

Oltre il libro

VI

Alfonso Bosellini - Le Scienze della Terra **I materiali della Terra solida**



Dall'origine della vita alla comparsa dell'uomo

Il Precambriano

L'origine della vita

L'esperimento di Miller

Dall'atmosfera riducente all'atmosfera ossidante

I fossili più antichi

Il Fanerozoico

Eventi geologici del Paleozoico

Eventi biologici del Paleozoico

Documento *Il Paleozoico in Italia*

Eventi geologici del Mesozoico

Eventi biologici del Mesozoico

Documento *Il Mesozoico in Italia*

Documento *Le estinzioni di massa*

Eventi geologici del Cenozoico

Eventi biologici del Cenozoico

Documento *Il Cenozoico in Italia*

Copyright © 2012 Italo Bovolenta editore s.r.l. Ferrara

Questo documento è tratto dal volume «Alfonso Bosellini - LA TERRA DINAMICA E STORIA GEOLOGICA DELL'ITALIA, Italo Bovolenta editore, Ferrara, 2009» e è strettamente riservato ai docenti che adottano l'opera «Alfonso Bosellini - I MATERIALI DELLA TERRA SOLIDA, Italo Bovolenta editore, Ferrara, 2012».

Disegni: Andrea Pizzirani
Stesura degli esercizi: Gino Bianchi, Annarosa Baglioni, Anna Ravazzi.

Copertina:

- Progetto grafico: Chialab, Bologna
- Realizzazione: Christian Magagni

La riproduzione, la copia e la diffusione dell'intero documento, o di sue parti, è autorizzata ai soli fini dell'utilizzo nell'attività didattica degli studenti delle classi che hanno adottato il testo.

Per segnalazioni o suggerimenti scrivere all'indirizzo:

Italo Bovolenta editore
Via Della Ginestra, 227/1
44020 Ferrara
tel. 0532/259386 - fax 0532/259387
e-mail bovolenta@iol.it
sito web: www.bovolentaeditore.it

VI



Dall'origine della vita alla comparsa dell'uomo

Se si osserva la successione delle ere geologiche, è facile notare che la loro durata diminuisce man mano che ci si avvicina alle epoche più recenti. Ciò è dovuto al fatto che la scansione delle ere è fornita dalla traccia di eventi geologici o biologici particolarmente rilevanti. La leggibilità delle tracce lasciate da questi eventi si affievolisce nel tempo: più si risale indietro, più gli eventi capaci di lasciare una traccia devono essere stati di grande rilievo e pertanto rari.

DALLA PRIMA CROSTA ALL'ESPLOSIONE DELLA VITA

Nel Proterozoico, tra 750 e 580 Ma fa, si sono verificate almeno 4 glaciazioni. Vari dati geologici, paleomagnetici e geochimici indicano che tutto il globo era ricoperto di ghiaccio. Da qui il nome di **Snowball Earth** (Terra palla di neve) dato al nostro pianeta per quel periodo. Sulla «Terra palla di neve» anche gli oceani erano quasi completamente gelati. La temperatura media globale era di $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e la temperatura media all'equatore $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pare che i viventi abbiano superato questa drammatica fase climatica grazie ai batteri rifugiatisi lungo le dorsali oceaniche dove sorgenti calde permettevano la vita.

VI.1 Il Precambriano

Il lunghissimo periodo di tempo che va dalla genesi della Terra fino all'esplosione della vita, avvenuta circa 545 milioni di anni fa, è chiamato informalmente **Precambriano**. Sebbene si tratti di un lasso di tempo superiore ai 4 miliardi di anni, quasi i nove decimi di tutta la storia della Terra, del Precambriano si sa poco, sia dal punto di vista geologico sia paleontologico. Il Precambriano viene suddiviso in tre eoni: Adeano, Archeano e Proterozoico (figura VI.1). L'eneo **Adeano** (dal greco *hades* = mondo infernale) comprende la parte più antica della storia della Terra, dalla sua origine fino a $4\div 3,8$ miliardi di anni fa. L'eneo **Archeano** (dal greco *archaios* = antico) si fa iniziare con le rocce più antiche finora documentate, che hanno età compresa tra circa 4 e 2,5 miliardi di anni. Tutte le rocce con età tra 2,5 miliardi e 542 milioni di anni costitui-

scono l'eneo **Proterozoico** (dal greco *proteros* = primitivo e *zoikos* = di animale).

Quando si studiano le formazioni risalenti a una determinata era, troviamo in profondità gli strati più antichi e in alto gli strati più recenti. Per questo motivo è invalso l'uso di definire «inferiore» la parte più antica di un'era e «superiore» la parte più recente. La datazione delle rocce precambriane, povere o del tutto prive di fossili, è effettuata quasi esclusivamente con metodi radiometrici. Le rocce precambriane sono in larga parte metamorfiche e granitiche.

Al periodo della storia della Terra che oggi chiamiamo Precambriano furono dati i nomi, ora poco usati, di Azoico e Criptozoico, che significano rispettivamente «privo di vita» e «con vita nascosta».

FIGURA VI.1 Divisione in eoni e principali eventi geologici e biologici del Precambriano.

Eone	Limiti (milioni di anni)	Durata (milioni di anni)	Eventi principali
Fanerozoico			
Precambriano	542	4.058	▶ Grandi e ripetute glaciazioni
	2.500		▶ Comparsa delle cellule con nucleo
	4.000		▶ Sviluppo della fotosintesi
Adeano	4.600		▶ Prime rocce sedimentarie
			▶ Le più antiche rocce conosciute
			▶ Formazione degli oceani e dei continenti

Nella parte superiore, il Proterozoico, si trovano anche rocce sedimentarie, quali conglomerati, arenarie, calcari con tracce di carboni fossili ricoperte in discordanza stratigrafica dalle rocce cambriane.

Nel corso del Precambriano si verificarono diverse orogenesi (solo in Africa ne sono state riconosciute sette) individuate da discordanze tra i diversi terreni. I processi orogenetici furono accompagnati da imponenti manifestazioni magmatiche e da intenso e diffuso metamorfismo. In Europa si formarono catene di montagne nella regione russo-scandinava, cioè le Sveccocareliidi e le Ebridi (figura VI.2). In Nordamerica sono state individuate tre distinte orogenesi: Laurentiana, Algonmanica e Huroniana. Tutte queste rocce precambriane si trovano allo scoperto nel cuore dei cratoni, cioè nelle parti più antiche e stabili dei continenti.

VI.2 L'origine della vita

I primi sistemi viventi comparvero sulla Terra prima di 3,5 miliardi di anni fa. A questa età risalgono infatti i più antichi fossili conosciuti, resti di batteri non dissimili da quelli attuali e quindi probabilmente preceduti da altre forme ancora più semplici. È certamente nel Precambriano che si originò la vita. Non sarà mai possibile documentare direttamente quell'evento, tuttavia possiamo ricostruire le condizioni ambientali in cui esso si verificò. A partire da quelle della Terra primitiva, possiamo inoltre ipotizzare catene di fenomeni che potrebbero plausibilmente avere portato alla comparsa dei primi sistemi viventi e cercare prove indirette di questi fenomeni.

Nel 1924 un giovane geochimico russo, Aleksandr Ivanovic Oparin, suppose che la primordiale atmosfera terrestre mancasse di ossigeno e contenesse molti gas riducenti quali ammoniaca, NH_3 , idrogeno, H_2 , e metano, CH_4 . Egli riteneva che, in una simile atmosfera, l'energia fornita dai raggi ultravioletti o dai fulmini avesse reso possibili reazioni chimiche che avrebbero prodotto molecole organiche simili agli amminoacidi, i «mattoni» delle proteine.

Una volta formati, gli amminoacidi si sarebbero uniti con legami peptidici e avrebbero formato catene polipeptidiche e proteine. Oparin aveva verificato la tendenza delle grosse molecole proteiche a formare involucri sferoidali circondati da acqua (figura VI.3), che egli chiamò **coacervati**. I coacervati, a loro volta, avrebbero formato aggregati sempre più complessi. Alcuni aggregati avrebbero iniziato a mostrare la proprietà di mantenersi stabili e si sarebbero quindi conservati per tempi relativamente lunghi. Tra questi aggregati alcuni avrebbero finito con l'acquisire la capacità di riprodursi e avrebbero dato origine alle più semplici forme di sistemi viventi, le **protocellule**.

In seguito, le protocellule avrebbero acquisito gradualmente caratteristiche sempre più prossime

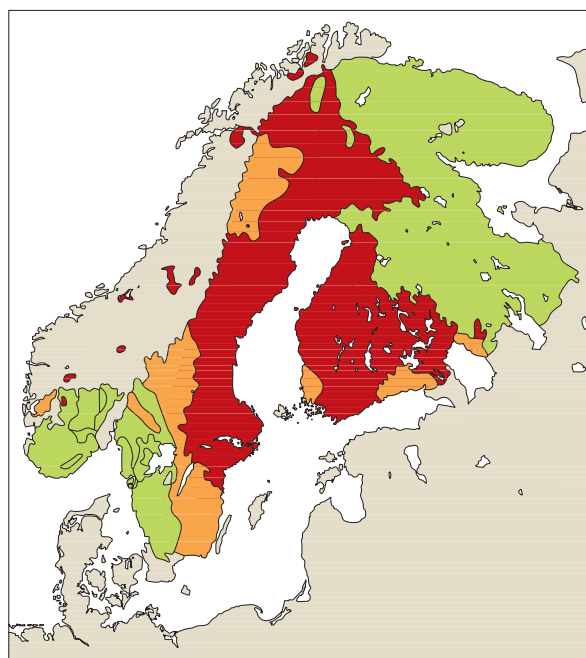
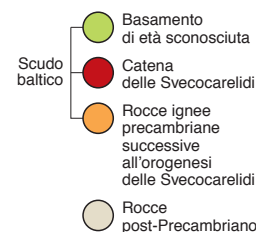


FIGURA VI.2 Nello Scudo baltico, costituito da rocce precambriane, affiorano i resti di antichissime catene montuose, le Sveccocareliidi, ora profondamente erose e ridotte a modesti rilievi.



a quelle dei viventi e il tutto sarebbe culminato nell'apparizione di una sostanza capace di governare la riproduzione e l'ereditarietà (figura VI.4).

Secondo Oparin, questi processi si svolsero nell'oceano primordiale, un «brodo» di molecole organiche. La sequenza di eventi proposta da Oparin prevedeva il verificarsi di fenomeni altamente improbabili dal punto di vista statistico. Tuttavia tali eventi ebbero modo di accadere ugualmente a causa del lunghissimo lasso di tempo a disposizione e per la grande estensione del «brodo» oceanico.

Attualmente le conclusioni di Oparin appaiono un po' affrettate e devono essere riviste. Oggi, ad esempio, si attribuisce molta importanza alla formazione di una membrana capace di separare un ambiente interno da quello esterno. Le membrane biologiche sono costituite da fosfolipidi e si sa che queste molecole formano facilmente aggregati di forma laminare, con molecole disposte su doppi strati, quando sono immerse in acqua. Si può pensare che nel brodo primordiale fossero presenti i fosfolipidi e che queste molecole avessero formato superfici continue e talvolta sferiche. Le sfere avrebbero separato un ambiente circoscritto che sarebbe diventato l'interno della cellula.

Oggi si tende sempre meno a considerare la comparsa della vita frutto di una rara sequenza di eventi improbabili. Si ritiene piuttosto che, in presenza di adeguati flussi di energia, la tendenza di alcuni componenti della materia a organizzarsi in strutture ordinate sia un fenomeno frequente. L'origine dei viventi è vista come una conseguenza quasi scontata delle condizioni chimico-fisiche della Terra primordiale.

FIGURA VI.3 In ambiente acquoso le proteine formano spontaneamente piccole sfere, le cui dimensioni sono dello stesso ordine di grandezza delle più piccole cellule procariote.

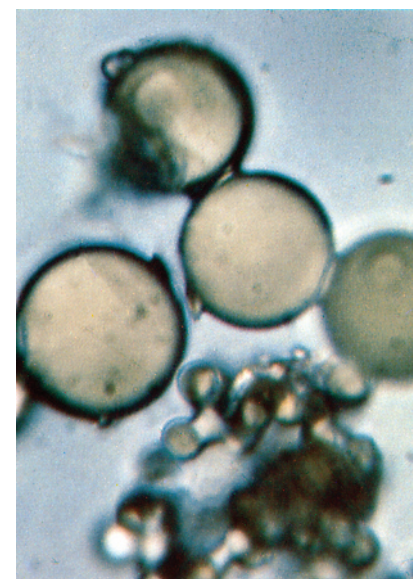
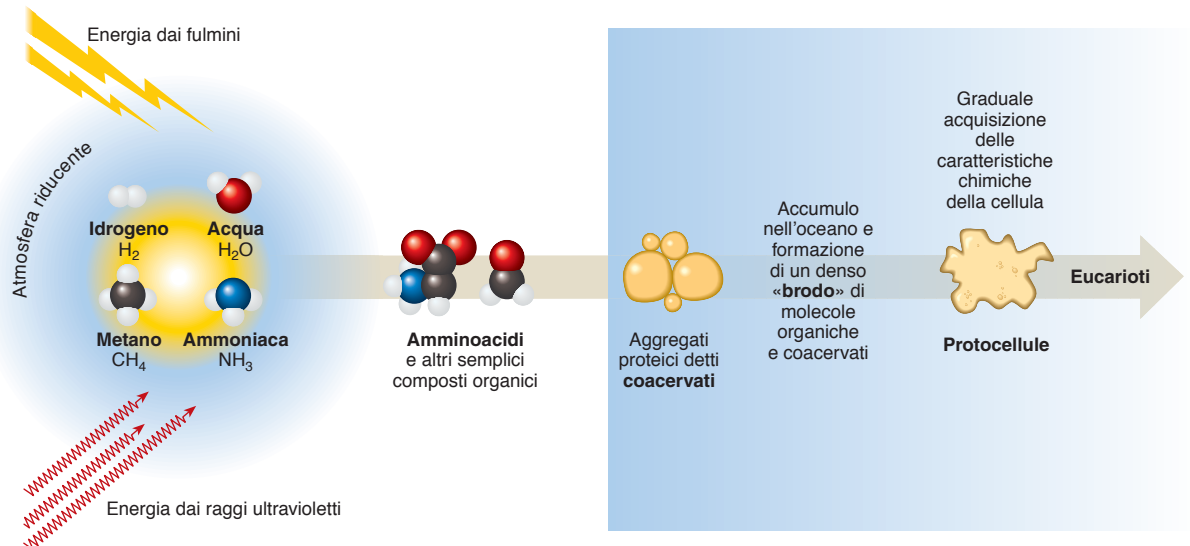


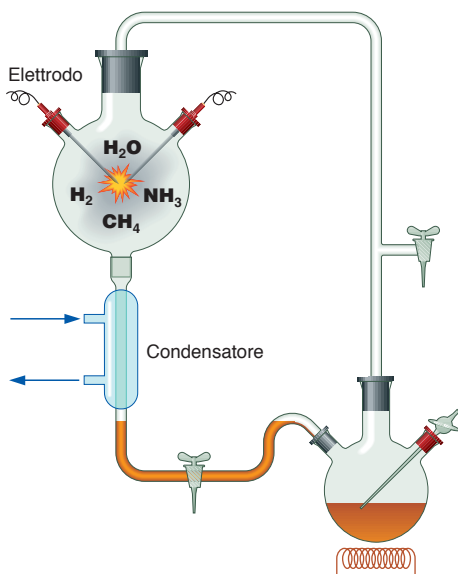
FIGURA VI.4 Schema dei fenomeni chimico-biologici che avrebbero portato alla comparsa della vita secondo Oparin. A una prima evoluzione chimica che determinò la formazione di composti organici, seguì un'evoluzione pre-biologica che portò alla comparsa delle prime cellule.



