

L'EVOLUZIONE BIOLOGICA

Uno sguardo d'insieme

PRESENTAZIONE

Comunque lo si consideri, un fenomeno come l'evoluzione deve interessare tutti gli aspetti della vita, e vedremo come il termine "vita" vada oltre i confini della stretta biologia; esso suscita perciò innumerevoli problemi concettuali. Vale la pena di chiarirsi le idee con obiettività ed ampiezza di vedute, avendo cura di approfondire ogni dettaglio e di confrontarsi con i fatti. È certamente un grande sforzo per il pensiero umano, troppo abituato a ruotare intorno a se stesso. La vita, in tutti i suoi aspetti, è un fenomeno di estrema complessità, e la nostra esperienza, o la nostra riflessione, ce ne mostrano solo aspetti particolari. Una veduta globale di essa dovrebbe essere uno dei fini più alti della nostra attività intellettuale.

Si potrebbe dire: "... l'evoluzione non è una teoria da dimostrare; è il modo di esprimersi della materia vivente" (Prof. Giuseppe Minelli, conferenza).

Probabilmente, l'autore intendeva dire che la materia vivente, intesa come qualcosa che gode di alcune proprietà (vedi sotto) ed è capace di riprodursi, può perpetuarsi solo a patto di trasformarsi, se non altro per seguire le continue trasformazioni dell'ambiente in cui si trova.

La vita è il sistema più organizzato con cui l'uomo si trovi a confrontarsi. Sistema? Oggetto? Fenomeno? Certamente possiamo parlare di "sistema complesso", non semplicemente "complicato"; infatti, è complicato qualunque sistema formato di molte parti, ma è "complesso" un sistema in cui le varie parti sono interconnesse in maniera tale che ognuna influenza le proprietà dell'altra nonché le proprietà dell'insieme. In altre parole, un sistema complesso possiede proprietà che non sono deducibili solo dalle proprietà delle singole parti, ma piuttosto dalla quantità e dal tipo delle relazioni fra le parti stesse. Dunque, il sistema possiede proprietà "emergenti", nuove, legate in larga misura al complesso delle correlazioni esistenti al suo interno. Un essere vivente è sempre "complesso"; se muore, diviene solo "complicato".

Il "sistema vita" si può riferire in prima istanza al mondo vivente considerato dai naturalisti, fatto di animali e piante, ma alcune sue caratteristiche peculiari si possono rintracciare in altri sistemi, materiali e non materiali: sistemi sociali, psicologici, culturali, mentali, ecc. Vedremo.

Iniziamo intanto ad occuparci del sistema vivente biologico e ciò va fatto, almeno inizialmente, con un approccio scientifico, considerando i fatti, le ipotesi d'interpretazione, le verifiche. Un fisiologo del recente passato (G. C. Pupilli, 1893–1973) diceva che la scienza è fatta di ... "esperimenti genialmente concepiti, abilmente eseguiti e saggiamente interpretati". Più semplicemente: "la scienza è un processo di adeguamento delle idee ai fatti" (E. Mach, 1838–1916) ovvero: "la scienza è l'arte di distinguere fra ciò che crediamo e ciò che sappiamo" (Confucio).

È bene precisare questo poiché, in passato, sono state di freno alla conoscenza le innumerevoli incursioni nello studio della natura da parte di punti di vista "a priori", accettati al di fuori dell'esame dei fatti; basti citare la visione del filosofo francese H. Bergson (1859–1941; *L'evoluzione creatrice*, 1907, Nobel nel 1927), che vedeva l'evoluzione biologica come l'effetto di una forza interna, uno "slancio vitale", che dirigerebbe tutti i fenomeni naturali; oppure tutte le credenze ispirate a varie religioni, che attribuiscono i singoli fenomeni ad atti di volontà particolari di qualche divinità (gli dei del mare, della pioggia, ecc.).

Per secoli, era serpeggiata l'idea che le forme¹ viventi mutassero di caratteristiche col tempo ma, data la lentezza di questi cambiamenti, l'osservazione nei tempi storici non dava molte indicazioni. Solo l'osservazione attenta dei fossili e la loro corretta interpretazione fornirono conoscenze sulle forme viventi del passato geologico (fino ad almeno 600 milioni di anni fa), molto anteriori alla storia del pensiero umano (che è giovane di pochi millenni).

Così, dal 1800 in poi, con successivi assestamenti, si affermarono i concetti fondamentali sull'evoluzione delle forme viventi secondo cui, col passare del tempo, il mondo vivente muta caratteristiche percorrendo due vie fondamentali:

— Una data specie o un gruppo di specie simili muta gradualmente le proprie caratteristiche (**ortogenesi**, nel caso di specie, **anagenesi**², nel caso di grandi gruppi) producendo una dopo l'altra (ma una alla volta) forme nuove, sempre più diversificate rispetto alla situazione iniziale.

— Una data specie o gruppo di specie può frazionarsi col tempo in due o più specie o gruppi diversi (**speciazione**, quando si tratta di specie nuove, **cladogenesi**, quando si tratta di nuovi gruppi).

Nasce così il concetto di filiazione, di genealogia delle forme viventi che derivano l'una dall'altra; è questa la **filogenesi**. Ed è logico a questo punto cercare una classificazione "naturale" dei viventi che rispecchi non solo le somiglianze e dissomiglianze fra le specie viventi, ma anche la loro derivazione l'una dall'altra, cioè la loro filogenesi.

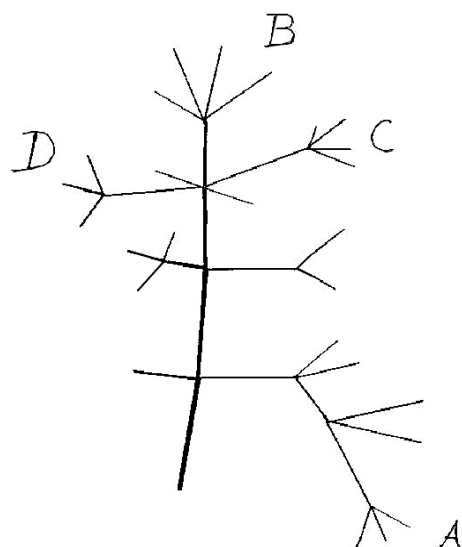


Fig. 1 – Un abbozzo di “albero della vita”, come si trova nei primi appunti di Darwin: un primo esempio di classificazione basata sul concetto della discendenza da antenati comuni.

Le specie viventi che osserviamo oggi rappresentano solo gli ultimi derivati della filogenesi, le ultime ramificazioni dell'albero genealogico. Per le forme del passato, quelle estinte, ci si può avvalere solo dei fossili e, per quanto abbiamo appena detto, la classificazione delle specie attuali dovrebbe trovare riscontro in una successione di “fossili”, resti di forme viventi del passato, che a volte si trovano nelle rocce sedimentarie (depositi marini, lacustri, ecc.). I fossili dovrebbero rispecchiare l'albero genealogico, la successione degli antenati delle forme viventi attuali, dalle origini ai giorni nostri. E va notato che, sia pure con metodi indiretti, i geologi sono molto abili nel datare le rocce, almeno in senso relativo, vale a dire nello stabilire che una roccia è più giovane o più vecchia di un'altra. Questo significa che i fossili rinvenuti in ogni tipo di roccia possono venir ordinati in una serie continua, dal più vecchio al più giovane, con buona approssimazione. Alcuni fossili addirittura, i cosiddetti “fossili guida”, sono così caratteristici di una data epoca o periodo geologico da servire come “marcatempo”, capace di attribuire ad uno strato roccioso sconosciuto un'età ben definita (“datazione”).

¹ In questo testo, come in tutti gli altri di questa serie, il termine **forma** o “forma vivente” indica una specie, una varietà, un genere, ecc., cioè un insieme di individui molto simili. Il termine “forma” non ha dunque un significato definito nella classificazione. Naturalmente, non si escludono i significati usuali della stessa parola.

² Il termine “anagenesi” è stato usato anche per indicare una evoluzione graduale e progressiva, cioè la lenta trasformazione unidirezionale di una specie, e quindi esso diverrebbe sinonimo di “ortogenesi” in senso lato. Si noti che l'ortogenesi (o anagenesi) non porta ad un aumento del numero delle specie, e quindi della biodiversità, ma solo alla trasformazione di quelle esistenti.

Purtroppo, molti termini come “ortogenesi” sono usati con significati diversi da diversi autori ed allora, nel corso di questo testo, diremo “ortogenesi in senso lato” in relazione alla definizione data sopra, ed “ortogenesi in senso stretto” per indicare la teoria dell'evoluzione unidirezionale spinta da “forze interne” (vedi oltre).

C'è però un problema: i fossili sono sempre insufficienti. Ciò accade per vari motivi:

– molte forme viventi non possiedono parti mineralizzate capaci di conservarsi; le parti molli si conservano solo in casi assai particolari, cioè quando rimangono sepolte da sedimenti molto fini (fanghi, argille, ecc.) in assenza o povertà di ossigeno;

– i corsi d'acqua e gli agenti atmosferici possono disperdere gli individui morti, trasportarli anche molto lontano dal loro ambiente abituale, sia pure senza provocarne la decomposizione completa;

– successivi eventi geologici possono cancellare ogni resto fossile per sovrapposizione di altri strati rocciosi, per compressione e riscaldamento dei medesimi o per azioni chimiche; parliamo di quel radicale processo di trasformazione e ricristallizzazione delle rocce che va sotto il nome generico di **metamorfismo regionale**;

– altri movimenti nella crosta terrestre possono portare le rocce fossilifere a contatto con magmi caldi fino alla completa fusione e successiva ricristallizzazione (**metamorfismo di contatto**);

– andando indietro nel tempo, i fossili divengono sempre più scarsi poiché i successivi eventi geologici (sollevamento di montagne (orogenesi), il citato metamorfismo delle rocce, l'erosione di esse da parte degli agenti atmosferici, ecc.) tendono a cancellarli. La distruzione procede nel tempo: vi è anzi una soglia abbastanza precisa, al confine fra il periodo Cambriano (iniziato fra 500 e 600 milioni di anni fa) ed il precedente, indicabile genericamente come “pre-Cambriano”. Nelle rocce formatesi prima di quel tempo, i fossili sono scarsissimi ed indistinti; con l'inizio del Cambriano, invece, le rocce fossilifere mostrano all'improvviso i segni di quasi tutti i principali raggruppamenti di animali (“tipi” o “phyla”) che si osservano oggi e che sono elencati sotto (fig. 7, pag. 27). Non è facile spiegare questa esplosione nel numero e nella varietà dei fossili all'inizio del Cambriano, ma comunque, per i tempi antecedenti, i dati disponibili sono scarsi e le origini di molti gruppi ancora oscure.

Sul fenomeno delle “lacune” e degli “anelli mancanti”, nelle serie dei fossili vi sono poi altre considerazioni da fare, che diverranno chiare quando parleremo dei “gruppi periferici isolati” (pag. 24) e degli “equilibri punteggiati” (pag. 37).

Lo studio dei fossili (**Paleontologia**) risulta perciò inevitabilmente lacunoso: pochi i dati, molte le ipotesi.

Qualche aiuto indiretto viene da un fenomeno, codificato come “legge biogenetica fondamentale” (E. Haeckel): nello sviluppo embrionale di ogni forma vivente (**ontogenesi**³) possono presentarsi temporaneamente dei caratteri che sono stati tipici di qualche forma ancestrale, di qualche progenitore, da cui quella forma è derivata nel corso della filogenesi: “L'ontogenesi riassume la filogenesi”. Con tutte le riserve del caso, questo fenomeno può essere utile, specie nello studio di quelle forme larvali che, allo stadio adulto, vanno incontro a profondi adattamenti, spesso di tipo riduttivo, che rendono difficile identificare il gruppo di appartenenza; si tratta spesso di forme parassite, profondamente trasformate e prive di molti organi allo stadio adulto, come conseguenza del loro adattamento alla vita parassitaria (es. *Sacculina carcini*, un Crostaceo parassita di altri Crostacei, che si riduce allo stato adulto ad un sacco di uova, e si identifica solo in base alle sue forme larvali, ben riconoscibili e tipiche dei Crostacei).

Qualunque schema di classificazione e di filogenesi deve quindi tener conto dello sviluppo embrionale tipico delle singole specie e dei vincoli che i meccanismi dello sviluppo pongono all'insorgenza di nuovi caratteri, cioè a qualunque processo evolutivo. Vedremo che, solo di recente, a seguito di questa esigenza, si è sviluppata una branca specialistica della biologia, sinteticamente chiamata “evo-devo”: un confronto fra le esigenze dello sviluppo e quelle dell'evoluzione (qualche dettaglio a pag. 43; si veda in bibliografia: A. Minelli, 2004 e 2007).

A questo punto, possiamo già introdurre una considerazione generale: anche l'evoluzionismo evolve, come tutte le idee ed i sistemi di conoscenze, e forse si tratta di un altro esempio di

³ Per ontogenesi s'intende in biologia l'intero processo di sviluppo dell'individuo, dall'inizio della sua esistenza (uovo fecondato, spora, ecc.) alla forma adulta.

evoluzione “alla Darwin”. Non c’è che da rallegrarsene: le idee che non cambiano mai rischiano di divenire fossili, utili per una ricostruzione storica, ma incapaci di riprodursi e generare discendenza. Possono ripiegarsi su sé stesse, come fanno tante forme viventi, i cosiddetti “fossili viventi”, ma perdono i contatti con tutto ciò che le circonda e finiscono per vedersi limitate ad un ambiente ristretto e conservativo. Riparleremo ancora dei “fossili viventi” (pag. 44), che in genere si trovano proprio in zone ristrette dei fondi marini, dove nulla cambia.

E così, fin dai primi tempi delle sue formulazioni, l’evoluzionismo è cambiato molto a causa di acquisizioni progressive che lo costringono ad una continua revisione.

Non vogliamo qui affrontare una descrizione dello sviluppo delle teorie evoluzionistiche (si vedano in bibliografia: Pievani T. – *Introduzione alla filosofia della biologia*, 2005; Gaudant M e J.; *Théories classiques de l’évolution*, 1971, e la relativa ampia bibliografia), ma almeno va ricordato che le idee circa la graduale trasformazione del mondo vivente erano apparse nel pensiero filosofico-scientifico fin dai tempi della Grecia classica. Nella *Fisica* di Aristotele, ad es., (384-322 a. C.) si legge: “... possiamo supporre che tutte le cose si sono formate per azzardo, esattamente come avrebbero fatto se fossero state prodotte per qualche fine: certe cose si sarebbero conservate perché avrebbero acquisito spontaneamente una struttura appropriata, mentre quelle che non erano costituite in quel modo sarebbero perite ...”. Aggiungeva poi, sapendo di urtare opinioni diffuse: “... sarebbe lasciare troppo spazio al caso”.

Modernamente, poi, in seguito alla nascita ed allo sviluppo prorompente della genetica e della biologia molecolare, a partire dal 1900, il quadro della biologia in generale si è profondamente trasformato. In particolare, vogliamo far notare che la possibilità di stabilire la struttura fine del codice genetico di qualunque specie consente con buona certezza di chiarire, e quasi di misurare, le affinità fra specie e gruppi di specie. Col passare del tempo, la decifrazione del codice a DNA di un numero crescente di specie viventi sta provocando un riassetto generale delle nostre conoscenze sulle parentele, che finora erano state stabilite essenzialmente sulle somiglianze di strutture anatomiche, di funzioni o di comportamenti.

La tassonomia⁴ genealogica classica è stata pertanto in parte confermata, in parte rimaneggiata sulla base dei dati della biologia molecolare. E siamo appena agli inizi.

Quando, a metà dell’800, si consolidarono le prime vedute scientifiche sul “trasformismo”⁵ delle forme viventi, la genetica non esisteva ancora. Le prime solide acquisizioni, da parte dell’abate G. Mendel (pag. 48), furono dimenticate e riscoperte solo agli inizi del ‘900. Una scienza giovane dunque la genetica, ed è stupefacente come, in tale assenza di conoscenze, Darwin ed altri suoi contemporanei abbiamo potuto intuire, da una gran mole di osservazioni empiriche, i meccanismi fondamentali che spiegano “come funziona” la vita.

Da allora, il campo delle indagini si è assai allargato, i problemi di dettaglio si sono moltiplicati e si può dire che esistano tante visioni dell’evoluzione quanti sono gli evoluzionisti.

Si potrebbe considerare questo fatto come un segno di confusione e di decadenza, ma forse è solo un indice della crescita vivace di una scienza nuova, che ha messo in discussione molte visioni troppo disinformate del passato.

Comunque la si pensi, la trasformazione delle forme viventi nel tempo è innegabile, ed entreremo in qualche dettaglio, ma è ovvio che, qualunque visione del “sistema vita” si voglia accettare, essa coinvolga tutti gli aspetti della vita stessa: ci siamo dentro fino al collo.

⁴ La **sistematica** è quella branca della biologia che si occupa dei *criteri* necessari per la classificazione e la nomenclatura degli esseri viventi o fossili in base ai loro caratteri. La **tassonomia** è il *quadro generale* che ne risulta e che riunisce in gruppi di vario livello i vari insiemi di elementi simili. Il termine **classificazione** è invece poco definito in quanto si può riferire al metodo, all’azione o al risultato della suddivisione degli elementi in gruppi.

I tre termini qui esaminati sono però spesso confusi e ritenuti sinonimi.

⁵ Il termine “**trasformismo**”, molto usato dagli autori francesi, si può prendere come sinonimo di “evoluzionismo”, ma va notato che quest’ultimo vocabolo non fu mai usato dallo stesso Darwin: egli parlava di “descent with modifications”, mettendo in rilievo che il fatto più evidente all’osservazione, certamente dei fossili ma anche delle specie viventi, è la loro graduale trasformazione nel tempo. Il problema successivo fu allora di trovare le cause di queste “trasformazioni” e scegliere fra le due possibilità illustrate a pag. 2: trasformazione graduale di una specie (ortogenesi) o frammentazione di una in più specie (speciazione)?

Occorre quindi molta pazienza, molta apertura mentale, molta obbiettività, e forse un po' di coraggio.

E coraggio occorre anche per uscire dal limitato quadro della nostra esperienza quotidiana e per guardare al mondo che ci circonda, non solo a quello vivente, in una dimensione di tempi e di spazi che ci sconvolge.

Quando guardiamo le nostre Alpi, ad esempio, riusciamo ad afferrare che esse hanno cominciato a sollevarsi circa 60 milioni di anni fa? Che la nostra vita dura meno di un secolo, ma per “fabbricare” quei materiali su cui camminiamo durante una gita sono occorse decine di milioni di anni? Un milione di anni significa, all'incirca, 50'000 delle nostre generazioni, ma il pensiero umano è nato sì e no qualche migliaio di anni fa, circa 300 generazioni.

E se pensiamo che la vita è comparsa sulla terra, sia pure in forme assai semplici, oltre tre miliardi di anni fa, come collocarci in questo quadro?

Ebbene, la vita ha avuto tutto questo tempo per propagarsi, per adattarsi ad un ambiente in continua mutazione (generalmente in tempi lunghi), per trasformarsi. E di questa storia abbiamo solo poche conoscenze indirette. Può sembrarci impossibile che da un primitivo dinosauro possa derivare un'aquila. Ma è solo questione di tempo ...

Dobbiamo quindi avere l'umiltà e la pazienza di uscire dai nostri metri di misura ed intuire che certi fenomeni, impossibili alla nostra scala umana, divengono comprensibili ed evidenti nei tempi della storia della terra.

Luca Cavalli Sforza diceva che la parola evoluzione è equivalente a storia. Nulla si capisce se non ci si volta indietro e non si cerca, con fatica, di riavvolgere quel lungo film di cui noi vediamo solo l'ultimo fotogramma.

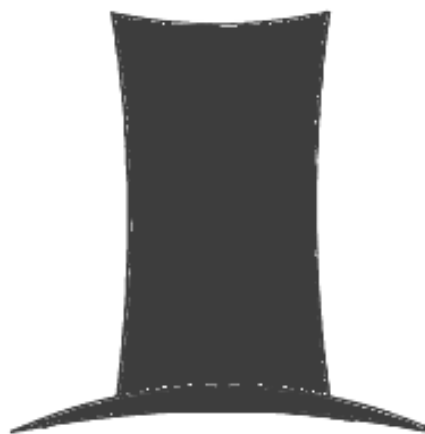
Il problema della TERMINOLOGIA

Esamineremo più avanti una serie di equivoci, e di conseguenti scontri ideologici, dovuti ad un uso di concetti e parole in maniera non univoca, specie in campo filosofico o nel confronto fra la visione scientifica e quella filosofica.

Ma ora, rimanendo nel campo della biologia, proviamo già a chiarire qualcosa.

Spesso, nel confrontarci col mondo esterno, con tutto ciò che è al di fuori della portata diretta delle nostre percezioni e della nostra coscienza, abbiamo l'inevitabile tendenza a proiettare su quel mondo i nostri schemi mentali, le nostre immagini, le nostre precedenti esperienze. Il semplice fenomeno delle illusioni ottiche dovrebbe renderci assai prudenti nel formulare giudizi.

Fig. 2 – Chi si è accorto subito che questo cappello a cilindro ha un diametro della tesa pari all'altezza, alzi la mano, se è sincero.



Basterebbe la classica illusione “del sole che gira intorno alla terra” ...

Passiamo a qualche termine particolare.

Per cominciare, bisogna constatare che il termine stesso “**evoluzione**” viene considerato spesso come sinonimo di “perfezionamento”. Entra qui in ballo una diatriba durata decenni, che proviamo a riassumere.

Probabilmente, il concetto di “**progresso**” o “perfezionamento” è entrato in tutte le concezioni trasformistiche della vita a seguito della constatazione, che tutti i paleontologi, gli studiosi dei fossili, sono obbligati a fare: il graduale passaggio da forme più semplici e più antiche ad altre più complesse.

Questo fatto ha portato molti a pensare che negli esseri viventi esista una tendenza innata ad una specie di progresso illimitato, destinato a portarli verso forme sempre più perfette al culmine

delle quali, ovviamente, sta l'uomo. Si arriva così ad usare il termine "ortogenesi" nel senso restrittivo di "miglioramento progressivo e continuo" di ogni forma vivente verso limiti sempre più alti di complessità. E naturalmente questa tendenza innata starebbe come causa dell'evoluzione, a priori. Ripareremo di questa interpretazione, ma intanto occorre ammettere che, effettivamente, col passare dei tempi geologici, una tendenza verso l'aumento di complessità è innegabile. E non può essere altrimenti: qualunque sistema vivente, per possedere le caratteristiche essenziali del vivente, deve possedere un minimo di strutture e funzioni, un limite al di sotto del quale la vita, come cercheremo di definirla fra poco, non può esistere. Le prime forme di vita comparse sulla terra ci sono ignote ma, per vari motivi, dovevano essere molto semplici. Bene, da quel momento in poi, qualunque trasformazione si sia verificata, deve essere stata verso un aumento di complessità, poiché una diminuzione avrebbe significato l'estinzione. Sarebbe come se un ubriaco, pur ondeggiando in un cammino traballante, non potesse voltare che a destra, visto che alla sua sinistra c'è un lungo muro, che non può varcare senza rompersi la testa. Se l'ubriaco è condannato a voltare sempre dalla stessa parte, anche l'evoluzione non può che andare in avanti. Semmai, qualche ondeggiamento verrà poi.

Da qui a concludere che nella trasformazione del vivente c'è un fine intrinseco, una volontà di "progresso" o cose simili ... beh, il passo è piuttosto lungo.

In altri termini, in noi vi è la tendenza ad attribuire ai fatti naturali una volontà, un'intenzione, proiettando sulla natura (biologica) il nostro mondo interiore consapevole, secondo il quale le nostre azioni ci sembrano sempre dovute ad una libera scelta.

Si tratta di un generale antropomorfismo, secondo cui proiettiamo su ciò che ci circonda i nostri meccanismi mentali, i nostri schemi di giudizio, ecc. Giudichiamo tutto secondo il nostro metro interiore.

Questa proiezione porta poi a tutte le concezioni finalistiche della natura e dell'evoluzione: siamo convinti che in ogni azione umana ci sia un'intenzione cosciente, e quindi ogni fatto naturale deve essere frutto di un singolo atto di volontà, o almeno di un fine *a priori*, ma ...

I fatti della natura non hanno nulla a che fare con il nostro mondo di valori; obbediscono a leggi intrinseche, a rapporti di causa-effetto, insiti nella natura delle cose, e s'infischiano di ciò che ne pensiamo. Se l'evoluzione porta un "progresso" come l'abbiamo appena definito, non è per favorire una data specie o renderla "migliore", o per far comodo a noi. È solo l'effetto di particolari cause. Viene in mente un pensiero di H. Bernardin de Saint-Pierre (1737-1814): "... il melone è un frutto le cui fette sono marcate in anticipo poiché esso è fatto per essere mangiato in famiglia" (*Harmonies de la Nature*, 1814).

Torneremo su questo concetto di "fine" in natura, legato al concetto di "creazione" (pagg. 53-54 e 69) e cercheremo di allargarlo.

Per guadagnare in obbiettività, proviamo ad eseguire un esperimento mentale. Tutti conoscono un particolare giocattolo consistente in una serie di blocchetti di legno di varia forma che il bambino deve infilare in alcuni fori del coperchio di un opportuno barattolo, facendo corrispondere la forma dei blocchetti a quella dei fori.

Supponiamo ora di possedere numerosi blocchetti, alcuni sferici, altri cubici o di altra forma. Il nostro barattolo presenta fori tutti circolari e di dimensioni tali che solo i blocchetti a pallina possono passare. Poi buttiamo a casaccio tutti i nostri blocchetti sul barattolo, e ripetiamo l'operazione, senza stancarci, finché tutte le palline saranno entrate e gli altri blocchetti saranno rimasti fuori, per le ragioni che ben conosciamo.

Un osservatore frettoloso, aprendo il barattolo, concluderebbe: "Qui c'è stata un'azione intelligente, una scelta consapevole di qualcuno che ha selezionato uno per uno i blocchetti e li ha scartati tutti, tranne quelli a pallina."

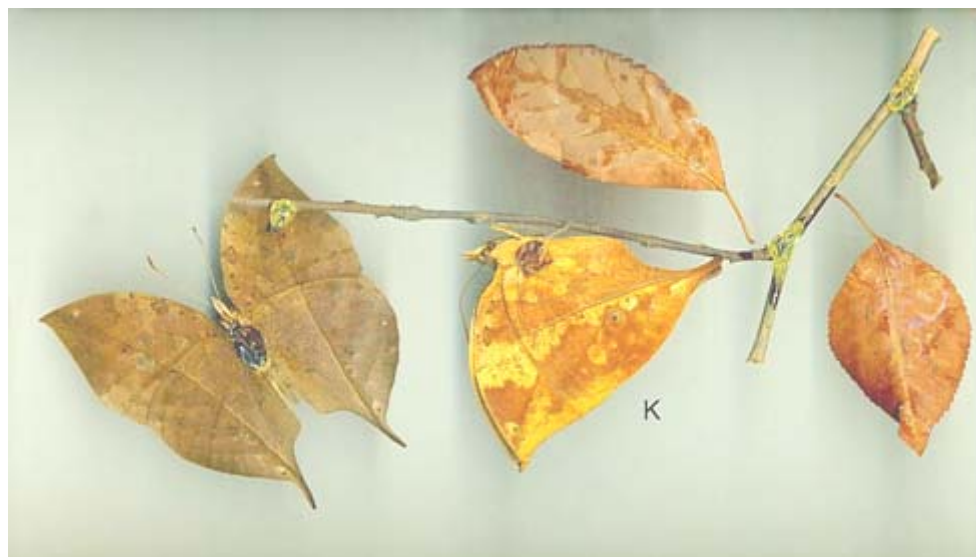
Anche A. Schopenhauer (1788-1860) scriveva in "*Della volontà nella Natura*": "... Il carattere adeguato (oggi diremmo "adattato")... non è l'opera di forze naturali contingenti ... ma di una Volontà". Forse, non conosceva il giocattolo dei blocchetti di legno.

Tornando all'evoluzionismo, per chi non padroneggia il metodo scientifico è inevitabile stupirsi delle raffinatezze raggiunte da certe forme di adattamento (basta pensare al mimetismo

di certi insetti e pesci) e rifiutare l'idea che si tratti dell'effetto diretto di una lunga concatenazione di cause cieche, di un lungo processo di selezione, ecc. Difficile fare il cammino a ritroso, dai moderni insetti tropicali, per risalire ai primi insetti del Siluriano e ricostruire il filo intricato di un processo evolutivo che si è ramificato in centinaia di milioni di anni. Più sbrigativo ricorrere ad una finalità esterna.

Dove i limiti della scienza c'impediscono di raggiungere, almeno per ora, la causa di un fenomeno, dobbiamo avere la prudenza di non cercare una soluzione semplicistica.

Fig 3 – Anche la foglia indicata con “K” è una farfalla: si tratta della *Kallima*, posata ad ali chiuse in modo da mostrare la superficie inferiore delle ali. Perfino le nervature ed il picciolo delle foglie sono ben imitati. Ma la farfalla, probabilmente, non lo sa. Se non possedesse questo grado di mimetismo, forse non esisterebbe neppure.



Un altro chiarimento va fatto fra “evoluzione” ed “evoluzionismo”. Il primo termine indica un fenomeno naturale, che si presenta nel mondo dei viventi. Il secondo indica due cose: un modello esplicativo scientifico dell'evoluzione, oppure una filosofia che cerca un'interpretazione di quanto sopra, spesso invadendo il campo della sociologia e della politica. Per quella strada, si arriva facilmente ad un'ideologia, che può darsi una credibilità adottando qualche punto di vista scientifico, ma non è mai frutto di scienza. Basti pensare a tutte le strumentalizzazioni che le teorie di Darwin, dedicate all'evoluzione biologica, hanno subito in campo sociale e politico.

Anche i concetti di “vita”, di “individuo”, di “specie”, di “causa” o di “caso” ci sembrano familiari, ma richiedono un'analisi di dettaglio. Tali concetti hanno dato luogo a discussioni interminabili, a teorie contrapposte, a scontri, ma un chiarimento sereno avrebbe potuto evitare tutto ciò.

Riprenderemo, uno alla volta, questi concetti, senza i quali né biologia né evoluzionismo potrebbero procedere. Una sola precisazione: distinguiamo fra “causa” e “caso”, fra “causalità” (processo per cui un effetto è dovuto ad una causa, qualunque essa sia) e “casualità” (processo per cui il rapporto fra causa ed effetto non è univoco e da una certa causa possono derivare, imprevedibilmente, vari effetti, tutti “causati”, ma non uno in particolare; la causa c'è, ma l'effetto non è prevedibile né unico). Anche di questo riparleremo.

Ma ora cominciamo ad illustrare i punti salienti dei fenomeni biologici fondamentali. Si tratterà di un disperato tentativo di riassumere decenni di ricerche, e nel contempo non esporre idee scorrette o confuse; e senza esasperare il lettore.

GLI ORGANISMI VIVENTI ed i loro caratteri generali

La DEFINIZIONE di “VITA”

Il fisico Mario Ageno (1915-1992) definiva la vita “un sistema chimico coerente dotato di un programma”: un sistema che, date le sue dimensioni, si comporterebbe come caotico se non fosse dotato di un sistema di controllo (DNA, RNA, enzimi, ecc.).

Esagerando un po', si potrebbe dire che la fisica si occupa di sistemi semplici, la biologia di sistemi complessi⁶ dotati di precisi adattamenti (abbiamo appena citato il caso del mimetismo, un esempio fra gli infiniti altri). Ed è la varietà di tali adattamenti che simula un'intenzionalità e porta a concepire un meccanismo finalistico, in quanto una spiegazione causale è molto articolata e richiede un processo di ricostruzione a ritroso per il quale spesso mancano i documenti storici, come i fossili.

In generale, un sistema tanto più è improbabile quanto più è complesso: che due bastoncini possano cadere a terra disponendosi in parallelo, può accadere. Ma che questo avvenga per dieci o cento, è sempre più improbabile. Se il sistema "vita" è così complesso, risulterà anche altrettanto improbabile e pertanto riesce difficile attribuirlo al "caso". Del concetto di "caso" ci occuperemo più avanti, ma oggi sta diventando ovvio vedere la vita come il risultato di una **variabilità**⁷, dovuta anche a fenomeni casuali (incroci, mutazioni, ed altri che vedremo più avanti), ma poi sottoposta ad una selezione continua, cumulativa, dinamica. Anche il progresso, di cui si parlava sopra, non ha un fine, non è la causa della "perfezione" degli adattamenti, ne è l'effetto.

Ma non anticipiamo troppo.

Effettivamente, come "essere vivente" si può intendere qualunque sistema complesso dotato di alcune proprietà particolari che cerchiamo di elencare in sintesi.

— **INDIVIDUALITÀ**: può essere sinonimo di "indivisibilità". Un essere vivente cioè rappresenta qualcosa di unico, compiuto in se stesso, che non può perdere alcuna delle sue parti senza perdere le sue proprietà. Questo criterio, un po' troppo astratto, va inteso con una certa elasticità: se un animale perde una zampa, ad es., è pur sempre riconoscibile come animale e come individuo. Si può discutere su quali sono le parti "essenziali" senza le quali l'animale non è più tale, ma certamente l'essere vivente non è divisibile in molecole, atomi o particelle come il materiale non vivente.

Più imbarazzante è il caso di animali che formano colonie.

Quando si tratta di colonie di individui ben distinti (insetti coloniali come le api, ad es.), viene già da pensare che l'individuo capace di riprodursi non sia più la singola ape, ma l'alveare (infatti, le operaie non si riproducono; la regina ed i fuchi si riproducono, ma solo se accuditi dalle operaie, ecc.); la sopravvivenza della specie non è affidata alla singola ape ma alla colonia, che può sopravvivere solo se esiste un adeguato coordinamento fra le api, cioè se la colonia si comporta come un organismo unitario, di cui le singole api sono paragonabili alle cellule di un organismo pluricellulare.

Ancora più scabroso è il caso di colonie originate per gemmazione da un organismo progenitore (polipi di Idrozoi ed Antozoi {millepore, coralli, madrepore}, ad es.; piante, come la fragola, che producono nuove piante da fusti striscianti); qui, i singoli individui nascono come propaggini, come "gemme", da un individuo iniziale e rimangono tutti collegati fra loro da cordoni di tessuto vivente ("**stoloni**"); qui è impossibile trovare anche i confini strutturali fra un organismo e l'altro. In certi casi, si hanno colonie in cui i singoli individui assumono forme diverse e svolgono funzioni diverse: vi è un "differenziamento" fra gli organismi in relazione ad una divisione dei compiti. La colonia si comporta allora proprio come un organismo unitario: gli individui svolgono le funzioni di organi e la colonia non può sopravvivere se qualcuna delle parti non svolge le funzioni che le sono proprie; vedi le velelle o "barchette di S. Pietro" (Sifonofori, Idrozoi marini, Celenterati).

Con significato più ristretto, l'individualità è la proprietà di ogni essere vivente di possedere caratteristiche che lo distinguono da tutti gli altri: in altre parole, tutti gli esseri viventi sono diversi fra loro, sono riconoscibili per queste loro caratteristiche individuali ("individuo-

⁶ Nella prima pagina, abbiamo già definito sommariamente il concetto di "sistema complesso".

⁷ Si chiama "**variabilità**" in biologia l'insieme delle differenze riscontrabili fra individui della stessa specie o fra differenti specie. Nel nostro contesto, queste differenze vanno studiate nel "qui ed ora", non nel loro sviluppo storico.

specifiche”), e non esistono due esseri uguali. Gli individui debbono essere **INDIVIDUABILI**, distinguibili da tutti gli altri, anche della loro stessa specie.

— **SPECIFICITÀ**: tutti gli esseri viventi si possono raggruppare in entità di ordine superiore, cioè in “specie”, all’interno delle quali esistono forti somiglianze, tali da consentire in genere di assegnare un singolo essere vivente ad una data specie ed a nessun’altra. I caratteri della specie sono “specie-specifici”. Queste somiglianze all’interno della specie non escludono le differenze individuali appena citate. Nel caso di animali e piante, gli individui della stessa specie possono incrociarsi e lasciare prole feconda, quindi riprodursi per tempi potenzialmente illimitati. Anche questa definizione di specie appare spesso imprecisa (vedi le pagg. 10–11).

— **METABOLISMO SPECIFICO**: molte proprietà degli esseri viventi sono “specifiche”, cioè caratteristiche della specie cui l’essere vivente appartiene, e sono diverse dalle proprietà di tutte le altre specie. Fra di esse, una delle proprietà più importanti è certamente il “metabolismo”, termine con cui si indicano tutte le trasformazioni chimiche, energetiche e fisiche che si svolgono in un organismo. Data la sua complessità, il metabolismo assume facilmente caratteri distinti in singoli individui ed in singole specie.

Il metabolismo è anch’esso, comunque, una proprietà fondamentale degli esseri viventi: consiste in uno scambio di materia e di energia con l’esterno ed in una serie **SPECIFICA** di trasformazioni cui quella materia e quell’energia vengono sottoposte.

— **AUTOREGOLAZIONE** ed **OMEOSTASI**: col primo termine si intende la capacità di un sistema di modificare il proprio comportamento e le proprie funzioni interne in modo da controbilanciare le variazioni dell’ambiente esterno. Questo contro-bilanciamento tende alla stabilità delle condizioni interne del sistema, e questa è l’**OMEOSTASI**. Un chiaro esempio è quello di un sistema automatico semplice, come un frigorifero: esso è dotato di sensori (termocoppie o simili) e di “effettori” (il compressore) coordinati in modo tale che, al variare della temperatura esterna, rimanga costante la temperatura all’interno della cella frigorifera. Con meccanismo analogo viene stabilizzata la composizione del sangue, la sua pressione, ecc.

Una conseguenza, o almeno un aspetto parallelo dell’autoregolazione, è la **IRRITABILITÀ**: un essere vivente reagisce in maniera specifica a determinati stimoli modificando in qualche modo le sue funzioni; vi è un rapporto relativamente costante (S/R) fra stimolo e reazione (o risposta).

— **ACCRESIMENTO** e **CICLO BIOLOGICO**: dal momento della sua nascita a quello della sua morte, ogni essere vivente aumenta le sue dimensioni e la sua massa (“accrescimento” in senso stretto) nonché la varietà e la complessità delle sue strutture e funzioni (“sviluppo”, con “**differenziazione**” di strutture particolari a partire da materia “indifferenziata”, come il tuorlo o il latte). Oltre all’accrescimento ed alla differenziazione, si osservano in molti casi delle vere e proprie **METAMORFOSI**, cioè delle trasformazioni dell’individuo da una forma ad un’altra, anche molto diverse fra loro; a volte queste trasformazioni sono assai brusche. Si pensi al passaggio «bruco - crisalide - adulto» nelle farfalle, nei Coleotteri ed altri insetti. In altri casi, anche le forme adulte non sono uniche: si possono alternare, più o meno regolarmente, generazioni di struttura assai diversa; così avviene in certi parassiti, che cambiano regolarmente di ospite, ed in ogni ospite assumono aspetto diverso; oppure si pensi a molte meduse, che si alternano regolarmente con una forma di polipo. A questo punto, con l’alternanza di forme adulte diverse, si parla di “generazione alternante” o, più genericamente, di “ciclo biologico”, il quale rappresenta tutta la successione di forme che, da un uovo o una spora, riportano prima o poi alla forma iniziale.

Metamorfosi e cicli biologici, come pure i semplici processi dello sviluppo individuale (**ontogenesi**), sono anch’essi altamente specifici, caratteristici di ogni data specie.

— **RIPRODUZIONE**: prima o poi, per cause esterne od interne, ogni essere vivente va incontro alla morte. Pertanto, se esistono tuttora tante specie viventi, significa che gli individui di ognuna di esse hanno potuto “riprodursi”, ovvero generare altri esseri simili a sé, capaci di compensare le perdite e ricominciare il “ciclo” caratteristico della specie. Se il numero degli individui nelle successive generazioni tende a diminuire, prima o poi la specie va incontro ad

un'ovvia estinzione.

Vedremo quale utilità presenta questa continua successione di generazioni, ma occorre precisare che, oltre alla riproduzione, tende spesso a verificarsi anche un aumento numerico degli individui, una MOLTIPLICAZIONE: il pericolo della sovrappopolazione è sempre presente.

— VARIABILITÀ: nella nota 7) a pag. 8 si è già definito il concetto di variabilità. Dopo aver chiarito anche i concetti di individualità, di specificità delle strutture e delle funzioni di individui e di specie diverse, la variabilità appare proprio come una caratteristica essenziale della materia vivente.

Vedremo come la variabilità, al di là delle sue varie cause, è la base, la materia prima, su cui opera senza eccezioni la selezione; nella debordante folla delle variazioni individuali e specifiche non può mancare una continua **competizione**: fra specie diverse nei confronti dell'ambiente (conquista di territori, ricerca di prede, adattamenti, ecc.) e fra individui della stessa specie (possesso delle risorse, delle femmine, dei territori di nidificazione, ecc.). La competizione porta automaticamente ad una scelta che, nel caso nostro, va chiamata “**selezione**”.

È l'implacabilità della selezione che consente la propagazione apparentemente “mirata” delle forme viventi e la loro stupefacente organizzazione. La variabilità può essere casuale, ma è quella che produce un “pool” di variazioni sul tema, su cui poi agisce la selezione, che è direzionale, in quanto ogni deviazione da un adattamento accettabile spinge all'estinzione. Naturalmente, stiamo semplificando molto, ma cercheremo di entrare un po' alla volta in qualche dettaglio più significativo.

Per intanto, possiamo precisare che la selezione non è un meccanismo veloce ed incondizionato. Basta un minimo di buon senso per immaginare che l'evoluzione, comunque la si giudichi, deve essere un fenomeno lento (parliamo normalmente di migliaia di generazioni per arrivare ad una specie nuova). Questo significa che, durante questi periodi di tempo, occorre una certa stabilità in tutti gli aspetti della situazione:

- nelle condizioni ambientali (una variazione troppo brusca renderebbe ogni specie disadattata e provocherebbe un'estinzione, anche di massa);
- nel pool genico⁸ della specie (troppe mutazioni in breve tempo impedirebbero qualunque assestamento adattativo);
- nella variabilità intrinseca della specie (una specie divenuta troppo omogenea non offrirebbe alla selezione ambientale un materiale sufficientemente vario).

LA SPECIE

Abbiamo usato spesso il termine “specie”, affidandoci al significato di questa parola come è utilizzata nel linguaggio comune. Vediamo di precisare.

Per secoli o per millenni, si è inteso come “specie” l'insieme degli individui che si somigliano molto e si distinguono dagli individui di altre “specie”. La somiglianza o dissomiglianza si basava sulle forme esteriori, a volte sulla struttura interna, anatomica, a volte anche sui comportamenti, preferenze alimentari, e simili.

Col procedere dello studio delle razze e varietà, sia presenti in natura, sia nelle forme addomesticate e selezionate dall'uomo, ci si rese conto che certe varietà anche fortemente dissimili (basti pensare a certe razze canine) possono pur tuttavia incrociarsi e dare prole, mentre altre specie esteriormente molto simili (come l'asino ed il cavallo) non possono incrociarsi o almeno dare prole feconda.

Ne nacque una definizione “**biologica**” di specie (E. Mayr, 1942) la quale, partendo dalla constatazione delle differenze fra varietà all'interno di una stessa specie, portò ad una concezione “politipica” della specie intesa come l'insieme di tutti gli individui potenzialmente interfecondi, anche se suddivisi in razze o varietà esteriormente molto diverse. In poche parole, due individui, comunque simili o dissimili, possono appartenere alla stessa specie solo se sono

⁸ Si chiama “pool” genico il complesso dei genomi di tutti gli individui di una data popolazione.

illimitatamente fecondi (se possono dare prole vitale per un numero indeterminato di generazioni). Se, per un motivo qualunque, anche per semplice repulsione psicologica, due popolazioni non s'incrociano, non appartengono alla stessa specie. Naturalmente, parliamo di popolazioni animali allo stato di natura.

In questo modo, si passava da un criterio morfologico, basato sulla forma e struttura degli individui, ad un criterio genetico, basato sull'isolamento riproduttivo rispetto ad altre specie, sulla fecondità all'interno della specie, e poi sull'eredità di questi caratteri.

