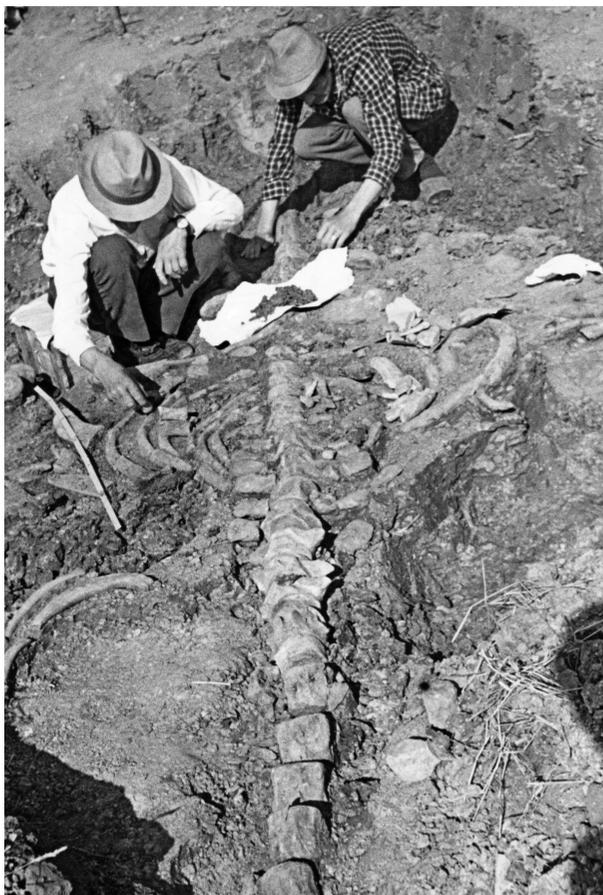


Fossili e processi di fossilizzazione

FIGURA 1 Fossile di balena rinvenuto nel Caucaso settentrionale, risalente a 10 milioni di anni fa. Questo ritrovamento ha confermato che a quell'epoca l'area del Caucaso era occupata da un bacino marino che metteva in comunicazione il Mar Caspio con il Mare di Azov e il Mar Nero.



Alcune forme viventi partecipano direttamente alla formazione delle rocce, come abbiamo visto nel caso delle rocce sedimentarie organogene. Molti altri organismi, casualmente e saltuariamente, lasciano i segni della loro presenza impressi in modo permanente negli strati rocciosi. Se riusciamo a individuare, a studiare e a decifrare questi segni, possiamo stabilire a distanza di milioni di anni quali organismi vivevano nel luogo in cui quella roccia si andava formando. Diventa possibile così la ricostruzione degli antichi ambienti anche dal punto di vista biologico (figura 1), oltre che da quello fisico e geografico. La scienza che cerca di capire i vari aspetti della vita di piante e animali succedutisi nel tempo è la **paleontologia**, una scienza basata sullo studio dei fossili.

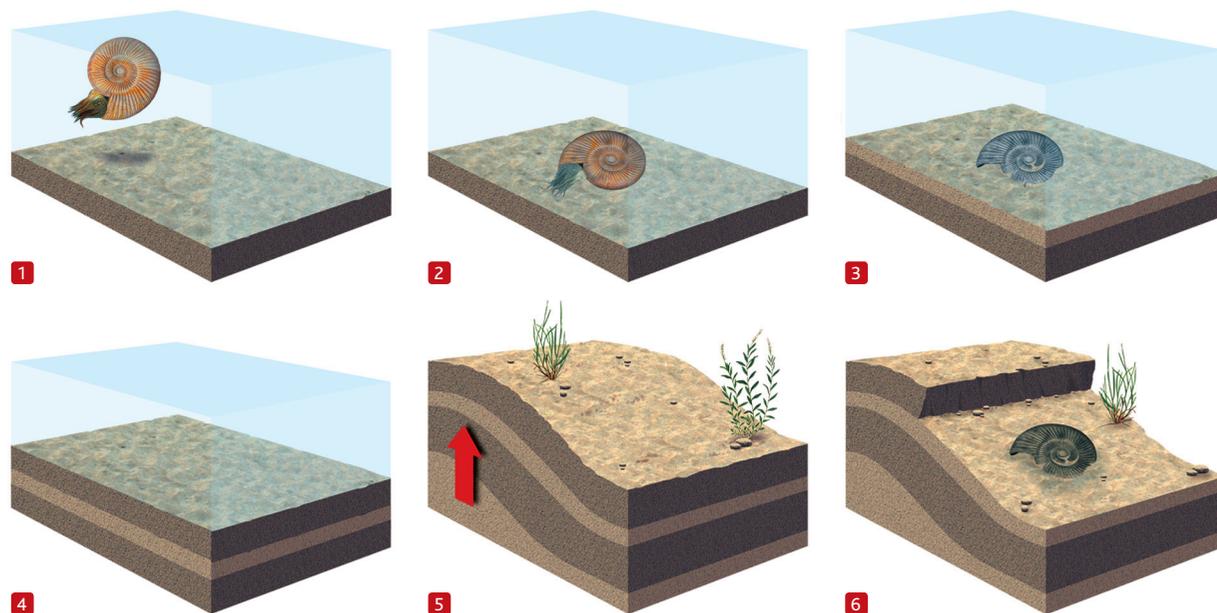
► Per **fossile** intendiamo qualunque resto di organismo conservato nella roccia in modo più o meno completo, o qualunque altra traccia della sua attività.

