

Evoluzione creatrice: quali sono i tuoi meccanismi?

Antonio Giuditta

Ordinario di Fisiologia, Università Federico II, Napoli

Iniziando a scrivere, mi accorgo di aver indicato come titolo “Evoluzione creatrice”, lo stesso utilizzato tempo fa dal filosofo Henri Bergson per un suo ben noto libro. E’ una coincidenza non voluta di cui prendo atto solo ora, ma che potrebbe riflettere una qualche associazione subcosciente. In ogni caso, non mi propongo di illustrare il pensiero di Bergson né di rivendicare il ruolo dello slancio vitale da lui ipotizzato. Cercherò invece di riassumere e discutere, sia pure per sommi capi, le ipotesi avanzate sui meccanismi dell’evoluzione del vivente. Lo farò in maniera adatta a chi voglia restare nell’ambito scientifico ma non si senta di tralasciare visioni che ne oltrepassano i confini.

E’ bene iniziare ricordando che l’evoluzione del vivente è solo un segmento, per quanto grandioso e terribile, del dramma cosmico che ci coinvolge tutti ma su cui solo pochi ritengono di dover meditare. Essa fa parte della danza cosmica di cui scrive il professor Del Re, e certamente non si esaurisce nella lotta per la vita di cui parla Darwin, ma al contempo non può essere vista come danza nell’accezione elegante e gioiosa che alla danza suol darsi. L’evoluzione del vivente è piuttosto la porzione più intensa dell’intero dramma cosmico. Ne rappresenta la parte più vicina al nostro sentire e gli aspetti più densi di significato, soprattutto da quando l’uomo è divenuto una specie di aiuto regista ancora incapace di abbandonare la sua veste irresponsabile di apprendista stregone.

Sull’esistenza del processo evolutivo non credo valga la pena di discutere, anche se diverse voci continuano a metterlo in dubbio. Per la biologia si tratta di un fatto scontato, dimostrato tra l’altro dai reperti fossili di organismi vissuti nei precedenti tre miliardi di anni, oltre che dall’anatomia comparata delle specie viventi ed estinte. E’ bene procedere oltre e cercare piuttosto di andare incontro al nostro profondo bisogno di identificare cause, modalità e significato di qualunque processo di cui percepiamo l’esistenza. Quello che ora ci riguarda dovrebbe attrarre più di altri la nostra attenzione visto che, in qualunque maniera lo si interpreti, è da esso che ognuno di noi ha ricevuto le sue caratteristiche biologiche e mentali. La storia delle idee che ne sono derivate non è né breve né lineare, va indietro migliaia di anni, ed è densa di scontri, rivoluzioni, ripensamenti e integrazioni. Non è certo il caso di riproporla in dettaglio. Nell’ambito scientifico il problema dell’evoluzione biologica è entrato definitivamente almeno due secoli fa, prima con Lamarck, poi, in maniera dirompente, con Darwin e Wallace, e successivamente con stuoli crescenti di biologi teorici e sperimentalisti.

Al momento attuale gran parte della biologia è dominata dal neoDarwinismo, cioè dalle idee della cosiddetta Sintesi che hanno estremizzato il pensiero di Darwin integrandolo con i concetti della genetica e della biologia molecolare, e più di recente con quelli dell’embriologia, dell’etologia e dell’ecologia. Il suo nocciolo scarno può essere ridotto a due processi che si verificano in sequenza: le mutazioni e la selezione naturale. Per mutazioni si intendono le variazioni casuali che si producono nel corredo genetico degli individui (genoma) e ne determinano indirettamente i caratteri (fenoma) consentendone la sopravvivenza e la riproduzione in un ambiente soggetto anch’esso a variazioni. Ne consegue che gli individui sopravvivono e si riproducono solo se le loro caratteristiche fenomiche li rendono adatti all’ambiente. Se l’ambiente si modifica in modo significativo, soprattutto per lunghi periodi, le caratteristiche preesistenti possono diventare inadeguate, mentre potrebbero divenirlo le variazioni fenomiche indotte da mutazioni. Questo secondo processo (selezione naturale) consente infatti che sopravvivano e si riproducano gli

organismi le cui caratteristiche fenomiche siano più adatte all'ambiente. Il gioco diviene più comprensibile se si chiarisce che il neoDarwinismo concepisce genoma e fenoma come due sistemi distinti dell'organismo che comunicano tra loro solo per informazioni che vanno dal genoma al fenoma ma non viceversa. Su questa base si accetta che singole specie si siano lentamente evolute le une dalle altre sia direttamente (anagenesi) sia per gemmazione (cladogenesi).

