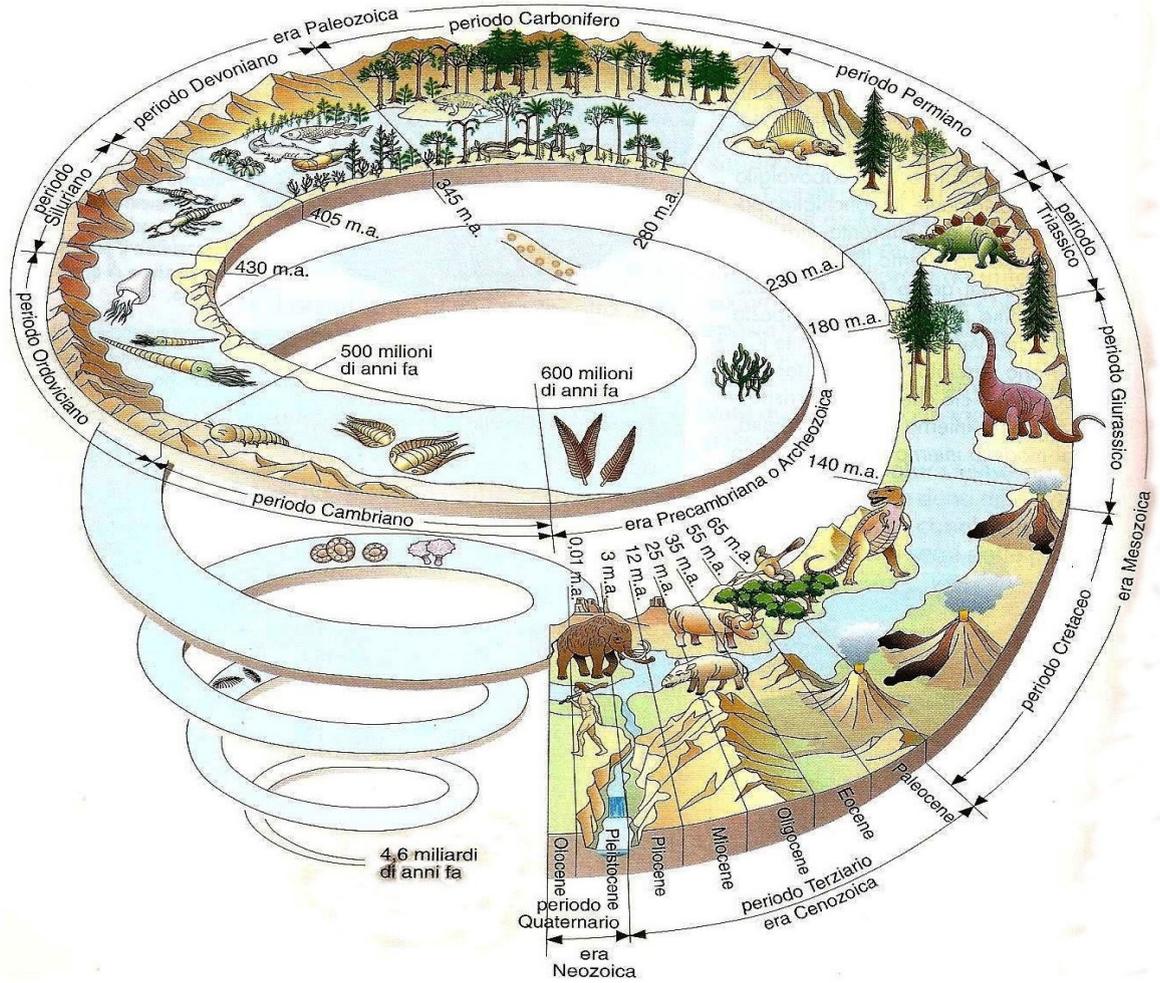


NASCITA ED EVOLUZIONE DELLA VITA SULLA TERRA



A CURA DEL PROF. S.F. MINGIARDI



Università
Del Tempo Libero
Seregno

LA COMPARSA DELLA VITA SULLA TERRA

Le domande

Sulla Terra di quattro miliardi di anni fa il cielo e le acque sono ancora vuoti. Tuttavia, le molecole primitive sono costantemente mescolate dai temporali mostruosi che si scatenano incessantemente, spezzate dalle formidabili radiazioni ultraviolette del Sole. È a questo stadio che appare quello che, retrospettivamente, assomiglia a un miracolo: nel cuore di questo caos le molecole si raggruppano, si combinano per formare progressivamente strutture stabili, riflessi di un ordine. Una ventina di aminoacidi esistono ora negli oceani: sono i primi mattoni della materia vivente.

Oggi ritroviamo in ognuno di noi i lontani discendenti di questi primi “abitanti” della Terra.

Così, dopo una lunghissima e misteriosa ascesa verso la complessità, emerge finalmente la primissima cellula vivente: la storia della coscienza può cominciare.

Ma come restano inquietanti le domande:

- ✓ *Come è possibile che un flusso di energia che scorre senza scopo possa diffondere la vita e, successivamente, la coscienza nel mondo?*
- ✓ *Ma la vita che cos'è?*
- ✓ *Che cosa c'è dietro di essa?*
- ✓ *È comparsa per caso o, al contrario, è frutto di una segreta necessità?*

LE RISPOSTE DELLA SCIENZA, LE RIFLESSIONI DELLA FILOSOFIA

Prima di risalire alle origini della vita, cominciamo con il capirla meglio così come esiste oggi.

Consideriamo una farfalla che si è posata vicino a un sassolino. Quella è vivente, questo no. Ma qual è, precisamente, la differenza tra i due? Se consideriamo la cosa a livello nucleare, ovvero sulla stessa scala delle particelle elementari, sasso e farfalla sono rigorosamente identici. Al livello appena più alto, quello atomico, vengono alla luce alcune differenze che riguardano però solo la natura degli atomi e restano quindi poco significative.

Passiamo allo stadio successivo: eccoci nel reame delle molecole. Questa volta le differenze sono molto più importanti e riguardano gli scarti di materia tra il mondo minerale e quello organico. Ma il salto decisivo avviene solo a livello delle macromolecole. È a questo stadio che la farfalla appare infinitamente più strutturata, più *ordinata* del sasso.

Questo piccolo esempio ci permette di cogliere la sola differenza fondamentale tra l'inerte e il vivente: ***quest'ultimo è semplicemente più ricco di informazione dell'altro.***

Ma se la vita non è altro che materia meglio informata, da dove viene questa informazione? Colpisce il fatto che ancora oggi sono molti i biologi e i filosofi che pensano che le prime creature viventi siano nate ***per caso*** tra le onde e le risacche dell'oceano primitivo circa 3,5 miliardi di anni fa.

Le leggi dell'evoluzione enunciate da Darwin esistono ed è vero che lasciano ampio spazio all'aleatorio:

- *Ma chi ha deciso queste leggi?*
- *Quale “caso” ha fatto sì che certi atomi si siano avvicinati per formare le prime molecole di aminoacidi?*
- *E in virtù di quale caso, ancora, queste molecole si sono raggruppate e hanno portato a quell'edificio terribilmente complesso che è il DNA?*
- *Come il biologo Francois Jacob (1920-2013), ci poniamo questa semplice domanda: chi ha ideato i piani della prima molecola di DNA che contiene il messaggio iniziale che permetterà alla prima cellula vivente di riprodursi?*

Queste domande – e molte altre – restano senza risposta se ci si attiene alle sole ipotesi che fanno intervenire il caso; è questa la ragione per cui, da qualche anno a questa parte, le idee dei biologi hanno cominciato a cambiare. I ricercatori dei settori più avanzati non si accontentano più di ripetere in modo meccanico le leggi di Darwin, ma costruiscono delle teorie nuove, spesso notevolmente sorprendenti; delle ipotesi che poggiano chiaramente sull'intervento di un **principio organizzatore**, trascendente rispetto alla materia.

Se vogliamo dare ascolto a questi nuovi approcci che fanno vacillare ogni giorno di più il *dogma del caso creatore*, la vita sarebbe una proprietà emergente della materia, un fenomeno che ubbidisce a una sorta di *necessità* iscritta al centro stesso dell'inanimato.

Questo è tanto più sorprendente in quanto sappiamo che a livello cosmico la vita deve aprirsi un difficile varco tra mille ostacoli prima di poter finalmente emergere.

- Lo spazio vuoto, per esempio, è così freddo che una creatura vivente, anche la più semplice, verrebbe congelata all'istante dal momento che la temperatura scende a -270° Centigradi, appena 3 gradi sopra lo zero assoluto Kelvin, corrispondente a $-273,15^{\circ}$ C.
- All'estremo opposto, la materia delle stelle è così rovente che nessun essere vivente potrebbe resistervi.
- Ci sono infine, nello spazio dell'universo, radiazioni e bombardamenti cosmici continui, che vietano quasi ovunque il manifestarsi del vivente.
- L'universo, insomma, è la Siberia, è il Sahara; in altre parole, è come il freddo esteso all'infinito, il caldo esteso all'infinito, i bombardamenti ripetuti. Ora, nonostante tutto ciò, la vita è comparsa ugualmente, almeno sul nostro pianeta.

Di conseguenza, il problema che si pone agli uomini di scienza e ai filosofi è quello di sapere se esista una transizione continua tra la materia e la vita. Oggi la scienza lavora su questa connessione tra l'inerte e il vivente e tende a mostrare che esiste un'area in cui domina la continuità; in altre parole, il vivente è il risultato di una promozione inevitabile della materia.

Insomma, sembra che la vita sia irresistibilmente chiamata a percorrere una scala ascendente, elevandosi con l'evoluzione dalle forme più vicine alla materia, come gli ultravirus, fino alle forme più alte: **l'avventura della vita è ordinata da un principio organizzatore**.

Vediamo allora più da vicino in che cosa può consistere un principio del genere. Per far questo ci serviremo dei lavori di uno dei più grandi scienziati, il premio Nobel per la chimica nel 1977, il moscovita naturalizzato belga, Ilya Prigogine (1917-2003). All'origine delle sue ricerche c'è un'idea semplicissima:

Il disordine non è uno stato "naturale" della materia, ma piuttosto uno stadio che precede l'emergere di un ordine più elevato.

Questa concezione, che si opponeva nettamente alle idee correnti, in un primo momento ha suscitato l'ostilità degli ambienti scientifici; tanto che hanno perfino tentato di impedire a Prigogine di proseguire le sue ricerche. Niente, però, è riuscito ad allontanarlo dalla sua convinzione: **delle leggi sconosciute dovevano spiegare in quale modo l'universo e la vita che sono nati dal caos primordiale**.

Questa convinzione non era puramente teorica, ma si fondava anche sul risultato estremamente inquietante di un esperimento: l'esperimento del fisico francese Henri Bénard (1874-1939).

È semplicissimo: prendiamo un liquido, per esempio dell'acqua. Facciamolo riscaldare in un recipiente: che cosa constatiamo? Che le molecole del liquido si organizzano, si raggruppano in modo ordinato per formare delle cellule esagonali, che assomigliano un po' agli elementi che compongono una vetrata. Questo fenomeno piuttosto imprevisto, conosciuto con il nome di *instabilità di Bénard*, non dava pace a Prigogine. Perché e come queste "cellule" compaiono nell'acqua? Che cosa poteva provocare la nascita di una struttura ordinata in seno al caos?

