arti dovevano essere, in molti casi, insufficienti a sostenere un corpo del peso di alcune decine di tonnellate; si pensa quindi che queste forme si muovessero prevalentemente entro l'acqua. L'immagine presenta una ricostruzione ambientale di *Helopus zdanskyi*.



Nel **cretaceo**, dopo l'affermazione delle gimnosperme (piante superiori con ovuli e semi nudi, tra le quali le conifere e le Ginkyoali; **fig. 2.22**), comparvero le prime piante con i fiori. Ciò che caratterizzò questo periodo è la storia biologica nella sua ultima parte.



Fig. 2.20 - I Ceratopsidi erano ovipari e di essi si sono trovati, in Mongolia, numerosi nidi con ricche serie di uova. Alla fine del cretaceo dovevano essere i rettili più diffusi e comuni.

Fig. 2.21 - Secondo alcune ipotesi l'immediato progenitore degli Uccelli sarebbe stato un quadrupede ed arboricolo; per esempio un Tecodontide corridore (in basso), attraverso l'ipotetico stadio intermedio arboricolo (in mezzo), fino a quello finale di volatore (in alto).

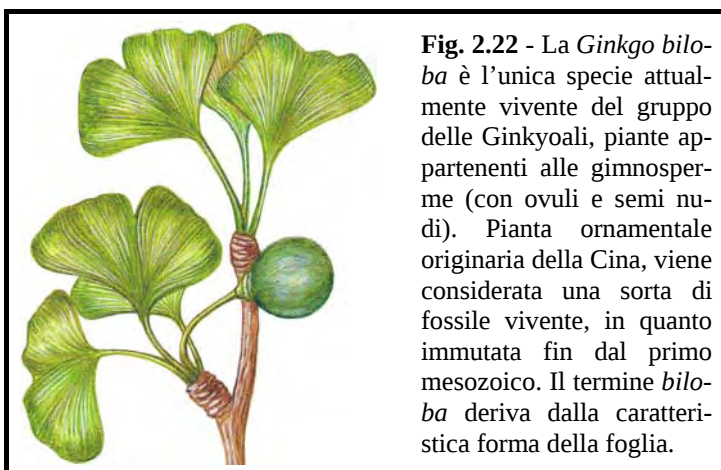


Fig. 2.22 - La *Ginkgo biloba* è l'unica specie attualmente vivente del gruppo delle Ginkgoali, piante appartenenti alle gimnosperme (con ovuli e semi nudi). Pianta ornamentale originaria della Cina, viene considerata una sorta di fossile vivente, in quanto immutata fin dal primo mesozoico. Il termine *biloba* deriva dalla caratteristica forma della foglia.

Così come il permiano terminò con la scomparsa di molte forme di vita, allo stesso modo il cretaceo ebbe termine con l'estinzione di numerosi gruppi fra i quali i grandi Rettili. I passaggi da un'era a quella successiva comportano profonde e repentine (in pochi milioni di anni) trasformazioni della composizione delle cenosi che popolavano la Terra. Si è stimato che, alla fine del Cretaceo, si estinsero circa il 75 % delle specie allora presenti. Per spiegare tali improvvise scomparse di numerosi gruppi sistematici si sono proposte diverse teorie che hanno innescato un vivace dibattito tra chi sostiene cause catastrofiche ed anche extraterrestri (caduta di un grande asteroide, impatto con una grande cometa,

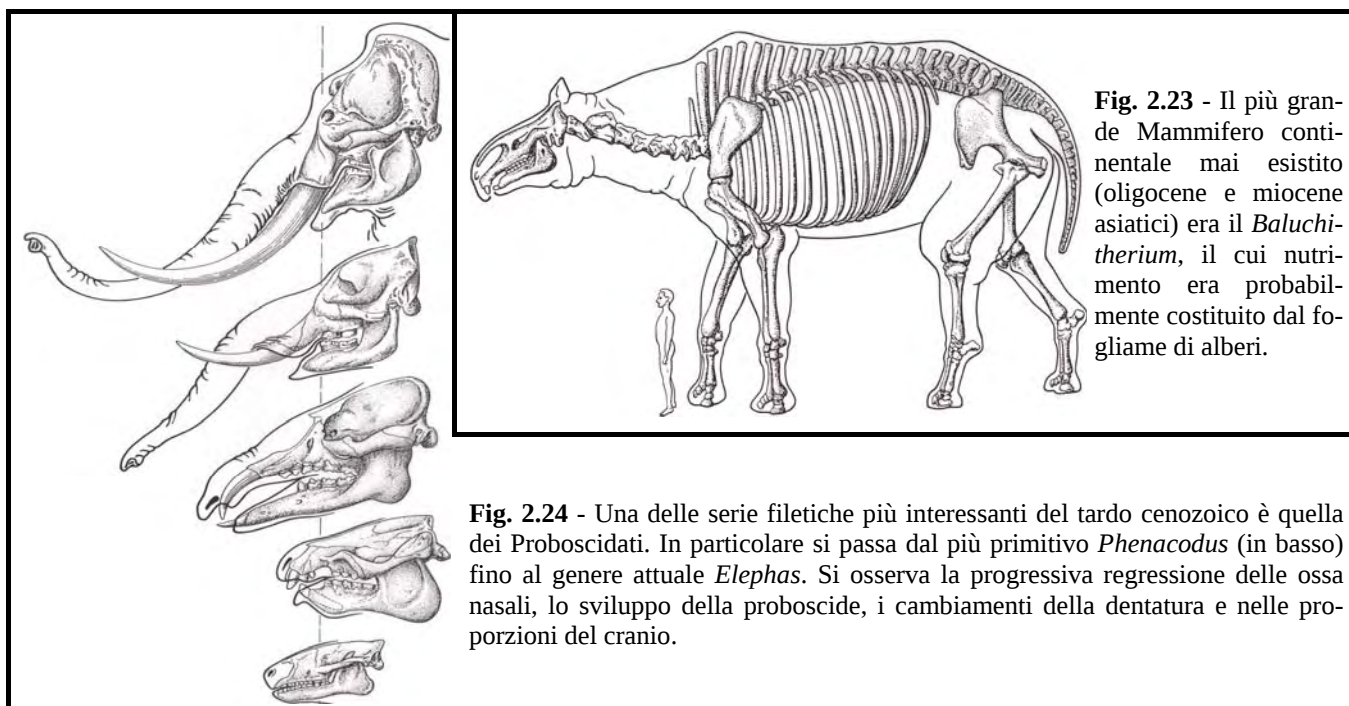
ta,...) e quelli che propongono processi più gradualmente e di origine strettamente terrestre quali, per esempio, le variazioni climatiche.

In Italia i terreni mesozoici sono più frequenti rispetto a quelli dell'era precedente; spesso sono rocce carbonatiche. Il triassico è caratteristico della Regione Dolomitica, dove le montagne (Marmolada, Sassolungo, Catinaccio, Tofane, Pelmo, Civetta,...) sono costituite da calcari e dolomie. Il sistema triassico affiora anche in Lombardia (Grigne), nelle Apuane ed in altre regioni: Toscana, Lucania, Sicilia. Il giurassico caratterizza buona parte delle Prealpi Venete e Lombarde (Monte Grappa, Altopiano dei Sette Comuni, Lessini, Monte Baldo, Monti di Brescia, Monte Albenza,...), mentre nell'Appennino tale sistema è presente con calcari (Dorsale Marchigiana, Gran Sasso, Maiella) e con i famosi marmi di Carrara (Apuane). Nell'Appennino ligure ed in certe zone delle Alpi, il giurassico è rappresentato da estese masse di ofioliti, rocce costituenti antichi brandelli di crosta oceanica. Il cretaceo è presente più o meno nelle stesse zone del precedente sistema, con calcari bianchi (maiolica) e rossi

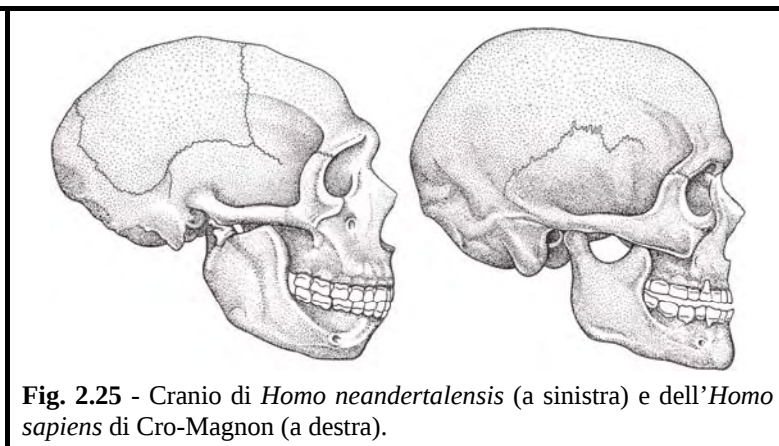
(scaglia rossa), a cui bisogna aggiungere le facies di scogliera a coralli e rudiste del Friuli, dell'Italia centrale e del Gargano e le torbiditi dell'Appennino.

2.10 - Era cenozoica

Il termine cenozoico deriva dal greco *cainon* (= recente) e *zoon* (=vivente), in quanto durante tale era ebbero grande sviluppo organismi ormai simili a quelli attuali, in particolare gimnosperme (piante a semi nudi, oggi costituenti pini, larici, abeti,...), Angiosperme (piante con fiori), Uccelli e Mammiferi. L'era cenozoica (65 milioni di anni) è suddivisa in cinque periodi: **paleocene**, **eocene**, **oligocene**, **miocene** e **pliocene**.



