

Era	Periodo	Milioni di anni	Principali eventi nella storia della vita sulla terra
Quaternario		0,01-1,8	Ere glaciali. Comparsa dell'uomo.
Cenozoico	Neogene	1,8-5	Comparsa degli antropomorfi antenati dell'uomo.
		5-24	Radiazione evolutiva delle angiosperme e dei mammiferi.
	Paleogene	24-55	Predominio evidente delle angiosperme. Origine della maggior parte dei mammiferi attuali.
		55-66	Principali radiazioni evolutive di mammiferi, uccelli e insetti impollinatori.
Mesozoico	Cretaceo	66-140	Diffusione delle angiosperme. Estinzione di molti gruppi di organismi (tra cui i dinosauri).
	Giurassico	140-210	Le gimnosperme sono ancora le piante dominanti; probabile comparsa delle piante a fiore (angiosperme). Abbondanti i dinosauri.
	Triassico	210-250	Le piante a seme nudo (gimnosperme) dominano i paesaggi.
Paleozoico	Permiano	250-290	Origine della maggior parte degli attuali ordini di insetti. Estinzione di molti organismi terrestri e marini.
	Carbonifero	290-360	Le piante vascolari senza seme (pteridofite) costruiscono estese foreste. Origine delle prime piante a seme. Dominano gli anfibi e si originano i rettili.
	Devoniano	360-410	Affermazione delle piante vascolari più semplici. Comparsa dei primi insetti.
	Siluriano	410-440	Diversificazione delle prime piante vascolari senza seme.
	Ordoviciano	440-510	Abbondanti le alghe marine. Le terre emerse vengono colonizzate dalle piante (briofite), dai funghi simbiotici e dagli artropodi.
	Cambriano	510-540	Radiazione evolutiva della maggior parte dei phyla moderni di animali.
		540-590	Presenza di diverse alghe ed invertebrati.
Pre-Paleozoico		1400	Origine degli eucarioti pluricellulari.
		2200	Fossili eucarioti più antichi.
		2500	L'ossigeno prodotto dai cianobatteri inizia ad accumularsi nell'atmosfera.
		3500	Primi fossili noti di procarioti.
		3800	Prime tracce di vita sulla terra.
		4500	Probabile origine della terra.

Figura III

Principali eventi nella storia della vita sulla Terra lungo la scala del tempo geologico.

IL CARBONIFERO

Durante il tardo Carbonifero superiore le estreme latitudini del pianeta si stanno coprendo di ghiacci risentendo di un raffreddamento globale del clima. La posizione equatoriale tutela l'area carnica da ogni possibile effetto glaciale diretto, eppure, osservando bene il territorio e la linea di costa, appare evidente un effetto particolare riferibile con certezza al glacialismo in atto: le periodiche oscillazioni del livello marino, con escursioni da pochi metri a qualche decina, raccontano

indirettamente le modificazioni globali della temperatura media terrestre.

Sull'area carnica di 300 milioni di anni fa continua ad insistere un clima caldo-umido subtropicale; l'abbondanza di piogge consente lo sviluppo di foreste con flore palustri (licopodiali ed equisetali) concentrate nelle zone acquitrinose delle piane deltizie. Sulle pendici dei rilievi fiancheggianti le depressioni vallive trovano spazio piante di terreni più asciutti (pteridosperme, cordaiti e "felci") con esemplari di grandi dimensioni.

I fiumi trasportano verso il mare abbondanti ghiaie quarzose, sabbie e limi. Mentre le prime si depositano lungo il fronte emerso dei delta, le sabbie e i fanghi, più facilmente trasportabili dalle acque, vengono sospinti al largo adagiandosi sui fondali. Verso il largo, dove anche le fanghiglie giungono solo occasionalmente, si sviluppano sedimenti calcarei originati dall'accumulo di infiniti gusci, impalcature ed involucri carbonatici prodotti dagli organismi più vari: fusulinidi, gasteropodi, brachiopodi, trilobiti, crinoidi, briozoi, e da vari tipi di alghe. Il settore alpino pare trasformato in un paradiso amazzonico. La caratteristica più evidente in questa nuova ed inaspettata rivoluzione del territorio è proprio la vegetazione che colora e modifica il paesaggio.

Tra le piante si scorgono anfibi e i primi rettili, le cui impronte restano impresse sulle rive melmose dei numerosi acquitrini e sono in parte destinate a fossilizzarsi. Ad intervalli regolari, il mare riguadagna le posizioni conquistate in precedenza dai delta e quando questo accade intere aree coperte da vegetazione soccombono alla forza delle mareggiate. Le piante sono abbattute con forza ed accatastate presso le rive, sopra i sedimenti ancora molli. Successivamente, fanghi e sabbie marine le ricoprono consentendo la formazione di perfette impronte delle cortecce, dei rami e delle foglie.