Non potrebbe darsi che all'origine della vita, all'interno del brodo primitivo, ci sia stato un fenomeno di autostrutturazione simile a quello che si osserva nell'acqua riscaldata?

È la conclusione a cui è giunto Prigogine: quello che è possibile nella dinamica dei liquidi deve ugualmente esserlo in chimica e in biologia.

Ma per capire meglio il suo ragionamento, bisogna ripercorrerne le tappe principali. Innanzitutto occorre constatare che le cose che ci circondano si comportano come dei sistemi *aperti*, e cioè scambiano continuamente materia, energia e, cosa più importante ancora, **informazione** con il loro ambiente. In altri termini, questi sistemi in perenne movimento variano regolarmente con il passare del tempo e devono essere considerati fluttuanti. Si dà il caso che queste fluttuazioni possano essere così ampie che l'organizzazione che costituisce la loro sede si trovi nell'incapacità di tollerarle senza trasformarsi. A partire da questa soglia critica sono possibili due soluzioni, descritte nei particolari da Prigogine: o il sistema viene distrutto dall'ampiezza delle fluttuazioni, oppure accede a un nuovo ordine interno caratterizzato da un livello superiore di organizzazione. Ed eccoci al fulcro della scoperta di Prigogine: **la vita si fonda su strutture dinamiche che egli chiama "strutture dissipative", il cui ruolo consiste, appunto, nel dissipare il flusso in entrata di energia, di materia e di informazione responsabile di una fluttuazione.**

Questo nuovo approccio al problema dell'ordine va contro il secondo principio della termodinamica secondo il quale con il trascorrere del tempo i sistemi chiusi passano inevitabilmente dall'ordine al disordine: se, per esempio, versiamo alcune gocce di inchiostro in un bicchiere d'acqua, queste vi si disperderanno e non riusciremo più a separare i due liquidi.

Questo ben noto principio della termodinamica è stato formalizzato dal fisico francese Carnot nel 1824. Secondo la sua opinione e quella delle successive generazioni di scienziati, non c'era il minimo dubbio: **l'universo è in lotta perenne contro l'irreversibile aumento del disordine.**

Ma non è il contrario che succede nei sistemi viventi? Se esaminiamo la storia dei fossili, vediamo che le organizzazioni cellulari si sono costantemente trasformate e strutturate per gradi di complessità crescente. In altre parole, **la vita non è altro che la storia di un ordine sempre più elevato e generalizzato.** Infatti, a mano a mano che l'universo rifluisce verso la sua condizione di equilibrio, trova sempre il modo, nonostante tutto, di creare strutture sempre più complesse.

Ed è quello che dimostra Prigogine. A suo parere, **i fenomeni di autostrutturazione mettono in luce una proprietà radicalmente nuova della materia.** Esiste una specie di trama continua che unisce l'inerte, il previvente e il vivente, dato che **la materia tende, per costruzioni successive, a strutturarsi fino a diventare materia vivente.** È a livello molecolare che avviene questa strutturazione, secondo leggi che sono ancora per la maggior parte enigmatiche. È possibile di fatto constatare il comportamento stranamente «intelligente» di certe molecole o aggregati molecolari senza tuttavia che si sappia dare una spiegazione di questi fenomeni.

Profondamente turbato dall'onnipresenza di questo ordine soggiacente al caos apparente della materia, Prigogine ha dichiarato un giorno che *"Quello che è sconcertante è il fatto che ogni molecola sa quello che fanno le altre molecole contemporaneamente ad essa e a distanze macroscopiche. I nostri esperimenti ci mostrano che le molecole comunicano. Tutti accettano l'esistenza di questa proprietà nei sistemi viventi, ma nei sistemi non viventi essa giunge quanto meno inaspettata"*. (I. Prigogine -I Stengers, *La Nouvelle Alliance. Métamorphose e la Science*. Paris, 1986).

Ed ecco che siamo indotti a compiere questo passo decisivo: **c'è continuità tra la materia detta inerte e la materia vivente.**

«È un fatto che le proprietà della vita derivino direttamente da questa misteriosa tendenza della materia a organizzarsi da sola, spontaneamente, per andare verso stati sempre più ordinati e complessi. L'abbiamo già detto: **l'universo è un vasto pensiero. In ogni particella, ogni atomo, ogni molecola, ogni cellula di materia vive e opera, all'insaputa di tutti, un'onnipresenza**". Dal punto di vista del filosofo, questa osservazione è gravida di conseguenze: significa in realtà che **l'universo ha un asse, o meglio ancora, un senso.** (J. Guitton, *Dio e la scienza*, MI, 1992, pag. 41)

Questo senso profondo si trova al suo stesso *interno*. Se è vero, come abbiamo appena visto, che l'universo ha una «storia», se è chiaro che aumenta l'improbabilità a mano a mano che saliamo verso il passato e che la probabilità invece aumenta non appena si discenda verso il futuro, se esiste nel cosmo un passaggio dall'eterogeneo all'omogeneo, se esiste un progresso costante della materia verso stati più ordinati, se siamo di fronte a un'evoluzione delle specie verso una "superspecie" (l'umanità, forse, provvisoriamente), allora si è portati a pensare che esiste, al fondo dell'universo stesso, una causa dell'armonia delle cause, un'intelligenza.

“La presenza evidente di questa intelligenza nel cuore della materia mi allontana per sempre da una concezione secondo cui l'universo sarebbe apparso “per caso”, avrebbe prodotto la vita “per caso” e l'intelligenza ugualmente «per caso». (J. Guitton, op. cit., pag. 41)

Una cellula vivente è composta da una ventina di aminoacidi che formano una «catena» compatta. La funzione di questi aminoacidi dipende a sua volta da circa duemila enzimi specifici. Proseguendo sulla stessa linea di ragionamento, i biologi giungono a calcolare che la probabilità che un migliaio di enzimi differenti si raggruppino in modo ordinato fino a formare una cellula vivente (nel corso di una evoluzione di diversi miliardi di anni) è dell'ordine di 10^{1000} potenza (cioè 1 seguito da mille zeri) contro uno. È come dire che questa probabilità è nulla.

È proprio questo che ha spinto Francis Crick (1916-2004), premio Nobel per la biologia per la scoperta del DNA, a una conclusione che va nella stessa direzione: “Un uomo qualsiasi, con tutto il bagaglio di conoscenze oggi a nostra disposizione, potrebbe affermare solo che l'origine della vita sembra allo stato presente appartenere all'ordine del miracolo, tante sono le condizioni che dovrebbero trovarsi riunite per poterla realizzare”. [*Science and Technology, a five-year outlook*, San Francisco, W.H. Freeman, 1979 (at the request of the National Science Foundation)].

Ritorniamo alle origini, quattro miliardi di anni fa. In quell'epoca lontana, ciò che chiamiamo vita non esiste ancora. Sulla terra delle prime età, spazzata eternamente dai venti, le nascenti molecole vengono senza tregua formate, spezzate, riformate e poi di nuovo disperse dal fulmine, dal calore, dalle radiazioni e dai cicloni

Ora, fin da questo stadio ancora così primitivo, cominciano a formarsi i primi corpi semplici seguendo leggi che, già qui, non devono niente al caso. Per esempio, in chimica sussiste un principio, oggi conosciuto sotto il nome di «**stabilizzazione topologica delle cariche**». Questa «legge» ci dice che le molecole che comportano, nella loro struttura, catene di atomi alternati (e, in particolare, il carbonio, l'azoto e l'ossigeno) danno luogo, riunendosi, a sistemi stabili.

Di quali sistemi si tratta? Niente meno che dei pezzi fondamentali che compongono la meccanica del vivente: gli **aminoacidi**, o anche amminoacidi.

Sempre seguendo la stessa legge di affinità atomica, essi si raggrupperanno a loro volta per formare le prime catene di quei preziosi materiali della vita che sono i **peptidi**. (I peptidi sono minuscole catene di amminoacidi, che agiscono come “mattoncini” per la costruzione di proteine come collagene, elastina e cheratina. Queste proteine sono il fondamento della pelle e sono responsabili della sua grana, forza e resistenza)

Nel nucleo di questo brodo primitivo, tra le onde nere dei primi oceani del mondo, cominciano così a emergere, seguendo lo stesso processo, le primissime molecole azotate (che hanno il nome di “**purine**” e “**pirimidine**”) dalle quali più tardi nascerà il codice generico. Comincia qui una grande avventura che trascinerà lentamente la materia verso l'alto, in un'irresistibile spirale ascendente: le prime particelle azotate si rinforzano associandosi a qualche fosfato e a zuccheri, fino a elaborare i prototipi dei nucleotidi, quei famosi elementi di base che, formando a loro volta catene interminabili, porteranno a quella tappa fondamentale del vivente che è l'emergere dell'acido ribonucleico, il celebre RNA, quasi altrettanto conosciuto del DNA.

Così, nel tempo di appena qualche centinaio di milioni di anni, l'evoluzione ha generato sistemi biochimici stabili, autonomi, protetti dall'esterno da membrane cellulari e che, già a questo stadio, assomigliano a certi batteri primitivi.

A parte il rifornimento di energia (di cui l'ambiente di quell'epoca traboccava), il vero **problema** cui si sono trovate di fronte queste cellule arcaiche è quello **della riproduzione**. Come fare infatti a tenere in vita queste preziose costruzioni? In che modo queste piccole meraviglie della natura potevano garantire la loro perpetuità? Abbiamo appena visto che gli aminoacidi di cui erano formate ubbidivano a un ordine preciso. Era quindi necessario che queste prime cellule imparassero a «ricopiare» da qualche parte quella concatenazione che presentano nell'elaborazione delle loro proteine di base, in modo che esse stesse fossero in grado di fabbricare nuove proteine conformi in ogni minimo dettaglio alle precedenti.

Il problema è quindi quello di sapere che cosa sia successo a questo stadio: **come hanno fatto queste primissime cellule a inventare gli innumerevoli stratagemmi che hanno portato a questo prodigio: la riproduzione?**

Anche in questo caso è una "legge iscritta" nel cuore stesso della materia che ha reso possibile il miracolo: gli aminoacidi più «polari» (e cioè quelli che comportano una carica elettrostatica elevata) sono spontaneamente attirati dalle molecole azotate, mentre i meno polari si uniscono piuttosto con molecole di altre famiglie, come la citosina.

È nato in questo modo il primo abbozzo del codice genetico: avvicinandosi a certi nucleotidi (e non a certi altri), i nostri aminoacidi hanno elaborato i piani della loro propria costruzione, e quindi gli strumenti e i materiali necessari alla loro fabbricazione.

Bisogna insistere ancora una volta su questo punto: *nessuna* delle operazioni evocate prima poteva essere effettuata per caso.

Consideriamo un esempio tra i tanti: affinché la formazione dei nucleotidi porti «per caso» all'elaborazione di una molecola di RNA utilizzabile, sarebbe stato necessario che la natura moltiplicasse i tentativi a *casaccio* nello spazio di almeno 10^{15} potenza (1 seguito da 15 zeri) di anni, ossia per un tempo centomila volte più esteso dell'età complessiva del nostro universo che è di 13 miliardi e 832 milioni di anni.

