

# ORIGINE DELLA VITA

## \_\_\_Indice\_\_\_

### **Introduzione**

#### **Nascita della vita**

Abiogenesi e biogenesi

Vita sulla Terra

Atmosfera primordiale

L'esperimento di Miller

Il brodo primordiale

Antenati delle proteine

I coacervati

La cellula vivente

Energia per la vita

Fermentazione e respirazione

Prima la proteina o il DNA?

Origine della fotosintesi

#### **Evoluzione della vita**

La teoria di Darwin

Sviluppo delle teorie evolutive

I primi fossili

#### **Fossili**

Che cos'è un fossile

Nascita della vita ed evoluzione

La storia della vita

Ricostruire il passato

La paleoecologia

Adattamento dei dinosauri

Storie di vita quotidiana

# ORIGINE DELLA VITA

## Introduzione

Tra i 3.700 e i 2.500 milioni di anni fa, nasce la Terra. Nulla era come è oggi, né i continenti, né gli oceani, né l'atmosfera. In quell'epoca l'atmosfera era attraversata da scariche elettriche e dai raggi ultravioletti del Sole. Questi fenomeni trasformarono le sostanze presenti, tramite reazioni chimiche, in macromolecole capaci di riprodursi e di alimentarsi. Era nata la vita!

Tra i 3.200 e i 2.900 milioni di anni fa, grazie alla comparsa delle alghe azzurre capaci di effettuare la fotosintesi clorofilliana, l'ossigeno si diffonde nell'atmosfera. Grazie all'ossigeno nell'aria e all'ozono, la vita può trasferirsi anche sulle terre emerse. Secondo alcuni scienziati, la vita avrebbe avuto origine in pozze d'acqua di superficie, secondo altri negli abissi degli oceani, dove ci sono sorgenti di acqua caldissima ricca di minerali. Ancora oggi, in questi ambienti inhospitali vivono batteri che riescono a vivere senza luce e ricavano energia dall'ossidazione chimica dei composti dello zolfo.

## Nascita della vita

I filosofi dell'antica Grecia pensavano che la vita fosse insita nella materia stessa e quando le condizioni erano favorevoli emergeva spontaneamente. Aristotele sintetizzò in una sua teoria tutte le idee relative alla generazione spontanea, dei filosofi che lo avevano preceduto. Secondo il grande filosofo gli esseri viventi nascono da altri organismi simili, ma a volte possono generarsi anche dalla materia inerte.

In ogni cosa, infatti, ci sarebbero un "principio passivo" rappresentato dalla materia e un "principio attivo" rappresentato dalla forma, ovvero una sorte di forza interna che organizza la materia stessa dandole appunto una forma. Ad esempio, il fango è materia inerte che possiede un principio attivo che altro non è che una predisposizione ad organizzare la materia inerte in un essere vivo, come ad esempio un verme o una rana.

La teoria della generazione spontanea fu sostenuta da illustri scienziati come Newton, Cartesio e Bacone e nel 1500 c'era ancora chi credeva che le oche nascessero da alcuni alberi che vivevano in contatto con l'oceano e che gli agnelli si generassero dentro i meloni. Nel XVII secolo iniziarono i primi esperimenti per provare la teoria della generazione spontanea e un medico *Jean Baptiste Van Helmont* dichiarò di aver condotto un particolarissimo esperimento: mise, infatti, una camicia sporca a contatto con dei chicchi di frumento e secondo lo scienziato dopo 21 giorni sarebbero nati dei topi. A parere del medico il sudore di cui era impregnata la camicia sarebbe stato il principio attivo grazie al quale la materia inerte si sarebbe trasformata in materia vivente.

## Abiogenesi e biogenesi

Dopo i primi esperimenti condotti in maniera poco corretta come quello già citato di *Van Helmont*, ne arrivarono molti altri. Nel 1668 il medico *Francesco Redi* condusse una serie di esperimenti che avrebbero dovuto dimostrare che la generazione spontanea non esiste. Redi mise in alcuni contenitori della carne di vitello e del pesce, sigillò ermeticamente, altri invece li



Ambiente / La vita / Origine della vita

lasciò a contatto con l'aria. Con il trascorrere del tempo, egli osservò che nei recipienti aperti si trovavano sulla carne in decomposizione vermi (che in realtà altro non erano che larve di insetti!), mosche e altri insetti, mentre nei contenitori chiusi non si vedevano segni di esseri viventi.

Nello stesso periodo degli esperimenti di Redi, un naturalista olandese *Anton Van Leeuwenhoek* (1632- 1723) costruì un rudimentale microscopio che permetteva l'osservazione di microrganismi. In poco tempo si osservarono così un grandissimo numero di microrganismi all'interno di tutte le sostanze che venivano esaminate, e questo ovviamente fece rinascere l'idea della generazione spontanea che pareva abbandonata dopo gli esperimenti di Redi. In seguito alle numerose osservazioni con il nuovo strumento di Leeuwenhoek, si riaccessero le discussioni fra chi sosteneva la tesi dell'abiogenesi (la vita nasce da sostanze non viventi) e quella della biogenesi (la vita si origina solo da esseri viventi). Nel 1745 il naturalista inglese *John Needham* inventò nuovi esperimenti per dare prove alla tesi dell'abiogenesi. Egli mise in alcune provette brodo di pollo e infusi di erbe e poi le tappò con della garza. Le provette erano state rese sterili dal calore, ma nonostante questo dopo alcuni giorni si notarono centinaia di organismi viventi all'interno. Questo risultato rafforzò l'ipotesi dell'esistenza della generazione spontanea.

Qualche anno dopo l'abate Lazzaro **Spallanzani**, non convinto dall'esperimento di Needham, cercò di ripeterlo lasciando scaldare molto più a lungo il liquido nutritivo e a maggiori temperature, fino a farlo bollire per qualche minuto. Chiuse anche ermeticamente le provette e il risultato fu che anche a distanza di molti giorni non si notava alcun microrganismo vivo. Il naturalista Needham, di risposta criticò Spallanzani dicendo che la temperatura a cui era stato sottoposto il liquido nutritivo, era stata troppo elevata e questa aveva ucciso i principi attivi presenti e inoltre la chiusura ermetica delle provette non avrebbe lasciato passare l'aria indispensabile per la vita. Le discussioni continuarono lungo fino a quando intorno alla metà del diciannovesimo secolo, un biologo francese **Louis Pasteur**, studiò un nuovo esperimento che mise fine alla questione. Pasteur realizzò alcuni contenitori di vetro con un lungo collo ricurvo (chiamati "**palloni a collo di cigno**"). All'interno di questi il liquido nutritivo veniva bollito per più di un'ora lasciando che il vapore uscisse attraverso il collo ricurvo del recipiente. Dopo la bollitura, la sostanza all'interno cominciava a raffreddarsi lentamente, mentre l'aria contaminata da microrganismi entrava dall'esterno a causa della depressione conseguente al riscaldamento. Così gli organismi microscopici a contatto con il vapore bollente del liquido all'interno morivano e anche dopo alcuni mesi non si trovava traccia di vita, mentre sul tratto più esterno del collo del recipiente si vedevano polveri e microrganismi entrati dall'esterno. Questo esperimento chiuse definitivamente la questione aperta dai sostenitori dell'abiogenesi, i quali dicevano che la lunga bollitura del liquido nutritivo uccideva il principio attivo. Pasteur invece, dimostrò che una volta rotto il collo ritorto del contenitore, l'aria a contatto con la sostanza avrebbe portato germi e microrganismi all'interno, dopo poco tempo. Inoltre, il recipiente non sigillato consentiva all'aria di entrare, anche se attraverso un collo tortuoso, bloccando le obiezioni di chi sosteneva che il principio attivo aveva bisogno di aria per generare la vita.