Ogni loro più piccolo solco o nervatura è registrato con precisione assoluta. Sono tutti dati estremamente utili ai fini sia della ricostruzione dell'evoluzione biologica del pianeta, sia della comprensione dell'ambiente che dominava l'alto Friuli di allora e, infine, risultano indispensabili per assegnare un'età ai sedimenti correlandoli con altre successioni rocciose coeve depositate, ad esempio, nei settori europei e americani.

A questo punto della storia gli oceani brulicavano di forme di vita: da quelle venute alla luce con la rigogliosa esplosione del primo Cambriano, fino alla variegata fauna ittica del Devoniano. Nonostante il sovraffollamento, però, le specie che osavano uscire dall'acqua per avventurarsi sulla terraferma erano ancora poche, e non è difficile capire il perché.

Innanzitutto, per molto tempo c'era stata pochissima terra. La formazione dei continenti era stata un processo lento. Gli scontri delle placche tettoniche avevano fatto emergere archi di isole vulcaniche, dopodiché le tempeste di magma che infuriavano nelle profondità terrestri erano risalite fino alla crosta, creando altre isole. E altre ancora se n'erano aggiunte: solo a quel punto, sotto la spinta aggregatrice dell'inquieto mondo sotterraneo, erano nati i primi continenti.

In secondo luogo, stare sulla terraferma è faticoso. L'acqua è la culla della vita. Senza il sostegno offerto dall'acqua ci si sente trascinati in basso dal proprio peso. Il Sole cocente può inaridire i tessuti. Fuori dall'acqua le branchie non funzionano, quindi non si può respirare. In quell'ambiente ostile quasi quanto lo spazio siderale, i coraggiosi esploratori della terraferma rischiavano di finire schiacciati, disseccati e asfissati.

Più che ostile, la parte asciutta del mondo era addirittura spietata: una distesa di sterili rocce vulcaniche. Non c'era vegetazione in grado di offrire

ombra, perché gli alberi non esistevano ancora. Non c'era nemmeno il suolo, a parte le polveri trasportate dal vento, perché è l'azione degli esseri viventi – radici, funghi, lombrichi – a creare e rendere fertili i terreni. La terra al di sopra dei mari era un deserto arido e senza vita, esattamente come la Luna che ancora incombeva vicinissima all'orizzonte.

Ma, come abbiamo già visto, la vita ama raccogliere le sfide. Un ambiente del tutto nuovo, libero dalla concorrenza degli oceani ormai sovraffollati, offriva preziose opportunità di crescita alle specie che fossero riuscite a domarlo. Il primo passo fu la colonizzazione degli stagni interni e dei corsi d'acqua da parte delle alghe, avvenuta non meno di 1,2 miliardi di anni fa. Forse già allora c'erano batteri, alghe e funghi in grado di sopravvivere negli angoli più riparati delle spiagge, ed è possibile che alcune delle creature a forma di foglia dell'Ediacarano riuscissero a resistere per qualche tempo, tra una marea e l'altra, fuori dall'acqua.

Sappiamo con certezza che durante il Cambriano una specie ancora misteriosa ha strisciato sulle spiagge basse e sabbiose del continente Laurentia, lasciando impronte che somigliano stranamente a tracce di pneumatici per motociclette. Ma le sue escursioni erano solo bravate per mettersi in mostra, come se i misteriosi serpenti-motociclisti fossero usciti un attimo a fare due impennate prima di tornare a rifugiarsi sotto le onde. La vita si era avventurata sulla terra, ma non era ancora pronta a rimanerci.

La vera e propria invasione delle terre emerse iniziò verso la metà del periodo Ordoviciano, circa 470 milioni di anni fa, più o meno in contemporanea con un improvviso rinnovamento evolutivo dei mari, a seguito del quale molte delle strane creature del Cambriano furono rimpiazzate da altre di aspetto più moderno. Piccole piante striscianti, simili alle epatiche e ai muschi, lanciarono milioni di minuscole teste di ponte sulla

terraferma. Le loro spore, dure e resistenti all'essiccamento, ne fecero qualcosa di più che semplici visitatori occasionali.

Di lì a poco i primi alberi – le nematofite – cominciarono a innalzarsi verso il cielo. Uno di loro, il Prototaxites, era alto diversi metri e aveva un tronco che superava il metro di diametro. Più che un albero o una felce era un lichene gigante, un fungo associato a un'alga.

Sotto a tutto ciò, nel frattempo, la Terra continuava ad agitarsi. Una serie di eruzioni vulcaniche fece emergere in superficie rocce che reagivano bene con l'anidride carbonica, fino a eliminarla dall'atmosfera. Senza anidride carbonica ad alimentare l'effetto serra, la Terra si raffreddò. In quello stesso periodo il gigantesco continente meridionale Gondwana si posizionò sul Polo Sud del pianeta. Ancora una volta la Terra si coprì di ghiacciai che risucchiarono acqua dai mari, abbassandone il livello. Di conseguenza, lo spazio sulle piattaforme continentali che ospitavano la maggior parte degli animali si ridusse di parecchio. La nuova era glaciale durò circa venti milioni di anni, da 460 a 440 milioni di anni fa: rispetto alla glaciazione dell'Ediacarano e a quella che aveva innescato la Grande ossidazione fu un evento decisamente meno catastrofico; ciononostante, molte specie di animali marini si estinsero.

