

IL SIGNIFICATO EVOLUTIVO DELLE ESTINZIONI DI MASSA¹

ANNA MARIA ROSSI

Università di Pisa

Secondo la teoria dell'evoluzione le specie si avvicendano continuamente, di tanto in tanto ne nasce una nuova che può diffondersi con successo. Ma come nasce una specie? Darwin inizialmente postulava che una nuova specie discendesse da una preesistente che si trasforma in modo lento e graduale, ma questo non sempre avviene. Eventi di vario tipo, per esempio fenomeni migratori, dispersione in nuovi habitat o comparsa di nuove opportunità ecologiche, possono creare le condizioni per la separazione di gruppi che derivano da una stessa popolazione iniziale². Se non avvengono accoppiamenti tra i membri dei due gruppi³ per la presenza di barriere geografiche, ecologiche o biologiche, la separazione causa un aumento della divergenza tra la popolazione neonata e quella originaria, e ciascuna può continuare a prosperare, se non si estingue per altri fatti. Per esempio, una nuova colonia, in principio di piccole dimensioni, va a insediarsi in un ambiente diverso dove può espandersi e differenziarsi dalla popolazione originaria adattandosi all'attuale nicchia⁴. Si possono così accumulare differenze genetiche con ritmi e modalità diverse fino a che i due gruppi diventano gradualmente incapaci di incrociarsi e di procreare. Saranno diventate due specie diverse. Va detto che può anche avvenire il fenomeno inverso, che gruppi originariamente separati possano fondersi e in questo caso si può avere un effetto omogeneizzante di rimescolamento genetico.

Il cambiamento di paradigma

Agli inizi degli anni '70, due paleontologi americani Stephen J. Gould e Niles Eldredge formularono la teoria degli equilibri punteggiati o intermittenti per spiegare il fatto che nei reperti fossili si osservassero lunghi periodi in cui le forme di una specie restavano sostanzialmente immutate (fase di equilibrio o stasi) e periodi relativamente brevi di intensa diversificazione (picchi intermittenti). La loro teoria suggeriva che il processo

1 Questo seminario è stato tenuto il 13/11/2012 presso l'Associazione La Limonaia Scienza Viva, Vicolo del Ruschi, 4, Pisa, ed è stato preceduto dal seminario *L'estinzione dei dinosauri* del Prof. Andrea Milani-Comparetti, dell'Università di Pisa.

2 Ci sono quattro principali modalità di speciazione: allopatrica, peripatrica, parapatrica e simpatrica.

3 L'isolamento riproduttivo ha come effetto l'assenza di rimescolamento genetico.

4 Una ricca variabilità genetica è una caratteristica vantaggiosa per una popolazione e rappresenta il potenziale indispensabile per il cambiamento evolutivo. Infatti, la presenza di molte varianti genetiche consente maggiore flessibilità, capacità di adattamento e di sopravvivenza anche in caso di cambiamenti ambientali.

dell'evoluzione non fosse sempre lento e graduale, ma che ci fossero degli intervalli episodici di cambiamento evolutivo relativamente rapido. [1, 2]

I due paleontologi riesaminarono anche altri aspetti della teoria di Darwin. In particolare, secondo loro, non era necessario che il processo dell'evoluzione proceda gradualmente verso un progressivo aumento di complessità. La concezione, detta gradualismo filetico, si era radicalizzata con i neodarwinisti, intorno agli anni '30, come pure l'idea che mutazione e selezione naturale fossero i principali se non esclusivi motori del meccanismo evolutivo.

I caposaldi della teoria di Gould e Eldredge

il ritmo dell'evoluzione non è uniforme ma intermittente

l'evoluzione non ha un'intrinseca tendenza verso una maggiore complessità, ma sperimenta una serie di soluzioni innovative che possono fallire o avere successo

non sempre sopravvive il più adatto, ma fattori contingenti o locali possono decretare il successo anche di varianti imperfette

ci sono molteplici modalità evolutive, non esclusive ma complementari al binomio mutazione-selezione

Micro e macroevoluzione

Mentre la variabilità genetica, che compare ad ogni generazione per effetto della mutazione, arricchisce la popolazione, la selezione naturale favorisce quegli individui che, grazie a una combinazione di caratteri ereditabili che li rende particolarmente ben adattati ad un dato ambiente, al clima, alle risorse nutritive, alla supremazia sul territorio, hanno una maggiore probabilità di avere successo riproduttivo e, quindi, di lasciare un maggior numero di figli, a cui trasmettere le proprie caratteristiche. Ma se fosse sempre e solo così, come potrebbero estinguersi specie perfettamente adattate?