Naturalmente, nulla vieta che una specie estesa su territori frammentati possa suddividersi in “**popolazioni**” che, di fatto, fosse anche solo per le grandi distanze, non s'incrociano mai. Tali popolazioni sono costituite da individui che *effettivamente* si incrociano all'interno della popolazione, la loro interfecondità è *attuale*; se però qualche individuo emigra ed entra in contatto con altre popolazioni, è *potenzialmente* ancora in grado d'incrociarsi con esse e dimostra perciò che siamo di fronte ad un'unica **specie**. Se non si incrocia, abbiamo invece due specie distinte.

È questa una buona distinzione fra i concetti di specie e di popolazione.

Con questo concetto “biologico” di specie, non si teneva conto però dello sviluppo nel tempo di queste situazioni; del fatto che, in altre parole, la genealogia di ogni specie presenta una diversa storia. Nacque così (G. G. Simpson, 1949, ecc.) il concetto “**evolutivo**” della specie, vista come una discendenza, una successione storica di popolazioni, che evolve secondo una distinta linea genealogica, che è dotata di un distinto ruolo o destino evolutivo. Si superava quindi il concetto “biologico” dell'isolamento riproduttivo (qui ed ora) per dare risalto alla discendenza (nel tempo).

A parte questi diversi approcci, che per altro non si escludono a vicenda, risulta poi che il concetto di specie può diventare indistinto quando si ha a che fare con le specie “**circolari**” (“ring species”). Si tratta di questo: supponiamo una successione di ambienti simili distribuiti in ampi spazi, o lungo una direttrice di pianure estese da Nord a Sud, come avviene in certi casi negli USA, o attorno ad una catena di rilievi che circondano un golfo (come si è verificato a proposito di una salamandra della California). Supponiamo anche che gli estremi di questa catena di ambienti simili siano geograficamente molto distanti fra loro. Ebbene, può accadere che tutti questi ambienti siano occupati da popolazioni, o razze, diverse della stessa specie. Se si incrociano individui provenienti da due popolazioni contigue, in genere la prole è feconda e quindi si conferma trattarsi di popolazioni di un'unica specie. Se però si incrociano individui appartenenti a popolazioni agli estremi della catena, l'incrocio non funziona più. Le differenze sono compatibili con la fecondità fra popolazioni vicine, ma le popolazioni troppo (geograficamente) lontane si sono troppo differenziate per potersi ancora incrociare. Il confine fra popolazione e specie, fra interfecondità e sterilità (**amissia**), diventa così molto sfumato.

Un altro caso ben studiato di specie circolari è quello delle popolazioni di gabbiani che occupano le terre attorno al Mar Glaciale Artico.

LA CELLULA

Nel parlare di INDIVIDUO, l'abbiamo definito come un essere vivente più o meno indivisibile, cioè come un'entità dotata di certe proprietà fondamentali, e tali proprietà non possono esistere in nessuna delle sue parti presa singolarmente.

Nell'accennare alle forme coloniali, abbiamo però adombrato la possibilità che una colonia possa comportarsi come un unico individuo ed i singoli individui che la compongono diventino parti di un individuo più generale.

Dobbiamo allora chiederci quale è l' “atomo” vivente, cioè la struttura più semplice e più piccola che possa mostrare ancora i caratteri del “vivente”.

Ebbene, come una colonia può essere considerata come un aggregato di individui potenzialmente capaci di vita indipendente, così la maggioranza delle piante e degli animali si

può suddividere in unità piuttosto piccole, che possiedono ancora le strutture essenziali alla vita, chiamate “cellule”. Secondo la “teoria cellulare” (Schleiden e Schwann, 1838), la cellula è l’unità, l’individualità morfologica⁹ e funzionale¹⁰ della materia vivente; ogni essere vivente è formato da una o più¹¹ cellule; tutte queste cellule derivano da una cellula iniziale (uovo, spora¹², e simili) per divisioni successive; ogni cellula deriva dalla divisione di una cellula preesistente. Le sue dimensioni vanno in genere da qualche millesimo a qualche centesimo di mm, ma vi sono eccezioni, specie fra le cellule trasformate in “fibre” (legno, tessuto muscolare e nervoso, ecc.) che possono raggiungere qualche decimetro.

La struttura e le funzioni della cellula sono generalmente caratteristiche e riconoscibili; in molti casi però la cellula si “differenzia”, cioè si trasforma in vista di particolari funzioni, in modo da essere difficilmente riconoscibile; basti pensare ad una fibra nervosa o legnosa.

Per ora consideriamo due parti fondamentali della cellula: la parte centrale (“**nucleo**”), che presiede ai processi della divisione (riproduzione) cellulare, e la parte periferica (“**citoplasma**”), che presiede al metabolismo in genere.

Data la validità generale della teoria cellulare, possiamo pensare che le caratteristiche sopra elencate, valide in generale per la materia vivente, siano applicabili ad ogni cellula. Ciò si verifica effettivamente, specie riguardo all’individualità. Del resto, innumerevoli specie animali e vegetali contengono individui formati da una sola cellula.

Quindi, come in una colonia si può chiamare “individuo” o “organismo” l’intera colonia, mentre i singoli individui si riducono ad organi di un sistema composto, così in un essere pluricellulare si possono considerare individui le singole cellule, mentre quello che noi chiamiamo “individuo” è solo una colonia da esse formata. Ne abbiamo già accennato parlando del concetto di individuo.

In particolare, intendiamo ora analizzare i fenomeni della riproduzione, nelle cellule e negli organismi.

LA TRASMISSIONE EREDITARIA

Come il buon senso ci dice, ogni specie può sopravvivere nel suo ambiente abituale solo perché è in grado di risolvere tutta una serie di problemi, di svolgere determinate funzioni; il fatto stesso che essa esista, dimostra che ha saputo risolvere quei problemi. Dunque, ogni specie è “adattata” per un dato ambiente. Basti pensare alle pinne di un pesce od alle ali di un uccello. Ritorneremo su questo punto, ma intanto risulta ovvio che, data la raffinatezza e la complessità di questi adattamenti, i figli avranno interesse ad assomigliare ai genitori in modo da usufruire degli stessi adattamenti: un pesce che nascesse contestando le pinne dei genitori avrebbe qualche difficoltà a tirare avanti. Occorre dunque che, per ogni fenomeno di riproduzione, si verifichi anche l’**eredità**, la trasmissione più o meno fedele di tutti i caratteri dei genitori, e quindi degli adattamenti.

Sappiamo anche che, molto spesso, ogni individuo si origina da un elemento iniziale piuttosto piccolo (uovo, spora o simili) e che tale elemento è costituito da una sola cellula. Dunque la trasmissione ereditaria dei caratteri da una generazione all’altra avviene per mezzo di qualche struttura contenuta in quell’unica cellula. E ancora: poiché, come si è detto, ogni essere vivente va incontro ad un certo periodo di sviluppo, e questo sviluppo inizia in genere da una cellula sola, nella quale non sono riconoscibili le strutture e le funzioni dell’adulto, è anche ovvio che in quell’unica cellula iniziale deve esistere qualche “dispositivo” in grado di dirigere lo sviluppo successivo, cioè organizzare la materia (già presente nell’uovo o assunta dagli alimenti)

⁹ che riguarda cioè la forma e la struttura.

¹⁰ che riguarda le funzioni necessarie alla conservazione della vita.

¹¹ talvolta in numero enorme, miliardi e miliardi.

¹² Mentre l’uovo, per svilupparsi, ha bisogno in genere di essere fecondato da uno spermatozoo, la spora è un elemento germinale che può riprodurre un individuo senza fecondazione. Il primo processo riproduttivo si considera perciò sessuato, il secondo asessuato o “**agamo**”. Esistono però molte forme diverse di spore.

fino a realizzare tutte le strutture specifiche dell'organismo sviluppato.

Abbiamo quindi due serie di fenomeni da spiegare: la trasmissione ereditaria dei caratteri e l'organizzazione delle strutture e delle funzioni dell'adulto a partire da un elemento germinale non differenziato (sviluppo embrionale o "**ontogenesi**"). La spiegazione dovrebbe essere unica.

Come è ovvio, la comprensione di questo meccanismo assai delicato e complesso, di dimensioni sub-microscopiche, in grado di provocare la manifestazione di tutti i caratteri che definiscono un individuo, ha richiesto decenni di lavoro; ma ora si sa che, almeno in linea generale, tutta la trasmissione dei caratteri da una generazione alla successiva e la manifestazione di tali caratteri, cioè la costruzione di un individuo adulto, sono causate, o almeno "dirette", da alcune grandi molecole organiche di forma filamentosa, molecole di natura chimica complicata (il famoso "acido desossi-ribo-nucleico" o "DNA") che costituiscono da sole o in coppia quelle strutture, visibili anche al microscopio ottico, dette "**cromosomi**"¹³. Lungo le molecole filamentose del DNA sono state riconosciute, fra l'altro, delle regioni molto piccole dette "**geni**". Ogni gene può dirigere, durante tutta la vita della cellula e quindi anche durante lo sviluppo dell'uovo, l'andamento di una o più reazioni biochimiche che portano alla sintesi di particolari sostanze (proteine od altro); tali sostanze rappresentano il mezzo per realizzare particolari strutture e consentire particolari funzioni, cioè il mezzo per cui ogni cellula o tessuto¹⁴ raggiunge la sua funzione specifica nell'organismo.

Dunque, attraverso la sintesi di una o più sostanze, ogni gene può controllare la manifestazione esterna ("fenotipica") di UNO O PIÙ caratteri; se tali caratteri sono più di uno, il caso più frequente, si parla di geni **pleiotropici**. Ma avviene anche che un dato carattere ("**poligenico**" o "polifattoriale") sia controllato da più di un gene. Il rapporto fra struttura dei geni e caratteri esterni (**fenotipo**) dell'individuo adulto è dunque molto complesso.

Da questo discorso si potrebbe dedurre che tutti i caratteri dell'adulto dipendano dai geni contenuti nel suo uovo o nella sua spora. Ma vi sono eccezioni:

– alcuni caratteri vengono acquisiti da un individuo nel corso della sua vita per influenze ambientali, alimentari, ecc.; si tratta delle **somazioni** (se si nutre un animale con una dieta priva di vitamina B1, ad es., si ammala di beriberi); tali acquisizioni però non influenzano i geni e non vengono trasmesse alla generazione successiva (l'individuo affetto da beriberi ha discendenti normali);

– alcuni caratteri, legati soprattutto al comportamento, vengono acquisiti per apprendimento, per imitazione di altri animali, ecc. ma anche questi non sono ereditabili attraverso i geni;

– vi sono altri casi in cui anche il citoplasma della cellula sembra possa trasmettere qualche carattere ai discendenti, senza intervento dei geni. Questi sono dunque caratteri ereditabili non-genetici ("eredità citoplasmatica"). In caso di riproduzione sessuale, l'eredità citoplasmatica avviene in genere per via materna poiché solo l'uovo possiede un abbondante citoplasma.

Da certi esperimenti, poi, risulta che alcune cellule "differenziate", cioè strutturate in vista di particolari funzioni, come si trovano in tutti gli organismi pluri-cellulari, possano in determinate circostanze "sdifferenziarsi" (diventando "staminali" o "pluripotenti") e produrre poi cellule di altro tipo; del resto, in molti organi degli animali e dei vegetali esistono cellule o interi tessuti che non si differenziano mai, come i "meristemi" (cambio e fellogeno) nei vegetali. In altre parole, da questi dati sembra che in molte cellule di un organismo anche complesso rimanga la possibilità di sviluppare i caratteri che normalmente si manifestano in altre categorie di cellule. Questa "pluripotenza" delle cellule si verifica facilmente negli embrioni, specialmente se molto giovani: una cellula od un pezzetto di tessuto prelevato da un embrione può essere capace di svilupparsi producendo un adulto completo, dotato di tutte le strutture normali. Da questi ed altri fatti (il caso della pecora clonata "Dolly") si è dedotto che in ogni cellula di un organismo pluricellulare può esistere la possibilità di esprimere in date circostanze tutti i caratteri di qualunque altra cellula dell'individuo adulto, quindi debbono essere presenti tutti i geni della

13 dal greco = corpi colorati, in quanto assorbono facilmente certi coloranti usati nello studio delle cellule (o "citologia"). In realtà, nei cromosomi non vi è solo DNA, ma anche una grande quantità di proteine particolari.

14 Un tessuto è un insieme di cellule simili che svolgono la stessa funzione.

cellula-uovo. A maggior ragione questo discorso è valido per gli uni-cellulari (microrganismi e simili) in cui la cellula o individuo figlio porta con sé direttamente tutti i caratteri dell'individuo che l'ha generato e non si divide in cellule differenti.

Pensiamo ora che tutti gli organi e tessuti di un organismo provengono dalla suddivisione ripetuta di un'unica cellula iniziale; se ne conclude che, nel corso di tutte le successive divisioni (riproduzione di un essere unicellulare o moltiplicazione delle cellule all'interno di un pluricellulare) si deve conservare lo stesso corredo di geni per duplicazioni successive: ogni divisione cellulare presuppone allora la duplicazione del **genoma** (cioè del complesso dei cromosomi e relativi geni).

La CARIOCINESI¹⁵ o MITOSI

È così chiamata la normale divisione di una cellula in due, come avviene nella maggioranza degli individui unicellulari (in questo caso essa funziona come normale processo di riproduzione e di moltiplicazione) e nella quasi totalità delle cellule degli organismi pluricellulari. Il processo è lungo e complesso, e si svolge con una successione regolare di "fasi", essenzialmente quattro, ma quello che interessa a questo punto del nostro discorso è il risultato finale: prima dell'inizio della divisione, ogni cromosoma si è duplicato; il filamento è diventato doppio e le due metà sono identiche; nel corso della mitosi avviene la separazione delle due metà di ogni cromosoma, ordinatamente, in modo che, alla fine, si trovano ai due poli della cellula due gruppi di cromosomi, gruppi identici a quello di partenza della cellula di origine. A questo punto la cellula si divide in due ed ognuna delle cellule figlie possiede un genoma identico a quello della madre.

In questo processo di duplicazione possono però avvenire delle anomalie, anche se raramente: alterazioni della struttura dei cromosomi, frammentazioni, duplicazioni parziali o ridondanti, ecc.¹⁶ Quando ciò avviene, la cellula che eredita il genoma alterato generalmente non sopravvive; se l'alterazione è compatibile colla sopravvivenza, la cellula o l'individuo che ne derivano potranno essere portatori di qualche anomalia; si parla di "malattie" o alterazioni genetiche. Raramente, si avranno alterazioni favorevoli, come la cosiddetta poliploidia.

Ma le alterazioni possibili non sono solo a carico dei cromosomi; si possono avere, per influenze ambientali o per casuali errori di duplicazione, cioè per cause fisico-chimiche, delle alterazioni di singoli geni; sono queste le "**mutazioni geniche**". La mutazione¹⁷ generalmente porta un brusco e radicale cambiamento nel genoma, e quindi un'alterazione di qualche carattere; ciò significa spesso un effetto letale o comunque difficilmente utile alla sopravvivenza. Nei rari casi in cui una mutazione comporti un nuovo carattere utile o una modificazione utile di un carattere preesistente, allora ciò può comportare bruscamente un miglioramento nelle capacità di sopravvivenza o di riproduzione dell'individuo che porta quella mutazione. Su questo ritorneremo.

La RIPRODUZIONE VEGETATIVA¹⁸

Abbiamo citato sopra la necessità, per qualunque essere vivente, di provvedere alla riproduzione ed in particolare alla moltiplicazione.

Nel caso degli unicellulari, la mitosi consente ad ogni individuo (cioè ad ogni cellula) di duplicarsi ed assicurare la produzione di due individui simili; mitosi, riproduzione e moltiplicazione si identificano. Ogni cellula, da sola, produce altri individui senza bisogno di fecondazione, cioè di sessualità. Si parla di riproduzione "asessuale" o "vegetativa" o "**àgama**".

¹⁵ Dal greco: "carion" = nucleo, e "kinesis" = movimento. "Mitosi" dal greco "mitos" = filo.

¹⁶ Sono queste le "**mutazioni cromosomiche**".

¹⁷ Il termine mutazione, di cui ci serviremo spesso, indica genericamente un'alterazione trasmissibile di qualche parte del genoma: gene o cromosoma.

¹⁸ In biologia, il termine "vegetativo" non si riferisce al mondo vegetale, ma è usato in contrapposizione a "sessuato".

Nulla di più semplice, se non si considerano i dettagli.

Nei pluricellulari¹⁹, le cose sono più complicate. A volte, la riproduzione agama o “vegetativa” è assicurata da organi complessi, definibili come gemme²⁰ (“gemmazione”) o “propàguli”, specie fra le piante; a volte da singole cellule o **spore**, anche qui molto diffuse fra le piante inferiori; altre volte da porzioni del corpo originate da segmentazioni ripetute, ecc. Il quadro è assai complesso, nel senso che vi sono modalità assai diverse in molti gruppi animali e vegetali; ma si tratta sempre di eccezioni. Intendiamo dire che la riproduzione vegetativa, da sola, presenta degli inconvenienti, che stiamo per esaminare, che le impediscono di essere molto diffusa.

Ecco in sostanza il problema. In ogni tipo di riproduzione agama, la cellula o le cellule che danno origine al nuovo individuo possiedono tutte lo stesso genoma poiché provengono per successive mitosi da un'unica cellula iniziale. Gli individui figli saranno quindi tutti simili, portatori degli stessi caratteri: è questo, genericamente parlando, un **clone**.

Vi sono alcuni fatti che intaccano il semplicismo di quest'affermazione: – durante la mitosi, si è visto, si possono verificare mutazioni cromosomiche o geniche; non tutte le cellule o le spore formate da una lunga serie di mitosi saranno necessariamente identiche; – quando la riproduzione agama è attuata con un organo pluricellulare (gemma o simili), le varie cellule della gemma, in base alle citate anomalie nelle successive mitosi, non sono necessariamente identiche dal punto di vista genetico; la gemma è costituita da un “mosaico” di cellule che possono essere leggermente diverse fra loro e l'individuo che ne deriva porterà con sé questo mosaico di genomi simili.

Ma, sostanzialmente, la riproduzione vegetativa porta ad una grande uniformità di caratteri nelle generazioni successive. Il suo grande vantaggio è che, senza fecondazione, ricerca dell'altro sesso, ecc. un solo individuo può produrre rapidamente un numero anche enorme di discendenti (basta pensare alle spore dei funghi). La moltiplicazione numerica è facile e rapida. **Ma l'inconveniente dell'uniformità genetica è predominante.** Ecco perché.

Abbiamo già accennato alla necessità, per qualunque forma vivente, di fronteggiare le innumerevoli difficoltà legate alla sopravvivenza in ogni dato ambiente. Le forme che non riescono a superare questo esame soccombono. Quelle che sopravvivono per un tempo più o meno lungo devono essere “adattate”, e cioè devono avere acquisito, nel corso del tempo, delle strutture e delle funzioni tali da assicurare la sopravvivenza nel loro particolare ambiente. Considerando quindi una qualunque specie vivente (magari vivente solo per un dato periodo geologico del passato), è chiaro che essa, per il solo fatto di essere arrivata fino a quel momento, si è trovata in stato di sufficiente adattamento rispetto ad ogni ambiente in cui, volta per volta, si è trovata a vivere, od in cui è attivamente migrata.

Ma l'ambiente è definito da numerosi fattori: fisici (clima, struttura ed orientamento del terreno, disposizione geografica, presenza di ripari); chimici, (composizione del terreno, dell'acqua, dell'atmosfera); biologici (presenza od assenza di vegetazione, di cibo, di prede, di predatori, di parassiti, di malattie contagiose, di specie concorrenti, ecc.). E questi fattori non sono costanti nel tempo, specialmente quelli climatici e biologici. È sufficiente la comparsa di un nuovo parassita o la riduzione di una specie-preda per mettere in crisi la sopravvivenza di una data specie.

Ebbene, se una popolazione originata per via agamica, e quindi omogenea, è ben adattata ad un certo ambiente, e sopravviene in quest'ambiente un cambiamento, la crisi è probabile: l'adattamento è andato perduto.

Supponiamo invece una specie dotata di “**variabilità**”, come è la condizione normale (e vedremo perché): non tutti gli individui sono uguali; la maggioranza di essi sono ben adattati ma vi sono minoranze, anche piccole, di individui “varianti”, meno adattati, ma capaci di sopravvivere. Quando si verifica un cambiamento ambientale, magari brusco, la maggioranza

¹⁹ si parla di **Metazòti** fra gli animali e di **Metàfiti** fra le piante.

²⁰ Le “gemme” negli animali hanno struttura, origine e funzione non identica a quella delle gemme vegetali.

degli individui, che prima del cambiamento erano adattati, soccomberanno, ma nelle minoranze varianti vi può essere qualche gruppetto che si trova in condizioni migliori e può assicurare la sopravvivenza della specie. E con un ulteriore vantaggio: essendo scomparsa la maggioranza degli individui della stessa specie, i pochi sopravvissuti troveranno minore concorrenza per il cibo, i ripari, i territori di nidificazione, ecc. E presto si riformerà una popolazione numerosa, abbastanza adattata, diversa dalla precedente. Il “gioco” delle minoranze varianti sta in questo: esse portano alcuni caratteri “diversi”, magari inutili o dannosi nell’ambiente prima del cambiamento; ma dopo il cambiamento qualcuna delle varianti può trovarsi casualmente “pre-adattata” e vince la partita.

Alla generazione successiva, la nuova popolazione sarà composta in maggioranza dagli individui varianti pre-adattati e quindi avrà forti probabilità di successo.

Se si ripete il ragionamento per una serie di generazioni successive, è ovvio che, ad ogni generazione, aumenterà la percentuale degli individui meglio adattati e si ridurrà quella dei meno adattati, dei meno variati; ed ogni generazione porterà un miglioramento nell’adattamento della specie in generale. Ecco l’utilità della morte e della successione delle generazioni²¹.

Senza volere, abbiamo enunciato uno dei meccanismi fondamentali dell’evoluzione; ma tutto il discorso si basava sull’ipotesi della presenza, in ogni popolazione, di individui varianti, più diversificati e più numerosi di quelli consentiti dalle rare mutazioni utili conseguenti alla mitosi. La natura ha ottenuto questa variabilità con la “invenzione” della sessualità: la variabilità legata alla riproduzione vegetativa non è sufficiente.

La RIPRODUZIONE SESSUATA

Supponiamo ora che l’elemento generativo, la cellula iniziale da cui deriva ogni individuo per una serie di mitosi successive, non sia prodotto autonomamente da un solo individuo, ma venga dalla fusione (“fecondazione” o “zigosi”) di due cellule, provenienti da linee germinali diverse, cioè da due organi od organismi diversi. Di solito, fra i vegetali come fra gli animali, queste due cellule (**gameti**) sono assai diverse: l’una, piccola e mobile, di solito dotata di un flagello²², è considerata maschile (spermatozoo, fra gli animali, anterozoo per le piante); l’altra, grande ed immobile, ricca di materiale nutritivo di riserva, è considerata femminile (uovo, ovocellula, oosfera e simili).

I gameti dei due sessi possono essere portati da due individui diversi, maschio e femmina (specie **dioiche**²³, se vegetali, “a sessi separati”, se animali), oppure da uno stesso individuo. Se l’individuo produttore di gameti dei due sessi è unico, esso è detto, fra gli animali, ermafrodita o **ermafrodito** (da Hermes = Mercurio ed Afrodite = Venere); per le piante, l’individuo portatore dei due sessi è detto **monoico** se produce fiori maschili e femminili distinti, **ermafrodito** se produce fiori produttori ognuno di gameti dei due sessi.

I vantaggi della zigosi, la fusione di due cellule, sono due, uno più ovvio, l’altro più complesso. L’uovo che è stato fecondato, cioè dopo la fusione collo spermatozoo, si chiama **zigote**; la prima conseguenza della zigosi è l’**anfimissi**, cioè il mescolarsi nello zigote di due genomi, di due corredi genici che, per quanto appartenenti alla stessa specie, saranno certamente

²¹ Casi ben noti di questa sopravvivenza delle minoranze si sono visti in tempi storici dopo l’introduzione improvvisa di nuovi insetticidi, antibiotici, ecc.: dopo una prima riduzione di quella data specie di parassita, di micròbio, ecc., si sono formate delle popolazioni “resistenti” al sopravvenuto cambiamento e, col tempo, la specie si è di nuovo moltiplicata, fino a richiedere l’introduzione di sempre nuovi insetticidi, antibiotici, ecc. Ed il processo non ha fine.

²² Il flagello è un lungo filamento che si muove come la coda di un’anguilla e consente nell’acqua il movimento della cellula che lo possiede. Vi sono cellule con due o più flagelli. Sono flagellati molti microrganismi unicellulari, spore, gameti, cellule e tessuti di organismi pluricellulari.

²³ Dal greco “oikos” = casa.

un po' diversi; affermazione tanto più valida quanto più i due partner proverranno da popolazioni diverse o razze diverse²⁴. Tutto ciò produce un aumento della variabilità della specie.

L'altro vantaggio è assai più indiretto. Occorre qualche premessa.

Da quanto detto sopra sui cromosomi, si può intuire che, essendo costante il numero di cromosomi prima e dopo la mitosi, ogni cellula di ogni individuo di una data specie contiene un corredo costante di cromosomi, in numero fisso.

Se questo discorso fosse valido anche per i gameti sarebbe il caos: la zigosi raddoppierebbe il numero di cromosomi rispetto a quello dei genitori; nella generazione successiva si avrebbe un numero quadruplo e via di seguito.

Deve assolutamente esistere un meccanismo che consenta, durante la maturazione dei gameti, di dimezzare il numero dei cromosomi per poi recuperare nello zigote il numero normale. È la cosiddetta **meiosi** o "divisione riduzionale".

Lo stesso processo si verifica durante la formazione dei gameti femminili e di quelli maschili. Abbiamo così chiarito che i gameti dei due sessi possiedono lo stesso genoma, o almeno lo stesso corredo cromosomico; lo zigote possiede un duplice corredo, divisibile in due metà uguali: un corredo di origine materna ed un uguale²⁵ corredo paterno. I suoi cromosomi si possono quindi riunire in coppie **omologhe**: ogni coppia con un componente materno ed uno paterno.

Fig. 4 — Schema di meiosi, in un caso semplice ideale. Sono indicate due coppie di cromosomi omologhi (in nero, di origine paterna; in bianco, di origine materna). Le coppie si distinguono per la diversa lunghezza.

In 1, la cellula all'inizio della prima divisione: comincia la formazione dell'"aster"²⁶ attorno a due corpuscoli chiamati "centrioli".

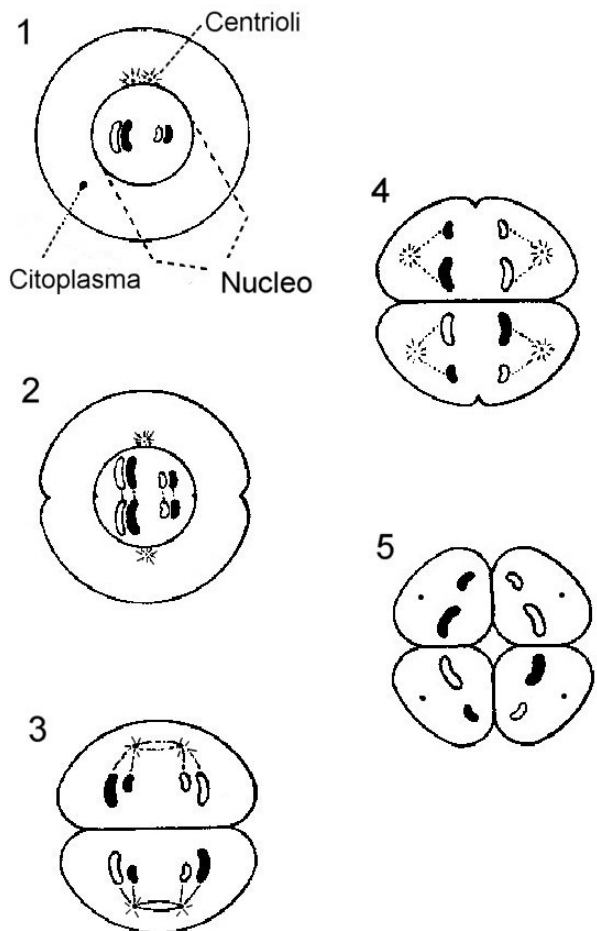
In 2, i centrioli si sono portati ai due poli della cellula; i cromosomi si sono sdoppiati ("tetradi"). Comincia la divisione del nucleo e dell'intera cellula secondo un piano equatoriale.

In 3, i due aster hanno già attirato verso i due poli i due gruppi di cromosomi; questi gruppi sono ancora normali, diploidi (vedi sotto), formati da un corredo completo di 4 cromosomi, accoppiati due a due. Si noti che, già in questo stadio, può avvenire uno scambio fra cromosomi paterni e materni.

In 4, avviene la seconda divisione meiotica, ma questa volta "riduzionale", senza sdoppiamento. Inizia un nuovo strozzamento delle due cellule. I gruppi dimezzati di cromosomi vengono ancora una volta attirati verso i due poli delle due mezze cellule dai nuovi centrioli, che nel frattempo si sono divisi anch'essi.

In 5, le quattro cellule si sono completamente separate, ma possiedono un corredo dimezzato (aploide) di cromosomi, che porta con sé lo scambio paterno-materno osservato allo stadio 3. I quattro aster sono scomparsi. Fra poco, si riformeranno le quattro membrane nucleari.

(Da: M. Sturani — Vita delle farfalle — De Silva, Torino, 1947, p. 28. Modif.)



24 Tutti conoscono il "lussureggiamento" degli ibridi, cioè l'aumento di vitalità che si riscontra negli animali "bastardi", provenienti da incroci fra razze diverse. Le cause di questo fenomeno sono però assai più complesse di quanto non derivi dalla sola anfimissia. Negli animali superiori vi sono inoltre meccanismi genetici di autodistruzione degli incroci fra consanguinei (i figli da incesto sono spesso anomali).

25 Uguale almeno rispetto al numero ed alla struttura generale dei cromosomi, ma con piccole possibilità di differenze nei singoli geni.

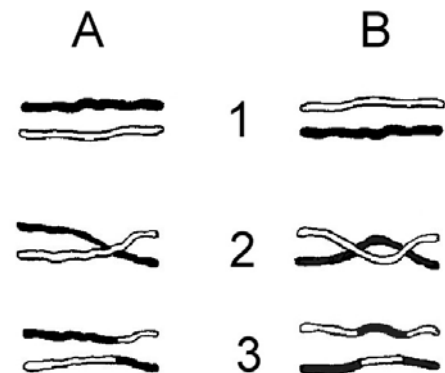
26 L'"aster" è una struttura a raggiera formata da microtubuli proteici che hanno la funzione di trascinare i cromosomi verso le estremità della cellula prima che questa si divida.

Questo duplice corredo dello zigote è detto **diploide**²⁷. Se questo deve rimanere il corredo di tutte le cellule dell'individuo che si origina da quello zigote, bisogna per forza che, durante la formazione dei gameti, il corredo venga dimezzato (corredo **aploide**²⁸). Questo dimezzamento del corredo nei gameti avviene con una particolare divisione cellulare, che è diversa dalla mitosi, e che almeno negli animali precede immediatamente la maturazione dei gameti: la già citata meiosi (fig. 4).

Anche questa divisione è lunga e complessa, e consiste anzi di due divisioni successive; ma il risultato finale è la formazione di gameti (maschili e femminili) aploidi: durante l'ultima divisione di maturazione, viene a mancare il normale raddoppio, ed il corredo si dimezza. Ma ...

Durante la meiosi, il corredo diploide delle cellule progenitrici dei gameti (oociti e spermatociti, globalmente chiamati **gametociti**) non viene diviso in due metà nette (metà cromosomi, quelli materni, in un gamete; l'altra metà, i paterni, nell'altro): vi può essere un certo grado di rimescolamento. Ma non è tutto qui, ed ecco la sottigliezza. In un certo momento della meiosi, due cromosomi omologhi, cioè uno materno ed uno paterno nella stessa coppia, aderiscono fra loro per la lunghezza ed eventualmente si incrociano come se si incollassero in uno o più punti; quando i due omologhi si separano per la divisione del gametocita in due gameti aploidi, i due cromosomi originati dalla separazione possono risultare misti, cioè contenere parte del cromosoma materno e parte del paterno; è come se, nei punti di incrocio ("**chiasmi**" o "**crossing-over**"), i cromosomi si spezzassero, gli stessi pezzi per i due cromosomi della coppia e, dopo la divisione, i pezzi di un cromosoma si potessero riattaccare ai pezzi mancanti che provengono dall'altro cromosoma. Il numero di incroci (crossing-over) è naturalmente variabile; con un solo incrocio i due cromosomi si spezzano in due parti ognuno (fig. 5 A); con due incroci si hanno tre parti (fig. 5 B), ecc. Si può arrivare ad 8 – 12 incroci. Nella fig. 5 sono indicati in nero i cromosomi paterni, in bianco quelli materni e si mostrano i cromosomi prima (1) e dopo la divisione (3).

Fig. 5 – Schema di chiasma fra cromosomi nel corso della meiosi. In nero i cromosomi di origine paterna, in bianco quelli materni. In A1, 2, 3 lo scambio di parti fra due cromosomi omologhi con un solo chiasma; in B1, 2, 3, con due chiasmi. Nei punti di incrocio, i cromosomi si attaccano l'uno all'altro in modo che i frammenti di origine paterna e materna possono separarsi dal cromosoma di origine ed unirsi agli altri in modo da ricostituire un cromosoma intero, ma con un mosaico di parti.



È evidente che, dopo la divisione con crossing-over, i cromosomi risultano composti da un mosaico di pezzi di diversa origine. Ma c'è di più: i singoli pezzi di cromosoma, nel ricomporsi dopo la divisione, non rispettano l'ordine e l'orientamento che avevano all'interno del cromosoma di origine; essi possono "ricucirsi" con ordine diverso o invertendo il proprio orientamento. Alla fine, la lista completa dei geni di ogni cromosoma viene ricostruita (ogni pezzo di cromosoma che si sposta viene sostituito dal pezzo corrispondente dell'altro cromosoma della coppia); quindi il genoma complessivo dei gameti è uguale a quello delle altre cellule del genitore, ma ogni nuovo cromosoma può essere costituito da un miscuglio di geni materni e paterni, **DISPOSTI CON ORDINE DIVERSO DA QUELLO INIZIALE**. Non vi è quindi solo un miscuglio di geni materni e paterni, ma ogni gene può trovarsi inserito in mezzo ad altri geni che nella disposizione originaria gli erano lontani all'interno del cromosoma non ancora incrociato. Questo è un fatto da non sottovalutare: i rapporti di contiguità fra un gene e quelli che gli sono a lato vengono casualmente alterati dopo il crossing-over. Ed è qui il vantaggio della meiosi nei confronti della variabilità della specie: la manifestazione ("**espressione**") di un gene, cioè la sua

27 Il numero corrispondente di cromosomi è indicato con l'espressione **2 n**.

28 Indicato con l'espressione **n**.

capacità di influire sui caratteri esteriori dell'adulto (il “**fenotipo**”), può dipendere dalla contiguità di un gene con altri geni; se la meiosi, attraverso il meccanismo del crossing-over, altera questi rapporti di contiguità, viene alterata anche la capacità dei geni di “esprimersi”, di determinare il fenotipo. Ciò aumenta la probabilità di produrre individui con diversi caratteri esteriori, cioè aumenta la variabilità della specie.

Ecco qui in sintesi la catena delle cause e degli effetti: — la variabilità (nel tempo) dell'ambiente presuppone una variabilità (differenze fra un individuo e l'altro) nella specie per spiegare il pre-adattamento e la sopravvivenza — le mutazioni spontanee all'atto della mitosi non sono sufficienti — occorre facilitare la variabilità della specie favorendo i “rimpasti”, il rimescolamento di cromosomi e geni — è quindi utile la sessualità, consistente nel sovrapporsi, durante la zigosi, dei genomi di due individui diversi — la zigosi, per rispettare il numero normale o diploide dei cromosomi nello zigote, presuppone una divisione riduzionale, cioè la meiosi, nel corso della gametogenesi — durante la meiosi si può verificare il crossing-over, cioè un rimescolamento dei geni dei due cromosomi omologhi di ogni coppia (“**ricombinazione**”), e quindi anche un'alterazione dei rapporti di contiguità fra i vari geni — questo altera le capacità espressive dei vari geni e quindi aumenta la varietà dei fenotipi prodotti sessualmente; dunque la variabilità della specie.

Schematizzando molto, questa è la ragione per cui la sessualità, con tutti i suoi inconvenienti (consumo di energie e di tempo nella ricerca del partner, possibilità di errore nell'accoppiamento, con produzione di ibridi sterili, ecc.), si è affermata in tutto il mondo animale e vegetale; sono poche (specialmente fra i microrganismi) le specie in cui non è ancora stata dimostrata la sessualità.

Un'altra causa di variabilità, di cui si parla poco, è il “flusso” o “**deriva**” o “**drift genetico**”, consistente in una variazione casuale della distribuzione dei vari **alleli**²⁹ in una popolazione. Per es. se la popolazione è piccola, un fenomeno casuale, legato ad una qualunque delle cause di variabilità, o all'immigrazione di qualche individuo da una popolazione vicina, può provocare una sensibile alterazione delle percentuali alleliche. Così, una variazione ambientale può provocare una mortalità differenziale (alcuni individui risulteranno più vulnerabili di altri) oppure un'alterazione nel rapporto fra i sessi (per es., in certi rettili quel rapporto è fortemente influenzato dalla temperatura). In generale, una spinta selettiva improvvisa può alterare una distribuzione di alleli nella popolazione, aprendo la strada ad una svolta evolutiva.

Tutte le cause di variabilità elencate finora sono legate alla composizione del genoma, e quindi sono ereditarie: è questa ereditarietà che consente la conservazione a tempo illimitato delle variazioni eventualmente favorevoli e quindi, in buona sostanza, l'evoluzione.

GENOMA e SOMA

Negli organismi unicellulari l'individuo, da solo, costituisce il germe (gamete, spora, ecc.) e contiene il genoma. Quando esso si riproduce, o fondendosi con un altro individuo-gamete o dividendosi in spore, esso scompare come individuo per dar luogo allo zigote o alle spore; non vi è dunque un “corpo vegetativo” o **soma** : tutto l'individuo partecipa alla riproduzione senza lasciare un soma morto, un cadavere. Nei pluricellulari, invece, si distinguono le cellule della linea germinale, quelle che abbiamo chiamato gametociti (che potenzialmente possono sopravvivere in eterno dando origine a zigoti ed a nuovi individui), dalle cellule della linea somatica, il soma appunto, che costituiscono tutto il resto dell'organismo e che sono destinate a degenerare con la morte dell'individuo. Nei pluricellulari vi è dunque una linea cellulare

²⁹ Si chiama “allele” ogni possibile forma in cui si può presentare un qualunque gene in una definita posizione (“**locus**”) su un certo cromosoma. In una data popolazione, l'insieme degli alleli che controllano (o “codificano per”) tutti i caratteri di tutti gli individui viene detto **pool genico**. La “genetica di popolazione” è la scienza che studia la variabilità della frequenza con cui gli alleli compaiono nel pool di ogni specie.

germinale, potenzialmente immortale, portatrice del genoma riproduttivo, ed una linea somatica che si rinnova, una generazione dopo l'altra. La funzione del soma è appunto quella di favorire l'affermazione della linea germinale, consentire la gametogenesi, l'incontro dei sessi e la zigosi. Un biologo moderno ha detto, in modo realistico, che "la gallina è un oggetto inventato da un uovo per facilitarli il lavoro di fabbricare altre uova", in sostanza, assicurare la continuità della linea germinale, del genoma, quindi della specie.

METAGENESI

S'intende con questo termine l'alternanza più o meno regolare, nel corso del ciclo biologico di una specie, di una fase (generazione) sessuata con una o più generazioni agame. Questa alternanza si può svolgere con modalità assai diverse, ma lo schema di base è riconoscibile in tutto il mondo vivente.

Infatti, supponendo la sessualità come il meccanismo riproduttivo prevalente nel mondo vivente, risulta da quanto detto finora che tutti gli organismi sessuati possiedono un ciclo biologico formato almeno da due fasi: 1) l'individuo adulto (unicellulare o pluricellulare) formato da cellule diploidi; è questo il "diplonte" o "diplobionte"; 2) i gameti che, in seguito alla meiosi, sono divenuti aploidi; è questo l'"aplonte" o "aplobionte". Il diplonte produce i gameti per via asessuata, per semplice divisione cellulare; i gameti producono lo zigote per via sessuata, per la fusione (fecondazione) di due gameti di sesso diverso.

Negli animali, il diplonte o fase diploide rappresenta l'intero sviluppo dell'individuo, che inizia con lo zigote (uovo fecondato) e termina con la gametogenesi e relativa meiosi; l'aplonte, o fase aploide, dura finché dura il gamete, ed in genere è limitato alla sola cellula gametica. Qui, il ciclo della metagenesi è ridotto alla fase diploide, concedendo all'aplonte solo la breve esistenza del gamete.

- In alcune specie animali, appartenenti a gruppi assai diversi, Insetti (come Afidi, Imenotteri, ecc.), Rotiferi ed altri, si ha la **eterogonia** ("generazione alternante"), cioè l'alternanza più o meno regolare di normali generazioni sessuate con generazioni "partenogenetiche", in cui le uova si sviluppano senza fecondazione. Ma si tratta di casi isolati, frutto di adattamenti particolari, che si svolgono con meccanismi molto vari, in cui le uova possono essere diploidi o aploidi. Comunque, la partenogenesi è ancora da considerare una riproduzione sessuata, visto che si svolge a mezzo di cellule specializzate come le uova; manca però la fecondazione. Per contrapposizione, quando vi è fecondazione, si parla di **anfigonia**. •

Invece, nelle piante inferiori o Crittogame (dalle alghe alle felci), la fase aploide non si limita ai gameti: l'aplonte può essere un vero e proprio individuo, che mena vita autonoma e produce a tempo debito i gameti (senza meiosi, poiché esso stesso è aploide) e si chiama quindi **gametòfito**³⁰. Dalla fecondazione dei gameti si genera lo zigote, ovviamente diploide, che si sviluppa in un nuovo individuo, diploide. In questo caso il diplonte è una pianta assai diversa dall'aplonte, e produce cellule germinali non sessuate ("spore", da cui il nome di "**sporòfito**"³¹); la meiosi ha luogo durante la maturazione delle spore ("sporogenesi"), e perciò si parla di meiosi "sporica" e di "meiospore"; le spore sono di conseguenza aploidi.³² È questa una metagenesi tipica.

Mentre nel caso degli animali, in maggioranza, la meiosi è "terminale", poiché avviene durante la gametogenesi ed è subito seguita dalla zigosi e dalla fase diploide, nelle piante sopra citate la meiosi avviene solo al termine della vita dello sporofito, e la fase aploide può essere più vistosa e più duratura della fase diploide, come nei muschi.

Solo in rari casi (certe alghe, ad es.) avviene l'opposto che negli animali: il diplonte si riduce fino a scomparire poiché la meiosi è "zigotica" (o "iniziale"), cioè avviene subito dopo la

³⁰ Si pronuncia con l'accento tonico sulla prima "o"; si può dire anche "gametòfita" per gli esseri femminili.

³¹ Si può dire anche "sporòfita" se riferito ad esseri femminili. Dato che si origina per zigosi o anfigonia, si chiama anche "anfionte".

³² In realtà, in molte piante inferiori si osservano durante il ciclo biologico anche altre generazioni soprannumerarie produttrici di spore che non derivano da meiosi (sono queste i conidi o conidiospore).

fecondazione e l'individuo "normale" è aploide e naturalmente produce gameti aploidi senza ulteriore meiosi. Il diplonte si limita allo zigote.

Nelle piante superiori (Fanerogame o piante con semi e fiori), si ha una meiosi terminale, durante la gametogenesi, per cui l'individuo adulto è diploide ed il gametofita si riduce ad una o poche cellule che accompagnano il gamete (parti dell'ovulo e del granulo pollinico).