## Vita sulla Terra

Sono state formulate due differenti ipotesi sull'origine della vita sulla Terra: la teoria dell'**autotrofia** e quella sull'**eterotrofia**. La prima teoria ipotizza che il primo essere vivente fosse autotrofo, in grado cioè di fabbricare sostanze organiche da quelle inorganiche come fanno le piante verdi, attraverso la "**fotosintesi clorofilliana**". Nel secondo caso invece, il primo organismo vivente sarebbe stato eterotrofo, cioè non in grado produrre da solo il cibo, ma avrebbe dovuto alimentarsi di altri esseri viventi. Infatti, gli animali (**eterotrofi**) per vivere hanno bisogno di nutrirsi di piante (**autotrofe**), mentre queste ultime non ne hanno affatto bisogno. Il biologo inglese *John Burdon Sanderson Haldane* (1892-1964) all'incirca intorno al 1920, dopo aver considerato che la Terra all'origine aveva caratteristiche molto diverse rispetto ad oggi, iniziò a trarre alcune conclusioni. All'inizio sulla Terra primitiva non si trovava la vita come invece c'è ora. Secondo Haldane se attualmente si formasse la materia organica, verrebbe subito eliminata da qualche organismo vivente, mentre allora in totale assenza di microrganismi in grado di decomporla, sarebbe rimasta tranquilla ed avrebbe avuto il tempo di svilupparsi e di diventare più complessa. Nel 1924 un ricercatore sovietico *Aleksandr Ivanovic Oparin* propose teorie simili a quella di Haldane, ma con la differenza che a parere del primo l'atmosfera primitiva doveva essere ricca di idrogeno, secondo lo scienziato inglese invece, era ricca di anidride carbonica. Per avere conferme sperimentali su questa nuova teoria si partirà proprio da questo ultimo presupposto. Oparin e Haldane affrontarono l'argomento dal punto di vista prettamente scientifico tralasciando condizionamenti religiosi e questo ovviamente non venne accettato dai credenti che invece cercavano di dimostrare che la vita non poteva essere stata creata con un incontro casuale tra atomi, ma che era opera di Dio. In effetti, le proteine, ad esempio, sono molecole estremamente complesse che non si possono essere formate grazie ad incontri casuali con atomi di idrogeno, carbonio, ossigeno e azoto, ma si è dimostrato sperimentalmente che le combinazioni possibili delle molecole più semplici sono legate da leggi fisiche e chimiche e quindi sono limitate e non casuali

## Atmosfera primordiale

Il Sole e i pianeti che lo circondano si formarono circa 5 miliardi di anni fa dopo l'esplosione di una supernova, cioè una stella molto grossa, che prima di scoppiare aveva generato al suo interno elementi pesanti a partire dall'idrogeno e dall'elio. La Terra quindi all'inizio era un'enorme palla incandescente composta in prevalenza da idrogeno ed elio, ma anche da elementi pesanti come carbonio, azoto, ossigeno, ferro e silicio che erano stati lanciati nello spazio dall'esplosione della supernova. In seguito, la Terra diventò fredda e i gas più leggeri, come idrogeno ed elio, in parte reagirono con gli elementi più pesanti e in parte si dispersero nello spazio. L'elio, infatti, si disperse quasi tutto perché è leggero e poco reattivo con altri composti, mentre una parte dell'idrogeno (l'elemento più leggero di tutti) reagì con altri elementi formando composti idrogenati come ad esempio il metano (CH<sub>4</sub>), l'ammoniaca (NH<sub>3</sub>), l'acido solfidrico (H<sub>2</sub>S) e l'acqua (H<sub>2</sub>O). Quindi gli elementi più pesanti iniziarono, a causa delle gravità, a formare un "nucleo" centrale composto soprattutto da ferro e nichel, e un "mantello" posto sopra, formato

da elementi pesanti e una “crosta”, la più superficiale, fatta da elementi leggeri come alluminio, potassio e sodio. Mentre si formava la crosta, si liberarono attraverso le spaccature molti gas volatili che arrivavano dall’interno della Terra e che formarono quella che viene considerata l’atmosfera primordiale. Una prova indiretta della composizione dell’atmosfera primordiale è data dalle miscele di gas emesse ancora oggi dai vulcani e dalle solfatare, la composizione di questa, infatti, è molto simile all’atmosfera primordiale. Un’ ulteriore prova della teoria sulla composizione atmosferica primordiale è data dall’analisi dell’atmosfera sui pianeti più esterni del sistema solare grazie ad una sonda, atmosfera che risulta ricca di composti idrogenati. Un’ ultima prova è data ancora dall’analisi dei meteoriti che possiedono tutte le sostanze ipotizzate anche se a concentrazione molto ridotta. Gli scienziati comunque sono certi che nell’atmosfera primordiale non si trovava l’ossigeno libero ( $O_2$ ) e quindi non poteva nemmeno esistere l’ozono (formato da tre atomi di ossigeno, invece che due, cioè  $O_3$ ) e quindi i raggi ultravioletti del Sole che normalmente vengono bloccati da uno spesso strato di ozono, potevano raggiungere la superficie del Pianeta in quantità più elevata rispetto ad oggi e aiutare quindi con la sua energia alla formazione di composti chimici primitivi.

### L’esperimento di Miller

Nel 1952 il professore americano *Harold Clayton Urey*, premio Nobel per la chimica nel 1934, incaricò un giovane ricercatore, *Stanley Lloyd Miller*, di eseguire un dato esperimento. All’interno di una boccia di vetro, Miller mise dell’acqua mantenuta ad alta temperatura e in un’altra boccia una miscela di idrogeno ( $H_2$ ), ammoniaca ( $NH_3$ ) e metano ( $CH_4$ ), cioè tutti quei gas che insieme al vapore acqueo ( $H_2O$ ) si pensava che potessero costituire l’atmosfera primordiale. L’acqua calda, che avrebbe dovuto rappresentare secondo gli scienziati l’oceano primitivo, creava vapore che passando attraverso un tubo arrivava al recipiente che conteneva la miscela di gas. All’interno di quest’ultimo contenitore venivano generate scariche elettriche a 60.000 volt che dovevano riprodurre fenomeni temporaleschi probabilmente frequenti e intensi all’epoca dell’origine della Terra. L’esperimento durò una settimana, alla fine della quale si osservò con grosso stupore che nel recipiente dell’acqua si trovava un liquido rosso-arancio che conteneva molti composti, ma in particolare alcuni aminoacidi, cioè i precursori delle proteine che sono i componenti principali di ogni essere vivente. L’esperimento di Miller dimostrò che da composti semplici, che si pensava fossero presenti nell’atmosfera primordiale, si potevano formare molecole complesse, quelle appunto che si trovano nei composti organici di tutti gli organismi viventi. Si ipotizzò quindi che in un’atmosfera primitiva caratterizzata da continui fenomeni temporaleschi, calore e radiazioni ultraviolette, attraverso semplici processi chimici di sintesi, si sarebbero potuti formare i precursori biologici degli esseri viventi. In seguito, le piogge avrebbero trasportato questi semplici composti organici fino al mare, dove, successivamente avrebbero potuto trasformarsi e accrescersi. Comunque, creare in laboratorio gli aminoacidi non significa creare un organismo vivente, ma è ovvio che questo fu un importante passo avanti verso la formazione abiotica (cioè chimica) degli esseri viventi. Da allora molti scienziati hanno ripetuto l’esperimento di Miller con molte varianti. Si può modificare la composizione della miscela

gassosa, variare la temperatura, usare altre forme di energia al posto delle scariche elettriche, ma il prodotto finale è sempre lo stesso: sostanza organica.

### Il brodo primordiale

Gli esperimenti simili a quelli condotti da Miller hanno definitivamente dimostrato che in condizioni di alte temperature, temporali frequenti e intensi raggi ultravioletti, condizioni simili a quelle presenti sul pianeta Venere ancora oggi, molecole inorganiche semplici hanno avuto la possibilità di trasformarsi in sostanze più complesse che chiamiamo organiche, perché fanno parte degli organismi viventi. Queste sostanze organiche poi si sciolsero nel mare e reagirono tra di loro e con i sali inorganici. Anche i piccoli bacini di acqua come laghi e lagune offrivano spazio particolare per reazioni che potevano creare determinati composti e aumentarne la concentrazione. L'accumulo delle sostanze organiche si presume fosse notevole poiché non esistevano né microrganismi decompositori né ossigeno che avrebbero potuto modificarle. Così si formò una sostanza piuttosto concentrata che gli scienziati chiamano "**brodo primordiale**" o "**brodo prebiotico**". Oggi una sostanza simile fermenterebbe e produrrebbe esalazioni velenose di odore acre. In mare alcune molecole avrebbero potuto ripararsi dai raggi ultravioletti che tendono a distruggerle, mentre altre avrebbero trovato condizioni ottimali per unirsi e organizzarsi in strutture più complesse, formando i cosiddetti "polimeri". In mare quindi si sarebbe continuata l'evoluzione chimica delle sostanze organiche.