Sin dal loro apparire le ipotesi Darwiniana e neoDarwiniana sono state oggetto di sostanziali critiche, inizialmente di stampo creazionista, ancor oggi vivaci, ma alle quali non si accennerà per evitare di riproporre la messa in dubbio del concetto stesso di evoluzione. Ricordo solo che Darwinismo e neoDarwinismo sono stati spesso erroneamente equiparati ad evoluzionismo, per cui se ne è discusso come se tali teorie affermassero solo l'esistenza dell'evoluzione biologica, e non proponessero invece un'interpretazione dei suoi meccanismi. Questo equivoco è in parte attribuibile agli stessi neoDarwinisti che non hanno mai voluto ammettere la possibilità di altre spiegazioni scientifiche dell'evoluzione biologica. Critiche sono tuttavia venute anche dalla stessa comunità scientifica. Vale la pena di ricordarne almeno quelle che hanno finito per essere integrate nella nuova Sintesi. Mi riferisco al Mendelismo, agli equilibri punteggiati e al neutralismo.

Agli inizi del secolo scorso la riscoperta delle leggi di Mendel veniva a contraddire l'ingenuo meccanismo che al tempo di Darwin aveva fornito una spiegazione degli effetti della riproduzione sessuata: se mescolate, due versioni diverse di uno stesso carattere avrebbero generato una versione intermedia. I dati di Mendel, e poi tutta la successiva genetica, mostravano invece che versioni diverse di uno stesso carattere non sono mescolabili perché dovute a determinanti particellari (geni). Questi ultimi, pur potendo inizialmente portare a versioni intermedie (i fiori rossi e bianchi di Mendel generano anche fiori rosa), non perdono la loro identità che infatti si manifesta nelle successive generazioni. Questa impasse e altre sostanziose considerazioni portarono il Darwinismo sotto l'ampio ombrello della genetica delle popolazioni, e quindi al neoDarwinismo. Diveniva così rilevante il corredo genico di tutta una popolazione di una certa specie che, vivendo in un habitat sottoposto a particolari variazioni, poteva andare incontro a mutazioni diverse da quelle di popolazioni distribuite in altri habitat. Il corredo genetico di tali popolazioni poteva quindi modificarsi progressivamente fino alla costituzione di gruppi di individui separati gli uni dagli altri da barriere non solo ecologiche ma anche riproduttive. Si generavano così nuove specie.

La crisi più recente degli equilibri punteggiati metteva invece in discussione il concetto stesso del lento progredire delle mutazioni che il neoDarwinismo considerava necessario per la genesi di nuove specie. Dati paleontologici mostravano infatti che alcune specie animali, tra cui quelle dei pipistrelli e delle balene, avevano fatto il loro ingresso nella storia evolutiva in tempi filogeneticamente molto brevi, di poche migliaia di anni, ma erano poi restate sostanzialmente immutate per decine di milioni di anni. Si veniva così ad inficiare l'idea del lento e continuo progredire dell'evoluzione, sia per il rapido formarsi di quelle specie, sia per il loro successivo permanere senza sostanziali modifiche per periodi molto lunghi. Non bisogna infatti dimenticare che la casualità delle mutazioni adattative considerate efficaci dal neoDarwinismo non rende facilmente conto di velocità di variazione così drasticamente diverse. Tra l'altro, la rapida genesi di specie e addirittura di taxa di ordine superiore non è fenomeno raro, ma riguarda numerose occasioni, tra cui quella imponente del periodo Cambriano (oltre mezzo miliardo di anni fa) quando una cinquantina di phyla fecero la loro comparsa in un arco temporale estremamente breve. La genesi degli schemi corporei profondamente diversi che caratterizzano i taxa di ordine superiore viene generalmente attribuita ad eventi macroevolutivi difficilmente riconducibili al meccanismo neoDarwiniano di lenta e progressiva variazione genomica. Quest'ultimo si ritiene sia più compatibile con i fenomeni di speciazione e in genere di microevoluzione. L'insorgere di salti di qualità in grado di spiegare gli eventi di macroevoluzione è comunemente accettato. Uno dei più cospicui riguarda la genesi dei protisti (e di conseguenza dei successivi metazoi) che viene attribuita all'unione di due genomi di procarioti, uno dei quali in grado di codificare strutture di produzione ossidativa dell'energia. Tra gli altri sono da ricordare le variazioni di geni responsabili dello schema