VI.3 L'esperimento di Miller

Una conferma sperimentale della plausibilità delle ipotesi di Oparin venne negli anni Cinquanta del secolo scorso dal lavoro di uno studioso americano, Stanley Lloyd Miller. Miller costruì un'apparecchiatura come quella della **figura VI.5** e inserì all'interno una miscela di gas che riproduceva le caratteristiche dell'atmosfera primitiva: ammoniaca, metano e idrogeno. Il recipiente in basso conteneva acqua riscaldata, pertanto ai gas contenuti nell'apparecchio si aggiungeva anche il vapore acqueo. La miscela di gas era sottoposta a continue scariche elettriche, che simulavano i fulmini e l'energia dei raggi ultravioletti, e poi era raffreddata, in modo da lasciare condensare l'acqua, che ritornava nel recipiente in basso.

FIGURA VI.5 L'apparecchiatura ideata da Miller simula le condizioni presenti nell'atmosfera primitiva. Le scariche elettriche svolgono le funzioni che 4 miliardi di anni fa erano svolte dai fulmini e dai raggi ultravioletti.



L'acqua liquida raccoglieva le molecole che potevano formarsi nei gas per azione delle scariche elettriche e aveva lo stesso ruolo dei mari primitivi. Analizzando le sostanze contenute nell'acqua, si osservò la presenza di molti composti organici, tra cui anche numerosi amminoacidi. Il primo dei passaggi previsti da Oparin nella sua ipotesi aveva ricevuto una conferma importante, anche se indiretta.

Un importante dettaglio delle ipotesi di Oparin e dell'esperimento di Miller è la presenza di una atmosfera riducente. In una atmosfera altamente ossidante, come quella attuale, i viventi sopravvivono perché possiedono sistemi enzimatici che impiegano ossigeno per svolgere reazioni ossidative. Queste reazioni non solo proteggono le cellule dall'interferenza distruttiva dell'ossigeno, ma rappresentano anche una preziosa fonte di energia.

Gli organismi anaerobici, essenzialmente certe varietà di batteri, non hanno sistemi enzimatici adatti a proteggerli dall'ossigeno. L'ossigeno libero è letale per questi organismi. La presenza di ossigeno libero avrebbe impedito la spontanea formazione dei composti organici alla base della sequenza di eventi che avrebbero poi portato alla comparsa dei primi organismi.

VI.4 Dall'atmosfera riducente all'atmosfera ossidante

L'atmosfera primordiale, riducente e anaerobica, si trasformò poco a poco in ossidante e aerobica, fino a raggiungere la composizione attuale con il 21% di ossigeno. La principale riserva potenziale di ossigeno è l'acqua (H_2O). I processi che possono dissociare l'ossigeno dall'idrogeno sono la radiazione ultravioletta e la fotosintesi. La fotodissociazione dell'acqua per radiazione ultravioletta non può portare a un'atmosfera ossidante, poiché il processo si arresta spontaneamente agli stadi iniziali. Infatti, sotto l'influenza della radiazione ultravioletta, l'ossigeno molecolare (O_2) si converte parzialmente in ozono (O_3), che assorbe la radiazione ultravioletta. Oggigiorno, ad esempio, quasi tutta la radiazione ultravioletta è «fermata» da uno scudo di ozono situato nella parte superiore della stratosfera, tra 35 e 50 km di altezza.

È stato calcolato che, partendo da un'atmosfera anaerobica, il massimo arricchimento in ossigeno ottenibile mediante la fotodissociazione dell'acqua per radiazione ultravioletta equivarrebbe allo 0,1% della quantità di ossigeno presente nell'attuale atmosfera. L'atmosfera odierna, altamente ossidante, deve essersi formata a causa dell'attività di organismi fotosintetici quali alghe azzurre, alghe verdi e vegetali in genere.

Gli organismi più complessi, dipendenti dalla

respirazione aerobica, non si poterono evolvere fino a quando l'azione fotosintetica degli organismi autotrofi non ebbe fornito una sufficiente concentrazione di ossigeno. La concentrazione minima di ossigeno per rendere conveniente il ricorso alla respirazione è dell'1%. Questa concentrazione, chiamata **punto di Pasteur**, venne raggiunta intorno a 1,5 miliardi di anni fa.

L'ozono si formò in quantità apprezzabili solo in seguito alla consistente comparsa dell'ossigeno prodotto dagli organismi fotosintetici. Lo strato di ozono iniziò a schermare le radiazioni ultraviolette quasi 2 miliardi di anni fa. Occorse però oltre un miliardo di anni, perché la schermatura dell'ozono riuscisse a svincolare i sistemi viventi dall'obbligo della protezione di uno spessore di acqua. Gli organismi primitivi dovevano vivere probabilmente al riparo di almeno 10 m d'acqua. Successivamente, quando il livello di ossigeno nell'atmosfera raggiunse il punto di Pasteur, gli organismi poterono vivere anche sotto pochi centimetri di acqua. Soltanto con concentrazioni di ossigeno del 10% e oltre, raggiunte circa 500 milioni di anni fa, gli organismi poterono lasciare le acque che li proteggevano e iniziare la colonizzazione delle terre emerse.

La colonizzazione degli ambienti continentali fu uno degli eventi più straordinari nell'evoluzione degli esseri viventi. Tutte le flore e le faune primitive erano acquatiche, probabilmente marine. I paesaggi delle terre emerse erano privi di animali e piante, simili in ciò ai più desolati deserti attuali. La prima documentazione di vita terrestre consiste in fossili di piante vascolari trovati in molte parti del globo in rocce del Siluriano.

VI.5 I fossili più antichi

Le più antiche rocce conosciute si trovano nel nord del Canada, sulle sponde della Baia di Hudson, e hanno 4,28 miliardi di anni. In queste rocce non è stato scoperto alcun fossile. La cosa non deve meravigliare, in quanto le prime rocce, come pure gli oceani primitivi, si formarono probabilmente attorno a 4 miliardi di anni fa. Lo studio dei fossili più antichi si presenta comunque molto difficile. Occorre infatti fare i conti non solo con le alterazioni legate al trascorrere del tempo, ma anche con le dimensioni microscopiche dei più primitivi sistemi viventi.

Molti studiosi, negli anni più recenti, hanno indirizzato le proprie ricerche sulla individuazione di tracce indirette della presenza dei sistemi viventi, più che su quella dei fossili veri e propri. Tracce indirette sono ad esempio le abbondanze relative di certi isotopi del carbonio e dell'ossigeno, diverse da quelle che si riscontrano in ambienti privi di vita.

Le prime tracce fossili riferibili con certezza a esseri viventi sono antichissime e anteriori all'acquisizione del carattere ossidante dell'atmosfera. I

fossili più antichi (figura VI.6) furono scoperti nel 1980 in una roccia sedimentaria australiana vecchia di 3,5 miliardi di anni: si tratta di impronte di filamenti costituiti da cianobatteri, organismi microscopici che costruivano stromatoliti.

Un'associazione di organismi più diversificati, comprendente alghe cianofeece e batteri, risalenti a circa 2 miliardi di anni fa, è stata trovata nelle famose **selci di Gunflint**, nella regione canadese del Lago Superiore (figura VI.7).

Gli organismi più antichi sono tutti procarioti, come i batteri e le alghe azzurre, vale a dire cellule semplici prive di un nucleo ben differenziato. Le piante, gli animali e molti organismi unicellulari attuali sono costituiti da cellule eucariote, più complesse e dotate di un nucleo circondato da membrana.

Non sappiamo quando sia avvenuta l'evoluzione degli eucarioti. Probabilmente per oltre 2 miliardi di anni la scena della vita sul nostro pianeta ebbe come unici attori organismi procarioti e l'evoluzione ebbe un decorso estremamente lento.

Solo verso la fine del Precambriano, circa 700 milioni di anni fa, la vita iniziò veramente a differenziarsi e a dare origine a organismi complessi pluricellulari. Alcuni di questi organismi presentavano le stesse caratteristiche di forme tuttora esistenti, altri invece non hanno alcun corrispettivo nei tipi attualmente viventi (figura VI.8). I fossili di questi organismi sono conosciuti come *fauna di Ediacara* (figura VI.9 A).

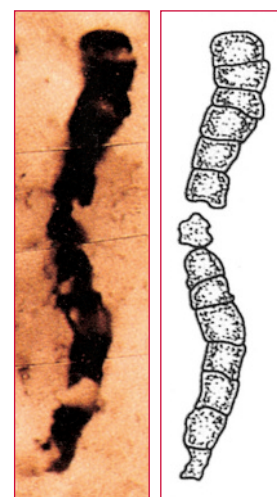
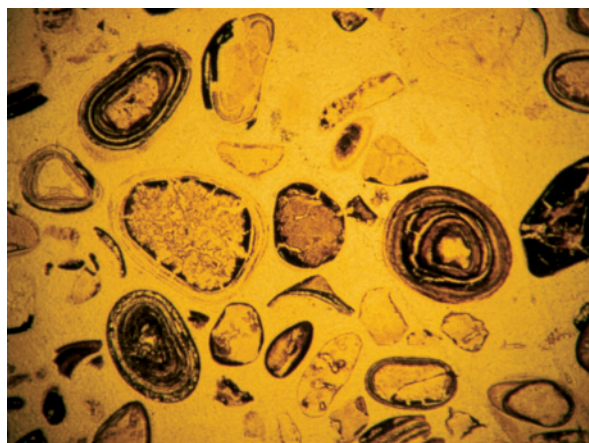
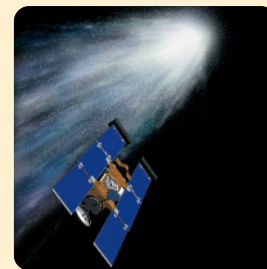


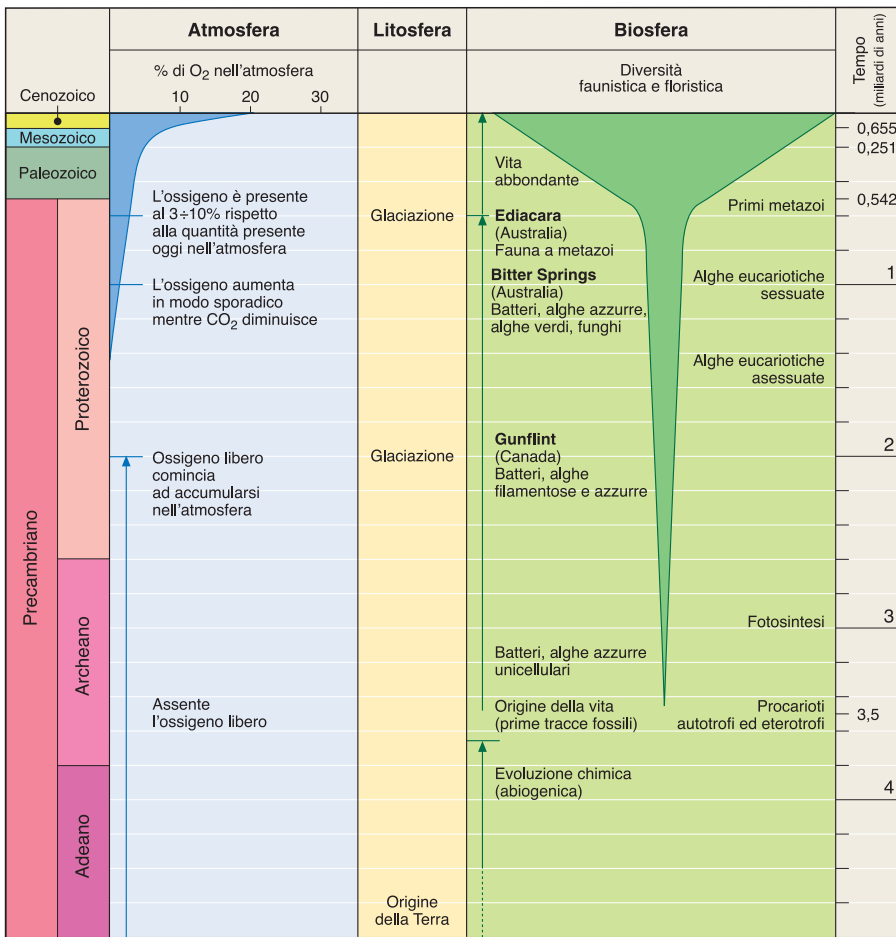
FIGURA VI.6 Microfotografia dei più antichi fossili conosciuti, risalenti a 3,5 miliardi di anni fa e trovati in una selce dell'Australia. Si tratta con ogni probabilità di cianobatteri associati in una colonia filamentosa, come indicato dalla schematizzazione a destra. (Da «Le Scienze», n° 316, dicembre 1994)

FIGURA VI.7 Sezione sottile (vista a 10 ingrandimenti) delle selci di Gunflint dell'Ontario (Canada), con età di circa due miliardi di anni. Si possono notare detrito organico, filamenti algali e sferoidi di alghe azzurre. Questi organismi primitivi, tramite la fotosintesi, hanno iniziato a rilasciare ossigeno nell'atmosfera, un fenomeno che ha avuto conseguenze fondamentali per lo sviluppo della vita.