### Antenati delle proteine

Nel 1957 *Sidney Walter Fox*, biochimico americano, ideò un esperimento che avrebbe dimostrato come si sarebbero potute formare proteine al di fuori degli esseri viventi partendo da aminoacidi. Fox riscaldò semplicemente una miscela di aminoacidi su una piastra metallica. Subito dopo il raffreddamento era possibile notare alcune molecole complesse, molto simili alle proteine, che egli chiamò "**proteinoidi**" per non confonderle. Si pensò quindi che queste nuove molecole si fossero formate per l'unione di aminoacidi con liberazione di acqua che era evaporata. La stessa reazione poteva essere avvenuta sulle rocce roventi della crosta terrestre appena solidificata. Le maree avrebbero potuto portare il brodo primordiale ricco di sostanze organiche sulla terra ferma, dove l'acqua sarebbe evaporata consentendo alle molecole degli aminoacidi di unirsi. Questi precursori delle proteine sarebbero poi stati trasportati di nuovo al mare dalle piogge e dal riflusso delle maree.

### I coacervati

In realtà siamo ancora molto lontani da quello che potrebbe essere definito un organismo vivente anche perché esso attualmente è avvolto da un involucro chiamato "membrana cellulare", che lo separa dal mondo esterno. Partendo da questi presupposti, Oparin ipotizzò la formazione nei caldi mari primitivi, di unioni di molecole organiche in goccioline, somiglianti alle attuali cellule. Queste piccole gocce avvolte da molecole di acqua sono dette "**coacervati**" (da *cum acervo* = ammassati insieme) ed erano conosciute già da prima di Oparin. Si è dimostrato che mescolando

in acqua determinate proteine con elevata affinità per l'acqua, in date condizioni di temperatura e acidità, si formavano numerose goccioline, dentro le quali si trovava la maggior parte delle molecole più grosse unite insieme. Il tutto si spiega con l'esistenza di cariche elettriche di segno opposto sulle proteine, che così si attraggono e il richiamo sulla superficie esterna di molecole polari di acqua che formano una pellicola intorno all'aggregazione trasformandola in una gocciolina. Nel 1958 il biochimico Sidney Walter Fox, lo "scopritore" dei precursori delle proteine (**proteinoidi**), fece sciogliere in acqua calda salata appunto alcuni proteinoidi. Quando la soluzione si raffreddò, si notarono migliaia di piccoli globuli simili a batteri, che egli chiamò "microsfere". Al microscopio si osservò che questi piccoli globuli di sostanza organica avevano una doppia membrana di protezione. Questa membrana non è come la membrana cellulare, ma si comporta in maniera simile in alcune condizioni. Infatti, se si mettono in soluzioni più o meno concentrate del loro liquido interno si sgonfiano o si gonfiano esattamente come le cellule viventi nelle stesse condizioni. Inoltre, le microsfere sono capaci di trattenere alcune molecole al loro interno e di lasciarne uscire altre. Queste caratteristiche fanno somigliare moltissimo le microsfere a cellule viventi.

### La cellula vivente

Nel 1665 *Robert Hook* esaminando una laminetta di sughero scoprì la cellula, cioè il mattone che costituisce gli "edifici" degli esseri pluricellulari, e che è un'entità estremamente complessa. Si trovano, infatti, al suo interno una quantità incredibile di strutture definite visibili al microscopio elettronico, strutture queste che svolgono attività biologiche e biochimiche particolari, che rendono la cellula un'"officina" vivente organizzata con incredibile perfezione. Una prova dell'evoluzione della cellula si può avere anche solo osservando al microscopio alcuni infusori (organismi composti da un'unica cellula). All'interno di questi organismi è, infatti, possibile osservare strutture complesse e organi simili ad altri esseri pluricellulari. In realtà si conosce già dal 1940, dopo l'invenzione del microscopio elettronico, un livello di vita molto meno complesso: il virus. Il virus, nonostante le sue dimensioni infinitesimali (centinaia di milionesimi di millimetro) e la minor complessità rispetto agli infusori, contiene tuttavia un acido nucleico, nel quale si trova il suo patrimonio genetico, ossia le caratteristiche che lo definiscono. Questo acido nucleico è il cosiddetto DNA (acido desossiribonucleico) che sta alla base della vita e che permette la trasmissione dei caratteri ereditari. L'acido nucleico che si trova in molti virus è proprio lo stesso DNA, quello cioè che trasmette i caratteri ereditari di un organismo molto complesso come ad esempio quello dell'uomo. Certamente i virus non rappresentano la vita così come nacque sulla Terra, perché sono parassiti obbligati di cellule vegetali e animali. Essi però ci mostrano un ponte fra le normali sostanze chimiche e i viventi. Nel 1967 due scienziati americani, *Arthur Kronberg* e *Mehran Goulian*, sono riusciti a sintetizzare (cioè a costruire) in laboratorio il DNA e l'hanno unito a molecole proteiche estratte da virus. Come risultato hanno ottenuto un nuovo virus in grado di riprodursi. In questo modo si è toccato il punto dove la vita comincia.

## Energia per la vita

Tutti gli esseri viventi hanno bisogno di una fonte di energia per poter attivare reazioni chimiche. Ad esempio, un fiammifero ha bisogno, per essere acceso, di una qualche forma di energia per innescare la reazione. In questo caso basterebbe semplicemente strofinare la capocchia su una superficie ruvida per poter produrre calore e quindi accendere il fiammifero. In questo caso si parla di “energia di attivazione”. Quasi tutti gli esperimenti di cui abbiamo parlato negli altri capitoli, utilizzavano come fonte di energia scariche elettriche, luce ultravioletta e calore. Queste fonti di energia possono, però, essere dannose per le molecole viventi, poiché una temperatura troppo elevata può disintegrare le molecole e i coacervati in esse contenute, provocando un danno irreparabile. La terra primordiale mancava di un’atmosfera abbastanza spessa e densa, e quindi le radiazioni ultraviolette avrebbero potuto distruggere tutto quello che era presente sulla superficie del pianeta. Questo ha impedito l’evoluzione di organismi in zone colpite da tale energia. Sia le scariche elettriche sia i raggi ultravioletti erano attivi generalmente in atmosfera, mentre l’origine della vita quasi sicuramente è nata in acqua o in luoghi umidi protetti. Quindi, altre forme di energia devono aver aiutato la nascita della vita sulla Terra. Con il passare del tempo, il brodo caldo diluito che si trovava nelle depressioni della superficie del Pianeta, iniziava a raffreddarsi e quindi le reazioni diventavano sempre più lente. A questo punto devono essere entrate in scena nuove sostanze capaci di facilitare le reazioni chimiche, sostanze presenti attualmente in tutti gli organismi viventi: gli enzimi. Gli enzimi attivano le reazioni chimiche negli organismi viventi anche in presenza di temperature così basse da non riuscire a fornire l’energia di attivazione necessaria. Gli enzimi generalmente sono formati da due parti: una proteica e una non proteica. La parte proteica contiene il cosiddetto “sito attivo”, cioè una zona che aderisce alle molecole sulle quali agisce. L’altra parte non proteica, è spesso una vitamina e aiuta la parte proteica nella sua funzione. Gli enzimi possono funzionare anche al di fuori della cellula vivente e questo ha facilitato i vari esperimenti in laboratorio.

Oggi gli organismi viventi usano come fonte di energia soprattutto zuccheri. Gli zuccheri o carboidrati sono molecole formate da carbonio, ossigeno e idrogeno e vengono attualmente sintetizzati dalle piante verdi. Nell’oceano primordiale erano presenti queste sostanze? *Melvin Calvin* riuscì a rispondere alla domanda con un nuovo esperimento. Egli bombardò con radiazioni ad alta energia composti chimici diversi rispetto a quelli usati negli esperimenti di Miller, ma che avrebbero potuto lo stesso essere presenti nell’atmosfera primitiva. In questo modo Calvin riuscì ad avere nuove molecole, tra cui zuccheri semplici come il glucosio. Grazie a particolari enzimi il glucosio e altri zuccheri simili possono formare strutture più complesse come amido e cellulosa. Negli oceani primordiali potevano esistere molecole di glucosio utilizzabili come fonte di energia, ma serve molta energia di attivazione per sciogliere i legami tra gli atomi di glucosio e produrre altra energia. Si deve quindi supporre un meccanismo simile a quello che avviene ora negli esseri viventi, cioè si devono legare alla molecola da scindere alcuni atomi che attirino su di sé gli elettroni che formano il legame per indebolire la struttura molecolare e demolirla. Nel caso del glucosio, i gruppi fosforici (un insieme di atomi di fosforo, ossigeno e idrogeno) si uniscono alla molecola di zucchero e la trasformano in glucosio-fosfato, molecola

questa più debole di quella di partenza e che quindi ha bisogno di minor energia di attivazione per rompersi.