La vita, come sempre, reagì al cambiamento ambientale. Dopo la glaciazione spuntarono piante resistenti, simili a felci, con spore che sopportavano l'aridità ancora meglio delle epatiche. Surclassate dalla concorrenza, queste ultime si ritirarono nei luoghi umidi e ombrosi dove vivono tuttora. Il pianeta che era stato brullo si rivestì di un verde brillante.

Nel tardo Siluriano, circa 410 milioni di anni fa, c'erano ormai veri e propri boschi di nematofite, muschi e felci. Le radici delle piante iniziarono a frantumare le rocce sottostanti e si formarono i suoli. L'esistenza di uno strato superficiale di terreno favorì l'evoluzione dei funghi di terra, alcuni dei quali – le micorrize – strinsero accordi con le piante per dare vita ad associazioni di mutuo soccorso. I funghi si espandevano sul terreno ed estraevano minerali utili alla crescita delle piante; queste, in cambio, fornivano loro il nutrimento tramite la fotosintesi. Le piante con simbiosi micorriziche sulle radici crescevano assai meglio delle piante che ne erano prive. Oggi, in pratica, non esiste specie vegetale che non tragga beneficio da una micorriza annidata nel terreno intorno alle sue radici.

Esposte al vento e alle intemperie, le piante lasciavano cadere a terra scaglie, spore e altra materia: fu allora che, negli umidi interstizi della lettiera dei boschi, comparvero alcuni nuovi animaletti striscianti.

I primi a muoversi sulla terraferma furono piccoli artropodi – millepiedi, bestiole ragniformi come gli opilioni, collemboli –, parenti stretti degli insetti che di lì a poco si sarebbero evoluti fino a diventare la specie animale di maggior successo in tutta la storia della Terra, tanto per numero quanto per varietà.

Le foreste continuarono a crescere e a diffondersi per tutto il Devoniano, anche se non dobbiamo fare l'errore di immaginarle simili ai boschi di oggi. I progenitori degli alberi comparsi allora, come le cladoxylopsidi, per esempio, avevano l'aspetto di canne giganti, con steli cavi e privi di rami che si innalzavano nel cielo fino a una decina di metri di altezza, dai quali spuntavano ciuffi di fronde a ventaglio simili a scacciamosche. Qualche tempo più tardi comparvero specie simili al licopodio e all'equiseto dei campi (*Equisetum arvense*) che prospera ancora oggi nei luoghi umidi. Gli antenati di queste piante, oggi molto piccole, erano davvero giganteschi. Il

licopodio *Lepidodendron* poteva raggiungere i 50 metri di altezza, mentre gli equiseti arrivavano ‘solo’ a 20 metri. Si trattava per la maggior parte di alberi cavi, privi di tessuti legnosi interni, sostenuti unicamente dalle spesse scorze esterne. Ma c’erano anche gli *Archaeopteris*, più simili agli alberi moderni: avevano tronchi pieni, ma invece di riprodursi con i semi rilasciavano spore, come fanno le felci.

Una tale abbondanza di piante sembrerebbe, a prima vista, una fonte di cibo troppo preziosa per lasciarsela sfuggire, se non fosse che per milioni di anni nessun animale si è cibato di piante. Il tessuto legnoso è duro e indigeribile, e come se non bastasse gli organismi vegetali producevano anche sostanze chimiche come fenoli e resine, che gli animali non erano in grado di tollerare. Le sostanze vegetali potevano essere ingerite soltanto dopo che batteri e funghi le avevano scomposte in detriti digeribili. Più che una fonte di nutrimento, per molto tempo il modo vegetale ha fatto da sfondo a una miriade di drammi in miniatura, nei quali piccoli carnivori davano la caccia a detritivori ancora più piccoli che si aggiravano sotto la lettiera dei boschi. Cibarsi di erbe era, all’epoca, una virtù ancora sconosciuta. I primi a svilupparla furono gli insetti che impararono a nutrirsi delle parti sensibili delle piante: strutture riproduttive come le pigne, per esempio. Il loro esempio fu ben presto imitato da una nuova classe di creature appena giunte dal mare: i tetrapodi.

Gli animali, come tutte le forme di vita, hanno iniziato a evolversi nel mare. Moltissimi loro discendenti, vertebrati e non, continuano a viverci, e ancora oggi la famiglia dei vertebrati è formata in gran parte da pesci. Tenendo conto di tutto ciò, potremmo dire che i tetrapodi – cioè gli animali dotati di colonna vertebrale che per primi si sono trasferiti sulla terraferma – sono uno strano gruppo di pesci adattatisi a sopravvivere in acque a «profondità negativa».