Tipici organismi di questa era sono i nummuliti, Protozoi foraminiferi le cui conchiglie hanno dato luogo a potenti sedimenti marini. Nella parte più antica ebbero grande diffusione i Molluschi (Lamellibranchi e Gasteropodi) Pesci e Uccelli. Ma è la grande diffusione dei Mammiferi (**figg. 2.23 e 2.24**) che caratterizza il cenozoico, così come i Rettili dominarono l'era mesozoica. Inizialmente si trattava di piccoli Mammiferi, quali insettivori, roditori, marsupiali,... quindi comparvero bovini, giraffe, ippopotami,...



Nel Mediterraneo attuale il bilancio idrico è negativo; in altri termini la perdita d'acqua per evaporazione non è compensata dall'apporto delle acque continentali. Il livello è garantito dal contributo delle acque dall'oceano Atlantico attraverso lo stretto di Gibilterra. Alla fine del miocene probabilmente si determinò la chiusura dell'ancestrale passaggio che garantiva l'apporto di acque oceaniche. Si presume che in un intervallo di tempo dell'ordine di 100.000 anni il Mediterraneo si prosciugò comportando l'accumulo di depositi evaporitici (salgemma, gessi,...). Successivamente quello che doveva essere il primitivo stretto di Gibilterra si riaprì consentendo nuovamente il riempimento del mare.

In Italia i sistemi terziari sono molto diffusi, tra i quali le torbiditi dell'Appennino toscano - emiliano ed i calcari di mare poco profondo delle Prealpi venete, dove si trovano i giacimenti eocenici di Bolca, ricchi di fossili di Pesci, coccodrilli, palme, ecc... Gran parte delle montagne (Alpi e Appennini) si sono formate durante il cenozoico e sono diffuse rocce di origine vulcanica.

2.11 - Era neozoica

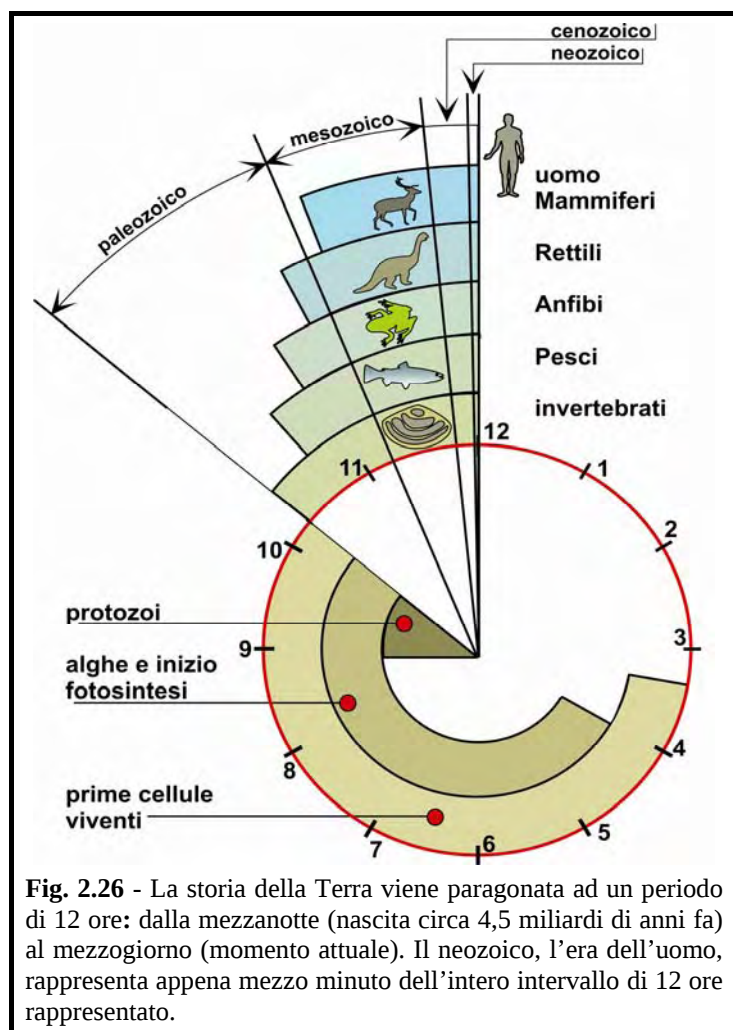


Fig. 2.26 - La storia della Terra viene paragonata ad un periodo di 12 ore: dalla mezzanotte (nascita circa 4,5 miliardi di anni fa) al mezzogiorno (momento attuale). Il neozoico, l'era dell'uomo, rappresenta appena mezzo minuto dell'intero intervallo di 12 ore rappresentato.

Il termine neozoico deriva dal greco *neon* (= nuovo) e *zoon* (=vivente), in quanto i gruppi di organismi che lo caratterizzano sono, per forme e varietà, simili a quelle attuali. Con riferimento alla comparsa dell'uomo, il limite inferiore potrebbe essere poco meno di due milioni di anni fa. Oppure, utilizzando criteri climatici si potrebbe porre tale limite a $\sim 3,1 \cdot 10^6$ di anni fa, coincidente con le più antiche morene della Sierra Nevada (California). L'era cenozoica è troppo breve per una divisione in periodi. Tuttavia si usa distinguere il **pleistocene** dall'**olocene**, con il termine l'ultima glaciazione quaternaria, ~ 12.000 anni fa.

Uno dei caratteri di questa era è l'affermazione della specie umana. LINNEO (1476) affermava: "fino ad oggi, in quanto naturalista, io non sono riuscito a scoprire alcun carattere che valga a distinguere l'uomo dalle grandi scimmie... vi è però nell'uomo qualcosa che non si vede, da cui deriva la conoscenza di noi stessi". Da allora la scienza ha compiuto notevoli progressi ed oggi sappiamo molto di più, ma ancora troppo poco. Il primo ominide (il *Rampithecus*) comparve già nel miocene; in seguito durante quel periodo si diffusero gli antropomorfi e circa 7/8 milioni di anni fa si distinsero gli ominidi.

Un'ulteriore evoluzione è risultata dalla scoperta di *Australopithecus afarensis* in Etiopia e delle impronte di Laetoli in Tanzania; probabilmente, più di tre milioni e mezzo di anni fa gli ominidi primitivi si evolsero in Africa. Fossile simile è *Homo habilis*, cacciatore - raccoglitore, con cervello discretamente sviluppato, che viveva nell'Africa orientale. Un milione e mezzo di anni fa scomparve l'*Habilis* per cedere il posto all'*Homo erectus*, che fabbricava utensili di pietra e forse utilizzava il fuoco. Con l'avvento di *Homo sapiens* (100.000 anni) migliora l'utensileria litica e si denuncia un vistoso sviluppo del cranio. *Neanderthal* (fig. 2.25) si può assimilare a forme arcaiche di *Homo sapiens*. L'affermazione dell'uomo moderno (*Homo sapiens sapiens*) risale a circa 40.000 anni fa e da allora è storia ben più recente e meglio conosciuta. In qualsiasi caso è bene ricordare che la storia evolutiva dell'uomo rappresenta una frazione di tempo tutto sommato irrilevante rispetto a quella del pianeta Terra (fig. 2.26).

SCHEMA 2.1 - Definizione e formazione del fossile

Definizione di fossile. Ogni resto o traccia di organismo vivente che, attraverso un processo geologico, anche di milioni di anni, si conserva inglobato nelle rocce sedimentarie, unico tipo di rocce in cui di norma si possono conservare resti di organismi fossilizzati. La *paleontologia* studia questi resti per ricostruirne l'aspetto originario, a tracciarne l'evoluzione ed a ricostruire gli antichi ambienti in cui questi organismi vivevano (*paleoecologia*).

Rarità di un fossile. Ogni giorno un numero enorme di organismi muoiono sul nostro pianeta, ma estremamente ridotte sono le possibilità che uno di essi possa trovarsi nelle condizioni adatte per permetterne la conservazione. Tra tutti i fossili che durante tutta la storia della Terra hanno avuto il privilegio di conservarsi, solo una minima parte è stata scoperta; la maggior parte è stata distrutta ed altri giacciono sepolti magari anche a pochi metri di profondità. In sintesi conosciamo ben poco sugli esseri viventi che hanno popolato la Terra durante tutta la sua storia, forse meno del 10 %.

Fossilizzazione. Ogni organismo, dopo la morte, potenzialmente può conservarsi diventando un fossile, ma solo in condizioni molto particolari che dipendono dal sedimento inglobante (molto fine) e dal tempo che intercorre tra la morte ed il seppellimento (molto breve). La fossilizzazione è influenzata da fattori *intrinseci* ed *estrinseci*.

Fattori intrinseci. Dipendono dalla composizione dell'organismo. La presenza di parti resistenti quali gusci od ossa aumenta la possibilità di conservazione, mentre un organismo composto solo da parti molli (es. una medusa) ha pochissime possibilità fossilizzarsi. Le sostanze che generalmente hanno più probabilità di conservarsi sono le seguenti: calcite e aragonite (forme minerali del carbonato di calcio - CaCO_3 - tipiche di moltissimi invertebrati come le conchiglie dei Molluschi), fosfato di calcio (CaPO_4 - tipico delle ossa dei vertebrati), calcidonio (SiO_2 - tipico dei radiolari e delle diatomee), lignina (molto resistente, tipica del legno), chitina e cheratina (tipica degli insetti),...