In questa sede non è possibile approfondire questo argomento, che permette di stabilire interessanti rapporti fra piante ed animali o fra gruppi diversi, e consente di interpretare correttamente le varie forme che si succedono durante il ciclo biologico della maggioranza dei viventi. Si noti però che la zigosi, da sola, non produce moltiplicazione, aumento numerico degli individui (due gameti producono un solo zigote); la moltiplicazione si ha solo durante la gametogenesi (un solo individuo produce molti gameti e, potenzialmente, molti zigoti) o durante la produzione di spore agame, come nelle piante inferiori.

L'EVOLUZIONE ORGANICA

È bene forse porre subito l'accento sul concetto di unitarietà e continuità di tutte le forme viventi³³. Che la vita abbia un'origine "monofiletica", da un unico antenato comune, oppure "polifiletica", da più ceppi che sono evoluti in parallelo, non è ancora chiaro. E neppure è chiaro se eventuali differenti antenati, in virtù della loro semplicità strutturale, possano essersi scambiati materiale genetico fino a confluire in un unico ceppo, oppure se uno solo di essi sia sopravvissuto a scapito degli altri, o se veramente sia stato unico fin dall'inizio.

Ma, forse, questo non è importante, sia perché il processo evolutivo è stato così lungo da rendere sfumata ogni traccia delle origini, sia perché, comunque, non esistono fossili e non sapremo mai tutto.

Rimane il fatto che ormai troppi argomenti propendono per un'origine comune, monofiletica. E ciò per vari motivi: intanto, l'"albero" della classificazione è molto congruente e non richiede origini separate; in secondo luogo, è difficile immaginare meccanismi fondamentali per la vita diversi da quelli che conosciamo, che sono legati a proprietà chimiche fondamentali della materia; in terzo luogo, sono troppi i caratteri comuni a tutti i viventi:

- il codice essenziale per l'eredità, contenuto nel "genoma", è sempre basato su due tipi di molecole (DNA e/o RNA) altamente complesse e dotate della necessaria specificità³⁴;
- i meccanismi biochimici fondamentali della vita (produzione di energia, assimilazione degli alimenti, metabolismo in genere), benché assai vari, hanno molto in comune;
- la genealogia (filogenesi) basata sulla tradizionale classificazione e quella basata sulle somiglianze genetico-molecolari si somigliano troppo; anche le "omologie", cioè le somiglianze strutturali fra gli organi di specie o gruppi diversi tradiscono sempre un'origine comune;
- anche i dati paleontologici, se saggiamente interpretati, collimano con la filogenesi genetica.

Basti pensare, come esempio, che tutte le strutture contrattili conosciute, dai Protozoi all'uomo, dai filamenti del "fuso mitotico" che trascinano i cromosomi durante la mitosi, alle fibrille citoplasmatiche che provocano i movimenti interni delle cellule, alle strutture che muovono le "ciglia vibratili" dell'epitelio della nostra trachea, fino ai muscoli evoluti degli insetti e dei mammiferi, sono tutte costituite dalla stessa coppia di proteine: l'actina e la miosina.

Entriamo ora nel vivo.

Abbiamo già accennato sopra al rapporto esistente fra variabilità, selezione, adattamento

³³ Si veda: T. Pievani, "Un comune antenato universale", *Le Scienze*, Giugno 2010; da quell'articolo sono stati estratti alcuni dei concetti esposti in questo testo.

³⁴ Sembra che di recente siano stati rinvenuti speciali batteri nel cui metabolismo è presente l'arsenico in luogo del fosforo. Certamente una trovata originale dell'evoluzione, ma la struttura di fondo del genoma è la stessa che si osserva in tutto il mondo vivente.

della specie, successione delle generazioni. Si tratta di una serie di fenomeni collegati, in cui non è possibile dire se sia “nato prima l'uovo o la gallina”. Ma cerchiamo di chiarire, analizzando prima alcuni

CONCETTI DI BASE

•• **Adattamento**: come è intuitivo, è la corrispondenza fra uno o più caratteri (fenotipici) di una data specie e le esigenze della relativa “nicchia ecologica” (vedi subito sotto); esso indica quindi la capacità di una data specie di sopravvivere in quella nicchia, relativamente a quel carattere. Per es. se un erbivoro vive in un certo ambiente assieme a predatori veloci, esso sarà adattato rispetto a quest'aspetto dell'ambiente solo se la sua velocità di fuga sarà mediamente non inferiore a quella del predatore. Altrimenti ... peggio per lui.

Il fenomeno dell'adattamento però non è così semplice. Per es., si è visto che un gene “**pleiotropico**” controlla più di un carattere; avviene anche che diversi geni tendano a rimanere legati fra loro nel corso delle mitosi o delle meiosi (“link”, vedi oltre; vedremo anche un caso concreto di link); può quindi accadere che un carattere altamente adattativo, cioè utile alla sopravvivenza in un dato ambiente, sia collegato in qualche modo con uno od altri caratteri inutili o dannosi; la “pressione” selettiva favorisce il carattere utile, ma così favorisce anche quello dannoso. Può anche accadere che un carattere dannoso risulti tollerabile quando una popolazione invade una nicchia nuova con poca competizione: la mancata competizione può portare ad una mancata selezione nei confronti di quel carattere. Ciò spiega la presenza in tante specie di caratteri di cui non si comprende l'utilità e che appaiono non-adattativi.

•• **Fitness** - E' un sinonimo di “adattamento” se riferito al complesso degli adattamenti di un organismo nei confronti del suo ambiente. Indica globalmente la capacità di un organismo di sopravvivere, di sfruttare le possibilità dell'ambiente, di reagire con successo ai fattori negativi ed ai pericoli, di riprodursi.

•• **Nicchia ecologica** - Non indica un “ambiente” topograficamente definito, ma un dato modo di vivere in quell'ambiente, un rapporto complessivo fra l'organismo e l'ambiente. Ad es., nello stesso metro quadrato di prato c'è posto per il grande vegetariano (capriolo, lepre, ecc.), il piccolo vegetariano (insetti, ecc.), il granivoro (insetti, uccelli), lo scavatore (insetti, roditori), i parassiti per tutti i precedenti, i “saprofiti” che vivono di resti morti (insetti, muffe), ecc. Dunque, nello stesso ambiente possono coesistere numerosissime “nicchie” diverse; ognuna caratterizzata da particolari adattamenti che ogni specie presenta, cioè dal suo modo di stare in rapporto con l'ambiente (e di sopravviverci). Le differenti nicchie di solito non interferiscono l'una con l'altra. Ogni specie ha la sua.

La nicchia è quindi un particolare modo di rapportarsi ad un dato ambiente.

Se la stessa nicchia ecologica viene adottata nello stesso ambiente da due o più specie, anche non simili, immediatamente esse entrano in competizione (appunto perché hanno gli stessi bisogni, lo stesso nutrimento, ecc.). Prima o poi una delle due soccombe. Infatti, qualche piccola differenza nella loro fitness salta fuori su qualche dettaglio, ed allora la specie meglio adattata, col succedersi delle generazioni, finisce per prevalere sull'altra, in quanto più abile nella ricerca del cibo, nello sfuggire ai predatori, ecc.

•• **Tasso riproduttivo**: è il rapporto fra i nati vitali ed i morti che una certa popolazione presenta in un certo tempo. Il suo valore è legato ad un'infinità di fattori, riassumibili come capacità di sopravvivenza, dipendente ovviamente dalla “fitness”. Affinché una specie sopravviva per un numero elevato di generazioni, occorre che il suo tasso riproduttivo medio rimanga superiore o uguale ad uno per tutto quel tempo. Basta fare un semplice esempio: se una data popolazione ha un tasso riproduttivo di 0,99 (per 100 morti vi sono 99 nati capaci di crescere e riprodursi), la specie si riduce numericamente con rapidità: dopo una generazione, una popolazione di 1.000 individui diventerà di 990; in seconda generazione diventerà di 980 circa, poi di 970, di 961, 951, 941 ecc. Prima o poi si arriva all'estinzione. D'altra parte, anche un tasso riproduttivo superiore ad 1 non è sostenibile a lungo poiché l'incremento numerico della specie porta rapidamente all'esaurimento delle fonti di alimento, all'accumulo dei rifiuti, alla mancanza di spazio per la nidificazione, al diffondersi di malattie contagiose, ecc. Dunque, in

tempi lunghi, il tasso riproduttivo deve oscillare intorno al valore 1 e, se avviene una variazione forte,³⁵ essa non può protrarsi a lungo.

•• **Selezione:** è l'azione di filtro dell'ambiente nei confronti delle popolazioni che lo occupano; il filtro consiste in fattori positivi (disponibilità di cibo, di acqua, di ripari, ecc.) e negativi (predatori, parassiti, malattie, siccità, temperatura, ecc.). La specie, con tutte le sue varietà, risponde direttamente ed indirettamente a questo "filtro" attraverso i vari adattamenti che consentono alle singole varietà di sfruttare più o meno i fattori positivi e difendersi da quelli negativi. Se il risultato di questa interazione porta ad un tasso riproduttivo almeno uguale ad 1, la specie, o qualche sua varietà, sopravvive; altrimenti, prima o poi, si estingue. Poiché la selezione opera complessivamente su tutta la flora e la fauna presenti in ogni dato ambiente, il discorso si ripete, simultaneamente, per ogni specie o varietà. Finché le specie non sono in competizione fra loro, cioè occupano nicchie diverse, hanno storie indipendenti; ma al minimo accenno di competizione si verifica la selezione fra specie, nel senso che una specie o varietà può aumentare numericamente a spese di un'altra, dotata di minore "fitness". In altre parole, la selezione opera selettivamente su diverse forme o varietà di una stessa specie ma anche su tutte le specie che, in qualche modo, si trovano a confrontarsi con quell'ambiente.

Accanto a questa "selezione di specie", esiste ovviamente una "selezione fra individui", per la quale, all'interno di ogni specie o popolazione, gli individui competono per ogni forma di risorse e risulteranno più fecondi ("premiati" dalla selezione) quelli "più adatti", quelli che emergeranno per un maggiore tasso di riproduzione "differenziale" (cioè valutato per confronto con quello degli altri individui, non per il suo valore assoluto).

Allo stesso modo, si parla spesso di "selezione di gruppo" e di "selezione di parentela", nel senso che la competizione, e quindi la selezione, possono presentarsi anche fra "gruppi", per es. piccole popolazioni con lievi differenze per qualche carattere, ma omogenee al loro interno, oppure fra "stirpi" di individui legati da vari gradi di parentela (vedi a pag. 43 e 76/77, nonché: Dawkins, 1976). Quest'ultimo autore ha anche indagato molto sul concetto di "selezione fra geni", il meccanismo per cui, fra i vari geni all'interno di un dato genoma, avviene una selezione in base alla loro capacità di conservarsi e duplicarsi nella successione delle generazioni.

Riprenderemo più sotto questi concetti, i quali d'altra parte sono ben illustrati nelle opere citate nella bibliografia.

Ecco intanto che possediamo tutti i concetti-base per comprendere il meccanismo dell'evoluzione. Sappiamo già che per vari fattori (mutazioni utili, anfibiossi conseguente alla riproduzione sessuata, ricombinazione del genoma durante la meiosi, immigrazioni, ecc.) ogni specie presenta una certa "variabilità", cioè una gamma di differenze fra ogni individuo e tutti gli altri; questo significa: 1) possibilità di preadattamenti, preziosi nel caso di brusche variazioni dell'ambiente, come già accennato sopra, o nel caso di emigrazione in ambienti nuovi; 2) possibilità dell'ambiente di selezionare, cioè favorire (si parla di "premio" selettivo) certi individui, meglio adattati, rispetto agli altri.

Se l'ambiente e la variabilità fossero stabili, finirebbero per prevalere gli individui meglio adattati e la variabilità della specie si restringerebbe ad un unico modello di individui tutti uguali, tutti adattati allo stesso modo. Ma la variabilità si rinnova continuamente poiché i meccanismi che la sostengono si ripetono ad ogni generazione, e l'ambiente, per cause geografiche, astronomiche, biologiche, ecc. cambia pure. Per cui la selezione è sempre operante e, di conseguenza, vengono sempre a prevalere le forme volta per volta dotate di "più fitness". L'adattamento è sempre provvisorio.

Ma, a questo punto, l'evoluzione potrebbe consistere semplicemente in un succedersi di forme sempre adattate che "inseguono" l'ambiente, nel senso che ne seguono le variazioni e vengono da questo "filtrate" o selezionate. Infatti, è questo uno dei modi di procedere dell'evoluzione: da ogni forma vivente, col tempo, si origina una nuova forma in relazione alle nuove esigenze dell'ambiente, poi un'altra e così via, in una successione senza fine (finché un

³⁵ Si parla di "fluttuazioni".

abbassamento della fitness non provochi un'estinzione). Questa modalità evolutiva, intesa come graduale trasformazione di una forma in un'altra, come successione di forme sempre più lontane da quella di origine, è chiamata **ortogenesi** in senso lato (soprattutto se riferita a singole specie) o **anagenesi** (se riferita a grandi gruppi): se ne è parlato fin dalla pag. 2. Ma può anche avvenire un frazionamento di una specie in più specie diverse (**speciazione**) o di un grande gruppo in gruppi minori (**cladogenesi**).

Quest'ultima modalità evolutiva è meno facile da spiegare. Per i grandi gruppi, cioè nel caso della cladogenesi³⁶, si può pensare che in un piccolo gruppo iniziale di specie simili si sia affermato qualche carattere molto innovativo (per mutazione, ricombinazione meiotica, ecc.); può accadere che questo nuovo carattere consenta al nuovo gruppo di invadere una nuova nicchia od un nuovo territorio, poco popolato perché le altre specie non vi si sono ancora adattate. Il gruppo invadente che si trova casualmente ad essere pre-adattato in virtù del carattere innovativo, vi si può affermare e per giunta lo fa in una situazione di scarsa competitività, appunto perché la nuova nicchia è poco popolata. A questo punto si verifica una "esplosione radiativa": quel gruppo si espande in fretta, aumenta di numero, aumenta la probabilità di altre mutazioni o variazioni, ed il processo si può ripetere fino a creare nuove specie e nuovi gruppi.

Si potrebbe anche pensare ad una origine "polifiletica"³⁷ dei grandi gruppi o dell'intero mondo vivente, per cui i differenti "tipi" o grandi gruppi sarebbero stati distinti e presenti simultaneamente fin dall'inizio. Ma questa ipotesi, come si è già accennato, non è molto accreditata.

Per la ramificazione di una singola specie, cioè per la "speciazione"³⁸, le cose sono più chiare, anche perché si tratta di fenomeni che avvengono in una scala di tempi più breve (per l'origine di una nuova specie possono bastare 10.000 o 20.000 generazioni, quindi 10 o 20 millenni nel caso più comune di una generazione all'anno, molto meno per le specie che mostrano più di una generazione l'anno).

Il meccanismo fondamentale non differisce sostanzialmente da quello appena descritto per i grandi gruppi. Si parta da una popolazione assestata, di grandi dimensioni, ben adattata in un territorio circoscritto, nel quale vive da molto tempo. In questa situazione di stabilità, un'eventuale mutazione o variazione apparirà difficilmente più vantaggiosa, appunto perché la popolazione è stabilizzata e ben adattata. Comunque, l'individuo variante si incrocerà rapidamente con individui "normali" ed i suoi geni verranno a "diluirsi" in un "**pool genico**" assai ampio³⁹.

Supponiamo ora che, in quella popolazione stabile ed omogenea, compaia un piccolo gruppo di varianti e che questa loro variazione li spinga ad allontanarsi dal territorio fino allora occupato dalla popolazione cui appartengono. Probabilmente questo loro tentativo fallirà, difficilmente potranno sopravvivere in un territorio nuovo. Ma può anche accadere che questa loro variazione li abbia pre-adattati a vivere in un territorio diverso, con diverse esigenze. Come detto sopra, questo nuovo territorio sarà probabilmente meno "comodo", quindi meno popolato, la competizione sarà minore ed il piccolo gruppo di fuggiaschi potrà espandersi senza troppa difficoltà. Sono questi fuggiaschi i gruppi capostipite di nuove specie, quelli che E. Mayr chiama "**gruppi periferici isolati**"; essi si allontanano dalla popolazione di origine ed i loro caratteri nuovi non rischiano quindi di diluirsi nel grande pool genico da cui provengono. Ecco dunque che il fattore decisivo per l'origine di una o più nuove specie non è tanto l'insorgenza di forme varianti nuove, quanto il fortuito incontro fra queste forme nuove ed un ambiente meno popolato, per il quale i nuovi caratteri possano funzionare da pre-adattamenti; conta anche l'isolamento in cui i varianti si debbono trovare per conservare questa nuova situazione fortuita ed espandersi.

³⁶ L'evoluzione in genere dei grandi gruppi animali o vegetali si indica anche come "**macro-evoluzione**".

³⁷ cioè per sviluppo simultaneo di diverse linee evolutive, avviate da differenti progenitori.

³⁸ Si parla anche di "**micro-evoluzione**".

³⁹ Abbiamo a suo tempo definito "pool genico" il complesso dei genomi di tutti gli individui di una data popolazione.

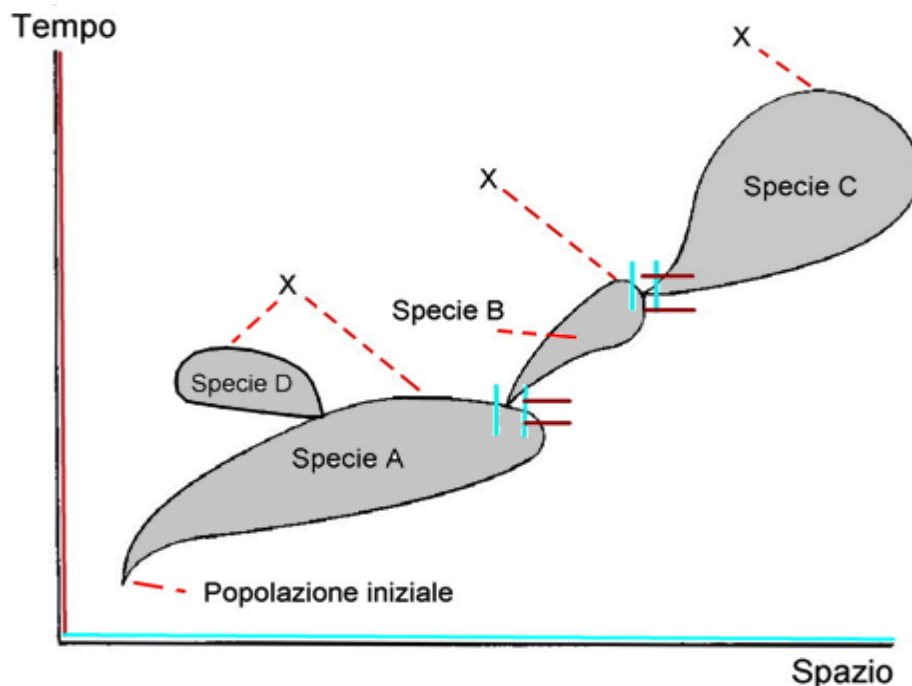


Fig. 6 – Questo schema illustra il concetto di speciazione per distacco di un “gruppo periferico isolato” dall’areale di una specie d’origine (A) stabilizzata in un certo territorio.

Da tale specie iniziale, in un luogo di piccola estensione (segmenti verdi verticali) ed in tempi brevi (segmenti viola orizzontali), si stacca un piccolo gruppo di individui che invadono un territorio vicino e, se le condizioni sono favorevoli, possono diffondersi rapidamente ed evolvere in una nuova direzione.

I punti “X” indicano il momento ed il luogo dell’estinzione della specie iniziale e delle discendenti.

A volte, la nuova specie può re-invadere il territorio della specie-capostipite (la specie D torna nel territorio da cui si è originata, mentre la specie di partenza si sta estinguendo).

L’importanza dell’isolamento geografico risulta anche in un altro caso di speciazione: la graduale conquista dell’isolamento genetico o **amissia**, inteso come impossibilità di incrocio fra popolazioni della stessa specie⁴⁰. Due o più popolazioni possono incrociarsi più o meno frequentemente e costituire quindi un unico pool genico. I loro geni (ed i loro caratteri) si mescolano di continuo ed è difficile che nascano nuove specie. Ma le due popolazioni, più o meno gradualmente, possono veder nascere qualche difficoltà all’incrocio, cioè qualche forma di **amissia**: può trattarsi di cause anatomiche (differenza di dimensioni o di forma degli organi genitali, come avviene in certe razze di cani), di cause fisiologiche (difficoltà di fusione fra spermatozoo ed uovo, ad es.), di cause psicologiche (ripugnanza fra i due sessi delle due popolazioni), ma più spesso si tratterà di isolamento geografico, dovuto a qualche ostacolo fisico (una nuova zona desertica, la deviazione di un fiume ecc.) o alla migrazione di una popolazione lontano dalle altre. Le due o più popolazioni isolate, non potendo rimescolare i loro pool, andranno incontro a linee evolutive differenti che, prima o poi, divergeranno; quando la “distanza” (genetica) fra i vari pool diventerà eccessiva, allora si arriverà alla totale amissia, all’impossibilità di incrocio; a questo punto siamo in presenza di specie diverse.

Gli oppositori dell’evoluzionismo fanno notare a ragione che questi supposti meccanismi evolutivi dovrebbero essere rivelabili nello studio dei fossili, fra i quali si dovrebbero trovare tutti gli “anelli intermedi”, cioè le forme di transizione dalla specie originaria alla nuova. Ma, l’abbiamo già evidenziato, i fossili sono sempre scarsi o addirittura mancanti ed il dubbio rimane. Comunque, quell’obiezione perde di valore se si riflette sui seguenti fatti:

- i “gruppi periferici isolati” sono costituiti da pochi individui, che hanno perciò poca probabilità di lasciare fossili;

⁴⁰ Come abbiamo già spiegato, una **specie** è l’insieme di tutti gli individui **potenzialmente** interfecondi, cioè capaci di produrre prole illimitatamente feconda quando vengono incrociati; una **popolazione** è invece l’insieme di tutti gli individui della stessa specie, **attualmente** interfecondi, cioè che, di fatto, si incrociano di continuo.

- la loro evoluzione è assai veloce, in quanto le loro variazioni rimangono contenute all'interno di un piccolo gruppo e, se favorevoli, non vengono diluite nel grande pool della specie di origine; questo diminuisce ancora la probabilità di lasciare fossili.

- questi fenomeni avvengono in zone ristrette ed i fossili relativi non sono quindi distribuiti su grandi aree.

Tanto per arrivare ad una conclusione provvisoria, possiamo illustrare i diversi modi di rappresentare l'evoluzione dei grandi gruppi con uno dei tanti schemi di classificazione.

Lo schema più riduttivo, quello tipologico, si limita ad elencare i grandi gruppi (tipi⁴¹), accostando quelli che appaiono più simili, ed indicando eventualmente il momento della loro comparsa nella storia della terra. Il criterio evoluzionistico dispone i tipi in una successione evolutiva sequenziale, lineare, supponendo che l'uno derivi dall'altro in serie unica (anagenesi). Il criterio più completo è probabilmente quello filogenetico, che dispone i tipi secondo le loro supposte derivazioni reciproche e parentele, ammettendo anche la ramificazione di ogni singolo tipo, secondo lo schema della cladogenesi.

Nella figura 7, si mostra un esempio di albero filogenetico-cladistico, basato su alcuni caratteri assai generali della struttura dell'organismo.

In altri casi, fra gli animali si distinguono innanzitutto i grandi gruppi dei "Diploblasti" e dei "Triploblasti": si tratta di gruppi di "tipi" nel cui sviluppo embrionale (a volte anche nell'adulto) compare una forma semplice costituita da due oppure tre "foglietti" (o strati cellulari).

In altre classificazioni d'insieme compaiono i rami "Celomati" e "Acelomati", che indicano quei triploblasti in cui lo strato cellulare intermedio ("mesoderma") presenta o non una cavità detta "celoma".

Il ramo "Proterostomi" si riferisce alla posizione della bocca che deriva dal blastoporo della gastrula (stadio embrionale in cui il corpo ha la forma di sacco con la parete formata da due strati di cellule – ectoderma ed endoderma; il blastoporo è l'apertura di questo sacco). Nei "Deuterostomi" invece la bocca si forma dalla parte opposta al blastoporo, il quale invece diviene l'ano.

Ogni specialista propone uno schema diverso, dando più importanza a certi caratteri che ad altri. Assolutamente normale.

NB: nello schema che segue sono stati usati termini un po' specialistici:

- Teri = Mammiferi superiori, placentati;
- Metateri = Marsupiali ed affini (per es. canguri, koala, diavolo della Tasmania, cuscini arboricoli, wallaby, vombato);
- Prototeri = Monotremi (ornitorinco ed echidne)
- Angiosperme = piante superiori, con fiori e con frutto chiuso (la maggioranza)
- Gimnosperme = piante superiori con fiori, ma con frutto aperto (Conifere, Ginkgoacee, ecc.)
- Procarioti = esseri unicellulari privi di un nucleo definito.

⁴¹ In biologia, il termine "tipo" indica un grande raggruppamento di specie accomunate dallo stesso schema di struttura generale (Molluschi, Echinodermi, Vertebrati, ecc.).

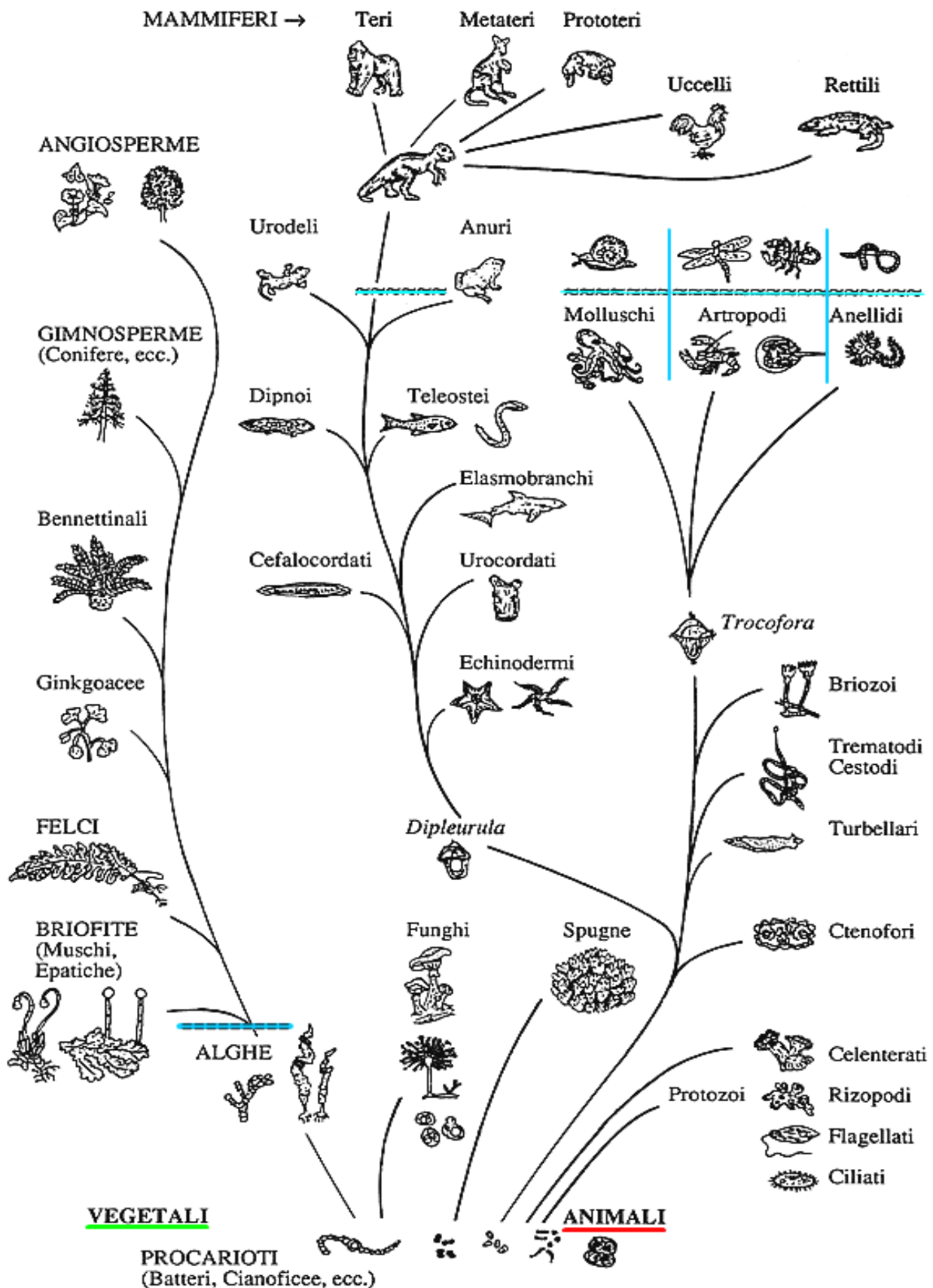


Fig. 7 – Ipotesi di un albero genealogico di tutti i viventi.

NB: in questa figura, alcuni gruppi sono riuniti sulla base della forma larvale comune (*Dipleurula* per Echinodermi e tutti i Cordati, *Trocofora* per Anellidi, Molluschi ed Artropodi). La doppia linea in celeste in alto ed a sinistra in basso separa le forme terrestri (sopra la linea) da quelle acquatiche (sotto): la conquista della terra ferma è avvenuta relativamente tardi nella storia della vita, specialmente da parte degli animali.

Davanti ad un “albero della vita” come questo, viene spontaneo immaginare la classificazione dei viventi come la riproduzione schematica dei loro rapporti di discendenza. Darwin ebbe presto un’idea di questo tipo (si veda lo schizzo di fig. 1), e lo aveva convinto uno studio della distribuzione geografica delle specie; egli aveva dato inizio a quella che oggi si chiama “**bio-geografia**”.

Infatti, il suo maestro Charles Lyell, geologo, aveva pubblicato nel 1830 i “Principi di Geologia” in cui sosteneva la tesi dell’“attualismo”, secondo cui i fenomeni geologici che oggi si verificano sotto i nostri occhi, sono gli stessi che si sono svolti nei lunghi tempi della storia della terra. E questo suggerì a Darwin una visione delle trasformazioni dei viventi in una dimensione temporale assai più larga di quella storica: ciò lo portava a concepire quelle trasformazioni come lentissime e graduali. E fin qui i due scienziati erano d’accordo. Ma Lyell, che non era un biologo, la fece fuori dal vasino quando sostenne la tesi secondo cui le differenze fra i viventi sono in prevalenza il frutto di adattamenti a condizioni ambientali diverse. Sul concetto di adattamento, Darwin non aveva obiezioni, ma aveva osservato, per es., che specie di uccelli molto simili si trovavano sia nei deserti aridi del Sud America, sia nelle foreste umide; la spiegazione migliore che egli trovò fu di attribuire quelle somiglianze ad un’origine da antenati comuni. Anche il suo collega ornitologo John Gould gli aveva fatto osservare che nelle isole Galapagos si trovavano specie di uccelli molto simili a quelle del vicino continente sudamericano, che però vivevano in un ambiente assai diverso. Anche qui, l’ipotesi di un’origine comune prevaleva su quella dell’adattamento ad ambienti diversi.

Dall’osservazione veniva dunque il primo concetto di filogenesi ed un forte supporto al primitivo evolucionismo.

Il problema, bisogna riconoscere, è complesso. Infatti, molti specialisti si sono accorti che la filogenesi appare in forma assai diversa a seconda del punto di vista dal quale la si osserva.

— Un genetista moderno, osservando le parentele biochimiche fra le varie specie, le somiglianze nella composizione del DNA, di numerose proteine ed enzimi, ricava un quadro dettagliato dei rapporti fra le specie, ma ad un livello di dettaglio, fra specie simili. Per il genetista, il DNA e le proteine da esso codificate rappresentano un carattere come un altro, di cui tener conto nella classificazione (“filogenesi molecolare”).

— Il paleontologo, osservando la successione dei fossili in tempi lunghi, ottiene un quadro assai più ampio delle parentele fra grandi gruppi.

— Il biogeografo, in base alla distribuzione geografica delle specie ed alle trasformazioni (fusioni, frammentazioni, ecc.) delle terre emerse nei tempi geologici, vede la successione delle specie nello spazio.

I quadri che emergono da questi vari approcci non possono coincidere del tutto.

Possiamo tentare una sintesi?

Una struttura organica qualunque, vista nella sua espressione temporale, svolge una funzione.

Quella struttura, e la relativa funzione, nei lunghi tempi della storia della vita, affrontano prima o poi qualche tipo di trasformazione: l’evoluzione.

L’evoluzione, dovendo inseguire la distribuzione geografica delle specie e lo spostamento lento e continuo dei continenti, si svolge nello spazio e va studiata coi criteri della biogeografia.

La vita si manifesta nelle strutture, nelle funzioni, nel loro svolgimento nel tempo, nella loro distribuzione nello spazio. È questo il suo fondamento, che sembra sinonimo di evoluzione.

Il gigantismo

Succede spesso, nello studio dei fossili, di notare che interi gruppi, col passare dei tempi geologici, mostrano un aumento delle dimensioni corporee. Lo si nota nei vegetali (basti pensare alle felci arboree del Paleozoico, l’origine principale dei giacimenti di carbone), nei grandi rettili del Mesozoico, nei grandi mammiferi del Cenozoico, ecc.

Sembra esservi un vantaggio adattativo per questo fenomeno: le piante più alte possono sfruttare meglio la luce solare, gli animali più grandi sono più agguerriti rispetto ai competitori

della propria o di altre specie, ecc.

Ma lo studio dei fossili ci mostra anche che, dopo un periodo di aumento delle dimensioni, un intero gruppo può scomparire abbastanza bruscamente.

Anche di questo si può vedere la causa: gli animali più grandi hanno maggiori esigenze alimentari e quindi la massima densità di popolazione loro consentita è piccola. Quelle specie tenderanno a formare piccoli gruppi ed il pericolo della consanguineità aumenterà mentre si ridurrà la variabilità e quindi la plasticità evolutiva.

Il fatto più interessante è però che, dopo un rapido declino, le specie od i gruppi “giganti” lasciano alcuni discendenti di piccole dimensioni che danno luogo ad una rapida moltiplicazione di specie (“radiazione evolutiva”). È successo per le Felci, oggi molto più piccole dei loro antenati, per i Rettili attuali, ben più piccoli dei grandi “dinosauri”, per i mammiferi di oggi, modesti rami paralleli dei megateri e delle “tigri dai denti a sciabola” del Cenozoico medio.

Quest’ultima osservazione può ancora essere spiegata all’interno del moderno evolucionismo: il meccanismo dei “gruppi periferici isolati”, sopra esaminato, che sta alla base della gran parte delle innovazioni evolutive, può svolgersi solo sfruttando specie di piccole dimensioni, capaci di affermarsi in aree ristrette.

Il caso più noto è quello dei Mammiferi, derivati da alcune specie di piccoli rettili del Mesozoico, sopravvissuti all’ecatombe dei loro parenti di grande mole.

TUTTO QUI ?

A questo punto, potrebbe sembrare che l’argomento sia esaurito. Qualcuno ha efficacemente riassunto le prime formulazioni dell’evoluzionismo darwiniano in questo modo: “Basta che una forma qualunque dia ai concorrenti un qualche lieve profitto, perché questa forma sia scelta dalla selezione e fermata dall’eredità.” (E. Ferrière, 1880, p. 48). [In questa frase, la parola “concorrente” indica la forma che è in competizione con le altre. Ndr].

In altre parole, l’evoluzione nascerebbe da un fenomeno in buona parte imprevedibile e casuale (la variabilità), la quale viene sottoposta alla selezione, e questa è “mirata”, diretta dalle condizioni ambientali, e pertanto capace di spingere ad adattamenti perfezionati. I caratteri selezionati possono essere legati all’eredità genetica, ed in tal caso sono trasmissibili alle generazioni successive. In tre parole: variabilità – selezione (e adattamento) – eredità.

Questa compenetrazione di fenomeni casuali e di selezione mirata giustifica il titolo di un famoso libro di J. Monod: “Il caso e la necessità” (1977).

Sembra semplice. Ma la complessità dei fenomeni e l’acquisizione di sempre nuovi dati portano continuamente a diversità di pareri ed a quella che abbiamo chiamato l’evoluzione dell’evoluzionismo. Già negli anni 1940 – 50 era maturata la “Teoria sintetica dell’evoluzione” o “**Sintesi moderna**” che cercava di creare un quadro unico a partire dalle leggi di Mendel (vedi a pag. 50) e dalle prime definizioni di Darwin, fino alle acquisizioni della genetica del XX secolo⁴². In particolare, avendo chiarito il concetto del comportamento probabilistico dei fenomeni “microscopici” (vedi subito sotto), si estese alla biologia la visione “statistica” che i fisici adottano nel trattare il comportamento globale di popolazioni di particelle. Come in fisica si studia, ad es., la distribuzione statistica delle molecole di un gas, tenuto conto delle condizioni esterne (temperatura, pressione, ecc.), così la biologia della metà del ‘900 cominciò a considerare le popolazioni di organismi in grado di incrociarsi come collezioni di geni. Le distribuzioni dei geni sarebbero influenzate dai meccanismi di mutazione, selezione, migrazione e deriva genetica. È questa la “**genetica di popolazione**” (che abbiamo definito a suo tempo come la scienza statistica che studia la variabilità della frequenza con cui gli alleli compaiono nel pool di ogni specie: vedi la nota 29 a pag. 19). Insomma, l’evoluzionismo della “nuova sintesi” si occupava della variazione delle frequenze alleliche in seno ad una data popolazione, variazione dovuta alla selezione naturale.

È bene quindi esaminare ora altri aspetti particolari, anche per evitare frettolose ed inutili

⁴² Il principale autore di questa “sintesi” è certamente G. G. Simpson, con opere datate fra il 1944 ed il 1965.

obiezioni.

Il “caso”

È un concetto cui abbiamo già accennato e che riprenderemo in seguito in quanto è pieno di conseguenze. Proviamo intanto a chiarire qualcosa sul piano scientifico.

In sostanza, quello che nel linguaggio comune e filosofico si chiama “caso” (assenza di leggi causali), in fisica od in biologia è semplicemente indeterminato (dipendenza da leggi probabilistiche).

Nel nostro contesto avevamo già definito il “caso” come un processo per cui il rapporto fra causa ed effetto non è univoco e da una certa causa possono derivare, imprevedibilmente, vari effetti, tutti “causati”, ma indefiniti. In altre parole, da una data causa deriva certamente un certo effetto, ma quell’effetto non è univoco, non è unico, non è **determinato**: è solo **probabile**. Ovvero, data quella causa, l’effetto è probabilmente quello, ma potrebbe essere (magari meno probabilmente) anche quell’altro oppure (raramente) quell’altro ancora, ecc. Dobbiamo quindi distinguere nella mole di tutti i fenomeni naturali quelli **determinati**, in cui una data causa produce un certo effetto e solo quello, da quelli **indeterminati**, in cui l’effetto c’è, ma si può verificare con modalità diverse, secondo una certa curva di probabilità, che va individuata con approccio statistico, per via empirica.

In ogni caso, ogni fenomeno in natura è causale, esiste un nesso rigido fra causa ed effetto, ma l’effetto è univoco (determinato) oppure indefinito, legato ad un rapporto di probabilità (indeterminato).

Nel nostro mondo “macroscopico”, in cui compaiono oggetti di dimensioni ben superiori al livello atomico, abbiamo solitamente a che fare con fenomeni “determinati”. Ad es., il moto di un corpo in caduta libera obbedisce alla legge di gravità e, conoscendo i dati di partenza, si può calcolare con certezza la sua traiettoria. Sempre quella.

Quando si scende a livello di unità più piccole, atomi o loro parti, e quindi ai fenomeni chimici che si basano su legami fra atomi, le cose cambiano. Un’interazione fra particelle a livello atomico (“livello microscopico”⁴³), e quindi un legame chimico, è invece soggetto a **leggi probabilistiche**: il risultato non è prevedibile a priori. Un fenomeno, dunque, causale, sì, ma casuale.

Le ragioni di questa indeterminazione sono riferibili alla natura intima delle leggi fisiche a livello microscopico, in particolare ai fenomeni quantistici. Su questo punto, non possiamo far altro che raccomandare la lettura del breve e lucidissimo volumetto del noto fisico E. Schrödinger (1995–2001), ma cerchiamo ugualmente di chiarire i concetti fondamentali.

Da quel testo riportiamo, con qualche semplificazione, l’esempio del decadimento degli atomi radioattivi. Il decadimento anche di un solo atomo è reso visibile con un semplice dispositivo. Ebbene, data una ragionevole massa di tali atomi, tutti della stessa specie, si può prevedere con estrema precisione dopo quanto tempo la metà di tali atomi sarà “decaduta”. Ma il momento in cui un singolo atomo subirà il decadimento è assolutamente imprevedibile.

Ordine e disordine

In altre parole, si può anche dire che il comportamento del singolo atomo (livello “microscopico”) è imprevedibile, ma un numero ragionevole di tali atomi, nel complesso, si trasformerà secondo una legge rigidissima (livello “macroscopico”). Il meccanismo di tali decadimenti è ben noto, il fenomeno è quindi “causato”, ma l’effetto è prevedibile, determinato, solo se viene considerato un grande numero di atomi (esistono precise formule che possono calcolare la probabilità di scostamento dalla legge macroscopica in funzione del numero di atomi coinvolti). Per il singolo atomo, il processo è disordinato, ma diventa ordinato per la quantità di atomi che entrano in gioco in tutte le situazioni ordinarie: l’ordine, la regolarità della legge fisica,

⁴³ Qui, il termine “microscopico” non si riferisce ad oggetti osservabili con microscopi ottici od elettronici, ma ad oggetti a livello atomico o subatomico.

nasce dal disordine, dal comportamento probabilistico, del singolo evento microscopico. Constatiamo un ordine che nasce statisticamente dal comportamento globale (casuale) di numerosi fenomeni simili, di per sé disordinati.

I “salti quantici”

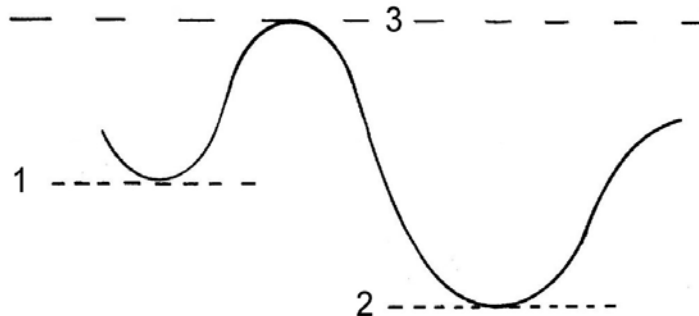
Ciò premesso, pensiamo ad un altro aspetto della fisica “microscopica”: un sistema a livello atomico o molecolare, come qualunque altro sistema fisico, possiede un determinato “livello” di energia. Anche qui, se ci muoviamo nel mondo macroscopico, l’energia può assumere qualunque valore: pensiamo ad es. che l’energia sviluppata da un corpo che cade può assumere un qualsiasi valore, in relazione alla sua altezza iniziale, ecc. Ma nel mondo microscopico, il livello di energia possibile di un atomo, molecola, particella, ecc. può assumere solo un certo numero di valori “discreti”, e solo quelli. È uno dei concetti-base della fisica quantistica.

Sempre dal volume di Schrödinger, citato poco fa, riportiamo un chiaro esempio: molte specie di molecole possono esistere in diversi stati; gli stessi atomi si possono disporre in modo diverso e dare alla sostanza differenti proprietà. È questo il fenomeno dell’**isomeria**. Stati diversi, livelli energetici diversi, anche se gli atomi costituenti sono gli stessi. Il caso citato da Schrödinger è quello dell’alcool propilico (C_3H_8O), di cui esistono due forme isometriche perfettamente stabili, stabili nel senso che non accade mai che una molecola di una forma si trasformi spontaneamente nell’altra. La ragione di questa stabilità sta nel fatto che le molecole dei due isomeri possiedono un diverso livello energetico, e questo sarebbe semplice, ma per passare dal livello più alto al più basso non basta liberarsi dell’energia in eccesso; il passaggio può avvenire solo attraversando uno stato intermedio che corrisponde ad un livello maggiore di quello dei due isomeri. Facciamo un esempio: per scendere una scala, basta affidarsi alla gravità e ruzzolare da un gradino più alto ad uno più basso; ma se il gradino alto e quello basso sono separati da un’alta ringhiera, allora io posso scendere solo affrontando prima una certa salita, e questo non avviene se non spendo una certa quantità di energia. Non importa quanto sono alti il gradino di partenza e quello di arrivo: per scendere devo comunque darmi una spinta che dipende dall’altezza della ringhiera. Per una molecola può avvenire proprio così (fig. 8).