Un altro esempio: se l'oceano primitivo avesse generato tutte le varianti (cioè tutti gli isomeri) suscettibili di essere elaborati «per caso» a partire da una sola molecola contenente qualche centinaio di atomi, saremmo giunti alla costruzione di più di 10^{80} potenza di isomeri possibili. Ora è fuor di dubbio che l'intero universo contiene meno di 10^{80} potenza di atomi. (Calcolo del numero di atomi: moltiplicando il volume dell'universo osservabile per la densità media della materia barionica, si ottiene la massa totale della materia barionica nell'universo osservabile. Numero di atomi: dividendo la massa totale della materia barionica per la massa di un singolo atomo, tipicamente un atomo di idrogeno, si ottiene una stima del numero totale di atomi nell'universo, cioè 10^{80} potenza).

In altri termini, un solo tentativo a caso sulla Terra sarebbe stato sufficiente a esaurire l'universo nella sua interezza. E invece no: un po' come se tutti gli schemi evolutivi fossero stati scritti in precedenza, fin dalle origini.

Ma qui si ripropone una domanda. Se è vero che l'evoluzione della materia verso la vita e la coscienza dipende da un *ordine*, di quale ordine si tratta?

Il caso tende a distruggere l'ordine, l'intelligenza si manifesta invece con l'organizzazione delle cose, con la messa in opera di un ordine a partire dal caos. C'è da concludere, quindi, osservando la stupefacente complessità della vita, che lo stesso universo è intelligente.

Ma ancora una volta: quale è la natura profonda di questo "ordine", di questa *intelligenza* percepibile in tutte le dimensioni del reale?

Per rispondere a questa domanda bisognerà riflettere più a lungo su quello che è chiamato *caso*. (segue a pag. 12).

INSERTO SU

L'EVOLUZIONE DELLA VITA



Era Archeozoica
Era Paleozoica



Era Mesozoica



Era Cenozoica
Era Neozoica

Con il termine "biosfera" si intende quella parte del nostro pianeta in cui, attraverso un processo lungo e complesso, si sono determinate le condizioni adatte alla nascita e all'evoluzione della vita.

Comprende tutte quelle aree in cui è possibile trovare degli *ecosistemi*, siano essi estremamente semplici o articolati; di conseguenza si estende non solo sulla superficie terrestre, ma include anche ambienti marini, lacustri, fluviali, parte del sottosuolo e della troposfera. Pur essendo l'ultima componente del sistema Terra ad essersi formata, costituisce l'elemento fondamentale che distingue il nostro pianeta da tutti gli altri all'interno del sistema solare.

L'importanza della biosfera è facilmente intuibile considerando la sua capacità di porsi in relazione con le componenti inorganiche (aria, acqua, terra) e di modificarle profondamente. Questo discorso è valido soprattutto oggi, se si tiene presente la capacità dell'uomo di condizionare ed alterare pesantemente non solo il mondo vegetale ed animale (componenti biotiche ed organiche), ma anche l'atmosfera e la *litosfera* (aria, acqua, suolo ossia componenti abiotiche ed inorganiche) attraverso comportamenti scorretti dal punto di vista ecologico (es. immissione di *gas-serra*, scarichi di sostanze inquinanti, etc...).

Attraverso l'analisi di *fossili* animali e vegetali, conservatisi in *rocce sedimentarie* appartenenti ad epoche diverse, è possibile comprendere le tappe che hanno portato alla nascita della vita e alla sua evoluzione, dai primi microrganismi all'uomo. Per capire questo processo si ricorre alla suddivisione della storia del pianeta in "ere geologiche".

Era Archeozoica
(Era dei primi esseri viventi)
(4,5 miliardi - 570 milioni di anni fa)

Le prime forme di vita risalgono a circa 3 miliardi e mezzo di anni fa. Sono **batteri**, microrganismi molto semplici in grado di vivere in assenza di ossigeno e a temperature estreme. In questa prima fase, infatti, l'atmosfera non conteneva l'ossigeno, formatosi solo più tardi, grazie allo sviluppo di organismi più complessi simili ad alghe, in grado di compiere un processo analogo alla *fotosintesi*.



La presenza di questo gas e la conseguente formazione di uno strato di *ozono* aprirono un nuovo capitolo dell'evoluzione biologica. Fino ad allora, infatti, la vita si era sviluppata soltanto nelle acque poco profonde, nelle basse lagune, lungo le coste, nei fondali sabbiosi, dove si trovavano le condizioni più favorevoli. Da questo momento in poi, invece, anche le terre emerse costituiscono uno spazio utile per l'evoluzione biologica. Nell'era archeozoica vengono alla luce i primi "mattoni" dell'edificio biologico: semplici batteri ed organismi invertebrati costituiscono la scintilla della vita sul nostro pianeta.

Era Paleozoica
(Era degli antichi esseri viventi)
(570 - 245 milioni di anni fa)

In questo periodo si ha una vera e propria **esplosione della vita** come è ampiamente testimoniato dai fossili risalenti a quest'era. All'inizio si trova una serie enorme di **organismi invertebrati** quali molluschi, spugne, vermi e animali non ben classificabili. Nelle acque la vita muta ed avanza senza sosta: troviamo polipi, meduse, organismi muniti di conchiglia, stelle di mare, ricci, trilobiti ed infine i pesci.



La ricostruzione di un ambiente marino in epoca **Paleozoica**



Un fossile di **trilobite** perfettamente conservatosi a testimonianza di questi importanti invertebrati marini.

I **trilobiti** rappresentano un progetto biologico di grande successo, sono gli invertebrati marini che si svilupparono in modo eccezionale all'inizio del Paleozoico e si estinsero proprio alla fine di questo periodo.

La vita inizia a diffondersi sulle terre emerse.

Per quanto riguarda le **forme floristiche**, nelle zone paludose e lungo le coste troviamo piccoli vegetali: soltanto più tardi la flora occuperà le aree interne. Prima felci, poi alberi ad alto fusto daranno vita ad estese foreste che contribuiranno ad arricchire l'atmosfera di ossigeno.

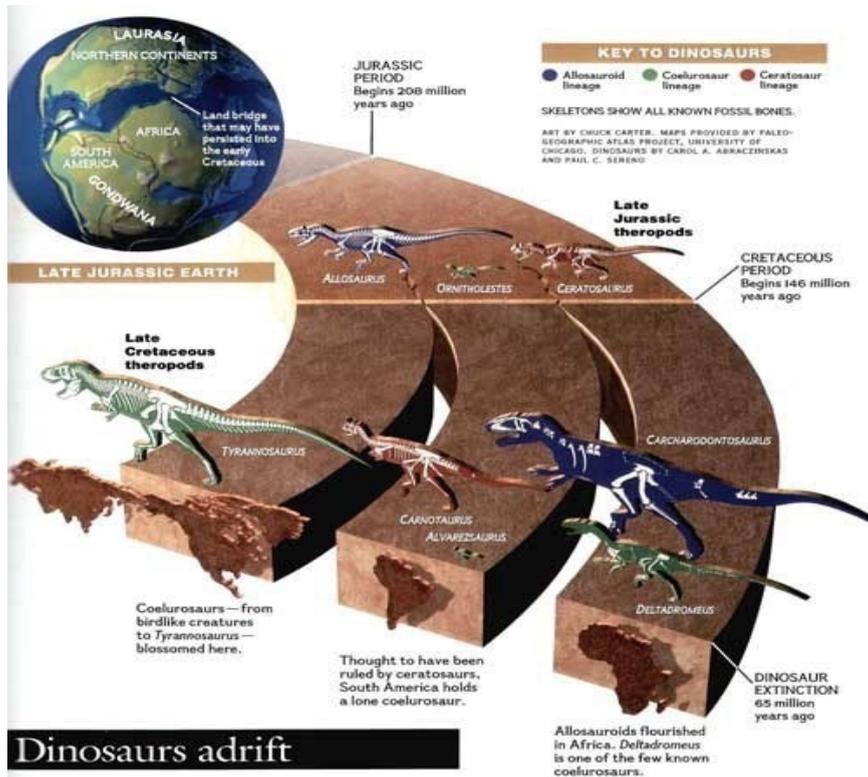
Dal punto di vista faunistico, abbiamo all'inizio una **prevalenza di anfibi**; successivamente inizieranno a svilupparsi i **rettili** che diventeranno la specie preponderante sulla superficie terrestre nell'era successiva.



I piccoli rettili sviluppatasi nel periodo paleozoico possono considerarsi i **prodromi dei dinosauri**.

Era Mesozoica
(Era degli esseri viventi di mezzo)
(245 - 65 milioni di anni fa)

È un'era di transizione nel processo dell'evoluzione biologica, caratterizzata dalla presenza preponderante di rettili di ogni tipo e dimensione e dalla comparsa di specie animali più vicine a noi quali uccelli e mammiferi. Perché questi ultimi possano svilupparsi e occupare un posto sempre più rilevante, sarà necessaria l'estinzione in massa dei grandi rettili (dinosauri) che, durante tutto il mesozoico, avevano occupato ogni spazio possibile per la vita.



L'evoluzione e la scomparsa dei dinosauri costituisce ancora oggi una delle questioni più dibattute della preistoria.

Quali furono le cause di questa estinzione? Ancora oggi abbiamo molte ipotesi e poche certezze: si pensa ad una variazione climatica che abbia determinato condizioni non adatte alla loro vita e riproduzione. A questo periodo risalgono piante più complesse (angiosperme), caratterizzate da fiori e semi racchiusi da un involucro, il frutto.

Era Cenozoica
(Era priva dei vecchi esseri viventi)
(65 - 1,8 milioni di anni fa)



Nel **Cenozoico** si assiste ad una **forte riproduzione e differenziazione dei mammiferi**: in breve tempo questi occuperanno gran parte della superficie terrestre. Possono essere considerati come i diretti antenati di molte specie animali presenti oggi sul nostro pianeta. Abbiamo, infatti, ippopotami, rinoceronti, equidi, orsi, proboscidati dalle forme tozze e primitive rispetto ai loro discendenti. In questo periodo si sviluppano anche i primati alla cui famiglia appartiene l'uomo. A tre milioni di anni fa, infatti, risale l'**australopiteco** che, con la sua caratteristica posizione eretta, costituisce il primo passo dell'evoluzione umana.

Era Neozoica

(Era dei nuovi esseri viventi)
(da 1,8 milioni di anni fa fino ad oggi)

Il **Neozoico** è caratterizzato da alterne vicende climatiche e da una nuova glaciazione che avrà forti ripercussioni dal punto di vista floristico e faunistico. Il forte abbassamento di temperatura porta all'estinzione di alcune specie, incapaci di adattarsi alle nuove condizioni, e ad un massiccio spostamento delle altre verso sud. Lo stesso discorso vale per la vegetazione: boschi di betulle e conifere si trovano in questo periodo anche nella nostra penisola.



L'evoluzione dell'uomo, a differenza di quella di altre specie, va letta non solo in chiave biologica, ma anche in relazione alle prime conquiste nell'ambito tecnico e culturale

Il **Neozoico** è rilevante soprattutto per il processo di **evoluzione dell'umanità**, la tappa finale di un processo iniziato tre miliardi e mezzo di anni fa con la comparsa dei primi batteri.

CASO O NECESSITÀ? LE COSTANTI COSMICHE

Le domande

Si è visto che l'avventura della vita è il risultato di una tendenza universale della materia a organizzarsi spontaneamente in sistemi sempre più eterogenei. Questo movimento parte dall'unità per andare verso la diversità, creando un ordine a partire dal disordine, elaborando strutture organizzative sempre più complesse.