Fattori estrinseci. I resti di organismi possono essere aggrediti da batteri e organismi saprofagi, smembrati e dispersi dall'azione delle acque dilavanti, dal vento o distrutti da susseguirsi di vari fenomeni geologici. Quando l'organismo si trova sepolto nei sedimenti inizia infatti un percorso di "pietrificazione", (*diagenesi*) che trasforma l'organismo in un fossile attraverso un susseguirsi di fenomeni di interazione chimico-fisica tra gli strati sedimentari e l'organismo stesso in questi sepolto. Se la diagenesi risulta troppo "spinta" il fossile cambia totalmente la propria composizione fino a distruggerne ogni parte. Anche l'erosione ed in generale i processi del disfacimento, portano alla disgregazione di un fossile.

Processo di fossilizzazione. Insieme di tutti i fenomeni naturali che portano un organismo, dopo la morte, a trasformarsi in un fossile. Quale condizione primaria l'organismo deve essere seppellito in un sedimento che lo isoli completamente dall'ambiente esterno per un tempo lunghissimo. Si riconoscono due modalità principali: *normale* ed *eccezionale*.

Processo "normale". Costituisce la gran maggior parte dei casi di conservazione, a sua volta, diviso in due categorie: *diretto* e *indiretto*.

Fossilizzazione diretta. L'organismo giunge fino a noi apparentemente conservato in ogni sua parte. Spesso processi chimici, in genere molto lunghi, contribuiscono a modificare gusci, ossa, denti, ecc., fino a sostituirli con sostanze completamente differenti da quelle originarie.

Fossilizzazione indiretta. Avviene in caso di completa demineralizzazione; porta alla formazione di impronte e/o modelli. L'organismo non si conserva direttamente ma viene sostituito per riempimento con materiale secondario, oppure nel caso in cui sia distrutto ne può rimanere solo un'impronta.

Processo eccezionale. Fenomeni molto rari che portano alla conservazione totale dell'organismo. Un esempio è quello dei *Mammuth* della Siberia, congelati nel permafrost, suolo tipico della tundra, che rimane congelato per migliaia di anni. Sono da citare anche i casi della fossilizzazione in ambra.



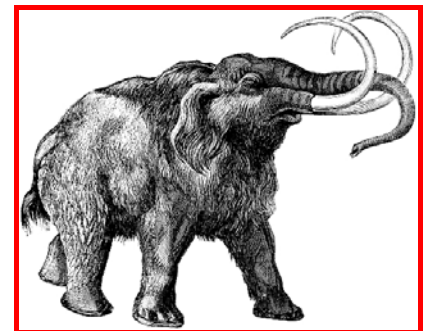
Esempio di *fossilizzazione diretta*. Le ossa ed i denti possono subire un processo di sostituzione molecolare simile ai gusci delle conchiglie. Questo dente di squalo presenta tutte le caratteristiche originali.



Esempio di *fossilizzazione indiretta*. Della conchiglia originale rimane solo l'impronta del guscio. La parte interna non si è conservata ed inoltre la cavità rimasta non è stata colmata con materiale secondario.

SCHEDE 2.2 - Esempi di relazioni entro la biocenosi

- **Predazione.** Ruolo di alcuni animali agli ultimi anelli della catena alimentare; rappresenta un importante fattore della selezione naturale. La presenza in una determinata area di un certo tipo di predatori, oltre a limitare la presenza di altri, favorisce il differenziarsi delle prede. Risulta una stretta interrelazione in cui il minimo turbamento può portare a profonde modificazioni. Per esempio la scomparsa di un certo tipo di predatore lascia scoperta una nicchia ecologica che viene occupata da predatori differenziatisi in altre aree.
- **Simbiosi.** Organismi di specie diverse convivono costantemente associate con vantaggio reciproco. I Licheni sono costituiti da un fungo e da un'alga; il primo assorbe dal substrato acqua e sali minerali, mentre la seconda, grazie ai pigmenti fotosintetici, sintetizza sostanza organica. I licheni sono così in grado di sopravvivere in ambienti dove fungo ed alga da soli soccomberebbero. Un altro esempio è la micorrizia fra le radici delle piante arboree ed il reticolo di ife fungine sotterranee.
- **Commensalismo.** Un tipico esempio è quello fra il paguro (Crostaceo) e l'attinia (Celenterato); il primo vive in una conchiglia vuota sulla superficie della quale si fissa la seconda che quindi viene trascinata dai movimenti del crostaceo. Questa associazione presenta un vantaggio notevole per l'attinia; essa infatti, come individuo sessile, non avrebbe la possibilità di spostarsi per cercare il nutrimento. Contemporaneamente il paguro viene difeso dai tentacoli urticanti dell'ospite e usufruisce dei resti delle prede catturate da questo. È una collaborazione per il procacciamento di cibo. Il commensalismo si distingue dalla simbiosi in quanto i due organismi sopravvivono anche senza tale collaborazione.
- **Parassitismo.** Gli individui di una specie possono "sfruttare" quelli di un'altra senza provocarne immediatamente la morte. Non tutti i rapporti interspecifici dannosi per una specie a vantaggio di un'altra rientrano in questa categoria, altrimenti si dovrebbero considerare parassiti anche i predatori. Si ha parassitismo quando un organismo viene menomato nella sua vitalità, oppure viene portato a morte in modo lento e graduale.



Ricostruzione di *Mammuth*.

- **Competizione.** Più specie che occupano la stessa nicchia ecologica possono entrare in competizione. Non appena l'insieme degli individui di un gruppo tende ad indebolirsi, un altro lo soppianta. La storia della vita sulla Terra fornisce un'ampia documentazione. I Mammiferi compaiono nel mesozoico (era geologica compresa fra 235 e 65 milioni di anni fa) e per lungo tempo, sono rimasti poco numerosi e di piccole dimensioni, dato che tutte le nicchie ecologiche erano occupate dai grandi Rettili con i quali erano in competizione. La fine di questa era è contraddistinta da un radicale cambiamento della composizione faunistica. L'estinzione in massa dei grandi Rettili modificò profondamente i rapporti di competizione. I Mammiferi, non più predati dai dinosauri e non più costretti alla vita notturna, velocemente si differenziarono occupando gli spazi disponibili. L'era successiva, cenozoica (65 ÷ 2 milioni di anni fa) fu caratterizzata dall'esplosione evolutiva dei Mammiferi, che ha portato a quella notevole varietà di forme che oggi osserviamo.
- **Mobilità.** Una specie in grado di spostarsi durante tutto il suo ciclo vitale o almeno per buona parte di esso, ha buone possibilità di colonizzare nuovi ambienti. I briozoi, i coralli e le spugne sono animali sessili; sono ancorati al substrato e ciò non li favorisce nei confronti di eventuali variazioni fisiche e chimiche dell'ambiente. Le popolazioni di questi gruppi hanno scarse possibilità di ampliare il loro areale di distribuzione. Questa limitazione è compensata in parte dal modo di vita degli stadi embrionali. Le larve conducono vita planctonica; la maggior parte di esse non sopravvive; alcune riescono a trovare un substrato adatto al quale ancorarsi per dare origine a nuove colonie. Questa "tecnica" di diffusione, che compensa la mancanza di mobilità, è utilizzata dalla maggior parte dei vegetali tramite spore e semi.
- **Tassi di natalità, crescita e mortalità.** Sono fattori importanti nel determinare il successo evolutivo di un gruppo sistematico. Gli Insetti sono comparsi sulla Terra circa 350 milioni di anni fa, dopo i vertebrati primitivi e quindi proprio questi avrebbero avuto più tempo per evolversi e meglio adattarsi alle diverse condizioni ambientali. Ma se adattamento vuol dire alto numero di individui per specie e molteplici varietà di forme, allora sono gli Insetti (oltre un milione di specie conosciute e numerosissime quelle ancora da scoprire) quelli che si sono meglio affermati sulla Terra. Ciò che ha permesso agli Insetti una rapida evoluzione è dovuto a tassi di natalità e di crescita, molto elevati rispetto agli altri gruppi: hanno ciclo più breve, possono avere parecchie generazioni in un anno e producono una grande quantità di uova.
- **Tassi di incremento e diminuzione delle popolazioni.** Sono fondamentali nell'ecologia. Le popolazioni sono fluttuanti come numero e composizione di individui ed esistono limiti di densità superiori e inferiori. Il limite superiore è condizionato dalle risorse alimentari, mentre quello inferiore è legato alla densità minima al di sotto della quale per due individui della stessa specie e di sesso diverso, le probabilità di incontro, per fini riproduttivi, sono scarse, con conseguente pericolo di estinzione.

SCHEDA 2.3 - Definizioni utili all'ecologia

L'ecologia è un tema molto vasto, la cui trattazione completa non è prevista fra gli obiettivi del presente testo. Tuttavia si è ritenuto opportuno riportare almeno le definizioni, sotto forma di glossario, di termini normalmente utilizzati nei campi degli studi ambientali e paleontologici, con particolare riferimento agli ambienti acquatici (nella maggior parte dei quali avvengono i processi di sedimentazione) ed ai fenomeni biologici.

ABISSALE. Comunità o ambiente dei fondali molto profondi (oltre 4.000 m).

ABIOSESTON (vedi **tripton**).

ABIOTICO. Insieme di fattori fisici e chimici dell'ambiente ed in grado di influire sugli organismi.

ACCIDENTALE. Specie vegetale o animale presente in un ambiente casualmente.

ACCLIMATAZIONE (ambientazione). Periodo impiegato da una specie alloctona per l'adattamento all'ambiente dell'area geografica entro la quale è introdotta. Oppure capacità di adattamento di un organismo a vivere in un nuovo clima. Questo adattamento comporta delle modifiche di carattere morfologico e/o fisiologico.

ACCLIMAZIONE (vedi **acclimatazione**).

ACHERATOBI (vedi **catarobi**).