corporeo di una specie o di un taxon superiore. Si tratta dei cosiddetti geni master la cui mutazione induce mostruosità di sviluppo.

La terza crisi, anch'essa integrata nel neoDarwinismo, riguarda l'osservazione che un'ampia classe di mutazioni modificano questo o quell'aminoacido in questa o quella proteina ma non ne cambiano le funzioni, risultando quindi neutrali dal punto di vista dei loro effetti sulle capacità di sopravvivenza e riproduzione degli organismi mutati. Pertanto, il numero delle mutazioni adattative capaci di produrre le complesse variazioni fenomiche necessarie alla speciazione veniva a ridursi sostanzialmente. C'è inoltre da notare che la maggioranza delle mutazioni note portano a variazioni negative piuttosto che positive, risultando molto spesso letali.

Ulteriori difficoltà per il neoDarwinismo derivano dall'estrema complessità degli organismi. Essa si manifesta a partire dagli esseri unicellulari più primitivi (archeobatteri ed eubatteri), ed aumenta progressivamente con i protisti, i metazoi, le piante superiori e l'uomo. Credo sia indubitabile che il grado di complessità degli organismi sia andato aumentando nel corso dell'evoluzione, anche all'interno di ciascuno dei phyla esistenti, nonostante gli esempi di riduzione della complessità offerti, ad esempio, dalle talpe che diventano cieche, o dai virus ridotti a semplice genoma. Per dirla con una battuta, non si può dubitare che l'uomo sia venuto dopo i batteri. Bene, variazioni a caso e selezione naturale non riescono a fornire convincenti spiegazioni dell'insorgere della complessità e tanto meno del suo incremento. La scimmia che batte a macchina non riuscirà mai a produrre la Divina Commedia. Nè si può dimenticare che il passaggio da una specie all'altra richiede innumerevoli interventi coordinati che nessun accumulo latente di mutazioni potrebbe mai produrre. Le mutazioni sono infatti stabilizzate dalla selezione naturale, e quest'ultima opera direttamente sul fenoma e solo indirettamente sul genoma. Pertanto, essa non è in grado di stabilizzare alcuna mutazione che non divenga palese come carattere fenomico. Nel caso dell'accumulo latente di mutazioni genomiche, la scimmia potrebbe continuare a battere a macchina all'infinito, ma la variazione ambientale finirebbe per ucciderla molto prima.

Ci sono inoltre altre considerazioni. Una di esse riguarda l'esistenza di aspetti non eludibili dell'evoluzione cosmica che tuttavia sono restati fuori dall'ambito delle ipotesi sull'evoluzione biologica. L'evoluzione cosmica inizia con la nascita di particelle elementari al momento del big bang, successivamente procede con il loro aggregarsi in particelle più complesse e poi in atomi e molecole, e termina infine nell'incerto periodo di formazione dei primi procarioti. Si tratta di un periodo prebiotico molte volte più lungo di quello della filogenesi biologica durante il quale si registra un evidente marcato aumento di complessità nelle entità fisiche e chimiche via via generate. Manca tuttavia qualsiasi traccia di un primitivo sistema codificante analogo al genoma, nonché dei corrispondenti fenomeni di riproduzione. E' infatti probabile che, al disopra di una certa massa, i primi aggregati sopramolecolari si siano semplicemente scissi in due o più parti. Come può quindi spiegarsi l'evoluzione prebiotica se non come dovuta alla selezione di alcuni tipi di particelle (ad esempio, materia invece che antimateria) e al loro ordinato aggregarsi secondo le rispettive costituzioni (ad esempio, negativo con positivo), e quindi non a caso. In realtà, bisognerebbe ricordarsi del pensiero di Rilke "Perché non pensare che colui che verrà è il futuro, il frutto compiuto di un albero di cui noi siamo le foglie?", e osare contaminarlo sostituendo le particelle elementari a noi stessi. Così, se le facessimo affermare "Perché non pensare che colui che verrà è la vita, il frutto compiuto di un albero di cui noi siamo i componenti?", non ci sarebbe da meravigliarsi se ci si chiedesse come mai le particelle primitive avrebbero dovuto abbandonare le loro intrinseche capacità di riunirsi in aggregati complessi e ordinati per lasciare il campo a mutazioni casuali che le avrebbero invece disaggregate con molto maggior frequenza.