L'ATP (adenosintrifosfato) è un composto chimico che fornisce non solo energia per l'aggiunta dei gruppi fosforici al glucosio, ma anche il gruppo fosforico necessario per l'indebolimento della molecola.

### Fermentazione e respirazione

L'ATP o adenosintrifosfato è una complessa molecola formata da un composto azotato chiamato adenina, da uno zucchero a cinque atomi di carbonio detto ribosio e da tre gruppi fosforici. I gruppi fosforici erano presenti nella crosta terrestre sotto forma di fosfati, cioè sali presenti nelle rocce che le acque calde della Terra primordiale avrebbero potuto sciogliere e portare al mare. L'adenina e il ribosio invece si sarebbero formati spontaneamente e di questo abbiamo una prova sperimentale. Nel 1960 il biochimico americano *Juan Oro* fece reagire acido cianidrico (uno dei prodotti dell'esperimento di Miller) con ammoniaca e ottenne appunto l'adenina. In un ulteriore esperimento il biochimico aggiunse formaldeide, un composto usato come disinfettante e chiamato anche formalina, ottenendo proprio il ribosio. Come già accennato prima, l'ATP ha tre gruppi fosforici, due dei quali quando vengono staccati, liberano grandi quantità di energia. Per questo motivo i legami terminali dei gruppi fosforici sono chiamati legami ad "alta energia". Quando uno dei gruppi fosforici si stacca dall'ATP, quello che rimane viene detto ADP (adenosindifosfato) perché ha solo due gruppi fosforici. Grazie ad un particolare enzima un gruppo fosforico può passare da una molecola di ATP ad una di glucosio formando il glucosio-fosfato e ADP. L'ADP per tornare ad essere una molecola attiva deve trasformarsi di nuovo in ATP. Attualmente la trasformazione di ADP in ATP avviene attraverso reazioni chimiche che liberano energia. Se queste reazioni avvengono in assenza di ossigeno si chiamano fermentazioni, in presenza di ossigeno, invece, respirazioni. Nell'atmosfera primitiva, però, non c'era ossigeno e quindi si può dedurre che negli eterotrofi primitivi avvenisse qualcosa di simile all'attuale fermentazione. Le fermentazioni oggi avvengono in molti organismi unicellulari ma anche in molti organismi complessi, uomo compreso, e consentono alle cellule di sopravvivere, anche se solo per poco, in assenza di ossigeno. La più conosciuta reazione di fermentazione è quella che trasforma il succo d'uva in vino, cioè dal punto di vista chimico, una soluzione dolce per la presenza di glucosio come il succo di uva diventa una soluzione acquosa di alcol etilico, il vino. L'energia prodotta in questa trasformazione viene in gran parte immagazzinata nei legami fosforici dell'ATP. La trasformazione del glucosio in alcol etilico sprigiona anidride carbonica, che nell'atmosfera di quei tempi era molto scarsa, ma diventerà fondamentale per la successiva evoluzione del metabolismo. Gli organismi primitivi anaerobi si servivano per i processi vitali di glucosio e altre sostanze organiche semplici che si trovavano facilmente nelle acque di quel tempo, immagazzinando l'energia prodotta in ATP.

### Prima la proteina o il DNA?

Nell'epoca attuale le proteine sono formate sulla base di istruzioni fornite dal DNA (acido

desossiribonucleico) che a sua volta è sintetizzato da specifici enzimi che altro non sono che proteine. Allora è nato prima la proteina o il DNA? Gli acidi nucleici (DNA e RNA) sono formati da nucleotidi che sono molecole formate da uno zucchero a cinque atomi di carbonio, una molecola di acido fosforico e una base azotata. Gli zuccheri a cinque atomi di carbonio sono il ribosio, che si trova nell'RNA (acido ribonucleico) e il desossiribosio che si trova nel DNA. Le basi azotate sono dei composti con proprietà basiche, (in grado cioè di ricevere protoni) che possiedono atomi di azoto e sono: adenina, citosina, guanina, timina e uracile. Nel DNA si trovano le prime quattro basi, mentre nell'RNA ci sono le prime tre e l'uracile. Nel DNA si trova l'informazione genetica degli organismi viventi. Le proteine sono grosse molecole formate da venti piccole molecole dette amminoacidi. In tutti gli organismi viventi si trovano gli stessi venti amminoacidi, ma disposti in modi differenti e questo determina la funzione diversa per ogni proteina. Le proteine esercitano tutte le funzioni vitali degli organismi, ma la disposizione particolare degli amminoacidi all'interno di esse, è stabilita dalla specifica sequenza delle basi azotate del DNA. L'RNA porta il messaggio contenuto nel DNA nella zona della cellula dove avverrà la sintesi delle proteine e dovrà anche sintetizzarle. Quindi in un essere vivente gli acidi nucleici contengono l'informazione che viene passata alle proteine che si occupano di molteplici funzioni, tra cui anche quella di ricostruire gli acidi nucleici. Sembra piuttosto improbabile che due molecole così importanti per la vita siano apparse nello stesso momento, ma da un certo punto di vista sembra assurdo anche averne una senza l'altra. Alcuni biologi, indipendentemente gli uni dagli altri, tra cui *Francis Crick* e *Lesile Orgel*, supposero l'esistenza di un composto capace sia di duplicarsi senza l'aiuto delle proteine, sia di catalizzare ogni fase della sintesi proteica. Questo composto avrebbe dovuto essere l'RNA, poiché è una molecola più semplice rispetto al DNA e più facilmente sintetizzabile rispetto a questo ultimo. In seguito, molte osservazioni hanno confermato questa ipotesi, tra cui la scoperta di enzimi composti da RNA e quindi si è capito che non tutte le reazioni chimiche sono svolte da proteine. Si è riusciti addirittura a modificare alcune molecole di RNA con funzioni enzimatiche in modo da renderle capaci di unire alcuni nucleotidi dello stesso RNA. Attualmente non è ancora possibile dimostrare in modo certo che l'antenato comune alle cellule di oggi possedesse RNA capace di sintetizzare le proteine, di duplicarsi e anche di evolversi; ma ancora più importante sarebbe riuscire a chiarire come sia nato questo RNA. Abbiamo già visto come si sia ottenuta sperimentalmente la sintesi di adenina, una delle quattro basi azotate del DNA, successivamente altre reazioni fra composti presenti in questa antica atmosfera, crearono anche le altre tre basi azotate degli acidi nucleici.

### Origine della fotosintesi

Le prime cellule si nutrivano delle sostanze organiche presenti nel brodo primordiale, la cui concentrazione diminuiva lentamente. Molto probabilmente la scarsità di risorse e di energia provocò una selezione. Alcune cellule acquisirono la capacità di trarre nutrimento da altre, mentre altre cellule svilupparono la capacità di sintetizzare nuove sostanze organiche usando l'energia delle ossidazioni. Ancora oggi esistono procarioti (cellule che non possiedono un vero e proprio nucleo cellulare ma un "equivalente" nucleare) che ricavano l'energia per vivere in

questo modo, i cosiddetti batteri chemiosintetici. Altre cellule poterono invece sfruttare l'energia della luce per trasformare l'acqua e ottenere l'idrogeno riducente necessario per la fotosintesi (reazione in grado di trasformare sostanze inorganiche semplici in sostanza organica come i carboidrati grazie all'energia luminosa). Gli organismi viventi in grado di fare la fotosintesi liberavano però ossigeno elementare che, a causa della sua alta affinità con le sostanze organiche, deve aver ucciso gran parte delle forme cellulari primitive. Sopravvissero quindi solo quelle cellule in grado di sopportare la crescente concentrazione di ossigeno. In seguito, alcuni procarioti impararono ad usare l'ossigeno libero come mezzo ossidante per la produzione di energia. Era così comparsa la respirazione, che dava un vantaggio enorme, potevano, infatti, procurarsi molta più energia di quella prodotta con la fermentazione e assicurava la sopravvivenza nell'atmosfera ricca di ossigeno.