ADATTABILITÀ. Insieme di capacità di un organismo a modificare attività funzionali e comportamento in funzione di eventuali cambiamenti di fattori fisici e/o biologici dell'ambiente.

AEROBI. Organismi in grado di demolire sostanza organica con processi che utilizzano l'ossigeno come ossidante.

AFOTICO. Ambiente con luce non sufficiente a sostenere il processo di fotosintesi.

AGAMODROMO (gamodromo). Organismo che migra (in genere specie ittica dal mare a risalire i fiumi o viceversa) per fini trofici.

ALGHE. Organismi unicellulari o riuniti in colonie, capaci di fotosintesi (principali costituenti del fitoplancton).

ALGIVORO. Organismo che si nutre di alghe.

ALLOCTONA (esotica). Specie introdotta dall'uomo in un'area geografica ove era assente. Tale termine si applica anche ai fossili che hanno subito un trasporto post-mortale.

ALLOPATRIA. Caratteristica di specie i cui areali di distribuzione non si sovrappongono o non sono in contatto geografico.

ALLOTROFIA. Intensità del rifornimento di sostanza organica ad un ambiente acquatico dall'esterno.

ALOBIO. Organismo che vive in acque salate (ambienti marini o salmastri).

ALPICO. Relativo alle Alpi (senso geografico).

ALPINO. Relativo a catene alpine, in genere alle quote più elevate (senso ecologico).

AMBIENTE (vedi **ecosistema**).

AMBIENTAZIONE (vedi **acclimatazione**).

AMENSALISMO. Situazione in cui un organismo danneggia un altro, con il quale tuttavia non si trova in competizione interspecifica.

ANABIOSI. Condizioni di "vita latente" provocata dalla disidratazione o dal raffreddamento.

ANAEROBI. Organismi in grado di demolire sostanza organica con processi che utilizzano sostanze ossidanti diverse dall'ossigeno.

ANADROMA (potamotoca). Specie che vive abitualmente in mare e che risale le acque dolci per la riproduzione.

ANELLO della catena alimentare (vedi catena alimentare).

ANFIBIOTICO. Organismo che passa da un ambiente ad un altro (per esempio un organismo che passa dalle acque marine a quelle dolci e viceversa).

AREALE. Area geografica ove è naturalmente presente la popolazione di una determinata specie.

ARENICOLO. Termine per qualificare un organismo che frequenta i bassi fondali sabbiosi.

ASSIMILAZIONE (vedi diverse voci di **produttività**).

ASTATISMO. Condizioni dovute a forti variazioni di livello idrometrico.

AUTOCTONA (indigena). Specie nativa, naturale o indigena di una determinata area geografica. Tale termine si applica anche ai fossili che non hanno subito un trasporto post-mortale.

AUTOTROFI (produttori). Organismi in grado di effettuare il processo di fotosintesi (idrofite e alghe) o di chemiosintesi (batteri).

AUTOTROFIA. Sistema anabolico degli organismi autotrofi. Termine usato anche per descrivere l'intensità della produzione totale della sostanza organica in un ambiente.

BENTHOS. Organismi attaccati o posati sul fondo o fra i sedimenti. Vi sono organismi *sessili* (fissati ad un sostegno), *mobili* sia sul piano orizzontale, sia su quello verticale (*scavatori*).

BENTOFAGO. Che si nutre di benthos (normalmente animali zoofagi).

BIOCENOSI (vedi **comunità biotica**).

BIOGEOCENOSI (vedi **ecosistema**).

BIOMASSA. Peso di sostanza vivente. Viene espresso come peso vivo o come materiale secco per unità di superficie. Può essere riferito ad un intero ecosistema a una comunità biotica o a una parte di essa.

BIOSESTON. Comprende il plancton, il necton ed il necto-plancton.

BIOTECTON. Organismi che ricoprono un substrato più o meno solido (pietre, massi, detriti vari) originando spesso una sorta di feltro.

BIOTICO. Insieme dei fattori biologici di un determinato ambiente, che influenzano le competizioni inter e intraspecifiche, la predazione, il parassitismo, ecc...

BIOTIPO. Gruppo di individui *identici* per il loro genotipo. Biotipi identici si possono avere in individui che si riproducono per autofecondazione (linee pure) o per partenogenesi o per riproduzione vegetativa.

BIOTOPO. L'insieme delle caratteristiche fisiche e chimiche dell'ambiente.

CALCIFILE. Specie vegetali o animali che prediligono ambienti ricchi di calcio.

CALCIFUGHE. Specie vegetali o animali che non sopportano ambienti ricchi di calcio.

CARNIVORO (zoofago). Che si nutre di animali (solitamente predatori ai livelli trofici superiori al secondo anello nella catena alimentare).

CATADROMA (talassotoca). Specie che vive abitualmente nelle acque dolci e che scende al mare per la riproduzione.

CATAROBI (acheratobi). Organismi che non tollerano la presenza di sostanze organiche in putrefazione.

CATENA ALIMENTARE. Trasferimento di energia alimentare che parte dai produttori e attraversa una serie di or-

ganismi che mangiano e vengono mangiati (**livelli trofici o anelli**).

CHEMIOSINTESI. Produzione di sostanza organica a partire da acqua, anidride carbonica e composti minerali semplici utilizzando, come fonte di energia, quella liberata dall'ossidazione di sostanze chimiche. Tale processo è in genere sviluppato da alcuni batteri.

COLONIA. Insieme di individui appartenenti alla stessa specie, anatomicamente uniti, così da formare una individualità di ordine superiore.

COMMENSALISMO. Tipo di associazione fra due o più organismi di specie diverse in cui uno o tutti gli associati traggono vantaggio per il nutrimento o comunque nessuno ne riceve danno.

COMPETIZIONE. Qualunque interazione fra individui o popolazioni di due o più specie dello stesso livello trofico che ne influenza lo spazio vitale, l'accrescimento e la sopravvivenza. Può essere **interspecifica** (fra individui di specie diverse) o **intraspecifica** (fra individui della stessa specie).

COMUNITÀ BIOTICA (biocenosi). Insieme di popolazioni che vivono in una determinata area o habitat fisico; costituisce una unità organizzata con caratteristiche che vanno al di là di quelle dei singoli individui e delle popolazioni che la compongono.

COMUNITÀ LIMNETICHE. Comunità biotiche della zona fotica delle acque stagnanti.

CONSUMATORI (vedi **eterotrofi**).

COSMOPOLITA. Specie caratterizzate, in virtù della loro notevole capacità adattativa, da un grande diffusione geografica.

COSTIERI. Organismi che vivono in prossimità della costa (nei laghi e nei mari).

CRENOBIONTI. Organismi tipici degli ambienti caratterizzati da acque sorgive.

CRENOFILI. Organismi adatti agli ambienti caratterizzati da acque sorgive.

CRENON. Ambiente caratterizzato da acque sorgive.

CRENOXENI. Organismi occasionali in ambienti caratterizzati da acque sorgive, ma più adatti ad altri ambienti.

DECOMPOSITORI (vedi **saprotrofi**).

DEME. Categoria più ristretta dell'ecotipo. È l'unità di popolazione più piccola, formata da gruppi di individui geneticamente molto simili, uniti uno all'altro da un interno rapporto temporale e spaziale. Si tratta di porzioni molto ristrette di popolazioni parzialmente isolate.

DENSITÀ. Rapporto tra il numero di individui di una specie e la superficie di ambiente da essi occupata.

DIADROMO. Organismo che vive sia in acque dolci, sia in quelle salate.

DISGIUNTA. Distribuzione di individui di una popolazione in località diverse, non in contatto fra loro.

DISTROFIA. Situazione di un ambiente acquatico (solitamente ad acque stagnanti) caratterizzato da un elevatissimo livello trofico e con equilibri ecologici profondamente alterati.

DRIFTT. Trascinamento degli organismi verso valle per l'azione della corrente in un corso d'acqua, in particolare durante le manifestazioni di piena.

ECOSISTEMA (ambiente, biogeocenosi). Unità che include tutti gli organismi in una data area (comunità biotica), interagenti con l'ambiente fisico (biotopo) in modo tale che il flusso di energia porti a una ben definita struttura trofica, ad

una diversità biotica e a una ciclizzazione della materia (scambi fra viventi e non viventi) all'interno del sistema.

ECOTIPO. Categoria ecologica (razza, forma, sottospecie) rappresentata da un insieme di individui di una specie con caratteri morfologici esterni diversi dall'abito tipico medio della stessa specie e dovuti alle particolari condizioni ambientali in cui vivono.

ECOTOPO. Spazio specifico vitale (territorio) proprio di ogni organismo.

ELOFITE. Piante acquatiche della fascia riparia umida prossima alla riva.

ELOPLANKTON. Plancton litorale.

EMOFAGO. Che si nutre di sangue; solitamente parassiti.

ENDEMISMO. Categoria tassonomica (in genere la specie) peculiare di un'area circoscritta e più o meno limitata come estensione.

ENDOBIONTI. Organismi dell'endobenthos.

ENDOBENTHOS. Insieme di organismi del benthos che vivono sprofondati nei primi centimetri di spessore dei fondali.

ENDOFAGI. Larva di insetto parassita.

ENDOFITA. Parassita che vive all'interno di un organismo vegetale.

ENDOGEA. Comunità costituente l'endobenthos.

EPIBIONTI. Organismi dell'epibenthos.

EPIBENTHOS. Insieme di organismi del benthos che si muovono strisciando o deambulando sulla superficie dei fondali.

EPIFITA. Organismo che vive sulla superficie di vegetali, spesso nutrendosene.