Non sono rari i fossili costituiti soltanto da impronte o da tracce lasciate dall'attività motoria o biologica degli organismi; si tratta, per esempio, di orme (figura 2 A), di tane, comunemente chiamate **tracce fossili** (figura 2 B) o di prodotti organici come i **coproliti**, cioè gli escrementi fossili (figura 2 C).

FIGURA 2 (A), le orme lasciate dal passaggio di alcuni dinosauri su quella che un tempo, circa 80 milioni di anni fa, era una soffice superficie fangosa (Sucre, Bolivia). (B), le tracce fossili (*Chondrites*) lasciate da un verme che vagava su una superficie fangosa del fondo del mare (roccia di età cenozoica, Portogallo). (C), escrementi fossili (coproliti) di alcune specie non ben identificate di pesci (2, 3) e tartarughe (1, 4). Raramente è possibile attribuire un coprolite a uno specifico organismo, tuttavia lo studio del contenuto può fornire importanti informazioni sulle sue abitudini alimentari e sulle caratteristiche dell'area in cui viveva.



FIGURA 3 Un esempio della successione di eventi che possono portare alla fossilizzazione di un organismo. Un'ammonite (1), cefalopode che «nuotava» nei mari del Mesozoico, muore e il suo cadavere si deposita sul fondo (2). Le parti molli si decompongono in breve tempo, mentre il guscio viene lentamente ricoperto dal sedimento (3). Col procedere della sedimentazione lo scheletro viene completamente sepolto (4). Col tempo, la litogenesi trasforma i sedimenti in rocce e l'orogenesi le porta in condizioni di emersione (5). L'erosione mette il fossile a giorno (6).



Il numero di organismi vissuti sulla Terra dall'origine della vita fino a oggi è enorme. Si tratta di un numero straordinariamente più grande del numero degli organismi che hanno lasciato fossili. Il numero degli organismi fossilizzati è, a sua volta, notevolmente superiore rispetto al numero dei fossili che sono stati rinvenuti e scoperti.

► *La fossilizzazione è il processo che porta alla produzione di un fossile ed è un fenomeno che avviene raramente e in condizioni particolari.*

I fossili sono rari perché la loro formazione e il loro affioramento in superficie richiedono il contemporaneo verificarsi di una serie di processi chimici, fisici, biologici e geologici. Alcuni processi consentono la conservazione di un organismo, o di sue parti, oppure delle sue tracce. Processi come i sollevamenti orogenici riportano alla luce, dopo lunghi intervalli di tempo, il fossile che nel frattempo si è formato (figura 3).

Di norma animali e piante dopo la morte sono rapidamente demoliti da batteri, funghi e altri organismi decompositori. Quasi sempre anche le parti più dure, dopo un po' di tempo, sono distrutte. Abrasioni e fenomeni di decalcificazione allontanano le sostanze minerali, distruggendo in poco tempo anche le parti mineralizzate più resistenti. Pensiamo, ad esempio, alle conchiglie deposte sulla spiaggia da una mareggiata: la maggior parte è rotta, frantumata, logorata. Dopo breve tempo tutti i resti dell'organismo scompaiono completamente. I processi di degradazione sono veloci, soprattutto se le spoglie sono esposte all'aria.