## Evoluzione della vita

I primi esseri viventi di cui abbiamo traccia, tramite la raccolta di fossili, risalgono a tre miliardi e mezzo di anni fa. Sono i cosiddetti "stromatoliti", strutture costituite da molteplici strati sovrapposti come pile di frittelle. Ai nostri giorni è possibile osservare strutture simili agli stromatoliti fossili nei mari caldi dell'Australia. Queste attuali stromatoliti sono costituite dalla crescita di comunità di batteri e alghe azzurre su cui si depositano granelli di sabbia. Sia i batteri sia le alghe azzurre sono organismi procarioti, privi cioè di nucleo differenziato, e quindi poco evolute, ma le alghe azzurre sono in grado di fare la fotosintesi e quindi si può pensare che le primissime forme viventi sulla Terra risalgano ancora prima di tre miliardi e mezzo di anni fa. Non possediamo, tuttavia, testimonianze fossili di cellule eucariote di età superiore ad un miliardo di anni, e quindi possiamo credere che l'evoluzione della vita nei primi due o tre miliardi di anni sia stata lentissima e comunque riferita solo ad organismi unicellulari. Invece si pensa che sia stata molto veloce il passaggio dagli organismi unicellulare a quelli pluricellulari, poiché i primi fossili di organismi complessi erano già abbondanti seicento milioni di anni fa. Proprio seicento milioni di anni fa terminò l'era Precambriana ed iniziò l'era Paleozoica, di cui abbiamo sicure testimonianze fossili, quando la vita si trovava soltanto in mare. In seguito, le alghe iniziarono i primi tentativi per colonizzare la terra ferma. Dopo che arrivarono sulle terre emerse le prime piante, apparvero anche i primi animali erbivori, alcuni dei quali divennero in seguito carnivori.

## La teoria di Darwin

L'esperimento di Pasteur semplice e geniale, concluse definitivamente ogni controversia tra sostenitori dell'abiogenesi e della biogenesi, ma fece sorgere nuove domande a proposito dell'origine della vita. Se per generare un essere vivente ci voleva necessariamente un altro essere vivente, chi poteva aver creato il primo? Inoltre, se un organismo genera sempre individui uguali a sé stesso, come è possibile che sulla Terra si possa trovare una così grande varietà di esseri viventi?

Per fortuna il ritrovamento dei fossili e la **teoria evoluzionista** di Darwin riescono a dare alcune

risposte a questi nuovi interrogativi. Secondo il naturalista inglese, infatti, i fossili sono la testimonianza di organismi viventi del passato differenti da quelle del presente e secondo la teoria evoluzionista gli individui all'interno della stessa specie presentano delle piccole differenze tra loro (come tra noi uomini, dove troviamo persone con occhi azzurri, altre con occhi marroni e così via). Quando l'ambiente circostante si modifica, gli individui che possiedono le caratteristiche migliori per quella nuova condizione, sono quelli che riusciranno a sopravvivere e a generare nuovi esseri viventi con caratteristiche simili alle loro, mentre gli altri meno "adatti" si estingueranno prima di riuscire a mettere al mondo la loro prole. Di conseguenza gli individui meglio adattati, attraverso la selezione naturale delle caratteristiche migliori, genereranno a loro volta individui con caratteristiche sempre più vantaggiose. Darwin pensava che le specie attualmente viventi si originassero da un unico progenitore comune e grazie alla selezione naturale si potessero creare nuovi organismi adattati alle esigenze di un ambiente che continua a modificarsi.

### Sviluppo delle teorie evolutive

Verso la fine del 1800 *Weismann* (1834-1914) invalidò l'ipotesi di Lamarck secondo la quale i caratteri acquisiti nel corso di una generazione erano trasferibili ai discendenti ed individuò nella mescolanza dei patrimoni ereditari diversi, che avviene con la riproduzione sessuale, la principale causa della variabilità biologica. In questo modo si creò un legame fra evoluzionismo e genetica. I primi contributi della genetica all'evoluzionismo vennero da due ricercatori, *Hardy* e *Weinberg* che, indipendentemente, nel 1908 fecero studi e calcoli statistici sulla distribuzione dei geni di una popolazione e sulle condizioni indispensabili perché non si manifestino variazioni tra una generazione e la successiva. Le condizioni opposte, infatti, possono costituire altrettanti fattori di evoluzione e precisamente:

- mutazioni di geni;
- vantaggio degli individui che hanno una determinata costituzione genetica rispetto ad altri;
- limitazione numerica della popolazione;
- migrazione di geni tra popolazioni contigue.

Alcuni genetisti tra cui Fischer, Wright e Haldane, nel 1920 circa, studiarono statisticamente il problema dell'evoluzione, integrando le considerazioni di Hardy e Weinberg in un quadro di cause che possono modificare gli equilibri genetici di una data popolazione determinandone l'evoluzione. La **selezione naturale** divenne così uno dei fattori evolutivi e furono mantenuti alcuni elementi fondamentali del darwinismo. I modelli matematici elaborati dalla genetica delle popolazioni sono stati verificati sperimentalmente sia in laboratorio sia in vari ambienti naturali ottenendo definitive conferme.

**Un best seller rivoluzionario.** Charles Darwin presentò la sua famosa teoria per la prima volta in un libro nel 1859 dal titolo "L'origine delle specie". In questo libro Darwin ampliava e correggeva la teoria sull'evoluzione di *Lamarck*, introducendo il concetto di selezione naturale. La nuova

teoria accese forti dibattiti e critiche feroci, ma il suo libro fu un vero best seller, infatti, si esaurì nel corso di un solo giorno!

### I primi fossili

Le rocce sedimentarie più antiche di cui si ha conoscenza, risalgono a tre miliardi e mezzo di anni fa e forse contengono qualche traccia di vita. Queste rocce sono state trovate in Canada, in Sud Africa e in Australia e sono state datate con molta precisione grazie al metodo dei radioisotopi. L'analisi chimica di queste rocce ha evidenziato la presenza di alcuni composti che potrebbero essere considerati "fossili chimici" perché sembra siano composti che derivano soltanto dal metabolismo di organismi viventi. In realtà non vi è la certezza assoluta che si tratti di materiale molto antico, poiché potrebbe esserci stata una contaminazione successiva di quelle rocce da parte di materiale organico prodotto più recentemente.

**I fossili nella storia.** Sin dai tempi più antichi i fossili hanno incuriosito gli uomini: alcuni molluschi fossili, ad esempio, sembra siano stati usati come gioielli preistorici. Plinio, che conosceva alcuni fossili, li considerava prodotti dei fulmini ed Empedocle descrisse come ossa di giganti alcuni reperti di ippopotami fossili della Sicilia. Le descrizioni di questi reperti erano riunite nelle cosiddette "gigantologie".

## Fossili

Non passa giorno, per così dire, che le ricerche paleontologiche attive in tutto il mondo non ci presentino qualche nuova scoperta: a volte una nuova specie, a volte organismi del tutto sconosciuti, che non hanno rappresentanti tra la fauna e la flora moderni, qualche volta così "strani" da faticare a comprenderne l'anatomia e il modo di vivere, a volte mostrandoci piccoli "scorci" di vita quotidiana rimasti per sempre intrappolati negli strati geologici.

Il quadro generale dell'evoluzione della vita sulla Terra è ora abbastanza chiaro, almeno a grandi linee, ma ogni nuova scoperta costituisce un piccolo tassello che contribuisce a rendere questo quadro sempre più completo e ricco di dettagli. A volte, però, un piccolo dettaglio, conservato per caso nei sedimenti, e altrettanto per caso venuto alla luce e riconosciuto, porta un contributo fondamentale, a volte generando anche qualche "rivoluzione" nel modo di pensare e di interpretare la lunga storia della vita sul nostro pianeta. È il caso, per esempio, di un ritrovamento nello Utah, che mostra come un feroce predatore, *Falcarious*, un dinosauro coperto di penne, simile al Velociraptor, si sia evoluto successivamente in un dinosauro erbivoro, circa 125 milioni di anni fa, in una sorta di "contro evoluzione".