EPIFAUNA. Insieme di organismi animali che vivono sulla superficie dei fondali.

EPILITICO. Organismo (in genere vegetale) che vive sulla superficie dei ciottoli, dei massi e delle superfici rocciose negli alvei dei corsi d'acqua e nelle zone litorali di mari, laghi e stagni.

EPILITORALE. Aggettivo per definire un ambiente o una comunità biotica della fascia presso le rive di una zona umida, ma dove l'influenza dell'acqua è molto limitata.

EPIPELICO. Aggettivo per definire ambienti o organismi (vegetali) che vivono sui fondali corrispondenti alla zona sublitorale (dove la luce è molto scarsa).

EPIPLEUSTON. Organismi (macroinvertebrati) che vivono nel mezzo aereo e che possono "camminare" e "correre" sulla superficie dell'acqua sfruttandone la tensione superficiale.

EPIZOICO. Organismo che vive sulla superficie di animali, spesso nutrendosene.

ERBIVORO (vedi **fitofago**).

ESOTICA (vedi **alloctona**).

ETEROTERMI (vedi **pecilotermi**).

ETEROTROFI (**consumatori**). Organismi che utilizzano sostanza organica già sintetizzata assumendo il materiale (o residui) prodotto dagli autotrofi.

EUFOTICO. Ambiente con luce abbondante.

EULIMNOS. Insieme di organismi pelagici.

EULITORALE. Porzione di litorale soggetta ai movimenti del modo ondoso (maree e sesse nei laghi).

EURIALINO. Organismo tollerante ampie variazioni di salinità nelle acque in cui vive.

EURIFAGO. Organismo in grado di utilizzare una vasta gamma di risorse alimentari (ampio spettro trofico).

EURIECI. Organismi che possono adattarsi facilmente in biotopi diversi.

EURITERMI (alternativo di stenotermi). Organismi che tollerano ampie variazioni di temperatura.

EURITOPA. Specie che occupa un ecotopo *non* caratterizzato da particolari condizioni (in genere ristrette) ottimali di vita. (alternativo di stenotopa).

EUTROFIA (grado di **trofia**). Grande disponibilità di nutrienti in un determinato ambiente per gli organismi autotrofi (elevata produttività primaria).

EUTROFIZZAZIONE. Insieme di processi sia naturali, sia legati alle attività umane, che concorrono all'arricchimento della disponibilità di nutrienti in un ambiente.

FAGOTROFI (macroconsumatori). Consumatori primari, secondari,...; erbivori, predatori, parassiti,... tutti eterotrofi.

FAUNA. Insieme di tutti gli animali che si trovano in una data regione o che popolano un determinato ambiente, autoctoni, esotici o allevati. Tale termine specifica l'elenco delle specie presenti prescindendo da valutazioni di tipo ecologico. Per i vegetali è la **flora**. Si possono indicare anche particolari raggruppamenti quali, per esempio, *entomofauna* (insieme degli insetti), *ittiofauna* (pesci), *erpetofauna* (anfibi e rettili), *ornitofauna* (uccelli), *teriofauna* (mammiferi),...

FENOTIPO. L'insieme delle caratteristiche esterne di un individuo (la sua apparenza) risultato dell'interazione fra genotipo (progetto genetico) ed ambiente.

FERMENTAZIONE. Processo caratteristico di organismi eterotrofi anaerobi (batteri, funghi) che demoliscono solo parzialmente la sostanza organica in molecole più semplici (es. acidi acetico e lattico).

FILTRATORE. Organismo che si nutre di particelle organiche e/o di microrganismi attraverso meccanismi di filtrazione dell'acqua.

FITOBENTHOS. Vegetali (idrofite, alghe) che vivono in stretto contatto con il fondo.

FITOCENOSI. Comunità di specie vegetali, naturali e interdipendenti, che occupano un biotopo (insieme alla zoocenosi costituisce la biocenosi).

FITOFAGO. Consumatori del secondo livello della catena alimentare (**erbivoro**).

FITOPLANTOFAGO. Consumatori del fitoplancton (secondo livello della catena alimentare, paragonabili agli erbivori) in genere appartenenti allo zooplancton.

FITOPLANKTON. Plancton vegetale; vive nella zona fotica delle acque stagnanti e dei mari caratterizzandone in modo importante la produttività (cianoficee, cloroficee, crisoficee, dinoflagellati,...).

FLORA. Tutte i vegetali che si trovano in una data regione o che popolano un determinato ambiente, siano esse spontanee, naturalizzate o coltivate. Tale termine specifica l'elenco delle specie presenti prescindendo da valutazioni di tipo ecologico. Per gli animali è la **fauna**.

FLOS ACQUAE. Produzione algale massiva (fioritura) in genere dovuta ad eutrofizzazione.

FONTICOLI. Organismi tipici delle acque sorgive (o di fonte).

FORESIA. Abitudine, da parte di certi organismi, di farsi trasportare da altri di dimensioni maggiori o dotati di maggiore vagilità.

FOTOSINTESI. Produzione di sostanza organica a partire da acqua, anidride carbonica e composti minerali semplici utilizzando, come fonte di energia, la luce. È un processo sviluppato dalle cianoficee, dalle alghe e dai vegetali veri e propri.

FREATICOLI. Organismi che vivono all'interno dei sedimenti in particolare fra detriti ghiaiosi e ciottolosi.

FREGA. Insieme delle azioni, di solito collegiali, compiute dai pesci nel periodo della riproduzione.

GALENOFILO. Organismo che vive in baie, golfi, presso le coste, in aree riparate, prive o quasi di correnti.

GAMODROMO (vedi **agamodromo**).

GENOTIPO. Costituzione genetica di un individuo, cioè insieme di geni presenti (compresi anche quelli non espressi) nei suoi cromosomi.

GEOFILO. Organismo che vive su fondali melmosi o sabbiosi.

GREGARIA. Specie i cui individui vivono in gruppi più o meno numerosi.

HABITAT. Luogo dove vive un determinato organismo. Termine frequentemente usato, in modo poco ortodosso, anche come sinonimo di ambiente o di ecosistema.

HALIPLANTON. Plancton delle acque salate.

HAPTOBENTHOS. Organismi del benthos che prediligono le superfici solide.

HELEOPLANTON. Plancton legato alla zona litorale; si trova anche in stagni, paludi, pozze e risaie.

HERPOBENTHOS. Organismi del benthos che si muovono nel fango.

HYPALMIROPLANTON. Plancton delle acque salmastre.

IBRIDAZIONE. Incrocio dei patrimoni genetici di individui appartenenti a due specie diverse che porta ad ibridi con caratteri intermedi tra quelli dei genitori (termine usato anche per l'incrocio fra due ecotipi appartenenti alla stessa specie).

IDROFILO. Organismo che predilige le zone umide.

IDROFITE. Piante superiori, organizzate in tessuti ed organi, che vivono parzialmente o totalmente in acqua; la dipendenza dal mezzo acquoso permette inoltre ulteriori raggruppamenti.

IGROPETRICI. Ambienti caratterizzati da rocce bagnate da un velo d'acqua (ospitano organismi madicoli).

INDIGENA (vedi **autoctona**).

INFAUNA. Insieme di organismi animali che vivono affossati nel sedimento.

INFRALITORALE. Porzione di litorale al di sotto della superficie dell'acqua, fin dove arriva abbondante la luce (in grado di sostenere il processo di fotosintesi di idrofite; perciò viene anche detto *fitolitorale*); il suo limite al largo lo separa dalla zona pelagica. Viene distinta in *eulitorale*, *litorale superiore* (dove si sentono ancora gli effetti del moto ondoso) e *litorale media* (dove l'acqua è ferma e la luce ancora abbondante).

INQUILINISMO. Tipo di associazione fra due organismi di specie diverse in cui un associato trae vantaggio per lo spazio vitale, in particolare per i rifugi.

IPERTROFIA (grado di **trofia**). Situazione di un ambiente con livello trofico massimo, addirittura superiore alla eutrofia.

IPOGEO. Organismo che vive in un habitat sotterraneo.

LENTICO. Aggettivo per definire un ambiente o una comunità biotica delle zone umide ad acque stagnanti o debolmente correnti.

LIMNOPLANTON. Plancton presente nei laghi.

LITOFAGO. Organismo animale che scava nicchie in rocce per rifugiarsi o per condurre vita sessile. Letteralmente significa "si nutre di pietra"; si tratta quindi di un termine non propriamente corretto.

LITORALE. Aggettivo per definire un ambiente o una comunità biotica della fascia presso le rive di una zona umida e che si estende sia al di sotto, sia al di sopra della superficie dell'acqua con ulteriori suddivisioni *epilitorale*, *sopralitorale*, *infralitorale*, *sublitorale*; al largo di essa si trova la zona pelagica.

LIVELLO TROFICO (vedi **catena alimentare**).

LOTICO. Aggettivo per definire un ambiente o una comunità biotica delle zone umide ad acque correnti.

LUTOBIA. Organismo che vive nel fango.

MACROCONSUMATORI (vedi **fagotrofi**).

MACROELEMENTI (vedi **macronutrienti**).

MACROFAGI. Animali che si nutrono di organismi di apprezzabile grandezza.

MACROFAUNA. Termine improprio, poco usato. È l'inverso di "microfauna" e raggruppa tutti gli organismi animali di dimensioni superiori al millimetro; con una simile definizione appartengono a questa categoria la formica e la balena.

MACROFITE (vedi **idrofite**).

MACROINVERTEBRATI. Organismi invertebrati con lunghezza superiore al millimetro.

MACRONUTRIENTI (**macroelementi**). Sali minerali necessari in quantità elevata per i normali processi sintetici degli organismi autotrofi (N, P, K, Ca, S, Mg,).