La sonda *Stardust*, lanciata nel 1999, ha incontrato la cometa Wild 2 il 2 gennaio 2004, quando l'astro si trovava a 389 milioni di chilometri dalla Terra. Attraversando la coda della cometa, la sonda ha raccolto molte particelle cosmiche che sono state fatte rientrare sulla Terra chiuse in una capsula che è atterrata nel deserto dello Utah il 15 febbraio 2005. Il prezioso carico è stato distribuito a cinquanta laboratori scientifici per lo studio e l'analisi. Sono state trovate molecole organiche prebiotiche, cioè i mattoni fondamentali che, opportunamente composti, danno origine alla vita. Sono stati inoltre rinvenuti ammine, amminoacidi, gruppi organici, ossigeno, azoto e carbonio. Tutto ciò avvalorò l'ipotesi che le molecole che stanno alla base dell'origine della vita possano essere arrivate dallo spazio.



Ricostruzione al computer dell'incontro della sonda *Stardust* con la cometa Wild 2.



La fauna di Ediacara è un particolare gruppo di organismi a corpo molle tipici della parte finale del Precambriano. Essi sono stati rinvenuti in tutto il mondo. Furono trovati e descritti per la prima volta a Terranova (Canada) e in Namibia, ma il nome deriva dalle superbe associazioni faunistiche scoperte nelle Flinders Ranges a Ediacara nell'Australia meridionale (figura VI.9 B).

A differenza dei vari fossili con guscio o scheletro che caratterizzano il Fanerozoico, la fauna di Ediacara consiste quasi esclusivamente di organismi a corpo molle, simili alle meduse. Essi sono preservati come impronte sulle superfici di strati arenacei; alcuni ricordano organismi attuali, ma altri sono assai strani e di difficile collocazione nel mondo biologico di oggi.

È evidente che la fauna di Ediacara occupa una posizione cardine nell'evoluzione della vita sulla Terra, la transizione tra le classiche comunità stromatolitiche del Precambriano (da 1 a 3 miliardi di anni fa) e le faune con conchiglie e scheletri del Cambriano. Studi recenti indicano che la fauna di Ediacara consiste fondamentalmente di organismi bentonici che vivevano in stretta relazione con il fondo marino.

FIGURA VI.8 Principali tappe evolutive che hanno interessato atmosfera, litosfera e biosfera, con particolare riferimento al Precambriano.



FIGURA VI.9 (A), ricostruzione della fauna di Ediacara nel suo ambiente di vita. Si trattava di organismi privi di parti scheletriche, simili a vermi, artropodi o meduse. Sono i più antichi organismi pluricellulari finora scoperti. (B), le Flinders Ranges nella regione di Ediacara (Australia meridionale).

Mettiamoci alla prova

- A quale intervallo di tempo della Terra si riferisce il Precambriano?
- In quale scudo europeo è possibile trovare rocce precambriane? Ai resti di quali antichissime catene montuose appartengono?
- A quali tipi appartengono, per la maggior parte, le rocce precambriane che conosciamo?
- Quando comparvero i primi esseri viventi sulla Terra? Quali erano?
- Indica che cosa si intende per coacervato. E per protocellula?
- Quale gas atmosferico determinò condizioni adatte allo sviluppo della vita in ambiente subaereo? Giustifica la tua risposta.
- Perché l'acqua può essere considerata solo una riserva potenziale di ossigeno per l'atmosfera terrestre?
- Perché si ritiene che l'attuale atmosfera ossidante sia dovuta all'attività di organismi fotosintetici?
- Che cos'è il punto di Pasteur?
- Quale distribuzione aveva la vita sulla Terra finché non fu raggiunto il punto di Pasteur?
- Come doveva presentarsi la superficie delle terre emerse 500 milioni di anni fa?
- Quando e dove furono scoperti i fossili più antichi?
- Su quali informazioni si basano attualmente gli studiosi per individuare tracce della presenza di sistemi viventi nelle rocce più antiche?

IL TEMPO DELLA VITA «MANIFESTA»

VI.6 Il Fanerozoico

Le rocce precambriane sono quasi sempre prive di fossili, anche perché in grandissima parte metamorfiche. Quando gli studiosi di stratigrafia dell'Ottocento stabilirono la nomenclatura delle ere e dei periodi geologici, i fossili precambriani erano quasi sconosciuti. Per indicare in blocco i tempi riferibili alle ere successive, nelle quali vi sono chiare e abbondanti testimonianze di vita vegetale e animale, fu introdotto il termine **Fanerozoico** (dal greco *phaneròs* = visibile e *zòion* = animale). L'èone fanerozoico comprende l'**era paleozoica** o **Paleozoico**, l'**era mesozoica** o **Mesozoico** e l'**era cenozoica** o **Cenozoico**.

VI.7 Eventi geologici del Paleozoico

Il Paleozoico (dal greco *palaios* = antico, e *zòion* = animale) si estende per un arco di tempo di circa 290 milioni di anni ed è suddiviso in sei periodi: **Cambriano**, **Ordoviciano**, **Siluriano**, **Devoniano**, **Carbonifero** e **Permiano** (figura VI.10). In questa era acquistarono per la prima volta una grande importanza calcari e dolomie di origine organica e si svilupparono anche potenti successioni di rocce terrigene (arenarie e conglomerati). Queste ultime sono il risultato dell'erosione delle catene formatesi in seguito a due eventi importantissimi: l'**orogenesi caledoniana**, verificatasi tra la seconda parte del Siluriano e l'inizio del Devoniano, e l'**orogenesi ercinica** avvenuta tra il Carbonifero e il Permiano.

Dalla posizione e dall'andamento delle catene montuose caledoniane ed erciniche, nonché dal fatto che in esse si trovano brandelli di crosta oceanica basaltica (ofioliti), appare certo che le catene montuose paleozoiche sono il risultato di collisioni tra placche. È pertanto plausibile che durante il Paleozoico si siano avuti lunghi periodi di dispersione e deriva continentale, intervallati da periodi di collisione che produssero imponenti orogenesi.

Alla fine dell'era paleozoica le terre emerse formarono un unico gigantesco continente, la Pangea. Intorno alla Pangea le acque costituivano un unico oceano, la Pantalassa. La costa orientale della Pangea era interessata da una profonda insenatura, occupata dal mare della Tetide.

Durante il Carbonifero superiore e il Permiano inferiore si verificò almeno un grande evento di raffreddamento del clima su scala globale. In molte regioni dell'emisfero australe esistono evidenti tracce del movimento di enormi ghiacciai, striature delle rocce e antiche morene fossili, che testimoniano un'importante ed estesissima glaciazione (figura VI.11).








Era	Periodo	Limiti (milioni di anni)	Durata (milioni di anni)	Eventi principali
Mesozoico				
Paleozoico	Permiano	251	48	Compaiono i rettili 
	Carbonifero	299	60,2	Orogenesi ercinica 
	Devoniano	359,2	56,8	Compaiono gli anfibi  Diffusione delle piante terrestri 
	Siluriano	416	27,7	Orogenesi caledoniana 
	Ordoviciano	443,7	44,6	Compaiono i pesci 
	Cambriano	488,3	53,7	Grande diffusione degli invertebrati 
Precambriano		542		



FIGURA VI.10 Divisione in periodi e principali eventi geologici e biologici del Paleozoico.



FIGURA VI.11 La presenza di antichissimi depositi glaciali, come queste morene fossili del Carbonifero presenti sulla costa africana dell'Oceano Indiano, testimoniano una glaciazione che interessò i continenti australi nel Paleozoico superiore.

Le catene montuose dell'orogenesi caledoniana sono state erose abbondantemente e oggi sono rilievi rotondeggianti e non troppo elevati. I principali resti di queste catene montuose sono costituiti dai rilievi di Groenlandia, Norvegia, Scozia, Irlanda e dagli Appalachi settentrionali in America. Le catene montuose erciniche sono più giovani e sono state erose meno profondamente dagli agenti atmosferici. Anche se non raggiungono più vette particolarmente elevate, le tracce di quei corrugamenti sono ancora ben visibili nella catena dell'Atlante in Nordafrica, nel Massiccio Centrale francese, nel Massiccio Boemo, nelle Ardenne, nei rilievi dei Vosgi e della Foresta Nera, nella Meseta iberica, negli Urali e negli Appalachi meridionali.

VI.8 Eventi biologici del Paleozoico

L'inizio dell'era paleozoica è segnato da un'improvvisa abbondanza di fossili. I viventi si espansero dapprima nei mari e poi, a partire dal Siluriano superiore, anche sulle terre emerse. Le piante ebbero particolare rigoglio e diffusione nel Carbonifero, periodo nel quale originarono imponenti depositi di carbone fossile.

FIGURA VI.12 L'illustrazione mostra diverse specie di animali marini vissuti in periodi differenti del Paleozoico. Tra questi alcuni pesci corazzati privi di mascelle come l'ostracoderma *Astraspis* (1) vissuto nell'Ordoviciano, *Arandaspis* (2) e *Pteraspis* (3) del Devoniano. Sono rappresentati anche un euripteride (4), un grande artropode predatore vissuto dall'Ordoviciano alla fine del Permiano, alcuni cefalopodi (5), lamellibranchi (6) e trilobiti (7).



FIGURA VI.13 Durante il Carbonifero buona parte dei continenti si trovava in corrispondenza dell'equatore. Questo fatto favorì il formarsi di foreste e paludi. Sul fondo umido cresceva un folto intricato di piante basse, mentre dal suolo acquitrinoso si ergevano gigantesche piante d'alto fusto come calamiti (1), lepidodendri (2) e felci giganti (3). Tra le foglie delle felci basse vivevano anfibi (4), scorpioni e ragni primitivi. Tra i resti vegetali in putrefazione vivevano diverse varietà di miriapodi e i primi insetti. Alcune specie di insetti raggiungevano talvolta considerevoli dimensioni, come la libellula *Meganeura* (5), che possedeva un'apertura alare di 75 cm.



All'inizio del Cambriano si ebbe una esplosione di nuove forme di vita, soprattutto animale. In una decina di milioni di anni, un tempo relativamente breve se riferito alla scala dei tempi geologici, comparve nei mari della Terra una grande varietà di organismi capaci di costruire scheletri e quindi di lasciare evidenti tracce fossili (figura VI.12). Alghe, artropodi, brachiopodi, spugne, celenterati, anellidi, molluschi, echinodermi popolarono gli ambienti marini. Tra i fossili più caratteristici del Paleozoico si annoverano i trilobiti, artropodi il cui tegumento era diviso longitudinalmente in tre lobi (figura VI.12).

Nell'Ordoviciano comparvero i primi vertebrati. Si trattava di ostracodermi, un gruppo di pesci ricoperti di rivestimento osseo, privi di mascelle. Al passaggio Ordoviciano-Siluriano comparve un'altra varietà di pesci corazzati, i placodermi, lunghi fino a una decina di metri, muniti di mascelle e la cui pelle era costituita da robuste placche sovrapposte.

Il successivo periodo, il Siluriano, fu caratterizzato dalla comparsa di pesci simili a quelli moderni, di nuove spugne, coralli, brachiopodi, molluschi ed echinodermi. In questo periodo la vita si diffuse anche sulle terre emerse. Alghe verdi che si erano adattate ad ambienti particolarmente umidi delle terre emerse furono le antenate delle prime piante di ambiente subaereo. Anche gli animali colonizzarono le terre emerse; i primi invertebrati terrestri furono probabilmente aracnidi, discendenti degli scorpioni acquatici.

Nel Devoniano gli anfibi furono i primi vertebrati che conquistarono la terraferma. Si diffusero anche altri artropodi: i primi insetti e molti ragni. Nei mari comparvero i primi squali.

Nel Carbonifero un riscaldamento climatico portò a una rilevante espansione delle foreste di piante vascolari, fra le quali dominavano gli alberi a squame, le felci arborescenti e le prime gimnosperme (figura VI.13). Il clima instabile favorì fasi di trasgressione e regressione marina. Le foreste arboree furono sommerse per poi tornare a svilupparsi a ogni oscillazione del livello marino. Si formarono così depositi stratificati che divennero col tempo carbone fossile. Questo periodo è noto infatti come l'«età del carbone», perché proprio da queste foreste derivarono i grandi depositi di carbon fossile in Francia, Belgio, Inghilterra, USA, ecc.

I vertebrati di ambiente subaereo più diffusi erano gli anfibi. Comparvero i rettili, ancora rappresentati da poche specie.

Al Permiano risalgono i fossili dei primi dinosauri. Una glaciazione portò nell'emisfero australe alla presenza delle flore fredde a *Glossopteris* (felci), mentre nell'emisfero boreale erano presenti le lussureggianti flore a *Pecopteris*.

Nel Permiano si completò la collisione delle masse continentali responsabile del corrugamento ercinico e dell'origine del supercontinente Pangea. La formazione di un grande continente contribuì

probabilmente a un inaridimento del clima e alla scomparsa di molti ambienti umidi.

Verso la fine del Permiano, nello spazio di alcuni milioni di anni, si verificò un imponente fenomeno di estinzione. L'**estinzione permiana** è spiegata generalmente con cause climatiche e paleogeografiche. Moltissime varietà di anfibi si estinsero. Anche la vita marina subì una drastica riduzione di specie. Si estinsero i trilobiti, i pesci corazzati, molti molluschi e coralli, diminuirono drasticamente briozoi e brachiopodi. Nel complesso potrebbe essersi estinto fino all'85% delle specie viventi.

VI.9 Eventi geologici del Mesozoico

Il Mesozoico (dal greco *mésos* = intermedio e *zòion* = animale) è suddiviso in tre periodi: **Triassico**, **Giurassico** e **Cretaceo** (figura VI.14).