### Che cos'è un fossile

Alla morte di un organismo, le parti che normalmente sono risparmiate dalla decomposizione sono le parti dure, mineralizzate: gusci ed esoscheletri, ossa e denti, scaglie, squame. Una volta dissolti i tessuti molli, le parti mineralizzate possono venire trasportate dall'acqua o dalla gravità, e accumulate in giacimenti fossiliferi, dove divengono parte dei sedimenti che li includono e

possono conservarsi per milioni di anni. In questi casi, raramente si rinvencono scheletri completi, e i resti fossili sono in genere mescolati, spesso con organismi di specie diverse frammisti tra loro. Le modalità di trasporto, inoltre, come nel caso di correnti fluviali, possono operare una selezione sui resti, accumulando, per esempio, soltanto i frammenti di maggiori dimensioni, o, al contrario, trasportando soltanto quelli più piccoli. In casi eccezionali, come, per esempio, nel caso di un rapidissimo seppellimento sotto una coltre di sedimenti molto fini, in presenza di scarso ossigeno, la parti organiche molli possono conservarsi, lasciando un'impronta nei sedimenti che, a volte è incredibilmente nitida e ricca di finissimi dettagli, come penne, squame, corteccia, tracce di pelle: famosissimi sono i fossili giurassici, splendidamente conservati nei minimi particolari, delle località tedesche di **Holzmaden e Solnhofen**, antiche lagune ipersalate, vere e proprie "trappole" di morte per gli organismi che vi venivano sospinti dalle onde.

In altri casi, i tessuti possono essere disciolti dalle acque circolanti nei sedimenti e sostituiti, molecola per molecola, con altri minerali, per esempio, calcite, il minerale sicuramente più diffuso, ma anche silice, come nel caso di tronchi e legni silicizzati, che spesso costituiscono vere e proprie "**foreste pietrificate**" (come le palme fossili del Sahara e la foresta di conifere dell'Arizona), quarzo o pirite, realizzando, in questo caso, veri e propri "gioielli" naturali, come, per esempio, i ben noti fossili piritizzati di Ammoniti, dal particolare aspetto "metallico". A volte questo processo conserva anche i dettagli più fini degli organismi. I fossili più interessanti sono quelli che, oltre ad essere conservati nella loro interezza, vengono ritrovati in "**posizione di vita**", cioè nel punto in cui vivevano, magari sorpresi dalla morte mentre erano intenti alle loro attività: la caccia, il sonno, la lotta, il parto. Questi fossili ci forniscono, oltre che indicazioni sulla loro fisionomia, anche importanti indizi sull'ambiente in cui vivevano, sul loro stile di vita e sull'interazione con altri esseri viventi. Questo in genere si verifica quando l'organismo muore a causa di eventi catastrofici, che provocano un seppellimento immediato: per esempio, un'eruzione vulcanica che copre di ceneri un'area, una frana che seppellisce all'istante chi si trova sul suo percorso, un'alluvione, o la caduta accidentale in "trappole" naturali, come laghi, depositi naturali di bitume (come gli scheletri delle tigri dai denti a sciabola di *Rancho la Brea*, vicino a Los Angeles), pozzi o crepacci, o, per gli organismi più recenti, il ghiaccio o il permafrost, come è accaduto ai mammut siberiani.

Per gli organismi più piccoli, come gli insetti, anche una colata di resina lungo il tronco di una conifera può costituire un evento drammatico, che porta ad una rapida morte e a una fossilizzazione istantanea: è il caso di piccoli artropodi magnificamente conservati nell'ambra, una resina fossile naturale. Lo stato di conservazione di questi piccoli fossili ha fornito l'idea iniziale del celeberrimo libro di Crichton, dove il sangue prelevato dallo stomaco di una zanzara fossilizzata nell'ambra fornisce la possibilità di ricostruire il DNA dei futuri ospiti di **Jurassic Park**. Altri fossili non sono veri e propri organismi, ma soltanto le tracce della loro attività: impronte di zampe, o di corpi che strisciavano, tane, escrementi. Per molti di questi è stato possibile risalire al "colpevole", ma alcuni di quelli più antichi sono le uniche tracce di organismi a tutt'oggi sconosciuti.

## Nascita della vita ed evoluzione

La nascita della vita sulla Terra ha richiesto una lunghissima “incubazione”: in un periodo compreso tra **4.5 e 3.8 miliardi di anni** si posero le basi per la formazione degli “ingredienti” che portarono alla nascita delle prime cellule. Questo lontano mondo si ritrova oggi in alcuni tra i più inospitali luoghi della Terra: nelle sorgenti di acqua calda e nelle “**fumarole**” vulcaniche delle dorsali oceaniche. Delle primissime fasi della vita, però, non esiste “memoria” negli strati geologici. I più antichi fossili, vecchi di 3.5 miliardi di anni, sono stati trovati in rocce sedimentarie dell’Australia Nordoccidentale: si tratta di organismi unicellulari, simili a batteri, sottilissimi filamenti le cui forme ricordano molto da vicino organismi attuali, noti come cianobatteri, o alghe azzurre (sono organismi procarioti, le cui cellule sono prive di nucleo e di altri organuli interni). Lo studio dei sedimenti in cui sono stati trovati ci permette di stabilire che vivevano in un ambiente marino con acque basse e calde, forse una laguna.

Tutto l’**eone Archeano**, il primo e più antico periodo geologico, è dominato dai batteri: per un miliardo di anni, non sono stati trovati altri tipi di fossili. L’eone successivo, il **Proterozoico**, durò circa 2 miliardi di anni. Lo studio dei fossili e delle rocce di questo eone ci mostra la comparsa di organismi, le **stromatoliti**, colonie di cianobatteri, capaci di attuare la fotosintesi, che modificarono la composizione dell’atmosfera terrestre, arricchendola di ossigeno e preparando il successivo passo nell’evoluzione della vita.

Circa 1.4 miliardi di anni fa, la vita compì un notevolissimo passo, con la comparsa delle **cellule eucariote**, dotate di nucleo e di organuli interni, simili alle cellule che costituiscono tutti gli organismi viventi superiori, compreso l’uomo, ma bisogna attendere altri 300 milioni di anni per vedere la comparsa di organismi pluricellulari. La vita continuò ad evolversi molto lentamente, caratterizzata da organismi semplici, a corpo molle, privi di gusci, denti, scheletri o carapaci, strutture che comparvero solo a partire dal **Fanerozoico**, l’eone successivo.

La grande rivoluzione si verificò all’inizio dell’era **Paleozoica**, che si apre con il periodo Cambriano, 540 milioni di anni fa: qui si verificò quella che viene chiamata dai paleontologi “l’esplosione cambriana”. Quasi improvvisamente, l’evoluzione della vita accelerò vertiginosamente, con la comparsa di più di **100 phyla** (il phylum è la più ampia suddivisione sistematica del regno animale): per rendersi conto della vera e propria esplosione di nuove forme di vita, si pensi che oggi se ne contano circa 30. **La maggior parte degli organismi viventi di oggi discende dagli organismi del Cambriano**, ma moltissimi di questi si sono estinti senza lasciare alcun discendente attuale. Molti di loro erano animali strani, bizzarri, dal nostro punto di vista, che non hanno uguale nel mondo vivente attuale, e di cui, per questo, risulta difficile capire il modo di muoversi, l’ambiente e le abitudini di vita, e, in alcuni casi, perfino identificare le diverse parti del corpo. Il **sito di Burgess**, nelle Montagne Rocciose della Columbia Britannica è famoso per aver fornito il più vasto e bizzarro campionario degli strani esseri del Cambriano. Tanto strani che alcuni studiosi avanzano l’ipotesi che si possa trattare del risultato di un periodo di “esperimenti” evolutivi, di cui solo i più “riusciti” hanno dato discendenti. I più caratteristici e conosciuti fossili del Cambriano, oggi estinti, sono i Trilobiti (gli organismi attuali che più somigliano a questi strani esseri sono i limuli).

Durante l'era paleozoica, durata circa 300 milioni di anni, compaiono **pesci** (circa 440 milioni di anni fa), **insetti** (circa 380 milioni di anni), **anfibi** (400 milioni di anni), **rettili** (poco più di 350 milioni di anni), e, verso la fine, anche i **precursori dei mammiferi**. Verso la fine di quest'era, durante il periodo Carbonifero, lussureggianti foreste coprivano vaste aree del nostro pianeta e diedero origine ai principali giacimenti di carbone oggi utilizzati. La fine di quest'era così ricca di vita, però, è segnata dalla più grande estinzione di massa di tutti i tempi, che vide la scomparsa di circa l'80-90% di tutte le specie e le cui cause sono ancora sconosciute.

### La storia della vita

L'era successiva, il **Mesozoico**, è caratterizzata dalla straordinaria **evoluzione dei rettili**, gli indiscussi signori di quest'era. Evolutisi dagli anfibi con "l'invenzione" dell'uovo, che li rese indipendenti dall'acqua anche per la riproduzione, alcuni rettili ritornarono all'acqua, diventando abili nuotatori. La maggior parte dei rettili era erbivora, ma si evolvettero molte specie carnivore. Alcuni poi, come il dinosauro pennuto del genere *Falcarious* che sta facendo recentemente parlare di sé, ritornarono ad uno stile di vita erbivoro. Nel corso del Mesozoico si svilupparono anche alcuni rettili particolari, forse a sangue caldo, di piccola taglia, goffi e con un'andatura ondeggiante, da cui si evolveranno, verso la fine del Giurassico, i mammiferi.