- **Ma quale è la ragione per cui la natura produce ordine?**

*Non si può rispondere senza ricordare che l'universo sembra essere stato minuziosamente regolato in modo da permettere l'emergere di una materia ordinata, poi della vita e infine della coscienza. Se le leggi fisiche non fossero state esattamente quelle che sono, allora, come sottolinea l'astrofisico **Hubert Reeves** (1932-2023), "non saremmo qui a parlarne". O meglio ancora: poniamo che una delle grandi costanti universali – per esempio la **costante gravitazionale**, la **velocità della luce** o la **costante di Planck** (è una costante fisica fondamentale della meccanica quantistica, introdotta come la costante di proporzionalità fra l'energia e la frequenza di un fotone) – fosse stata sottoposta, all'origine, a una minima modificazione, ebbene, l'universo non avrebbe avuto alcuna possibilità di ospitare esseri viventi e intelligenti; forse non avrebbe neppure mai fatto la sua comparsa.*

Questa regolazione, di una precisione sconcertante, è il frutto del puro «caso», o il risultato della volontà di una Causa Prima, un'intelligenza organizzatrice che trascende la nostra realtà?

Le risposte della scienza, le riflessioni della filosofia

Dopo aver ripercorso il lungo cammino della vita, dalle prime molecole organiche fino all'uomo, ecco che ci troviamo nuovamente di fronte a una domanda ineludibile:

L'evoluzione cosmica che ha portato fino all'uomo è, come pensava il biologo Jacques Monod (1910-1976), un puro frutto del caso, oppure si iscrive in un grande disegno universale, ogni elemento del quale sarebbe stato minuziosamente calcolato?

C'è un ordine nascosto dietro ciò che, senza comprenderlo, chiamiamo caso?

Per rispondere a questa domanda, dobbiamo rivolgerci verso il *caso profondo*, quello dell'enigma e del mistero: che cosa significa quello che chiamiamo, semplicemente, *l'ordine delle cose*?

Prendiamo un fiocco di neve: questo piccolo oggetto ubbidisce a leggi matematiche e fisiche incredibilmente sofisticate che generano delle figure geometriche ordinate ma tutte differenti le une dalle altre: cristalli e policristalli, aghi e dendriti, piastrine e colonne ecc. La cosa più stupefacente è che ogni fiocco di neve è unico al mondo: dopo aver volteggiato per un'ora nel vento, è stato sottoposto a pressioni di ogni genere (come la temperatura, l'umidità, la presenza di impurità nell'atmosfera) che determineranno la sua forma specifica: la forma finale di un fiocco di neve contiene la storia di tutte le condizioni atmosferiche attraverso le quali è passato. Quello che affascina è il fatto che all'interno di questo fiocco di neve si ritrova l'essenza di un ordine: un equilibrio delicato tra forze di stabilità e forze di instabilità; un'interazione feconda tra forze che operano su scala umana e forze che operano su scala atomica. Da dove viene questo equilibrio? Quale è l'origine di questo ordine? Di questa simmetria?

Per trovare gli spunti per una risposta bisogna scendere un po' più in giù, nell'infinitamente piccolo. Vediamo quello che succede a livello atomico. **Il comportamento delle particelle elementari sembra disordinato, aleatorio, imprevedibile.** Nella fisica quantistica non c'è di fatto alcun modo di *prevedere* avvenimenti individuali o singolari. Immaginiamo di rinchiudere un chilo di radio in una camera a tenuta e di ritornare sul posto 1600 anni dopo per vedere che cosa è successo.

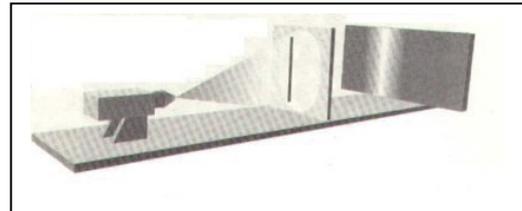
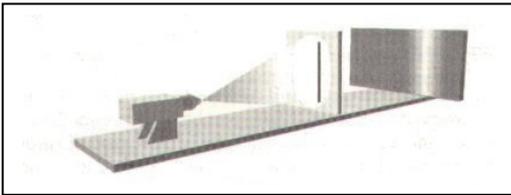
Ritroveremo il nostro chilo di radio intatto? Niente affatto: metà degli atomi di radio sarà sparita come vuole il noto processo della disintegrazione radioattiva. I fisici dicono che la «vita media» o *periodo* del radio è di 1600 anni: il tempo che occorre affinché la metà degli atomi di un blocco di radio si disintegri.

A questo punto, una domanda: **possiamo determinare quali atomi di radio si disintegreranno?** Che piaccia o meno ai difensori del determinismo, non abbiamo alcun modo di sapere *perché* è questo atomo piuttosto che quest'altro a disintegrarsi. Possiamo predire *quanti* atomi si disintegreranno ma siamo incapaci di dire *quali*: nessuna legge fisica ci permette di descrivere il processo che è all'origine di questa selezione. La teoria quantistica è in grado di descrivere con grande precisione il comportamento di un insieme di particelle ma, quando si tratta di una particella singola, potrà fornire solo delle **probabilità**.

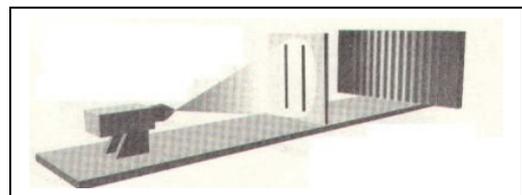
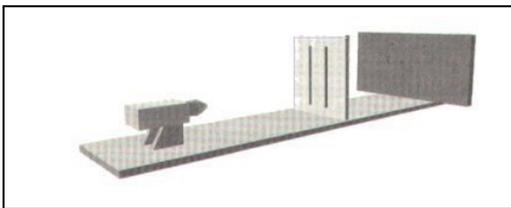
Questo argomento è molto forte. Ma, fino a che punto quello che sembra aleatorio a un certo livello non può rivelarsi ordinato a un livello superiore? Si potrebbe obiettare che **quello che chiamiamo caso non è altro che la nostra incapacità di capire un grado di ordine superiore**.

Qui ritroviamo le idee del fisico inglese **David Bohm** (1917-1992), secondo il quale i movimenti dei granelli di polvere contenuti in un raggio di sole sono aleatori solo in apparenza: al di là del disordine visibile dei fenomeni esiste un ordine profondo, di **grado infinitamente elevato** che permetterebbe di spiegare quello che noi interpretiamo come il frutto del caso. Ricordiamo, per esempio, un celebre esperimento di fisica: quello delle «doppie fenditure». Il dispositivo è molto semplice: si interpone uno schermo forato da due fenditure verticali parallele tra una lastra fotografica e una sorgente luminosa che permette di inviare dei fotoni, ovvero dei granelli di luce, verso lo schermo.

Se chiudiamo una delle due fenditure, i fotoni attraverseranno quella aperta e si disporranno sulla lastra fotografica formando una riga luminosa.



Ma se si aprono entrambe le fenditure, proiettando le particelle luminose *a una a una* verso di esse ci è impossibile dire *quale fenditura* esattamente sarà attraversata per fissarsi sulla lastra fotografica. Da questo punto di vista i movimenti e la traiettoria della particella luminosa sono aleatori e imprevedibili.



Tuttavia, dopo circa un migliaio di tiri, i fotoni non lasciano una traccia altrettanto aleatoria sulla lastra fotografica. L'insieme delle particelle inviate separatamente forma ora una figura perfettamente ordinata, nota con il nome di **frange di interferenza**. Questa figura, considerata nella sua interezza, era perfettamente prevedibile. In altri termini, il carattere «aleatorio» del comportamento di ogni particella isolata nascondeva in realtà un **grado di ordine molto elevato che noi non potevamo interpretare**.

Quindi, si potrebbe concludere, filosoficamente, che **l'universo non contiene il caso ma diversi livelli di ordine di cui abbiamo il compito di decifrare la gerarchia**.

Si possono considerare certi fenomeni caotici, come un gorgo nell'acqua o le volute di un filo di fumo nell'aria immobile. Apparentemente questi movimenti sono insieme indescrivibili e imprevedibili; ma, contro ogni aspettativa, dietro quello scorrere turbolento, o nei movimenti casuali del fumo, si avverte una specie di *vincolo*: il disordine viene in qualche modo canalizzato all'interno di motivi costruiti su uno stesso modello soggiacente, al quale gli specialisti del caos hanno dato il bel nome di **"attrattore strano"**.

Esso esiste nello **"spazio delle fasi"**, e cioè nello spazio che contiene tutte le informazioni dinamiche, tutte le variazioni possibili di un sistema meccanico. Un esempio di attrattore elementare? Un punto fisso a cui è sospesa una biglia d'acciaio; questa può muoversi in fondo al filo, ma solo percorrendo un'orbita precisa dalla quale la nostra biglia avrà difficoltà ad allontanarsi. Nello spazio delle fasi tutte le traiettorie vicine sono come attratte dall'orbita di rotazione: quest'ultima è l'**attrattore strano** del sistema. Ora, quello che è vero per un sistema semplice lo è tanto più per i sistemi complessi: anche in questi esistono degli **«attrattori strani»** che ordinano in profondità il loro comportamento.

La presenza su scala macroscopica delle strutture ordinate che caratterizzano l'universo resta, malgrado le nostre conoscenze, un mistero. Per esempio, l'**uniformità e l'isotropia della distribuzione della materia nelle galassie** sono stupefacenti. La misura dell'universo osservabile è dell'ordine di **Km. 10^{23}** (cioè 1 seguito da 23 zeri); a questo livello la materia ha una densità uniforme che possiamo misurare con una precisione dell'ordine di $1/10^5$. Tuttavia, su scala inferiore, l'universo cessa di essere omogeneo: è costituito da un ammasso di galassie che a loro volta sono composte di stelle ecc. Ora, come è possibile che l'assenza di omogeneità che regna su piccola scala abbia potuto generare un ordine così elevato su grande scala?

Se un *ordine* soggiacente governa l'evoluzione del reale, diventa impossibile sostenere da un punto di vista scientifico che la vita e l'intelligenza sono apparse nell'universo in seguito a una serie di accidenti, di eventi aleatori da cui sarebbe assente ogni finalità. Osservando la natura e le leggi che ne derivano, sembra, al contrario, che tutto l'universo nella sua interezza *tenda verso la coscienza*. O meglio: nella sua immensa complessità, e malgrado l'apparenza del contrario, **l'universo è adatto per generare qualcosa di vivente, di cosciente e di intelligente**. Per quale motivo? Perché **"la materia senza coscienza non è altro che il rudere dell'universo"**. Senza di noi, senza una coscienza che ne sia il testimone, l'universo non potrebbe avere alcuna esistenza: **siamo noi l'universo stesso**, la sua vita, la sua coscienza, la sua intelligenza.

Qui tocchiamo un mistero profondo. Non dimentichiamo che l'intera realtà si fonda su un numero molto **piccolo di costanti** cosmologiche: **sono meno di quindici**, la costante gravitazionale, la velocità della luce, lo zero assoluto, la costante di Planck ecc. Noi conosciamo il valore di ognuna di queste costanti con precisione notevole.

Ora, se **una sola** di queste costanti fosse stata modificata anche di poco, allora l'universo – almeno quale noi lo conosciamo – non sarebbe potuto apparire. Un esempio significativo è costituito dalla **densità iniziale dell'universo**: se questa densità si fosse allontanata anche di pochissimo dal valore critico che ha assunto a partire da secondi $1/10^{35}$ dopo il *big bang*, l'universo non si sarebbe potuto formare.