Le loro origini risalgono all'Ordoviciano, una fase di notevole incremento della biodiversità che vide la comparsa di molte nuove specie, tra cui i primi pesci dotati di mascelle¹⁰. Nel Siluriano erano già piuttosto numerosi, e tra loro c'era anche il Guiyu che abbiamo incontrato nel capitolo precedente. Gli antichi progenitori dell'attuale fauna ittica univano in sé caratteristiche che oggi appartengono a due gruppi separati, il primo dei quali, quello dei pesci ossei con pinne raggiate, comprende in pratica tutti i pesci oggi viventi, dalle cernie ai gurami, dalla trota al rombo. L'elemento che li accomuna è il fatto di avere le pinne pari ancorate direttamente allo scheletro mediante apposite strutture ossee. Ma i pesci ossei con pinne raggiate non sono sempre stati dominanti: nell'antichità prevalevano i loro cugini, i pesci ossei dalle pinne lobate. Come suggerisce il nome, le pinne di questi pesci sono formate da robuste estensioni carnose che sono in pratica prolungamenti dello scheletro, sostenuti da apposite ossa.

I pesci a pinne lobate formavano un gruppo variegato che comprendeva ad esempio gli onicodonti, con ossa craniche non saldate e denti simili a zanne, e i giganteschi, aggressivi rizodonti. Il più grande fra questi, il *Rhizodus hibberti*, raggiungeva i sette metri di lunghezza. Molte specie avevano squame piuttosto spesse, ricoperte da una specie di smalto.

I meno propensi al cambiamento tra i pesci con pinne lobate erano (e sono tuttora) i celacanti. Comparvero nel Devoniano e mantennero più o meno lo stesso aspetto fino all'era dei dinosauri, durante la quale si estinsero, o almeno così si credeva. Ma nel 1938 un esemplare (recentemente scomparso) di celacanto fu scoperto al largo del Sudafrica: apparteneva a una popolazione che vive tuttora nei pressi delle isole Comore, nell'Oceano Indiano. In tempi più recenti, ne sono stati rintracciati altri in Indonesia. Rispetto ai loro remoti antenati devoniani, i celacanti di oggi non sembrano cambiati

granché. Sebbene noti ai pescatori, potrebbero essere sfuggiti all'attenzione della comunità scientifica poiché il loro habitat naturale è nelle acque profonde, alla base delle ripide dorsali oceaniche.

Alcuni pesci polmonati, o dipnoi, appartenenti alla stessa famiglia del celacanto, si sono invece evoluti al punto da essere quasi irriconoscibili. Il dipnoo australiano, o *Neoceratodus*, è un pesce corazzato d'acqua dolce molto simile agli antichi progenitori; ma i suoi cugini, il *Lepidosiren* sudamericano e il *Protopterus* africano, sono cambiati così tanto che alcuni studiosi, tempo addietro, li hanno scambiati per tetrapodi.

In origine tutti i pesci avevano i polmoni, ma nella maggior parte delle specie la sacca nella parte superiore del palato che svolgeva quella funzione si è trasformata in un organo a sé stante, una vescica piena di gas che serve a controllare il galleggiamento. Nel celacanto, che è esclusivamente marino, la sacca è piena di grasso. Ma i pesci polmonati vivono in fiumi e stagni che possono prosciugarsi, e rischiano sempre di far la fine dei pesci fuor d'acqua. È per questo che fanno un uso molto più frequente dei polmoni: alcuni, come il *Lepidosiren*, non potrebbero vivere senza respirare aria. Ciò non significa tuttavia che i dipnoi siano parenti stretti dei tetrapodi. Le due famiglie hanno seguito percorsi evolutivi indipendenti; gli arti del *Lepidosiren* e del *Protopterus*, invece di irrobustirsi tanto da sostenere il peso dell'animale, si sono avvizziti fino a trasformarsi in esili strutture filiformi. I primi pesci polmonati del Devoniano, d'altro canto, erano molto simili ai pesci a pinne lobate loro contemporanei.

Anche l'*Eusthenopteron* e l'*Osteolepis*, entrambi vissuti nel Devoniano, erano pesci in tutto e per tutto; eppure nello stesso periodo alcuni loro cugini si stavano già evolvendo verso uno stile di vita in cui la permanenza al di fuori dell'acqua sarebbe stata prima una saltuaria gratificazione, poi un'abitudine regolare.

Molti di quei pesci vivevano in rivoli poco profondi, soffocati dalle alghe, e si nutrivano di pesci piccoli. Col tempo alcuni (tra cui varie specie di rizodonti) diventarono ancora più grandi, e grazie alle pinne flessibili e alle ossa che le sostenevano riuscirono a farsi strada verso gli angolini più indicati per nascondersi e tendere agguati agli ignari passanti. Ma un altro gruppo di pesci a pinne lobate, quello degli elpistostegaliani, si spinse parecchio oltre.