Tra i rettili, quelli che più stimolano la nostra fantasia sono i **dinosauri**, il cui nome significa "rettile terribile", anche se soltanto alcuni loro rappresentanti erano davvero tali: occupavano, infatti, tutte le nicchie ecologiche, con specie di tutte le taglie e per la maggior parte erbivori. Anzi, fino alla fine del Giurassico erano per la maggior parte di piccole dimensioni e il **gigantismo che tanto ci affascina si sviluppò nel Cretaceo**, poco prima dell'estinzione di massa che ne cancellò la maggior parte delle specie. I primi **rettili volanti** comparvero alla fine del Triassico, circa 70 milioni di anni prima degli uccelli veri e propri, di cui, però, non sono i progenitori. Questi ultimi comparvero circa 140-150 milioni di anni fa, alla fine del Giurassico, evoluti da una classe di rettili, detti ornitiscii ("dal bacino di uccello", cui appartengono, per esempio, *Stegosaurus* e *Triceratops*): il famosissimo **Archaeopteryx**, rinvenuto in una cava della Germania meridionale, è uno dei primi rappresentanti, riconosciuto come uccello grazie alla straordinaria conservazione, in un calcare a grana finissima, delle impronte delle sottilissime strutture delle penne.

I ricercatori stanno ancora discutendo sulla comparsa dell'attitudine al volo e sul ruolo delle penne: recentissime scoperte, infatti, in Cina, nello Utah, in Alaska, mostrano l'esistenza di molti dinosauri coperti di piume, ma del tutto inadatti al volo, come *Beipiaosaurus*, *Falcarious* o *Troodon*. Le penne sembrerebbero essere comparse ben prima della possibilità di librarsi in volo.

Meno appariscenti dei rettili, anche gli **insetti**, decimati dall'estinzione paleozoica, si diversificarono notevolmente nel Mesozoico. Il ruolo degli insetti divenne molto importante alla fine del Mesozoico (nel Cretaceo, 100 milioni di anni fa), con la comparsa delle piante con fiore (angiosperme), che arricchì ulteriormente lo scenario della vita, rendendo gli ambienti della Terra sempre più simili a quelli a noi famigliari.

Al limite **Cretaceo-Terziario**, 65 milioni di anni fa, si verificò un'altra grande estinzione di massa, che ridusse drasticamente il numero delle specie viventi, come già era accaduto alla fine del Paleozoico. Queste sono le **due estinzioni** più conosciute e più drastiche, ma altri episodi di

questo tipo si sono ripetuti più volte nel corso della storia della Terra. Sulle possibili cause di questa estinzione, molte teorie sono state avanzate, alcune anche piuttosto fantasiose (come quella che ritiene che la grande quantità di escrementi prodotti dai grandi dinosauri erbivori abbia causato un aumento della concentrazione di metano nell'atmosfera, che avrebbe avvelenato la maggior parte degli esseri viventi): tra le teorie più accreditate è l'ipotesi della caduta di un meteorite nel Golfo del Messico (il meteorite di Chicxulub, nello Yucatan), che avrebbe causato, con le polveri prodotte dall'impatto, un'opacizzazione dell'atmosfera, con conseguente abbassamento delle temperature e rallentamento della fotosintesi, con una drastica riduzione del cibo a disposizione degli erbivori e la morte della maggior parte degli esseri viventi. Il cratere d'impatto non è più visibile, perché sepolto dai sedimenti terziari, ma le prove della caduta dell'asteroide sarebbero nella presenza di anomale quantità di iridio nei livelli geologici di quest'età in tutto il mondo. L'era successiva, il **Cenozoico**, è l'era dei **mammiferi**. Scomparsi gli antagonisti più potenti, i rettili, i mammiferi conoscono una grandissima diversificazione di specie durante il Cenozoico. Durante il Mesozoico, infatti, a causa della competizione con i più forti rettili, i mammiferi rimasero piccola taglia e poco appariscenti, ma nell'arco di circa 10 milioni di anni dopo l'estinzione di massa, sono comparsi circa 130 generi di mammiferi, più di quanti ne esistessero fino ad allora!

### Ricostruire il passato

Quello dei paleontologi è un paziente lavoro di investigazione, in cui anche il più piccolo indizio può essere fondamentale per ricostruire, a volte da un piccolissimo frammento osseo, l'aspetto e le abitudini di vita di un essere vivente del passato. In generale, si utilizza anche in paleontologia, come in geologia, il principio dell'attualismo, per cui si ipotizza che organi simili (una zampa, un cranio, una spina dorsale) in organismi attuali e del passato servissero allo stesso scopo e funzionassero nello stesso modo. Per questo, la ricostruzione degli organismi fossili viene fatta cercando il confronto con gli organismi attuali più simili al reperto da studiare. Attualmente, l'uso dei computer e le nuove tecnologie biomeccaniche e bio-ingegneristiche permettono ricostruzioni impensabili fino a qualche decennio fa. Utilizzando calchi delle ossa, per esempio, si possono ricostruire le inserzioni dei tendini e dei muscoli, determinare lo sviluppo e la disposizione della massa muscolare, in poche parole si può "rivestire" di muscoli e carne lo scheletro, creando una ricostruzione dell'animale "in carne ed ossa". Se, come accade in alcuni casi fortunati, si ritrovano conservate impronte dei delicati tessuti cutanei o cartilaginei, si possono aggiungere altri particolari al "modello", come creste e protuberanze ossee, membranose o cartilaginee, l'aspetto della pelle, liscia, rugosa, a scaglie, la presenza di peli e penne. In alcuni casi, con il ritrovamento delle impronte delle volute cerebrali sul cranio, è stato possibile anche ricostruire le dimensioni del cervello, o, in casi eccezionali, ricostruire gli organi interni. Per ricostruire e riconoscere una specie, però, non è necessario ritrovare un individuo completo: le caratteristiche della specie vengono pazientemente ricostruite utilizzando le parti meglio conservate di numerosi individui, come in un complicato puzzle. Naturalmente, quando vengono ritrovati individui completi e in perfetto stato di conservazione, le informazioni che

questi forniscono sono di particolare importanza, perché permettono di verificare il modello. Accade, però, che, soprattutto per organismi molto antichi, appartenenti a phyla estinti, come, per esempio, i bizzarri animali della fauna di Burgess, non sia possibile fare paragoni con analoghi organismi attuali: in questo caso, si sfrutterà il principio di convergenza adattativa, in base al quale organismi diversi che vivono nel medesimo ambiente finiscono per avere una morfologia simile, e diverrà quindi importante capire in quale tipo di ambiente visse il fossile ritrovato.

### La paleoecologia

Una volta ricostruita la fisionomia degli esseri viventi del passato, è importante anche ricostruire l'ambiente e lo stile di vita. I sedimenti in cui sono ritrovati i resti fossili spesso danno importanti indicazioni sulla geografia dell'ambiente in cui gli organismi vivevano, in particolare per gli organismi ritrovati "in posizione di vita", morti e fossilizzati, quindi, nel loro ambiente naturale. Anche l'associazione con altre specie fossili può aiutarci a comprendere in che tipo di ambiente vivevano: si pensi, per esempio, alle tipiche associazioni di organismi che vivono su una barriera corallina. Lo studio dell'anatomia può dare ancora importanti indicazioni: per esempio, si è ipotizzato che i grandi sauri dovessero vivere in acqua, per poter sostenere il grande peso del corpo e che il lungo collo servisse per tenere senza fatica la testa fuori dall'acqua. Altri ricercatori ipotizzano, invece, che questi animali fossero l'equivalente delle odierne giraffe e che il lungo collo servisse per raggiungere le foglie dei rami più alti degli alberi, isolati e un po' spogli, di un ambiente simile alle odierne savane africane. Il ritrovamento di resti di cibo nello stomaco di alcuni fossili, o le tracce di predazione su altri, come segni di morsi sulle ossa, ma anche il tipo e l'usura dei denti, aiutano a capire la dieta dell'animale. Lo studio di ferite, fratture, tracce di malattie sulle ossa, come tubercolosi ossea, artrosi, infezioni e altre malattie degenerative dell'apparato scheletrico, aiutano a comprendere, per esempio, con quali animali il nostro fossile si doveva confrontare, se era soggetto a frequenti aggressioni, se affrontava duelli mortali con i suoi avversari, o soltanto "scaramucce" che lasciavano cicatrici che con il tempo si rimarginavano, quanto tempo poteva vivere ... Per esempio, molti sauropodi giurassici mostrano segni di degenerazioni ossee, probabilmente dovute al peso della grande mole che il loro apparato scheletrico doveva sostenere.