Oggi il rapporto tra la densità dell'universo e la densità critica originaria è dell'ordine di 0,1; si dà il caso che sia stato incredibilmente vicino a uno all'epoca, molto remota di cui sopra. Lo scarto con la soglia critica è stato straordinariamente piccolo, dell'ordine di $1/10^{40}$, un istante dopo il *big bang*, di modo che l'universo ha trovato il suo «equilibrio» subito dopo la nascita.

Ciò ha permesso di mettere in moto le fasi seguenti.

Un altro esempio di questa fantastica regolazione: se aumentassimo dell'uno per cento appena l'intensità della **forza nucleare** che controlla la coesione del nucleo atomico elimineremmo la possibilità che i nuclei di idrogeno hanno di restare liberi: questi si combinerebbero con altri protoni e neutroni per formare dei nuclei pesanti. A partire da tale momento, visto che l'idrogeno non esisterebbe più, non potrebbe nemmeno combinarsi con gli atomi di ossigeno per formare l'acqua che è indispensabile alla nascita della vita.

Se, al contrario, diminuiamo leggermente la forza nucleare, allora è la fusione dei nuclei di idrogeno a diventare impossibile. E senza fusione nucleare, non ci sono più soli, fonti di energia, vita.

Quello che vale per la forza nucleare, vale allo stesso modo per altri parametri, come la **forza elettromagnetica**. Se la aumentassimo molto leggermente, rinforzeremo il legame esistente tra l'elettrone e il nucleo; e anche le reazioni chimiche che risultano dal trasferimento degli elettroni verso altri nuclei non sarebbero più possibili. Una grande quantità di elementi non potrebbe formarsi e in un universo siffatto le molecole di DNA non avrebbero nessuna possibilità di comparire.

Quanto alla **forza di gravità**, se questa fosse stata appena un po' più debole al momento della formazione dell'universo, le nubi primitive di idrogeno non avrebbero mai potuto condensarsi per raggiungere la soglia critica della fusione nucleare: le stelle non si sarebbero mai accese. Ma non saremmo affatto più felici se fosse successo il contrario: una gravità più forte avrebbe portato a un vero e proprio «impazzimento» delle reazioni nucleari: le stelle si sarebbero incendiate furiosamente per poi morire così presto che la vita non avrebbe avuto il tempo di svilupparsi.

In realtà, quali che siano i parametri considerati, la conclusione è sempre la stessa: **se si modifica anche di poco il loro valore, si preclude ogni possibilità allo sbocciare della vita. Le costanti fondamentali della natura e le condizioni iniziali che hanno permesso l'apparizione della vita sembrano quindi regolate con una straordinaria precisione.**

Ancora un'ultima cifra: se il **tasso di espansione dell'universo all'inizio** avesse subito uno scarto dell'ordine di $1/10^{40}$, la materia iniziale si sarebbe sparpagliata nel vuoto: l'universo non avrebbe potuto dare origine alle galassie, alle stelle e alla vita. Per dare un'idea della precisione incredibile con la quale sembra che l'universo sia stato regolato, basta immaginare la prodezza che dovrebbe compiere un giocatore di golf per riuscire, tirando dalla Terra, a far entrare la palla in una buca situata da qualche parte sul pianeta Marte!

Ragionando su queste cifre si deve dedurre che né le galassie e i loro miliardi di stelle, né i pianeti e le forme di vita che contengono sono un accidente o una semplice «**fluttuazione del caso**». Noi non siamo comparsi così, un bel giorno piuttosto che un altro, perché una coppia di dadi cosmici sono rotolati sul lato giusto. Lasciamo queste considerazioni a coloro che non vogliono aver nulla a che fare con la verità dei numeri.

Il calcolo delle probabilità depone favore di un universo ordinato, minuziosamente regolato, la cui esistenza non può essere generata dal caso. È anche vero che i matematici non ci hanno ancora raccontato tutta la storia del caso: non sanno neppure che cosa sia! Hanno però potuto effettuare certi esperimenti utilizzando dei calcolatori che generano numeri casuali. A partire da una regola derivata da soluzioni numeriche alle equazioni algebriche, sono state programmate delle macchine per **produrre il caso**. Qui le leggi di probabilità indicano che questi calcolatori dovrebbero calcolare per miliardi di miliardi di miliardi di anni, ossia per una durata di tempo quasi infinita, prima che possa apparire una combinazione di numeri simile a quella che ha reso possibile lo schiudersi dell'universo e della vita. In altre parole, **la probabilità matematica che l'universo sia stato generato dal caso è praticamente nulla. Non sarà che l'universo, come noi lo conosciamo, esiste proprio per permettere alla vita e alla coscienza di svilupparsi?**

Ritroviamo qui il «**principio antropico**», formulato nel 1974 dall'astrofisico austriaco Brandon Carter (classe 1942). A suo parere, è un fatto che **l'universo possieda esattamente quelle proprietà che sono necessarie a generare un essere capace di coscienza e di intelligenza. Da allora le cose sono quello che sono perché non sarebbero potute essere diversamente: non c'è posto nella realtà per un universo differente da quello che ci ha generato.**

«Se davvero non c'è posto per un universo diverso da quello in cui viviamo, vuol dire ancora una volta che un ordine implicito, molto profondo e invisibile, opera *al di sotto* del disordine esplicito che si manifesta con tanta generosità. La natura plasma *direttamente dal caos* le forme complicate e altamente organizzate del vivente. Al contrario della materia inanimata, l'universo del vivente è caratterizzato da un livello di ordine sempre crescente: mentre l'universo fisico va verso un'entropia

sempre più elevata, il vivente è come se risalisse questa corrente contraria per creare sempre più ordine. A partire da ciò dobbiamo rivalutare il ruolo di quello che chiamiamo «caso». Jung sosteneva che l'apparizione di *coincidenze significative* implica necessariamente l'esistenza di un principio esplicativo che deve essere aggiunto ai concetti di spazio, tempo e causalità. Questo grande principio, detto *principio di sincronicità*, è fondato su un ordine universale di comprensione, complementare alla causalità. All'origine non c'è alcun evento casuale, *non c'è il caso*, ma un grado di ordine infinitamente superiore a tutto ciò che possiamo immaginare: un ordine supremo che regola le costanti fisiche, le condizioni iniziali, il comportamento degli atomi, la vita delle stelle. Potente, libero, esistente all'infinito, misterioso, implicito, invisibile, sensibile, c'è, eterno e necessario dietro i fenomeni, lontanissimo al di sopra dell'universo, ma presente in ogni particella” (J. Guilton, op. cit., pagg. 56-57).

ALLEGATO SU NASCITA E SVILUPPO DELLA VITA SULLA TERRA

DA 3,5 MILIARDI DI ANNI FA SINO A 70 MILA ANNI FA

ERE GEOLOGICHE E TAVOLA GEOCRONOLOGICA

ERA	PERIODO	LIMITE CRONOLOGICO		COMPARSA DI FORME VIVENTI
		EPOCA	APPROSSIMATO*	
CENOZOICO	QUATERNARIO	Olocene	10.000	Esseri umani
		Pleistocene	1.600.000	
	TERZIARIO	Pliocene	5.200.000	Mammiferi erbivori e carnivori
		Pliocene	26.000.000	
		Oligocene	37.000.000	
		Eocene	54.000.000	
MESOZOICO	Cretaceo	136.000.000	Primate; Pianta con fiori	
	Giurassico	195.000.000	Uccelli	
	Triassico	225.000.000	Dinosauri; Mammiferi	
PALEOZOICO	Permiano	280.000.000	Rettili; Foreste di felci	
	Carbonifero	345.000.000		
	Devoniano	395.000.000	Anfibi; Insetti	
	Siluriano	430.000.000	Piante vascolari terrestri	
	Ordoviciano	500.000.000	Pesci; Cordati	
	Cambriano	570.000.000	Molluschi; Trilobiti	
PRECAMBRIANO		700.000.000	Alge	
		1.500.000.000	Cellule eucariote	
		3.500.000.000	Cellule procariote	
		4.650.000.000	Formazione della Terra	

Cenni etimologici

ARCHEOZOICO: dal greco archàiov = antico e zòon = animale, "dei primi animali"
Archeano, dal greco arché = principio
Algonchiano il nome deriva dalla regione canadese Algonkin

PALEOZOICO: dal greco palaìon = antico e zòon = animale, "degli antichi animali"
Cambriano, da Cambria, nome latino del Galles
Siluriano, da antica tribù celtica dei Siluri, abitanti del Galles
Devoniano, dal nome della regione Devon in Inghilterra
Carbonifero, dalla ricchezza di carbone fossile nei relativi strati
Permiano, dal nome della provincia russa di Perm, negli Urali

MESOZOICO: dal greco méson = medio e zòon = animale, "degli animali di mezzo"
Triassico, dagli strati del terreno, due di origine marina, separati da uno continentale (dal greco trias = triade)
Giurassico, dal nome della catena montuosa del Giura, massiccio tra Francia e Svizzera
Cretaceo, dal nome della creta, calcare bianco costituito di gusci di Foraminiferi

CENOZOICO: dal greco kainòn = recente e zòon = animale, "degli animali recenti"
Eocene, dal greco eòie = mattino e kainé = recente
Oligocene, dal greco oligon = poco e kainòn = recente
Miocene, dal greco méion = meno e kainòn = recente
Paleocene, dal greco palaìon = antico e kainòn = recente

NEOZOICO dal greco néon = nuovo e zòon = animale, "degli animali nuovi"
Pleistocene, dal greco pléiston = moltissimo e kainòn = recente
Olocene, dal greco òlon = tutto e kainòn = recente

Se paragoniamo il tempo dello sviluppo della vita sulla terra ad un anno solare ci si presenterà la seguente situazione.