Se la sopravvivenza di una specie dipendesse solo da quanto i suoi membri sono adattati, le specie più antiche dovrebbero essere quelle più selezionate e quindi a prova di estinzione. In realtà, l'adattamento ha un valore locale e contingente, cioè è relativo ad un certo habitat, e quindi trasformazioni dell'ambiente (per esempio, cambiamenti di temperatura, umidità, vegetazione e fauna) possono sovvertire l'ordine di preferenza del più adatto. La sopravvivenza dipende dalle caratteristiche della specie al momento del cambiamento, perché se essa non dispone di risorse per adottare nuove strategie di sopravvivenza idonee alle mutate condizioni può estinguersi. Nell'ambito della specie gli individui meno specializzati, meno adattati, hanno maggiori probabilità di mettersi in salvo perché quando cambiano le condizioni a contorno, è meglio essere più flessibili⁵. [3]

5 Anche la dimensione della popolazione ha importanti effetti sulla probabilità di successo evolutivo. In una piccola popolazione una variante anche se vantaggiosa potrebbe essere persa per puro effetto

Le modalità della microevoluzione possono essere relativamente lente e graduali, ma cambiamenti più radicali possono cancellare una specie indipendentemente dal suo adattamento, dalla nicchie da essa occupata, dalla sua distribuzione geografica e persino dalla sua abbondanza numerica. In questi casi, in cui si realizza la macroevoluzione, operano forze molto potenti su archi di tempo molto lunghi. Si tratta di fenomeni su larga scala che possono interessare l'intero ecosistema e a volte anche a livello planetario, causati per lo più da eventi accidentali in cui l'instabilità della Terra ha un ruolo di primaria importanza.

La vita sulla Terra

L'origine della vita sulla Terra si colloca a circa 3,5 miliardi di anni fa, dopo un tempo relativamente breve, circa 1 miliardo di anni, dalla formazione della crosta terrestre. Dopo circa 1,5-2 miliardi di anni, comparvero le cellule eucariotiche più complesse e dotate di nucleo, che derivarono dalla cooperazione simbiotica di alcuni procarioti.

Dopo la comparsa dei primi organismi pluricellulari, che si fa risalire a circa 1,2 miliardi di anni fa, una delle tappe più notevoli dell'evoluzione della vita ebbe luogo nel Cambriano, circa 550 milioni di anni fa, quando si ebbe un'esplosione di forme di vita pluricellulari.

Relativamente in fretta dai pesci primitivi si sono evoluti i vertebrati tra i quali anche organismi capaci di lasciare l'ambiente acquatico. Circa 420 milioni di anni fa, animali e piante cominciano a popolare le terre emerse.

La conformazione della crosta terrestre e dell'atmosfera è così precaria che la sua storia è scandita dal susseguirsi di cataclismi. Infatti, la Terra è stata teatro di imponenti sconvolgimenti legati a fenomeni di varia natura:

- geologici, come deriva dei continenti e movimenti orogenetici, terremoti ed eruzioni vulcaniche, cambiamenti delle correnti oceaniche,
- climatici, come glaciazioni e surriscaldamenti globali,
- astronomici, come impatti di asteroidi, passaggi di comete, oscillazioni delle orbite, etc.

Circostanze imprevedibili e fortuite, come quelle che si realizzano in congiunzione con eventi di questa portata, possono essere determinanti per il destino della biosfera, e non sempre saranno favoriti i più dotati ma piuttosto i più fortunati.

Le cinque grandi estinzioni di massa

I fossili raccontano una storia della vita sulla Terra fatta del susseguirsi di tentativi più o meno ben riusciti, di contrazioni e espansioni di popolazioni, ma anche di terribili estinzioni di massa. Non è detto che le forme che si sono estinte fossero meno valide di quelle superstiti.

del caso, per esempio se il portatore non trova un partner e non si riproduce. Ma questo evento è più improbabile se la popolazione è di grandi dimensioni.