Se si fa eccezione per il Triassico, periodo in cui le terre emerse raggiunsero una notevole estensione, l'era mesozoica nel suo complesso si caratterizza per un generale e continuo aumento del livello marino, che raggiunse la massima altezza alla fine del Cretaceo.

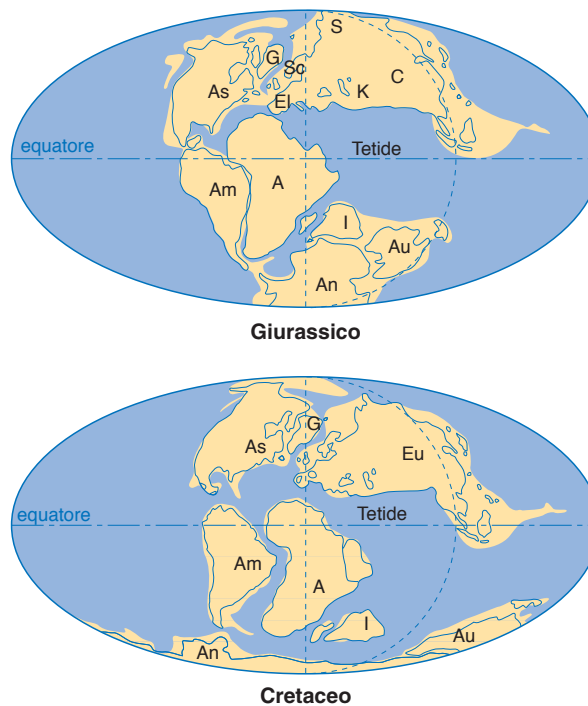
Durante il Mesozoico Pangea si frammentò. Il regime distensivo iniziò a farsi sentire nel Triassico. Si formarono fratture crostali dalle quali fuoriuscirono lave basaltiche che diedero origine ai *plateau* del Paranà in Sudamerica e del Karroo in Africa. La frammentazione del supercontinente Pangea iniziò circa 200 milioni di anni fa (figura VI.15). In una prima fase si separarono Eurasia e Nordamerica e si formò l'Atlantico settentrionale. Quasi contemporaneamente l'India si staccò dall'Africa e dal blocco Antartide-Australia. L'India iniziò così il movimento verso nord che l'avrebbe portata allo scontro con l'Eurasia nell'era successiva. Durante la deriva dell'India verso nord, nel Cretaceo, furono eruttati i basalti del Deccan.

In una successiva fase di espansione si aprì l'Atlantico meridionale, a causa dell'allontanamento

Era	Periodo	Limiti (milioni di anni)	Durata (milioni di anni)	Eventi principali
Cenozoico		65,5		
Mesozoico	Cretaceo	145,5	80	<ul style="list-style-type: none"> Si estinguono i dinosauri Inizia l'orogenesi alpina
	Giurassico	199,6	54,1	<ul style="list-style-type: none"> Compaiono gli uccelli
	Triassico	251	51,4	<ul style="list-style-type: none"> Compaiono i mammiferi
Paleozoico		251		



FIGURA VI.14 Divisione in periodi e principali eventi geologici e biologici del Mesozoico.



A = Africa; Am = America meridionale; An = Antartide; As = America settentrionale; Au = Australia; C = Cina; I = India; S = Siberia; Sc = Scandinavia; El = Europa latina; K = Kazakistan; G = Groenlandia.



FIGURA VI.15 Agli inizi del periodo Giurassico, 200 milioni di anni fa, l'espansione della Dorsale medio-atlantica aveva iniziato da poco ad allontanare le masse continentali; anziché un oceano, l'Atlantico era un mare stretto lungo. Antartide, India e Australia erano molto vicine tra loro, così come America del nord, Groenlandia e Scandinavia. Gran parte dell'Europa meridionale non si era ancora formata: tra Eurasia e Africa si estendeva l'oceano Tetide. Durante il Cretaceo, 80 milioni di anni fa, America del Sud e Africa si trovavano ancora abbastanza vicine, ma l'Oceano Atlantico era in fase di veloce espansione.

● Oceani profondi
● Continenti

DOCUMENTO VI.1 ► Il Paleozoico in Italia

I terreni appartenenti all'era paleozoica (soprattutto quelli dei periodi più antichi) sono scarsamente rappresentati in Italia, essenzialmente perché sono sepolti sotto quelli, molto più estesi, del Mesozoico e Cenozoico.

La Sardegna e le Alpi Carniche sono le uniche due aree dove le rocce paleozoiche affiorano in modo esteso e dove sono, per di più, abbondantemente fossilifere. Rocce di età cam-

briana si trovano nella regione del Sulcis, nella Sardegna sudoccidentale; si tratta di calcari, arenarie e filladi con brachiopodi, trilobiti e archeociatidi.

Negli ultimi anni sono stati rinvenuti fossili cambriani (acritarchi) anche nelle filladi del basamento metamorfico della Regione Dolomitica, nei pressi di Agordo. Il Siluriano e il Devoniano sono presenti sia in Sardegna sia nelle Alpi Carniche, dove le rocce de-

voniane costituiscono enormi piattaforme carbonatiche culminanti nel Monte Coglians.

Il Carbonifero e il Permiano sono invece rappresentati da affioramenti relativamente più estesi. Si trovano in Sardegna, nelle Alpi, in Lombardia, nelle Alpi Venete e nelle Dolomiti, in Toscana, in Calabria e in Sicilia. Si tratta prevalentemente di rocce terrigene, quali arenarie e argilliti.



FIGURA VI.16 I cieli e i mari del Giurassico e del Cretaceo erano abitati da giganteschi rettili volanti di cui sono stati ritrovati moltissimi esemplari fossili. Gli *Pteranodon* avevano un'apertura alare di oltre otto metri e un cranio di grandi dimensioni che finiva con un caratteristico pettine osseo. Il muso appuntito era adatto a catturare pesci e molluschi.

A Solnhofen, tra le colline bavaresi della Germania meridionale, affiorano strati fossiliferi straordinari. 150 milioni di anni fa, in quest'area si estendevano lagune tropicali con bassi fondali, analoghe a quelle descritte per il sito italiano di Bolca, in cui rimanevano intrappolati molti animali marini e terrestri. Il basso contenuto di ossigeno, l'assenza di organismi decompositori e l'abbondanza di sedimenti calcarei a grana fine hanno favorito la conservazione nei fossili anche dei più minuti particolari. A Solnhofen si rinvengono resti di conifere e dinosauri, ma ancora più abbondanti sono gamberi, granchi, aragoste, vermi di mare e insetti volanti, tra cui grandi libellule. Tra tutti i fossili portati alla luce, il più famoso è senza dubbio l'*Archaeopteryx*, considerato una forma di passaggio tra rettili e uccelli. Questo fossile presenta infatti tracce di denti, tipici dei rettili, insieme a tracce di piume, tipiche degli uccelli.



di Sudamerica e Africa. L'Africa cominciò a muoversi verso nord, iniziando il movimento di avvicinamento all'Eurasia che porterà in seguito alla chiusura della Tetide. Nel Cretaceo superiore sul margine settentrionale della Tetide si era formata una fossa di subduzione. Dai margini continentali eurasiatico e africano si riversavano nella Tetide i sedimenti che sarebbero stati successivamente deformati dall'orogenesi alpina.

Essendo un periodo di espansione e di allontanamento dei continenti, nel Mesozoico l'attività orogenetica fu relativamente scarsa, specialmente in Europa e Asia. In America si ebbero invece le principali fasi del corrugamento delle Ande e delle cordigliere nordamericane, con messa in posto dei grandi batoliti granitici e granodioritici della Patagonia e dell'America settentrionale. I due blocchi americani nel loro moto verso ovest subirono la deformazione del margine occidentale. Iniziava la lunga evoluzione della Cordigliera delle Ande. Il Nordamerica, incontrando vari microcontinenti, li inglobava e iniziava a formarsi la complessa struttura delle Montagne Rocciose. Il fondo del grande oceano Pantalassa scendeva in subduzione sotto i continenti americani e si riduceva in estensione.

VI.10 Eventi biologici del Mesozoico

L'era mesozoica deve la denominazione al fatto che la fauna e la flora rappresentano una transizione tra quelle arcaiche del Paleozoico e quelle moderne del Cenozoico. Essa abbraccia un intervallo di tempo di circa 185 milioni di anni e fu caratterizzata dal grande sviluppo dei rettili, che dominarono sulle terre, nei mari e nell'aria. I rettili erano diffusi in gran parte dei continenti con forme che andavano da poche decine di centimetri fino a oltre 30 metri. I rettili occuparono tutti gli ambienti della Terra, con specie sia erbivore sia carnivore (figura VI.16).

Durante il Mesozoico comparvero anche i primi mammiferi. Si trattava di animali di piccole dimensioni, probabilmente onnivori o insettivori, capaci di mantenere costante la propria temperatura corporea e con il corpo ricoperto di peli. La loro diffusione era limitata ad alcuni ambienti marginali, perché i rettili continuavano a dominare praticamente tutti gli ambienti.

FIGURA VI.17 Scheletro dell'uccello primitivo *Archaeopteryx* ritrovato a Solnhofen, in Baviera. Lo scheletro di questo animale porta segni evidenti della sua origine rettiliana, come le dita mobili con artigli sulle ali, la coda formata da 20 vertebre e le mandibole dentate. *Archaeopteryx* aveva dimensioni di poco superiori a quelle di una colomba e volava con difficoltà. Si arrampicava sugli alberi sfruttando gli artigli delle ali.

Nel Giurassico si originarono gli uccelli. Come i loro antenati rettili, anche gli uccelli si riproducevano con uova amniotiche, ma invece di squame possedevano penne e piume. Il più antico fossile di uccello è *Archaeopteryx*, nel quale caratteri tipici degli uccelli come il piumaggio coesistono con caratteri tipici dei rettili come la dentatura e la coda con vertebre (figura VI.17). Nei mari comparvero nuove varietà di coralli (esacoralli) e si diffusero i cefalopodi, in particolare le ammoniti, che costituiscono importanti fossili guida per questa era. Comparvero anche le rudiste, lamellibranchi costruttori dalle valve ineguali, che vivevano in ambiente di scogliera (figura VI.18).

Il Giurassico segna l'apogeo dei dinosauri (figura VI.19) ed è caratterizzato anche dal grande sviluppo delle ammoniti.

Il Cretaceo vide la comparsa delle prime piante con fiori, le angiosperme, che origineranno in seguito un'infinità di erbe, arbusti e alberi. I fiori costituiscono un importante adattamento in quanto facilitano l'impollinazione da parte degli insetti. Nel Cretaceo le piante con fiori si diffusero in tutte le terre emerse.

Il Cretaceo si concluse 65 milioni di anni fa con una grande catastrofe biologica. Come il Paleozoico era terminato con l'estinzione permiana, il Mesozoico finì con l'estinzione cretacea. In pochi milioni di anni scomparvero i grandi rettili marini, terrestri e volatori, svariati gruppi di invertebrati, tra cui ammoniti e rudiste, e larga parte degli organismi planctonici marini (figura VI.20).

Si è stimato che alla fine del Cretaceo potrebbe essersi estinto più del 75% delle specie viventi. Per spiegare questa improvvisa scomparsa di gruppi di animali così diversi, sia marini sia continentali, sono state invocate cause di vario genere. Molti dati concordano nell'indicare che 65 milioni di anni fa la Terra subì un impatto catastrofico con un asteroide di oltre 10 km di diametro. In conseguenza di questo urto si verificò sicuramente uno sconvolgimento globale degli ecosistemi, che secondo molti studiosi fu responsabile della estinzione in massa. Altri studiosi, pur non mettendo ormai più in dubbio l'impatto con l'asteroide, sono propensi a individuare in variazioni climatiche di lungo periodo la causa principale di un evento di estinzione che, oltre che imponente, sembra si sia protratto per un periodo di alcuni milioni di anni.

La grande diffusione dei rettili fu dovuta alla capacità di produrre uova amniotiche. Le uova amniotiche sono dotate di guscio e di membrane impermeabili, che impediscono all'embrione di disidratarsi, pur permettendo gli scambi gassosi. Lo sviluppo dell'embrione avviene nell'indispensabile ambiente liquido anche sulla terraferma, lontano dall'acqua. I rettili furono i primi vertebrati a svincolarsi completamente dalla dipendenza dall'acqua grazie a questo adattamento.



FIGURA VI.18 Le rudiste erano molluschi bivalvi, che nel Cretaceo avevano sostituito i coralli quali principali organismi costruttori di scogliere tropicali nella Tetide. Le rudiste avevano gusci collegati e potevano raggiungere un metro di lunghezza. Si estinsero alla fine del Cretaceo.



FIGURA VI.19 I veri dominatori del Giurassico furono i giganteschi dinosauri. Uno dei più spaventosi dinosauri carnivori era il *Tyrannosaurus rex* che raggiungeva un'altezza di 5 metri, una lunghezza di 14 e un peso di 7 tonnellate.

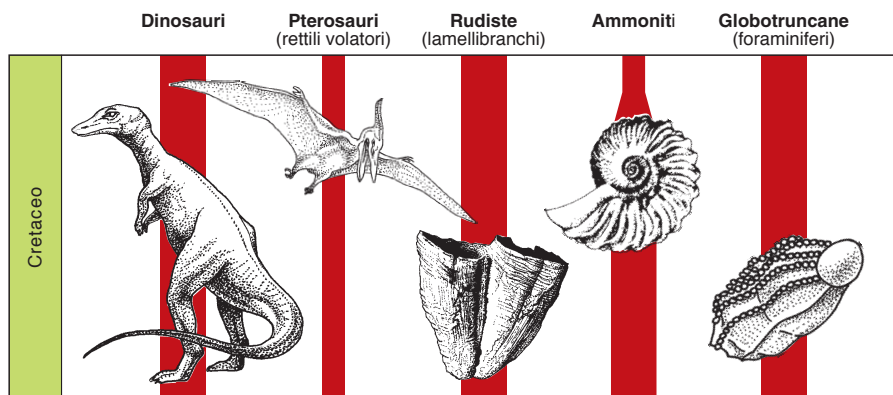


FIGURA VI.20 Alla fine del Cretaceo si verificò un'estinzione che interessò molti importanti gruppi di animali. Nella figura sono riportati, non in scala, i principali di questi gruppi.