<p>1° GENNAIO</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 miliardi di anni fa ... 	<ul style="list-style-type: none"> • La terra, formata da immense colate vulcaniche raffreddate, è avvolta da <i>spesse nubi grigie composte di anidride carbonica, azoto, idrogeno ed altri gas</i>, percossa da potentissime scariche elettriche. • Sono presenti gli <i>oceani</i>. Ovunque si trovano i 4 elementi basilari: <ul style="list-style-type: none"> <i>Carbonio</i> <i>Ossigeno</i> <i>Idrogeno</i> <i>Azoto</i> <p><i>Questi elementi sono alla base dei 20 tipi di aminoacidi che compongono tutti i tessuti viventi</i></p> • Potenti scariche elettriche danno origine all'<i>adenina</i>, una delle 4 sostanze basi del DNA (<i>adenina, timina, guanina, citosina</i>) • È probabile che la vita abbia avuto origine all'interno di sferule di grasso, originatesi dal metano disciolto nell'acqua, aggredite dai raggi UV che le trasformarono in un immenso strato di idrocarburi condensati. • Le sferule, alla profondità di 10 metri sotto le acque lagunari, comunicanti col mare attraverso periodiche maree, avrebbero consentito i primi passi per l'evoluzione della biochimica primordiale che iniziò il suo cammino grazie alla sua <i>grammatica chimica di base</i>. Tuttavia, a tutt'oggi 2025, non sappiamo come sia avvenuto realmente il passaggio dalla materia non vivente alla materia vivente.
<p>14 FEBBRAIO</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3,5 miliardi di anni fa 	<ul style="list-style-type: none"> • Si formano i primi minuscoli <i>esseri viventi unicellulari</i>: i <i>procarioti</i> (senza <i>nucleo</i>). Sono poco più grandi delle sferule. Il DNA è periferico (nel citoplasma). Al loro interno c'è l'ATP (adenosintifosfato), come una piccola batteria che fornisce energia. • Si ritiene che le prime cellule siano state le <i>alghe verdi-azzurre</i> capaci di crearsi il cibo mediante la fotosintesi (cellule isolate, di tipo batterico: <i>cianobatteri</i>, cioè batteri azzurri). • A differenza dei <i>solfo batteri</i> che estraevano l'idrogeno dal solfuro di idrogeno (dal tipico odore di uova marce) le alghe verdi-azzurre lo estraggono dall'acqua, liberando ossigeno che si compone col ferro che va a stratificarsi sui fondali marini. • Sui fondali marini di certe zone, a 10 metri di profondità, si possono trovare dei veri e propri tappeti di pietra [<i>stromatoliti</i> (dal greco stroma = tappeto e lithos = pietra)] formati da miliardi e miliardi di queste alghe.
<p>16 MAGGIO - 1° LUGLIO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tra 2,5 e 2 miliardi di anni fa ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Fa meno caldo sulla terra; le nuvole sono più bianche e le eruzioni vulcaniche più ridotte e meno violente. I continenti si sono spostati, scontrati, separati; la luna si è allontanata e le masse sono meno intense; i giorni e le notti sono più lunghi; è aumentata la quantità d'acqua. • Le cellule <i>procariote</i> hanno subito varie modificazioni di forma e di DNA. Le modificazioni avvengono molto lentamente, forse per la relativa stabilità dell'ambiente e anche perché le procariote vivono isolate, anche se qualche congiunzione e trasmissione genetica già avviene a livello elementare (inglobazione per travasamento o per ingestione di altro DNA).

24 AGOSTO

- 1,4 miliardi di anni fa

- Le alghe azzurre continuano a produrre gas di scarto, ossigeno, che comincia a **inquinare** pesantemente l'ambiente, provocando la morte di molte procariote per ossidazione.
- Compagno delle procariote capaci di utilizzare l'ossigeno per ossidare gli scarti di fermentazione per una nuova combustione, traendo energia 18 volte superiore alle cellule **anaerobiche**. Queste nuove cellule, in sostanza, respirano ossigeno.
- Si hanno, pertanto, tre modelli di vita:
 1. **fermentatori esclusivi** che si rifugiano in luoghi privi di ossigeno, come i batteri anaerobi, i funghi attuali;
 2. **produttori di ossigeno**, come le alghe verdi-azzurre attraverso la fotosintesi, come sono ancora adesso assieme alle piante;
 3. **consumatori di ossigeno**, nuove cellule aerobiche come le piante e gli animali di oggi.

25 AGOSTO - 10 SETTEMBRE

- Tra 1,4 e 1,2 miliardi di anni fa ...

L'aspetto della terra è simile all'attuale; manca ogni forma di vita in superficie. Cielo, nuvole e mari tendono al violetto. L'atmosfera contiene già 1,1% di ossigeno. I raggi ultravioletti incominciano a trovare uno schermo che consente alla vita sottomarina di svilupparsi a minor profondità, più in superficie.

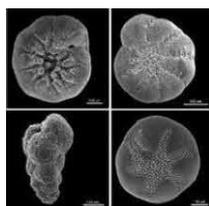
- **Protozoi unicellulari**, dalle forme più svariate, popolano i mari. Compagno le cellule **eucariote con nucleo centrale** in cui è arrotolato il DNA: La cellula contiene già vacuoli, ribozomi, reticolo, mitocondri: elementi tutti che si ritrovano nelle cellule attuali.
- Compagno **sistemi cellulari simbiotici**, come avviene oggi con i licheni (alga + fungo), che si riproducono tutti insieme.

28 SETTEMBRE - 16 OTT.

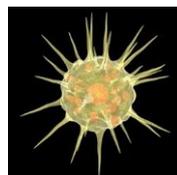
- Da 1 miliardo a 800 milioni di anni fa ...

- Il Pianeta terra non appare gran che diverso da oggi. Nei mari la vita pullula di esseri viventi dalle svariatissime forme. La quantità di ossigeno continua a crescere. Si forma il primo strato di ozono (O₃). I raggi UV sono meno micidiali.
- Molti protozoi di allora sono tuttora presenti, miliardi di altri sono definitivamente scomparsi. I più significativi son l'**ameba**

i **foraminiferi**



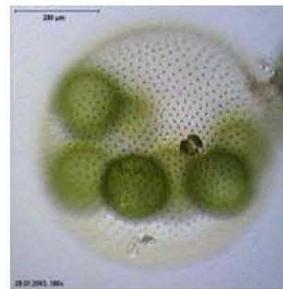
l'**eliozoo**



L'euglena (buona pupilla), metà animale e metà pianta, dotata di un primordiale occhio;



il *volvox* (insieme di protozoi riuniti in forma di sfera con funzioni diversificate; solo alcuni hanno la funzione riproduttiva: gli altri sono destinati a morire. In precedenza tutti i protozoi si riproducevano per sdoppiamento e quindi la struttura dell'individuo si moltiplicava all'infinito. Adesso solo alcuni hanno questa funzione, gli altri non più.



Sintesi della complessificazione:

- 1. montaggio di atomi per formare molecole;
 2. assemblaggi di molecole per formare polimeri;
 3. assemblaggi di polimeri per formare DNA e proteine varie;
 4. assemblaggi di varie strutture per formare sferule, protocellule, procariote;
 5. assemblaggi o simbiosi di cellule procariote per formare eucariote;
 6. assemblaggi di cellule viventi in colonie, capaci di interagire;
 7. colonie di cellule altamente specializzate in varie funzioni negli individui pluricellulari (piante e animali fino a noi).
- Il processo evolutivo è stato molto complesso: sono sopravvissute le forme di vita che hanno avuto più successo. L'intrico evolutivo è stato talmente aggrovigliato da assomigliare a un cespuglio
- A quest'epoca si trovano i più arcaici organismi pluricellulari, le *spugne*, dotati di funzioni sessuali riproduttive (vi sono cellule sessuali maschili e femminili); ma possono riprodursi anche per gemmazione. La loro evoluzione si è fermata 700 milioni di anni fa.
- L'ossigeno ha raggiunto la percentuale del 7%. Continua la formazione dell'ozono.
- Compaiono le *caravelle portoghesi* (*Physalia physalis*, sifonoforo simile alla medusa), le *idre*, le *meduse*, le *attinie*. In queste tre ultime compaiono le prime cellule nervose: ancora tenui collegamenti tra pelle e muscoli. Sono in grado di riprodursi mediante cellule sessuate, maschili e femminili. Sono ermafrodite.

27 OTTOBRE

- **700 milioni di anni fa**

5 NOVEMBRE

- **600 milioni di anni fa**

8-15 NOVEMBRE

- Tra 570 e 505 milioni di anni fa: Cambriano (da Cambria, zona del Galles) ...

- I mari con acque tiepide si estendono dall'Europa del nord fino all'Etiopia. Compaiono forme di vita dotate di strutture dure: scheletri ed esoscheletri.

I mari sono ricchi di ossigeno. Il limo dei fondali imprigiona miliardi di fossili. Animali di quest'epoca:

1. *Peytoia*, a forma di fetta di ananas
2. *Polycheti*, lombrichi di mare



3. *Ottoia*, voracissimo verme predatore
4. *Wiwaxia*, antenata delle lumache
5. *Conadaptis*, crostaceo con coda ad anelli
6. *Aysheaia*, verme simile ad un bruco, con occhi, trachea, cuore, intestino, apparato riproduttore



7. *Trilobiti* d'ogni forma e grandezza (si estinsero 250 milioni di anni fa)



8. *Anomallocaris*, predatore ditrilobita, lungo fino ad un metro



9. *Hallucigenia*, dotata di molte zampe e aculei



10. *Opabinia*, con cinque occhi e una proboscide piena di denti

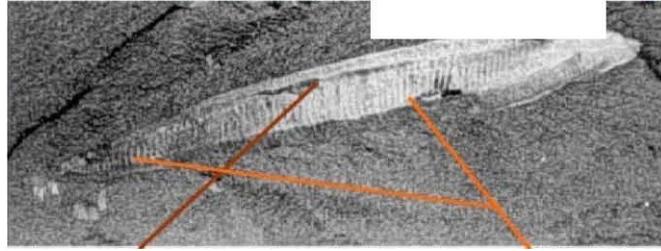


11. *Pikaia*, dotata di rudimentale spina dorsale.

- Tutti questi esseri sono pluricellulari; le cellule si differenziano assolvendo a diverse funzioni. Compare un primo abbozzo di organizzazione cerebrale, anche se si tratta di semplici matasse nervose collocate nella testa ove compaiono vista, odorato, gusto, udito.
- Il gioco del rimescolamento dei cromosomi crea migliorie e migliaia di variazioni e imprime una nuova velocità all'evoluzione.

- Compaiono gli artropodi (*centopiedi, millepiedi, scorpioni*) adatti ad uscire dall'acqua. Non ci sono vertebrati, tranne la *Pikaia* che ha un abbozzo di spina dorsale.

Il primo cordato fossile conosciuto proviene dalle argilliti di Burgess (Cambriano m. British Columbia, Canada), *Pikala*



La bocca, a sx, la coda a dx: ben riconoscibile la notocorda dorsale ed i **segmenti muscolari a V** (i "miomeri") verso la parte caudale (conservazione in allumosilicato di Ca).

Se non fosse esistito questo vertebrato o se non fosse sopravvissuto sarebbero esistiti tutti gli altri, compreso l'uomo?

22 NOVEMBRE

- 430 milioni di anni fa

- Forse le prime forme viventi sbarcate sulla terra furono dei batteri, le alghe unicellulari (alghe verdi-azzurre) o *cianobatteri*. La rivoluzione la si ebbe con l'approdo di alghe pluricellulari evolutesi in *muschi*. Esse dovettero superare tre problemi:

1. proteggersi contro la disidratazione (si stabiliscono vicino al mare alghe anfibie)
2. sviluppare dei sostegni (si formano piccole strutture sufficientemente resistenti)
3. riprodursi (attraverso l'acqua diffondono lo sperma).

L'ozono offriva già protezione e l'ossigeno era forse già presente al 100% dell'attuale.

Il più antico vegetale fu il *muschio*.

- Fra i 450 e i 350 milioni di anni fa le piante svilupparono:

1. radici
2. ispessimenti cellulari (tronco)
3. canalizzazioni interne
4. foglie per catturare l'energia solare.

Le piante colonizzarono la terra trasformandola profondamente. Ma la loro linea evolutiva è rimasta bloccata a 4 miliardi di anni fa: non sono in grado di percepire, di muoversi, di memorizzare.

27 NOVEMBRE

- 390 milioni di anni fa

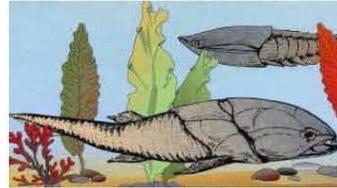
• ... **Carbonifero** (così chiamato perché nei terreni formati in questo periodo i carboni fossili sono molto diffusi e molto abbondanti)

27 NOVEMBRE

- 380 milioni di anni fa

- Da 20 milioni di anni sono sbarcati sulla terra i *millepiedi*, probabili discendenti di un verme marino ad anelli: respirano attraverso fori nella corazzae si riproducono attraverso accoppiamenti; hanno occhi composti e antenne tattili e olfattive.