E questi “salti”, questi livelli e queste differenze di livello energetico, sono “quantizzati”, non possono assumere qualunque valore in modo “continuo”, ma solo certi valori fissi, “discreti”. E così, qualunque legame chimico rientra in questa categoria di fenomeni discreti: i fenomeni chimici sono di tipo quantistico⁴⁴.

Ebbene, per quanto ci riguarda, sappiamo che i fenomeni fondamentali della vita, in particolare quelli legati al genoma, sono di tipo chimico. Non per questo volendo ridurre ogni fenomeno biologico alla chimica o alla fisica (sarebbe la corrente di pensiero detta appunto “riduzionismo”, e ne riparleremo⁴⁵), rimane però assodato che le basi funzionali di ogni essere vivente stanno nel “metabolismo”, genericamente inteso, cioè in una rete assai intricata di fenomeni chimici. Ed in questa rete si trovano anche le “mutazioni”.

Fig. 8 – Il livello energetico di una molecola può essere rappresentato dalla curva continua. I livelli 1 e 2 possono rappresentare due stati isomerici stabili della molecola. Per passare dall’uno all’altro, la molecola deve però superare un “picco” del livello energetico (3). Il passaggio da uno stato all’altro può avvenire solo fornendo alla molecola la quantità di energia necessaria a superare il livello 3.



⁴⁴ La teoria quantistica del legame chimico, da riferire ai nomi di W. Heitler e F. London, è del 1927.

⁴⁵ A. L. Lavoisier, (1743-1794), chimico francese, diceva: “La vita è una funzione chimica”.

Consideriamo ora un “gene”, una di quelle molecole, o parti di molecole, che fanno parte del DNA e determinano, almeno in buona parte, lo sviluppo, le strutture e le funzioni di ogni essere vivente. Anche queste molecole possiedono un certo numero di stati possibili, segnati da un diverso livello di energia. Per un gene, ognuno di questi stati può corrispondere ad un diverso insieme di proprietà, quello che si chiama un “allele”. Ma come può un gene passare da uno stato all’altro, cioè subire una delle famose “**mutazioni geniche**”, di cui abbiamo parlato?

Ecco che la fig. 8 può farci intuire come vanno le cose: ogni fenomeno o legame chimico, ogni cambiamento di stato della molecola o del gene, benché soggetto all’indeterminazione di cui abbiamo parlato, presenta una certa stabilità in quanto un suo passaggio da una forma all’altra (una qualunque mutazione) richiede l’apporto di una certa quantità di energia. Tale passaggio rientra nel generale fenomeno dei “salti quantici”.

E allora, dove prende un gene l’energia necessaria per mutare?

Dall’ambiente esterno (temperatura, radiazioni ionizzanti come i raggi ultravioletti o X, aggressivi chimici, ecc.). Come agiscono tali agenti? Sempre secondo leggi probabilistiche: un dato legame, una data struttura della molecola, sollecitata in maniera sempre casuale e comunque imprevedibile da un dato fotone UV (ad es.), può compiere uno dei possibili “salti quantici”; così il gene può “mutare”, quindi trasformarsi in un allele di se stesso.

Ma quando abbiamo detto, poche righe sopra, “ambiente esterno”, intendiamo “ambiente esterno al gene”; in altre parole, sappiamo che ogni particella a livello atomico è soggetta alla “agitazione termica”, il moto incessante legato all’energia termica, che si annulla solo allo “zero assoluto” ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$)⁴⁶. Tale “agitazione” interessa dunque sia gli atomi costituenti il gene, sia la materia in cui esso è immerso. Nulla esclude che, casualmente, uno o più “urti” simultanei possano disturbare qualche legame chimico e provocare una mutazione. Questo processo aleatorio è probabilmente la causa più frequente delle mutazioni⁴⁷.

Ma allora, se basta così poco per provocare una mutazione, come mai una specie conserva nel succedersi delle generazioni le sue caratteristiche relativamente immutate, al di là di quello che abbiamo chiamato a suo tempo variabilità ed evoluzione?

In altre parole, non c’è contraddizione fra l’indeterminazione dei salti quantici, e quindi delle mutazioni, e la stabilità della struttura dei geni nel succedersi delle generazioni? Se basta un qualche raggio cosmico⁴⁸ o qualche sostanza inquinante in tracce nel nostro ambiente per far mutare un gene, come mai i figli somigliano tanto ai genitori, anche per milioni di anni?

L’abbiamo detto: l’energia capace di portare all’alterazione di ogni molecola, di ogni gene, deve fare i conti con la relativa stabilità delle molecole stesse, stabilità dovuta all’esistenza di barriere di energia fra uno stato possibile e l’altro. Nello schema di fig. 8, un gene può passare dal livello energetico 1 al 2 solo attraversando un livello molto più alto (3). E questo è un fenomeno indeterminato, casuale, che obbedisce solo a leggi statistiche. Si potrebbe dire che l’evoluzione è il risultato del conflitto fra la stabilità dei geni e la loro variabilità statistica.

Insomma, le mutazioni sono rare.

E si capisce. Si pensi che i nostri caratteri, e quindi in buona parte i nostri geni, sono assai “coerenti”, nel senso che, salvo eccezioni, sono assai armonizzati fra loro e “funzionano” piuttosto bene nell’assicurarci la sopravvivenza (un evoluzionista direbbe che essi sono frutto di una severa selezione, che continuamente elimina tutte le varianti meno favorevoli). Se ne deduce che qualunque variazione al nostro genoma, e quindi qualunque mutazione, difficilmente può portare ad un vantaggio. Verissimo, e la selezione eliminerebbe subito quelle svantaggiose.

⁴⁶ Si può verificare il fenomeno anche al microscopio ottico osservando una qualunque sospensione fine, come una goccia d’inchiostro di China molto diluita: si vedranno i singoli granuli di carbonio saltellare senza fine in modo del tutto irregolare. È l’effetto degli urti subiti da parte dalle molecole del solvente: i cosiddetti “moti Browniani”, scoperti nel 1827 dal naturalista britannico Robert Brown. Il fenomeno venne interpretato sul piano teorico da A. Einstein, e manifesta l’agitazione termica anche a livello di corpuscoli relativamente grandi.

⁴⁷ Si noti che, per la loro natura quantistica, anche le mutazioni sono fenomeni discreti: non si verificano in modo graduale, ma solo per configurazioni discontinue.

⁴⁸ I raggi cosmici sono costituiti da particelle veloci, in prevalenza protoni, provenienti dallo spazio cosmico; il nostro corpo ne riceve parecchi ogni secondo.

Verissimo anche questo. Ed infatti la storia della vita, e lo studio dei fossili, ci dimostrano che le specie che sono esistite per un tempo ragionevole sulla faccia della terra, e poi si sono estinte, sono assai più numerose di quelle attualmente viventi (qualcuno stima anche più di 1.000 volte). Almeno in parte, questo cimitero sterminato contiene molti “mutanti” sfortunati.

E allora, come fa l'evoluzione a portare ad un progresso o comunque a tante specie tuttora vitali?

Come al solito, è solo questione di tempo.

Infatti, se le mutazioni, in buona parte nocive, fossero troppo frequenti, la specie si estinguerebbe. Senza problemi. Ed è quello che accade spesso nei tempi geologici.

Ma se sono rare, quei pochi e casuali individui che si trovano portatori di un carattere vantaggioso saranno “premiati” dalla selezione, col tempo diventeranno sempre più numerosi e potranno finire per prevalere nella loro popolazione. Se poi il nuovo carattere è più o meno indifferente, può risultare “invisibile” al filtro selettivo e conservarsi finché, con mutate condizioni ambientali, diviene utile e può dare ai portatori un premio selettivo; si ritorna al concetto di “preadattamento” cui abbiamo già accennato e su cui torneremo.

Inoltre, un carattere negativo può conservarsi per un altro motivo, che vediamo subito.

Il “linkage”

I caratteri legati a geni diversi e definiti, possono venire trasmessi in modo indipendente ai discendenti. Ciò avviene, ad es., quando i relativi geni sono portati da cromosomi diversi. Avevamo già accennato al fatto che i cromosomi, durante la maturazione dei gametociti, si distribuiscono in maniera indipendente fra i gameti: quelli materni e quelli paterni si dirigono quasi a casaccio verso i due gameti-figli. In queste condizioni, ovviamente, aumenta il numero di combinazioni possibili di caratteri e quindi il grado di variabilità, ma comunque, se due caratteri sono legati a cromosomi diversi, potranno distribuirsi fra i discendenti in maniera indipendente. Il fenomeno del crossing-over, inoltre, consente la separazione anche fra geni (e quindi fra caratteri), anche nel caso che siano portati dallo stesso cromosoma: la probabilità della loro trasmissione indipendente aumenterà quanto più essi sono lontani fra loro all'interno dello stesso cromosoma. Ciò giustifica in parte la “legge dell'assortimento indipendente”, secondo la quale ciascun fattore ereditario verrebbe trasmesso in modo indipendente da qualunque altro.

Ma questa legge ha una validità relativa: se due geni si trovano molto vicini lungo il filamento del cromosoma, la probabilità che essi si trasmettano separatamente tende a scendere. È questo il fenomeno del *linkage* o “associazione di geni” (T. H. Morgan).

Ora, se due o più geni (e relativi caratteri) tendono a trasmettersi assieme, un gene favorevole, e quindi premiato dalla selezione, può “trascinare” con sé anche un gene non favorevole. Tutto dipende dal peso relativo dei due geni nell'influire sulla “fitness”, come definita sopra.

Ma c'è di più: a suo tempo abbiamo parlato di geni “pleiotropici”, e sono la maggioranza, capaci di influire su più di un carattere dell'individuo. Può capitare che un singolo gene, molto utile e quindi favorevolmente selezionato, sia legato anche ad un carattere dannoso e che la selezione non riesca ad eliminarlo se i vantaggi portati da quel gene sono superiori ai suoi danni.

Un esempio è illuminante: una malattia del sangue, chiamata “anemia falciforme” a causa della forma anomala dei globuli rossi che in essa si verifica, è legata ad un gene che è abbastanza raro, proprio per la sua cattiva valenza. Ma lo stesso gene conferisce ai portatori una certa resistenza alla malaria. E allora? Nelle regioni in cui la malaria è poco rappresentata, quel gene tende a scomparire perché favorisce l'anemia falciforme. Dove la malaria è (od era) diffusa, come in certe zone della Sardegna, il vantaggio di quel gene diviene preponderante e la sua diffusione aumenta; il danno della probabile anemia risulta secondario⁴⁹.

⁴⁹ Anche questa è un'indebita semplificazione: vi sono molte forme di anemia del gruppo “talassemia”; il gene di alcune forme è recessivo, ed in tal caso la malattia non è grave se si trova allo stato eterozigote (talassemia minore), mentre allo stato omozigote la malattia è generalmente letale (morbo di Cooley), e così via.

Vediamo dunque come sia difficile valutare i fenomeni della vita; proviamo a ritornare al concetto di “ordine” sopra discusso. Parlando dei sistemi fisici e chimici, avevamo spiegato come le leggi di natura, espressioni di un ordine, derivano dal disordine probabilistico, il quale appare ordinato solo quando sono in ballo grandi numeri di elementi indipendenti. Nel mondo biologico, invece, un sistema altamente ordinato, come una molecola di DNA, è in grado di creare ordine (una copia di sé stesso, ad es.), anche se è presente in poche unità (pochi cromosomi o coppie di cromosomi per ogni cellula). Possiamo dire allora che il sistema vivente, che rappresenta un altissimo grado di “ordine”, di organizzazione, nasce dalla struttura complessa ed organizzata del materiale di base (DNA, enzimi, ecc.): l’ordine nasce dall’ordine.

Ecco dunque che appare insostenibile il “riduzionismo” della biologia alla fisico-chimica: le leggi fisico-chimiche sono legate al disordine statistico; l’ordine della vita dipende da sistemi complessi ed altamente ordinati (es.: geni), capaci di conservarsi in un ambiente mutevole e di produrre altre copie di sé stessi o altri eventi ordinati, come il metabolismo ed il comportamento.

ASPETTI PARTICOLARI

Sulla scia del dibattito “riduzionista” si può vedere anche la contrapposizione fra causalità meccanicistica ed ortogenesi (in senso stretto), cui abbiamo già accennato.

Una visione “selezionista” ad oltranza vede gli adattamenti ed il loro sviluppo temporale, quindi l’evoluzione nel suo complesso, come il semplice effetto **meccanicistico** di una selezione cieca, che favorisce gli individui o le specie “più adatte” e scarta le altre. Il tutto dettato dal loro adattamento, dal rapporto fra le prestazioni degli organismi e l’ambiente.

In alternativa, si è vista l’evoluzione come un processo spinto da “forze interne” verso un graduale “progresso”, in una successione ordinata di forme sempre più “perfette”. Per indicare questa tendenza innata della materia vivente si usa il termine “**ortogenesi**” in senso ristretto⁵⁰.

Ebbene, la visione ortogenetica “stretta” presuppone una causa interna che *a priori* determina l’andamento della trasformazione delle specie, in sostanza **un fine**, indipendente dalle cause “interne” (meccanismi genetici) ed esterne (ambiente).

Tale “fine” non è mai stato trovato, almeno nell’ambito dei fenomeni naturali.

A questo punto, conviene sommariamente esaminare questi vari approcci dal punto di vista filosofico.

I fenomeni naturali vengono distinti da alcuni autori in tre categorie:

– **teleomatici** – sono quelli che abbiamo a suo tempo chiamato “causati” (determinati o indeterminati); l’effetto è “automaticamente” legato alla sua causa.

– **teleonomici** – sono fenomeni dovuti al “programma”, all’insieme dei meccanismi genetici che provocano lo sviluppo delle strutture e delle funzioni di ogni organismo. Tale programma è ovviamente la conseguenza della selezione: se un dato uccello, ad es., in un dato momento dell’anno, inizia una migrazione, possiamo vedere in questo una **causa immediata** e teleomatica (variazioni della temperatura o della durata del giorno, reazioni ormonali o nervose nell’organismo, ecc.), ma questa causa immediata presuppone una “**causa remota**”, vale a dire un lungo processo di evoluzione per il quale sono stati favoriti, ed hanno finito per prevalere nel tempo, quei comportamenti che consentono a questi animali di spostarsi sempre dove il clima è più favorevole. Un comportamento, quindi, che sembra avere un fine remoto, ma che è solamente il risultato di un “programma” innato, che l’animale eredita dai suoi antenati dopo una lunga serie di modificazioni ed aggiustamenti che l’evoluzione ha consolidato.

Il fenomeno teleonomico si può quindi ricondurre ad uno teleomatico, se si considera la sua causa remota come una causa indiretta, ricevuta dall’essere vivente per eredità genetica, che opera al suo interno secondo il “programma” contenuto nel suo DNA. Non si tratta di obbiettivi

⁵⁰ Questo termine è stato usato in senso lato anche per indicare genericamente l’evoluzione “lineare” o “sequenziale”, cioè la successione graduale nel tempo di specie simili che si sostituiscono l’una all’altra.

finalistici (le “cause finali” aristoteliche), ma di meccanismi complessi operanti all’interno delle leggi di natura.

– **teleologici** – sono quelli dovuti ad un fine: il fenomeno tende spontaneamente ad un risultato finale, che si presenta alla fine del fenomeno, ma opera fin dall’inizio nel dirigerne lo svolgimento.

Ora, delle due l’una: o un fenomeno rientra in una delle due prime categorie, quindi è legato a precise cause, prossime o remote, ed allora rientra nel grande quadro delle “leggi di natura”, che sono intrinseche alla natura e vanno studiate in chiave causale; oppure il fenomeno si verifica fuori dalle leggi di natura, e pertanto va attribuito a qualcosa che sta fuori dalla natura, e pertanto va classificato come “soprannaturale”⁵¹. Tutto qui.

Ovviamente, il fatto stesso che l’Uomo possieda la facoltà di concepire ed analizzare un mondo di realtà fuori dalla natura, appunto il “soprannaturale”, gli impone la responsabilità di riflettere, cercare ed approfondire questo “mondo”.

Se però l’Uomo si propone di osservare la natura e cerca di comprenderne i meccanismi, occorre che si limiti ai fatti naturali e cerchi nella natura stessa le cause di tutto ciò che può osservare e sperimentare. È questo la scienza, e nulla più.

Può venire in mente una frase di E. Ferrière (1880): “... scienza non vuol dire altro, se non che la eliminazione del *soprannaturale* nella spiegazione di cose naturali”.

Purtroppo, i fenomeni naturali sono spesso assai complessi ed incomprensibili; è spontanea la tendenza ad “antropomorfizzare”, a spiegare in chiave di intenzionalità umana tutto ciò che non conosciamo (... se succede qualcosa, qualcuno l’ha voluto ...). La non conoscenza di una causa evidente può essere semplicemente il frutto di ignoranza, e non ci autorizza a tirare in ballo un meccanismo esterno alle leggi di natura.

Durante un pellegrinaggio, un giovane molto fervoroso scattò una fotografia e, quando osservò la stampa, vide, attorno all’immagine del sole, una stella molto regolare a sei punte. La mostrò al fotografo, convinto che ci fosse qualche significato, ma quello gli rispose: “Si vede che il diaframma del suo obiettivo ha sei lamelle; se quella foto l’avessi fatta io, la stella avrebbe avuto dieci punte” (un banale fenomeno di diffrazione, N.d.R.).

Venendo a cose più serie, può essere chiarificante un esempio di comportamento animale apparentemente finalizzato. Si tratta delle femmine di certe specie di ragni, che avvolgono le uova in un fitto gomitolo di seta, a scopo protettivo (“ooteca”). Durante i loro spostamenti, le femmine trascinano con sé l’ooteca col paio posteriore di zampe (ne hanno quattro paia!), facendola rotolare. La tengono d’occhio. Qualche maligno sperimentatore ha sottratto bruscamente l’ooteca a qualche femmina, sostituendola con una pallina di sughero di pari dimensioni. Nessun problema: la femmina ha continuato a trascinare la sua pallina, senza badare all’inutilità della sua fatica.

Quel comportamento dunque è inutile, non ha più un fine; se si prolunga nel tempo, è evidente che esso obbedisce ad uno schema prefissato, geneticamente determinato, indipendente dalle circostanze. La sua “causa remota” persiste, ma è solo una causa cieca.

Le “**somazioni**” e Jean-Baptiste de Lamarck (1744 – 1829; *Philosophie zoologique*, 1809)

Anche l’evoluzionismo secondo Lamarck, ben precedente a Darwin, si potrebbe definire come un trasformismo o un’ortogenesi in senso stretto: un graduale processo “mirato” verso un crescente adattamento della specie alle esigenze dell’ambiente.

In quell’epoca, in Francia era già accettato da molti il “trasformismo”, la graduale modificazione dei caratteri di una specie. Lamarck era un convinto evoluzionista, ma giustificava le variazioni come risultato dell’uso prevalente dei vari organi; non pensava alla selezione dei caratteri all’interno della variabilità della specie, come fece poi Darwin. Per fare un esempio banale, egli riteneva che il lungo collo delle giraffe sia dovuto al costante stiramento di

⁵¹ Nel linguaggio teologico, il termine “soprannaturale” ha un significato più limitato di quello presentato in questo testo e nel linguaggio comune, in quanto viene riferito particolarmente alle persone divine, alla Redenzione, ecc.

quell'organo che gli individui esercitano nella ricerca del fogliame più alto degli alberi; per Darwin, si tratta di piccole differenze, sempre presenti in ogni popolazione, che la selezione filtra in modo da rendere prevalenti, col tempo, quelle utili, nel nostro caso, quelle che portano ad una maggiore lunghezza del collo. Tutti d'accordo sul trasformismo; la forte differenza fra i due autori sta nella scelta delle cause.

In entrambi i casi però si presuppone che le variazioni vengano ereditate dai discendenti e diventino quindi patrimonio della specie.

Ora, tutti sanno che, nel corso del suo sviluppo e della sua vita attiva, ogni individuo può subire qualche modificazione dei suoi caratteri per opera di fattori ambientali. Basti pensare ai calli di chi esegue con continuità certi lavori manuali, o all'abbronzatura della pelle di una persona di razza bianca che si espone a lungo al sole diretto. Sono questi fenomeni le "somazioni", reazioni dell'organismo (del suo "soma"), che non interessano il "genoma", e sono concetti già esaminati a suo tempo. Anche l'allungamento del collo delle giraffe, così come era interpretato da Lamarck, potrebbe essere chiamato una somazione.

Il punto è che le somazioni, o comunque le reazioni dell'organismo all'ambiente, non interessano il genoma e quindi non sono trasmissibili. Lamarck e Darwin non lo sapevano e, al loro tempo, nulla si sapeva del genoma e della genetica. Lamarck aveva creduto all'eredità dei caratteri acquisiti per giustificare il proprio trasformismo. Darwin era andato un po' più in là ed aveva presupposto un'altra ereditarietà, che solo mezzo secolo dopo sarebbe stata dimostrata e spiegata.

In realtà, le cose non sono così semplici e qui occorre parlare di eredità "citoplasmatica" e di "epigenetica".

Sappiamo che, in linea di massima, lo sviluppo e poi le caratteristiche di un adulto sono legate alla "espressione" dei geni contenuti nella cellula-uovo fecondata ("zigote"); geni che, attraverso una lunga catena di influenze chimiche, possono determinare moltissimi dei nostri caratteri anatomici, fisiologici e psicologici: quello che, globalmente, abbiamo chiamato "**fenotipo**".

Ebbene, per quasi un secolo, si è pensato quello che poco sopra abbiamo semplicisticamente affermato: le variazioni che l'individuo subisce nel corso del suo sviluppo, le somazioni, non interessano il genoma contenuto nel nucleo cellulare e si fermano con la morte del portatore.

Ma in questi ultimi anni si sono accumulate osservazioni che fanno ammettere qualche eccezione.

Si tratta di una scuola di pensiero che è appena nata ed attende una lunga serie di conferme o smentite. Ci vorrà tempo, ma intanto possiamo fare una constatazione elementare: la cellula uovo contiene un nucleo, col suo corredo di DNA, ecc., ma anche un'abbondante citoplasma. Ebbene, nel citoplasma di quasi tutte le cellule di quasi tutti gli organismi sono presenti degli organuli, i **mitocondri**, che presiedono alla respirazione cellulare, mediante la quale la cellula produce l'energia necessaria al suo metabolismo. Nel gamete maschile, invece, il citoplasma è quasi assente e quindi mancano anche i mitocondri. Risultato: lo zigote (uovo fecondato) contiene quindi un corredo genetico per metà paterno e per metà materno, ma il sistema dei mitocondri è ereditato solo dalla madre. E questo che c'entra? C'entra sì, in quanto i mitocondri, forse per una loro origine filogenetica da microorganismi simbiotici, contengono piccole quantità di DNA, detto appunto "mitocondriale". Dunque, esiste un'eredità citoplasmatica per un piccolo ammontare di DNA non nucleare, che segue la linea matri-lineare e sfugge alle leggi della "normale" genetica.

L'"epigenetica"

Abbiamo già detto che dal genotipo, il corredo d'informazioni contenuto in ogni cellula di ogni organismo, deriva in buona parte il fenotipo, l'insieme dei caratteri manifesti di esso. Il termine "epigenetica" è stato usato inizialmente (C. Waddington, 1942) per indicare l'insieme dei processi che portano appunto dal genoma al fenotipo. Negli anni seguenti però il termine si è

ristretto ad indicare i casi di attività cellulare non legati alla duplicazione o alle alterazioni del DNA nucleare. In altre parole, la “espressione” di ogni gene può subire alterazioni nel corso del processo senza mostrare un effetto retroattivo sul genoma di partenza. Il processo di espressione dei geni è infatti molto complesso e, in ogni anello della catena di reazioni biochimiche che lo costituiscono, può verificarsi qualche variante. Si parla spesso di influenze dell'alimentazione, di aggiunta di “gruppi metilici” (CH_3-) a qualche catena nucleotidica, ecc.

Si può dire allora che il fenotipo è sempre il risultato di tre gruppi di fattori: determinazioni genetiche, catene di aggiustamenti epigenetici ed influenze ambientali.

Siamo anche qui di fronte ad una materia ancora confusa, che avrà bisogno di molti anni prima di trovare un assetto accettabile, ma anche qui si può forse parlare di eredità citoplasmatica, in quanto un processo epigenetico che influisce sull'espressione dei geni si svolge nel citoplasma e non si esclude che possa essere ereditato.

Da notare che il genoma è comune a tutte le cellule di un organismo ed è piuttosto conservativo, mentre un meccanismo epigenetico può essere legato alle condizioni dell'ambiente e può variare nel tempo.

Omologia, analogia e “convergenza”

Si tratta di concetti utili per approfondire il nostro argomento.

In sostanza, si dicono “omologhi” gli organi che hanno la stessa derivazione ontogenetica, ovvero derivano dallo stesso abbozzo embrionale e quindi trovano le loro radici in tutti gli antenati, nella loro filogenesi. In genere, si tratta di organi con una struttura fondamentale simile, anche se la funzione è diversa. La zampa “da corsa” di una gazzella e quella “da scavo” di una talpa sono omologhe, ed in esse si trovano le stesse ossa, sia pure di forma diversa.

Sono invece “analoghi” gli organi che svolgono la stessa funzione, indipendentemente dalla loro struttura e dalla loro storia embrionale. Esempio: le ali di un uccello (derivanti da una struttura scheletrica comune a quasi tutti i Vertebrati) a confronto con le ali degli insetti (derivanti da una struttura dell'esoscheletro, che è tipico degli insetti).

Sono infine “convergenti” gli organi che assumono una simile struttura generale in vista di una funzione comune, ma non sono necessariamente omologhi. Esempio: la struttura generale di un pescecane e quella di un cetaceo si assomigliano in quanto sono ben adattate al nuoto, ma la struttura interna (cuore ad una/più cavità, scheletro cartilagineo/osseo, assenza/presenza di arti provvisti di scheletro, branchie/polmoni, oviparità/viviparità, scaglie/peli, sangue “freddo”/sangue “caldo”, ecc.) è radicalmente diversa.

La convergenza nasce spesso da esigenze adattative ad ambienti simili, come nel caso, appunto, della forma esterna di molti animali nuotatori.

Spesso, gli organi convergenti sono analoghi (pinne di pesci e cetacei), ed altre volte sono omologhi (ali di uccelli e pipistrelli). In altre parole, la convergenza può nascere sia dalla risposta a pressioni ambientali simili (convergenza adattativa), sia da una comune origine ancestrale ed embrionale degli organi (convergenza filogenetica).

Gli “**equilibri punteggiati**” di N. Eldredge e S. J. Gould, contrapposti al “gradualismo” di Darwin

Il dibattito “meccanicismo-finalismo” sopra accennato (pag. 34) è di stampo filosofico, ma si può avvicinare ad un altro dibattito fra una visione “gradualista” dell'evoluzione ed una “saltazionista”. Lo stesso Darwin era convinto che l'evoluzione procedesse gradualmente, in base al succedersi di piccole variazioni che si cumulano nel tempo fino a segnare, alla fine, la nascita di vere e proprie specie nuove. Ma, in base a molte osservazioni, risulta che non è sempre così.

A sostegno del gradualismo occorre dire che, in tanti casi evidenziati dalla successione delle forme fossili, l'evoluzione appare proprio come un fenomeno graduale. Ed anche in tempi storici si è potuto verificare qualcosa del genere. In tutti i testi di biologia si cita il caso di una delle

tante specie di farfalle “notturne”, comune in Inghilterra: è la *Biston betularia*. Moltissime di queste farfalle hanno l’abitudine di stare immobili di giorno, attaccate a qualche parete, spesso un tronco d’albero, e la loro livrea è brizzolata di grigio, come si vede in fig. 9 (una specie simile, ma italiana).

Fig. 9 – Una farfalla nostrana simile alla *Biston* inglese, posata su una corteccia di larice. Il suo meccanismo di nascondimento appare molto efficace: è difficile vederla.

Ovviamente, la livrea ha lo scopo di rendere l’individuo poco visibile sul substrato più frequente: la corteccia delle betulle o di altri alberi. Un caso di “mimetismo criptico”, utile per sfuggire alla cattura da parte di molti uccelli che se ne nutrono.

Ora, si sa che gli inglesi sono molto zoofili, ed esistono nel loro paese molte accurate collezioni di insetti, in cui sono stati registrati i dati della cattura.



Esaminando molti esemplari di quella farfalla, provenienti da molte zone, e confrontandoli con la data di cattura, sono emersi alcuni fatti interessanti.

Semplificando, come al solito, è risultato che fino al 1850 circa, quasi tutti gli individui della specie mostravano una livrea brizzolata, complessivamente chiara, che si confondeva bene con la corteccia delle betulle e con i licheni che vi crescono. Di rado si osservava una varietà scura, “**melanica**”, detta *carbonaria*, specialmente nelle aree di più forte industrializzazione, presso Manchester. In quelle aree, a causa dell’uso intensivo del carbone nell’industria, l’inquinamento atmosferico era forte e le superfici degli edifici e delle piante erano annerite dalla fuliggine. La forma normale, chiara, della *Biston* non era molto mimetizzata ed i predatori avevano buon gioco ad identificarla sulle cortecce annerite ove la farfalla si posa di giorno. Molto più mimetica la forma *carbonaria*.

Un secolo dopo, la forma melanica si era diffusa dalla zona di Manchester a buona parte dell’Inghilterra orientale fino al Mare del Nord. I venti prevalenti da Ovest avevano esteso alle parti orientali del paese l’inquinamento e l’annerimento delle superfici esposte all’aria. Qui, la forma melanica aveva finito per prevalere, in meno di un secolo.

In altre settanta specie di farfalle notturne è stato riscontrato un analogo fenomeno di graduale prevalenza di forme melaniche in seguito ad “annerimento da inquinamento”.

In seguito, severe leggi anti-inquinamento hanno ridotto drasticamente la diffusione delle polveri di carbone e cenere, e l’annerimento delle cortecce degli alberi si è ridotto. Anche nelle zone industrializzate, la forma chiara, normale, della *Biston* è ricomparsa.

Sono stati fatti ampi studi sul caso della *Biston* con raccolta di decine di migliaia di esemplari in tutto il paese, osservazioni sul campo della frequenza delle catture di entrambe le forme di *Biston* da parte di molti uccelli predatori, ecc. L’interesse suscitato da questo caso è enorme.

Infatti, si tratta di uno dei pochi casi di evoluzione per adattamento a mutate condizioni ambientali che si siano verificati nel corso di pochi decenni e sia stato esaminato direttamente, “in tempo reale”. Sono stati verificati i rapporti fra condizioni ambientali e prevalenza numerica delle varietà della specie (non esiste solo la *carbonaria*) ed il meccanismo causale è stato ben chiarito.

Inoltre, è stato riscontrato anche il meccanismo “di ritorno”: dopo il parziale ripristino delle condizioni ambientali di partenza, sia pure con un ritardo di qualche decennio, anche il rapporto numerico fra le varietà scure e quelle chiare della *Biston* sta tornando verso i valori iniziali.

Ma abbiamo descritto questo caso esemplare anche per mostrare un altro esempio di evoluzione graduale, per somma di piccoli passi successivi. Da casi come questo, si potrebbe dedurre che l'evoluzione è un processo stabilizzante e sequenziale il quale, sia pure "inseguendo" i cambiamenti ambientali, tende sempre a tenere ogni specie nei migliori rapporti di adattamento e quindi a stabilizzarne i caratteri. Vedremo che, come al solito, le cose non sono così semplici.

Per lo meno, quando in un dato ambiente la specie si trova davanti differenti nicchie "possibili", è probabile che differenti varietà di quella specie si adattino alle diverse nicchie, e quindi l'evoluzione adotti un percorso diversificante, divergente, con la tendenza alla specializzazione delle varietà per le nuove nicchie, quindi alla loro progressiva separazione fino all'impossibilità di incrocio (amissia). Il percorso evolutivo allora tende alla "speciazione" ed all'aumento della biodiversità.

Un altro caso di evoluzione "graduale" è facilmente osservabile in tempi storici: la creazione di varietà da parte dell'uomo nelle specie che esso alleva e controlla.

Ne era ben consapevole Darwin, il quale poteva seguire in Inghilterra l'opera di numerosi allevatori che riuscivano a produrre, da poche specie capostipite, numerose varietà assai diverse fra loro. Basti pensare ai cani, ai colombi, al pollame, ecc. Fin dall'inizio, egli si era reso conto che l'allevatore, operando su pochi individui e controllando rigorosamente gli incroci, poteva selezionare le caratteristiche che preferiva e trasmetterle alle generazioni successive, e tutto ciò nel giro di poche generazioni. La tecnica della selezione degli incroci è del resto antichissima e di molte specie allevate dall'uomo e da esso profondamente trasformate non esiste più il progenitore selvatico.

Darwin aveva ben compreso che l'uomo può concentrarsi su un singolo o su pochi caratteri e agire efficacemente su di essi in poco tempo, favorendo anche la riproduzione di individui poco adattati, che allo stato di natura si estinguerebbero presto; sapeva per contro che la selezione naturale deve agire simultaneamente su tutto il fenotipo, che ogni variazione tende a diluirsi nel pool genico della popolazione e pertanto l'evoluzione in natura deve essere molto lenta.

Ma il parallelismo fra i meccanismi della selezione naturale e di quella artificiale è fin troppo chiaro. In ogni caso, si tratta di processi "graduali", per sommazione di piccoli passi successivi.

Dopo aver presentato qualche esempio di evoluzione graduale, come è stata accettata dalla maggioranza dei biologi del XX secolo, occorre però citare una visione leggermente diversa, dovuta a due biologi americani, Stephen Jay Gould (1941–2002), e Niles Eldredge (1943–): gli **"equilibri punteggiati"**.

Specialmente Gould, che era paleontologo, aveva notato, nella linea genealogica dei fossili di molte specie, una serie di "salti", di improvvise⁵² successioni di forme sensibilmente diverse fra loro, senza forme intermedie, senza "anelli di congiunzione". Gli era sembrato che, dopo lunghi periodi di stasi evolutiva, in cui la maggioranza delle specie si mantiene sostanzialmente costante, si presentino brevi periodi di rapida evoluzione, con la comparsa di specie del tutto nuove. In sostanza, l'evoluzione sarebbe discontinua, una successione di fasi stabili, di "equilibrio", intervallate o "punteggiate" da brusche variazioni, da "salti", cioè da fasi di rapida espansione radiativa, con formazione di specie e gruppi di specie nuovi, di un rinnovato cespuglio evolutivo.

Come al solito, certe idee che sembrano contrapporsi ad altre, possono benissimo coesistere con le loro avversarie. È verissimo che una popolazione numerosa, diffusa su un territorio esteso e privo di forti barriere geografiche, quindi soggetta ad un continuo incrocio casuale fra tutti gli individui, tende a rimanere stabile; una qualunque variazione, mutazione od altro verrà diluita in un "pool genico" molto esteso ed omogeneo, e difficilmente potrà affermarsi. Una simile situazione di stasi, legata ad un adattamento ottimale generalizzato, può prolungarsi finché una

⁵² In paleontologia, i termini che si riferiscono al tempo ("improvviso", "lunghi periodi", ecc.) vanno visti nella scala dei tempi geologici, ben più dilatata della scala dei tempi della storia umana.

variazione in qualche fattore ambientale mette in difficoltà la specie la quale, o evolve rapidamente fino a trovare un nuovo equilibrio, o soccombe.

Ma è altrettanto vero che l'evoluzione può essere discontinua. Abbiamo già parlato di fattori casuali, come la deriva genetica, la migrazione, le ricombinazioni in sede di fecondazione o di maturazione dei gameti (meiosi), le mutazioni, ecc. Ma questi sono fenomeni che operano a livello di piccole popolazioni o singoli individui e producono effetti graduali. Assai più efficace è il fenomeno dei "gruppi periferici isolati" (pag. 24) per i quali una piccola popolazione in condizioni di isolamento può produrre variazioni rapide che si affermano proprio perché la popolazione è piccola. Il "salto" evolutivo può venire allora da una rapida speciazione conseguente all'isolamento geografico di popolazioni periferiche: per esse, la "direzione" della selezione è cambiata bruscamente.

A suo tempo, abbiamo spiegato anche come le nuove specie formate da un gruppo periferico lasciano ben pochi fossili e possono quindi presentare delle vere e proprie lacune nella successione dei fossili stessi.

Inoltre, sono state accertate lungo la storia della terra, delle grandi "**estinzioni di massa**", vale a dire brevi periodi (brevi in termini geologici, lunghi anche milioni di anni) in cui buona parte delle specie viventi scompare ed è seguita, sempre in termini relativamente brevi, da una forte espansione evolutiva in nuove direzioni. Anzi, sono proprio le estinzioni di massa che sgomberano il campo da molte specie in competizione ed offrono ai sopravvissuti la massima libertà di variazione. Generalmente un'estinzione di massa è seguita da un'esplosione di gruppi originali, dotati di nuovi piani strutturali. Quando poi la tempesta è passata, si ha un assestamento in cui molti nuovi gruppi non raggiungono un equilibrio adattativo e scompaiono, ma i pochi rimasti hanno il tempo di produrre molte nuove specie simili.

Le cause di queste estinzioni sono spesso astronomiche: variazioni nell'irraggiamento solare, nell'orientamento dell'asse terrestre, nella forma dell'orbita; caduta di grossi meteoriti, ecc. Altre volte sono climatiche, come le glaciazioni, a loro volta dovute a fattori astronomici o geologici, come grandi eruzioni vulcaniche che riempiono l'atmosfera di ceneri. In altri casi si possono avere cause biologiche, come la comparsa di specie molto aggressive o di microrganismi patogeni, e così via.

Un'altra possibile causa di "salti evolutivi" nasce dalla possibilità di **stati stabili molteplici**. Siamo più chiari: data una certa specie adattata ad una nicchia ecologica particolare, non è detto che la situazione effettiva (la costellazione dei suoi caratteri) sia l'unica possibile in quelle circostanze. Abbiamo già sottolineato il fatto che l'evoluzione tende a stabilizzare una specie, tanto più quanto più la specie è numerosa, estesa, in un ambiente costante. Ma non è detto che tale stabilità sia realizzabile in un modo solo. La stessa specie può avere successo in una data nicchia esibendo serie di adattamenti leggermente diversi. Un caso pratico? I **polimorfismi**.

Fig. 10 – Chi riesce a riconoscere queste due farfalle come appartenenti alla stessa specie?



Una specie è "polimorfa" quando, in una stessa popolazione, e quindi nello stesso ambiente, presenta due o più forme diverse, ugualmente vitali e stabili. Chi ha mai fatto collezione di farfalle conosce bene questo fenomeno e trova nella letteratura la descrizione delle principali

forme di molte specie, che rendono spesso difficile l'attribuzione di un singolo individuo a quella od a quell'altra specie.

Il polimorfismo è spesso riscontrabile anche nel comportamento, soprattutto nei Vertebrati superiori. In moltissime popolazioni, esistono individui aggressivi, pronti a difendersi ad oltranza (in gergo chiamati "falchi"), ed individui remissivi e dediti alla fuga (chiamati "colombe"). In genere, per ragioni genetiche complesse (vedi Dawkins, 1988, pag. 75 e seguenti), il rapporto numerico fra le due forme rimane stabile. Si parla in questi casi di **ESS**⁵³ (Evolutionary Stable Strategy = Strategia evolutivamente stabile), vale a dire: coesistenza di situazioni tutte stabili, ma diverse, che convivono per tempi anche lunghi all'interno della stessa specie.

Ebbene, dato un certo polimorfismo, può accadere che una piccola variazione ambientale o qualche fatto casuale contingente possa spostare rapidamente l'equilibrio a favore di una forma penalizzando le altre. Questa può essere una spinta verso un rapido cambiamento evolutivo.

Comunque, se in una popolazione in condizioni di stabilità avviene un brusco cambiamento, per es. a causa dell'immigrazione di qualche individuo mutato proveniente da una popolazione vicina, si crea uno squilibrio che si può risolvere nell'eliminazione degli individui immigrati, o semplicemente nella diluizione dei loro geni mutati nel grande pool della specie ricevente. Ma può anche crearsi una nuova competizione, favorevole ai nuovi arrivati, e si creerà una situazione impreveduta, con un diverso equilibrio genetico. In altre parole, la specie può trovarsi soggetta al brusco passaggio da una situazione di equilibrio ad un'altra. In ogni circostanza, possono esistere per ogni specie differenti punti stabili di equilibrio. È quanto occorre per la nascita di una nuova specie. Ecco un piccolo capitolo di evoluzione: i "salti" evolutivi invocati da Eldredge e Gould possono rappresentare semplici passaggi da uno stato di stabilità ad un altro.

Del resto, i bruschi cambiamenti evolutivi non coinvolgono necessariamente un cambiamento in blocco di un intero gruppo di specie, ma solo eventi improvvisi di speciazione divergente in una particolare discendenza che fino a quel momento era apparsa stabile.

I geni regolatori

Abbiamo spiegato fin dall'inizio che un gene può influire su parecchi caratteri (geni pleiotropici) e che un carattere può dipendere da molti geni (caratteri poligenici). L'equazione "un gene = un carattere" non vale.

Ma non basta. I geni non sono tutti uguali. Nei primi tempi della genetica moderna si pensava che ogni gene "dirigesse" la sintesi di una particolare proteina strutturale (che serve a costruire una particolare struttura), di un enzima (che condiziona, "catalizza", specifiche reazioni biochimiche), di un ormone, o simili. Oggi, quei geni si chiamano "**strutturali**" o "**codificanti**". Ma la maggior parte del genoma svolge funzioni inizialmente sconosciute, ed è stato frettolosamente chiamato "DNA non codificante" o "DNA spazzatura". Oggi, almeno una parte di questo è considerato "DNA regolatore", che svolgerebbe funzioni di controllo dell'espressione dei geni codificanti.

I geni "regolatori" non presiedono quindi alla sintesi di nessuna proteina, non "codificano", ma condizionano l'"espressione", l'entrata in funzione, degli altri geni.

L'esistenza dei meccanismi genici di regolazione si può accettare pensando semplicemente al fatto che in ogni cellula di un organismo qualunque, tranne rarissimi casi (globuli rossi del sangue dei mammiferi, ecc.), sono presenti tutti i geni di un genoma completo. Però ogni cellula adulta assume strutture e funzioni diverse (cellula muscolare, ghiandola, ecc.). Per spiegare questo sviluppo differenziale dei tipi cellulari occorre presupporre che, in ogni cellula, vengono "accesi" solo particolari geni.

I geni regolatori agiscono, generalmente tramite enzimi, facilitando o inibendo l'espressione

⁵³ Stiamo semplificando molto. Una ESS è una situazione ottimale che si stabilisce in una popolazione in condizioni di stabilità e che non può essere modificata dall'interno poiché non ve n'è un'altra migliore. Per es., il rapporto falchi-colombe rimane stabile finché il vantaggio medio della condizione "falco" rimane pari al vantaggio medio delle "colombe". Una situazione diversa da quella ESS sarà sempre meno favorevole, finché non cambiano le condizioni.

dei geni codificanti o strutturali.

Il punto è che una mutazione in un gene codificante è irreversibile e può produrre effetti evolutivi solo nel (raro) caso che ciò porti ad un serio vantaggio per il portatore. Invece una piccola mutazione in un gene regolatore porta immediatamente a condizionare l'operato di un gene codificante, senza alterarlo, ma come se questo fosse mutato radicalmente. Gli effetti sul fenotipo saranno vistosi.

Un paragone: per realizzare una condotta d'acqua occorre molto lavoro (scavi, tubazioni, ecc.), ma per variarne il percorso basta qualche segno su un progetto.

Del resto, si dice spesso che fra l'uomo ed i primati antropomorfi c'è il 98 o il 99% di geni in comune. Già, di geni strutturali. Ma le differenze stanno in prevalenza nei geni regolatori.

Ecco un altro meccanismo per spiegare certi salti evolutivi: piccole mutazioni nei geni regolatori.