Gli elpistostegaliani erano predatori delle acque basse. Invece di avere corpi stretti e affusolati come la maggior parte dei pesci, erano bassi e piatti come coccodrilli: la forma ideale per un cacciatore che debba appostarsi in superficie. Alcuni avevano persino gli occhi sulla sommità della testa invece che ai lati. Le pinne impari – dorsale, anale e così via – erano ridotte o del tutto assenti, mentre le pari si erano trasformate in piccoli arti, dotati di frange simili a pinne. Il Tiktaalik del tardo Devoniano era un esempio tipico; un altro era l'Elpistostege. Lunghi circa un metro, entrambi avevano pressappoco le dimensioni e la forma di alligatori nani. Teste larghe e piatte, con occhi alti in posizione centrale; corpi sinuosi e arti anteriori robusti, simili a zampe.

L'ossatura degli arti corrispondeva in tutto e per tutto a quella dei vertebrati terrestri. Entrambe le specie erano dotate di polmoni, e con tutta probabilità usavano poco le branchie. Lo si deduce dal fatto che la parte di volta craniale che normalmente si sarebbe estesa sulla regione branchiale era invece piuttosto corta, e formava un vero e proprio collo: una soluzione anatomica molto utile per dei cacciatori che avevano bisogno di voltarsi di scatto per afferrare una preda in rapido movimento. Dunque gli elpistostegaliani erano tetrapodi sotto quasi tutti i punti di vista, con la sola eccezione delle pinne che adornavano a mo' di frangia le loro zampe, laddove i tetrapodi avrebbero avuto vere e proprie dita.

Il Tiktaalik, l'Elpistostege e i loro cugini vissero circa 370 milioni di anni fa, verso la fine del Devoniano. La loro storia, tuttavia, era cominciata molto tempo addietro: almeno venticinque milioni di anni prima, un esemplare della loro specie aveva già rinunciato alle pinne ragiate in favore delle dita. Circa 395 milioni di anni fa, quello strano essere ha lasciato le sue impronte su una spiaggia in quella che oggi è la Polonia centrale¹⁷. Nessuno sa che tipo di tetrapode fosse, ma solo un tetrapode avrebbe potuto lasciare impronte simili.

Datazione a parte, la cosa interessante di quelle tracce è che non sono state impresse sul fondo di uno specchio d'acqua dolce, bensì in una piana di marea al confine tra terra e mare. Come la dea Venere, i primissimi tetrapodi sono emersi dall'oceano. Vivevano nell'acqua salata, o forse negli estuari dei fiumi, dove la concentrazione di sali marini è maggiore.

Intanto, sotto a tutto ciò, la Terra non smetteva di agitarsi.

Dopo la disgregazione del supercontinente Rodinia le terre emerse si erano disseminate per il pianeta, ma ora la corrente che nell'arco di mezzo miliardo di anni aveva spinto i continenti alla deriva stava lentamente invertendo la marcia. L'estinzione dell'Ordoviciano, verificatasi quando il grande continente meridionale Gondwana si era collocato in corrispondenza del Polo Sud, era stata un presagio di sconvolgimenti futuri.

Verso la fine del Devoniano, Gondwana e le due grandi masse continentali settentrionali chiamate Euramerica e Laurussia cominciarono pian piano ad avvicinarsi. La loro collisione avrebbe sollevato enormi catene montuose e creato un'unica, vasta massa: Pangea. Ancora una volta, l'unione dei continenti cambiò la vita delle specie che li abitavano: fatte le debite proporzioni, la formazione di Pangea ebbe conseguenze simili a ciò

che accade quando rifacciamo un letto, e scuotendo le lenzuola sballottiamo i giocattoli e le briciole, i libri e le tazze da tè che avevamo sparso ovunque. L'azione degli agenti atmosferici sulle nuove montagne appena formate risucchiò l'anidride carbonica dall'aria, attenuò l'effetto serra e favorì il ritorno dei ghiacci su Gondwana da poco emigrato al Polo Sud. Altrove, i vulcani reclamarono la loro quota di distruzione. Ancora una volta, l'estinzione bussava alla porta.

La maggior parte delle estinzioni avvenne in mare, e i coralli furono i primi a farne le spese. Le spugne coralline dette stromatoporoidi, molto comuni nel Devoniano, scomparvero dalla faccia della Terra. Le stromatoliti si reinsediarono sulle scogliere. Il movimento tumultuoso delle terre emerse segnò il destino dell'ultimo dei pesci corazzati privi di mascelle, dei placodermi e della maggior parte dei pesci polmonati. Altri gruppi di animali, tuttavia, riuscirono a sopravvivere: nelle epoche conclusive del Devoniano si assisté al moltiplicarsi dei tetrapodi.

All'inizio i tetrapodi trascorrevano molto tempo nell'acqua. Pur avendo arti e dita, dimoravano negli anfratti degli specchi d'acqua e da lì tendevano agguati alle prede, come già avevano fatto i loro predecessori, i rizodonti e gli elpistostegaliani che gli stessi tetrapodi avevano soppiantato. Quale che fosse la funzione di quegli arti con le dita, è chiaro che non si sono evoluti appositamente per agevolare la vita sulla terraferma.