MACROPLANTON (**macroseston**). Plancton con individui di dimensioni 1 ÷ 20 mm.

MACROSESTON (vedi **macroplankton**).

MADICOLI. Organismi che vivono in ambienti caratterizzati da un semplice velo d'acqua.

MEGALOPLANTON (**megaloseston**). Plancton con individui di dimensioni 20 ÷ 30 mm.

MEGALOSESTON (vedi **magaloplankton**).

MEROPLEUSTON. Organismi che spuntano alla superficie, da di sotto della pellicola superficiale dell'acqua (per es. per raccogliere aria o cibo).

MESOFaUNA. Fauna con dimensioni intermedie tra macrofauna e microfauna. Termine improprio con limiti mal definiti a seconda dell'uso.

MESOPANTON (**mesoseston**). Plancton con individui di dimensioni 0,5 ÷ 1 mm.

MESOSAPROBI. Organismi (vegetali e animali) viventi entro un ambiente con sostanze organiche in putrefazione (situazione intermedia tra oligo e polisaprobi).

MESOSESTON (vedi **mesoplankton**).

MESOTROFIA (grado di **trofia**). Media disponibilità di nutrienti in un ambiente per gli organismi autotrofi (situazione intermedia tra oligotrofia ed eutrofia).

MICROCONSUMATORI (vedi **microfagi**).

MICROELEMENTI (vedi **miconutrienti**).

MICROFAGI (**microfagi**). Animali che si cibano di organismi molto piccoli o di minute particelle nutritive.

MICROHABITAT. Porzione di habitat di estensioni ridotte o molto ridotte. Un habitat può essere suddiviso in diversi microhabitat.

MICROINVERTEBRATI (costituenti la **microfauna**).

MICROFAUNA (vedi **microinvertebrati**). Termine poco chiaro in quanto teoricamente comprenderebbe anche gli organismi unicellulari e quindi con significato diverso da quello di "microinvertebrati".

MICROFITE (vedi **microflora**).

MICROFLORA (**microfite**). Insieme di organismi vegetali microscopici comprendenti anche le alghe azzurre, le fi-

toflagellate e buona parte delle euficee; talora sono compresi in questo insieme anche i batteri.

MICRONUTRIENTI (microelementi). Sali minerali necessari in quantità modeste per i processi sintetici degli organismi autotrofi (Mn, Fe, Zn, Mo, Cu, B, Cl, Co).

MICROPLANCTON (microseston). Plancton con individui di dimensioni $0,05 \div 0,5$ mm.

MICROPLEUSTON (vedi **neuston**).

MICROSESTON (vedi **microplancton**).

MICROZONA. Strato d'acqua immediatamente sovrastante i bassi fondali dei laghi e dei mari (in esso è presente ossigeno in quantità generalmente inferiore rispetto alle acque sovrastanti).

MIGRAZIONI. Spostamenti lungo gli alvei fluviali da o verso il mare, più limitati entro le acque dolci ed in genere più ampi entro le acque marine o in aree continentali. Possono essere **genetiche** (o **riproduttive**) se si tratta di spostamenti, più o meno massivi per i siti riproduttivi adatti o **trofiche** per la ricerca di cibo.

MOBILITÀ. Capacità di un determinato organismo di spostarsi per fini trofici e/o riproduttivi durante tutto o parte del suo ciclo vitale. Alla mobilità è strettamente legata la possibilità di colonizzazione di nuove aree. Potrebbe essere considerato sinonimo di **vagilità**.

MONODROMO. Organismo che vive esclusivamente in acqua dolce.

MONOTIPICA. Specie priva di categorie tassonomiche immediatamente subordinate (sottospecie).

MONOTOPA. Specie che occupa un ecotopo molto ristretto.

NANOPLANCTON (nanoseston). Plancton con individui di dimensioni $5 \div 50$ micron.

NANOSTESTON (vedi **nanoplancton**).

NECTON. Organismi capaci di spostarsi autonomamente (pesci, anfibi, alcuni macroinvertebrati,...).

NECTOPLANCTON. Organismi planctonici dotati di limitata autonomia di spostamento.

NEOENDEMISMO. Endemismo di origine recente.

NEUSTON (micropleuston). Organismi che si posano e nuotano in corrispondenza della superficie. Si distingue l'**epineuston** dall'**iponeuston** che raggruppano rispettivamente gli organismi appoggiati sulla superficie e quelli che vivono immediatamente al di sotto.

NICCHIA ECOLOGICA. Di un organismo: è lo spazio fisico da esso occupato (**nicchia spaziale**), il suo ruolo funzionale nella comunità come per esempio la sua posizione trofica (**nicchia trofica**) e la sua posizione nei gradienti ambientali di temperatura, umidità, pH,... (**nicchia pluri-dimensionale**).

NICTENERALE. Relativo al giorno e alla notte su 24 ore consecutive.

NOMADE. Specie che compie spostamenti per motivi che non riguardano la riproduzione.

NUTRIENTI (sali biogeni). Sali minerali (di N, P, K, ecc...) disciolti nelle acque e utilizzati dai produttori per i processi di sintesi delle sostanze organiche.

OLIGOFOTICO. Termine per qualificare un ambiente con poca luce per i processi di fotosintesi (intermedio tra afotico ed eufotico).

OLIGOTROFIA (grado di **trofia**). Scarsa disponibilità di nutrienti in un determinato ambiente per gli organismi autotrofi (scarsa produttività primaria).

OLIGOSAPROBI. Organismi (vegetali e animali) viventi entro un ambiente caratterizzato da modeste quantità di sostanze organiche in putrefazione.

OLOBIOTICO. Organismo che vive in un unico ambiente (per esempio che vive in acqua dolce senza compiere migrazioni verso acque salate).

OMEOTERMI. Organismi in grado di mantenere costante la temperatura corporea (Uccelli e Mammiferi).

ONNIVORO. Che si nutre sia di vegetali, sia di animali; consumatore che occupa diversi livelli della catena alimentare.

PALEOENDEMISMO. Endemismo di origine geologicamente antico.

PARALIMNION. Insieme delle zone sopralitorale ed epilitorale.

PARASSITISMO. Tipo di convivenza tra due organismi di specie diverse in cui uno dei due contraenti, il *parassita*, trae vantaggio, mentre l'altro, l'*ospite*, è danneggiato.

PECILOTERMI (eterotermini). Organismi la cui temperatura corporea dipende da quella dell'ambiente circostante.

PELAGICO. Aggettivo per definire un ambiente o organismi in acque non profonde al largo nei laghi e nei mari.

PERIPHYTON. Organismi (prevalentemente vegetali, ma anche animali, attaccati o aderenti agli steli o alle foglie di piante acquatiche o ad altre superfici (ciottoli, massi, tronchi sommersi,...) che si sollevano sul fondo.

PIRAMIDE ECOLOGICA. Rappresentazione grafica della struttura trofica. Alla base sta il livello della produzione (autotrofi) e i gradini successivi rappresentano i diversi livelli trofici dei consumatori. Possono essere rappresentate con i numeri (di individui per livello), con le biomasse e con i trasferimenti di energia.

PLANCTON. Organismi che vivono sospesi nelle acque stagnanti, incapaci di compiere veri e propri spostamenti autonomi. Quelli zooplanctonici possono effettuare movimenti che favoriscono il mantenimento della posizione verticale (profondità), ma il plancton in generale è incapace di muoversi contro una corrente apprezzabile.

PLANCTOBENTHOS. Piccoli organismi costituenti il plancton, ma che vivono molto vicino al fondale.

PLEIOTOPA. Specie che occupa un ecotopo molto esteso. Le varie fasi del ciclo vitale possono realizzarsi anche in habitats anche lontani tra loro.

POLICRONO. Organismo con livrea multicolore o specie che offre un'ampia variabilità cromatica.

POLIMORFISMO. Simultanea presenza, nell'ambito della stessa popolazione, di due o più fenotipi discontinui geneticamente controllati. Una specie che presenta tale fenomeno è detta *polimorfa*.

POLITIPICA. Categoria (specie) che contiene due o più categorie immediatamente subordinate (sottospecie).

POLISAPROBI. Organismi (vegetali e animali) viventi entro un ambiente caratterizzato da abbondanza di sostanze organiche in putrefazione.

POPOLAZIONI. Gruppo di organismi della stessa specie (o di individui fra i quali esiste la possibilità di scambio genetico) che occupano una data zona, con caratteristiche tipiche del gruppo e non dei singoli individui.

POTAMOBIO. Organismo che si riproduce (depone uova) in ambienti con acque dolci.

POTAMON. Ambiente caratterizzato da organismi adatti ad acque lente e calde.

POTAMOPLANCTON. Plancton tipico dei fiumi (presente in situazioni poco frequenti, in zone di corsi d'acqua con corrente molto lenta).

POTAMOTECA (vedi **anadroma**).

PREDA. Organismo oggetto di predazione.

PREDAZIONE. Insieme di attività di alcune specie animali (*predatori*) atte alla cattura di altri animali (*prede*) allo scopo di soddisfare esigenze alimentari. Il rapporto predatore/preda costituisce un fattore di particolare importanza nell'analisi degli ecosistemi.

PREDATORE. Organismo che esercita l'attività di predazione.

PRIMARIA. Specie che non tollera l'acqua salata e vive esclusivamente in acque dolci.

PRODUTTIVITÀ PRIMARIA (o **basale**). Quantità di sostanza vivente prodotta dagli organismi autotrofi nell'unità di tempo e di superficie (di un ecosistema o di una comunità biotica, o di una parte di essa).