DOCUMENTO VI.2 ► Il Mesozoico in Italia



Durante il Mesozoico l'area in cui sorgerà la futura penisola italiana era coperta dal mare; più precisamente si trovava all'estremità occidentale della Tetide, il grande golfo oceanico che si addentrava nel supercontinente Pangea.

È quindi evidente che le rocce mesozoiche italiane sono quasi totalmente marine.

Si tratta in prevalenza di calcari e dolomie che caratterizzano i terreni triassici e giurassici della Lombardia, del Veneto, delle Dolomiti, della Toscana (Alpi Apuane), dell'Umbria,

del Lazio e dell'Abruzzo (Gran Sasso e Maiella).

Il Cretaceo è rappresentato in Lombardia e in Liguria da successioni torbiditiche (*flysch*) che segnalano l'inizio dell'orogenesi alpina, mentre rocce carbonatiche, sia di mare profondo sia di acqua bassa, sono presenti in Veneto, Friuli, Toscana, Umbria, Marche, Lazio e Puglia, una regione quest'ultima costituita quasi interamente da rocce carbonatiche mesozoiche.

Grandi spessori di carbonati giurassici e cretacei sono pure presenti in Sicilia e Sardegna (Capo Caccia).

DOCUMENTO VI.3 ► Le estinzioni di massa

Con il termine **estinzione di massa** s'intende la scomparsa «improvvisa» su tutta la Terra di un grande numero di specie, di generi o di famiglie. Si tratta di un fenomeno decisamente drammatico, che interessa ecosistemi diversi, sia terrestri sia marini, e che porta a un notevole impoverimento della biodiversità globale.

È molto difficile trovare le cause specifiche di un'estinzione di massa. Le cause finora dibattute possono essere inquadrare in due categorie principali: biologiche e ambientali. Le prime comprendono fenomeni quali epidemie, competizione, predazione e fluttuazioni casuali delle dimensioni delle popolazioni. La comunità scientifica è però più propensa a ritenere che

le estinzioni di massa siano collegate a perturbazioni ambientali rapide e di portata tale da impedire agli organismi di difendersi con migrazioni o adattamenti. Nelle cause esterne sono incluse quelle terrestri e quelle extraterrestri. Le cause terrestri comprendono variazioni del livello marino, mutamenti climatici, intensa attività vulcanica, anossia e carenza di nutrienti negli oceani. Tuttavia, le cause extraterrestri (impatti di asteroidi e comete) godono di maggior popolarità.

La maggior parte dei geologi è concorde nel riconoscere, durante il Fanerozoico, almeno cinque estinzioni di massa, dette le *Big Five*. Esse si sono verificate nel tardo Ordoviciano (circa 440 milioni di anni fa), nel tardo Devoniano (circa 365 milioni di anni fa), al limite Permiano-Triassico (circa 250 milioni di anni fa), alla fine del Triassico (circa 205 milioni di anni fa) e alla fine del Cretaceo (circa 65 milioni di anni fa).

Quest'ultima è la più celebre delle estinzioni (si estinsero l'11% delle famiglie e il 62% delle specie) in quanto scomparvero i dinosauri.

Il termine dinosauro deriva dalle parole greche *deinos* = terribile e *sauros* = rettile e fu coniato nel 1842 dal naturalista inglese Richard Owen. I dinosauri apparvero 230 milioni di anni fa, nel Triassico, dominarono la Terra per oltre 150 milioni di anni e si estinsero improvvisamente 65 milioni

di anni fa, alla fine del Cretaceo, assieme ad altri gruppi di animali tra cui rettili, ammoniti, rudiste e molti organismi unicellulari.

Negli anni Settanta del secolo scorso, Walter Alvarez, un geologo della Berkeley University, scoprì durante ricerche in Umbria, e più precisamente nella Valle del Bottaccione vicino a Gubbio, uno strano livelletto di argilla proprio al limite tra Cretaceo e Paleocene. In questo sottile livello (e ora sappiamo che esiste in tutto il mondo) fu rilevata una quantità abnorme di iridio (Ir), un elemento assai abbondante nelle meteoriti e quasi inesistente nelle rocce terrestri. Fu così avanzata l'ipotesi che un asteroide di almeno 10 km di diametro avesse colpito la Terra aprendo un cratere di circa 200 km di diametro. L'impatto avrebbe sollevato una «bufera» di polveri che si sarebbe propagata nell'atmosfera oscurando il Sole per 4÷6 anni e causato una gigantesca devastazione ambientale con numerose conseguenze, tra cui terremoti, tsunami, vastissimi incendi, piogge acide e forti cambiamenti climatici. La vegetazione sarebbe quasi scomparsa e i dinosauri sarebbero morti per fame.

Le prove di questo drammatico avvenimento sono ormai tantissime ed è stata addirittura localizzata la zona dell'impatto, che si troverebbe nel Golfo del Messico, nei pressi della penisola dello Yucatan.



VI.11 Eventi geologici del Cenozoico

Il Cenozoico (dal greco *kainós* = recente e *zìon* = animale) ha una durata di poco superiore ai 60 milioni di anni ed è suddiviso in due periodi: **Paleogene** e **Neogene** (figura VI.21). Il Paleogene è suddiviso in tre epoche: **Paleocene**, **Eocene** e **Oligocene**. Il Neogene è suddiviso in quattro epoche: **Miocene**, **Pliocene**, **Pleistocene** e **Olocene**. L'Olocene corrisponde all'epoca attuale.

Nell'era cenozoica la configurazione della superficie terrestre subì notevoli mutamenti, avvicinandosi sempre più a quella attuale. Così come il Mesozoico era stato il periodo della disintegrazione della Pangea e quindi dell'allontanamento dei vari blocchi continentali, nel Cenozoico si registrarono numerose collisioni e suturazioni, soprattutto nell'area mediterranea e in Asia.

All'inizio dell'era, l'Africa e l'India proseguivano il loro movimento di avvicinamento verso l'Eurasia e l'oceano Tetide continuava a restringersi (figura VI.22). L'India entrò in collisione con l'Eurasia circa 60 milioni di anni fa, determinando il sollevamento dell'Himalaya, una catena dalla struttura a falde di ricoprimento con vette che attualmente superano gli 8.000 m.

Anche il sistema delle catene montuose che caratterizzano l'area mediterranea è di età cenozoica. Un primo gruppo di catene Europa-vergenti si è formato nel Paleogene con subduzione della litosfera eurasiatica sotto quella africana. Questo gruppo, partendo da occidente, comprende la Cordigliera Betica (Spagna meridionale), le Alpi e i Carpazi, i Balcani e le Pontidi (parte settentrionale della Turchia). Successivamente, nel Neogene, si è formata una seconda serie di catene montuose, comprendenti il Riff marocchino, le Magrebidi algero-tunisine, gli Appennini, le Dinaridi, le Ellenidi e le Tauridi. Questa volta è stata la litosfera africana a scendere sotto quella europea, per cui le catene neogeniche sono tutte Africa-vergenti. Si può ben dire che il Cenozoico è il periodo geologico in cui è nata l'Italia come noi oggi la conosciamo. Sempre nel Cenozoico, il blocco arabo ha cominciato a separarsi da quello africano, con conseguente formazione di un imponente sistema di fratture, che ha portato prima alla formazione del Golfo di Aden e del Mar Rosso e, successivamente, all'imponente sistema di *rift valley* dell'Africa orientale.

Verso la fine del Miocene, circa 6 milioni di anni fa, il Mediterraneo si essiccò a causa della chiusura di un ancestrale «stretto di Gibilterra», che lo manteneva in comunicazione con l'Oceano Atlantico. L'evaporazione del Mediterraneo comportò la deposizione di grandi quantità di depositi evaporitici, in particolare salgemma e anidrite, sul fondo di grandi depressioni in via di svuotamento. Successivamente, all'inizio del Pliocene, lo stretto di Gibilterra si aprì ancora e l'acqua penetrò di nuovo dall'Oceano Atlantico nei bacini mediterranei.

Nel frattempo era in atto l'orogenesi appenninica per cui molti depositi salini furono sollevati e deformati. Ora li ritroviamo in affioramenti in molte parti d'Italia, quali l'Appennino e specialmente in Sicilia. Il clima dell'area mediterranea diventò meno caldo e da tropicale passò a temperato. Alle fine del Pliocene si ebbero anche episodi freddi.

Risale all'inizio del Pleistocene (circa 1,8 milioni di anni fa) il giacimento di Olduvai, in Tanzania, dove furono rinvenuti antichi utensili associati a fossili di ominidi. Poiché la capacità di costruire oggetti secondo un progetto è considerata distintiva dell'uomo, quegli utensili sono considerati la prova indubitabile della presenza di individui del nostro stesso genere. L'uomo comparve infatti alla fine del Neogene.

Nella parte finale del Neogene le catene montuose assunsero la conformazione attuale. Durante il Pleistocene i ghiacci si estesero a più riprese nell'emisfero boreale, ricoprendo sotto una spessa coltre vaste aree. Circa le cause di queste **glaciazioni** oggi si propende ad ammettere che siano in gran parte dovute a fenomeni astronomici.

Il brusco cambiamento della fauna planctonica (foraminiferi) al limite Cretaceo-Paleogene testimonia che la devastazione ambientale si verificò anche in tutti gli oceani.

Era	Periodo	Epoca	Limiti (milioni di anni)	Durata (milioni di anni)	Eventi principali	
Cenozoico	Neogene	Olocene	0	0,01	Glaciazioni	
		Pleistocene	0,01	1,79	Compare il genere <i>Homo</i>	
		Pliocene	1,8	3,5		
		Miocene	5,3	17,7	Si sollevano gli Appennini	
	Paleogene	Oligocene	23	10,9	Si sollevano le Alpi	
		Eocene	33,9	21,9	Collisione Europa-Africa	
		Paleocene	55,8	9,7	Grande diffusione dei mammiferi	
				65,5		
		Mesozoico				

FIGURA VI.21 Suddivisione del Cenozoico e suoi principali eventi geologici e biologici.



FIGURA VI.22 All'inizio del Cenozoico la posizione dei continenti era ancora diversa da quella attuale. La Tetide, compressa tra Africa e India da una parte e blocco continentale eurasiatico dall'altra, si andava chiudendo. Durante il Cenozoico questi continenti si avvicinarono e la Tetide lentamente si chiuse. Lo scontro continentale determinò, con fasi più o meno intense, l'orogenesi alpino-himalayana. La chiusura dell'Oceano ligure-piemontese portò alla formazione delle Alpi degli Appennini e più in generale all'origine della penisola italiana e della penisola balcanica.

In Europa si succedettero 5 glaciazioni, denominate, dalla più antica alla più recente, Donau, Günz, Mindel, Riss e Würm dai nomi delle località dove sono state ritrovate le tracce più significative di ciascuna fase glaciale. In Italia sono ben documentate solo le ultime tre. Ciascuna di queste fasi glaciali fu separata dalla successiva da una fase relativamente calda, detta **periodo interglaciale**, in cui i ghiacci si ritrassero anche considerevolmente (tabella VI.1). Le maggiori manifestazioni delle espansioni glaciali si ebbero nell'emisfero boreale, con due enormi calotte continentali estese sull'America settentrionale e sull'Europa centrosettentrionale. Vi furono poi vaste coperture di ghiacci in alcune zone della Siberia e sulle principali catene montuose di tutto il mondo, comprese le Alpi.

Le glaciazioni ebbero un forte impatto sulle linee di costa. Trasgressioni e regressioni si alternarono durante il Pleistocene, mentre nell'Olocene si assistette a un continuo aumento del livello marino. Durante la massima estensione glaciale il livello marino si trovava più in basso dell'attuale di oltre 100 m. Vaste porzioni delle piattaforme continentali rimasero così scoperte (in Italia l'Adriatico iniziava all'altezza di Pescara, mentre i fiumi incidevano i terrazzi fluviali e scavavano solchi che oggi formano le parti superiori dei canyon sottomarini. L'abbassamento del livello del mare e la

presenza dei ghiacci consentirono collegamenti tra Asia e America e tra Asia meridionale e isole dell'Indonesia. Sulle coste le variazioni del livello del mare produssero i terrazzi marini.

Nell'Olocene, con la fine delle glaciazioni, si stabilirono i climi attuali e si formarono i deserti. La penisola scandinava e il Canada iniziarono a innalzarsi, il Mar Baltico si separò dall'Oceano Artico e le coste dei continenti assunsero l'aspetto attuale (figura VI.23).

VI.12 Eventi biologici del Cenozoico

L'inizio del Cenozoico fu caratterizzato dall'aumento del numero di individui e di specie di lamellibranchi e gasteropodi e da una grande diffusione delle nummuliti, macroforaminiferi marini, importanti fossili guida per l'Eocene e l'Oligocene e che si estinsero nel successivo Miocene. Nella parte più antica dell'era si svilupparono inoltre i pesci e gli uccelli. La maggioranza dei pesci cenozoici appartiene a gruppi tuttora esistenti.

Le principali caratteristiche del Cenozoico sono lo sviluppo massiccio dei mammiferi e la comparsa dell'uomo (figura VI.24).

Alla scomparsa dei grandi rettili, che nel Mesozoico avevano dominato sia sulle terre sia nei mari, i mammiferi iniziarono a occupare le nicchie ecologiche rimaste vuote. Con un processo di radiazione adattativa, nell'arco di pochi milioni di anni comparvero specie appartenenti a molti dei 18 ordini di mammiferi attualmente esistenti.

I primati, ordine già presente alla fine del Mesozoico, ebbero una grande diffusione. Nel Pliocene, circa 5 milioni di anni fa, comparve il genere *Australopithecus*, che comprende specie antenate di quella umana. Alla fine del Pliocene si svilupparono i canidi e gli ursidi e si diffusero i mastodonti, antenati dei moderni elefanti.

Tra le piante ebbero un grande sviluppo le angiosperme, che superarono le gimnosperme per estensione degli areali e del numero di specie.