Fra i tetrapodi piú primitivi c'erano l'Elginerpeton della Scozia e la Ventastega della Lettonia. Nell'attuale Russia vivevano il Tulerpeton e la Parmastega, mentre le paludi tropicali di quella che oggi è la Groenlandia orientale erano il regno dell'Ichthyostega. La Parmastega somigliava molto, per aspetto e abitudini di vita, al Tiktaalik o a un moderno caimano: nuotava sotto il pelo dell'acqua lasciando intravedere soltanto gli occhi. L'Ichthyostega era abbastanza grosso – circa un metro e

mezzo di lunghezza – e massiccio; la forma curiosa della sua spina dorsale fa pensare che si muovesse sulla terraferma dimenandosi come una foca, senza l'aiuto delle zampe tozze e robuste di cui pure era dotato.

L'Acanthostega, anch'esso originario della Groenlandia, era lungo piú o meno la metà dell'Ichthyostega, e molto piú snello, ma i suoi arti sporgevano ai lati del corpo ed erano completamente inadatti alla deambulazione su qualsiasi terreno. Per di piú, la presenza di branchie interne – come quelle dei pesci – lo rendeva inadatto a stare fuori dell'acqua. Invece l'Hynnerpeton della Pennsylvania, contemporaneo dell'Acanthostega, aveva una buona muscolatura e sembrava nel complesso piú abile alla vita sulla terra. Alla fine del Devoniano, i tetrapodi formavano ormai una famiglia molto eterogenea (perlopiú acquatica) di strani pesci con le pinne lobate e con le zampe.

Resta comunque la sensazione che i primissimi tetrapodi non prendessero molto sul serio la faccenda delle zampe o, quanto meno, delle mani e dei piedi. Il Tulerpeton aveva sei dita per arto; l'Ichthyostega sette; l'Acanthostega non meno di otto. Nelle fasi evolutive seguenti molti tetrapodi le hanno perse, e alcuni hanno perso persino gli arti, ma al giorno d'oggi nessun tetrapode ha piú di cinque dita per ogni arto. Ormai avere cinque dita ci sembra cosí normale che l'arto pentadattilo sembra quasi un archetipo di origine divina, e i rari animali che ne hanno sei ci paiono un'offesa alle leggi di natura.

La prima infornata di tetrapodi sopravvisse alla fine del Devoniano ma nel periodo successivo, il Carbonifero, fu gradualmente rimpiazzata da una fauna piú moderna composta da specie piú piccole e piú snelle. I nuovi arrivati, di aspetto piú simile alle salamandre che ai pesci, avevano anche raggiunto l'unanimità riguardo al numero di dita per ciascun arto.

Circa 335 milioni di anni fa, mentre il supercontinente Pangea si stava compattando nella forma definitiva, le umide e ombrose foreste della regione scozzese oggi detta West Lothian brulicavano di insetti e animaletti striscianti, e risuonavano del gracchiare dei primi tetrapodi. All'epoca il West Lothian era un ambiente vulcanico, probabilmente ricco di sorgenti termali. Uno dei tetrapodi di quella multiforme famiglia è noto come *Eucritta melanolimnetes*: la Creatura della Laguna Nera.

Anche dopo essersi dotati di zampe sufficientemente forti da sostenerne il peso sulla terra, i primi tetrapodi rimasero comunque vincolati agli ambienti acquatici per un aspetto importante della loro vita: la riproduzione. Come gli anfibi moderni, tornavano in acqua per dare alla luce piccoli simili a girini: esserini pisciformi, dotati di pinne, che respiravano con le branchie.

Ma ormai i tempi erano maturi per la comparsa di una specie che avrebbe rivoluzionato i processi riproduttivi e portato a termine la conquista della terra. Nelle foreste carbonifere abitate da gracidanti vertebrati terrestri, da scorpioni grandi come cani di grossa taglia e dai giganteschi, minacciosi euripteridi che avevano seguito i tetrapodi sulla terraferma, viveva un animale chiamato *Westlothiana*. Questa piccola creatura, simile a una lucertola, era evolutivamente prossima a una stirpe di tetrapodi che si riproducevano deponendo uova dal guscio duro e impermeabile. Essendo una sorta di piccolo stagno recintato, ogni uovo poteva essere deposto lontano dall'acqua: il legame tra la vita dei vertebrati e il mare si era infine spezzato.

Questi animali, un giorno, si sarebbero evoluti diventando rettili, uccelli e mammiferi.

(*H. Gee*)

Nel mondo ci sono almeno 80.000 specie di alberi identificati, dai salici alti pochi centimetri che crescono oltre il circolo polare artico, alle gigantesche sequoie del nord-ovest degli Stati Uniti.

Gli alberi coprono il 30% delle terre emerse.

Come fanno a crescere e prosperare in ambienti così diversi e a presentare una morfologia talmente variegata?

In realtà, a differenza delle piante erbacee che provengono tutte da un comune progenitore, gli alberi non possono essere definiti come un gruppo unitario, e la loro forma e biologia si sono evolute molte volte nel corso delle ere geologiche.