In conclusione, possiamo conciliare una visione progressiva e graduale dell'evoluzione con una visione "saltazionista", che contempla periodi di stasi alternati con periodi di rapido avviamento di specie. I due gruppi di fenomeni possono coesistere.

I vincoli strutturali

Ma il merito di N. Eldredge e S. J. Gould non è tanto quello di aver messo in luce la discontinuità dei processi evolutivi, ma di aver precisato altri fatti, come i vincoli che quei processi incontrano a vari livelli.

Può essere chiarificante un brano tratto da George Cuvier (1851); esso illustra il concetto dell'armonia che deve esistere all'interno di qualunque organismo fra tutte le sue parti: "Ogni essere organizzato forma un insieme, un sistema unico e chiuso, le cui parti si corrispondono mutualmente, e concorrono alla stessa azione definitiva tramite una reazione reciproca. Nessuna di queste parti può cambiare senza che le altre la seguano. Di conseguenza, ognuna di esse, presa separatamente, indica e determina tutte le altre". Una visione integrale, "olistica", un po' semplificata, del vivente. C'è del vero, ma le cose non sono mai così semplici.

Un esempio di limite fisico all'evoluzione può venire dalla dinamica del volo. Le leggi della meccanica impongono un limite alle dimensioni di un volatile. Si rifletta solo a questi fatti: – i soli volatili capaci di volare in posizione fissa sono piccoli insetti e colibrì – i migliori volatori attivi (rondini, ecc.) sono di piccole dimensioni – i volatori di medie dimensioni possono anche essere degli ottimi migratori, ma solo sfruttando i venti o le correnti ascensionali – i più grandi uccelli (condor) sono capaci solo di volo planato. Poi basta: più grande non funziona; la selezione si trova davanti un vicolo cieco.

Per contro, gli animali terrestri possono raggiungere grandi dimensioni, ma anch'essi fino ad un certo punto, poiché la velocità degli impulsi nervosi è bassa ed un organismo troppo grande rallenterebbe troppo la trasmissione degli impulsi fra centri nervosi e muscoli, ed i riflessi sarebbero troppo lenti. E poi la gravità imporrebbe strutture scheletriche troppo massicce (avete mai fatto caso che gli animali più grandi, in proporzione, hanno zampe assai più grosse dei piccoli?). Abbiamo già notato che il gigantismo prima o poi porta all'estinzione.

In altre parole, l'evoluzione non può far altro che "premiare" o "castigare" le varie forme o strutture presenti, o le forme di poco variate rispetto a quelle più o meno collaudate, ma non può inventarne di nuove partendo da zero; deve operare con quello che c'è, con ciò che può fisicamente funzionare, e sarà il tempo a decidere quale carattere individuale o di specie sarà capace di prevalere.

L'evoluzione procede fra le spinte innovative della variabilità e la resistenza che le strutture organiche presentano, non potendo esse uscire da certi limiti strutturali ereditati dagli antenati o imposti dalle leggi della fisica.

Lo dimostra il fatto che molti schemi strutturali rimangono assai costanti nel corso dei tempi geologici: la colonna vertebrale in tutti i Vertebrati, gli arti a 5 dita, la simmetria bilaterale, ecc. Si rifletta proprio su quest'ultimo esempio: dal punto di vista del mimetismo criptico, un animale che si camuffa rispetto ad un ambiente privo di strutture regolari (fogliame, terreno, cortecce,

ecc.) avrebbe tutto da guadagnare da una livrea o da una struttura esterna non simmetrica, che si confonde meglio con l'ambiente. Eppure TUTTI gli animali mostrano una spiccata simmetria bilaterale (la maggioranza) o raggiata (Echinodermi, Celenterati, ecc.). Lo sviluppo embrionale impone questo, senza eccezioni.

Un altro esempio può bastare a chiarire il concetto.

Confrontiamo un animale a collo corto, come un cinghiale, con uno a collo lungo, come la giraffa. L'allungamento del collo viene considerato come un adattamento che ha permesso ad un certo erbivoro di raggiungere il fogliame più alto, dove altri erbivori, possibili competitori, non arrivano. In altre parole, la giraffa "si è inventata" una nuova nicchia.

Dal punto di vista evolutivo, può sembrare che la strada più semplice da seguire per allungare un collo sia di moltiplicare il numero delle vertebre cervicali. Ma in quasi tutti i Mammiferi il numero di tali vertebre è fisso: sette. Quello che cambia è la loro lunghezza.

Bisogna allora concludere che, per acquisire un nuovo adattamento, è molto più semplice allungare un organo esistente che aggiungerne dei nuovi.

Il meccanismo di dettaglio per cui, durante lo sviluppo di un Vertebrato, viene determinato il numero degli organi ripetitivi ("metamerici", in gergo) come le vertebre, è molto complesso e tuttora oggetto di numerosi studi, ma è chiaro che l'evoluzione non può fare ciò che vuole; lo sviluppo e poi la struttura adulta di ogni individuo pongono dei limiti precisi alle variazioni possibili. In altre parole, se un erbivoro si trova improvvisamente di fronte ad una popolazione di predatori veloci, non può sperare che gli spuntino le ali; al massimo può attendere che gli si allunghi la falcata.

La "Evolutionary Developmental Biology" (EVO-DEVO)

Proprio per tener conto di tutte le ricerche che vedono le possibili variazioni individuali condizionate da specifici meccanismi dello sviluppo embrionale è nata da pochi anni (dopo il 1980) una nuova scienza, la EVO-DEVO, che interpreta proprio l'evoluzione all'interno dei processi di sviluppo "ontogenetico". Siamo ancora agli inizi, ma le promesse sono molte (si veda in bibliografia: A. Minelli, 2004 e 2007).

In sostanza, tutti i meccanismi evolutivi di base (variabilità, selezione, eredità) riguardano anche i geni implicati nello sviluppo embrionale, e quindi tutti i caratteri dell'adulto che ne derivano.

In altre parole, l'evoluzione, e prima ancora la selezione, controlla non solo l'affermazione dei caratteri dell'adulto ma, fin dall'inizio, tutti i processi del suo sviluppo. E viceversa, lo sviluppo si svolge secondo schemi che non sono generalmente suscettibili di rapidi cambiamenti: in questo modo, lo sviluppo pone dei limiti all'azione della selezione.

Embriologia ed evolucionismo devono dunque lavorare di concerto per chiarire la storia della vita. Anzi, molti fenomeni di trasformazione che sono apparentemente dovuti all'azione della selezione sui caratteri dell'adulto, in realtà sono dovuti ad influenze su varie fasi dello sviluppo.

È buffo pensare che le basi della visione evo-devo, a prima vista così moderna, risalgono invece ai tempi di Darwin. Un medico scozzese, M. Barry, già nel 1839, aveva studiato lo sviluppo embrionale (oggi si direbbe "ontogenetico") di molti animali e, in base ai suoi risultati, aveva tracciato uno schema di classificazione del mondo animale. Lo schema vigente a quell'epoca era invece basato sulle somiglianze anatomiche; quello di Darwin sulla discendenza: i tre schemi si assomigliavano maledettamente. Era il cacio sui maccheroni per Darwin.

Si può citare ancora a questo proposito un concetto di cui abbiamo già parlato e su cui S. J. Gould si è dilungato: quello dei "livelli di selezione" ("Teoria gerarchica dell'evoluzione")⁵⁴. Per il primo darwinismo, la selezione opera sugli individui, scegliendoli in base ai loro caratteri fenotipici. Infatti, il genoma in sé è invisibile per la selezione e solo il collegamento, statisticamente stabile, fra geni e caratteri porta, indirettamente, alla selezione dei geni. Altri

⁵⁴ Vedi un accenno a pag. 23 e 77.

autori, in particolare R. Dawkins, con un'analisi accuratissima esposta in molte sue opere (vedi la bibliografia), ha insistito sull'idea di una competizione diretta fra geni, in un certo senso all'interno ed all'insaputa degli individui. Altri autori, in particolare Gould, hanno invece esteso una visione "selezionista" ad altri livelli: livelli inferiori all'individuo (discendenze cellulari, tessuti ed organi) o superiori (specie, gruppi di specie simili o gruppi superiori (cladi)).

Soprattutto nel caso dei "salti" evolutivi descritti dalla teoria degli equilibri punteggiati, sembra proprio che si verifichi ad ogni "salto" una drastica rivoluzione nelle specie o gruppi di specie, presi nel loro complesso: selezione darwiniana a livello di "clada", interi rami dell'albero genealogico. Insomma, macroevoluzione, soggetta agli stessi meccanismi (microevolutivi) che coinvolgono gli individui all'interno di una singola specie. Le "mutazioni" potrebbero interessare allora un'intera specie nel suo complesso.

Sarebbe interessante approfondire anche questo dibattito, ma l'intento divulgativo di questo testo obbliga a rimandare ad altri testi, come quello di T. Pievani (2005, pag. 111, ecc.).

I "fossili viventi"

Ecco un piccolo accenno ad un fenomeno il quale, noto da tempo, può dare una conferma alla teoria degli equilibri punteggiati, in particolare alla presenza, in molte linee filetiche, di lunghi periodi di immutabilità all'interno di specie o gruppi di specie.

Tutti i paleontologi sanno che, in certi casi, interi gruppi di specie fossili appaiono costanti per tempi (geologicamente) lunghissimi. Ebbene, un caso particolare è dato da parecchie specie che sono tuttora viventi, ma assomigliano molto, moltissimo, a specie rinvenute come fossili risalenti a volte a 300 o 400 milioni di anni fa.

In genere si tratta di specie marine di profondità, dove le condizioni fisiche e chimiche dell'ambiente sono molto costanti e relativamente indipendenti da fenomeni astronomici e climatici.

Fig. 11 – La conchiglia del *Nautilus*, tagliata in due lungo il piano mediano. L'animale occupa l'ultima camera, i setti trasversali rappresentano la traccia degli stadi di accrescimento precedenti. Un "sifone" di tessuto molle collega le varie camere fra loro attraversando i setti nel punto centrale.



Un esempio: alcune specie del genere "*Nautilus*" (Molluschi Cefalopodi), dotate di conchiglia concamerata a spirale, si trovano attualmente negli oceani Pacifico ed Indiano e fanno parte di un gruppo (Nautiloidi) che era diffuso già 430 milioni di anni fa (periodo Ordoviciano).

Molto simile era il grande gruppo delle Ammoniti, diffusissimo fino a 65 milioni di anni fa, ma poi del tutto estinto.

Ebbene, le quattro specie di nautilo oggi esistenti sono praticamente identiche a tutta la loro progenie fossile.

Non è possibile citare tutti gli esempi conosciuti, ma in ogni caso si può dire che essi dimostrano la tendenza della selezione a diventare un meccanismo stabilizzante che, in un ambiente conservativo, spinge la specie verso un adattamento ottimale, e da lì non trova motivo di spostarsi. Si tratterà in genere di popolazioni diffuse in ambienti estesi senza barriere geografiche, quindi senza possibilità di frammentarsi in ambienti isolati. Se la popolazione è numerosa, come già si è detto, ogni variazione tenderà a venire riassorbita.

La coevoluzione

Un altro fenomeno che vale la pena di citare è quello in cui l'evoluzione di due specie completamente diverse procede di pari passo. Un'affermazione apparentemente assurda, ma che

si può sostenere pensando che il cosiddetto “ambiente”, in cui una specie vive ed a cui “si deve” adattare se “vuole” evitare l’estinzione, si compone anche di altre specie con cui la prima specie deve fare i conti. Banale esempio: un predatore carnivoro dovrà adattare le sue tecniche di caccia e d’inseguimento alla velocità di corsa delle sue prede (ghepardo e gazzelle, per es.). Altro esempio meno banale: molti fiori vengono impollinati da insetti volatori (“pronubi”); bene, i colori ed i profumi dei fiori sono tali da attirare quegli insetti. In casi limite (le orchidee selvatiche del genere *Ophrys*) il fiore emette profumi identici ai feromoni prodotti dalle femmine di certi calabroni; i relativi maschi andranno ad impollinare le *Ophrys* sognando notti turche, ma non riceveranno alcun compenso, neppure il normale nettare. Il danno e la beffa. L’orchidea è evoluta inseguendo le reazioni olfattive del suo pronubo.

Fig. 12 – Due specie di *Clausilia*, “destra” e “sinistra”; di solito nei Gasteropodi la conchiglia è “destra” (con l’apice in alto, la “bocca” è rivolta a destra), ma a volte avviene l’inverso. A destra, uno dei loro predatori.



Altro esempio significativo. Nel terriccio di molti luoghi aperti si trovano delle chioccioline terrestri del genere *Clausilia* (Gasteropodi, gruppo Polmonati), lunghe pochi millimetri. La loro “bocca”, come si vede in figura, è cosparsa di costole in rilievo. Il loro predatore principale è un coleottero Carabide (*Cycrus*) dotato di sottili e robuste mandibole.

Davanti ad un’aggressione, la prima cosa che fa la chiocciolina è di ritrarsi nella conchiglia. Ma il predatore ha la testa ed il torace assottigliati che lo aiutano a seguire il mollusco all’interno della sua difesa. Che c’è di strano? Col tempo, la preda ha evoluto le costole interne della bocca per ostacolare il predatore e questo ha evoluto una testa ed un torace sempre più sottili per scavalcare le difese della preda. Nessun progetto, nessuna scelta a priori in questo processo, ma solo un graduale adattamento reciproco di due specie che dipendono l’una dall’altra per la sopravvivenza. Come al solito, è solo questione di tempo.

Le costole nella bocca per il mollusco ed un corpo allungato per il coleottero probabilmente non sono il meglio in fatto di comodità, ma entrambe le specie si sono evolute sotto la pressione del bisogno di non farsi mangiare, da un lato, e di mangiare, dall’altro. La selezione è un meccanismo cieco, capisce solo l’argomento “tasso di sopravvivenza” o “fecondità”.

La **contingenza** ed il “**bricolage**” evolutivo

Accanto ai precedenti, si può porre anche il dibattito fra una visione deterministica-lineare dell’evoluzione ed una visione più “occasionale”.

Siamo più chiari. Se poniamo l’accento sul meccanismo della selezione, secondo il primitivo schema darwiniano, il processo è lineare, graduale, quasi deterministico, almeno nel suo complesso: adattamenti sempre migliori, in costante relazione ai mutamenti ambientali.

All’opposto, si possono riscontrare nel corso delle trasformazioni dei viventi alcuni fenomeni occasionali, imprevedibili, a prima vista inspiegabili.

Abbiamo già parlato di fenomeni casuali: a livello di singole mutazioni, a livello di riassetto cromosomici nella riproduzione sessuale, a livello di ricombinazioni nel corso della maturazione

gametica (meiosi e cross-over), ecc. Abbiamo anche citato le brusche variazioni nelle frequenze geniche dovute a migrazioni, mutate pressioni selettive ambientali, ecc.: la visione “saltazionista” di Eldredge e Gould, ed altre, mettono in risalto tutti quei fenomeni “contingenti” capaci di interrompere il normale progresso dell’adattamento.

Ma i discorsi si possono allargare pensando ad alcuni limiti intrinseci dell’evoluzione.

Cominciamo col dire che molti caratteri del vivente sono “invisibili” alla selezione, nel senso che non producono effetti esteriori (fenotipici) e non recano danno immediato al portatore. La selezione quindi ... non li seleziona. Si possono citare i caratteri “**ancestrali**” o “**vestigiali**”. Si tratta di caratteri che hanno avuto una qualche funzione utile negli antenati di una certa specie, ma sono stati “abbandonati” e più o meno sono regrediti ed atrofizzati. Spesso non risultano avere alcuna funzione. Un esempio: il prolungamento dell’intestino cieco chiamato “appendice” è sviluppato e funzionante in molti Vertebrati, ma nei Mammiferi superiori è atrofico, privo di funzioni, e spesso causa di infezioni. La selezione non l’ha ancora eliminato poiché, di solito, non dà molto fastidio. Forse, col tempo ...

Inoltre, vale il concetto “l’evoluzione non ha la marcia indietro” (G. Minelli, comunicazione verbale). In altre parole, il percorso evolutivo è così complesso e condizionato che non può ritornare al punto di partenza e scegliere una strada migliore. Anzi, su questo punto circolano almeno due punti di vista, che in realtà non si contraddicono: c’è chi pensa che, partendo dalle stesse condizioni iniziali, l’evoluzione non potrebbe produrre risultati diversi da quelli che ha prodotto (concezione **lineare-deterministica**); c’è invece l’altro punto di vista, secondo cui i fattori casuali sono tanti che, sempre partendo dalle stesse condizioni d’inizio, il percorso evolutivo non è ripetibile ed il risultato sarebbe sempre diverso (concezione basata sulla **contingenza**). Probabilmente, hanno ragione tutti e due.

Ma il punto centrale è che la selezione non può selezionare quello che non c’è. Ha a disposizione certi caratteri, certi percorsi possibili, certi limiti, e solo su quelli può operare. Non ha un progetto e non può inventare nulla.

In qualunque genoma si trovano sequenze di geni di derivazione assai varia: geni assai conservativi, quasi immutati in una lunga discendenza di antenati, geni “nuovi” che compaiono all’improvviso, geni ripetuti, spesso di ignota funzione. Insomma, un assetto che appare molto caotico.

Non è facile trovare un qualche ordine in questo corredo e, se la selezione produce sempre qualche effetto, significa che il materiale genico presenta sufficienti varianti, sufficienti possibilità di percorso; la strada per le innovazioni è sempre aperta.

L’evoluzione, caso per caso, momento per momento, sceglie o “premia” quei geni la cui espressione può procurare al portatore qualche vantaggio in termini di fecondità, “castiga” gli altri, trascura quelli ininfluenti, tollera quelli non troppo dannosi legati ad altri vantaggiosi ... insomma procede per tentativi, senza alcun programma prefissato, ereditando ad ogni generazione un genoma già assemblato da tempo e filtrando ogni novità. Il processo dipende dalla stabilità offerta dalle leggi dell’eredità e da tutti i fenomeni che offrono qualche novità, fenomeni casuali spesso, o comunque “contingenti”. Conservare ciò che è utile, rottamare ciò che non serve, scartare rapidamente ciò che è dannoso ... ma aprire la porta a qualunque novità che sia vantaggiosa in termini di sopravvivenza della specie.

Insomma, l’evoluzione non è un grande progettista, ma un bricoleur che recupera tutti i pezzi che trova, lascia da parte ciò che non gli serve e compone il resto per fabbricare qualcosa che funzioni. Ed in questo processo, un misto di conservazione e di innovazione, vi è largo spazio per i fenomeni contingenti, imprevedibili ed irripetibili.

Il **preadattamento** e l’“**exattamento**”

Abbiamo citato varie volte il fenomeno del pre-adattamento e vale la pena di chiarirlo meglio poiché esso consente di spiegare molti aspetti oscuri dell’evoluzione.

Dato un qualunque essere vivente, si può pensare di descriverlo adeguatamente elencando i suoi caratteri strutturali, funzionali e comportamentali. Sappiamo che tali caratteri dipendono

dalla sua eredità genetica e dalle influenze ambientali subite durante la sua vita, fin dai primi stadi dello sviluppo. Bene.

Ma abbiamo già chiarito che i rapporti fra corredo genetico e caratteri sono molteplici: molti geni influiscono su molti caratteri (geni pleiotropici) e molti caratteri sono influenzati da molti geni (caratteri poligenici). Abbiamo anche notato come i caratteri dei viventi siano in genere molto “adatti” (o adattati) alle condizioni di vita del portatore. Ma non esistono solo caratteri “adattativi”.

Bisogna ritornare ai caratteri “neutri”, che non rientrano nel raggio d’azione della selezione poiché non recano danno sensibile e quindi possono conservarsi anche per tempi lunghissimi.

Esistono anche caratteri dannosi che si conservano semplicemente poiché, essendo legati a geni pleiotropici o semplicemente a geni vicini ad altri geni favorevoli lungo la catena del DNA, sono trascinati in blocco, senza che la selezione riesca a penalizzarli. Ne abbiamo accennato a suo tempo (“link”, pag. 33).

Il meccanismo del preadattamento sta in questo: una certa struttura svolge una certa funzione all’interno di un organismo vitale, in un certo contesto ambientale. Prima o poi, qualcosa cambia nell’ambiente o nella specie (per via della normale variabilità). Quella certa struttura deve ora confrontarsi con mutate condizioni e, se è in grado di svolgere anche altre funzioni, può aprire la strada per un nuovo e rapido adattamento. In sostanza, ogni struttura o funzione gode di un’ampia versatilità che le consente spesso di inseguire le mutate condizioni di vita in quanto ogni organo può essere riadattato per un’ampia gamma di funzioni. Si può parlare di “**ridondanza funzionale**” del singolo organo.

Si può poi considerare anche una “**ridondanza strutturale**” della singola funzione, nel senso che una data funzione può essere svolta da diversi organi. Questo comporta che, se un certo organo muta rapidamente in risposta a nuove esigenze vitali, la funzione primitiva di esso può essere ancora svolta da altri organi senza compromettere la “fitness” globale della specie. Altra porta aperta per rapidi salti evolutivi.

Se dunque una data struttura ci appare oggi come ben adattata per una certa funzione, non è detto che, nello scorrere del tempo, essa sia stata gradualmente modificata in modo da assolvere sempre quella stessa funzione nel miglior modo. Può trattarsi di un semplice recupero di materiale che era dedicato ad altre funzioni. Occorre distinguere fra adattamento attuale e storia evolutiva precedente.

La ridondanza strutturale appena definita si può applicare anche a livello genetico: abbiamo già parlato di “caratteri poligenici”, quelli a cui concorrono differenti geni. Una mutazione deleteria in uno di quei geni può non provocare danni in quanto altri geni dello stesso gruppo possono svolgere la stessa funzione, ma c’è di più: la genetica moderna ha osservato che una parte rilevante del nostro genoma è costituita da “ridondanze”, vale a dire da ripetizioni, anche numerosissime, dello stesso tratto del filamento del DNA (“DNA spazzatura”, pag. 41). Spesso, si conosce la causa di ciò, ma non ne è chiara la funzione. Si può pensare che questo materiale genico soprannumerario sia essenzialmente inutile in condizioni normali, ma diventi prezioso quando uno dei geni si deteriora per qualche mutazione, e può venire rimpiazzato subito da una delle sue copie ridondanti. Sarebbero le ruote di scorta dell’evoluzione.

Inoltre, il **DNA ridondante** può semplicemente servire da serbatoio di variabilità: in esso possono, infatti, crearsi, per mutazione, molte varianti dello stesso gene, che non vengono viste dalla selezione poiché esse non si esprimono. In questo modo possono accumularsi e persistere le varianti inutili o leggermente dannose: al minimo cambiamento delle condizioni di vita, esse possono venire cooptate immediatamente e rivelarsi **pre-adattate** per nuove funzioni. Un po’ come l’hobbista, che riempie il garage di ogni sorta di attrezzi inutili ma, quando la moglie gli porta una scatola che non si apre, egli trova subito il grimaldello o la sega che risolve il problema. Era lì, da chissà quanto tempo, in disuso ma, al momento buono, torna utile.

Il concetto di pre-adattamento è stato espresso fin dal 1901 dallo zoologo francese L. Cuénot (1866–1951), dagli americani Th. H. Morgan (1886–1945) e G. G. Simpson (1902–1984), ecc. e più di recente se ne è discusso molto poiché l’americano S. J. Gould lo ha allargato coniando il

termine di *exattamento* o *exaptation* (vedi bibliografia).

A dire il vero, la differenza fra adattamento, pre-adattamento ed *exattamento* è sottile: si trovano spunti in T. Pievani (2005, vedi bibliografia).

Sembra di capire che l'adattamento in genere indica la corrispondenza fra l'organo (e la relativa funzione) e le esigenze di vita di una particolare nicchia ecologica. Si prescinde dall'origine storica di quella struttura. Si guarda al presente.

Il pre-adattamento è un adattamento "involontario" fra una struttura preesistente (adattata per una certa funzione) ed una nuova esigenza, una nuova funzione. Un fenomeno casuale, reso possibile dalla ridondanza funzionale sopra citata.

L'*exattamento* è un nuovo adattamento, ancora più casuale poiché in questo caso la struttura e la funzione preesistente non erano particolarmente adattate o addirittura erano inutili o lievemente dannose, ma sono diventate improvvisamente utili nelle nuove condizioni di vita.

Comunque sia, il preadattamento offre due ulteriori meccanismi possibili per l'evoluzione.

Da un lato, esso corto-circuita i normali processi di adattamento graduale poiché offre alla selezione una combinazione già pronta, naturalmente a condizione che questa sia utile; in questo modo, diventa possibile un rapido salto evolutivo, come richiesto dalla teoria degli "equilibri punteggiati".

Dall'altro lato, rende più chiari i casi raffinati di adattamento di cui è disseminata la storia della vita. Infatti, un organo complesso non si può spiegare come frutto di fenomeni casuali, ma diventa comprensibile se quell'organo, capace in ogni momento di assolvere molteplici funzioni, trova caso per caso un ulteriore impiego utile, e quindi è in grado di inseguire ogni mutamento delle esigenze vitali.

Comunque, un organo pre-adattato non è sempre un organo che, indifferente all'inizio, si adatta gradualmente in vista di una funzione utile finale. In questo caso, quell'organo sarebbe inizialmente inutile e non si capisce perché la selezione lo abbia premiato in attesa che diventi pienamente utile. Ogni organo, in ogni momento della sua storia, deve aver assolto una qualche funzione e la selezione lo ha conservato per il vantaggio riproduttivo che conferiva ai portatori (salvo il caso dei caratteri "neutri" o "vestigiali" di cui abbiamo appena parlato). Dunque, quando vediamo un organo o una funzione perfettamente adattati al modo di vivere di un vivente, non abbiamo motivo di pensare che quell'organo si sia formato "in vista" di una sua applicazione futura: l'evoluzione opera sul presente, sui vantaggi o svantaggi di una certa struttura nel qui ed ora. Per il futuro, ad ogni nuova condizione di vita, essa dovrà utilizzare strutture preesistenti, pre-adattate, se le trova. Altrimenti è l'estinzione, poiché sarà difficile che un nuovo adattamento graduale riesca ad inseguire i cambiamenti ambientali, generalmente assai più veloci.

Il graduale succedersi di pre-adattamenti, che ogni volta si dimostrino all'altezza delle condizioni di vita del momento, può giustificare un progressivo perfezionamento fino a quello che oggi vediamo attorno a noi. Si può anche concludere che i preadattamenti, basati sulla ridondanza funzionale, offrono ad ogni specie un ulteriore grado di variabilità, con percorsi adattativi abbreviati.

A questo punto, conviene descrivere qualche esempio di pre-adattamento, fra i tanti.

Pensiamo alle "fontanelle", le regioni cartilaginee che separano le parti ossificate nel cranio dell'embrione o del feto dei Vertebrati superiori. Tali cartilagini rappresentano negli Uccelli, ad es., un'ovvia fase transitoria dello sviluppo, in attesa dell'ossificazione totale. Le fontanelle vengono poi sostituite dalle "suture", collegamenti rigidi fra le ossa del cranio.

Nei Mammiferi invece nasce un'altra esigenza: il piccolo non può nascere semplicemente rompendo un guscio, deve attraversare un "canale del parto", che generalmente sarà stretto, per varie esigenze anatomiche⁵⁵. A questo punto le fontanelle, inizialmente inutili, diventano preziose per consentire al cranio del nascituro un adattamento alle dimensioni del canale.

⁵⁵ Il bacino femminile presenta in genere una capacità maggiore di quello maschile (carattere evidentemente adattativo in vista della gestazione), ma un eccessivo allargamento provocherebbe scompensi con la dinamica generale dello scheletro, le esigenze della deambulazione, ecc.

L'ossificazione avverrà più tardi.

Altro esempio: la vescica natatoria dei pesci. Nella maggioranza dei pesci primitivi esisteva una coppia di "sacche polmonari", due cavità collegate all'esofago, derivate da evaginazione del tubo digerente, piene di gas. La loro funzione era idrostatica: gonfiandosi e sgonfiandosi (la loro parete contiene fibre muscolari) regolavano il peso specifico globale del corpo e ne consentivano gli spostamenti verticali senza ricorrere al nuoto. Nella maggioranza dei pesci moderni tale struttura è ancora presente, svolge la stessa funzione e spesso è in collegamento diretto con l'esofago.

Però, in alcune specie di acque salmastre, dove l'ossigeno è scarso, la parete interna della vescica appare pieghettata, con ovvio aumento della superficie di contatto con il gas interno. Quando la vescica è in collegamento con la bocca, può svolgere una funzione respiratoria come se si trattasse di un primitivo polmone, in parallelo con le branchie.

Situazione più spinta in questa direzione si trova nei Dipnoi, un piccolissimo gruppo di Pesci capaci di vivere anche sulla terraferma: la loro vescica natatoria può bastare ad assorbire dall'aria il 95% dell'ossigeno necessario.

Nei Vertebrati terrestri, a cominciare dagli Anfibi, si trovano strutture capaci di utilizzare l'aria atmosferica, che derivano dallo stesso abbozzo embrionale (un caso di omologia) ma svolgono esclusivamente la funzione respiratoria: i polmoni.

Una struttura nata per la funzione idrostatica, con qualche aggiustamento strutturale, è stata cooptata per la funzione respiratoria. I polmoni non sono nati dal nulla: si tratta del riciclaggio di un organo preesistente.

Un paio di esempi, presi dal campo dei comportamenti.

Sono stati descritti e documentati già vari casi di delfini che corrono in aiuto di nuotatori in difficoltà. Si è parlato di intelligenza, empatia, altruismo, e simili.

Certamente, i delfini sono animali sociali, vivono in gruppi ben organizzati e sono quindi ben adattati alla vita sociale. Però la collaborazione con l'uomo può avere altre cause: poiché i delfini, come tutti i Cetacei, respirano l'aria atmosferica, un neonato o un individuo in difficoltà (ferite, ecc.) deve essere portato in superficie per sopravvivere. Nel sistema nervoso dei delfini deve esserci qualche circuito neuronale che ordina: "se vedi un corpo allungato che si dibatte, spingilo in su". Ciò migliora la possibilità di sopravvivenza di piccoli appena nati o di individui in qualche modo menomati.

A questo punto, se un delfino vede un maldestro nuotatore che sguazza, può rispondere allo stesso impulso che lo porta a soccorrere i suoi conspecifici. Un comportamento che è utile per la specie nelle condizioni normali, è in grado di aprire la strada ad un nuovo comportamento che non è presente nel passato evolutivo della specie, ma può rivelarsi utile. (Che poi i delfini traggano un vantaggio a lungo termine dalla collaborazione con l'uomo, sarà da vedere).

Anche questo è un esempio di conversione funzionale in presenza di una stabilità strutturale.

Ultimo esempio: molte api sono capaci di una vita sociale molto organizzata, ma vi sono specie che menano vita solitaria (*Lasioglossum*, ecc.), come avviene anche presso molte specie di vespe. Osservando queste specie solitarie, si constata che il singolo individuo è in grado di svolgere da solo tutti i compiti vitali (ricerca del cibo, esplorazione dell'ambiente, costruzione del nido, difesa del medesimo, ecc.). Se però si mettono molti individui della stessa specie solitaria in un ambiente ristretto, ognuno si dedica ad un particolare compito, e gli altri si scelgono una diversa attività. Appare evidente che le specie solitarie, di per sé autonome, sono già predisposte alla vita sociale in quanto, appena molti individui si trovano in gruppo, mettono in atto i comportamenti specifici della vita sociale (divisione dei compiti, collaborazione, ecc.). Quando sono da soli, come è la norma, gli individui non traggono alcun vantaggio dalla divisione dei compiti (non c'è nessuno con cui collaborare); il comportamento sociale per essi non è utile sul momento, ma può diventarlo in situazioni nuove.

Semplicemente, le specie solitarie sono già predisposte al comportamento sociale. La loro evoluzione è già prevista in un processo di pre-adattamento.

L'abate moravo Gregor Johann Mendel, agostiniano (1822–1884), e le sue “leggi”

Non si può chiudere questa rapida rassegna degli aspetti biologici dell'evoluzione senza citare un vero antesignano della genetica. Benché tentativi di ibridazione fossero già stati tentati quasi un secolo prima da Kölreuter e, negli stessi anni, da Naudin, l'abate Mendel realizzò con metodi rigorosi una serie di esperimenti d'incrocio fra varie razze di piselli.

Nel 1865 egli pubblicò i suoi risultati, che si possono riassumere in tre principi fondamentali (in linguaggio moderno):

- quando un carattere dipende da due alleli, uno di essi è “dominante” ed impone la propria manifestazione negli ibridi a spese dell'altro, che è detto “recessivo” (legge della dominanza);
- nei gameti prodotti dagli ibridi di prima generazione i due alleli sono presenti in copia singola: o l'uno o l'altro (legge della disgiunzione);
- ogni coppia di alleli si comporta in maniera indipendente dalle altre, per cui si possono avere tutte le combinazioni possibili (legge dell'indipendenza).

Le leggi di Mendel conservano tuttora la loro validità, ma non hanno applicazione universale. Agli inizi del '900, ad opera dei botanici De Vries, Correns e Tschermak e poi di altri, quel campo d'indagine fu rivisto, s'introdusse il concetto di mutazione, ecc. per cui i fenomeni dell'eredità risultano assai più complessi e le leggi di Mendel valgono solo in assenza di mutazioni, in presenza di geni non collegati, possibilmente localizzati su cromosomi diversi, e così via. Lo stesso fenomeno della “dominanza” presenta molte eccezioni e casi intermedi.

Le semplici leggi di Mendel sono risultate parzialmente incompatibili anche con la visione gradualistica di Darwin: con tutti i suoi limiti, già discussi (equilibri punteggiati, per es.), il gradualismo tiene ancora. L'evoluzione non avviene di solito per salti bruschi fra generazioni, fra ibridi dominanti e recessivi, ecc., ma per variazioni progressive di caratteri dovuti ad una costellazione di geni. Tutto è più complicato di quanto non potesse afferrare Mendel: il materiale su cui operava era troppo particolare.

IL POSTO DELL'UOMO NELL'EVOLUZIONE

Dopo aver riassunto i fatti ed i concetti principali circa l'evoluzione dal punto di vista della biologia, dobbiamo estendere il nostro esame al mondo umano, con tutte le sue manifestazioni psicologiche, intellettuali, sociali, culturali, spirituali.

Questa estensione è ovviamente carica di conseguenze, poiché si presenta subito il problema di verificare se ed in quale misura è possibile che l'uomo risulti coinvolto nei meccanismi dell'evoluzione biologica.

Questa domanda ha prodotto fin dall'inizio, anche da prima di Darwin, una folla di visioni, interpretazioni e teorie senza fine, riconducibili spesso a due risposte apparentemente inconciliabili: una visione positivista, che riduce ogni manifestazione dell'essere umano a meccanismi causali (sia pure all'interno di fattori contingenti ed indeterminati, come detto sopra); l'altra, spiritualistica, che vede l'uomo sottoposto essenzialmente ("in essenza") a valori e forze non materiali, e quindi svincolati dalla cogenza delle "leggi di natura".

La guerriglia fra le due fazioni è stata ed è ancora molto aspra e spesso è nata dalla diversità di due culture; semplificando come sempre: quella scientifica, che tende a ricondurre ogni oggetto ed ogni fenomeno ad una causa, che opera secondo quegli schemi di ripetibilità che noi chiamiamo "leggi di natura": l'altra, umanistica, che si occupa dell'attività cosciente dell'uomo, del suo pensiero (cosciente), delle sue idee (coscienti); tale attività opererebbe in piena autonomia, slegata dalla rete degli oggetti e delle leggi biologiche.

Come spesso accade, queste contrapposizioni partono dal presupposto che l'una visione escluda l'altra e nascono da un diverso percorso formativo, da un diverso approccio metodologico, quindi da una diversa forma mentale. E questo potrebbe essere produttivo, nel senso di generare un confronto ed un arricchimento di idee; ma di solito finisce con una interpretazione deformata o limitata, che ci porta a vedere un solo aspetto delle cose, quello a cui siamo abituati, ed a rifiutare tutto il resto.

Per parte nostra, proviamo a vedere i pro ed i contro delle due posizioni e, semmai, a cercare una possibile composizione.

Il metodo scientifico ci mette di fronte ai fatti, si propone di descriverli, di identificare i rapporti di causa ed effetto (le "leggi"), di fare previsioni sullo svolgersi dei fenomeni, eventualmente verificare queste previsioni ripetendo i fenomeni in situazioni controllate ("esperimenti"), e poco più.

Il vantaggio di questo metodo è la continua auto-verifica; sappiamo che la storia della scienza è lastricata di errori e di teorie abbandonate; ma ogni fenomeno viene riprodotto appena possibile, ed ogni affermazione, ogni "modello", viene confrontato con i fatti, e prima o poi abbandonato, appena i conti non tornano.

Non tutto è liscio, naturalmente; certi fenomeni (cosmici, ad es.) non possono essere riprodotti né verificati; nel caso dell'evoluzione, i tempi umani non possono riprodurre i tempi geologici, e così via. Non resta che costruire dei "modelli", delle teorie, ed aspettare nuove osservazioni per confermarli o contestarli.

Qui, il pensiero dell'uomo serve solo a fare da spettatore obbiettivo: deve registrare, descrivere, riassumere i fatti, collegarli meglio che può. Si parte sempre dalle osservazioni: è il metodo "**induttivo**".

Nella cultura umanistica (arte, filosofia, religione), il pensiero è invece misura di sé stesso: parte da alcuni presupposti che gli sembrano autosufficienti (assiomi, ecc.), su questi costruisce un sistema di conseguenze che gli appaiono "ragionevoli" o "logiche", le deduce (metodo "**deduttivo**") prendendo come riferimento il proprio funzionamento interno. Insomma, ruota su sé stesso e può allora perdere il contatto con i fatti. Diventa auto-referenziale.

Ovviamente, questo procedimento è indispensabile, sia nella creazione artistica, sia nell'analisi filosofica, sia nella ricerca dei valori spirituali.

Il problema nasce quando una di queste attività si concentra su sé stessa e si sforza di ricondurre tutto al proprio approccio.

Per es., non è possibile intendere il senso di un quadro attraverso un'analisi chimica dei pigmenti. Nessuno può contestare al chimico il risultato delle sue analisi, ma egli non può pretendere di avere esaurito il fenomeno "quadro". Occorre anche un altro approccio.

Dall'altra parte, sempre per es., non ci si può aspettare di aver decifrato un comportamento umano facendo riferimento ai soli valori morali; sarà meglio cercare tutti i meccanismi fisiologici, psicologici, sociali e culturali che possono averlo condizionato.

Insomma, il disprezzo reciproco fra scienza ed umanesimo è un falso problema: lo si può risolvere allargando le vedute, adottando altri metodi, ecc. L'uomo maturo può e deve farlo: è una sua responsabilità.

Per quanto riguarda l'evoluzione, oggi non è pensabile svolgere alcuna attività nel campo delle scienze naturali in genere senza una visione trasformista. Se non altro perché l'alternativa all'evoluzione è il **fissismo**, il concetto dell'immutabilità delle specie. Intendiamo con quel termine un certo modo di vedere i singoli esseri viventi come espressione di una diversa "idea" platonica immutabile, una per ogni specie, cui ogni individuo aderisce. Il creatore della sistematica (C. Linné, 1707 – 1778, naturalista svedese), come molta parte della cultura del suo tempo, vedeva le specie viventi come derivate da antenati sempre uguali, create fin dall'inizio così come sono oggi. La visione fissista porta con sé il "**creazionismo**" in senso stretto, il concetto che ogni cosa (o almeno ogni specie vivente) è stata creata singolarmente, così come la vediamo, privata di una storia di possibili variazioni.

Ebbene, è ovvio che l'evoluzionismo (il complesso di teorie che accettano l'evoluzione dei viventi) non è compatibile con il fissismo e quindi col creazionismo stretto. Esso però non può opporsi alla "**creazione**", al pensiero che l'universo delle cose, prima o poi, abbia avuto origine da un atto creativo⁵⁶. Infatti, il compito della scienza è di stabilire i nessi causa-effetto, quindi risalire da un effetto alla relativa causa, poi alla causa precedente, poi ancora ... ecc. Si può pensare che questa catena causale possa risalire all'indietro, senza fine? Su questa strada, nessuna speculazione umana sembra portare a qualche certezza. È ben vero che, sul piano fisico, la teoria quantistica parla di un vuoto che, per alterazioni locali (scala microscopica, s'intende), può creare coppie particella-antiparticella che non aggiungono nulla al nulla ma, se si separano ... E c'è chi parla di un universo ricorsivo che, al termine di un periodo di evoluzione, riparte da un nuovo "big bang" ... ecc.

Molte teorie, poche certezze, ma il problema della "causa prima" rimane.

Dunque, la scienza può sostenere una concezione evolutiva del mondo biologico, dimostrare che nulla è immutabile, e tanto meno la specie, almeno nei tempi lunghi. D'accordo. Quindi, possiamo relegare il fissismo fra gli errori "prospettici", quelli che nascono da una visione limitata delle cose e dal limitato punto di vista dei tempi e degli spazi della storia umana.

Ma la scienza non può dimostrare né contestare un concetto di creazione che, per sua natura, è prima della storia, prima dell'universo e delle sue leggi. È fuori dal suo campo d'indagine, dai suoi metodi, dai suoi strumenti. Occorre dividere i terreni di gioco.

Del resto, data la diversa dimensione in cui si svolgono, l'evoluzione e la creazione possono benissimo coesistere: sono fatti indipendenti.

È interessante notare che, anche nel pensiero cristiano, il concetto di creazione non è sempre stato inteso nel senso di un creazionismo stretto. Basterebbe citare il reverendo Baden Powell che, oltre ad insegnare geometria all'università di Oxford, aveva visto con i suoi figli la fondazione del movimento dello scautismo; egli vedeva la creazione come un atto prima del

⁵⁶ Si può citare anche un autore cattolico: il Nicolas (1978, pag. 35); "... le dottrine dell'evoluzione concernenti solo le cause seconde ... non mettono in nessun modo in questione il ruolo creatore di Dio ...".

tempo, unico, estraneo ai quadri del tempo e dello spazio in cui si muove l'universo creato. In questo atto era già previsto tutto, anche la trasformazione del cosmo, l'origine e l'evoluzione della vita. Il creato, fin dall'istante primo, avrebbe contenuto in sé tutte le strutture, le forze e le leggi che poi ne avrebbero provocata la graduale trasformazione. Con un'efficace metafora, egli preferiva un Dio **architetto**, che ha già in mente tutto il progetto dell'edificio fin dall'inizio, piuttosto che un Dio **artigiano** il quale, volta per volta, modella i pezzi che gli servono per proseguire la costruzione. In altre parole, non c'è bisogno di scomodare un creatore che, volta per volta, crea un organo, un individuo, una specie. I dettagli possono venire dallo svolgersi di un unico atto creativo che contiene in sé quanto occorre per proseguire (e per evolvere).

Il creazionismo stretto inoltre si scontra con troppi fatti evidenti. Abbiamo citato a suo tempo le "specie circolari", quelle specie che si espandono su territori molto ampi e che, essendo formate da popolazioni contigue, mostrano interfecondità fra queste ultime, salvo il caso di popolazioni agli estremi dell'areale (pag. 11). Ebbene, davanti a questo graduale differenziarsi delle popolazioni all'interno di una specie e davanti allo sfumare dei confini fra una popolazione e l'altra, come si può sostenere la creazione indipendente delle singole specie? O delle singole popolazioni? Dobbiamo proprio obbligare il Creatore ad occuparsi di tutti questi fatterelli?

Del resto, sappiamo che ogni specie, ogni varietà, ogni popolazione ed anche ogni individuo è diverso da tutti gli altri, sia fenotipicamente che geneticamente (fin dalla pag. 8 abbiamo visto che ogni vivente possiede una individualità ed una individuabilità). Ma allora l'atto creativo deve proprio produrre volta per volta ogni singola entità vivente?

E come la mettiamo con gli organi vestigiali (pag. 46)? Un caso fra tanti: i Coleotteri possiedono, come altri ordini d'insetti, due paia di ali; il primo paio è irrigidito e coriaceo, non membranoso, come avviene in altri ordini: sono le **elitre**. Le elitre proteggono il secondo paio di ali e l'addome; l'insetto vola sollevando le elitre ed espandendo le altre ali, rimaste membranose. Ora, vi sono alcune specie di Coleotteri (famiglia Carabidi, ecc.) in cui le elitre sono più o meno saldate ed il secondo paio di ali è atrofico ed inutilizzabile.