- Compaiono i **ragni** con struttura del corpo ad anelli. Poggiano su 8 zampe.
- Compaiono gli **scorpioni terrestri** il cui sangue è ossigenato nell'addome, a diretto contatto con l'aria.
- In mare compaiono **stelle marine** e **ricci** dotati di un primo rudimentale scheletro. La loro evoluzione rimarrà bloccata.
- Intanto dal **Devoniano** (dal nome della contea inglese di Devon da dove si incominciarono a studiare i terreni di questo periodo: 400 milioni di anni fa) hanno iniziato a svilupparsi in acque dolci dei pesci corazzati, gli **ostracodermi**.

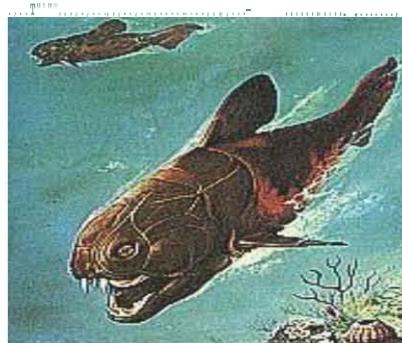


- All'interno del loro corpo compare cartilaginea la colonna vertebrale, già presente nella **pikaia**. A metà strada tra **pikaia** e **ostracodermi** è forse la **lampreda** che presenta una notocorda, antenata della spina dorsale.



Quest'animale, inoltre, presenta un primo abbozzo di cervello con due lobi per la percezione degli odori. La lampreda attuale presenta organi gustativi e di equilibrio. Gli **ostracodermi** avevano parecchi aspetti in comune con la **lampreda**.

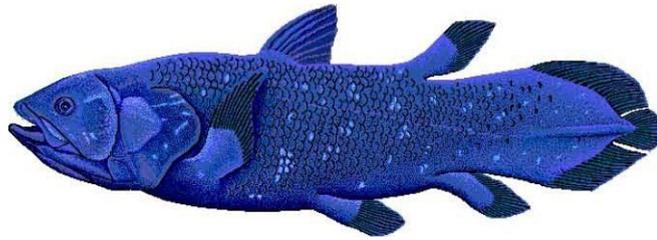
- Nel **Devoniano** compaiono scorpioni d'acqua lunghi 2 metri e il **Dinichthys** enorme pesce corazzato lungo 7-8 metri dotato di potente mandibola munita di zanne.



Dinichthys

- Mari, laghi, fiumi, paludi pullulano di forme di vita. **Ostracodermi** e **Placodermi** scompaiono. Molti pesci trasformano in struttura ossea lo scheletro, altri cominciano ad affacciarsi per brevi momenti sulla terra ferma. Questi pesci hanno occhi muniti di cristallino, bottoni gustativi e orecchie interne con otoliti per l'equilibrio.
- Uno dei primi pesci a sviluppare delle pinne anteriori assai simili a delle

braccia fu il *Celacanto*. Nel 1938 si è scoperto che esiste ancora. La presenza di arti di locomozione non era però affiancata da polmoni.



- Compagno dei pesci polmonati, polmoni che hanno preso origine da un difetto dell'*esofago*, cioè da *ernie di esso* che hanno creato delle vescicole. Attualmente esiste un pesce, il *Protottero*, che può respirare attraverso branchie e polmoni.



27 NOVEMBRE

- **370 milioni di anni fa**

- Compare un pesce capace di:

1. camminare a 4 zampe
2. compiere qualche scorribanda terrestre
3. respirare l'aria per procurarsi ossigeno

È l'*Eusthenopteron* (buon forte esploratore) di 60 cm di lunghezza caratterizzato da strategie di attacco. Non è particolarmente robusto, ma ben adattato alla nuova situazione. Le forme troppo adattate non si evolvono più: hanno successo quelle aperte al cambiamento.



29 NOVEMBRE

- **355 milioni di anni fa**

- Cominciano a comparire le prime foreste formate da: *equiseti*, *felci*, *grandi alberi*.
- Dall'*Eusthenopteron* si evolve l'*Ichthyostega* protoanfibia dotato di colonna vertebrale robusta, denti piscivori, arti uniti alla colonna con legamenti, adatti alla marcia sulla terra; occhi adatti all'aria, con ghiandole lacrimali e palpebra; orecchi che amplificano i suoni; lingua. La pelle non ha scaglie: è una vera epidermide adatta a trattenere l'umidità:



3 DICEMBRE

- **310 milioni di anni fa Carbonifero**

(è così chiamato perché nei terreni formati in questo periodo i carboni fossili sono molto diffusi e abbondanti)

- Sono presenti estese foreste con alberi giganteschi che cadendo e cumulandosi a strati danno origine ai giacimenti carboniferi.

Abbondano gli insetti di terra e di aria. Spicca la *Meganeura*, una libellula volante di circa 70 cm di apertura alare.



5 DICEMBRE

- **280 milioni di anni fa Permiano**

(Prende il nome dalla Provincia russa di Perm)

- Proliferano gli *anfibi*:

1. il *Diplocaulus*, lungo 1 mt. con la testa a bumerang



2. l'*Eryops*, lungo 2 mt, somigliante a un coccodrillo; caccia piccoli squali



Incominciano a comparire i rettili, simili a serpenti o lucertole, come l'*Hylonomus* lungo 20 cm.



Ha solo polmoni; si riproduce sulla terra e non in acqua come gli anfibi. La Natura inventa l'*uovo amniotico*, con un liquido dentro in cui si può tranquillamente sviluppare l'embrione, come in una porzione di ambiente acquatico, racchiuso in un contenitore trasportabile. Le metamorfosi avvengono all'interno dell'uovo: il girino può alimentarsi, scartare i rifiuti, scambiare gas con l'esterno, sviluppare branchie (non avverrà che parzialmente nei mammiferi e nell'uomo) e poi entrare nel mondo una volta sviluppato.

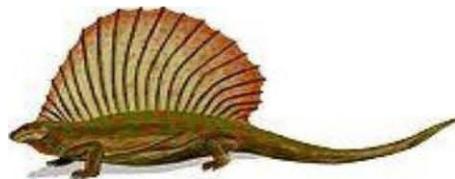
- 275 milioni di anni fa Permiano

6 DICEMBRE

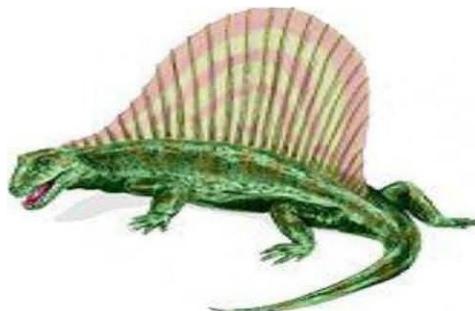
- 270 milioni di anni fa

- Rettili e anfibi sembrano uguali. In realtà i rettili hanno introdotto:
 1. *uovo amniotico*
 2. *pelle che non teme l'essiccazione*
 3. *scheletro sempre più mobile*
 4. *reni che trasformano in urea l'ammoniaca.*
- L'ambiente subisce diverse modificazioni costringendo i rettili a nuovi adattamenti e relazioni. Importanti sono le oscillazioni di temperatura e di umidità.

- Negli altipiani a nord dell'equatore, meno caldi e asciutti, si diffondono rettili con vele sulla schiena atte ad accumulare calore:
 1. *Edaphosaurus*, lungo 3 metri, erbivoro



2. *Dimetrodonte*, lungo 3 metri, molto aggressivo, carnivoro, dotato di file di denti aguzzi.



- Il clima muta a causa del movimento dei continenti. Gli anfibi si trovano a dovere affrontare forti disagi.

7 DICEMBRE

- 260 milioni di anni fa
Permiano

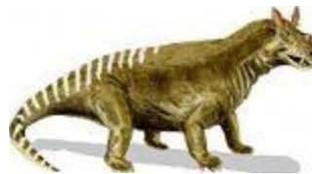
- Dove c'erano paludi, laghi e fiumi subentra la siccità. Per gli anfibi è un dramma: molti soccombono, alcuni emigrano, altri si incistano aspettando l'acqua.
- I rettili hanno vita più facile perché potendosi muovere più facilmente possono raggiungere zone più ospitali. Meritano menzione i *Terapsidi* rettili a sangue caldo, forse progenitori dei mammiferi.



7 DICEMBRE- MATTINA

- 258 milioni di anni fa
Permiano

- Compagno l'*Eotitanosuchus*, rettile lungo più di 2 metri e mezzo, e l'*Estemmenosuchus*. Sono *rettili mammaliani*, hanno: temperature corporea costante, peli e pellicce, maturazione delle uova all'interno del corpo, cure parentali e mammelle con latte.

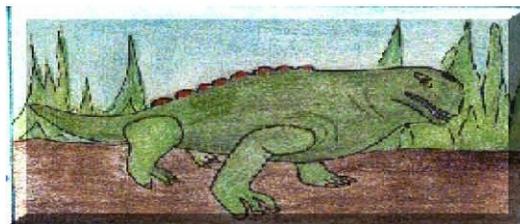
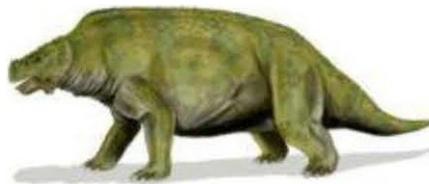


Estemmenosuchus

7 DICEMBRE - SERA

- 253 milioni di anni fa

- Nelle zone del Sud Africa compaiono gli *Scutosauri* e i *Moscops*, rettili di 2,5 e 3,5 metri.



8 DICEMBRE

- 248 milioni di anni fa

- Compagno: il *Lystrosaurus*,



9 DICEMBRE

- **240 milioni di anni fa**

10 - 22 DICEMBRE

- **da 225 milioni a 70 milioni di anni fa ...**

**Triassico (da trias, triade)
Giurassico (dal Giura
francese)
Cretaceo (composto di creta)**

somigliante ad un ippopotamo; il *Cynognathus*, simile al lupo. con cassa toracica corta, zampe e testa come di un grosso cane, labbra spesse e muscolose, denti aguzzi; canini, incisivi, molari, coda come di rettile; è coperto di peli. Questi animali sono diffusi nella zona temperata dell'Africa.



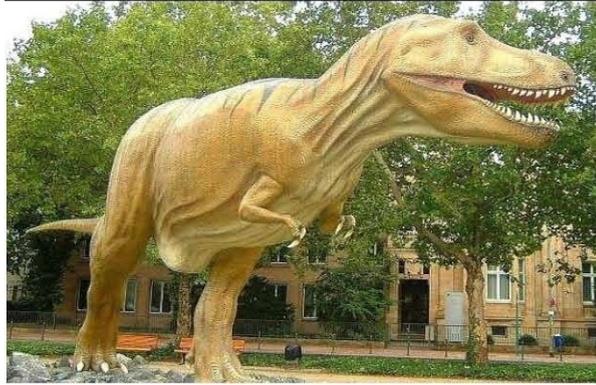
- Un surriscaldamento del clima provoca la decimazione dei *Terapsidi* (vedi pag. 27) che si ridurranno a occupare spazi secondari mentre **cominciano a dominare i dinosauri**.