C'è ancora tanto da studiare, a proposito degli alberi; dobbiamo aggiungere nuovi tasselli alla storia della loro evoluzione.

La loro comparsa determinò una svolta fondamentale nella storia della Terra, producendo cambiamenti permanenti nell'ecologia terrestre, nei cicli geochimici, nei livelli di CO₂ atmosferica e nel clima. Gli alberi da allora sono diventati indispensabili per il pianeta.

Uno dei primi grandi esemplari arborei apparsi sul pianeta fu l'Archaeopteris, durante l'era tardo Devoniana (circa 385-359 milioni di anni fa). I fossili di Archaeopteris in nostro possesso confermano la presenza di un tronco legnoso e di motivi ramificati come quelli delle conifere moderne, ma mostrano un fogliame simile a quello delle felci e una riproduzione ancora basata su spore.

Tra quei primi alberi c'erano però anche le Cordaites, un genere di piante che formarono poi immense foreste nel periodo del Carbonifero, esemplari capaci già allora

di produrre dei semi, tramite quelli che potremmo definire “proto-fiori”; piante che in seguito a una serie di eventi geologici si trasformarono in quelli che sono gli attuali depositi di carbone.

Apparvero anche i licopodi (il genere *Lycopodium*, dal greco *lýkos*, ‘lupo’, *poús*, *podós*, ‘piede’, quindi ‘piede di lupo’), presenti ancora oggi sul pianeta sotto forma di piccoli muschi (ad esempio la *Selaginella*). I licopodi sono perciò vegetali terrestri molto antichi, dalla struttura semplice; assieme a felci di grandi dimensioni ed equiseti, rappresentavano le componenti principali del paesaggio vegetale terrestre durante il Carbonifero, il periodo geologico che vide il prosperare di estese e fitte foreste.

Nel Devoniano apparve la vera e propria rivoluzione nel sistema riproduttivo delle piante, con l'avvento definitivo del seme, davvero un progresso straordinario. Il seme, anche se talvolta molto piccolo e dall'aspetto insignificante, permise di colonizzare i terreni aridi, determinando un aumento delle superfici disponibili per la crescita di nuove piante e, di conseguenza, permettendo la formazione di nuovo suolo mediante il rallentamento dell'erosione dovuta agli agenti atmosferici. Gli alberi nuovi nati da questi semi colonizzarono così altre terre e formarono le prime vaste foreste di queste diverse e più competitive specie arboree.

All'inizio del periodo Permiano (280 milioni di anni fa) apparvero i primi rettili. Gli alberi di licopodi erano diminuiti, erano scomparse le *Cordaites* e si affacciavano le prime vere gimnosperme (cioè le piante a semi nudi), un gruppo di alberi tra cui sono comprese le moderne conifere.

I licopodi arborescenti delle paludi del Carbonifero scomparvero prima della fine di quel periodo. Il

Permiano vide l'apparizione delle conifere più evolute, almeno come le conosciamo oggi (alcune rimaste sino ai giorni nostri), la continuità nella presenza delle felci arboree (ad esempio *Dicksonia*), e delle cicadee (un ordine di piante molto antico, il più primitivo tra le gimnosperme), popolazioni di piante che domineranno la flora fino al periodo Cretaceo, quando appariranno finalmente esemplari capaci di fiorire in modo manifesto.

Le prime conifere avevano foglie piccole simili a quelle che troviamo oggi nell'*Araucaria*, mentre rinveniamo nei reperti fossili sin dal Giurassico le Cupressacee e le Pinacee nei reperti fossili dal Cretaceo.

Le cicadee, incluse quindi nelle gimnosperme, raggiungono la loro massima diffusione e diversificazione nell'era Mesozoica. Oggi sono presenti per la maggior parte nell'emisfero australe, dove rappresentano dei "fossili viventi", cioè un gruppo antico che sopravvive alla concorrenza di organismi più evoluti solo in alcune particolari nicchie ecologiche. Un po' come il pesce *Coelacanthus*, emerso dalle profondità degli oceani nel 1938 in Sudafrica.

Quando la Pangea, in quel momento l'unico continente del pianeta, si spezzò in molti frammenti, comparvero i mammiferi, ancora non dominanti rispetto ad altre specie animali. La formazione di quelli che sono gli attuali continenti determinò una costituzione di barriere acquee (gli oceani) e quindi di una progressiva diversificazione delle popolazioni arboree, differenti a seconda dei vari territori.

Allora le felci rappresentavano la parte preponderante della biomassa vegetale ed erano accompagnate da alberi di angiosperme o di gruppi di piante come le cicadee, le conifere e i ginkgo (un altro fossile vivente, sopravvissuto sino ai giorni nostri). A eccezione della famiglia dei pini, comparsi successivamente, tutte le

moderne famiglie di conifere erano quindi già presenti prima di 245 milioni di anni fa.