1. Ordoviciano-Siluriano (circa 450 milioni di anni fa). In pochi milioni di anni si estinse l'85% delle specie allora esistenti
2. Tardo Devoniano (circa 377 milioni di anni fa). In circa tre milioni di anni interessò una percentuale stimata di circa l'82% delle specie viventi.
3. Permiano-Triassico (circa 251 milioni di anni fa). La più catastrofica di tutti i tempi, circa il 96% degli organismi marini e il 70% di quelli terrestri si estinse.
4. Triassico-Giurassico (circa 203 milioni di anni fa). Durante un periodo di 150.000 anni di riscaldamento globale si estinse circa il 76% delle specie viventi.
5. Cretaceo-Terziario (circa 66 milioni di anni fa). In questa estinzione scomparvero circa il 76% di tutte le specie viventi. Sulle terre emerse la più famosa scomparsa è quella dei grossi rettili, principalmente i dinosauri.

I sopravvissuti sono apparentemente scelti a caso tra i rami evolutivi preesistenti. Gli organismi che sfuggono alla catastrofe sono meno incalzati dalla competizione e possono sfruttare le nicchie ecologiche rimaste libere per espandersi e anche per differenziarsi. Alle fasi di spopolamento del pianeta spesso hanno fatto seguito espansioni demografiche ed evolutive delle specie sopravvissute (radiazione adattativa). Per esempio, quando i dinosauri, ben adattati al loro ambiente, non sono sopravvissuti al cataclisma che ha causato un raffreddamento globale, altre specie che erano in grado di andare in letargo hanno avuto maggiori probabilità di sopravvivere. Ma questo non vuol dire che il letargo di per sé sia un adattamento alla nuova situazione, ma eventualmente a quella precedente.

Se l'estinzione di una specie è un fenomeno ordinario, la scomparsa simultanea di una gran parte di generi e specie viventi che caratterizza le estinzioni di massa è straordinaria e viene testimoniata da marcate discontinuità nei reperti stratigrafici su un'ampia scala spaziale fino al livello mondiale corrispondenti a periodi geologicamente brevi di durata variabile (qualche centinaia, migliaia o milione di anni).

L'antenato dei vertebrati

Gli studi paleontologici possono stimare la diffusione e la variazione delle specie presenti, sebbene quasi sempre solo di quelle che lasciano testimonianze fossili. Sfortunatamente queste rappresentano ben poca cosa rispetto alla ricchezza di organismi viventi che vivono in certo luogo in un dato tempo. In genere, i resti degli organismi viventi vanno rapidamente incontro ad un totale disfacimento e la fossilizzazione è un evento raro e fortuito. Prevalentemente si ritrovano strutture, come tronchi o gusci, eso- e endoscheletri, ecc. che in particolari condizioni si mineralizzano, cioè la materia organica viene sostituita da materia inorganica, e vanno a far parte di rocce sedimentarie.

Eccezionalmente si trovano un giacimento come quello di Burgess nelle Montagne Rocciose (Canada), scoperto i primi del Novecento, che è il più antico e ricco deposito di fossili di organismi pluricellulari di cui sono state preservate anche le impronte delle parti molli delle specie che vi vivevano. Questi resti rendono conto di una fauna molto

rigogliosa, che 500 milioni di anni fa, popolava dei fondali marini bassi, ricchi di ossigeno e molto luminosi. [4]

Di questa grande varietà di specie allora esistenti, l'85% scomparve con la prima grande estinzione di massa (Ordoviciano-Siluriano) ma uno più antichi dei Cordati che si conoscano, *Pikaia gracilens*, venne risparmiato. La sopravvivenza di *Pikaia* rappresentò per noi una grande occasione, visto che questo piccolo animale viene considerato da molti come l'antenato comune dei Vertebrati e quindi della linea evolutiva a cui apparteniamo anche noi.

La scomparsa dei grandi Rettili e la radiazione adattativa dei Mammiferi

Un'altra grande occasione ci fu circa 65 milioni di anni fa, alla fine del Cretaceo, quando i Rettili dominavano sulla Terra, da quasi 140 milioni di anni. Da loro discendono tutti i Mammiferi, in particolare, i Terapsidi, che anticiparono alcune loro peculiarità, come l'omeotermia, grazie ad un mantello di pelo, la maturazione dell'uovo dentro il corpo o forse addirittura la capacità di partorire i piccoli vivi (senza più bisogno dell'uovo), l'allattamento, ecc.

Gli Uccelli sono invece diretti discendenti della linea dei dinosauri. Si è scoperto che alcuni dinosauri carnivori cacciavano in gruppo, mentre altri erbivori nidificavano e pascolavano in branchi tenendo i piccoli al centro per proteggerli dai predatori, altri ancora adottavano sofisticate cure parentali paragonabili a quelle degli Uccelli. C'erano anche dinosauri capaci di modulare una gamma di suoni per avvertire del pericolo, per tenersi in contatto fra piccoli e genitori oppure per conquistarsi una compagna.