A parte l'interpretazione adattativa di questa regressione (quelle specie di Coleotteri menano vita notturna e cacciano a terra; oppure vivono in isole molto ventose e non possono volare poiché il vento le trascinerrebbe in mare), ma come si può spiegare la creazione di un organo atrofico ed inutile? E proprio in quelle specie che ne avrebbero danno e che hanno tanti parenti alati? Non è più ovvio pensare ad una regressione legata ad esigenze ambientali?

Stupisce come abbia avuto tanto seguito un creazionismo integrale. Lo stesso S. Agostino (354 – 430) scriveva in *Lettere sulla Genesi* "... la produzione degli esseri viventi non è stata compiuta all'inizio che nei principi e nelle cause, poiché Dio non ha creato di colpo tutta la natura". Sembra che si ammetta in questo modo una graduale trasformazione della natura a partire da una situazione iniziale che, per meccanismi interni, evolve in modo autonomo. Più recentemente, Maupertuis (1698 – 1759) in *Système de la Nature*, XI (1751), chiariva un concetto che dovrebbe essere ovvio: "... supporre tutti gli individui formati ... in un solo giorno ... è inutile ... poiché ciò che ci sembra successivo è sempre per Dio simultaneo". Un qualunque atto creativo (dell'intera natura), per definizione, deve porsi prima e fuori della natura, e quindi fuori dai quadri del tempo e dello spazio in cui si muove l'universo. Il prima ed il dopo, la storia, appartengono alla natura, non ad un eventuale atto che l'ha prodotta. L'evoluzione si svolge nel tempo, l'atto creativo no, ed in quest'ultimo sono contemplate in potenza tutte le trasformazioni successive dell'oggetto creato, che si svolgono per forze, o meccanismi, o leggi, intrinseche all'oggetto stesso. (NB: in questo contesto, per "oggetto creato" s'intende l'universo intero).

Intendiamoci, un creazionismo stretto ha le sue giustificazioni: i fenomeni biologici appaiono spesso ordinati, come ogni organo funzionante dimostra. La stessa successione genealogica delle specie mostra una continuità, un filo conduttore, che sembra proprio "ordinato". Il problema nasce dal confondere l'ordinato col pre-ordinato. Qualunque forma di ordine in natura rappresenta la manifestazione di quelle ripetibilità che noi chiamiamo "leggi"; ma si tratta di leggi spesso indeterminate, ne abbiamo parlato più volte, e quindi l'ordine contempla anche fatti contingenti ed imprevedibili. Comunque, non c'è posto per un

creazionismo immanente, che pre-ordina singolarmente ogni cosa. La creazione è un'altra cosa.

Il fissismo, la continuità storica delle specie come le intendeva Linneo, e quindi il creazionismo stretto, sembra essere, come già accennato, un'impropria eredità del concetto platonico delle "idee" a cui ogni oggetto reale deve adeguarsi. Forse, è il pensiero a doversi adeguare agli oggetti.

Una derivazione laica del creazionismo stretto può essere il "**vitalismo**": fin dalla prima pagina abbiamo accennato a quelle filosofie (qui non si può parlare di approcci scientifici) che vedono i fenomeni naturali, ed in particolare l'evoluzione, come diretti da forze interne, da "slanci" mirati, diretti a priori verso un risultato finale. Questo vitalismo però ammette una qualche forma di trasformismo e cammina a braccetto con l'ortogenesi in senso stretto, di cui abbiamo parlato più volte: l'evoluzione come processo diretto da forze interne alla materia vivente, unidirezionale, preordinato, dotato di un fine ultimo.

A parte la creazione, che si svolge fuori dalle leggi di natura, i fenomeni naturali si possono spiegare con meccanismi e cause naturali, che stanno, fin dall'inizio, all'interno di quel groviglio interconnesso di oggetti e di forze che è la natura; questa spiegazione non richiede "fini".

Semmai, volendo seguire il pensiero teologico corrente, si può sempre pensare alla creazione come "atto creativo", come volontà, come intenzione, e ciò contempla un "fine" a priori, che sta prima delle cose ed a cui le cose ritornano. E tutto ciò fuori del tempo e della natura fisica o biologica.

PRO e CONTRO

Dicevamo sopra che oggi, in biologia, nulla si spiega senza evoluzione.

Fra gli argomenti a favore si possono citare i casi verificati in tempi storici (il caso sopra citato della farfalla inglese *Biston betularia*) e la ottima concordanza fra gli schemi di classificazione: – su base morfologica (somiglianze strutturali), – su base biogeografica (distribuzione delle varie specie nello spazio), – su base genetica e biochimica (struttura del genoma e di molte proteine essenziali), – su base filogenetica (discendenza delle specie e dei grandi gruppi), – su base evolutiva (trasformazioni graduali di specie e gruppi).

La stessa struttura gerarchica della classificazione, dalle specie ai gruppi superiori sempre più ampi, porta inevitabilmente a pensare ad una continua ramificazione di ogni entità tassonomica.

E la successione dei fossili, sia pure col fenomeno degli "equilibri punteggiati" (pag. 37), non mostra forse una continua successione di forme sempre diverse?

Ma non ci dilunghiamo su questo aspetto, che non avrebbe mai fine.

Le obiezioni degli anti-evoluzionisti (fissisti? creazionisti?) sono pure numerose.

●● Mancano gli "anelli di congiunzione", i fossili non mostrano i passaggi graduali fra le diverse specie. Spesso è vero. Ma di questo si è già discusso (pag. 2 – 3) e si sono viste le cause tecniche della scarsità dei fossili, senza tener conto del fenomeno degli "equilibri punteggiati" (pag. 37), che pure ha una spiegazione evolutiva.

●● Molti punti non sono chiari. Verissimo. Ogni tanto, per es., si trovano discrepanze fra la genealogia evolutiva e quella biochimica; i Primati, secondo la struttura di una proteina del sangue, il "citocromo c", sarebbero più vicini ai Marsupiali che ai Mammiferi superiori. Da ridere.

Molti altri sono i casi di organi (per es. il rene dei Vertebrati superiori) la cui origine non si trova in nessun altro organo precursore.

Bèh, pretendere che l'intricata ragnatela dell'evoluzione sia tutta chiara, dopo nemmeno due secoli di studio, è pretendere troppo.

●● Molte strutture organiche sono così perfette che non possono essere sorte "per caso".

Anche questo è verissimo. Basta intendersi.

Su questo discorso occorrono almeno due precisazioni.

Prima: il concetto di "**caso**" va chiarito in modo drastico. È ovvio che qualunque organo di

qualunque vivente, per il solo fatto che il suo portatore esiste, dimostra di funzionare alla perfezione. Pensare che esso si sia formato “per caso” è assurdo.

In un documento pontificio di qualche anno fa si affermava che la religione cattolica può accettare l’evoluzione, ma non il “caso”. Ecco un tipico esempio di equivoco dovuto al diverso uso dei termini. Nel linguaggio filosofico (ahi, quanti guai ha fatto la sordità reciproca fra cultura umanistica e scientifica!) il termine “caso” indica un oggetto o un fenomeno che non ha causa, che si è formato dal nulla o da solo. Ovvio: né un batterio né un gatto, né il cervello umano si possono originare senza una causa. Ma a suo tempo (pag. 7–8 e 30) abbiamo spiegato come, nel linguaggio scientifico, si indica un fenomeno come “casuale” non se nasce dal nulla, ma semplicemente se è indeterminato, legato a leggi probabilistiche, e può essere descritto solo in termini statistici.

Dunque, ogni cosa in natura ha una causa, anche nei casi in cui l’effetto è indeterminato. Con nulla non si fa nulla. Basta intendersi sulle parole. Del resto, abbiamo detto che nei fenomeni della vita, accanto a leggi generali, abbastanza ripetitive, c’è posto per fenomeni contingenti, ecc. Non ci ripetiamo. Quello è “caso”, in senso fisico, ma una causa c’è sempre.

Seconda precisazione.

L’argomento preferito dei creazionisti è: “Un organo perfetto come l’occhio non si può formare per caso”. Vero, comunque si intenda il termine “caso”. E questo discorso vale per ogni manifestazione della vita. Ogni essere vivente, ogni struttura, per il fatto stesso di esistere, abbiamo detto che va considerato perfetto, nel senso che ha finora superato tutti i problemi della sopravvivenza. Dunque, l’organo tale o talaltro è un capolavoro d’ingegneria, e la sua complessità è stupefacente. Il caso non può essere invocato.

Questa obiezione ricalca il classico **“argomento dell’orologiaio”**: occorre risalire al 1802 quando il pastore anglicano William Paley, nell’opera *“La teologia naturale”*, affermava che, se io cammino in un’isola deserta, e vedo per terra un orologio, devo dedurre che lì vi sono degli esseri intelligenti, capaci di progettare e costruire quell’oggetto. Allora, anche ogni essere vivente deve essere stato creato da una volontà intelligente.

In questo argomento c’è un vizio di fondo: l’orologio non si riproduce, non presenta variabilità, non forma popolazioni, non si deve adattare ad un certo ambiente, non viene selezionato, non evolve. In tre parole: non è vivo. Effettivamente, deve essere stato fabbricato così com’è da qualcuno in grado di farlo.

Ma un essere vivente gode di quelle proprietà che abbiamo appena ricordato e che abbiamo discusso all’inizio. Quindi non nasce così come lo vediamo oggi. In che modo sia cominciata la vita sulla terra non sappiamo, e ne riparleremo, ma certamente i primi esseri viventi erano molto semplici e da quelli, in un percorso di miliardi di anni (circa 3,5, sembra), dopo molti miliardi di generazioni, dopo innumerevoli tentativi falliti (individui e specie estinte), dopo un processo ininterrotto di selezione, passo dopo passo, la complessità del vivente è aumentata fino a mostrarci lo stato attuale delle cose.

Il paragone fra orologio ed essere vivente è troppo semplicistico.

Ma allora torniamo al caso dell’occhio. Non può essersi formato da solo o per caso. Vero.

Ma neppure vi può essere una causa a priori che fa nascere dal nulla la struttura di un organo e ne determina la funzione. L’organismo non possiede un meccanismo che ne diriga lo sviluppo verso una funzione che non esiste ancora, verso un’utilità che si trova solo nel futuro. L’evoluzione segue il confronto fra vantaggi e svantaggi di un dato carattere nel qui ed ora, non si può occupare di una situazione futura che non può influire su di essa; non può influire per il semplice fatto che non esiste ancora.

Occorre allora fare un passo indietro, prendere pazienza e ricostruire la lunga storia di quell’organo lungo la linea genealogica della specie. Si potrà constatare allora che si comincia con una struttura molto semplice, con funzioni ridottissime, e poi, per piccoli gradini o comunque per stadi successivi, si può arrivare alla situazione “completa” attuale. Ma si badi, in ognuna delle fasi intermedie del suo “perfezionamento”, un certo organo deve essersi trovato come parte integrante di un organismo funzionante, complessivamente adattato alla sua nicchia.

Deve aver offerto un qualche vantaggio, o almeno non deve averlo danneggiato. Non lo si può vedere come un passaggio intermedio, a sé stante, in attesa di una futura utilità.

Si torna insomma al processo del pre-adattamento di cui si è parlato poco sopra.

Si può citare a questo proposito un'affermazione di G. G. Simpson: "Questi fotorecettori funzionano splendidamente, ciascuno al suo livello, e non aspettano per cominciare a funzionare di avere raggiunto l'ultimo stadio".

L'occhio dei Mammiferi superiori, un organo quasi perfetto, anche dal punto di vista strettamente tecnico, si presta proprio ad un esame approfondito, ed un naturalista va a nozze quando riesce a farlo.

Cominciamo col dire che un organo anche solo sensibile alla presenza di luce, comunque, può essere utile. Ancora più utile se questo organo consente di percepire la direzione della sorgente. Meglio ancora se esso può fornire un'immagine sia pure confusa degli oggetti. Se poi consente di percepire forma, colori, distanza, ecc. è una leccornia: consente di localizzare prede e predatori, riconoscere i propri conspecifici, ecc.

Dunque, nella lunga serie (che riassumeremo) di organi fotosensibili che si sono presentati nel corso della filogenesi, una qualche utilità sembra ci sia sempre stata. Il passaggio da organi più semplici a quelli più raffinati è andato grosso modo di pari passo con l'aumento di complessità degli organismi, ma sempre in concordanza con le esigenze di adattamento all'ambiente. E neppure si può sperare che sia il medesimo organo che, gradualmente, si è perfezionato nello svolgimento di una certa funzione, passando da un gruppo ancestrale ai discendenti. Capita spesso che la stessa funzione venga svolta da organi con differente derivazione embrionale e filogenetica: abbiamo già specificato i concetti di omologia (zampe anteriori di Mammiferi ed ali degli Uccelli, ad es., derivati da modificazioni dello stesso abbozzo embrionale) ed analogia (ali di insetti ed Uccelli: stessa funzione, ma derivazione assai diversa)(vedi pag. 37). In tutti gli organi fotosensibili che elencheremo, è riconoscibile una funzione simile (analogia), ma non sempre una stessa posizione nella struttura dell'embrione (omologia). In questi casi, si può spesso parlare di **convergenza** (sempre a pag. 37).

Cominciamo da uno dei più semplici esempi di organo visivo (negli organismi unicellulari si parla di "orgànuli"), capace solo di percepire "dove c'è più luce". Lo andiamo a cercare in un organismo abbastanza semplice (una sola cellula), probabilmente simile ai primi esseri viventi mai apparsi sulla terra: un'alga "flagellata" (figura seguente).

Fig. 13 – Un'alga unicellulare d'acqua dolce, del gruppo dei Flagellati, capaci di nuotare a mezzo di uno o più filamenti mobili ("flagelli", invisibili nella figura perché troppo sottili).

Queste alghe sono fotosintetiche poiché, possedendo clorofilla, sono in grado di sintetizzare l'alimento-base (glucosio) sfruttando la luce solare. Ciò le obbliga a cercare i luoghi più illuminati. In questa ricerca di luce (e quindi di cibo) è molto utile poter apprezzare il livello di illuminazione dell'ambiente; ecco la funzione adattativa di una macchia di pigmento rosso (stigma) capace di assorbire la luce e stimolare un organulo fotosensibile minutissimo che sta alla base del flagello.

Non si può parlare di "occhio", ma una struttura così semplice risponde comunque alle esigenze vitali di quest'organismo.

(La grande macchia chiara rotonda è un "vacuolo", un organulo escretore). (Foto G. Carboni)



Fig. 14 – Un piccolo crostaceo d’acqua dolce, una femmina con le sue sacche ovigere. Sulla fronte, una macchiolina rossa, un rudimentale occhio semplice, che merita a questo genere il nome di *Cyclops*.

Le due robuste antenne sono dotate di forte muscolatura e vengono usate come veri e propri remi; poiché il loro movimento è sincrono, il nuoto di questi animalletti è scattante, a balzi.



Fig. 15 – Uno schema di occhio semplicissimo: una cellula sensoria (Sens.) si prolunga in una fibra nervosa (Nerv.) che termina nei centri nervosi. La cellula sensoria è circondata da cellule pigmentate, scure (Pigm.), che impediscono alla luce di stimolare la cellula sensibile dalla parte opposta. In questo modo l’animale può apprezzare la posizione della sorgente.

Tali organi si trovano in molti Invertebrati semplici, come i Turbellari, che fanno parte dei Platelminti (“Vermi piatti”).

Con “n” è indicato il nucleo della cellula sensoria.

In questa, come in quasi tutte le altre figure, la luce proviene da destra.

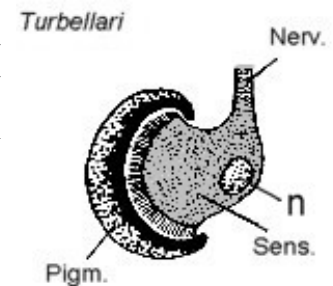


Fig. 16 – Altro schema: una “macchia oculare” in un altro Platelmintia (*Planaria*). Qui vi è un intero gruppo di cellule sensorie; la copertura di cellule pigmentate si è allargata. Anche qui, la struttura è “inversa”: la luce deve attraversare il fascio di fibre nervose prima di raggiungere le cellule sensorie.

Quest’organo è immediatamente sottostante all’epidermide (Epider.).

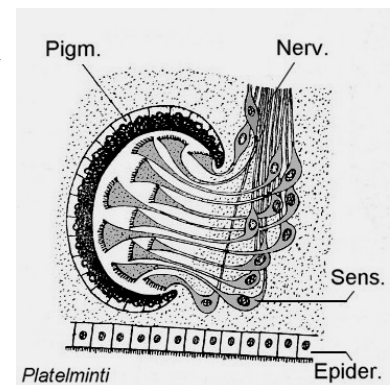


Fig. 17 – Sull’ombrello delle meduse (Celenterati) si trovano altri occhi di struttura semplice, all’interno di organi di senso più complessi (ropali). Molti di questi organi sono sparsi sul bordo dell’ombrello in relazione alla simmetria raggiata dell’animale.

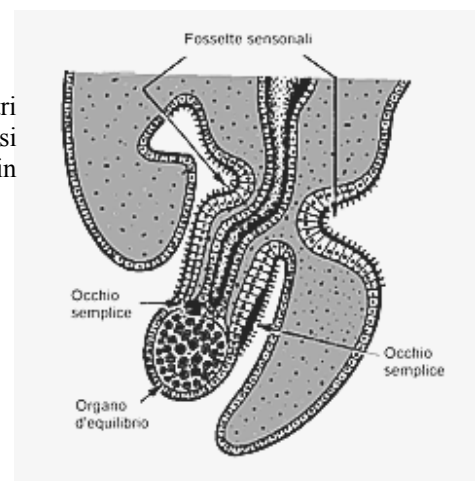


Fig. 18 – In quest'organo semplice di una sanguisuga (Anellidi), la struttura è “eversa”: le cellule sensibili sono rivolte dalla parte di provenienza della luce, ancora sotto l'epidermide.

La forma cilindrica dello strato pigmentato consente di meglio identificare la posizione della sorgente.

(Da: V. e J. PEARSE - M. e R. BUCHSBAUM - Invertebrati viventi - Zanichelli, Bologna, 1993, modif.)



Fig. 19 – Ecco un “occhio a fossetta”, uno strato incavato di cellule fotosensibili non sottoposte all'epidermide, ma frammiste alle cellule epidermiche, in posizione “eversa.”. Quest'occhio appartiene ad una *Patella* (Molluschi Gasteropodi).

La forma concava dello strato sensibile consente all'animale di apprezzare la direzione di provenienza della luce ed anche gli spostamenti della sorgente poiché gli orli della fossetta creano un'ombreggiatura sullo strato sensibile stesso.

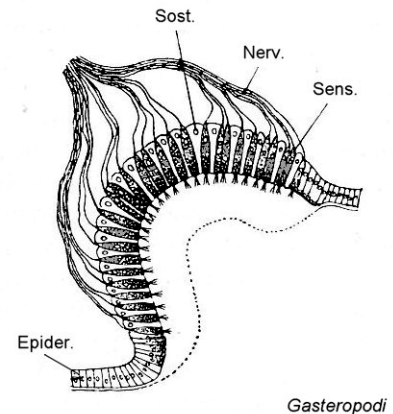


Fig. 20 – Un miglioramento dell'occhio a fossetta è questo “occhio a calice”. Infatti, vediamo che la fossetta si richiude a formare una cavità comunicante con l'esterno attraverso una piccola apertura, quasi un “foro stenopeico”, una pupilla.

In questo modo, l'apprezzamento della direzione del fascio incidente è più preciso. Con molta imprecisione, la pupilla forma anche un'immagine confusa del mondo esterno, secondo il principio della “camera lucida”.

La retina, lo strato sensibile, è ancora everso.

Il portatore di quest'organo è un *Nautilus*, un Mollusco Cefalopode arcaico (pag. 44, fig. 11).

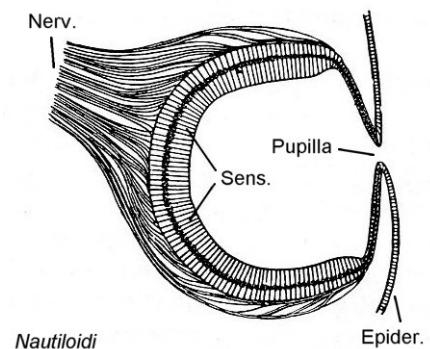
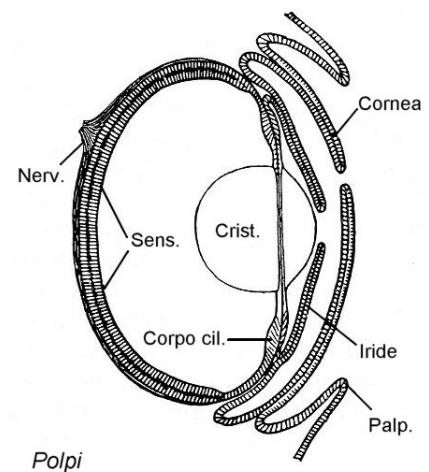


Fig. 21 – Un gradino più su (Cefalopodi superiori attuali) si trova l'“occhio a lente”. La presenza di un corpo globoso trasparente, che opera come una lente convergente, come un obiettivo fotografico, proietta sulla retina un'immagine rovesciata del mondo esterno.

Questo schema può essere migliorato, come avviene nei Vertebrati, da un'iride a diametro variabile, da una muscolatura capace di deformare la lente e migliorare la messa a fuoco (“accomodazione”), da organi di protezione e di orientamento dell'occhio ... ma lo schema di base è già presente.

NB: la precedente elencazione è estremamente riassuntiva e non ha neppure sfiorato molti dei problemi dell'evoluzione del senso della vista.



Ecco dunque che l'occhio dei Mammiferi superiori non è nato per caso, né da solo. È semplicemente il frutto di un lungo processo evolutivo il quale, passo dopo passo, basandosi sulla variabilità spontanea delle forme viventi, ha selezionato volta per volta tutte quelle strutture che si presentavano sulla scena ed alla fine ha sempre (o quasi sempre) “premiato” quelle strutture che davano al portatore un qualche vantaggio adattativo. Poiché quelle strutture erano statisticamente frutto dell'espressione di particolari geni, e poiché i geni sono ereditari, ecco che le innovazioni utili si sono conservate nei discendenti.

Ancora una volta, si torna allo schema di base: variabilità, selezione, eredità, evoluzione. L'evoluzione è possibile solo con entità (geni, cellule, organismi, specie, o che si voglia) che sono capaci di riprodursi, di "variare", di essere selezionate da un filtro senza pietà (l'ambiente genericamente inteso), di trasmettere i propri caratteri alla discendenza. Generazione dopo generazione, questa è la vita.

Se ci sembra strano, è solo perché il corto raggio delle nostre vedute e delle nostre conoscenze ci impedisce di percepire lo svolgersi di fenomeni che si trovano del tutto al di fuori dei nostri metri temporali.

Il "disegno intelligente" (ID)

Valeva la pena di entrare in qualche dettaglio riguardo al problema della stupefacente perfezione dell'occhio e di tutte le espressioni della vita, poiché proprio la meraviglia che proviamo nell'esaminarle giustifica in parte la ricerca di una spiegazione non solamente naturale e causale di questi fatti.

In altre parole, su questa strada la filosofia dell'ID arriva direttamente a qualche forma di creazionismo "stretto": poiché è difficile seguire il lungo processo della nascita e della trasformazione storica delle varie forme di vita, ne viene dedotto che ognuna di esse ha avuto una creazione indipendente.

Sul confronto evoluzione - creazione si sono versati i proverbiali fiumi d'inchiostro ma, come al solito, si sono formate da ambo le parti delle posizioni preconette, sorde ad ogni allargamento della visione.

L'evoluzionismo è diventato per molti biologi una spiegazione per tutti gli usi, un dogma di validità generale; si sono ignorati i punti oscuri, i problemi in sospeso, i casi particolari. Quel che è peggio, si è proposto l'evoluzionismo come un principio capace di spiegare ogni aspetto della vita, anche nel mondo intellettuale e culturale umano. Una specie di integralismo positivista. In questo modo, si è trasformata una disciplina scientifica in un'ideologia preconetta e le si è tolta molta parte della sua validità. La si può chiamare "**scientismo**", una visione deterministica, quindi parziale, della vita, ivi compresa la persona umana in tutte le sue facoltà.

Per contro, da parte della cultura umanistica, filosofica e religiosa, si è dato troppo peso ai pericoli di quell'integralismo, si è avuto paura, e si è cercato di evitarne gli ovvii pericoli screditandone le basi scientifiche. Incomprensione reciproca totale. Un disastro.

Purtroppo, su questa strada si sono formate teorie estreme come un materialismo totale, da una parte, o come l'ID dall'altra, che non si rassegna a considerare le manifestazioni e le trasformazioni della vita come un fenomeno naturale, che va spiegato in base a cause naturali.

La teoria del "disegno intelligente" è nata in ambiente protestante e sostanzialmente ricalca un finalismo ed un creazionismo stretto, sia pure cercando di darsi una base scientifica.

In generale, ogni teoria, ogni opinione, contiene qualcosa di vero e va esaminata con attenzione. Il problema nasce quando ci si arrocca su quella porzione di vero e si ignora il resto.

È il problema generale delle verità parziali: sono vere, quindi inconfutabili, e chi le professa "non molla". Ma sono parziali. Quando si incontra un vero errore, anche se forte, prima o poi viene individuato, appunto perché è un errore, e col tempo scompare da solo. La storia della scienza, e del pensiero in genere, è piena di idee che sono state abbandonate. Ma le mezze verità sono vere, sono incontestabili; peccato che siano parziali, e quindi danno una visione unilaterale di una realtà che è sempre più complicata di chi la esamina. Dunque le mezze verità sono pericolosissime e possono reggere per tempi lunghissimi. Lo scopo del pensiero umano non è di perfezionarsi in un'idea, magari giusta, ma di allargare il più possibile il proprio orizzonte e tenere aperte le porte ad ogni nuova acquisizione, ad ogni revisione.

Per tornare all'ID, sembra che ci sia stata una concentrazione patologica sul "problema dell'orologio" (pag. 55), che abbiamo già esaminato con calma.

A parte il richiamo al parere di alcuni specialisti (il "principio d'autorità" è sempre pericoloso), un argomento preferito dai creazionisti è che l'origine spontanea della vita in genere

è un fenomeno impossibile dal punto di vista fisico, e si fa spesso riferimento al secondo principio della termodinamica: un sistema isolato non può che tendere ad un aumento del disordine (enunciato parziale), per cui dal non vivente non può nascere un sistema vivente che rappresenta sempre un aumento di ordine. Peccato che l'invocato principio si applichi ai sistemi "chiusi", cioè che non scambiano energia con l'ambiente. Un qualunque precursore della vita è invece un sistema aperto, in continuo scambio di materia ed energia con l'ambiente. E l'ambiente, anche quello preistorico, è pieno di sorgenti d'energia: il sole, il vulcanesimo, i fenomeni meteorologici, la chimica di molti composti minerali, ecc.

Accenneremo fra poco al problema dell'origine della vita e sospendiamo per ora l'argomento, ma ricordiamo quanto detto a suo tempo: il creazionismo "stretto" (creazione singola di ogni forma vivente) non è necessario neppure per la più rigida impostazione religiosa. La creazione, per definizione, rimane sempre al di là degli orizzonti della scienza.

Un altro argomento usato dall'ID è quello della "rivoluzione Cambriana" (un accenno a pag. 3): si afferma che le principali linee strutturali della vita sono comparse improvvisamente, tutte assieme, all'inizio del periodo Cambriano, circa 600 milioni di anni fa. In parte è vero, e la faccenda non è ancora chiara, ma bisogna pensare che più antico è un fossile e più difficilmente è conservato; inoltre, ogni giorno spuntano nuovi reperti che cominciano a formare un quadro della vita pre-Cambriana sempre più ricco. Le origini della vita si fanno oggi risalire ad almeno due miliardi di anni prima del Cambriano. È dunque meglio aspettare, prima di trarre conclusioni.

Anche per la successione, fin troppo evidente, delle faune fossili sempre diverse, i sostenitori dell'ID hanno una spiegazione: dipende dal diluvio universale. La "teoria delle catastrofi" o "dei cataclismi" non è nuova: l'aveva proposta nel 1815 G. Cuvier, Accademico di Francia (1769 – 1832) per giustificare appunto la varietà dei reperti fossili, di cui era buon conoscitore. Egli giustificava i fatti osservati con una serie di catastrofi naturali cui sarebbero seguite altrettante creazioni *ex novo*. Uno dei suoi allievi (A. d'Orbigny) ne aveva contate 27; l'ultima, appunto, il diluvio universale. Il catastrofismo s'inquadrava ovviamente all'interno di una visione fissista. Inutile entrare nei dettagli.

Queste interpretazioni sono in parte giustificate da una lettura letterale della Bibbia, quando viene presa come sorgente di dati scientifici. In quel testo vengono ravvisati gli elementi per datare la creazione dell'universo, e forse dell'uomo, a qualche millennio fa. Trattandosi però di un fatto naturale, occorre studiare la storia della terra con altri criteri, ed allora si potrebbe trovare una mole di dati derivanti da analisi obbiettive: i dati astronomici, geologici, paleontologici, ecc. fanno pensare ad un'età della terra di 4 – 5 miliardi di anni e ad una comparsa della vita di 3 o 4 miliardi (cifre molto arrotondate).

Il vitalismo ed il riduzionismo

Come séguito della visione finalistica, si può forse vedere anche la contrapposizione fra la visione "vitalista" e quella "riduzionista", cui abbiamo già accennato. Semplificando molto ...

Nella prima, i fenomeni vitali sono interpretati come effetto speciale di una "forza interna", di una tendenza innata in ogni vivente, che ne dirige tutte le manifestazioni. Tale forza sarebbe presente specificamente negli esseri viventi e solo in quelli, e non sarebbe riconducibile alle note leggi della fisica e della chimica.

Il riduzionismo invece pende sull'altra sponda: tutto ciò che avviene negli esseri viventi dipende dalle stesse leggi che regolano il comportamento della materia inanimata; semplicemente, il sistema è più complicato. Lavoisier diceva "La vita è una funzione chimica".

Come al solito, le due visioni opposte sono perfettamente compatibili. Infatti ...

È ovvio che nessun fenomeno naturale, biologico o non, può svolgersi al di fuori di leggi che valgono in campi contigui (chimica e fisica). Sarebbe difficile pensare ad una natura che contraddice sé stessa e cambia le regole a seconda del campo di gioco.

Uno a zero per i riduzionisti. Ma ...

Fin dalla prima pagina, abbiamo parlato della materia vivente come di un sistema

“complesso”, quello che possiede proprietà che non sono deducibili solo dalle proprietà delle singole parti, ma piuttosto dalle relazioni fra le parti stesse. Esse si chiamano proprietà “emergenti”, nuove, legate in larga misura al complesso delle correlazioni esistenti all’interno del sistema. Se potessimo sintetizzare per via chimica tutte le sostanze presenti in un essere vivente e comporle in tutte le strutture ivi esistenti, avremmo solamente un cadavere. La vita presuppone che ogni molecola si collochi in un nodo preciso di una rete che contiene tutte le altre, e stia rispetto alle altre in rapporti funzionali ben definiti.

Se i vitalisti potessero guardare l’“energia vitale” non come un’entità metafisica, ma come una proprietà emergente del sistema vivente, che non contraddice ma integra i fenomeni fisici e chimici ... la partita potrebbe terminare con un onorevole “uno ad uno”.

Basterebbe accettare il fatto che, per passare da un sistema complicato ad uno complesso, e per far nascere, “emergere”, da esso le proprietà nuove, occorre raggiungere una soglia minima di complessità (numero di parti e di relazioni fra le parti). Abbiamo già detto che le prime forme di vita erano certamente assai semplici ma comunque, per ottenere un essere organizzato dotato delle proprietà essenziali della vita, come sono state elencate all’inizio, occorre raggiungere quella che abbiamo chiamato “soglia minima”.

Un fisico direbbe che il vivente rimonta la china dell’entropia. Il concetto di entropia, visto dall’interno del nostro argomento, si può semplificare pensando che un sistema isolato dall’ambiente tende a rilasciare ogni forma di energia utile e cadere verso il massimo disordine (inteso come uniformità). Per chiarire: un corpo caldo tende a raffreddarsi, una massa qualunque tende a cadere su qualunque altra massa, un mucchio qualunque di oggetti tende a diventare una sfera (col tempo), ogni movimento tende a fermarsi ... e l’essere vivente tende a disintegrarsi.

Ma la vita non è un sistema chiuso: la sua organizzazione interna le consente di acquisire energia dall’esterno, la luce del sole, gli alimenti ... ed allora può recuperare ordine, risalire la china dell’entropia, crescere e vincere la morte. La vita (al di là delle vicende del singolo vivente) ha in sé la facoltà di perpetuarsi senza limite. Purché trovi le opportune fonti di energia e condizioni ambientali ...

Il confine natura – soprannatura

Per il naturalista (le “scienze naturali” spaziano dall’astronomia alla fisica sub-nucleare, alle scienze della vita), la “natura” comprende tutti quegli oggetti e quei fenomeni che si possono descrivere in termini matematici e si svolgono secondo rapporti causali che noi chiamiamo “leggi”. L’uomo può studiare questi oggetti e le loro trasformazioni, sempre nel quadro causa-effetto, e qualche volta modificarli. Vedremo come il naturalista considera l’uomo in rapporto a questa visione della natura.

Per il filosofo, la natura può essere fra l’altro (come dice un’autorevole enciclopedia italiana) “il sistema totale delle cose che si formano secondo leggi” oppure “la volontà stessa di ordine che si manifesta in quelle leggi”. Due concetti assai diversi. Il primo parla di “leggi” e può concordare con la visione scientifica causale; il secondo presuppone, sopra a questo primo livello, una realtà di tipo diverso, una “volontà”, che sta sopra e “si manifesta” nelle leggi: si manifesta, ma sta su un altro piano. Questa realtà quindi non è causata, non rientra nelle “leggi”.

Il meno che si possa dire è che i pareri sono molto vari.

Per un normale dizionario, “natura” è «il complesso delle cose dell’universo, governato da leggi, retto da un ordine proprio», mentre «“sovrannaturale” è ciò che trascende la natura»⁵⁷.

Sembrerebbe chiaro, ma è frequente la contrapposizione di pareri unilaterali ed inflessibili. Del resto, ogni idea, ogni filosofia, ogni religione, ogni sistema di pensiero, porta con sé i limiti della natura (psicologica) dell’uomo e tende al fondamentalismo. Siamo fatti così.

A pag. 35 dicevamo: “Se l’Uomo si propone di osservare la natura e cerca di comprenderne i

⁵⁷ Per il significato di “sovrannaturale” vedi anche la nota 49 a pag. 35.

meccanismi, occorre che si limiti ai fatti naturali e cerchi nella natura stessa le cause di tutto ciò che può osservare e sperimentare. È questa la scienza, e nulla più”.

In quell'affermazione era implicita la definizione di “natura” in senso naturalistico, la rete dei rapporti causali, cui ci siamo tacitamente appoggiati finora.

Più su (sempre a pag. 35) abbiamo dato seguito a questa proposta: «Delle due l'una: o un fenomeno ... è legato a precise cause, prossime o remote, ed allora rientra nel grande quadro delle “leggi di natura”, che sono intrinseche alla natura e vanno studiate in chiave causale; oppure il fenomeno si verifica fuori dalle leggi di natura, e pertanto va attribuito a qualcosa che sta fuori dalla natura, e pertanto va classificato come “soprannaturale”». Può darsi che solo l'esercizio di questa capacità di discriminazione conceda al pensiero moderno di uscire dall'impasse materialismo-spiritualismo.

Tornando al dualismo natura-sovrannatura, esiste un'ampia letteratura di orientamento scientifico che propone una concentrazione integrale sul concetto di natura, nel significato “naturalistico” sopra illustrato escludendo qualunque altra realtà. Una visione obbiettiva, questa, ma che esula dall'oggetto e dai metodi della scienza, e produce affermazioni in un campo che non le è proprio. Il soprannaturale, per definizione, non fa parte della natura (naturalistica) e va studiato con altri mezzi.

Una tale scienza “positiva” (in realtà sembra essere piuttosto una filosofia) si espone necessariamente a forti critiche.

Per contro, nella letteratura filosofica e religiosa si presenta lo stesso deleterio fenomeno; leggiamo in Nicolas (1978, pag. 15): “... l'evoluzione del mondo a partire dalla materia sembra essere anche l'inizio del mistero della salvezza”. Ancora una volta, preso alla lettera, questo testo sembra presentare uno sconfinamento, l'estensione di una visione spirituale, quindi sovrannaturale, al mondo naturale. Lo strano è che lo stesso autore, ovviamente cattolico, dice due pagine più in là: “... la fede resta di un ordine diverso da quello di ogni verità puramente umana.” Se lo dice lui ...

Allora non è poi così difficile distinguere i due campi. D'accordo, l'Uomo è unico, non si può dividerlo in settori, scienza, arte, psicologia, religione, ecc.; ma i vari campi sono concettualmente ben diversi; non si può mica valutare un romanzo col microscopio! E questi vari campi non possono per caso coesistere senza invadersi l'un l'altro? Se ognuno si limitasse a fare il proprio mestiere ...

Toccherà poi all'uomo “cresciuto”, se ci riesce, tentare una sintesi.

Da un punto di vista laico, che non voglia debordare dai confini della razionalità scientifica e del relativo campo d'indagine, ma rimanga aperto alla considerazione di altri livelli di valori, si potrebbe proporre una sintesi di questo tipo: — ammesso un Creatore, per definizione non creato e non-causato, ammessa la sua (libera) volontà di creare, egli non saprebbe che farsi della creazione se non per rispecchiarvisi, per riconoscersi ed esserne riconosciuto — per arrivare a qualcuno (persona) in grado di riconoscerlo, non c'è che creare un universo da cui, lentamente (ma per un creatore il tempo non conta: egli ne è fuori), emerga quell'essere contraddittorio che noi attualmente chiamiamo Uomo il quale, per voltarsi indietro e tornare al suo creatore, deve essere capace per lo meno di concepirlo — affinché questo “verme in cui formazion falla” (Dante, Inferno) divenga capace di tanta crescita, bisogna dargli un po' di tempo — allora ecco il big bang, le galassie, gli atomi, il brodo primordiale, il DNA e quattro miliardi di anni di evoluzione fino al primo ominide capace di guardare all'insù — per fare tutto questo, lasciamo che l'universo si trasformi a modo suo, basta dargli un po' di leggi adeguate, e poi aspettiamo che l'ominide si svegli (anche lui ha bisogno di evolvere) — il creatore “architetto” è certamente capace di pensare tutto ciò fuori del tempo, e poi il tempo avrà cura di dispiegare quello che la scienza si propone di indagare.

Dunque il creato sarebbe autonomo, conterrebbe in sé i meccanismi per trasformarsi, ed alla scienza resta il compito di capire come funziona. Per sapere da dove viene, occorre cercare altrove; forse, anche per sapere dove va ... o per capirne il senso.

Ecco il punto: il meccanismo della natura va per conto suo, ma forse, al di là di esso, c'è una direzione che lo trascende. Qui la scienza si deve fermare. Occorre cambiare treno.

La contrapposizione fede – scienza

Abbiamo già esaminato molti conflitti culturali fra diversi modi di vedere il mondo vivente, e pare che molti di questi conflitti nascano da verità parziali, da equivoci nell'uso dei termini (il "caso", per es.), da visioni troppo legate all'esperienza quotidiana, dall'incapacità di entrare nelle dimensioni dei tempi geologici, dalla difficoltà di accettare un processo probabilistico in molti fenomeni naturali, dal prendere come metro di misura il pensiero umano, troppo spesso avvolto su sé stesso e distaccato dai fatti ... Insomma, molti falsi problemi.

Di nuovo, la visione finalistica

Una lettura frettolosa del mondo vivente sembra effettivamente suggerire che gli adattamenti osservabili in natura, generalmente assai raffinati e stupefacenti, non possano essere il risultato passivo della selezione fra caratteri emersi "per caso". Se abbiamo spiegato la variabilità (mutazioni, casualità degli incroci, ricombinazioni in meiosi, ecc.) come somma di effetti casuali, legati solo a leggi probabilistiche, indeterminate, come è possibile spiegare la precisione di certi adattamenti (basta pensare al mimetismo!) o la perfezione di certe funzioni?

Giusta obiezione. Infatti, il meccanismo di una mutazione o l'incrocio fra due partner avvengono senza sapere cosa ne viene fuori. Sono processi privi di preveggenza e di finalità, indipendenti dall'eventuale vantaggio adattativo che ne segue.

Ma l'abbiamo già detto: è la selezione che decide quale novità è utile, ed acquista maggiori probabilità di perpetuazione, e quale invece abbassa la "fitness" e tende a scomparire. Ed a questo punto evitiamo di guardare la selezione come un giudice occhialuto che soppesa una per una le innovazioni in vista di un risultato finale che ha bene in mente. La selezione è un filtro cieco, come il barattolo pieno di fori che abbiamo immaginato fin dalle prime pagine. È il confronto fra le prestazioni di un individuo e le sfide ambientali che incontra a decidere della sua sopravvivenza e della sua prolificità; in altre parole è la sopravvivenza differenziale fra individui o specie che porta agli adattamenti migliori e quindi all'evoluzione.

Come viene spontaneo ripetere, la ricerca di un fine contingente in ogni fatto naturale è inutile. La natura (fisica e biologica) contempla fra le sue proprietà quelle "leggi" che ne dirigono i processi, le trasformazioni nel tempo. Se quest'affermazione sembra troppo positivista, si ritorni al concetto che essa non nega, e non può negare, la creazione, la "causa prima". Appare sempre valido il buon senso del reverendo Powell, quando parlava di un Creatore architetto, non artigiano (pag. 53).

Solo in questo senso si possono allora accettare parole come queste: "Il solo mistero è quello dell'esistenza di una materia evolutiva universale contenente le potenzialità dello spirito" (J. Huxley, citato in Nicolas (1978, pag. 22) oppure il brano di Nicolas citato sopra (pagina precedente).

Con parole certamente più poetiche, R. Tagore diceva:

"Il mondo è nato dalla gioia – il mondo è conservato dalla gioia – e nella gioia entriamo dopo la morte."

Per fortuna, un chiarimento nel senso di una separazione dei campi di lavoro si comincia a trovare anche in autori di formazione strettamente tradizionale, anche in campo cattolico (che forse è più illuminato e più lungimirante di quello protestante). Si legga per es. in G. Ravasi (2010, pag. 58): "... non c'è di per sé contrasto tra l'evoluzione e la dipendenza da un Dio creatore, non c'è antitesi fra strutture biologiche dinamiche dell'uomo e la sua trascendenza spirituale; non ci dovrebbe essere dunque opposizione in questo campo fra scienza e fede, ossia fra evoluzione e creazione. Quest'armonia è, certo, delicata perché affidata ad una severa e rigorosa distinzione dei rispettivi ambiti di ricerca, a una riconosciuta differenza di metodi e

prospettive nelle analisi dello scienziato e del teologo, ... senza tentazioni prevaricatrici”.

L'anima

Qui, la confusione è anche maggiore. Trattandosi di un'entità astratta, non c'è da stupirsi se, nella storia del pensiero e della filosofia, sono affiorate innumerevoli definizioni di “anima”. Impossibile sintetizzare.

In genere, s'intende con quella parola una realtà immateriale, distinta dal corpo, ma il corpo possiede molte funzioni, vegetative (in senso medico), neuro-muscolari, psicologiche, mentali ... e qui cominciano le sfumature, le interpretazioni, gli equivoci. Difficile porre dei confini.

Potrebbe sembrare risolutiva la distinzione proposta finora fra natura e sovrannatura. Ma dove mettere il confine?

Nella filosofia classica, si parla di anima nel senso di ciò che dà vita al corpo. Bisogna allora intendersi su cos'è “vita”; l'abbiamo definita sul piano biologico, ma i filosofi non smettono di discuterne.

Possiamo forse sintetizzare il termine nella prospettiva filosofica distinguendo l'“anima vegetativa”, che presiede alle funzioni biologiche di alimentazione e simili, l'“anima sensitiva” che presiede alla sensibilità ed al movimento, e l'“anima intellettiva” o “razionale” che è propria dell'uomo.