La seconda considerazione riguarda invece un aspetto apparentemente molto diverso da quello appena accennato, ma che può pensarsi presente, sia pure in via ipotetica e *in nuce*, anche nelle particelle primitive, e quindi lungo tutto l'arco dell'evoluzione cosmica. Ci riferiamo agli eventi e alle qualità della mente, spesso accettata solo come coscienza e autocoscienza. Non si può tuttavia non ricordare che, soprattutto dopo Freud e Jung, l'esistenza di una mente non cosciente è indubitabile, così come il riconoscimento dell'obiettiva difficoltà a tracciare la soglia di complessità

fisica al di sotto della quale essa potrebbe (dovrebbe?) non esistere. Se questo ipotetico punto di vista viene preso in considerazione, ci si può cominciare a chiedere quale ruolo abbiano avuto i processi mentali nel processo evolutivo. Se ci si limita al loro controllo del comportamento, è ovvio che tale ruolo c'è stato ed ha raggiunto l'apice nelle interazioni degli animali e dell'uomo con l'ambiente. Ma il discorso sulla mente potrebbe essere portato anche su altri ambiti non proficuamente discutibili in questa occasione.

Lasciamo quindi da parte queste sabbie potenzialmente mobili e infide, e torniamo agli aspetti biologici ripartendo da dove abbiamo iniziato. Si è già detto che la prima ipotesi sull'evoluzione del vivente è stata quella di Lamarck, basata sull'uso e il disuso degli organi e sull'ereditarietà dei caratteri così acquisiti. Pur apparendo come la più intuitiva e logica spiegazione delle variazioni genomiche, bene accettata allo stesso Darwin, essa ha certamente fatto una gran brutta fine nello scontro successivo con gli assunti del neoDarwinismo. La netta separazione tra linea somatica e linea germinale inizialmente imposta da Weismann e successivamente pienamente confermata dal dogma di un esclusivo flusso unidirezionale dell'informazione dal DNA alle proteine, ha radicalmente escluso qualsiasi influenza del fenoma sul genoma. Così gli organismi viventi, soprattutto gli animali e l'uomo, sono stati inesorabilmente trasferiti dalla condizione di esseri attivi e parzialmente autonomi a quella di una totale passività nei riguardi dei processi che ne hanno determinato la comparsa e il divenire. Si pensi che per qualche evoluzionista gli organismi somigliano molto a palloni gonfiati al solo scopo di consentire la riproduzione e l'evoluzione dei geni!