Le forti variazioni climatiche connesse alle glaciazioni ebbero sensibili ripercussioni sulla flora e sulla fauna. Abbiamo così flore e faune «fredde» che si alternano a flore e faune «calde». Durante i periodi interglaciali, animali di tipo tropicale (*Elephas antiquus*, *Rhinoceros meridionalis*, *Hippopotamus amphibius*) si spinsero nell'Europa settentrionale, mentre nei periodi glaciali si espansero le forme «fredde» e nei paesi mediterranei si ritrova il mammut (*Elephas primigenius*), ricoperto da un folto vello (figura VI.25), insieme al rinoceronte lanoso, alla renna e a molti altri animali di tipo boreale o alpino. Nei sedimenti marini pleistocenici italiani, ad esempio, organismi «nordici», quali il mollusco *Cyprina islandica* e il foraminifero *Anomalina balthica*, si alternano a molluschi tropicali, quali *Mytilus senegalensis* e *Strombus bubonius* (figura VI.26).

Le **nummuliti** (dal latino *nummus* = moneta), oggi estinte, erano macroforaminiferi (protozoi) dotati di un guscio calcareo perforato discoidale, a forma di moneta, che poteva raggiungere il diametro di qualche centimetro. Questi organismi unicellulari vivevano nei mari dell'Eocene e dell'Oligocene e gli enormi accumuli delle loro conchiglie costituiscono talvolta intere montagne.

FIGURA VI.23 Alla fine del Neogene i continenti assunsero le posizioni attuali. Tra i fenomeni principali di questa fase finale sono da annoverare le 5 grandi glaciazioni. La calotta artica giunse a ricoprire l'Europa fino alla Germania centrale. Le Alpi erano ricoperte da un unico grande ghiacciaio, che arrivava fino alla attuale Pianura Padana.

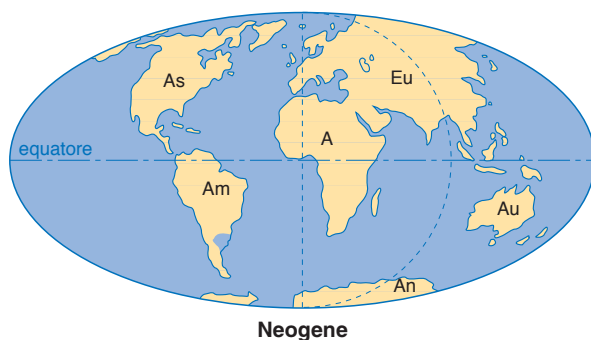
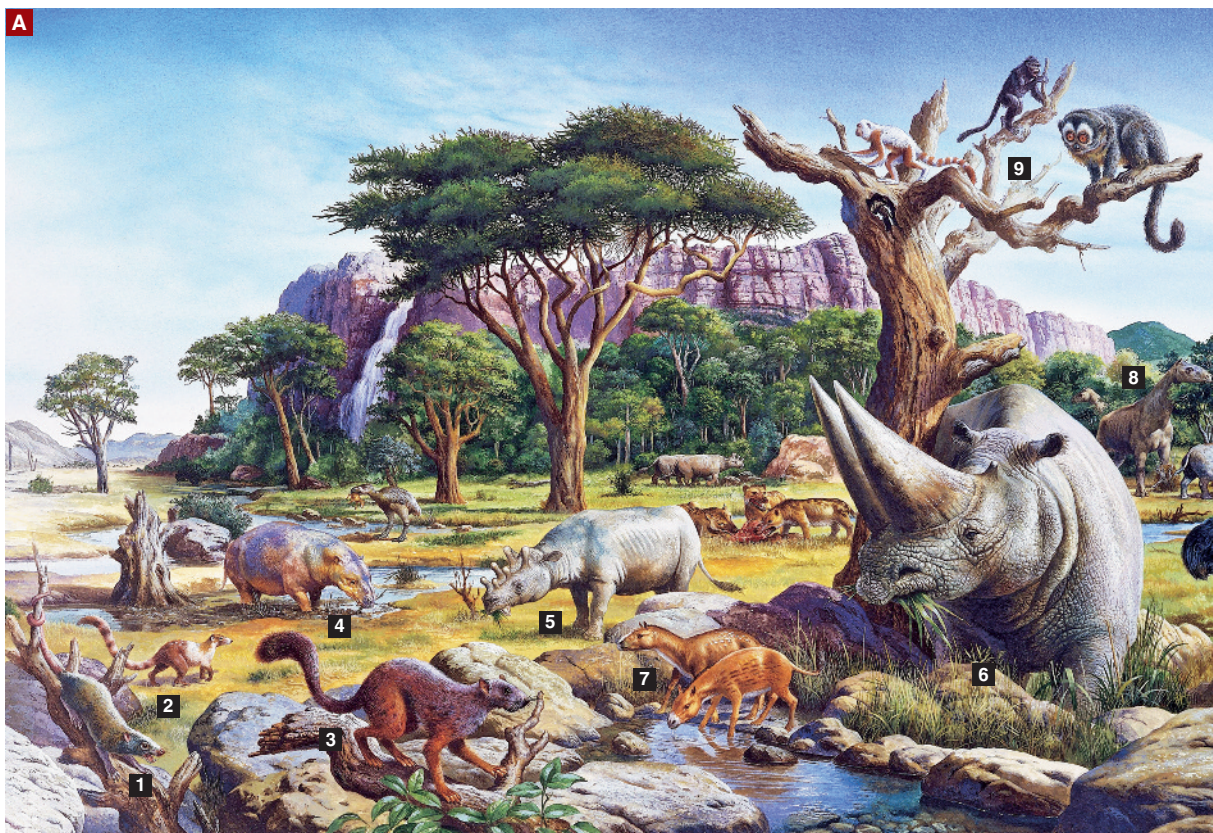


TABELLA VI.1 Periodi glaciali e interglaciali del Neogene in Europa.

Età (anni)	Periodo	Denominazione nella regione alpina
80.000	Glaciale	Würm
180.000	Interglaciale	Riss-Würm
240.000	Glaciale	Riss
420.000	Interglaciale	Mindel-Riss
480.000	Glaciale	Mindel
540.000	Interglaciale	Günz-Mindel
620.000	Glaciale	Günz
640.000	Interglaciale?	Günz-Donau
700.000	Glaciale?	Donau



(A), i tre piccoli mammiferi in basso appartengono ai generi *Ptilodus* (1), *Chiracus* (2) e *Plesiadapis* (3). Al centro un progenitore degli ippopotami, il *Coryphodon* (4), e due rinoceronti ancestrali, l'*Eobasileus* (5) e l'*Arsinoitherium* (6). I piccoli perissodattili che si abbeverano allo stagno sono esemplari del genere *Hyracotherium* (7), antenati del moderno cavallo. Sullo sfondo è visibile un *Indricotherium* (8), un enorme animale erbivoro, tra i più grandi mammiferi terrestri a noi noti, anch'esso imparentato con i moderni rinoceronti. Sull'albero in primo piano alcune proscimmie (9).

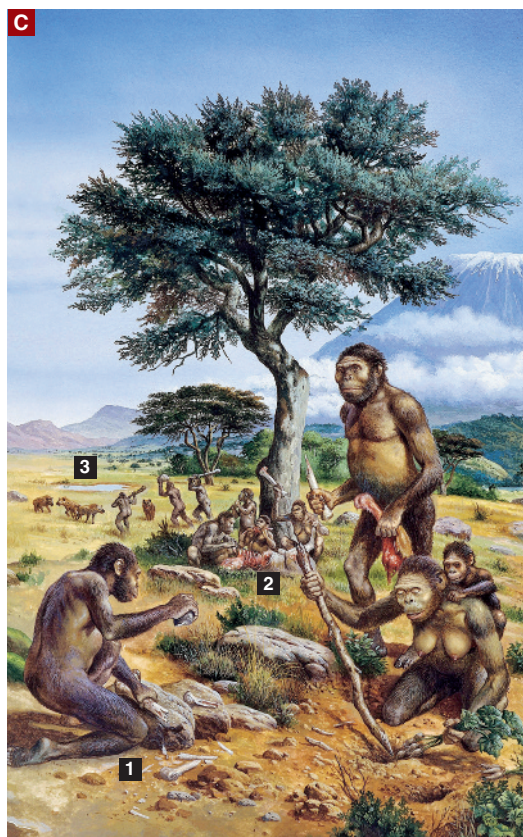
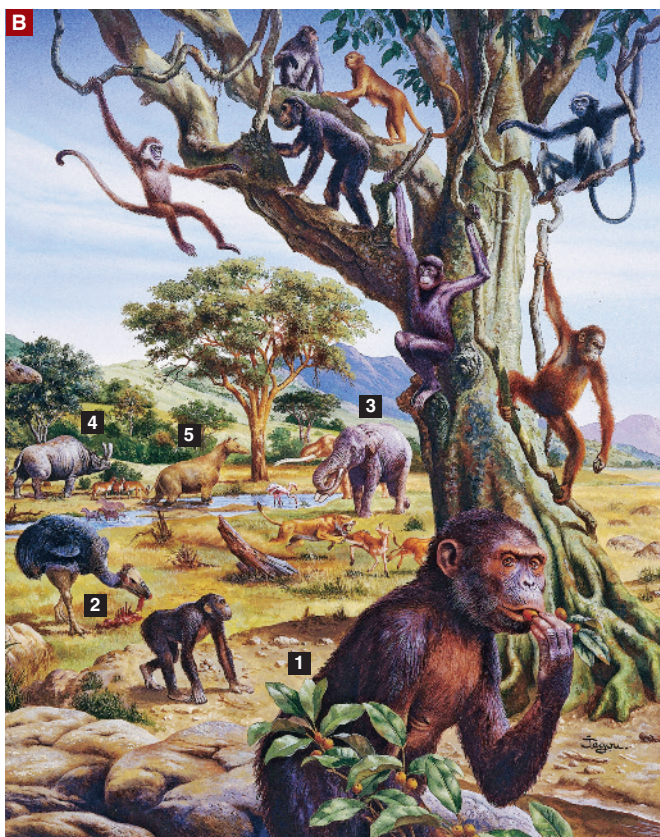


FIGURA VI.24 Varie specie di mammiferi e uccelli vissuti nel Cenozoico tra Paleocene e Pliocene.

(B), sotto e sull'albero in primo piano sono rappresentate varie specie estinte di primati tra cui il *Proconsul* (1). A sinistra si vede un *Phorusrhacos* (2), un uccello predatore inetto al volo e, in secondo piano al centro, un *Amebelodon* (3), un proboscideato miocenico antenato dell'elefante moderno. Gli animali alla sua sinistra sono un *Brontotherium* (4) e un *Moropus* (5), che ricorda un incrocio tra un gorilla, un orso e un cavallo. (C), sono ritratti diversi ominidi (*Australopithecus africanus*) nell'atto di ricavare e utilizzare rudimentali utensili (1) per l'estrazione di radici dal suolo, nel consumare un pasto (2) e durante una battuta di caccia (3).

FIGURA VI.25 Verso la fine del Neogene si verificarono numerose oscillazioni climatiche. Durante i periodi glaciali si affermarono flore e faune adattate ai climi freddi, come il mammut (*Elephas primigenius*) rappresentato nella figura.



All'inizio del Pleistocene si estinsero gli australopitechi e comparve il genere *Homo*. Scomparvero antiche specie di mammiferi come il mammut e la cosiddetta tigre dai denti a sciabola. Nell'emisfero boreale le foreste di conifere e latifoglie sostituirono le foreste di sole conifere.

Già due milioni di anni fa, contemporaneamente agli australopitecini, esisteva in Africa un altro ominide, chiamato *Homo habilis*, la più antica specie del genere *Homo*. Dotato di una capacità cranica da 500 a 800 cm³, *Homo habilis* è considerato il primo cosciente e continuativo costruttore di utensili apparso sulla faccia della Terra. Prima di estinguersi, meno di un milione di anni fa, *Homo habilis* conobbe un periodo di espansione che lo portò a diffondersi prima in tutta l'Africa, poi in misura minore in Europa e Asia.

Un successivo stadio dell'evoluzione umana è documentato dall'apparizione, a partire da 1,7 milioni di anni fa, di *Homo erectus*. *Homo erectus* e altri gruppi fino a pochi anni fa ritenuti appartenenti alla stessa specie, che avevano una capacità cranica da 775 a 1.300 cm³, nel Pleistocene medio erano diffusi in Africa, Europa e Asia. *Homo erectus* sviluppò una lavorazione della selce (le cosiddette «industrie») sempre più raffinata (figura VI.27), scoprì il fuoco ed escogitò modi per trasportare l'acqua.

A partire da circa 400.000 anni fa, nel Pleistocene superiore, i gruppi umani che abitavano l'Europa assunsero caratteri così particolari da

portare progressivamente verso la costituzione di una nuova specie, *Homo neanderthalensis* (uomo di Neanderthal). Questa specie, i cui resti furono scoperti per la prima volta vicino a Düsseldorf in Germania, presenta una struttura corporea massiccia e tozza che la rende particolarmente adatta ai climi freddi. I neandertaliani si diffusero in Europa e nel Medio Oriente dove vennero a contatto con popolazioni di *Homo sapiens* (uomo moderno) giunte dall'Africa.

L'uomo di Neanderthal raggiunse la massima espansione nel corso dell'ultima glaciazione, tra 120.000 e 40.000 anni fa. I neandertaliani avevano una capacità cranica di oltre 1.500 cm³, simile, se non maggiore, a quella di *Homo sapiens*. Il cranio era più massiccio, la fronte e il mento sfuggenti. Avevano certamente sviluppato credenze religiose. I loro strumenti, di osso o di selce, erano più raffinati di quelli di *Homo erectus*.

A seguito del contatto con popolazioni di *Homo sapiens*, intorno a 35.000÷30.000 anni fa, l'uomo di Neanderthal scomparve rapidamente.

L'uomo moderno, infatti, era in grado di superare i neandertaliani nella lotta per la sopravvivenza: ricorreva a tecniche di caccia più redditizie, usava attrezzi migliori, accantonava e conservava il cibo per la stagione avversa e organizzava più efficacemente l'accampamento. Avrebbe avuto quindi il sopravvento nella spartizione delle risorse.

Homo sapiens comparve in Africa circa 200.000 anni fa e da qui successivamente colonizzò il resto del mondo, soppiantando le altre specie di ominidi che lo abitavano e dando il via alla più sbalorditiva evoluzione conosciuta, l'evoluzione culturale dell'uomo moderno (figura VI.28). Si è ritenuto, fino a poco tempo fa, che negli ultimi 30.000 anni *Homo sapiens* sia stato l'unico rappresentante del genere *Homo* esistente sulla Terra.