Alla luce delle attuali conoscenze, è bene aggiornare queste definizioni: tutte le funzioni che tengono in vita un essere vegetale o animale sono oggetto della fisiologia e non è più possibile separarle, se non a fini didattici. Qualunque vivente rappresenta un sistema fortemente organizzato ed integrato ed ogni molecola, ogni fenomeno al suo interno deve muoversi di concerto con tutto il sistema, pena la malattia o la morte. Di più: ogni essere vivente, ne abbiamo parlato fin dalla pag. 8, è dotato di funzioni vegetative (metabolismo, ecc.), di sensibilità, di irritabilità, di movimento, almeno all'interno della cellula. La distinzione fra anima vegetativa, o animale, o sensitiva, ecc. appare del tutto infondata: ogni vivente le possiede tutte.

In un sistema così complesso non si possono distinguere differenti livelli: tutto concorre a quell'unità che è il vivente. E tutto sembra muoversi secondo quelle famose “leggi di natura”, che conosciamo ancora così poco. Una rete fittissima di cause ed effetti.

E l'intelletto? E la razionalità? Qui cominciano i guai.

Ridurre tutta la vita mentale dell'uomo alla fisiologia è per lo meno imprudente. D'altra parte, limitare la presenza dell'“anima razionale” all'uomo è altrettanto imprudente. Anche qui è bene allargare un po' gli orizzonti.

Lo studio del comportamento animale (**etologia**) è una scienza che è nata circa un secolo fa, e pertanto è solo agli inizi. Non si può chiederle molto, e l'oggetto del suo studio è fra i più complessi. Ma si cominciano ad intravedere delle linee di pensiero promettenti (vedi varie pubblicazioni di D. Mainardi, Marchesini (2008), ecc.). Si può forse già definire una vita mentale anche negli animali, intesa come capacità di elaborare i dati sensoriali, di progettare strategie d'azione, di rispondere in maniera non univoca agli stessi stimoli.

Col passare del tempo, si stanno accumulando dati ed osservazioni su capacità mentali animali che non sarebbero state credibili fino a pochi anni fa. In molti casi si comincia ad intravedere, almeno in Uccelli e Mammiferi, una capacità di pensiero simbolico.

Anche la “coscienza di sé”, considerata da sempre un attributo esclusivamente umano, ha cominciato a dimostrare la sua presenza in alcuni Primati superiori. Si tratta di una rappresentazione, di un “teatro interiore”, insomma di una funzione mentale. Possiamo davvero negarla a tutto il mondo animale?

Il guaio è che l'uomo, da tempo immemorabile, ha rovistato nei propri pensieri coscienti, ma senza possedere i mezzi per conoscere tutto ciò che succede in sé stesso fuori dalla sua consapevolezza, e tanto meno è potuto penetrare nella mente animale. Alla fine, ha preso la propria coscienza come metro di tutto, e quasi tutto gli è rimasto invisibile, quasi tutto della propria attività mentale inconscia.

L'ostilità sempre presente nella cultura umanistica contro psicologia, psicoanalisi, neurologia, ecc. è dovuta proprio al fatto che il pensiero cosciente ha sempre preteso di sapere

tutto sulla mente umana, e non tollera che qualcuno sollevi il coperchio della pentola per mettere in mostra ciò che non si è mai detto o saputo.

Ma, allora, quali sono i contenuti ed i limiti della mente umana e, soprattutto, cosa la distingue da quella animale?

Da questa domanda ne segue una ancora più imbarazzante: dov'è il confine fra animalità ed umanità? È in gioco il concetto di "anima", che potrebbe trovare un chiarimento in ciò che segue.

Il confine uomo - animale

Abbiamo detto sopra: l'anima razionale o intellettuale sarebbe esclusiva dell'uomo. Ma come definirla? Attraverso una serie di capacità uniche? Per es. il pensiero astratto? Il pensiero matematico? La creazione artistica? Il linguaggio?

Come abbiamo notato, gli studi su questo punto sono ancora agli inizi, ma almeno alcune cose sembrano ormai chiare (Marchesini, 2008).

In particolare: lo studio della "mente" animale è spesso eseguito attraverso un confronto con quella umana oppure con riferimento a schemi puramente razionali. Errore: l'attività mentale di ogni vivente è il risultato, come ogni altro suo carattere, di un lungo processo di selezione e quindi, nelle linee generali, svolge funzioni "adattative", aumenta il tasso di sopravvivenza e la fecondità di quella certa specie in quel certo ambiente. In altre situazioni, serviranno altre funzioni.

Esempio: la ghiandaia è un uccello nostrano che ha l'abitudine di seppellire, in centinaia di luoghi diversi, ghiande ed altri semi. Durante l'inverno, li andrà a recuperare, e (di solito) ci riesce. Quell'animale è dunque dotato di una facoltà raffinatissima: una "memoria topografica locale" fuori del comune, per lui preziosa. Ma non sa fare molto altro. Per un uccello migratore, per es., quella facoltà sarebbe inutile; molto più utile una memoria topografica a grande raggio, capace di fargli ritrovare i nidi dell'anno precedente. Ed infatti il migratore la possiede.

Dunque, ogni animale ha la mente e le facoltà che gli servono. Altre facoltà non hanno avuto nel corso della sua filogenesi un "premio selettivo" e non si sono in esso sviluppate. Cinico, ma efficiente: la selezione non seleziona ciò che non serve.

Non si può parlare allora di "mente" in senso generale, ma di "menti", di facoltà volta per volta corrispondenti alle esigenze di ogni particolare nicchia ecologica.

Dal punto di vista ecologico, gli animali e le piante si dividono in "**specialisti**" e "**generalisti**". I primi possiedono adattamenti molto spinti per un particolare ambiente o piuttosto per una data nicchia, e nelle loro condizioni di vita sono molto efficienti; si pensi alla vista acuta, agli artigli o ai denti canini di un predatore. Gli adattamenti molto funzionali richiedono naturalmente molto tempo per evolvere. Lo "specialismo" però si accompagna in genere ad una certa rigidità adattativa; se qualcosa cambia nell'ambiente, la specie si trova immediatamente in difficoltà poiché il tempo richiesto per nuovi adattamenti è generalmente troppo lungo. I più forti specialisti vanno prima o poi incontro all'estinzione (grandi rettili del Mesozoico, mammut, tigri dai denti a sciabola, fiori specializzati per una sola specie di pronubo, ecc.).

I "generalisti", invece, sono privi di adattamenti specializzati, non sanno fare niente con particolare abilità, ma si adattano un po' a tutto. Esempio: i roditori.

Ora, l'uomo è un "generalista", non vola, nuota goffamente, corre poco, fa fatica a salire su un albero, non ha artigli né zanne ... una frana, ma è capace di grande adattabilità agli ambienti più svariati. È il solo animale che abbia saputo colonizzare tutti gli ambienti sulla superficie del globo.

Simili capacità devono basarsi su adattamenti molto innovativi: per es. le facoltà mentali. Infatti, l'uomo, con la sua "industria" (in senso antropologico), è stato capace di costruire abiti, ripari, calzature, armi, utensili ... domare il fuoco, prevedere gli eventi stagionali e climatici, ecc.

Ma, forse, l'arma evolutiva più potente dell'uomo è stata la socialità, la capacità di

distribuire il lavoro, di collaborare, di scambiare esperienze, di apprendere, di comunicare ...

Tutto questo riposa ovviamente su facoltà mentali molto spinte. L'evoluzione umana ha scelto la strada della "cerebralizzazione" (crescita strutturale della corteccia cerebrale) e di uno sviluppo mentale specializzato nelle attività di gruppo.

Gli etologi hanno notato da tempo che le specie più "intelligenti", con cui è più facile l'interazione, l'addomesticamento, l'addestramento, sono quelle "sociali", che menino un'attiva vita di gruppo (per es. scimpanzé). Le specie a vita solitaria, invece (come l'orango), non si addomesticano, comunicano con difficoltà, "fanno i fatti loro".

L'uomo è sicuramente la specie più sociale che esista (la sua società ha estensione mondiale) e quindi deve aver sviluppato al massimo grado i meccanismi della vita sociale (divisione dei compiti, scambio di oggetti e di idee, capacità di capire i pensieri o le emozioni dell'altro, prevederne le reazioni, "mettersi nei panni degli altri" ...). Queste ultime facoltà venivano una volta spiegate con termini un po' generici (intuito, empatia, e simili); oggi la neurologia ha individuato circuiti cerebrali specializzati per queste funzioni (i "neuroni specchio", ad es.). Ma le esigenze della vita sociale hanno sviluppato nell'uomo anche il linguaggio, l'uso di simboli, la rappresentazione grafica, ecc. Anche gli animali possiedono molte forme di linguaggio, sia uditivo che visivo, ma certamente l'uomo li supera tutti.

In particolare, per la vita sociale è assai importante possedere una rappresentazione del mondo in cui siano compresi i nostri conspecifici, per "sentire" le loro emozioni ed i loro pensieri, e poi collocare in un quadro unico tutto ciò che ci può essere utile; in questo quadro deve esistere la possibilità di elaborare i dati sensoriali, organizzare l'esperienza, fare previsioni, progettare azioni non istintive ... Questa è la **consapevolezza**: un teatro interiore, utile per meglio interagire col mondo esteriore.

Una simile facoltà deve essere però posseduta anche dagli animali sociali, almeno dai Vertebrati (la socialità negli insetti è affidata, sembra, a facoltà molto istintive). E la ricerca, ancora agli inizi, ha già identificato in alcuni Primati i segni dimostrabili di una rappresentazione interna del "sé".

A questo punto, è lecito pensare che l'attività mentale in tutte le sue forme sia solo il prodotto di un processo adattativo, di una linea evolutiva particolare, che si manifesta nelle varie specie con infinite sfumature, ma risponde solo ad esigenze utilitarie e va esaminata come qualunque altra funzione vitale. L'evoluzione umana si è specializzata nell'esaltare questa funzione, e da qui è nato il successo ecologico della specie.

In questo senso, basti questa considerazione: fra le facoltà degli animali superiori vi è l'apprendimento, la capacità di modificare il proprio comportamento in base alle esperienze. Ma questo presuppone una serie di tentativi i quali, se falliti, possono essere letali. La presenza nell'uomo ed in alcune specie più evolute della consapevolezza, che abbiamo definito una "rappresentazione interiore del mondo esterno", comporta la possibilità di "immaginare", di prevedere, ovvero di simulare all'interno della consapevolezza una situazione ancora non presente, ricollegarla con osservazioni od esperienze passate, elaborarla, fare delle previsioni sul suo possibile sviluppo, insomma "provare" nella fantasia prima di rischiare nella realtà. Molto più veloce, molto più sicuro.

In altre parole, la consapevolezza consente di rappresentare in quel "teatro interiore" le situazioni future e prevedere il loro evolversi ... insomma, un bel vantaggio. Un'esperienza reale è costosa e rischiosa, meglio "prima ragionarci sopra". Ecco la chiave del successo evolutivo dell'uomo, un mezzo per meglio interagire col mondo esteriore.

Quello che abbiamo chiamato "teatro interiore", forse, diventa "consapevolezza" o "coscienza di sé" quando la rappresentazione mentale del mondo riesce ad inglobare anche il soggetto pensante. Infatti, una tale rappresentazione, per essere utile, deve comprendere anche le interazioni del soggetto col mondo, il suo corpo, le sue azioni possibili, i loro risultati.

Un'altra facoltà presente in molti animali e specialmente nell'uomo è la simulazione, la bugia. Anche se sono per ora casi isolati, è stata ben dimostrata in certi animali la capacità di fingere al fine di dirottare un possibile predatore, un possibile competitore per il cibo, ecc.

Anche la finzione presuppone due capacità: 1) immaginare qualcosa che non c'è e 2) prevedere l'effetto (utile per il bugiardo) che la finzione esercita sull'ingannato.

La finzione negli animali si può spesso interpretare come un comportamento adattativo che la selezione ha "premiato", e l'animale l'esercita in maniera automatica, senza consapevolezza (es. il "trucco dell'ala spezzata" di certe femmine di uccelli in cova, che si allontanano dal nido simulando un'incapacità di volare in modo da distrarre un predatore). Questi comportamenti si rivelano proprio per il loro carattere stereotipato.

Ma in altri casi la flessibilità e la corrispondenza di quel comportamento ad una situazione articolata e contingente dimostrano che l'animale "sa" quello che fa e "sa" quale utile gliene può derivare. L'uomo poi ...

Adesso però si tratta di capire dov'è il suddetto limite uomo-animale.

Le nozioni preliminari che l'etologia ci offre oggi sembrano dimostrare che le varie funzioni vitali, ivi comprese quelle mentali, possiedono infiniti gradini di complessità, in una varietà di manifestazioni dipendenti, come abbiamo detto, dalle esigenze vitali, ma senza una possibilità di distinguere categorie o livelli qualitativamente diversi.

Conclusione (provvisoria): le differenze uomo-animale sono di tipo quantitativo, non qualitativo. Le facoltà mentali dell'uomo sono assai superiori a quelle di qualunque animale (nessun altro ha mai raccontato barzellette), ma non sembrano esistere steccati; il gioco, per es., è stato riscontrato in molte specie, almeno di Mammiferi; chi ha visto i delfini scambiarsi e rubacchiarsi sciarpe di seta nelle loro evoluzioni, non ha dubbi: si divertono da matti.

Allora, l'uomo è semplicemente un animale un po' più intelligente (non poi tanto, visti i guai che combina)?

Molta filosofia parte da una visione antropocentrica e respinge con orrore quest'affermazione. Il punto di vista della chiesa cattolica (documento papale) parla chiaramente di "salto ontologico"⁵⁸, affermando una differenza essenziale, sostanziale, fra uomo ed animale. Ma dov'è questo salto? Nell'"anima razionale" (e come definirla)? Nel pensiero astratto? Ma anche in certi animali esiste il linguaggio simbolico.

Forse, il "salto ontologico" non va cercato nella gradazione delle facoltà mentali: è un terreno troppo scivoloso; i confini, col progredire delle ricerche, si vanno facendo sempre più sfumati.

Vogliamo cercare una differenza veramente sostanziale, un salto di qualità che sfugge ad ogni equivoco? Visto che l'uomo ha la facoltà di concepire (e di cercare) l'Assoluto, di trovarsi libero in questa ricerca, di guardare al di là del muro di cinta della propria natura biologica, psicologica, culturale, ecc., non è lì che l'Uomo può compiere il "salto ontologico" ed andare al di là di se stesso?

Si potrebbe pensare che le emozioni, i pensieri, le rappresentazioni, le idee, insomma tutta la vita mentale dell'uomo, tutta la sua cultura (nel senso più ampio), siano solo il prodotto ultimo di una linea evolutiva vincente (sul piano biologico) la quale però, "senza volere", al di fuori di ogni utilità adattativa, abbia portato anche, come sotto-prodotto imprevisto, alla capacità di pensare e rappresentarsi valori non esistenziali (o psicologici, o intellettuali), ma assoluti. In questo modo, se molte religioni vogliono attribuire all'uomo un'anima immortale, ecco che l'evoluzione ha fornito a questo assurdo bipede il materiale necessario a questo innesto. Non si può insegnare il Corano, i Veda o la Bibbia ad un cane, per quanto furbo.

Un autore cattolico (F. Facchini, vedi bibliografia) afferma: "Si può ritenere che la scintilla ... si sia accesa per un intervento superiore in un ominide il cui organismo ha potuto rappresentare un supporto biologicamente idoneo". L'evoluzione sarebbe servita a questo.

Del resto, non si legge nella Bibbia (Genesi, 2,7): "... allora il Signore Dio plasmò l'uomo con polvere del suolo e soffiò nelle sue narici un alito di vita e l'uomo divenne un essere vivente"? Non è una buona metafora?

⁵⁸ L'ontologia è la scienza che si occupa di stabilire le proprietà dell'essere in generale, senza riferimento ai casi particolari, ma alla ricerca della sua "essenza".

Allora il “salto ontologico” starebbe nel possesso, da parte dell’uomo, di un’anima spirituale, quindi soprannaturale, che non soggiace alle leggi di natura. E, questo, accanto ad un’“anima” vegetativa, sensitiva, razionale, quello che si vuole, che la natura (biologica) ci ha dato, al termine di un lungo viaggio evolutivo, e che ci accomuna al mondo vivente. Se non fosse per quest’“anima” soprannaturale, che non può venire per definizione dalla natura, l’uomo sarebbe solo l’ultimo (per ora) prodotto dell’evoluzione biologica.

Le qualità di quest’anima, la sua libertà (il libero arbitrio), la sua origine (la grazia) ... lasciamole definire ai teologi. Ad ognuno il suo mestiere.

Libero arbitrio e responsabilità – La spiegazione e la giustificazione

Una visione frettolosa della biologia e della genetica può portare alla conclusione che tutti i caratteri del vivente sono diretti, inevitabilmente, dalla manifestazione fenotipica di informazioni contenute nei geni, sia pure con tutti i margini di indeterminazione, casualità, contingenza, ecc. che abbiamo visto a suo tempo.

Quando si considerano fra i caratteri individuali anche quelli psicologici e mentali, se ne potrebbe dedurre che i comportamenti siano anch’essi legati ai nostri geni, senza possibilità di appello, quindi di libera scelta, quindi di responsabilità. Senza contare le influenze ambientali in senso lato, determinanti anch’esse ...

Una tale visione, di tipo “scientista”, certamente positivista, non regge nemmeno dal punto di vista strettamente scientifico. Infatti il genoma, in qualunque animale, può statisticamente indirizzare i comportamenti, ma le singole azioni nascono da una fittissima rete di interazioni fra tendenze geneticamente ereditate (assieme al genoma, appunto), esperienze e ricordi, condizionamenti sociali (estremamente forti nell’uomo), piccole reazioni casuali del momento ... ; il tutto, poi, tradotto in movimenti ed altre manifestazioni da parte delle funzioni di elaborazione del cervello, che a sua volta è un sistema complesso difficilmente prevedibile.

Tutta questa complessità ed imprevedibilità, dicono però i positivisti, potrebbero ancora essere interpretate in una chiave causale.

E l’uomo? È da escludere la possibilità di scelte indipendenti, libere da condizionamenti “naturalisti” di qualunque tipo?

Farsi largo attraverso la calca delle idee e delle interpretazioni su questo punto è arduo. Anche solo definire i concetti fondamentali della disputa è come mettere il vento in bottiglia.

Vediamo di chiarire qualcosa.

La posizione causalista-positivista, ritiene che tutto il mondo vivente sia soggetto a leggi inderogabili che determinano tutte le manifestazioni della vita, anche di quella mentale dell’uomo. In particolare, si parla di “determinismo genetico”. Gli atti umani sarebbero dovuti a spinte “naturalisti”, del tipo degli istinti, quindi non esisterebbe libertà né responsabilità.

Troppo semplice.

Il bello è che queste interpretazioni sono state usate per sostenere teorie sociali anche opposte. Facciamo qualche esempio.

Molta parte del meccanismo della selezione, che abbiamo visto essere uno dei meccanismi di base dell’evoluzione, si spiega col fenomeno della competizione. Già a pag. 10, parlando di variabilità, abbiamo osservato che, sia fra individui, sia fra specie, vi è una continua competizione per ogni tipo di risorsa (cibo, nidi, femmine, ecc.).

Questo concetto di competizione, messo in luce dal punto di vista demografico da T. R. Malthus⁵⁹ (1766–1834) nell’opera “Saggio sul principio di popolazione” (1798), aveva dato un appoggio al concetto di selezione, come è presente fin dall’inizio nelle opere di Darwin: poiché le risorse, comunque valorizzate, non sono illimitate, e poiché ogni specie, se non frenata dall’ambiente, tende ad una crescita esponenziale, è ovvio che le risorse disponibili verranno suddivise fra individui e fra specie in base alla capacità di ognuno di sfruttarle, un altro aspetto della “fitness”.

⁵⁹ Economista e pastore anglicano britannico.

Bene, questo concetto di competizione, al di là di tutti i dettagli e le interpretazioni, è stato ampiamente strumentalizzato, ed in direzioni anche opposte.

Dal punto di vista “conservatore”, esso può essere utile per giustificare una visione competitiva in campo economico, sociale e politico per dimostrare che deve “sopravvivere il più forte” a scapito del “meno adatto”: le classi dominanti, quando riescono ad afferrare gli strumenti del successo, hanno il diritto “naturale” di opprimere le classi deboli. Per queste ultime dovrebbe essere posto un limite alla riproduzione. Una tale visione strumentale ha poi portato alle teorie di eugenetica (vedi: Galton F., 1865), alla giustificazione dell’oppressione liberale delle classi sociali “inferiori”, al concetto di ereditarietà delle “doti naturali” (possedute dalle classi superiori), alla concorrenza senza limiti, ecc. (Spencer H., 1896, ecc.).

Dal punto di vista “progressista”, lo stesso concetto può giustificare la lotta per l’eguaglianza di classe e la contrapposizione fra individui e gruppi sociali.

E ancora, le differenze di classe e lo stato sociale contingente possono essere giustificati in chiave conservatrice e stabilizzante, sempre in nome di una “naturale” competizione, mentre, in chiave progressista, devono sfociare necessariamente in qualche rivoluzione egualitarista.

Accanto a tutte queste teorie di stampo, sotto sotto, positivista, ecco che molta filosofia e molte religioni reclamano il concetto di libero arbitrio, di libertà dell’uomo da ogni condizionamento da parte della natura (biologica) e della società.

Torna utile citare su questo punto due pareri espressi da due autori, certamente positivisti; il primo, E. Ferrière (1880, pag. 144), scriveva pochi anni dopo le principali pubblicazioni di Darwin: “Le virtù sono nobili per sé stesse qualunque sia la gamba nella quale sono incastrate. *La morale è indipendente da ogni condizione sociale e da qualunque origine.*” (corsivo dell’autore)

E così R. Dawkins (1992, pag. 210), grande evoluzionista ultra-darwinista: “Abbiamo il potere di andare contro ai nostri geni egoisti e, se necessario, (alle idee) egoiste del nostro indottrinamento”.

Al di là di questi pareri, rimane ovvio che qualunque forma di pensiero non positivista prevede per l’uomo una libertà di scelta non condizionata, una qualche specie di “libertà di decisione”. In altre parole, si torna al problema del “salto ontologico” (pag. 67): una possibilità di pensiero (e di azione) autonomo, fuori da ogni condizionamento delle “leggi di natura”, diventa caratteristica essenziale di un’anima spirituale, che potrebbe rappresentare il vero discrimine fra uomo ed animale. L’uomo è certamente condizionato in ogni momento, e fortemente, da meccanismi innati, geneticamente ereditati (istinti, pulsioni, aspirazioni e simili), da meccanismi appresi dall’ambiente e dall’esperienza (riti familiari e sociali, consuetudini, tradizioni, meccanismi gregari, ecc.) ma, in qualche momento della propria vita, l’individuo conserverebbe qualche facoltà di decisione libera, ed è lì che si fa Uomo.

L’opposizione di quasi tutta la cultura filosofica e religiosa al positivismo sta proprio nella tendenza di quest’ultimo a considerare l’uomo come determinato dalla propria “natura” biologica, o psicologica, e quindi a togliere in esso la radice della libertà ed ogni visione non semplicemente materialista.

Purtroppo, le culture di origine non scientifica non hanno sempre saputo abbandonare una certa visione antropomorfa della natura (biologica), per cui si tende a vedere nella natura stessa un fine intrinseco, un’intenzione, diretti ovviamente alla comparsa dell’uomo. Tale fine, nel senso di una forza operante dal di dentro nei fenomeni naturali, come abbiamo già sottolineato, non è mai stato trovato. Solo in una visione teologica diviene ammissibile un piano “a priori”, una “causa prima”, un atto creativo che tutto ha previsto, anche le varie facoltà umane; ma questo sta fuori e prima della natura, e qui la scienza non ha più nulla da dire (vedi a pag. 54, quarto capoverso).

Allora, anche la presenza nell’uomo della capacità di un “arbitrio” veramente “libero” si pone fuori dal campo d’indagine scientifico e forse quella capacità aiuta nell’identificare il “salto ontologico”.

Per terminare quest’argomento, occorre richiamare il dualismo “spiegazione –

giustificazione”.

Si ritorna qui al dualismo “determinismo – libertà”. Ripetendoci, in due parole: o l’uomo, in una visione positivista, è soggetto alle leggi di natura e solo a quelle, e quindi ogni suo atto esclude un giudizio morale; oppure l’uomo è dotato di libertà, ed allora ogni sua scelta, ogni sua azione, deve confrontarsi con valori non “naturalisti” (non biologici, non psicologici, ecc.). Se l’uomo è solo un prodotto dell’evoluzione biologica non va soggetto a responsabilità; se invece possiede la facoltà di confrontarsi con valori soprannaturali, allora deve fare i conti con quelli.

Insomma, le leggi di natura, in particolare quelle che dirigono la nostra psiche (e sono tante), possono offrire una **spiegazione**, una causa, alle nostre azioni. I valori spirituali richiedono da noi una **giustificazione**, un giudizio morale.

Certamente, questa contrapposizione è molto semplicistica. Infatti, ogni società umana, fin dal suo primo apparire, si è data delle leggi, una morale, un “diritto”.

Il diritto civile può essere visto come parte del “fenotipo esteso” (vedi subito sotto), cioè uno strumento con cui l’individuo interagisce con la società di cui fa parte e col mondo intero. In questo modo, tale “diritto” può essere ancora visto come una manifestazione della sua cultura e della relativa evoluzione: un carattere adattativo che aumenta la fitness della società nel suo complesso. Qualcosa di “naturale”, un altro effetto delle solite cause dell’evoluzione.

Ma l’uomo, oltre a queste facoltà mentali e razionali che gli vengono dalla sua natura biologica, ha per lo meno la facoltà di andare al di là di essa; a questo punto, nella “natura” dell’uomo (in senso lato) possono entrare anche i valori extra-naturali, si può cercare in lui quell’anima esclusivamente spirituale cui abbiamo accennato sopra, che lo renderebbe libero, cosciente, e quindi responsabile di essa.

Le norme civili possono venire dalla cultura, e quindi dalla natura (biologica, psicologica o come si voglia). La responsabilità morale viene da un altro pianeta. L’uomo ha la facoltà di distogliere la propria ricerca da quell’orizzonte, ma allora rischia di ridursi ad un animale molto evoluto, molto furbo, anche razionale qualche volta, ma solo frutto della natura biologica.

La **cultura** e l’evoluzione culturale

Parliamo qui della cultura in senso antropologico, come la può definire un qualunque dizionario: tutto quell’insieme di nozioni, abilità tecniche, comportamenti individuali o collettivi, tradizioni, che divengono patrimonio comune di una popolazione, che vengono abitualmente utilizzati dai suoi membri, e che vengono trasmessi per imitazione ed insegnamento.

La cultura non viene da un’eredità genetica; la sua trasmissione è affidata a meccanismi mentali, indipendentemente dalle strutture e dalle funzioni organiche sottostanti.

R. Dawkins ha parlato spesso di “**fenotipo esteso**” (è il titolo di un suo libro, 1986), intendendo che i rapporti del vivente con l’ambiente non sono limitati al suo corpo, ma a tutti gli strumenti che possono collegare il suo corpo con l’ambiente stesso. Un castoreo, per es., non interagisce col suo ambiente solo con gli occhi e le zampe, ma anche per mezzo degli specchi d’acqua che realizza costruendo le sue dighe. Gli animali gregari, inoltre, influiscono e sono influenzati dall’ambiente anche tramite il comportamento del gruppo familiare o sociale di cui fanno parte; la selezione allora si eserciterà anche su quei geni che statisticamente influiscono sul comportamento del gruppo e sugli adattamenti che questo comporta.

Nel caso degli animali vi sono innumerevoli esempi di “strumenti” o “utensili”, ma nel caso dell’uomo l’interazione con l’ambiente è mediata da un’infinità di interposizioni, strumentali e non. Il termine “cultura” è certamente sfumato, ma l’uomo sfrutta e modifica l’ambiente anche tramite strumenti concreti (utensili), collettivi (azioni di gruppo) ed astratti, come la matematica.

Non c’è bisogno di contrapporre natura (ereditata geneticamente attraverso la filogenesi) a cultura (ereditata per apprendimento durante l’ontogenesi). Sta di fatto che molti animali superiori e l’uomo sono titolari di una duplice eredità: quella genetica, di cui abbiamo parlato fin dall’inizio e di cui abbiamo studiato i meccanismi, e quella culturale, che segue altre vie.

Poiché anche la cultura viene ereditata, non attraverso il genoma, l’abbiamo detto, ma attraverso l’esperienza, l’imitazione e la trasmissione delle idee, essa deve essere soggetta agli

stessi meccanismi dell'evoluzione biologica: variabilità (nel tempo e nello spazio), selezione ed adattamento.

E qui occorre far notare i caratteri in comune e non in comune dei due tipi di evoluzione.

In entrambe, esistono elementi in grado di essere trasmessi (i geni – le nozioni⁶⁰); questi elementi possono subire variazioni (per mutazione – per innovazione), possono essere trasmessi ad altri individui (attraverso la riproduzione – la trasmissione culturale), debbono confrontarsi con l'esistente (compatibilità col genoma e l'ambiente – con le tradizioni ed i costumi) e subire un vaglio, una selezione (caratteri non adattativi – idee non accettabili nell'ambiente culturale esistente), ed alla fine produrre adattamento (rispetto all'ambiente fisico – al clima culturale),(i mutanti e gli innovatori spesso finiscono male).

Inoltre, sia nell'evoluzione biologica che in quella culturale, convivono sia la stabilità (la selezione in ambiente costante tende ad uniformare il pool genico; le tradizioni tendono a conservarsi), sia l'innovazione (variabilità biologica, inventività). Infatti, come ci sono innumerevoli forme di vita nello stesso ambiente, così ci possono essere innumerevoli stili di vita e tradizioni diverse nella stessa popolazione. Diverse culture con lo stesso genoma.

E ancora, sia i geni sia le idee possono “emigrare” in popolazioni vicine od in altri ambienti culturali (un individuo che passa da una popolazione all'altra può diffondere i propri geni per incrocio, oppure le proprie conoscenze attraverso l'imitazione, l'insegnamento, ecc.), possono “mutare”, scambiare parti con altre entità (ricombinazioni cromosomiche, contaminazioni culturali), replicarsi (DNA ridondante, imitazioni e plagii), ecc.

Sia l'innovazione genica (mutazioni), sia l'innovazione culturale (novità concettuali) possono presentarsi all'improvviso, per un procedimento imprevedibile.

E poi, sia il genoma, sia un patrimonio culturale, possono sopravvivere solo se immersi in un “ambiente” (chimico o culturale) in grado di assicurarne la sopravvivenza. Come ci sono le estinzioni (di specie o gruppi di specie), così si verificano le “rivoluzioni culturali”.

Il patrimonio genetico ha i suoi documenti del passato (i fossili); la cultura ha pure un passato (i libri, le tradizioni, le opere d'arte).

Insomma, si potrebbe vedere il processo evolutivo come un fenomeno universale con leggi proprie, che sono valide, qualunque ne sia il supporto. Il supporto può essere un gene, un individuo, una specie, ma anche un concetto, una teoria, un gruppo di persone, una casta sociale ... Occorre solo che questo supporto sia passibile di replicazione, di trasmissione, di variabilità, di sopravvivenza differenziale (selezione). Nel corso della storia non si sono forse confrontate teorie, ideologie, sistemi politici, filosofici o religiosi? Non sono entrati in competizione? Non hanno “variato”? Non si sono scambiate porzioni del loro contenuto? Non ne sono sorti dei nuovi mentre altri si estinguevano?

L'evoluzione biologica diventa allora un modello per altri tipi di evoluzione. Quello culturale non è l'unico.

Va poi detto che l'evoluzione culturale richiede una qualche innovazione anche sul piano organico; essa non sarebbe stata possibile se l'uomo non avesse sviluppato o migliorato (pre-adattamento) opportune strutture: la mano prensile, un'alimentazione onnivora, la deambulazione bipede, lo sviluppo del cervello e del linguaggio ... Con niente non si fa niente.

Ma le differenze fra i due filoni evolutivi rimangono certo enormi.

L'evoluzione biologica si svolge “in verticale”, attraverso la successione delle generazioni, fuori dal controllo diretto degli individui, e comunque in tempi lunghissimi.

L'evoluzione culturale si svolge “in orizzontale”, la trasmissione dei suoi elementi costitutivi (semplificando: le idee) avviene quasi per contagio fra tutti gli uomini in grado di comunicare fra loro, non per successione generazionale, e quindi in tempi brevissimi. Un'invenzione, una nuova

⁶⁰ In Dawkins (1992) è ben sviluppato questo concetto, indicato col termine “meme”, a somiglianza di “gene”. Si tratterebbe dell'unità elementare di trasmissione culturale: sinonimo di idea? di moda? di frasi? melodie? tecniche costruttive? Come i geni si trasmettono durante la riproduzione, così i memi si trasmettono per imitazione.

esperienza, una teoria, può trasmettersi potenzialmente a tutta l'umanità in qualche mese (quando usavano le diligenze) o in pochi secondi (sul WEB).

L'evoluzione biologica si svolge "da uno a pochi": dai genitori ai discendenti. Quella culturale "da uno a molti" (un'idea, per moda o per prestigio si può diffondere a tutta una società) oppure "da molti ad uno" (ogni individuo può ereditare una particolare cultura da tutta la società in cui vive, o da persone geneticamente assai distanti). Un gene ha solo uno o due genitori; un'idea può averne molti.

In più, l'evoluzione culturale si può trasmettere o può creare differenze culturali anche fra individui geneticamente identici (un neofita che entra in una nuova associazione), così come una differenza genetica può esistere o formarsi fra persone culturalmente vicine (per es., un mulatto che viene educato secondo la cultura di due genitori affiatati).

E ancora, la trasmissione culturale ha un che di "lamarckiano", non è sempre "darwiniana", nel senso che può trasmettere ai discendenti i caratteri acquisiti dall'individuo. Sappiamo, infatti, che tali caratteri, se sono di natura biologica (aumento di altezza per nutrizione iper-vitaminica, per es.), non si trasmettono ai discendenti poiché non influiscono sulla linea germinale. Invece un'acquisizione culturale (imparare un mestiere, per es.) può essere trasmessa immediatamente a qualunque persona, anche non parente.

Visto che parliamo di cultura, e poco sopra abbiamo parlato delle attività mentali degli animali in genere, è bene fare una piccola distinzione.

Tutti gli animali "imparano" in qualche modo e dimostrano di essere dotati di memoria. Si sono visti anche microrganismi ricordare un'esperienza nociva precedente e rifuggire da uno stimolo dannoso prima di subirne gli effetti. Ma, a parte questo, l'apprendimento in senso stretto presenta caratteristiche particolari. È bene ora chiarire il concetto di "programma aperto".

Tutti i comportamenti innati (istinti o simili) si possono considerare iscritti in un "programma", un sistema di meccanismi "stimolo-risposta" (S/R in gergo) piuttosto rigidi: si può parlare di "**programmi chiusi**", indifferenti alle condizioni ambientali del momento (si può ricordare il caso della femmina di ragno colla sua ooteca, pag. 35).

L'apprendimento invece presuppone un "programma aperto", uno schema di risposta flessibile, in grado di rispondere alle condizioni contingenti.

I comportamenti a "programma chiuso" sono evidentemente più semplici, sono iscritti nei circuiti nervosi in risposta alla trascrizione di geni specifici, e rispondono in modo stereotipato alle situazioni più comuni cui l'animale è esposto.

Ma, con il procedere dell'evoluzione e della varietà delle nicchie ecologiche occupate, il numero e la complessità delle situazioni imprevedibili cui l'animale si può trovare esposto aumenta, ed allora il catalogo dei comportamenti ottimali da mettere in atto nei singoli casi diviene troppo lungo. Nessun sistema nervoso basterebbe.

A questo punto si è affermata nell'evoluzione una nuova strategia, il **programma aperto**, appunto, che contiene relativamente pochi schemi rigidi, ma consente l'acquisizione di nuovi schemi attraverso il ricordo di esperienze passate, la previsione di situazioni possibili, l'imitazione, il linguaggio, ecc. Questa strategia "flessibile" consente allora di affrontare anche rapidi cambiamenti ambientali, un gran vantaggio rispetto all'evoluzione organica che richiede tempi assai più lunghi. È quanto è stato fatto nei confronti dei grandi calcolatori che, in base al concetto « prova, e stai a vedere cosa succede; se va male, prova un'altra mossa », commettono inizialmente molti errori ma poi riescono ad imparare a giocare a scacchi ed a tener testa ai grandi campioni.

Per concludere, la cultura appare come un prolungamento dell'evoluzione biologica, un meccanismo evolutivo che si afferma in un ambiente diverso, astratto, ed è costituito da elementi diversi, con caratteristiche proprie, che appaiono come un prolungamento del fenotipo, un "fenotipo esteso" che offre alla specie (anche in molti animali) un'ulteriore varietà di adattamenti e consente all'uomo in particolare la penetrazione in una nuova "nicchia": quella linguistica e cognitiva. La storia naturale dell'uomo si arricchisce di uno strumento innovativo e flessibile: la

cultura, che non è in opposizione alla natura, ma ne costituisce il naturale complemento.

Purtroppo, questa facoltà, che l'uomo possiede in alto grado, non può servire da discriminare fra uomo ed animale in quanto, giorno dopo giorno, si dimostrano in molti animali superiori capacità sorprendenti di apprendimento e di trasmissione culturale, almeno per imitazione.

Per contro, cultura e natura interagiscono fortemente. Qualche esempio.

Da quando la cultura (in senso antropologico) ha imboccato la strada della "rivoluzione neolitica" (circa 10.000 anni fa) ed hanno preso piede la coltivazione di piante e l'allevamento di animali a scopo alimentare, l'uomo da nomade (cacciatore-raccoglitore) è diventato stanziale (villaggi agricoli in attesa del raccolto successivo). La sua evoluzione, anche fisica, è cambiata di parecchio. Una delle tante conseguenze riguarda quell'enzima intestinale (la lattasi) che consente al neonato di digerire lo zucchero del latte (lattosio). Normalmente, tale enzima non viene più prodotto dopo lo svezzamento. Non serve più. L'adulto non riesce più a digerire il latte.

Questa perdita avviene di regola in molte popolazioni, specialmente orientali. Però, in molte popolazioni occidentali, dove la pastorizia rappresenta da millenni una fonte alimentare primaria, la lattasi intestinale continua ad essere prodotta per tutta la vita. Il nostro genoma dunque si è modificato nel corso dei secoli in direzione favorevole, in quanto ci consente di sfruttare da adulti un ottimo alimento, e questo in seguito ad un'acquisizione culturale, l'attività pastorale.

Altro esempio: quasi tutti gli uomini, dopo i 40 anni, divengono gradatamente presbiteri, non possono mettere a fuoco ("accomodare") l'occhio per oggetti a distanza ravvicinata. Un simile difetto rappresenta un handicap per la vita quotidiana; oggi in particolare, in seguito all'allungamento della vita media, esso dovrebbe portare ad una forte selezione negativa.

Ma la cultura ha deviato il corso naturale delle cose: dopo l'introduzione degli occhiali, intorno al 1200, la presbiopia non è più un problema; tutti possono procurarsi gli occhiali adatti. La selezione naturale non opera più, almeno lì.

Terzo esempio, piuttosto cinico: allo stato "di natura", dove l'uomo si è trovato per tutta la sua storia fino alla formazione delle civiltà urbane, un uomo anziano che perdesse le sue forze perdeva anche l'autosufficienza ed era condannato a morte. Nelle civiltà moderne, in seguito a norme civili e morali, l'anziano, il malato o l'handicappato vengono accuditi e tenuti in vita anche se privi di autosufficienza (famiglia, servizi sociali, sanità privata o pubblica, ecc.).

Questo non sembra verificarsi a giovamento della specie nel suo complesso, appare come un costo che si riversa sui singoli individui. Si potrebbe dire che i servizi sociali sono "contro natura"; sono giustificati solo dalla morale civile o religiosa.

(Questa considerazione può sembrare immorale, ma si pensi che può essere altrettanto immorale tagliare un bosco per ricavare terreno coltivabile, deviare un fiume per creare una centrale elettrica, allevare un animale o un pesce per poi mangiarselo).

Esigenze esistenziali, giuridiche e morali possono entrare in conflitto. Anche questo conflitto può rientrare nella nostra "natura", se considerata in senso globale, ma rimane il fatto che le esigenze morali e civili hanno modificato l'andamento biologico della mortalità.

Ma queste contraddizioni, nascenti dalle influenze reciproche fra natura (biologica) e cultura, si possono forse comporre pensando quanto segue.

L'evoluzione biologica ha funzionato abbastanza bene, intendiamo dire con meccanismi abbastanza rigidi e ripetitivi, fino ai Primati.

Dopo di ciò, l'evoluzione umana ha imboccato una strada nuova, le attività mentali "superiori", la "cultura", e simili. Un prodotto di questa innovazione evolutiva è la "civilizzazione", definendola provvisoriamente come l'insieme delle norme e delle regole di vita che la società umana si è data sul piano giuridico (i codici), sociale (i costumi) e morale (i valori).

Questo insieme di norme ha modificato i comportamenti umani in vista di concetti astratti (giustizia, solidarietà, altruismo, fedeltà, accudienza, ecc.), frutto anch'essi della nostra "civilizzazione".

Dal punto di vista filosofico, questo mondo di norme può venire dall'"anima razionale",

dalla ragione, che farebbero parte della nostra “natura”, nel significato più esteso. Il biologo si chiede se anche questo non è un semplice frutto terminale dell’evoluzione biologica. Ma non è questo che pretendiamo di chiarire.

Vogliamo invece far notare che questa “evoluzione culturale” procede per meccanismi nuovi, emergenti, che vanno contro, a volte, alla precedente evoluzione biologica. La contraddizione che notavamo prima, per es., fra efficienza generale di una popolazione ed accudienza di malati ed anziani, nasce proprio da questa innovazione evolutiva, la civilizzazione, che contraddice in parte (in piccola parte, sembra) le precedenti acquisizioni adattative. La civilizzazione sarebbe quindi, a volte, contro-adattativa; l’evoluzione precedente si è tradita, è evoluta anch’essa. P. Tort (2006, ecc.) parla di “effetto reversivo dell’evoluzione” nel senso che, seguendo i normali processi selettivi, l’evoluzione ha prodotto un nuovo meccanismo che dà all’evoluzione culturale umana una nuova direzione, a volte in contrasto con la precedente. L’evoluzione culturale produrrebbe allora una “**evoluzione sociale**” o “civile”. Si può parlare della nascita di “istinti sociali istituzionalizzati”?

Su questo punto, si è parlato molto di “rottura” o “discontinuità” fra evoluzione biologica e culturale-sociale, ma molti autori insistono sulla continuità: semplicemente, l’evoluzione umana ha messo a punto una nuova strategia, a partire dall’australopiteco o da qualche suo parente. Questa strategia prevede la formazione di prolungati vincoli familiari (per via della lunghezza del periodo di apprendimento nel bambino), di stretti rapporti di collaborazione fra adulti (caccia di gruppo, costruzioni, soluzione di problemi ambientali complessi), di regole di comportamento utili all’efficienza del gruppo (diritto di proprietà, composizione di conflitti, ecc.), ed altro.

Come è previsto dall’esistenza di diversi livelli di selezione (pag. 43), a questo punto ad essere selezionato non è più solo l’individuo, ma il gruppo, e sarà favorito il gruppo che possiede le migliori regole di convivenza, la “civiltà” più efficiente. L’evoluzione avrebbe dunque modificato la sua direzione, non i suoi meccanismi di base. Se la selezione biologica prevedeva l’eliminazione degli individui meno vitali, ora possono venir eliminati i gruppi meno affiatati, dove sono meno attivi i meccanismi di coesione sociale. Il carattere più “premiato” nell’evoluzione umana sarebbe ora la reciprocità dell’aiuto fra individui, la solidarietà.

Per un positivista, la morale in genere diventerebbe allora solo l’ultima trovata dell’evoluzione. Per uno spiritualista, si tratterebbe di un nuovo innesto, agganciato a principi non naturali, reso possibile dall’evoluzione delle funzioni mentali nell’uomo.

Altri conflitti natura-cultura non sono ancora stati composti.

