

L'EVOLUZIONE BIOLOGICA: DALLE IDEE DEL SETTECENTO ALLE ULTIME SCOPERTE

di **Ettore Ruberti**

RIASSUNTO

Dopo più di due secoli dalla nascita di Darwin e più di centocinquant'anni dalla pubblicazione della sua opera più importante, l'Origine delle specie, tenuta in debita considerazione l'importanza del concetto di evoluzione biologica come chiave esplicativa per tutta la Biologia, diviene fondamentale ripercorrere brevemente, per così dire, l'evoluzione dell'evoluzionismo. Il 12 febbraio del 1809 nasceva Charles Robert Darwin, mentre il 24 novembre 1859 veniva pubblicata la sua opera più importante l'Origine delle specie. Nonostante le conoscenze biologiche di duecento anni fa fossero inadeguate a fornire il sostrato adeguato per spiegare come effettivamente si ereditassero i caratteri dei genitori, le esplorazioni dei Paesi extraeuropei, con il corollario di importanti reperti biologici che affluivano in Europa, nonché l'accumulo di fatti e scoperte, coadiuvati dall'emergere di una nuova borghesia avida di conoscenza, rendevano sempre più problematica l'accettazione delle spiegazioni metafisiche dei fenomeni naturali. Ovviamente, il cambio di paradigma non è stato indolore: le gerarchie ecclesiastiche ed il potere politico non accettarono facilmente (e non lo fanno neanche adesso!) di vedere messo in discussione lo status quo. Mi torna in mente la frase che il Primo Ministro Britannico Disraeli disse, commentando l'uscita dell'Origine delle specie: "Il Signor Darwin discenderà dalle scimmie, ma io discendo dagli angeli". A prescindere da ciò, attualmente gli strepitosi successi della Biologia, uniti alla necessità, sempre più impellente, di salvaguardare la diversità biologica, impongono di conoscere, almeno per sommi capi, l'evoluzionismo ed il suo sviluppo poiché, come affermato da Dobzhansky: "Nulla ha senso in Biologia, se non alla luce dell'Evoluzione". Infatti, Con lo sviluppo della biologia moderna, e delle altre scienze ad essa collegate, si è profondamente modificato il concetto stesso del mondo naturale. Si è inserita una visione storica della natura. Di più, l'uomo è sceso da quel piedistallo su cui credeva di essere nel sistema naturale. Per questo Sigmund Freud ha definito l'Origine delle specie di Darwin, il "colpo biologico" alla presunzione umana. Il concetto di evoluzione ha anche contribuito allo sviluppo di una visione laica della realtà.

PAROLE CHIAVE *Evoluzione biologica; Mutazione genetica; Deriva genetica; Origini della vita*

ABSTRACT

After more than two centuries since the birth of Darwin and more than a hundred and fifty years since the publication of his most important work, The Origin of Species, taken into due consideration the importance of the concept of biological evolution as a key explanation for all of Biology, it becomes essential to retrace briefly, so to speak, the evolution of the evolutionism. On the 12th of February 1809, Charles Robert Darwin was born, while on the 24th of November 1859 his most important work was published, The Origin of Species. Despite the biological knowledge of two hundred years ago was inadequate to provide the appropriate substrate to explain how the characteristics of the parents are actually inherited, the exploration of non-European countries, with the corollary of important biological samples that arrived in Europe, as well as the accumulation of facts and discoveries, helped by the emergence of a new middle class hungry for knowledge, made

*the acceptance of metaphysical explanations of natural phenomena increasingly problematic. Obviously, the paradigm shift was not painless: the church hierarchy and the political power did not accept easily (and do not do it even now!) to see questioned the status quo. I remember the phrase that the British Prime Minister Disraeli, commenting on the release of *The Origin of Species*, said: "Mr. Darwin can descend from monkeys, but I descend from angels". Apart from that, currently, the sensational success of Biology combined with the need, increasingly urgent, to safeguard biological diversity, require at least a brief knowledge of the evolutionism and its development since, as stated by Dobzhansky: "Nothing in Biology makes sense except in the light of Evolution". In fact, with the development of modern Biology and other related sciences, the very concept of the natural world has profoundly changed. An historical view of nature has been accepted. Moreover, human beings fell from the pedestal on which they believed to stand in the natural system. For this reason Sigmund Freud called "*The Origin of Species*" by Darwin, the "biological blow" to the human presumption. The concept of evolution has also contributed to the development of a secular vision of reality.*

KEYWORDS *Biological evolution; Genetic mutation; Genetic drift; Origin of life*

1 - INTRODUZIONE

Se escludiamo le ipotesi filosofiche dei Greci dell'età classica, la concezione fissista ha dominato il pensiero fino all'avvento del Darwinismo. Con questo non vogliamo sostenere che Darwin sia stato il primo a parlare di evoluzione. Infatti, già nel 1700 uomini di scienza avevano posto in dubbio la fissità delle specie. Le Bovier de Fontenelle, de Maillet, Offroy de La Mettrie, Diderot ed altri avevano proposto una prospettiva storica della natura. Lamarck aveva elaborato una teoria evoluzionistica. Ma è solo con Darwin che le concezioni evoluzionistiche sono state oggetto di una trattazione coerente ed approfondita. Se volessimo fare un paragone sullo sviluppo di una teoria scientifica, la gravitazione universale, ci accorgeremmo che, mentre la teoria della relatività di Einstein ha ampliato la visione di Newton, le scoperte successive alle teorie di Darwin, pur arricchendole, sono rientrate nel loro quadro concettuale. Tutta la biologia moderna fonda le sue pur robuste radici sull'evoluzione.