Con l'affermazione e la diffusione della nostra specie la cultura umana, che aveva mosso i suoi primi passi con la costruzione di semplici oggetti e la scoperta del fuoco, ricevette una formidabile accelerazione. Tra i nostri antenati comparvero segni di attività artistica, si diffusero i riti religiosi e si sviluppò l'agricoltura; infine, alcune migliaia di anni fa, si costruirono le prime città e fra gli uomini diventò possibile comunicare con la scrittura.



FIGURA VI.26 Il mollusco *Strombus bubonius*, un gasteropode che attualmente vive sulle coste delle regioni a clima tropicale, si ritrova spesso come fossile nei depositi dei periodi interglaciali della regione mediterranea.

Nel 2003 furono scoperti nell'Isola di Flores, in Indonesia, in uno strato datato 18.000 anni fa, resti di ominidi con caratteristiche assolutamente inedite. Il fossile più completo è di una femmina adulta di altezza non superiore al metro, del peso stimato di 25 kg, con una capacità cranica di circa 400 cm³. Le caratteristiche corporee fanno supporre che si tratti di una nuova specie, una forma nana di *Homo erectus*, denominata *Homo floresiensis*.

La scoperta fa supporre che, in seguito all'uscita di *Homo erectus* dall'Africa, avvenuta più di 1,5 milioni di anni fa, specie da lui derivate siano sopravvissute fino a tempi insospettabili. Questi antichi abitanti dell'Isola di Flores mostrano una chiara statura eretta, l'uso di strumenti di pietra e del fuoco. Dopo l'arrivo su Flores di una popolazione di *Homo erectus* asiatico, attorno a 800.000 anni fa, si sarebbe sviluppata una forma affetta da nanismo a causa di una pressione evolutiva «insulare»; sull'isola infatti si sono evolute altre forme nane di grandi mammiferi. Nell'area indoaustrale vi sarebbe stata, quindi, una convivenza di almeno 20.000 anni tra l'uomo moderno e il *floresiensis*, ma le relazioni che legano queste specie non sono ancora chiare.



FIGURA VI.27 Frammenti di selce lavorati su tutte le superfici per ottenere utensili taglienti con impugnatura, noti come *amigdale*. Le amigdale cominciarono a essere usate da *Homo erectus* a partire da 1,5 milioni di anni fa.

DOCUMENTO VI.4 ► Il Cenozoico in Italia

Durante l'era cenozoica, l'area italiana è stata interessata da una drammatica evoluzione geologica: sono nate prima la catena alpina e poi quella degli Appennini.

Le rocce sedimentarie formatesi nel Cenozoico affiorano oggi in molte regioni italiane. Ma mentre nell'Italia settentrionale, e specialmente nella regione veneta, sono ancora presenti rocce carbonatiche di mare basso, associate a ingenti prodotti vulcanici (si

pensi all'area dei Lessini, col famoso giacimento di Bolca, e dei Colli Berici), la catena appenninica, e specialmente la parte settentrionale dalla Liguria all'Umbria, è caratterizzata da grande abbondanza di arenarie. Si tratta dei famosi *flysch*, potenti successioni terrigene che testimoniano lo smantellamento dell'insorgente catena appenninica.

Durante il Cenozoico, tra 30 e 16 milioni di anni fa, la Corsica e la Sar-

degna si sono staccate dalla loro posizione originaria, nei pressi di Provenza e Catalogna, e mediante un movimento roto-traslatorio si sono portate nella posizione attuale. Questa deriva del blocco sardo-corso ha comportato la nascita di una catena appenninica embrionale che successivamente, negli ultimi 8÷10 milioni di anni, è stata tralata nella posizione attuale grazie all'apertura del Tirreno, un movimento che è tuttora in atto.

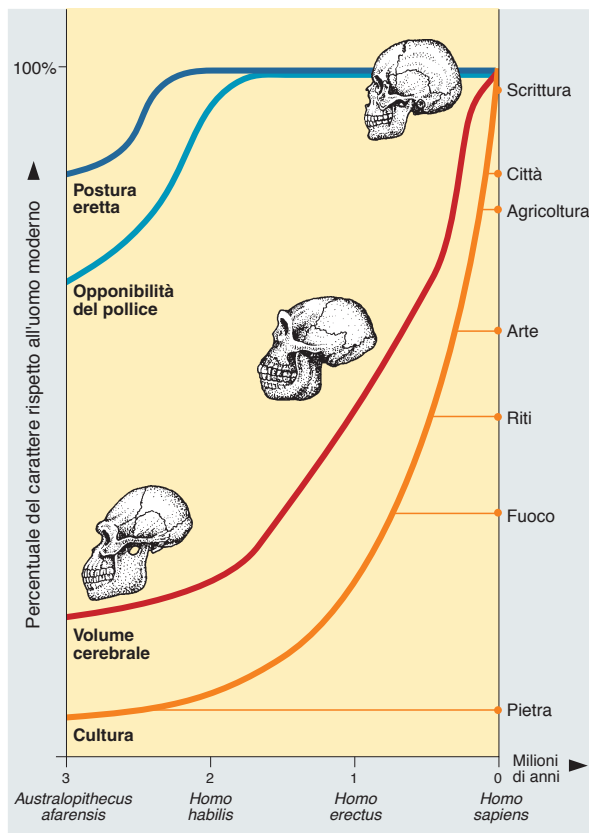


FIGURA VI.28 (a lato) L'uomo è l'unico animale che ha la prerogativa di vivere oltre la dimensione fisica della realtà. Grazie alle enormi possibilità aperte dalla comunicazione col linguaggio e grazie alle capacità di invenzione, di creazione e di immaginazione, l'uomo ha creato un ambiente simbolico di cui non c'è traccia tra gli altri viventi. Si tratta delle idee, dei valori, dei principi che riguardano la scienza, l'arte, l'etica, la religione, in sintesi si tratta della dimensione spirituale della cultura umana. (in alto) uomini preistorici (Cro-Magnon) intenti a dipingere graffiti, alla luce delle lanterne, sulle pareti di una caverna nei pressi di Lascaux in Francia, circa 17.000 anni fa. Cro-Magnon è il nome dato al più antico esemplare di uomo moderno europeo vissuto tra 40.000 e 10.000 anni fa. La grotta di Lascaux è una delle più importanti grotte «dipinte» del Pleistocene, per numero e qualità estetica dei graffiti, tanto da essere soprannominata «la Cappella Sistina della preistoria». I soggetti più frequenti delle raffigurazioni sono i grandi animali dell'epoca fra cui felini, cervi, bisonti, rinoceronti, cavalli e uri (bovini selvatici, oggi estinti).

- 14 In quale era si ebbe un'improvvisa abbondanza di fossili? In quale periodo, di questa era, le piante ebbero una particolare diffusione?
- 15 Nel corso del Paleozoico si verificarono imponenti fenomeni orogenetici? Giustifica la tua risposta.
- 16 Qual era la distribuzione dei continenti alla fine del Paleozoico?

- 17 Quali classi di vertebrati comparvero nel corso del Paleozoico? In quali periodi?
- 18 Quando si verificò la prima grande estinzione di massa del Fanerozoico?
- 20 Quale si ipotizza sia stata la prima specie del genere *Homo*?
- 19 Quale grande novità, riguardante l'evoluzione delle piante, si ebbe

alla fine del Mesozoico?

- 21 Dove e quando comparve *Homo sapiens*?
- 22 Dove furono scoperti per la prima volta resti di *Homo neanderthalensis*? A quale periodo risalgono?
- 23 Quali furono le più probabili cause della scomparsa di *Homo neanderthalensis*?



Mettiamoci alla prova

FACCIAMO IL PUNTO

Sommarario

Che cos'è il Precambriano? Il Precambriano è un'unità di tempo informale suddivisa in tre eoni: Adeano, Archeano e Proterozoico. Il Precambriano racchiude i 9/10 di tutta la storia della Terra, dalla sua origine a circa 542 milioni di anni fa. La Terra, in questo intervallo di tempo, subì diverse orogenesi accompagnate da imponenti manifestazioni magmatiche e diffuso metamorfismo.

Quando comparvero i primi viventi sulla Terra? I primi viventi, simili agli attuali batteri, comparvero intorno a 3,5 miliardi di anni fa, e furono individuati in seguito al ritrovamento dei più antichi fossili finora conosciuti.

Quali furono le condizioni chimico-fisiche che portarono alla comparsa della vita sulla Terra? Un'atmosfera ricca di gas riducenti (ammoniaca, idrogeno, metano) e la presenza di energia fornita dai raggi ultravioletti e dai fulmini hanno favorito reazioni chimiche con conseguente produzione di molecole organiche simili agli amminoacidi; questi, attraverso i legami peptidici, formarono le proteine e da esse grosse molecole sferoidali circondate da acqua: i coacervati. I coacervati avrebbero dato origine alle prime forme di vita: le protocellule.

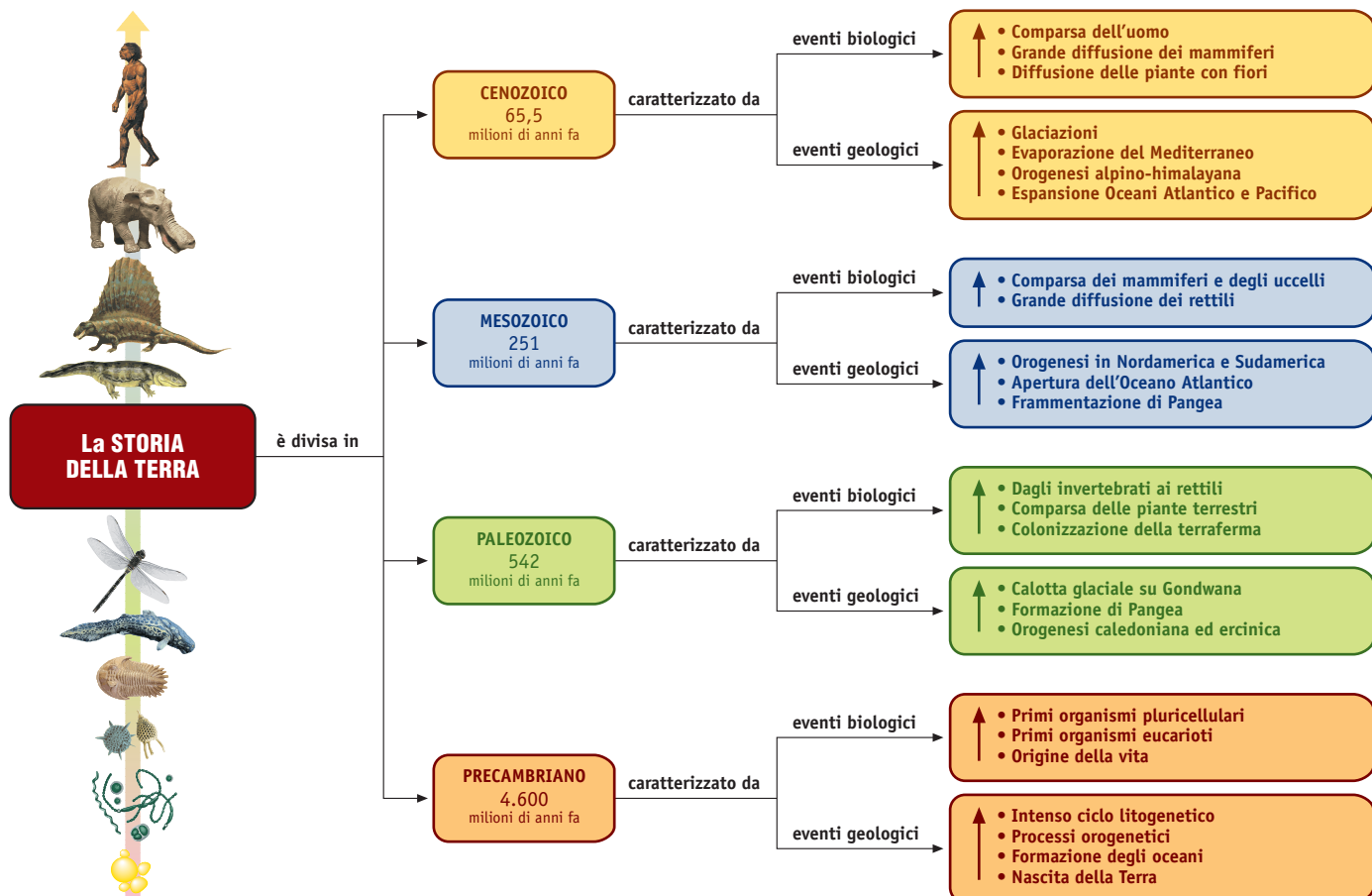
A quando risalgono le prime tracce della vita? Le prime tracce fossili riferibili a esseri viventi risalgono a 3,5 miliardi di anni fa e riguardano impronte di filamenti di cianobatteri, organismi microscopici che costruivano stromatoliti. I primi fossili di organismi eucarioti furono scoperti in Australia e risalgono a circa 1 miliardo di anni fa. In questo ritrovamento compaiono primitive alghe verdi e forse i primi funghi. Solo verso la fine del Precambriano, circa 700 milioni di anni fa, la vita iniziò a differenziarsi e a dare origine a organismi complessi pluricellulari (fauna di Ediacara).

Quali furono i principali eventi geologici e biologici del Paleozoico? Il Paleozoico si estende per un arco di tempo di circa 290 milioni di anni ed è suddiviso in sei periodi: Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonifero e Permiano. Gli eventi geologici significativi del Paleozoico furono le orogenesi caledoniana ed ercinica, la costituzione della Pangea, il raffreddamento del clima su scala globale. Gli eventi biologici significativi furono l'espansione dei sistemi viventi sia animali sia vegetali nei mari e nelle terre emerse e la comparsa dei primi vertebrati: pesci, anfibi, rettili.

Quali furono i principali eventi geologici e biologici del Mesozoico? Il Mesozoico si estende per un arco di tempo di circa 185 milioni di anni ed è suddiviso in tre periodi: Triassico, Giurassico, Cretaceo. Gli eventi geologici significativi del Mesozoico furono il generale e continuo aumento del livello marino, la frammentazione del supercontinente Pangea, le fratture crostali con fuoriuscita di lave basaltiche. Gli eventi biologici significativi furono la grande diffusione dei rettili in tutti gli ambienti della Terra, la comparsa dei primi mammiferi, la comparsa degli uccelli, la comparsa delle angiosperme e l'estinzione cretacea, con la scomparsa del 75% delle specie marine e continentali.