Ci si può riferire a tanti comportamenti “istintivi” che nell’ambiente sociale odierno sono divenuti controproducenti, non adattativi. In questi casi, l’evoluzione biologica è rimasta indietro rispetto alle nuove esigenze “culturali” e l’uomo si trova in un eterno conflitto. Qualche esempio.

L’istinto alimentare. Data la scarsità e l’aleatorietà delle fonti di cibo che l’uomo “primitivo” ha dovuto affrontare per milioni di anni, era utile, adattativo, un istinto che dicesse: “appena trovi qualcosa di appetibile, mandane giù tutto quello che riesci poiché non sai quanti giorni passeranno fino al prossimo pasto”. Comportamento utile per l’uomo “allo stato di natura”.

Oggi, almeno nei paesi occidentali, i tre pasti al giorno sono disponibili per quasi tutti. L’istinto di cui prima dovrebbe diventare: “fermati appena sei sazio poiché altrimenti ti rovini la salute”. Quello che succede nei paesi sviluppati è proprio un aumento dell’obesità: l’istinto alimentare è rimasto quello di sempre e non ha tenuto conto delle nuove situazioni.

Ecco un comportamento che era adattativo per l’evoluzione biologica, e che non è ancora stato aggiornato dall’evoluzione culturale.

Così avviene per l’istinto di accumulare beni ed alimenti. Una volta era utile accumulare tutto ciò che poteva essere utile a sé ed alla famiglia, in vista di sempre incombenti carestie. Oggi, questa tendenza è diventata avarizia (accumulare, ma non consumare), e spesso va contro il benessere dell’individuo e della sua famiglia spingendo chi ne è colpito a privazioni inutili e dannose.

Così per gli istinti sessuali: una volta, ogni figlio sopravvissuto portava braccia per il lavoro

comune, la mortalità infantile era elevata ed era utile procreare il più possibile. Oggi, in quasi tutte le società umane, il problema demografico si va inasprendo e l'evoluzione culturale non ha ancora trovato un meccanismo praticabile di limitazione delle nascite. Le situazioni di fame si moltiplicano, ma la nostra cultura non è ancora evoluta abbastanza da proteggerci.

Da notare che, su questo punto, molte specie animali hanno dimostrato di possedere metodi contraccettivi molto drastici. In una popolazione numerosa di certe specie di uccelli, si è osservato che, al minimo accenno di denutrizione, il numero di uova covate diminuisce, ed i piccoli denutriti o comunque ammalati vengono abbandonati.

Un ultimo esempio: le cure materne hanno l'ovvia funzione di tenere alta il più possibile la sopravvivenza dei nuovi nati. Nella maggioranza degli animali, ogni anno si ripete un ciclo riproduttivo ed i nati dell'anno precedente vengono espulsi dal nido o dalla tana, o magari dal marsupio, per far posto ad una nuova nidata. Le cure parentali s'interrompono di forza. Nell'uomo il ciclo riproduttivo è continuo e questa esigenza viene a mancare: l'accudienza dei piccoli diventati adulti non viene interrotta.

In generale, le cure parentali avrebbero come fine di addestrare la prole ad affrontare i problemi dell'avvenire e poi di avviarla ad una vita propria, per ripetere il ciclo. Ma nell'uomo le cure parentali si prolungano senza fine; gli istinti relativi vanno oltre l'esigenza naturale e portano a nascondere ai piccoli ogni possibile problema, anche quelli morali. L'addestramento all'autocontrollo viene ommesso perché scomodo. "Hanno diritto alle loro libertà ..."

Risultato: adulti infantili, impreparati, irresponsabili.

Chissà quando l'evoluzione culturale ci metterà rimedio?

Sociobiologia e psicologia evolutiva – Il problema dell'altruismo

I meccanismi evolutivi, come abbiamo visto parlando di cultura, possono presentare caratteri estensibili ad altri ordini di realtà. In particolare, i relativi filoni concettuali sono stati estesi al mondo sociale (sociobiologia) ed in generale al mondo psicologico dell'uomo (psicologia evolutiva).

L'assunto di base di queste scienze e/o filosofie è che i meccanismi dell'evoluzione biologica possano spiegare come adattamenti i fenomeni ed i comportamenti individuali e sociali, con lo stesso impianto teorico e metodologico. Le culture ed i sistemi sociali sarebbero solo il prolungamento dei meccanismi naturali che si svolgono in tutte le manifestazioni della vita: un prolungamento dell'etologia⁶¹, in vista di una continuità di comportamenti ed emozioni fra animali ed uomini. L'uomo appartenerrebbe interamente alla natura (biologica).

A favore di questa visione vi sono alcuni validi motivi. La continuità fra uomo e mondo animale appare su molti piani, e se n'era occupato in dettaglio anche Darwin, pur senza poter usufruire delle nozioni di genetica che sono venute dopo. La continuità è evidente sul piano anatomico e funzionale; l'anatomia comparata ha chiarito da un pezzo che le strutture del corpo umano sono omologhe (stessa derivazione embrionale e filogenetica) e spesso analoghe (identità di funzioni) a quelle degli animali. Omologie tanto più strette quanto più vicina è la posizione sistematica.

Neppure si può negare che i comportamenti animali ed umani abbiano in genere una funzione adattativa e pertanto siano soggetti ai soliti meccanismi dell'evoluzione biologica: variabilità, selezione, trasmissibilità, ecc.

Chiunque si occupi di etologia sa bene quanto la comprensione dei comportamenti animali aiuti a spiegare quelli umani e viceversa. Constatazione, a volte, desolante.

Ma in questa visione positivista vi sono almeno due limiti.

Il primo è metodologico ed epistemologico. Infatti, i fenomeni psicologici e culturali nel mondo umano sono assai più complessi di quelli esistenti nel mondo animale; non solo ma, come abbiamo notato nell'esempio del confronto vivente-non vivente, quando il livello di complessità di un sistema supera un certo limite, compaiono in esso delle proprietà "emergenti", non

⁶¹ Scienza che studia il comportamento degli animali in relazione alle esigenze del loro ambiente di vita.

riconducibili a quelle di sistemi meno complessi. Ed allora, se la vita si distingue, e va studiata con metodi diversi, rispetto al non-vivente, anche senza ritornare ad una concezione “vitalista”, occorre cambiare gli strumenti concettuali e sperimentali.

Così il mondo mentale, psicologico e sociale umano si può vedere come “emergente” rispetto a quello animale. Occorre un approccio diverso.

L'altro limite sta nel fatto che lo studio in chiave biologica del comportamento umano ha portato ad un approccio positivista. Nulla da eccepire sullo studio dei fenomeni naturali, compresi quelli psicologici individuali e collettivi, in chiave causale. Ma gli studiosi di queste scienze ogni tanto sconfinano dal loro campo e negano a priori qualunque altro piano possibile nella mente dell'uomo, per es. quello spirituale. Ci risiamo. Perché non riconoscere la non riducibilità dei due campi di pensiero? Perché applicare i criteri dell'uno anche all'altro? Che può dire la scienza sul piano della sovra-natura? Qui non vi sono né dimostrazioni né confutazioni. E d'altra parte, che può dire la filosofia (deduttiva) sui fatti naturali, che vanno studiati col metodo induttivo? Al massimo, ci può ricamare sopra, dopo che sono stati accertati.

L'argomento è ovviamente vastissimo, ed in rapida “evoluzione” concettuale. Impossibile aggirarsi in questa sede. La limitata bibliografia che segue può dare qualche spunto per un approfondimento.

Collegato con la psicologia evolutiva è il problema dell'**altruismo**, come si presenta in natura. Ed anche qui, almeno due modi contrapposti di affrontarlo.

Si osservano spesso in molte società animali dei casi di comportamento “altruistico”: un individuo si espone a svantaggi, rischi, od anche alla morte, con azioni che possono tornare a vantaggio di altri individui o della società in cui vive.

In una visione “selezionista” stretta, tali comportamenti sembrano assurdi: l'individuo altruista subisce un danno o rischia di non potersi riprodurre; quindi non trasmette i propri geni o comunque abbassa il proprio tasso riproduttivo. Automaticamente, i suoi geni tendono a scomparire nella generazione successiva ed il comportamento altruistico verrà “punito” dalla selezione.

Questo approccio un po' riduzionista può dare luogo a due evidenti errori concettuali.

– Non esiste naturalmente una spiegazione “biologica” o un fondamento deterministico per l'altruismo in quanto virtù morale. L'atto morale deve essere per sua natura libero, libero anche da ogni spinta o condizionamento biologico o sociale.

– Non si può ridurre ogni azione altruistica ad un fenomeno naturale e con questo negare la possibilità di azioni morali libere. Il solito problema dello sconfinamento.

Dall'altra parte, una visione spiritualista considera ogni azione umana come frutto di una libera scelta, sia pure ammettendo condizionamenti di varia natura.

La mole di dati che si vanno accumulando su questo tema si sta allargando ogni giorno; è consigliabile la lettura di T. Pievani (2005), R. Dawkins (1992), ecc. Ed effettivamente il fenomeno dell'altruismo animale è evidente: basterebbe pensare alle formiche e termiti della casta “soldato”, che difendono il nido comune fino alla morte, ma sono sterili e non possono trasmettere i loro geni. Oppure al comportamento solidale in molti animali sociali (i castori non sopravvivrebbero senza una forte tendenza a dedicarsi all'opera comune, ad es.).

La spiegazione dell'altruismo negli animali sembra accettabile sul piano evolutivo quando si allarga il concetto di selezione al piano sopra-individuale (vedi a pag. 23 e 43: teoria gerarchica dell'evoluzione). Semplificando molto: l'altruismo o il sacrificio individuale si spiega in quanto esso favorisce l'efficienza e la sopravvivenza del gruppo. Una iena aggredita da un leone farebbe meglio a scappare, sarebbe il suo interesse individuale, ma il suo branco ne resterebbe indebolito: è il concetto del “gioco di squadra”.

In sostanza, la selezione “vede” gli individui e li “valuta” in base al loro successo riproduttivo, alla loro efficienza. Ma, negli animali sociali, l'individuo fa parte di un gruppo. Quindi l'ambiente agisce nei riguardi del gruppo come se fosse un’“unità di selezione”, ed è l'efficacia del gruppo a fare la differenza. Un gruppo in cui prevalgono gli altruisti ed i giocatori

onesti ha, globalmente, maggiore successo riproduttivo di un gruppo in cui prevalgono egoisti e bari. Rimarrà sempre, è vero, una piccola percentuale di “egoisti” che sfrutterà a proprio vantaggio l’atteggiamento altruista degli altri, ma non potrà prevalere, pena la perdita di efficienza del gruppo. In molti lavori recenti sono state perfino calcolate le percentuali “altruisti-egoisti” che tendono a stabilizzarsi in una popolazione e consentono una sufficiente efficienza del gruppo⁶².

Grande dibattito c’è stato, e c’è ancora, su come vada concepito il “gruppo”. Spesso, si è fatto osservare come tale concetto vada limitato alla parentela o al “lignaggio” (“**kin selection**”), in nome della comunanza genetica: l’individuo si sacrifica, ma ne traggono vantaggio i suoi geni, quelli che ha in comune con i parenti. D’altra parte appare evidente come il gruppo si possa valutare come “unità operativa”, come sistema di elementi (individui) inter-correlati che opera coordinatamente per un risultato comune (“**group selection**”), indipendentemente dal grado di parentela. Anche qui, il gruppo rappresenta un “fenotipo esteso” per l’individuo (pag. 70) e su quello può operare la selezione.

Comunque, sembra che questi fenomeni di altruismo nel mondo animale vadano interpretati in chiave causale, naturalistica: un fenomeno adattativo.

L’altruismo come atto libero e consapevole, mirato al benessere di qualcun altro, svincolato da qualunque condizionamento biologico o culturale, dovrebbe essere un’altra cosa: l’altruismo andrebbe ammesso come facoltà umana, a meno che non ci si voglia limitare ad una visione materialistica. E quel tipo di altruismo, per definizione, non può venire dalla natura. Anche un positivista come R. Dawkins lo ammette (1992, pag. 147): “... *dobbiamo insegnare ai nostri figli l’altruismo, perché non possiamo aspettarci che faccia parte della loro natura biologica*” (il corsivo è dell’autore).

In altre parole, la psicologia, evolutiva o non, la sociologia, evolutiva o non, possono spiegarci quali meccanismi organici, biochimici o biologici ci portano, statisticamente, a certi comportamenti. Ci danno una spiegazione in chiave causale, evolutiva o di altro genere, ma non possono dirci “come dovremmo comportarci” in base a valori astratti. È possibile distinguere fra i due aspetti: i fatti e le loro cause, da un lato, e dall’altro un diverso ordine di valori che possiamo consapevolmente e responsabilmente intuire o analizzare o perseguire. L’abbiamo già detto: si può ben distinguere fra spiegazione e giustificazione.

Si può anche rovesciare la questione: il comportamento umano non è solamente (o quasi mai) ispirato alla responsabilità personale. Siamo assai vincolati dalla nostra biologia, dalla nostra società, dalle nostre abitudini (di comodo). È distruttivo, ma questi sono i fatti; possiamo deplorarli, ma essi non cessano di essere veri. Una visione realistica del comportamento umano è di solito spietata, e per questo se ne rifiuta spesso l’accettazione, ma dobbiamo farci i conti.

Ci consoli il fatto che la nostra specie sembra essere l’unica che (ogni tanto) si rende consapevole dei propri condizionamenti e ne cerca una soluzione. Ovvero: si sforza di distinguere fra condizionamenti e libero arbitrio.

L’origine della vita

Anche qui, le teorie e le ipotesi sono senza fine. Il metodo sperimentale galileiano (ripetere il fenomeno in condizioni controllate per valutarne separatamente i parametri) non si applica, come non si applica all’evoluzione in generale: le scale dei tempi e le condizioni fisiche e biologiche della terra dei primordi non sono riproducibili. Si può solo tentare di tracciare un cammino a ritroso. Sembra però, in base a numerosi indizi, che la vita sia comparsa sulla terra circa 3,5 miliardi di anni fa. Un po’ tanto, e non c’è da stupirsi che, in questo tempo, la vita abbia avuto modo di cambiare volto.

Sull’origine prima, anche fare un elenco delle ipotesi fatte finora sarebbe noioso, ma le teorie più accreditate suppongono una singolare composizione chimica dei mari (il “brodo

⁶² Si parla, in questo come in altri casi, di “strategia evolutivamente stabile” (ESS, vedi pag. 41).

primordiale”) all’interno della quale, per fenomeni fisici (vulcanesimo, fenomeni elettrici dell’atmosfera, radiazione UV del sole, ecc.) si sarebbero formate molecole sparse, capaci di stabilire fra loro legami chimici e formare molecole più complesse, capaci a loro volta di auto-replicarsi Da lì sarebbe cominciato tutto.

Detto così è semplice ma, “fra il dire ed il fare ...”.

Sono stati eseguiti anche esperimenti in condizioni controllate, che hanno portato alla sintesi di alcuni composti organici, aminoacidi e “basi” nucleotidiche, che rappresentano i mattoni costitutivi delle sostanze più complesse che troviamo alla base della vita (in Russia, A. I. Oparin, 1936; negli USA, S. Miller, 1953). Anche in certe comete ed altri corpi celesti sono stati identificati, in tracce, aminoacidi ed altri composti organici.

Ma va detto che un mucchio di mattoni non fa una casa senza un progetto, ed un miscuglio di sostanze organiche non diviene vivente senza un contesto di molte altre sostanze e, soprattutto, senza essere inserito all’interno di un sistema organizzato complesso. La “materia prima” per la vita non è una ricetta chimica, ma lo è la sua organizzazione interna, ed un programma capace di dirigerla.

Su come possa nascere questa organizzazione, il “programma” auto-replicante, capace di variabilità e quindi di selezione ... è una storia tutta da scoprire.

La distanza fra un qualunque miscuglio chimico e la vita è assai maggiore della distanza fra il più semplice batterio ed un elefante. Il salto dal non-vivente al vivente è enorme.

È quindi meglio sospendere il giudizio in attesa di dati più sicuri.

Per quanto riguarda l’esistenza di qualche forma di vita in altri corpi celesti, sono in corso ricerche assai sofisticate. Si va alla ricerca di composti organici caratteristici della vita, come la clorofilla, ma non esistono attualmente conferme osservative. Lo strumento più utilizzato in questo campo è la spettroscopia, che consente di identificare lo “spettro di assorbimento” di varie sostanze, anche in tracce, nella luce proveniente da pianeti fisicamente “papabili”. Ogni sostanza presenta uno spettro caratteristico, cioè una precisa distribuzione di lunghezze d’onda, nella luce da essa diffusa, e questo consente identificazioni sicure con una sensibilità estrema, una specie di carta d’identità chimica. Si continua a cercare.

Spesso si dice, o si urla, “... sul tale pianeta c’è acqua, quindi c’è vita ...”. È come dire: “... su quel terreno ci sono pietre, quindi c’è un palazzo...”.

L’origine dell’uomo

Occorre qui affrontare la definizione del confine fra l’uomo ed i suoi predecessori.

Antropologicamente, l’uomo è definito come un bipede capace di linguaggio, costruzione di utensili, attività mentali superiori, ecc. Dal punto di vista metodologico, occorre attribuire ad un fossile la caratteristica di “umano” quando dimostra di aver costruito utensili elementari, ripari, opere espressive (sculture, pitture, ecc.), o comunque di aver dato segni di attività intelligente.

Fra i fossili conosciuti a tutt’oggi sembra che la qualifica di uomo (per la sistematica, l’attribuzione al genere *Homo*) vada riservata a reperti posteriori a 150.000 anni fa, ma questo confine si va spostando sempre più indietro, sulla base di sempre nuovi reperti. Purtroppo, la specie umana a quell’epoca era composta da piccole popolazioni assai sparpagliate, e quindi ha lasciato fossili scarsi e molto dispersi.

Certamente, sull’evoluzione umana vi sono oggi molti più dati certi rispetto alla comparsa della vita, ma si tratta ancora di un argomento *in fieri*: ogni giorno spuntano nuovi reperti, nuove informazioni genetiche, ed occorre essere molto cauti.

Le conclusioni sono molto, molto lontane, ma qualche indicazione chiara comincia ad esservi.

La filogenesi dell’uomo, tradizionalmente basata su reperti fossili (ossa o denti) o su manufatti (utensili, tracce di costruzioni o di fuochi, ecc.) è stata ultimamente aggiornata dai risultati della genetica molecolare (sequenziamento del DNA), che è assai discriminante.

I nostri precursori più lontani, ancora quadrupedi, avrebbero fronteggiato trasformazioni climatiche e geografiche (la grande faglia dell’Africa orientale o “rift valley”) che li avrebbero

costretti a rinunciare alla vita arboricola per adattarsi alla locomozione bipede nella savana. Un tipico caso di frammentazione degli habitat con richiesta di rapidi adattamenti a nuovi ambienti e possibilità di speciazione. Questo, circa 4 milioni di anni fa.

In seguito, si succedono fossili sempre più vicini all'anatomia dell'uomo attuale.

Sembra, infatti, che l'origine degli ominidi⁶³ stia in Etiopia, o forse in Asia minore. Una discreta popolazione, in seguito a forti cambiamenti climatici, avrebbe subito una drastica riduzione, forse fino a 10.000 individui, e sarebbe poi lentamente risalita verso Nord (si dice che quelle migrazioni procedessero al ritmo di un chilometro all'anno, in media) per poi diffondersi nell'Europa orientale e settentrionale e, parallelamente, in tutta l'Asia.

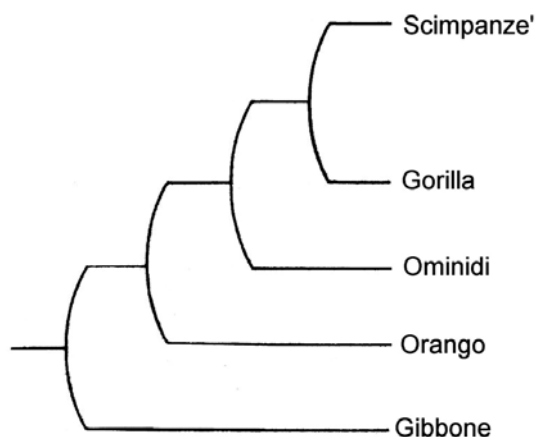
L'evoluzione successiva è riassunta nelle due figure seguenti, ma occorre qui sfatare uno dei tanti pregiudizi in circolazione. Uno degli argomenti preferiti dall'interpretazione creazionista è "l'uomo è essenzialmente diverso dagli animali, non può discendere dalla scimmia". Nessun biologo ha mai detto questo.

Come si può intuire dai grossolani schemi che seguono, il ramo degli "ominidi", che termina con l'uomo moderno (*Homo sapiens*) ha una sua identità che risale a circa 5 – 6 milioni di anni fa. A quell'epoca, si era già differenziato il ramo delle scimmie antropomorfe che ha poi seguito una strada evolutiva indipendente. Dunque, non vi è una linea genealogica unica, dai Primati (le scimmie in genere) fino all'uomo; vi è piuttosto un cespuglio evolutivo, piuttosto ramificato, ed il ramo "umano" si è presto separato da tutti gli altri. L'unica cosa in comune che gli ominidi hanno con gli altri primati è un antenato condiviso, con qualche milioncino di anni sulla groppa, ovviamente estinto da un pezzo.

Fig. 22 – Un primo schema generale mostra l'albero probabile di evoluzione dei primati Ominoidei, comprendente il ramo degli Ominidi.

Naturalmente, esistono altre proposte, ma la genetica molecolare ha confermato in linea di massima questo schema, che è leggermente diverso da quanto era stato stabilito in base ai dati strutturali dei fossili.

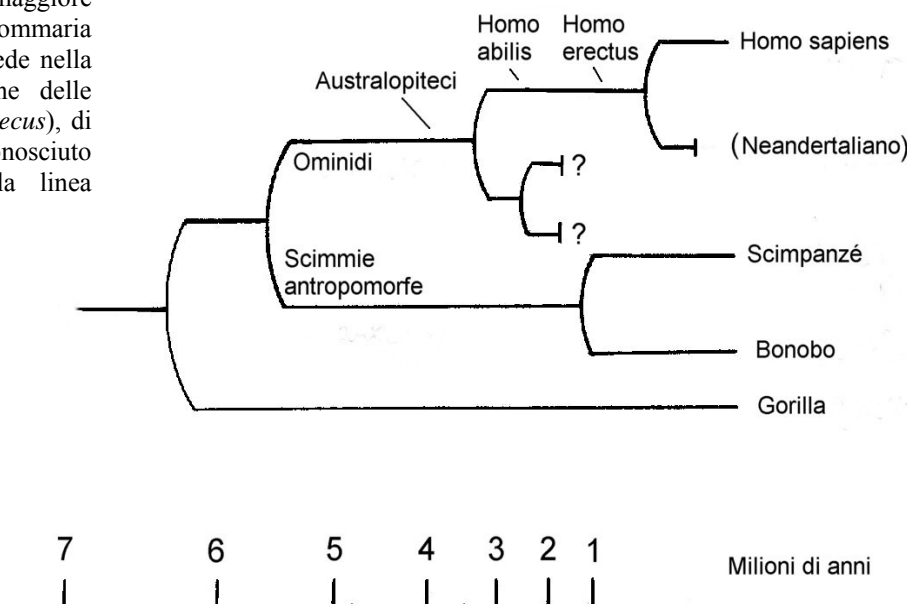
Si noterà che in questo schema il gorilla viene avvicinato allo scimpanzé ed anche agli ominidi, mentre lo schema seguente lo pone assai più lontano sulla base di dati biochimici.



⁶³ Gli Ominidi rappresentano una famiglia dell'ordine dei Primati, che comprende le varie specie riconosciute nel genere *Homo* e nel genere *Australopithecus*. Assieme alla parallela famiglia delle scimmie antropomorfe (Pongidi [orango, gorilla, scimpanzé, bonobo] e Ilobatidi [gibboni, siamanghi]) gli ominidi formano la superfamiglia degli Ominoidei.

Fig. 23 - Con maggiore dettaglio e con qualche sommaria indicazione cronologica, si vede nella linea ominide la successione delle forme primitive (*Australopithecus*), di qualche ramo estinto poco conosciuto (punti interrogativi) e della linea *Homo*.

È ormai stabilito che la linea a noi più prossima (*Homo neanderthalensis*) si è estinta definitivamente, probabilmente 30.000 anni fa, senza essersi incrociata in modo rilevante con l'*Homo sapiens*.



CONCLUSIONI

Ammessso e non concesso di aver risolto quella specie di quadratura del cerchio che è la conciliazione di chiarezza e rigore ...

... questo testo rappresenta un temerario tentativo di mettere ordine nella folla dei concetti e preconcetti che circolano, anche fra le persone colte, sul tema della vita, dell'evoluzione e della scienza in generale.

J. Monod, in una conferenza, ebbe a dire: "Un altro aspetto curioso della teoria dell'evoluzione è che tutti pensano di capirla!"

Esaminando la sterminata letteratura esistente e la folla delle idee circolanti sul tema del rapporto fra biologia (e scienza in generale) e vita umana (nei suoi aspetti culturali in genere), viene proprio il sospetto che molte idee e conflitti di idee nascano dalla conoscenza parziale dei fatti, da visioni unilaterali e da preconcetti. Molto rumore per nulla. La gran parte dei dubbi e delle controversie sembra costituita da falsi problemi che potrebbero sparire davanti all'uso prudente ed obbiettivo delle conoscenze disponibili.

La confusione più forte emerge quando si tratta di definire l'uomo ed il confine fra esso e l'animalità. Qualunque nostro parere è sempre "di parte".

Purtroppo, la letteratura è sconfinata, la cultura scientifica è assente nella grande maggioranza delle persone, il desiderio di analizzare e di capire è in via d'estinzione. Più semplice assorbire passivamente qualche preconcetto nell'infanzia e poi portarselo dietro per tutta la vita.

In questo testo, sono stati esclusi di proposito molti argomenti collaterali: la selezione sessuale, la conservazione della variabilità (legge di Hardy e Weinberg), l'azione distruttiva dell'uomo sull'ambiente, le biotecnologie, la clonazione, la bioetica, la filosofia teleologica del francese Pierre Teilhard de Chardin (1881-1955), e tanti altri.

Meglio non infierire sui potenziali lettori (in via d'estinzione anche loro?).

Aggiungiamo solo questo: abbiamo illustrato fin dalle prime pagine un elenco di proprietà fondamentali dell'essere vivente, con riferimento in particolare al mondo biologico, ma quasi tutte tali proprietà possono essere applicate anche a sistemi "viventi" che non siano animali e

piante. Abbiamo già rinvenuto molti parallelismi fra evoluzione biologica e culturale, ma si riconoscono le caratteristiche di variabilità, crescita, auto-regolazione, adattamento, ecc.; anche in molte istituzioni umane (sistemi commerciali, comunità scientifiche, sistemi politici, ecc.) nonché in sistemi astratti (teorie, lingue od anche semplici parole). Tutte queste entità hanno un ciclo di crescita e decadimento, scambi con l'esterno, variabilità, innovazione, selezione, evoluzione, ecc.

Si pensi solo ad una parola qualunque. In vari luoghi od in vari ambienti culturali essa assume significati leggermente diversi (variabilità nello spazio); col tempo, essa cambia di valore (variabilità nel tempo); a seconda del testo in cui viene inserita, può essere interpretata in modo diverso (adattamenti); se viene usata da popolazioni distanti fra loro, può venire parzialmente alterata (incroci); se viene associata a vocaboli simili possono nascere nuovi significati (ricombinazione genica); può venire abbandonata perché troppo lunga o difficile da pronunciare (selezione); si può fondere con altri termini per generare parole composte (ibridazione); viene appresa passivamente dalle nuove generazioni (eredità), ma può essere male interpretata ed usata a sproposito (mutazioni); può subire l'effetto degli sviluppi tecnologici (influenze ambientali)(come esempio: il termine "comunicazione" per un contadino medievale col suo carretto era diverso che per un navigatore "in rete") ...

Insomma, si possono ravvisare in molte realtà apparentemente inconciliabili i meccanismi fondamentali dell'evoluzione: variabilità, selezione, adattamento, eredità ...

Ancora una volta, l'evoluzione biologica potrebbe offrire qualche utile confronto e qualche chiave interpretativa.

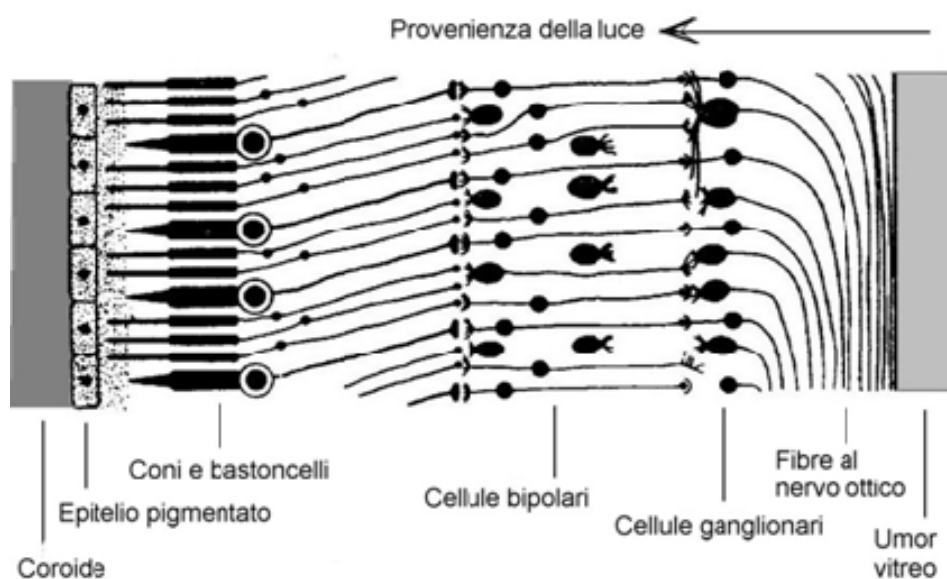
Se però l'uomo si ferma a punti di vista o criteri unilaterali, non sviluppa appieno le proprie facoltà, abdica, e diviene responsabile davanti a sé stesso di questo arresto.

BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. – Evoluzione, cultura e intelligenza, fra passato e futuro. – Pagg. 96. Cappelli, Bologna, 1985.
- AA. VV – “L’héritage Darwin” – Pagg. 96. La Recherche, **33**, 2008.
- AA. VV – Spazio e tempo.- Pagg. 53. Cappelli, Bologna, 1986.
- AA. VV – (a cura di P. Omodeo) – Storia naturale ed evoluzione – Le Scienze, Milano, 1979.
- BRONDEX F. – Évolution, synthèse des faits et théories – Dunod, Paris, pagg. 186, 2003.
- BROWNE J. – Charles Darwin. A Biography. – Knopf, 1995.
- BRUCE W. e ADRIAN M. – Adaptation.- Pagg. 108. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1961.
- BURNIE D. – La vita – Pagg. 63. Dorling Kindersley, London. Grafica Editoriale Printing, Bologna, 2005. (Testo divulgativo)
- CAMPBELL B. G.– Storia evolutiva dell’uomo – ISEDI, Milano, 1974.
- CAVALLI-SFORZA L. L. – La specie prepotente – Ed. S. Raffaello, Milano, 2010.
- CHIARELLI B. – L’origine dell’uomo – Laterza, 1978.
- CUÉNOT I. – Théorie de la préadaptation – Scientia, Vol. XVI, Bologna, 1914.
- CUVIER G. – Discours sur les révolutions du Globe – Didot, Paris, 1851.
- CORSI P. – Science and Religion – Cambridge University Press, 1988.
- DARWIN C. – L’origine dell’uomo e la selezione sessuale.- Pagg. 463. Newton ed., Roma, 2003.
- DARWIN C. – L’origine della specie. – Pagg. 440. Newton ed., Roma, 1973; Boringhieri, 1967.
- DAWKINS R. – Il racconto dell’antenato. – Pagg. 577. Mondadori, 2006.
- DAWKINS R. – The selfish gene – Oxford University Press, 1976. Trad. italiana: Il gene egoista. Pagg. 345. Oscar Mondadori. 1992.
- DAWKINS R. – The blind watchmaker – Trad. italiana: L’orologiaio cieco, Rizzoli, Milano, Oscar Mondadori, 1988.
- DAWKINS R. – Il fenotipo esteso; il gene come unità di selezione – Zanichelli, Bologna, 1986.
- DE PANAFIEU J.B. et GRIES P. – Évolution – Muséum national d’histoire naturelle, pagg. 287, 2007.
- DESMOND A. e MOORE J. – Darwin – Bollati Boringhieri, 1992.
- DOBZHANSKY T. – Mankind evolving – Trad. italiana: L’evoluzione della specie umana, Einaudi, Torino, 1971.
- ELDREDGE N. e GOULD S.J. – Punctuated equilibrium: an alternative to phyletic gradualism – in: Models in Paleobiology (a cura di J. M. Schopf), San Francisco, Freeman Cooper., pagg. 82–115, 1972.
- ELDREDGE N. – Alla scoperta dell’albero della vita – Codice edizioni, 2006.
- FACCHINI F. – Il cammino dell’evoluzione umana – Pagg. 261. Jaca Book, Milano, 1984.
- FACCHINI F. – Le sfide dell’evoluzione.- Pagg. 174. Jaca Book, Milano, 2008.
- FACCHINI F. – Paleantropologia culturale.- Pagg. 81. Jaca Book, Milano, 1992.
- FERRIÈRE E. – Il Darwinismo – Pagg. 145. E. Detken Ed., Napoli, Roma, 1880.
- GALTON F. – Hereditary Genius – MacMillan, London, 1869.
- GAMLIN L. – L’evoluzione - Pagg. 63. Dorling Kindersley, London. Grafica Editoriale Printing, Bologna, 2005. (Testo divulgativo)
- GAUDANT M. e J. – Théories classiques de l’évolution – Pagg. 235. Dunod, Paris, 1971.
- GOULD S. J. – Ever since Darwin – Andre Deutsch, London, 1977.
- GOULD S. J. – The Panda’s Thumb – Norton, New York, 1980.
- GOULD S. J. e ELDREDGE N. – Paleobiology – 3, 115, 1977.
- GOULD S. J. e VRBA E. – Exaptation – Paleobiology, VIII, 1 / XII, 2 , 1982 e 1986.
- HAMILTON W. D. – Sex versus non-sex versus parasite – Oikos, **35**, 282–90. 1980.
- HUXLEY J. – L’evoluzione, la sintesi moderna – Ubaldini, Roma, 1966.
- JACOB F. – La logica del vivente – Einaudi, 1974.
- JONAS H. – Il principio responsabilità – Einaudi, Torino, 2009.
- KURTÉN B. – l’Età dei dinosauri – Il Saggiatore, Milano, 1970.
- LEHMAN J. P. L’évolution des Vertébrés Inférieurs - Pagg. 187. Dunod, Paris, 1959.
- LURIA S. – La vita: un esperimento non finito – Zanichelli, Bologna, 1974.
- MALTHUS T. R. – Saggio sul principio di popolazione – 1798.
- MARCHESINI R. – Intelligenze plurime – Pagg. 447, Perdisa Ed., Bologna, 2008.
- MAYNARD SMITH J. – La teoria dell’evoluzione – Newton Compton, 1977.

- MAYNARD SMITH J. – The evolution of sex – Cambridge University Press, 1978.
- MAYNARD SMITH, J. – Evolutionary genetics – Oxford University Press, 1989.
- MAYNARD SMITH, J. – Group selection – Quarterly Review of Biology, 51, 277–83. 1976.
- MAYR E. e PROVINE W. – The evolutionary Synthesis: Perspectives on the Unification of biology – Harvard University Press, 1988.
- MAYR E. W. – L'evoluzione delle specie animali – Einaudi, 1970.
- MAYR E. W. – Evoluzione e varietà dei viventi – Pagg. 283. Einaudi, Torino, 1983.
- MAYR E. W. – L'unicità della biologia – Pagg. 240. Cortina, Milano, 2005.
- MINELLI A. – Evo – Devo - Pagg. 103. Nuova Argos, Roma, 2004.
- MINELLI A. – Forme del divenire - Pagg. 213. Einaudi, Torino, 2007.
- MINELLI G. – Dai pesci agli albori dell'umanità – Pagg. 139. Jaca Book, Milano, 1984.
- MONOD J. – Il caso e la necessità – Pagg. 180. A. Mondadori, Milano, 1977.
- MONOD J. L. – On the molecular theory of evolution. In: Problems of Scientific Revolution (a cura di R. Harré). Oxford: Clarendon Press. pagg. 11–24. 11–24.
- MONTALENTI G. – L'evoluzione – Einaudi, 1982.
- MORGAN Th. H. – Evolution and adaptation – Mac Millan, New York, 1903.
- MORGAN Th. H. – Evolution and genetics – 1925.
- MORGAN Th. H. – The theory of the gene – Yale Univ. Press, New-Haven, 1926.
- MORPURGO G. – Capire l'evoluzione – Boringhieri, 1975.
- NATURAL HISTORY MUSEUM – South Kensington – Origin of species. An exhibition - Pagg. 72. 1982.
- NICOLAS M. J. – Evoluzione e Cristianesimo – Pagg. 212. Ed. Massimo, Milano, 1978.
- NOBLE D. – La musica della vita – Pagg. 173. Boringhieri, Torino, 2009.
- NÜSSLEIN-VOLHARD Christiane – Il divenire della vita - Pagg 187, figg. 55. Saggi Zanichelli, Bologna, 2009.
- OMODEO P. (a cura di) – Storia naturale ed evoluzione - Letture da Le Scienze. Pagg. 289. Le Scienze S.p.A. ed. Milano. 1979.
- OMODEO P. – Creazionismo ed evolucionismo - Pagg. 202. Laterza, Bari, 1984.
- OPARIN A. – L'origine della vita sulla terra – Boringhieri, 1967.
- ORGEL L. E. e CRICK F. H. C. – Selfish DNA: the ultimate parasite - Nature, **284**, 604–7. 1980.
- PADOA E. – Storia della vita sulla terra – Feltrinelli, 1959.
- PARKER G. A. – Evolutionary stable strategies. In: Behavioural Ecology: An evolutionary Approach – (a cura di J. R. Kerbs e N. B. Davies), 2° ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications. pagg. 62–84. 1984.
- PFEIFFER J. E. – La nascita dell'uomo – Mondadori, 1973.
- PIAGET J. – Le scienze dell'uomo – Pagg. 323. Laterza, Bari, 1983.
- PIEVANI T. – Introduzione alla filosofia della biologia – Pagg. 250. Laterza, Bari, 2005.
- NB: questo testo è ricco di bibliografia.*
- PIEVANI T. – Articoli vari sul mensile “Le Scienze”, Milano.
- PINNA G. – Paleontologia ed evoluzione - Pagg. 144. Martello-Giunti, Firenze, 1974. (*Testo divulgativo*)
- POPPER K. – Natural selection and the emergence of mind – Dialectica, **32**, 339–55. 1978.
- RAVASI G. – Questioni di fede – Pagg. 260. A. Mondadori, Milano, 2010.
- RIDLEY M. – La regina rossa. Sesso ed evoluzione - Instar Libri – 2003.
- RIDLEY M. – The problems of evolution – Oxford University Press. Trad. Italiana: I problemi dell'evoluzione – Laterza, Bari. 1989.
- SARÀ M. – L'evoluzione dei viventi - Pagg. 93. “Fenice 2000” Milano, 1994.
- SCHRÖDINGER E. – Che cos'è la vita? – Pagg. 153. Adelphi, Milano, 2001.
- SHEPPARD P. M. – Natural selection and heredity – London, Hutchinson. 1958.
- SIMPSON G. G. – Il significato dell'evoluzione – Pagg. 440. Bompiani, Milano, 1954.
- SIMPSON G. G. – The biological nature of man - Science, **152**, 472–8. 1966.
- SPENCER H. – First principles – Williams & Norgate, London, 1862.
- SPENCER H. – Principles of Sociology – Williams & Norgate, London, 1876–1896.
- STERELNY K. – La sopravvivenza del più adatto – Pagg. 133. Cortina, Milano, 2001.
- TEILHARD de CHARDIN P. – L'apparition de l'homme – Seuil ed., Parigi, 1955a.
- TEILHARD de CHARDIN P. – Le phénomène humain – Seuil ed., Parigi, 1955b.
- THOMPSON K. – Before Darwin, Reconciling God and Nature – Yale University Press, 2005.

- TIMBERGEN N. – Social behaviour in animals – London, Methuen. Trad. italiana: Il comportamento sociale degli animali – Einaudi, Torino. 1969.
- TORT P. – L'antropologia di Darwin – manifesto libri srl, Roma (2000).
- TORT P. – Darwin e la filosofia – Meltemi ed. srl, Roma (2006).
- TRIVERS R. L. – Social evolution – Menlo Park: Benjamin/Cummings. 1985.
- TRIVERS R. L. – The evolution of reciprocal altruism – Quaterly Review of Biology, **46**, 35–57. 1971.
- WILLIAMS G. C. – Adaptation and natural selection – Princeton University Press. 1966.
- WILSON E. O. – Le società degli insetti – Einaudi, 1976.
- WILSON E. O. – On human nature – Harvard University Press. 1978.
- WILSON E. O. – Sociobiology: the new synthesis – Harvard University Press. Trad. italiana: Sociobiologia: la nuova sintesi – Zanichelli, Bologna. 1979.
- WYNNE-EDWARDS V. C. – Animal dispersion in relation to social behaviour – Edinburgh: Oliver and Boyd. 1962.
- WYNNE-EDWARDS V. C. – Evolution through group selection – Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1986.
- ZAHAVI A. – Reliability in communication systems and the evolution of altruism. In: Evolutionary Ecology (a cura di B. Stonehouse e C. M. Perins). Pagg. 253–9. London: MacMillan. 1977.



Struttura schematica della retina dell'occhio umano, di tipo "inverso": un capolavoro d'ingegneria.

Il fitto intreccio di neuroni che si susseguono in vari strati strutturalmente ben definiti svolge una funzione importantissima: elaborare i segnali di interi gruppi di cellule sensorie contigue in modo da inviare ai centri nervosi solo dati "riassuntivi" (forma generale di una struttura dell'immagine, variazione di essa nel tempo, inclinazione di una linea, macchie di colore, ecc.). Ciò consente di ridurre le dimensioni del nervo ottico, che risulta costituito da un numero di fibre assai minore del numero di coni e bastoncelli (rispettivamente, circa 1 milione di fibre, 5 milioni di coni ed oltre 100 milioni di bastoncelli).

INDICE

PRESENTAZIONE	Pag. 1
Il problema della terminologia	5
GLI ORGANISMI VIVENTI ed i loro caratteri generali	7
La DEFINIZIONE di “VITA”	7
LA SPECIE	10
LA CELLULA	11
LA TRASMISSIONE EREDITARIA	12
La CARIOCINESI o MITOSI	14
La RIPRODUZIONE VEGETATIVA	14
La RIPRODUZIONE SESSUATA	16
GENOMA e SOMA	19
METAGENESI	20
L’EVOLUZIONE ORGANICA	21
CONCETTI DI BASE	22
Gruppi periferici isolati	24
Il gigantismo	28
TUTTO QUI ?	29
Il “ caso ”	30
Ordine e disordine	30
I “ salti quantici ”	31
Il “ linkage ”	33
ASPETTI PARTICOLARI	34
Le “ somazioni ”	35
L’“ epigenetica ”	36
Omologia, analogia e “convergenza”	37
Gli “ equilibri punteggiati ”	37
I geni regolatori	41
I vincoli strutturali	42
EVO-DEVO	43
I “ fossili viventi ”	44
La coevoluzione	44
La contingenza ed il “ bricolage ” evolutivo	45
Il preadattamento e l’“ exattamento ”	46
L’abate moravo Gregor Johann Mendel	49
IL POSTO DELL’UOMO NELL’EVOLUZIONE	51
PRO e CONTRO	54
Il “ disegno intelligente ” (ID)	59
Il vitalismo ed il riduzionismo	60
Il confine natura - sopranatura	61
La contrapposizione fede – scienza	63
L’anima	64
Il confine uomo-animale	65
Libero arbitrio e responsabilità	68
La cultura e l’evoluzione culturale	70
Sociobiologia e psicologia evolutiva	75
L’ origine della vita	77
L’ origine dell’uomo	78
CONCLUSIONI	80
BIBLIOGRAFIA	82