► *Condizione necessaria affinché si verifichi il processo di fossilizzazione è il rapido isolamento dei resti o delle tracce degli organismi.*

Questi ultimi devono essere sottratti velocemente al contatto con agenti decompositori, in particolare sostanze ossidanti come l'acqua e l'ossigeno.

Gli organismi morti hanno diverse possibilità di essere fossilizzati, a seconda dell'ambiente di sedimentazione in cui vivevano. La condizione di isolamento si produce il più delle volte negli ambienti acquatici, sia marini sia lacustri, caratterizzati da acque tranquille e sede di intensa sedimentazione. Se i resti sono rapidamente sepolti sotto uno spesso strato di sedimenti, i processi di decomposizione possono essere rallentati o fermati del tutto. Nei fondali marini profondi, dove il ricambio delle acque è molto lento, si possono tuttavia verificare condizioni sfavorevoli alla fossilizzazione. Il caso più evidente riguarda i gusci e gli scheletri di carbonato di calcio degli organismi planctonici, come per esempio i foraminiferi, che si dissolvono completamente oltre i 4 500 m di profondità.

► *I fossili di organismi terrestri hanno minori possibilità di conservarsi, perché in ambiente subaereo l'erosione prevale spesso sulla sedimentazione.*

In queste condizioni è piuttosto raro che l'organismo morto sia rapidamente e stabilmente ricoperto da sedimenti, rimanendo così esposto agli agenti esterni che lo decompongono.



FIGURA 4 L'esplosione di un vulcano con la probabile liberazione di gas e la rapida deposizione di ceneri potrebbe essere stata la causa della preservazione di questi fossili in ambienti non acquatici. Si tratta di mammiferi terrestri vissuti nel Nebraska (USA) 12 milioni di anni fa.

FIGURA 5 Mosche inglobate in ambra, vecchia di circa 30 milioni di anni. L'ambra è una resina fossile che fuoriesce dalle ferite dei tronchi delle conifere e di altri alberi e, data la sua consistenza appiccicosa, è in grado di intrappolare insetti e altri piccoli animali. È uno dei pochi processi per cui gli organismi si conservano integri, completi di tutti i loro tessuti molli.



FIGURA 6 La mummia del Similaun (nota col nomignolo di Ötzi), vecchia di oltre 5000 anni, è stata scoperta nel 1991 inglobata nei ghiacci del ghiacciaio di Similaun sulle Alpi Venoste al confine fra Italia e Austria. Le particolari condizioni prodottesi all'interno del ghiaccio hanno permesso la conservazione di ben 57 tatuaggi sulla pelle di questo antico uomo morto di morte violenta.



In ambiente subaereo i resti degli organismi rimangono sepolti dai sedimenti solo in casi rarissimi, come ad esempio a seguito di un'eruzione vulcanica esplosiva con deposizione di materiale piroclastico (figura 4), oppure a causa del rapido accumulo di depositi fluviali in conseguenza di un'alluvione, o ancora in casi in cui l'organismo viene inglobato in asfalto, resina (figura 5) o ghiaccio (figura 6).

► *In ambiente acquatico la probabilità che si verifichi la fossilizzazione è maggiore, perché maggiore è la velocità di sedimentazione.*

La probabilità è ancora maggiore se i resti contengono sostanze minerali particolarmente dure e resistenti alla decomposizione.

L'eccezionalità della fossilizzazione è quindi dovuta alla differente velocità di due processi: molto rapido quello di decomposizione, molto più lento quello di sedimentazione, seppellimento e isolamento. Solo nei rari casi in cui il secondo avviene più velocemente del primo si ha la formazione di un fossile.

La rarità dei fossili tende ad aumentare man mano che si incontrano rocce più antiche. Le cause di questa rarità sono principalmente due: il fatto che le rocce più antiche hanno subito un maggior numero di trasformazioni, ad esempio il metamorfismo e l'anatessi, e il fatto che il numero e la varietà degli organismi presenti sulla Terra risultano minori nei periodi geologici più antichi.

Processi di fossilizzazione

I processi chimici e fisici che permettono la conservazione dei fossili sono vari (figura 7).