Quando i Rettili erano all'apice della loro fortuna, i Mammiferi erano per lo più limitati a piccole forme di animali notturni del tutto marginali. Alcuni di queste sfuggì alla catastrofe, probabilmente dovuta all'impatto di un asteroide, che causò una grande estinzione di massa. Fu allora che scomparvero i dinosauri e si crearono le condizioni per l'espansione di Uccelli e Mammiferi che prosperarono andando incontro ad un'evoluzione rapida (sempre su una scala di tempi geologici) e poterono poi irradiarsi su tutto il pianeta, occupando tutti gli habitat lasciati liberi dalle specie spazzate via dall'estinzione. Il paesaggio si andò trasformando per l'imponente affermazione delle Angiosperme (piante con fiori apparenti) con alberi di grandi dimensioni, ma anche arbusti e piante erbacee. In particolare vastissimi territori furono coperti da estese praterie che favorirono la diffusione dei Mammiferi erbivori e degli Uccelli granivori. Secondo alcuni autori la capacità di popolare vaste regioni dal clima freddo furono i fattori vincenti per i Mammiferi⁶.

Sembra che un piccolo gruppo di mammiferi, i multitubercolati, si fosse diffuso ampiamente durante gli ultimi 20 milioni di anni dell'era dei grandi rettili. Alla base

6 Secondo alcuni studiosi la grande esplosione dei Mammiferi sarebbe avvenuta già prima della fine del Cretaceo e tutte le famiglie ancora oggi esistenti sarebbero comparse circa 85 milioni di anni fa. Una seconda esplosione avrebbe avuto luogo circa 50 milioni di anni fa, circa 10-15 milioni di anni dopo la capitolazione dei dinosauri, quindi i due fenomeni sarebbe indipendenti.

del loro successo sarebbero stati i denti particolari che permisero loro di cibarsi delle piante più comuni. Nonostante fossero il gruppo più diversificato e promettente, quello più longevo, quello che aveva superato la crisi della fine del Cretaceo, i multitubercolati capitarono circa 34 milioni di anni fa, mentre erano comparse forme primordiali di Primati (proscimmie), caratterizzati dal pollice opponibile. Da quei Primati discendiamo noi e tutte le scimmie attualmente viventi compresi nostri parenti più stretti, le scimmie antropomorfe.

I più dotati o i più fortunati?

Possiamo concludere che catastrofi e grandi sconvolgimenti planetari hanno aperto la strada in modo del tutto imprevedibile alla comparsa dell'umanità sulla Terra. Se Pikaia non fosse sopravvissuta alla quasi totale estinzione di ogni forma di vita alla fine del Permiano, se la sua discendenza non avesse dato vita ai dinosauri, e se questi non si fossero estinti alla fine del Cretaceo, lasciando spazio alla diversificazione dei Mammiferi già esistenti, se non fossero comparsi i Primati...se, se, se...noi non saremmo qui! [5]

Riavvolgiamo ancora una volta il film della vita e facciamolo ripartire dal tempo di Burgess...Se la Pikaia non sopravvive noi saremo cancellati dalla storia futura: tutti noi, dallo squalo al pettirosso all'orangutan. E io non penso che un qualsiasi allibratore, data la situazione di Burgess quale ci è nota oggi, avrebbe dato molte probabilità di sopravvivenza alla Pikaia. [4, p.334]

BIBLIOGRAFIA

- [1] Eldredge, N., Gould, S. J., Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In: *Models in Paleobiology*, San Francisco, Freeman, Cooper & Co., pp. 82-115, 1972 consultabile al sito <http://www.blackwellpublishing.com/ridley/classictexts/eldredge.pdf>
- [2] Gould, S. J., *La struttura della teoria dell'evoluzione*, Codice, Torino, 2003.
- [3] Pievani, T., *La teoria dell'evoluzione. Attualità di una rivoluzione scientifica.*, Il Mulino, Bologna, 2006.
- [4] Gould, S. J., *La vita meravigliosa*, Feltrinelli, Milano, 1990-2004.
- [5] Pievani, T., *La vita inaspettata. Il fascino di un'evoluzione che non ci aveva previsto.* Raffaello Cortina, Milano, 2011