Ma le cose non stanno così. Gli esperimenti di Weismann sono perlomeno discutibili, ed è noto che la distinzione tra linea somatica e germinale non esiste nelle piante. D'altra parte, la nozione di organismo assume sempre più chiaramente i contorni di unità inscindibile di genoma e fenoma. Se ne era avuto sentore sin dall'epoca della scoperta della doppia elica, ma le ovvie considerazioni che allora circolavano in sordina si sono ora arricchite da sostanziali conferme sperimentali. Ricordiamo infatti che l'informazione genetica scritta nel DNA può assumere valore fenomico solo nella misura in cui essa si esprime nella struttura delle proteine che in ultima analisi sono responsabili dell'attività dell'intero fenoma. Questo processo, noto come espressione genica, ha luogo grazie all'intervento di una complessa coorte di fattori proteici e di RNA che ne modulano l'andamento in cellule diverse in maniera diversa, a tempi diversi, e sotto l'influenza di stimoli diversi. L'epigenetica, cioè lo studio delle reti di controllo informazionale che operano nell'organismo armonizzando la lettura delle sequenze del DNA, ha assunto negli ultimi tempi un'importanza sempre maggiore. Il genoma stesso non è più visto come insieme di geni indipendenti l'uno dall'altro, ma come la rete complessa delle loro reciproche relazioni. Lo stesso gene, inizialmente concepito come sequenza lineare di basi codificanti una sequenza lineare di amminoacidi, è ora riconosciuto composto di un certo numero di sequenze codificanti (esoni) separate da regioni che non lo sono (introni). L'operazione di assemblaggio lineare degli esoni necessario alla loro traduzione in proteine consente quindi la creazione di insiemi diversi di esoni che moltiplicano la quantità di informazione scritta in un segmento di DNA, e sottolineano ulteriormente il ruolo dell'epigenetica nell'esecuzione di tali operazioni e nella loro modulazione. In breve, l'apporto del fenoma nella lettura dei sacri testi del DNA è divenuto sempre più evidente.

I processi epigenetici che consentono l'ordinato sviluppo ontogenetico dell'organismo hanno assunto un particolare significato anche per la spiegazione dei meccanismi evolutivi, in quanto nella fase ontogenetica si formano e si stabilizzano le strutture dell'organismo adulto. Non è infatti difficile accettare che le variazioni responsabili della microevoluzione e della macroevoluzione, qualunque sia la loro natura, si manifestino soprattutto durante le fasi ontogenetiche caratterizzate da una maggiore plasticità della fase adulta. A questo proposito, è di particolare interesse ricordare a) che in un numero non piccolo di esperimenti si è recentemente dimostrato che variazioni ambientali sono in grado di indurre modificazioni ereditabili del fenoma (1-4), scuotendo quindi dall'oblio l'antica formulazione di Lamarck, e b) che tali modifiche sono basate su variazioni dell'espressione genica, cioè della maniera in cui il fenoma legge

l'informazione genetica (2-4), piuttosto che su variazioni della sequenza in basi del DNA, cioè del genoma. Si tratta di esperimenti che in un certo senso coronano il filone seminascosto di dati che in diversa maniera avevano mantenuta accesa la fiammella del Lamarckismo per tutto il secolo scorso.

Oggi si parla sempre più spesso di autopoiesi per indicare la partecipazione attiva e autonoma dell'organismo agli eventi evolutivi che vedono nelle variazioni ambientali il loro *primum movens*. Si assiste così ad una specie di rivincita delle capacità di risposta dell'organismo nei riguardi di variazioni casuali e selezione naturale che lo avevano descritto come del tutto incapace a far fronte agli eventi evolutivi. Ritengo tuttavia che sia ancora presto per sostenere che il neoDarwinismo sia destinato ad essere soppiantato da questa nuova/antica maniera di vedere. Bisognerà almeno attendere che sia chiarita fino in fondo la natura dei meccanismi epigenetici delle variazioni ereditabili. E poi resteranno ancora molti altri problemi da chiarire, in primo luogo l'origine del codice genetico e la formazione iniziale delle prime sequenze di acidi nucleici. Lasciatemi comunque aggiungere che dal punto di vista personale di organismo in via di evoluzione mi sento di tirare un bel respiro di sollievo di fronte alla mia ritrovata maggiore libertà evolutiva, soprattutto perché essa implica una responsabilità altrettanto maggiore nei riguardi del destino nostro e dei nostri figli.

Bibliografia

1. Landman OE. The inheritance of acquired characteristics. *Annual Review of Genetics* 25: 1-20, 1991.
2. Wolffe AP and Matzke MA. Epigenetics: regulation through repression. *Science* 286: 481-486, 1999.
3. Tsankova N, Rental W, Kumar A and Nestler EJ. Epigenetic regulation in psychiatric disorders. *Nature Reviews Neuroscience* 8: 355-367, 2007.
4. Jirtle RL and Skinner MK. Environmental epigenomics and disease susceptibility. *Nature Reviews Genetics* 8: 253-262, 2007.