La pietrificazione è un fenomeno con il quale si realizza la litificazione dei resti organici, in particolare le ossa, i gusci, i legni e talvolta perfino gli escrementi. La pietrificazione può verificarsi attraverso due distinti processi, la mineralizzazione e la sostituzione.

Dopo la morte di un organismo, le parti molli sono in genere attaccate dai batteri e dagli organismi decompositori. Il guscio vuoto o lo scheletro rimangono pertanto sepolti nel sedimento, il quale nel contempo inizia il lento processo della litificazione. Le acque che circolano e impregnano il sedimento in genere trasportano in soluzione silice o carbonato di calcio o ferro. Queste sostanze possono precipitare nelle cavità occupate originariamente da vasi sanguigni, canali, nervi o tessuti. In questo modo la conchiglia o lo scheletro sono

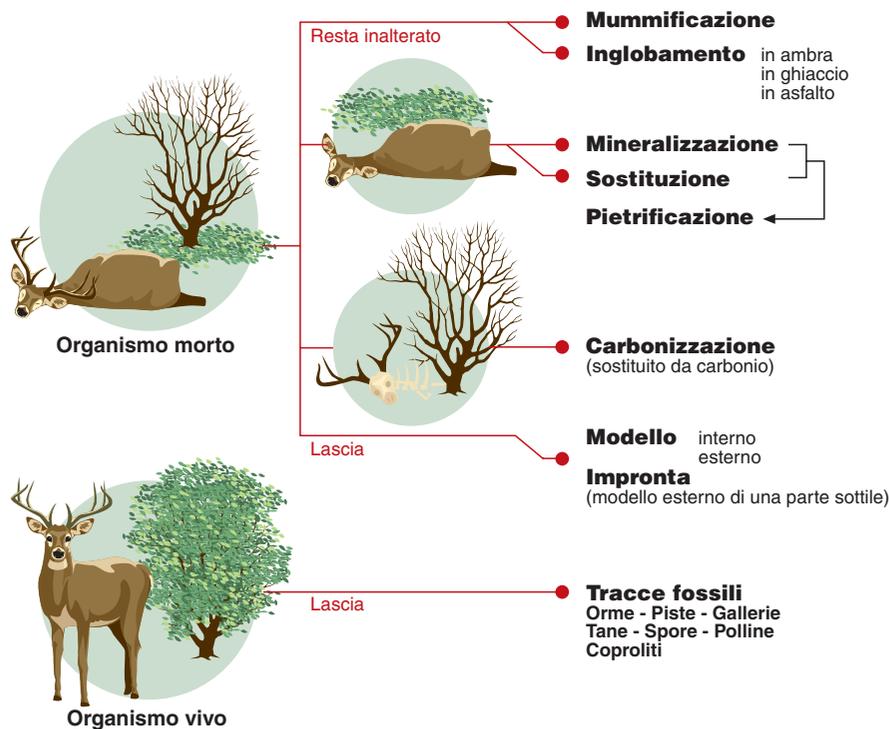


FIGURA 7 Schema dei principali processi di fossilizzazione.

FIGURA 8 Fossili mineralizzati. (A), un crinoide del genere *Pentacrinus* piritizzato (Dorset, Inghilterra). I crinoidi, noti con il nome volgare di «gigli di mare», sono echinodermi marini sessili. (B), rostri opalizzati di belemniti (molluschi cefalopodi simili a seppie vissuti nel Mesozoico) (Australia). L'opale è un ossido di silicio idrato, amorfo, utilizzato anche come gemma.



FIGURA 9 Tronchi silicizzati di grandi dimensioni. Questo tipo di fossile si è formato in seguito a un processo di sostituzione (Foresta Pietrificata, Arizona, USA).

mineralizzati in modo penetrante e diventano nel contempo assai più duri e resistenti. Questa aggiunta di sostanze precipitate chimicamente negli spazi porosi si chiama **mineralizzazione** (figura 8).

La pietrificazione può anche attuarsi attraverso uno scambio di tipo molecolare della sostanza originaria, che viene sostituita molecola per molecola da minerali di diversa composizione (silice, carbonato di calcio, solfuri e ossidi di ferro). Questo processo, detto **sostituzione**, porta a un fossile di composizione chimica completamente diversa dall'originale, del quale però sono mantenuti i più minuti dettagli. Un classico esempio è quello dei tronchi silicizzati, che conservano nettamente distinti gli anelli di accrescimento nonché la minuta architettura delle fibre legnose (figura 9).