### Adattamento dei dinosauri

In Alaska e nel Sud dell'Australia (allora unita all'Antartide) sono stati trovati fossili di dinosauri cretacici che vivevano in territori situati oltre i circoli polari. Il clima non era, all'epoca, rigido come quello attuale, ma, a causa delle lunghe notti polari, le temperature dovevano essere, nella stagione di scarsa isolazione, piuttosto basse, probabilmente di pochi gradi. Alcuni ricercatori, di fronte a questi ritrovamenti eccezionali di animali ritenuti tradizionalmente a sangue freddo in un ambiente con basse temperature, hanno ipotizzato che compissero lunghe migrazioni durante i periodi più freddi, oppure che cadessero in letargo, un po' come fanno, da noi, testuggini e anfibi. Tuttavia, un attento studio morfologico ha mostrato che sia i dinosauri dell'Alaska, predatori piumati (ma incapaci di volare) di 2-3 m di lunghezza, chiamati Troodon, sia quelli

antartici, dinosauri *ipsilofodonti* del genere *Leaellynasaura*, possedevano occhi insolitamente grandi. Un esemplare di *Leaellynasaura* particolarmente ben conservato, in cui è visibile un calco naturale del cervello, mostra che i lobi ottici erano anch'essi molto sviluppati. Questo sembrerebbe essere un adattamento ai lunghi mesi di semioscurità delle regioni oltre i circoli polari, che fa scartare l'ipotesi della migrazione. La capacità di visione notturna e, quindi, la possibilità di cacciare anche nell'oscurità fanno ritenere che questi animali fossero attivi anche durante i mesi di scarsa illuminazione, facendo escludere perciò anche l'ipotesi del letargo. L'attività durante i mesi più freddi, però, implica necessariamente un'altra caratteristica: l'omeotermia, ovvero la possibilità di regolare la temperatura corporea; in altre parole, i dinosauri, o, almeno, alcuni di essi, dovevano essere organismi a sangue caldo. Questo era già stato ipotizzato per spiegare la capacità di movimento e la possibilità di dispersione del calore di animali di mole gigantesca, ma queste scoperte ne sono probabilmente la dimostrazione definitiva. È anche curioso il fatto che, ai poli opposti della Terra, si siano evoluti animali con caratteristiche fisiche così simili, segno dell'adattamento all'ambiente in cui vivevano. Curiosamente, sembra che proprio nell'ambiente apparentemente più ostile i dinosauri siano sopravvissuti più a lungo dopo l'estinzione alla fine del Cretaceo: forse perché possedevano una miglior capacità di adattamento, essendo abituati ad una vita in un ambiente duro e difficile.

### Storie di vita quotidiana

Lo studio dei fossili, organismi morti da milioni di anni, offre a volte incredibili sorprese, con il ritrovamento di organismi colti dalla morte durante le loro attività quotidiane. Preziosissime per la ricostruzione delle abitudini di vita, queste testimonianze ci offrono la possibilità di osservare, in modo sorprendentemente vivido, alcune scene di vita quotidiana, a volte crudeli, a volte persino tenere e commoventi. In una grotta del M. Generoso, sul confine con la Svizzera, vicino a Chiasso, è stata scoperta una grotta dove un gruppo di orsi delle caverne trascorrevano il letargo: si possono vedere i "nidi" che i bestioni si scavavano per stare più comodi, ma anche tracce di predazione sui "compagni di stanza" morti durante l'inverno, o, forse, dal sonno troppo pesante, piccoli scheletri di cuccioli, forse morti durante il parto, che avveniva, come per gli orsi odierni, durante il sonno invernale. Sono stati spesso ritrovati nidi di uova di rettili, a volte l'uno vicino all'altro, a testimoniare una sorta di nursery, talvolta insieme a scheletri di cuccioli. La presenza, ancora non del tutto certa, di individui adulti nei pressi dei nidi, dimostrerebbe che anche i grandi rettili dedicavano cure parentali ai loro piccoli. A *Holzmaden*, in Germania, è stato ritrovato lo scheletro perfettamente conservato di una femmina di **ittiosauro** (*Stenopterygius*) al cui interno sono stati ritrovati embrioni di piccoli, circondata da altri piccoli già venuti alla luce: una sfortunata mamma preistorica morta di parto con i suoi cuccioli.

Nel deserto dei Gobi, è stato rinvenuto un esemplare di *Baluchitherium*, un mammifero di oltre 5 m di altezza, dell'Oligocene: dalla sua posizione, ritta sulle zampe, si deduce che deve essere caduto in uno spesso deposito di fango, da cui ha cercato di liberarsi invano. A *Rancho la Brea*, vicino a Los Angeles, in California, esistevano, durante il Pliocene, laghi di bitume in cui numerosi animali sono rimasti intrappolati, probabilmente durante la fuga da qualche predatore: dalla

massa nera emergono ora, perfettamente conservati, scheletri di tigri dai denti a sciabola (*Smilodon*, il burbero Diego del cartone “L’era glaciale”) e dei giganteschi elefanti quaternari del Nord America, *Archidiskodon imperator*. A *Bereskova*, in Siberia, è stato ritrovato, inglobato nel terreno gelato, un *mammut* perfettamente conservato, con ancora tra i denti tracce del suo ultimo pasto: 25.000 anni fa l’animale era caduto in un crepaccio nel ghiaccio e vi era rimasto prigioniero, a causa delle gravi fratture riportate nella caduta. Sul guscio di un’ammonite *Placenticerias*, del Cretaceo, sono state rinvenute tracce dei denti di un grande predatore marino, il *Mosasaurus*, di cui, evidentemente, gli ammoniti costituivano uno dei cibi preferiti, visto che nello stomaco di questi enormi rettili marini sono stati rinvenuti numerosissimi resti di questi cefalopodi. Il giacimento eocenico di M. Bolca, presso Verona, famoso per gli splendidi esemplari di pesci, ci racconta, invece, di una terribile catastrofe, un’eruzione che riscaldò l’acqua di una laguna interna nei pressi di una barriera corallina, causando la morte istantanea di migliaia di organismi. Una delle ultime scoperte di queste scene di vita del passato è arrivata dalla Cina: è stato ritrovato, in sedimenti vecchi di 130 milioni di anni, lo scheletro di un mammifero, *Rapenomamus robustus*, grande circa come un grosso gatto, lungo una sessantina di cm per circa 7 kg di peso, nel cui stomaco è stato rinvenuto lo scheletro, lungo appena 13 cm, di un cucciolo di dinosauro *Psittacosaurus*, un dinosauro erbivoro, lungo, da adulto, un paio di metri, dotato di un robusto becco simile a quello di un pappagallo. Il predatore sazio è stato sorpreso da un’eruzione vulcanica, che lo ha ricoperto di cenere insieme alla sua piccola vittima. Oltre alla testimonianza di vita, questi fossili mostrano un quadro ecologico molto diverso da quello che si era sempre ipotizzato: si era sempre ritenuto, infatti, che i mammiferi, per tutto il Mesozoico, fossero esseri timidi e schivi, sempre in fuga dai terribili rettili predatori (qualcuno ipotizza che la nostra innata paura dei serpenti derivi proprio da questo ricordo ancestrale...), ma questo ritrovamento dimostra che anche tra i mammiferi non mancavano i predatori. Il ritrovamento, nelle vicinanze, di un parente ancora più grande, *Rapenomamus giganteus*, pesante circa il doppio, e presumibilmente di simili attitudini predatorie, indica che la competizione con i mammiferi non doveva sempre essere a sfavore di questi ultimi. La paleontologia, quindi, pur studiando organismi del passato, ci permette di ricostruire scenari di ambienti naturali con i loro abitanti, le loro lotte per la vita e loro abitudini con una nitidezza a volte sorprendente. Ognuno di questi scenari si inserisce poi nel grande, complesso puzzle della storia della vita sulla Terra, permettendoci, ad ogni nuova scoperta, di comprendere meglio il nostro pianeta.

Testo aggiornato ad agosto 2022