2 – LE ORIGINI

Si può far risalire agli *Entretiens sur la pluralité des mondes* (*Conversazioni sulla pluralità dei mondi*), di Bernard Le Bovier de Fontenelle, pubblicato nel 1686, l'origine dell'idea della trasformazione delle specie.

Le Bovier immagina una sorta di ecologia comparata fra i vari pianeti, illustrando la diversità delle condizioni ambientali fra questi a causa delle rispettive distanze dal Sole e introducendo un concetto di relatività temporale. Concetto quest'ultimo destinato ad incontrare grandissima fortuna, e ad essere riproposto in forme diverse da Julien Offray de La Mettrie, Denis Diderot ed altri e, nel secolo successivo, da Jean-Baptiste de Lamarck, che l'applicherà agli organismi animali.

De Maillet sviluppa un'idea di ecologia comparata, dovuta allo spostamento nel tempo dell'orbita terrestre e, quindi, della distanza di quest'ultima dal Sole.

Nel 1745 viene pubblicata da Pierre-Louis Moreau de Maupertuis, geografo e fisico, *Vénus phisique* (*Venere fisica*), in cui l'Autore sviluppa concetti antropologici e considerazioni sulla riproduzione ed i caratteri ereditari degli animali. In seguito al grande successo arrisogli sviluppa ulteriormente le sue idee nell'*Essai de cosmologie* (*Trattato di cosmologia*) e nel *De universali naturae systemate*, pubblicato con il falso nome di Baumann nel 1751.

Nel 1748 escono due lavori di La Mettrie, intitolati, rispettivamente, *L'Homme machine* (*L'uomo macchina*) e *L'Homme plante* (*L'uomo pianta*), dove l'Autore si stacca dalle sue opere precedenti, dando sfogo ad un materialismo profondo quanto scoordinato. La Mettrie sviluppa il concetto, già espresso in Italia da Giambattista Vico, secondo cui la differenza fra l'uomo e gli altri animali è quantitativa e non qualitativa; scontrandosi con la concezione cristiana, difesa dal gesuita padre Bougéant che, pur ammettendo la comunicazione animale dichiara: "se gli animali differissero dagli uomini solo dal meno al più, ciò rovinerebbe i fondamenti della religione". Nel settecento si è sviluppato un vivace dibattito sui temi evoluzionistici, che ha coinvolto alcuni dei più brillanti uomini di scienza del tempo. Molti naturalisti si opposero fieramente alle idee evoluzionistiche o, al massimo, accettarono, grazie anche ad un'insufficiente conoscenza sulla riproduzione degli organismi, una sorta di evoluzionismo sviluppatosi su un archetipo, guidato quindi verso la perfezione da un principio interno, più o meno vago.

3 - LAMARCK

Ispirato dalle opere dell'abate Etienne de Condillac: *Traité des sensations* (*Trattato delle sensazioni* 1754), in cui viene discussa la questione delle attitudini mentali in una "statua" priva di idee innate, e *Traité des animaux* (*Trattato degli animali* 1755), in cui viene sviluppata la problematica relativa all'origine delle conoscenze negli animali, idee che deriverebbero dall'azione dei bisogni, Jean-Baptiste de Lamarck (1774-1829), estende o, per meglio dire, sviluppa il concetto proposto da de Condillac per le idee, anche ai bisogni che gli animali provano. Secondo Lamarck quindi i bisogni non si limitano a fungere da "spinta" al comportamento animale, ma sono anche i responsabili della trasformazione dei viventi. Le modifiche compaiono nell'organismo in se, sono cioè acquisite, e sono ereditabili. Lamarck rimane anche legato al concetto di "spinta interna" dell'organismo. In corollario di questo concetto, Lamarck ritiene che gli organismi e lo stesso fenomeno di evoluzione tendano verso la "perfezione". Il concetto di spinta interna e quello di tendenza alla perfezione (finalista) sfuggono dal campo dell'indagine scientifica, non essendo verificabili sperimentalmente. Possiamo quindi definirli di natura filosofica o, più propriamente, "metafisici".

La concezione Lamarckiana, presentata per la prima volta nel 1801, ma sviluppata compiutamente fra il 1815 ed il 1822, si scontra con i dogmi fissisti, che vengono difesi strenuamente anche da chi, come George Cuvier, fondatore dell'anatomia comparata, si rende conto che le faune si sono alternate nel tempo. Cuvier, nel tentativo di giustificare le scoperte paleontologiche del tempo, ipotizza la tesi del "catastrofismo biologico", secondo cui le faune sono cambiate nel tempo perché distrutte da catastrofi, ed ogni volta sostituite da altre.