La **carbonizzazione** è un altro processo di fossilizzazione che riguarda però esclusivamente i tessuti a composizione completamente organica. Dopo la sepoltura dell'organismo nel sedimento, in assenza di ossigeno, i tessuti sono sottoposti a una lenta distillazione distruttiva che libera anidride carbonica (CO_2) e acqua (H_2O), ma lascia come residuo carbonio libero. Nella roccia resta un'impronta carboniosa dell'animale o della foglia e talora perfino il contorno perfetto del corpo molle (figura 10).

FIGURA 10 Foglie fossili di oltre 350 milioni di anni fa, ritrovate in rocce delle Alpi Carniche. Il colore scuro è indice del processo di carbonizzazione subito da questo fossile.

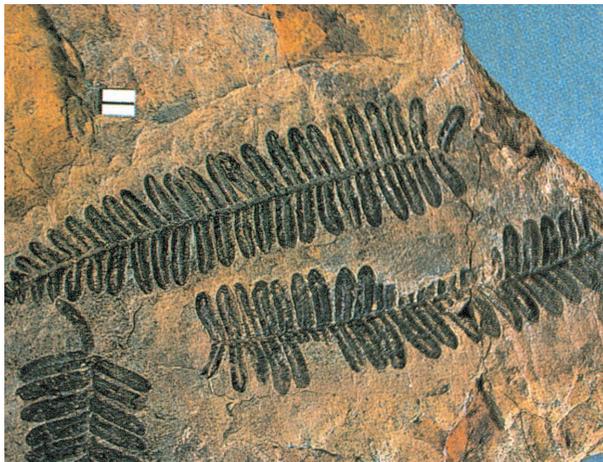


FIGURA 11 Spesso rimangono nella roccia solo le impronte o le cavità lasciate dalla dissoluzione del corpo degli organismi. È il caso di questo modello interno di gasteropode ricoperto da cristalli di calcite ritrovato nei calcari di oltre 135 milioni di anni fa, al passo del Furlo nelle Marche.



FIGURA 12 Le sottili strutture tubolari visibili in queste sabbie sono tracce lasciate da un piccolo crostaceo, chiamato *Callianassa*, che scava gallerie nei sedimenti di spiaggia e delle zone marine antistanti. Le gallerie sono più cementate della sabbia in cui sono state scavate perché stabilizzate da *Callianassa* con uno speciale muco.



Gli organismi del passato possono anche essere preservati quali modelli e impronte (figura 11). Si ha un **modello esterno** quando il sedimento si consolida intorno a un resto organico che successivamente può anche andare distrutto. Sul sedimento circostante rimane perciò un'immagine negativa della superficie esterna. Col termine **impronta** sono indicati i modelli esterni di sottili parti di un organismo. Un **modello interno** si ha invece quando il sedimento riempie la cavità di un resto organico, ad esempio l'interno del guscio di un mollusco, e ivi si consolida, riproducendo fedelmente i caratteri morfologici interni.

Le tracce fossili possono dare importantissime indicazioni sulle dimensioni e sulla forma, nonché sull'ambiente di vita degli animali che le produssero. Ad esempio, dalle orme lasciate è possibile sapere se un dinosauro fosse quadrupede o bipede, se fosse pesante e lento nel procedere o se invece corresse agilmente (cfr. figura 2 A). Anche l'attività degli organismi vissuti sul fondo dei mari ha lasciato innumerevoli tracce che si ritrovano come piste e gallerie nelle rocce sedimentarie (figura 12).

Per l'eccezionalità del processo di fossilizzazione, l'identificazione dei passaggi della storia biologica può essere solo parziale. Si stima che meno di una specie ogni mille vissute nel passato abbia lasciato una traccia fossile giunta fino a noi. Nonostante il quadro delle conoscenze sia largamente incompleto, è stato possibile, in casi fortunati, ricostruire frammenti di una certa ampiezza della storia dell'evoluzione biologica. La maggior parte dei dati utilizzati per documentare l'evoluzione degli organismi proviene dallo studio dei fossili.