Quali furono i principali eventi geologici e biologici del Cenozoico? Il Cenozoico si estende da 65,5 milioni di anni fa a tutt'oggi, ed è suddiviso in due periodi: Paleogene e Neogene. Gli eventi geologici significativi del Cenozoico, ancora in atto, sono legati soprattutto a collisioni nell'area mediterranea e in Asia fino alla formazione delle catene montuose attuali, e a una serie di cinque glaciazioni intervallate da periodi interglaciali più caldi. Gli eventi biologici significativi sono stati lo sviluppo massiccio dei mammiferi, la comparsa e l'evoluzione del genere *Homo*. Al termine dell'ultima era glaciale ebbe inizio la rapida evoluzione culturale della nostra specie.

Mappa per il ripasso visivo





VERIFICA LE CONOSCENZE

Domande a risposta multipla (scegli il/i completamento/i corretto/i)

1 Il Precambriano:

- A è un lunghissimo intervallo di tempo che va dalla genesi della Terra all'esplosione della vita;
- B corrisponde a un intervallo di tempo superiore a 4 miliardi di anni;
- C corrisponde ai 3/4 di tutta la storia della Terra;
- D è un lunghissimo intervallo di tempo che arriva fino a circa 405 milioni di anni fa.

2 Nel Precambriano:

- A si originò la vita;
- B comparvero i primi sistemi viventi 3.500 milioni di anni fa;
- C si formarono i più antichi fossili finora conosciuti;
- D l'atmosfera era ossidante.

3 L'atmosfera primordiale conteneva:

- A molti gas riducenti; B ammoniaca;
- C ossigeno; D metano.

4 L'ozono:

- A costituisce uno strato dell'alta atmosfera che scherma le radiazioni infrarosse;
- B si formò in quantità apprezzabili solo dopo l'evoluzione di organismi fotosintetici;
- C svincolò i viventi dalla protezione dell'ambiente acquatico;
- D è una molecola formata da due atomi di azoto.

5 Le tracce fossili più antiche:

- A corrispondono ad alghe verdi;
- B furono scoperte nel 1980 in Canada;
- C sono state trovate in rocce sedimentarie;
- D sono datate 3,5 miliardi di anni.

6 Importanti eventi geologici del Paleozoico furono:

- A l'orogenesi caledoniana;
- B l'orogenesi alpina;
- C la formazione della Pangea;
- D la formazione delle prime rocce magmatiche.

7 Importanti eventi biologici del Paleozoico furono:

- A una limitata formazione di fossili;
- B comparsa dei primi pesci;
- C comparsa di piante terrestri;
- D colonizzazione delle terre emerse da parte di animali invertebrati e vertebrati.

8 Nel periodo Carbonifero:

- A la ricostruzione paleoambientale basata sulle tracce fossili ha messo in evidenza un clima sostanzialmente stabile;
- B ci furono rare trasgressioni e regressioni marine;
- C si ebbe grande sviluppo delle piante vascolari anche a causa di un riscaldamento climatico;
- D si formarono depositi vegetali che diventarono nell'arco di milioni di anni carbone fossile.

9 Nel Mesozoico, che si sviluppò nell'arco di 170 milioni di anni:

- A si ebbero rilevanti orogenesi;
- B non si ebbe un aumento del livello dei mari;
- C la Pangea si frammentò e si formarono fratture crostali con fuoriuscita di lave basaltiche;
- D si ebbe una grande affermazione e un grande sviluppo dei rettili, che dominarono le terre, i mari e l'aria.

10 Il Mesozoico:

- A si concluse 65 milioni di anni fa;
- B si concluse come il Paleozoico con una grande catastrofe biologica;

- C fu segnato dall'estinzione cretacea in cui scomparve il 50% delle specie viventi;
- D fu interessato da un impatto meteoritico che sconvolse l'ecosistema globale.

11 Nel Cenozoico:

- A la superficie terrestre non subì notevoli cambiamenti;
- B si ebbero un considerevole sviluppo dei mammiferi e la comparsa dei primati e dell'uomo;
- C in Italia si formarono le Alpi e gli Appennini;
- D l'emisfero boreale, nel Pleistocene, fu in gran parte coperto dai ghiacci.

12 L'intervallo di tempo a partire dalla comparsa di chiare e abbondanti forme di vita prende il nome di:

- A Adeano; B Archeozoico;
- C Proterozoico; D Fanerozoico.

13 La più grande estinzione in massa degli ultimi 500 milioni di anni avvenne:

- A verso la fine del Cretaceo;
- B al passaggio tra Mesozoico e Cenozoico;
- C al passaggio tra Paleozoico e Mesozoico;
- D verso la fine del Permiano.

14 Il genere *Homo* comparve:

- A all'inizio del Pliocene;
- B nel Pleistocene medio;
- C all'inizio del Pleistocene;
- D nell'Olocene.

15 Gli antenati diretti dell'uomo moderno:

- A provenivano dall'Africa;
- B provenivano dall'estremo oriente;
- C si fusero con *Homo neanderthalensis*;
- D da circa 100.000 anni rappresentano l'unica specie del genere *Homo*.

Quesiti

- 16 Di quante e quali orogenesi precambriane sono rimaste le tracce nel Nordamerica?
- 17 Perché oggi la presenza di una elevata percentuale di ossigeno nell'atmosfera non rappresenta, con poche eccezioni, un problema per i viventi?
- 18 Qual è la percentuale minima di ossigeno in atmosfera che rende possibile e conveniente il ricorso alla respirazione cellulare? Quando fu presumibilmente raggiunta tale concentrazione?
- 19 Quanti miliardi di anni fa la schermatura di ozono consentì a molti organismi marini di vivere sotto un modesto spessore di acqua?
- 20 La colonizzazione delle terre emerse iniziò quando la concentrazione dell'ossigeno nell'atmosfera arrivò al 10% e più. Quando avvenne?
- 21 Nella storia della vita, quanto durò la fase in cui gli organismi furono solo procarioti e l'evoluzione procedette molto lentamente?
- 22 Dei primi animali marini simili alle meduse abbiamo testimonianze nella fauna di Ediacara. A che periodo risalgono i fossili di Ediacara?
- 23 Attribuisce ai termini *Neogene* e *Neozoico* o *Quaternario* il corretto significato nella scala del tempo geologico.
- 24 A che periodo risale la grande glaciazione paleozoica di cui restano tracce evidenti in molte aree dell'emisfero australe?
- 25 Descrivi le prime tappe dell'evoluzione dei pesci tra l'Ordoviciano e il Devoniano.
- 26 Quali condizioni ambientali, nel Carbonifero, determinarono gli imponenti accumuli di vegetali da cui derivarono i grandi depositi di carbone fossile?
- 27 Quale era la distribuzione dei continenti durante il Carbonifero?
- 28 Quali variazioni del livello marino si verificarono nei tre periodi del Mesozoico?
- 29 Nel Mesozoico ci furono aree della Terra interessate a corrugamento? Spiega.
- 30 Quali classi di vertebrati comparvero nel Mesozoico? Quale classe di vertebrati ebbe una grande diffusione nello stesso periodo?
- 31 Nel Mesozoico i molluschi ebbero dei rappresentanti significativi. Di quali molluschi si tratta?
- 32 L'estinzione permiana e l'estinzione cretacea riguardarono una percentuale altissima di specie. In quanto tempo si verificarono?
- 33 A quale era, periodo ed epoca appartengono gli attuali viventi?
- 34 Quali collisioni e quali separazioni di aree continentali caratterizzarono il Cenozoico?
- 35 Il Cenozoico ha visto cambiamenti significativi di molte forme di vita, ma quale grande gruppo di organismi ha avuto uno sviluppo massiccio in questa era?
- 36 A quale periodo ed epoca risale la più antica specie del genere *Homo*?



VERIFICA LE COMPETENZE

Quesiti

- 37** Riporta tutte le caratteristiche delle rocce precambriane e in particolare il tipo di rocce presenti nella parte superiore del Proterozoico.
- 38** Indica quali furono le supposizioni di Oparin per descrivere le condizioni ambientali primordiali, che hanno portato alla formazione delle prime cellule e quindi alla comparsa della vita sulla Terra.
- 39** Dovendo costruire una linea del tempo che includa le principali orogenesi che hanno interessato l'Italia e il bacino del Mediterraneo

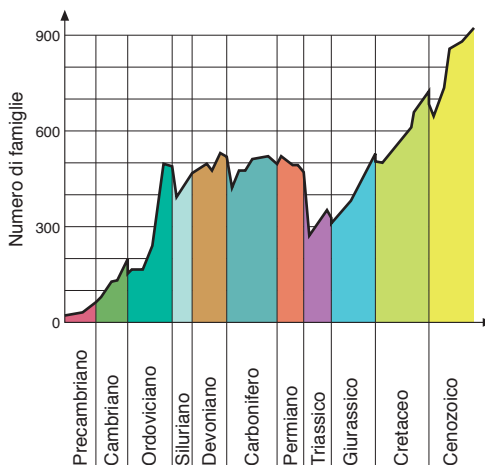
Esercizi

- 47** Nella figura sono rappresentati gli intervalli di tempo e la comparsa sulla Terra dei più importanti gruppi di animali e di piante, contrassegnati dai numeri da 1 a 13. Completa la tabella in calce, associando le lettere corrispondenti agli organismi ai numeri che indicano la loro comparsa.
- Animali: A = mammiferi; B = anfibi; C = animali con guscio; D = uomo; E = pesci; F = rettili; G = uccelli.
- Piante: H = felci; I = piante con fiori; J = pini; K = equiseti; L = muschi; M = ginkgoine.

Periodo	Animali	Piante
Cenozoico		
Cretaceo		
Giurassico		
Triassico		
Permiano		
Carbonifero		
Devoniano		
Siluriano		
Ordoviciano		
Cambriano		

Numero	Gruppo di organismi
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	

- 48** Il grafico in basso rappresenta l'evoluzione del numero di famiglie di organismi marini dal Precambriano al Cenozoico.



- negli ultimi 500 milioni di anni, quali avvenimenti menzioneresti e in quale successione?
- 40** Spiega per quali motivi nel Mesozoico si ebbe una vastissima diffusione dei rettili, che raggiunsero anche misure ragguardevoli e colonizzarono tutti gli ambienti.
- 41** Descrivi quali erano le caratteristiche dei primi mammiferi e quali furono le particolari condizioni che permisero la loro affermazione e il loro sviluppo.
- 42** Riporta le cause delle glaciazioni e dei periodi interglaciali che hanno interessato la Terra e in particolare l'emisfero boreale. Quali ritieni

- A** Descrivi a grandi linee l'evoluzione del numero di famiglie durante il tempo considerato.
- B** Qual è stato il momento della più grande estinzione di massa? Calcola la percentuale delle famiglie scomparse.
- C** Trova altri due o tre momenti in cui si sono verificate delle estinzioni, anche se meno importanti, e calcolane la percentuale di famiglie che si estinsero.

- 49** La figura 1 mostra le condizioni ambientali dell'Africa al tempo della comparsa dei primi ominidi tra i 7 e i 5 milioni di anni fa. Al termine del Miocene cambiamenti climatici portarono a profonde modificazioni ambientali in cui boschi e foreste lasciarono il posto a una vegetazione sempre più rada e alla savana. Nello stesso periodo la *Great Rift Valley* fu interessata da intensa attività tettonica che portò a un aumento dell'altitudine e del vulcanismo nella parte orientale del continente africano. La figura 2 rappresenta le aree di distribuzione dei panidi (scimpanzé e gorilla), i parenti più prossimi dell'uomo, e i luoghi dei più frequenti ritrovamenti dei primi ominidi.

Figura 1



Figura 2



siano le branche delle scienze della Terra che si occupano dello studio di questi fenomeni e delle loro cause?

- 43** Descrivi i principali processi orogenetici che si verificarono nel Cenozoico, inquadrando nel contesto dell'attività tettonica iniziata nel Mesozoico.
- 44** Descrivi come si è evoluta l'atmosfera terrestre nel tempo.
- 45** Illustra la storia evolutiva del genere *Homo*.
- 46** Spiega le possibili cause che hanno determinato le grandi estinzioni di massa durante la storia della vita sulla Terra.

- A** Descrivi la distribuzione di panidi e ominidi e confrontala con quella delle zone più o meno ricche di vegetazione.
- B** Descrivi la distribuzione dei due gruppi di organismi rispetto alla *Rift Valley*.
- C** Ritieni che le differenti condizioni ambientali abbiano influito sul differenziamento dei due gruppi? Spiega.
- D** Pensi che la presenza della *Rift Valley* possa avere determinato fenomeni di speciazione geografica e influito sull'evoluzione delle popolazioni occidentali e orientali? Spiega.

Progetto di gruppo

- 50** Il tuo gruppo partecipa insieme con altri gruppi a una gara tra scuole diverse per la preparazione di una mostra per rappresentare la storia della vita sulla Terra. Tu e i tuoi compagni dovete preparare un cartellone che illustri le condizioni della vita sulla Terra, paragonando tra loro quelle di 4,6 miliardi di anni fa, quelle di un miliardo di anni più tardi e quelle di 250 milioni di anni fa. Rappresentate graficamente l'origine dell'atmosfera primitiva e l'origine dell'oceano primitivo; la comparsa delle prime forme di vita e l'ambiente in cui vivevano, dai procarionti agli eucarioti e in particolare tracciando un albero evolutivo schematico per i primi vertebrati. Per vincere la gara, dovrai documentarti molto accuratamente, e rappresentare efficacemente le trasformazioni verificatesi nel periodo richiesto per il tuo gruppo, dall'inizio della storia della Terra fino al termine dell'era Paleozoica circa. Buon lavoro!

Questions



- 51** What did it happen about 65 million years ago, at the end of Cretaceous period, that could cause extinction of the dinosaurs? You can help yourself with the following terms (meteorite impact, death, mass loss of life, climate changes, extinction).
- 52** Discuss some of the relationships between plant and animal development during the Mesozoic.