PRODUTTIVITÀ PRIMARIA GREZZA (**assimilazione totale** o **fotosintesi totale**). Produttività primaria comprendente anche la sostanza organica consumata nella respirazione.

PRODUTTIVITÀ PRIMARIA NETTA. Produttività primaria al netto della sostanza organica utilizzata nella respirazione (materiale organico immagazzinato).

PRODUTTIVITÀ SECONDARIA (**assimilazione**). Quantità di sostanza organica accumulata nei livelli trofici dei consumatori; comprende anche la materia utilizzata per la respirazione non utile quindi all'aumento della biomassa.

PRODUTTORI (vedi **autotrofi**).

PSAMMON. Comunità animali (in genere macro e micro-invertebrati) che vivono nell'acqua interstiziale dei litorali sabbiosi e ghiaiosi.

RAZZA ECOLOGICA (vedi **ecotipo**).

RESPIRAZIONE AEROBICA (vedi **aerobi**).

RESPIRAZIONE ANAEROBICA (vedi **anaerobi**).

REOFILO. Termine per qualificare un organismo che predilige le acque correnti.

RHEOPLANCTON. Plancton delle acque correnti. Si suddivide in *potamoplancton* e *rhithronplancton*.

RHITRON. Ambiente caratterizzato da organismi adatti ad acque veloci e fredde. Da monte a valle si distinguono: **epirhithron**, **metarithron** ed **iporithron**.

RHITROPLANCTON. Plancton delle zone calme dei ruscelli e dei torrenti.

RHIZOBENTHOS. Organismi del benthos che "razzolano" sul substrato.

RHIZOMENON. Pianta acquatiche fissate ad un substrato. Caratterizza soprattutto la zona litorale.

SALI BIOGENI (vedi **nutrienti**).

SALTUARIA. Specie la cui presenza, in una determinata area geografica o località, è irregolare, aperiodica o discontinua.

SAPROBI (**saprofaghi**). Organismi (vegetali e animali) viventi entro un ambiente caratterizzato da sostanze organiche in putrefazione.

SAPROFAGHI (vedi **saprobi**).

SAPROFITI. Saprobi appartenenti ai funghi e batteri.

SAPROPEL. Sedimenti ricchi di sostanza organica.

SAPROTROFI (**microconsumatori**, **decompositori**). Organismi eterotrofi consumatori in genere microscopici che completano la demolizione di sostanza organica fino alla

mineralizzazione. Possono essere ulteriormente classificati in base al substrato organico.

SAPROZOI. Saprobi animali.

SECONDARIA. Specie che può vivere saltuariamente in acque salmastre o salate.

SECLUSIONE. Insieme di meccanismi adattativi, acquisiti nel corso dell'evoluzione, che consentono ad una determinata specie (in genere cosmopolita) di tollerare ampie variazioni ambientali.

SESSILE. Organismo che vive fisso (ancorato o con possibilità di movimento praticamente nulle) sul fondo.

SESTON. Insieme del plancton e del tripton.

SIMBIOSI. Associazione tra individui (*simbionti*) di specie diverse che traggono entrambi vantaggio dalla vita in comune o ne è avvantaggiato uno senza che l'altro sia danneggiato.

SIMPATRIA. Due o più specie coesistenti nella stessa area geografica.

SOLITARIO. Adulto, di regola un predatore, che vive da solo.

SOPRALITORALE. Ambiente o comunità biotica della fascia presso le rive di una zona umida o del mare immediatamente superiore al bagno/asciuga, dove l'acqua riveste una notevole importanza per gli organismi.

SOTTOSPECIE. Aggregato di popolazioni locali di una specie, presente in una determinata suddivisione geografica dell'areale della specie e differente tassonomicamente dalle altre popolazioni della stessa specie (vedi **ecotipo**).

SPAZIO VITALE. È l'area che un individuo frequenta abitualmente durante la sua normale attività.

SPECIE. Un gruppo di popolazioni effettivamente o potenzialmente interfeconde (costituite da individui che accoppiandosi dando vita ad altri individui fecondi), riproduttivamente isolato da altri gruppi di popolazioni.

STANZIALE. Organismo che non compie migrazioni.

STENOENDEMISMO. Endemismo assoluto

STENOALINO. Organismo che non tollera significative variazioni di salinità.

STENOTERMI (alternativo di **euritermi**). Organismi in grado di vivere in ambienti caratterizzati con intervalli di temperatura relativamente ristretti.

STENOTOPA. Specie che occupa un ecotopo caratterizzato da particolari condizioni (in genere ristrette) ottimali di vita (alternativo di **euritopa**).

STRUTTURA TROFICA. Interazione dei fenomeni delle catene alimentari (perdita e trasferimento di energia) e fra metabolismo e dimensioni degli organismi.

SUBLITORALE. Porzione inferiore dell'infralitorale buia o dove la luce è insufficiente per sostenere con efficacia il processo di fotosintesi delle idrofite; al di sopra di essa si trova la zona pelagica (viene anche detta *litorale inferiore*).

TALASSOBIO. Organismo che si riproduce (depone le uova) in ambiente marino.

TALASSOTOCA (vedi **catadroma**).

TERRITORIO. Area che una specie animale difende attivamente, di solito contro individui della stessa specie (comportamento spesso legato al periodo dell'accoppiamento, di regola tra maschi).

TICOPLANCTON. Plancton tipico degli stagni.

TRIPTON (**abioseston**). Materiale organico non vivente (spoglie di organismi, loro residui, ecc...) in parte sospeso nell'acqua e soprattutto destinato alla sedimentazione ed ai

decompositori. *Entripton* se autoctono e *pseudotripton* se alloctono.

TROFICO. Relativo al nutrimento e alla nutrizione.

TROFIA (*trophe* = nutrimento). Grado di disponibilità di nutrienti in un determinato ambiente per gli organismi autotrofi (grado di fertilità).

TROGLOBIA. Specie che si trova legata all'habitat cavernicolo.

TROGLOSSENA. Specie che si trova in grotta solo incidentalmente.

TROPISMO. Tendenza di alcuni organismi (o di parti di essi) a muoversi in una certa direzione reagendo ad uno stimolo, chimico (**chemiotropismo**), luminoso (**eliotropismo**), gravitativo (**geotropismo**), ecc... È detto "positivo" quando il movimento è diretto verso l'origine dello stimolo, "negativo" quando la tendenza è opposta.

ULTRAPLANKTON. Plankton con individui di dimensioni inferiori a 5 micron.

ULTRASESTON (vedi ultraplankton).

VAGILITÀ. Capacità di movimento (caratteristica degli animali utile alla dispersione sul territorio). Un sinonimo potrebbe essere "mobilità".

VAGILITÀ (vedi **mobilità**).

VALENZA ECOLOGICA. È il grado di adattabilità o di tolleranza di una specie alle variazioni dei fattori ambientali.

VEGETAZIONE. È il complesso della copertura vegetale di una data area, esaminato nelle sue forme biologiche in quanto caratterizzante un dato paesaggio riflettendone le condizioni ecologiche.

VICARIANZA. Due taxa morfologicamente affini, che occupano la stessa nicchia ecologica in aree geograficamente differenti, o di due specie morfologicamente affini e simpatiche aventi però diverse esigenze.

ZONA. Termine molto generico per indicare una porzione dell'ambiente con particolari caratteristiche fisiche e/o biologiche che la distinguono dagli spazi circostanti.

ZOOBENTHOS. Organismi animali (prevalentemente macro e microinvertebrati) in stretto contatto con il fondo. Suddivisibile in **macrozoobenthos**, **meiozoobenthos** e **microzoobenthos** a seconda delle dimensioni.

ZOOCENOSI. Comunità di specie animali, naturali e interdipendenti, che occupano un biotopo (insieme alla fitocenosi costituisce la biocenosi).

ZOOFAGO (vedi **carnivoro**)

ZOOPLANKTOFAGO. Predatore dello zooplankton.

ZOOPLANKTON. Plankton animale; vive nella zona fotica ed afotica delle acque stagnanti e marine (prevalentemente Protozoi e Crostacei).

SCHEDA 2.4 - Datazioni radiometriche

Il nucleo degli atomi è costituito da un determinato numero **Z** (numero atomico) di protoni (**p**) e da un numero **N** di neutroni (**n**). La somma $Z + N = A$ è il numero di massa (numero totale di nucleoni, cioè delle particelle nucleari: protoni e neutroni). Protoni e neutroni sono concentrati in uno spazio piccolissimo, dell'ordine 10^{-13} cm. Come è possibile che i protoni, cariche elettriche positive, che tenderebbero a respingersi con forza notevole, data la vicinanza tra loro estremamente ridotta, possano rimanere racchiusi in un volume così piccolo? La possibilità per tali particelle di essere legate assieme deve dipendere, almeno in parte, dai neutroni; questi infatti sono presenti in numero pressoché uguale a quello dei protoni nel caso degli atomi con nucleo più piccolo ed in numero via via più grande di quello atomico considerando nuclei sempre più pesanti. La stabilità dei nuclei dipende da un preciso rapporto neutroni/protoni che aumenta al crescere del numero atomico degli elementi. Alcuni di questi presentano un rapporto troppo grande o troppo piccolo per garantire la stabilità dei loro nuclei. Come conseguenza si manifestano processi, detti "radioattivi", che comportano modificazioni dei nuclei in modo che questi acquisiscano nuove configurazioni caratterizzate da un rapporto neutroni/protoni più stabile.