Durante la fine del Mesozoico, nel periodo Cretaceo, le conifere assumono il ruolo di alberi dominanti, ma 100 milioni di anni fa assistiamo alla comparsa delle prime piante capaci di produrre fiori, almeno per come li intendiamo oggi, le cosiddette angiosperme. Queste entità arboree più moderne si diffusero rapidamente, con grande successo ed efficacia, e oggi ne conosciamo circa 200.000 specie, mentre le conifere sono in tutto qualche centinaio.

Si ritiene che l'attuale predominanza delle angiosperme arboree (come querce, meli, noci) sulle conifere sia dovuta a diversi fattori: esse danno ai loro semi più riserve nutritive (grazie alla presenza di un frutto che li circonda) e poi, laddove le conifere hanno cicli riproduttivi di 18-24 mesi, gli alberi in grado di produrre "fiori" (anche poco visibili) possono farlo e produrre semi anche più di una volta all'anno e quindi possono colonizzare nuove aree molto più rapidamente. Un secondo fattore di superiorità consiste nella diffusione del polline per mezzo degli insetti. Questa collaborazione ha accelerato il differenziarsi delle specie sia negli insetti stessi che nelle piante con fiori, con un'inevitabile reciproca migrazione dei tassi di adattamento a qualsiasi emergenza ambientale.

L'evoluzione di una specie arborea in diverse famiglie di piante è una forma di evoluzione parallela, con la comparsa di molti tipi di alberi capaci di eccellere in ambienti specifici (nicchie) e competere quindi meglio con conifere e simili.

Alla fine dell'era mesozoica, 66 milioni di anni fa, le angiosperme avevano sostituito in gran parte le conifere, sia come biomassa globale che come numero di specie. Erano comparsi i platani (*Platanus*), la famiglia delle querce (genere *Quercus*, *Fagus* e *Castanea*), gli agrifogli,

la famiglia del noce, e quella che ora comprende betulle e ontani. Cinquanta delle 500 famiglie di angiosperme presenti oggi si erano già formate. Era il momento in cui i mammiferi stavano per prendere il sopravvento all'interno del regno animale.

Altre famiglie di piante hanno origine molto più tardiva. Le prime specie appartenenti all'ordine delle Rosales (che comprende le rose, oltre a tante altre specie da frutto) comparvero circa 37 milioni di anni fa. A quel tempo solo la metà del numero di specie conosciute oggi si era evoluta. Tra queste c'erano già anche le erbacee che hanno conquistato un'importante nicchia ecologica 66 e 58 milioni di anni fa.

20-25 milioni di anni fa il numero di specie di queste erbacee, o comunque di piccole piante non legnose, esplose a causa di un clima più secco che ridusse le foreste e aprì dunque uno scenario di nuove nicchie ecologiche disponibili per piante capaci di completare il proprio ciclo riproduttivo in pochi mesi, se non addirittura settimane. Oggi esistono più di 10.000 specie di piante erbacee.

Cronologia dell'evoluzione in Milioni... di anni:

443-417

Siluriano

Il clima terrestre si stabilizza e compaiono le prime piante dotate di un sistema vascolare, un insieme di vasi atto a condurre l'acqua e sostanze nutritive. Compaiono le barriere coralline e i pesci.

417-354

Devoniano

Alla fine di questo periodo compaiono le prime piante e gli alberi che producono semi. Si formano le prime foreste.

354-290

Carbonifero

La Terra è dominata da foreste lussureggianti. Ecco i primi animali terrestri a quattro arti (tetrapodi).

290-248

Permiano

Gli alberi che riconosciamo oggi iniziano a comparire: araucarie, il ginkgo e le cicadee. Appaiono i primi veri rettili.

248-206

Triassico

In questa fase dell'evoluzione tutti i continenti sono uniti in una massa terrestre chiamata Pangea. Compaiono gli Arcosauri, gli antenati dei dinosauri.

206-144

Giurassico

I dinosauri ora dominano la Terra e compaiono le prime pinacee tra cui anche la *Wollemia*, a noi nota solo attraverso i reperti fossili, sino a quando, nel 1994, viene scoperta la specie australiana *Wollemia nobilis*.

144-65

Cretaceo

Appaiono le piante da fiore e con esse i primi alberi di latifoglie tra cui querce, aceri, salici, allori e magnolie. Alla fine di questo periodo le specie erbacee conquistano una loro importante nicchia ecologica.

65-1,8

Terziario

Il clima si riscalda e le latifoglie iniziano a dominare il mondo vegetale, sostituendo man mano le conifere. Circa 37 milioni di anni fa compaiono le Rosales, ordine che comprende quasi tutte le specie da frutto. Le praterie subiscono adattamenti e compaiono i primi cavalli ed elefanti.

1,8 ad oggi

Quaternario

L'*Homo sapiens* fa la sua apparizione intorno a 300.000 anni fa, e nel tempo assume gradualmente il suo aspetto come lo conosciamo oggi; così fanno pian piano molte specie di alberi, tra cui il nostro faggio, i frassini, le betulle, il nocciolo, gli ontani e tutte le altre...

(Ferrini/Del Vecchio)