Inizia l'era dei **Dinosauri** (dal greco *deinòs*, terribile e *sàuros* lucertola): gruppo di rettili di varie dimensioni, appartenenti alla sottoclasse degli arcosauri, che dominarono l'ecosistema terrestre per oltre 165 milioni di anni e apparvero tra la fine del Triassico medio e l'inizio del Triassico superiore. **Si estinsero completamente circa 65 milioni di anni fa, alla fine del periodo Cretaceo**, e ci sono noti solo attraverso resti fossili studiati e scavati dai paleontologi, e più recentemente anche da collezionisti. Sin da quando il primo dinosauro fu riconosciuto nel XIX secolo, i loro scheletri assemblati divennero una delle maggiori attrazioni dei musei di tutto il mondo. I dinosauri sono divenuti parte della cultura mondiale e sono rimasti costantemente popolari, specialmente tra a il pubblico più giovane.

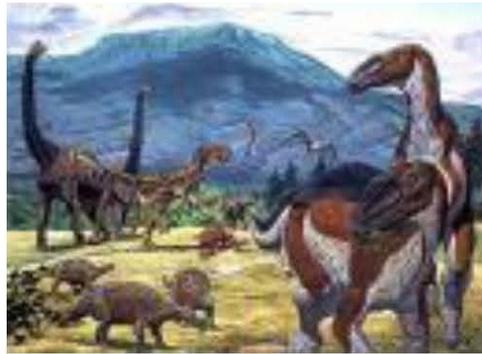
Sono stati protagonisti di libri bestseller, di film di grande successo come *Jurassic Park*. Ogni nuova scoperta viene riportata regolarmente sulle prime pagine di giornali e riviste.



Un piccolo di dinosauro esce dal guscio (ricostruzione)



Una riproduzione del *Tyrannosaurus rex*



- Comparvero circa 145 milioni di anni fa gli *Archeopteryx*, i progenitori degli uccelli, tra rettili e dinosauri. Furono rinvenuti nei sedimenti di una laguna del Giurassico presso Solnhofen, Germania. Mostravano caratteri rettiliani quali becco con denti, una lunga coda costituita da numerose vertebre; possedevano tre dita con artigli, mentre esibivano contemporaneamente il piumaggio tipico degli uccelli. Le dimensioni erano modeste, circa 40-50 centimetri di lunghezza, simili a quelle di un pollo; probabilmente erano insettivori.



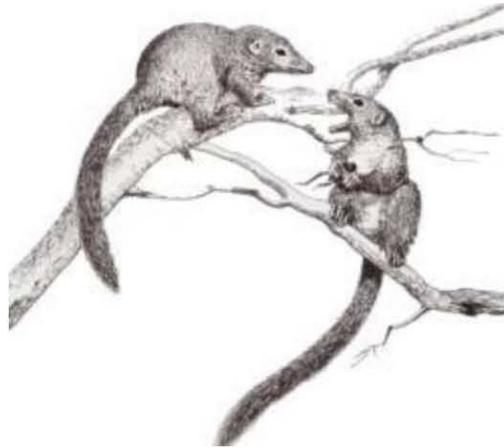
23 DICEMBRE

- 85 milioni di anni fa ...
- Compaiono i primi fiori. Mancano le farfalle e le api; sono presenti i coleotteri.

DAL 24 AL 25 DICEMBRE

- **Da 75 a 70 milioni di anni fa ...**
Cretaceo

- Fine dei dinosauri, probabilmente a causa della caduta di un grosso meteorite. Eredi dei dinosauri sembrano essere gli uccelli.
- Compare il *Purgatorius*, scoiattolo arboricolo, ritenuto il capostipite dei mammiferi da cui discende l'uomo.



Si tratta di un *plesiadapiforme* (dalla forma simile a un tappeto) i cui resti fossili comprendono solo alcuni denti e frammenti di mascelle rinvenuti in terreni del Paleocene inferiore nel Montana, in una zona chiamata Purgatory Hill (da qui il nome dell'animale). Questi scarsi resti sono però molto simili a quelli dei successivi plesiadapiformi, e la dentatura ricorda vagamente quella dei primati. Probabilmente *Purgatorius*, oltre che di insetti, si cibava anche di frutta. Un singolo dente di *Purgatorius* è stato rinvenuto in sedimenti che sembrerebbero risalire al Cretaceo superiore, ovvero all'epoca dei dinosauri, circa un milione di anni prima della grande estinzione. Tuttavia questo singolo dente potrebbe essere appartenuto a un animale paleocenico ed essere stato trascinato da un corso d'acqua in sedimenti anteriori di qualche milione di anni.

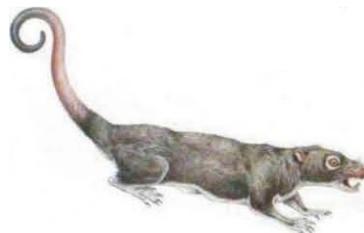
26 DICEMBRE

- **63 milioni di anni fa...**
Terziario

- Dopo 2 milioni di anni si sono rimarginate le ferite provocate dalla catastrofe che fece scomparire i dinosauri e molte altre specie.

La vegetazione è simile a quella attuale: alberi a larghe foglie, molti fiori, alberi simili a quelli dei nostri boschi.

- Si aprono nuovi spazi per i mammiferi rimasti rintanati durante il dominio dei dinosauri: *si evolvono enormemente divenendo i dominatori*.
- Compare il *Ptilodus*, specie di scoiattolo lungo circa 50 cm. È un mammifero che produce e cova uova e allatta i piccoli.



Attualmente sono presenti 4 modalità di riproduzione tra i mammiferi:

27 DICEMBRE

• 50 milioni di anni fa ...

1. quella dell'**Ornitorinco**: produce uova e allatta
2. quella dell'**Echidna**: produce uova nascoste in una sacca
3. quella del **Canguro**: partorisce embrioni che si annidano nel marsupio
4. quella degli **altri mammiferi**, dal topo all'uomo, placentati.

- In zone tropicali compaiono gli **Uintateridi**, specie di rinoceronti; il **Pakicetus**, una specie di bovino natante, antenato degli attuali cetacei; il **Basilosaurus**, un cetaceo dalla testa da predatore, armata di denti, e dal corpo lungo fino a 25 metri.



Uintateride



Pakicetus,



Basilosaurus

28 DICEMBRE

• 38 milioni di anni fa ...

- In Mongolia compare un grosso mammifero somigliante a un lupo, ma apparentato con gli ungulati; è l'**Andrewsarchus**, alto 2 metri, lungo fino a 5-6 metri, con una testa lunga un metro.



29 DICEMBRE

• 30 milioni di anni fa ...

- Nell'America del nord compare l'**Eusmilus**, o tigre dai denti a sciabola, lungo circa due metri. Non si tratta, comunque, di un felino, ma di una specie diversa scomparsa. Analoghi caratteri si sviluppano anche in animali di altre specie. Ciò significa che gli aspetti vincenti tendono a comparire anche in specie diverse.



- Di questo periodo è anche il *Baluchitheri*, comparso in Pakistan e Cina, lungo 8 metri e alto 5,5 metri alle spalle, da cui parte il collo da cavallo con una testa lunga: ha zampe da elefante, corpo da cavallo, occhi da rinoceronte; bruca come una giraffa, pesa 30 tonnellate, ha labbra prensili. Si tratta del più grosso mammifero mai esistito.



- Compaiono animali con caratteristiche estremamente differenti che porteranno alla comparsa di elefanti, cammelli, delfini, talpe, orsi, formichieri, maiali, foche, giraffe, ecc.
- In tutto il periodo evolutivo la massa cerebrale ha continuato ad ingrandirsi a seconda delle specie: quasi niente nei rettili, un po' negli uccelli, abbastanza nei mammiferi, molto nell'uomo. Si innesca così un nuovo tipo di selezione: quella fondata sull'intelligenza e la creatività.
- Compaiono gli *Antropithecchi*, scimmie antropomorfe.
- Inizia la biforcazione che ha portato allo scimpanzé al gorilla, all'orangutan e all'uomo: inizia il ramo degli *Australopithecchi*, scimmie dell'emisfero australe.
- Differenziazione tra *Homo habilis* e *Homo erectus*.

30 DICEMBRE

- 8 milioni di anni fa ...
- 7 milioni di anni fa ...

31 DICEMBRE, ore 19,30

- 2 milioni di anni fa ...

31 DICEMBRE, ore 23,50

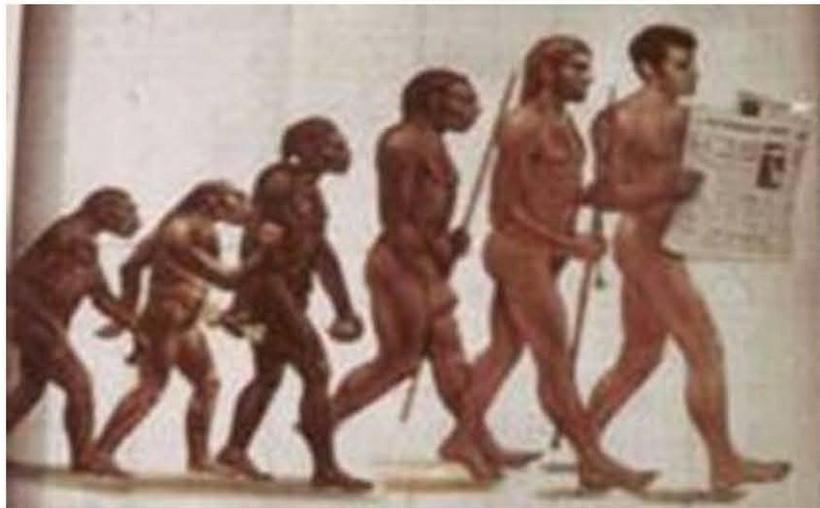
- 80 mila anni fa ...

31 DICEMBRE, ore 23,55

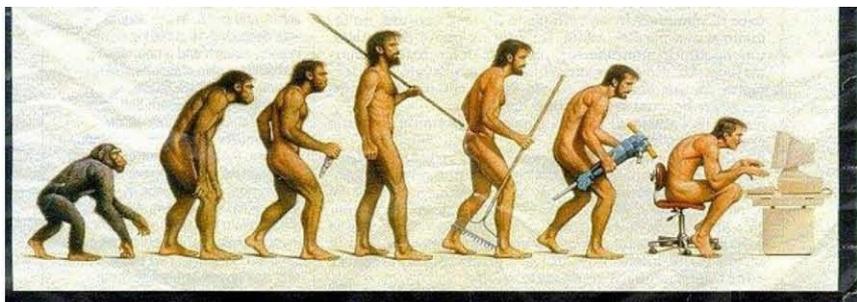
- 70-60 mila anni fa ...

- Predomina l'*Homo sapiens*

- Gli *Homo sapiens* dalla savana africana iniziano una straordinaria migrazione che li porterà in Europa (40-35 mila anni fa), Australia (40-30 mila anni fa), Giappone (30 mila anni fa), Siberia (40 mila anni fa), Americhe (25-15 mila anni fa). Inizialmente di pelle scura, questi uomini cambieranno colore della pelle, dei capelli, degli occhi, ma rimarranno della stessa specie. Il loro successo sarà tale da far scomparire tutte le altre specie di *Homo* contemporanee: *Homo neanderthalensis* (Germania, Spagna, Asia), *Homo soloensis* (Giava), *Homo floresiensis* (isola di Flores, in Indonesia).



Gruppo Progresso: partner nell'evoluzione



Revisione
Febbraio 2025