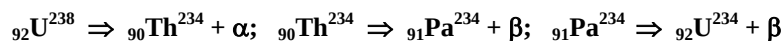
La maggior parte degli elementi sono stabili, cioè i loro atomi restano inalterati nel tempo. Esistono in natura alcune specie atomiche instabili che si "disintegrano", cioè si "trasformano" emettendo radiazioni. Alle radiazioni emesse da questi elementi instabili è dovuta la radioattività naturale.

I processi radioattivi sono conseguenza di reazioni nucleari, cosiddette in quanto coinvolgono i nuclei degli atomi anziché i gusci elettronici come si verifica nel caso delle reazioni chimiche. Le reazioni nucleari comportano l'emissione di radiazioni, cioè insieme di particelle elementari. A differenza di quanto avviene nei processi chimici, per i quali la velocità con la quale avvengono dipende essenzialmente dalle condizioni di temperatura, pressione, dal tipo di catalizzatori,... nelle reazioni nucleari la velocità di disintegrazione ha un valore caratteristico in funzione delle specie atomiche; essa risulta indipendente dalle condizioni esterne, mantenendosi costante da temperature vicine allo zero assoluto (-273 °C), sino a migliaia di gradi, da pressioni prossime allo zero, sino a migliaia di atmosfere.

Per caratterizzare ogni specie radioattiva si usa il cosiddetto **periodo di semitrasformazione** ($t_{1/2}$) che rappresenta *il tempo necessario affinché una quantità qualunque di sostanza radioattiva si riduca alla metà* (fig. 2.27). Le sostanze radioattive presenti in natura possono essere distinte in due categorie:

- *specie atomiche radioattive di origine primaria* a periodo di semitrasformazione molto lungo, anche di miliardi di anni;
- *specie atomiche radioattive di origine secondaria* con vita molto più breve, da millesimi di secondo a 100.000 anni.

Negli elementi radioattivi naturali la disintegrazione avviene in alcuni casi con l'emissione di una particella α , costituita da un nucleo di elio, recante quindi due cariche positive (${}^2\text{He}^4$). In altri casi avviene con l'emissione di una particella β , cioè di un elettrone (e^-); nei nuclei instabili un neutrone, che per sua natura è privo di carica, perde una carica elettrica pari a quella di un elettrone (e^-) diventando così un protone con carica positiva secondo la reazione ${}_0n^1 \Rightarrow {}_0p^1 + e^-$; la particella e^- viene quindi emessa come radiazione. Talvolta vengono emesse radiazioni del tipo γ , di natura elettromagnetica, che spesso accompagna l'emissione di particelle α e β . Un tipico esempio di trasformazione può essere la seguente:



Essa comporta, a partire dall'isotopo dell'uranio ${}_{92}\text{U}^{238}$ ($A = 238$, $Z = 92$), con una emissione α e due β , la formazione dell'uranio ${}_{92}\text{U}^{234}$, cioè un isotopo con nucleo formato dallo stesso numero atomico $Z = 92$ protoni, ma con quattro neutroni in meno ($N = A - Z = 142$). Gli elementi radioattivi di origine primaria vengono anche denominati *genitori di una serie radioattiva naturale* e sono:

- ${}_{92}\text{U}^{238}$; *uranio-238*, costituisce il 99,3 % dell'uranio naturale ed ha periodo di semitrasformazione di $4,5 \cdot 10^9$ di anni;
- ${}_{92}\text{U}^{235}$; *uranio-235*, è presente nell'uranio naturale per lo 0,7 % ed un periodo di semitrasformazione di $700 \cdot 10^6$ di anni; esso è molto importante per la produzione di energia nucleare;
- ${}_{90}\text{Th}^{232}$; *torio-232*, il solo costituente del torio naturale con periodo di semitrasformazione pari a $14 \cdot 10^9$ di anni.

Carattere comune di questi tre elementi, oltre quella di avere periodi di semitrasformazione molto lunghi, è di essere emettitori α e di dar luogo, per disintegrazione, a isotopi (di origine secondaria) a loro volta radioattivi, ma con periodi di semitrasformazione più brevi (quali Pa, Ac, Ra, Fr, Rn, At,...). Ciascuna serie procede fino a raggiungere all'isotopo stabile del piombo.

Oltre i nuclidi appartenenti alle tre serie sopra citate, esistono in natura altri nuclei radioattivi più leggeri. Il più importante è il potassio ${}_{19}\text{K}^{40}$ che ha un periodo di semitrasformazione di 1,8 miliardi di anni e che si disintegra in due modi diversi dando origine ai nuclidi calcio ${}_{20}\text{Ca}^{40}$ o argo ${}_{18}\text{Ar}^{40}$. Altri radionuclidi naturali sono il ${}_{37}\text{Rb}^{87}$ ($t_{1/2} = 5 \cdot 10^{10}$ anni), ${}_{57}\text{La}^{138}$ ($t_{1/2} = 2 \cdot 10^{10}$ anni), ${}_{62}\text{Sa}^{147}$ ($t_{1/2} = 2,5 \cdot 10^{11}$ anni), ${}_{71}\text{Lu}^{176}$ ($t_{1/2} = 7,5 \cdot 10^{10}$ anni), ${}_{75}\text{Re}^{187}$ ($t_{1/2} \approx 10^{12}$ anni).

La presenza in natura di materiali radioattivi permette l'applicazione di metodologie utili per le **datazioni assolute** delle rocce costituenti la crosta. Nuclei di elementi radioattivi sono presenti nel reticolo cristallino dei minerali costituenti le rocce dal momento della loro formazione. Tali nuclei, essendo instabili, si trasformano progressivamente in altri stabili non radioattivi. Man mano che passa il tempo, dal momento della sua formazione, il materiale roccioso contiene quantità di materiali radioattivi sempre minori e maggiori quantità di materiali con nuclei stabili. Misurando con speciali apparecchiature le quantità degli isotopi radioattivi e dei loro derivati e conoscendo di ciascuno i periodi di semitrasformazione, è possibile valutare l'età delle rocce, anche se molto antiche.

Datazioni accurate, ma limitate ad alcune decine di migliaia di anni, sono quelle eseguibili sui legni fossili, conchiglie, ossa,... mediante il carbonio radioattivo ${}_{6}\text{C}^{14}$. Questo si forma nell'atmosfera per azione dei raggi cosmici sull'azoto ed entra, insieme al carbonio stabile (${}_{6}\text{C}^{12}$), non radioattivo, a far parte dell'anidride carbonica (CO_2) presente nell'atmosfera. Tale carbonio viene assimilato dai vegetali e, tramite questi, dagli erbivori e dagli animali dei successivi anelli della catena alimentare. Nei viventi il rapporto $\text{C}^{14}/\text{C}^{12}$ è praticamente costante, corrispondente a quello presente nell'atmosfera e che si presuppone non sia cambiato durante la storia più recente della Terra. Quando l'organismo muore, cessa l'assunzione di C^{14} mentre quello già presente si disintegra gradualmente. Quindi, con il passare del tempo, diminuisce il rapporto $\text{C}^{14}/\text{C}^{12}$. Dalla valutazione di quest'ultimo in un resto organico si può stabilire il momento della sua morte.

Le datazioni radiometriche hanno consentito di stabilire l'età assoluta di molti campioni di masse rocciose provenienti un po' da tutto il globo. È stato quindi possibile stabilire una connessione cronostratigrafica sufficientemente ben correlata con le datazioni relative derivate dai metodi paleontologici e geostatigrafici, arrivando ad una scala dei tempi geologici abbastanza attendibili.

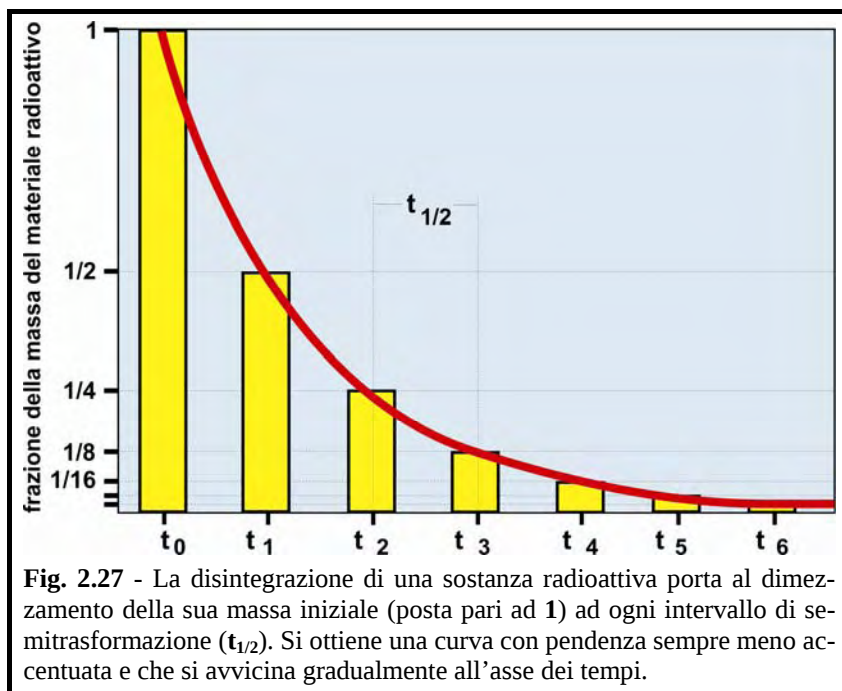


Fig. 2.27 - La disintegrazione di una sostanza radioattiva porta al dimezzamento della sua massa iniziale (posta pari ad 1) ad ogni intervallo di semitrasformazione ($t_{1/2}$). Si ottiene una curva con pendenza sempre meno accentuata e che si avvicina gradualmente all'asse dei tempi.