Le teorie Lamarckiane sono state riproposte successivamente in varie forme. Se escludiamo il caso squallido di Lisenko, motivato e caratterizzato dal totalitarismo politico in cui è stato proposto, l'eredità dei caratteri acquisiti è sembrata ad alcuni poter rispondere meglio della selezione naturale al rapido adattamento degli organismi all'ambiente. Ultimo in ordine di tempo a riproporre questa concezione il Gruppo Osaka, formatosi recentemente, ed ancora operante. (Fig. 1)



Fig. 1 - Jean-Baptiste de Lamarck

4 - DARWIN

Precursore di Lamarck, George-Louis Leclerc, conte di Buffon (1707-1788), autore della monumentale opera *Storia naturale*, propose nel 1749 che la datazione della Terra era stata grandemente sottovalutata e che gli esseri viventi, nel corso del tempo, avevano subito notevoli trasformazioni. Purtroppo non fu in grado di giustificare adeguatamente queste ipotesi. Anche il nonno paterno di Darwin, Erasmus (1731-1802), fisiologo, medico e poeta, discusse nel suo poema *L'orto botanico* (1792) interessanti osservazioni sull'evoluzione e propose la sua teoria della trasformazione biologica. Nel 1844 fu pubblicato con Autore anonimo un libro dal titolo *The Vestiges of the Natural History of the Creation*, opera dell'editore scozzese Robert Chambers, in cui si sosteneva che la successione delle specie fossili fosse causata da un'incessante trasformazione della vita. Pur rispettosa del principio creazionistico, quest'opera suscitò enorme scalpore ed innumerevoli polemiche.

Nello scorso secolo doveva svilupparsi il pensiero o, per citare Ernst Mayr, il lungo ragionamento, del sommo naturalista, Charles Robert Darwin (1809-1882). Per chiunque abbia avuto la possibilità e la capacità di studiare le opere e le vicende di Darwin è ozioso chiedersi come sia potuto arrivare alle sue teorie: il suo metodo di lavoro, la sua capacità di osservazione e di sintesi, e la sua caparbia e capacità fanno di lui il maggior naturalista, non solo della sua epoca. Certamente l'ambiente culturale in cui è vissuto e le vicende che lo hanno visto protagonista, come il celeberrimo viaggio sul brigantino Beagle (1831-1836) hanno indubbiamente favorito il maturarsi della sua personalità, ma questo non sminuisce minimamente la sua opera e il suo valore.

Senza soffermarci sulla maturazione scientifica di Darwin e sugli eventi che hanno caratterizzato la sua formazione culturale, non possiamo esimerci dal ricordare l'influenza che esercitò su di lui la lettura de *L'introduzione allo studio della filosofia naturale* di John Herschel, che lo introdusse al rigore del pensiero scientifico. L'autore che doveva esercitare la maggiore influenza su Darwin fu il geologo Charles Lyell (1797-1875), con il primo dei tre volumi dei *Principi di geologia*, pubblicato nel 1830, in cui riprende e sviluppa la teoria dell'uniformitarianismo di James Hutton, pubblicata nel 1788. Secondo questa teoria, in seguito definita dell'attualismo, i processi geologici che hanno formato la Terra attuale sono gli stessi che possiamo osservare ancora adesso. Questa teoria si scontrava con il catastrofismo, proposto per giustificare in qualche modo le scoperte geologiche. La teoria del catastrofismo, pur superata, viene a volte riesumata per cercare una spiegazione semplice di eventi di cui non si conoscono le cause. Ultimo esempio in questo senso, la teoria del meteorite, proposta da Alvarez, per giustificare l'estinzione dei Dinosauri. L'estinzione del Triassico-Giurassico non è però stata l'unica, né la più disastrosa, ragion per cui si è elaborata una teoria secondo la quale il Sole ha una stella gemella, chiamata Nemesis, che quando giunge alla minima distanza dalla nostra stella, favorisce perturbazioni nella fascia più esterna del sistema solare, da cui provengono le comete o, secondo un'altra interpretazione, nella fascia degli asteroidi, situata tra Marte e Giove, dalla quale puntualmente uno se ne stacca per

colpire la Terra. Con grande clamore mediatico alcuni anni orsono è stato identificato addirittura il cratere da impatto, nel sito di Chicxulub, ubicato nella Penisola dello Yucatan, salvo scoprire recentemente che tale cratere è vecchio di 220 milioni di anni. Dopo questa digressione, tutt'altro che oziosa, torniamo a Darwin. L'evento che, più di ogni altro, contribuì alla nascita e allo sviluppo delle idee evoluzionistiche in Darwin fu il viaggio sul brigantino HMS Beagle. Infatti, nel corso del lungo viaggio, Darwin raccolse una massa tale di esemplari ed osservazioni, che gli consentirono di maturare il suo pensiero e di rivalutare criticamente le conoscenze acquisite in passato. Solo successivamente al viaggio, tuttavia, Darwin sviluppa le teorie evoluzionistiche. Negli anni successivi si dedica all'elaborazione delle sue teorie, pubblica varie opere che risulteranno altrettante pietre miliari per la storia naturale, segue con impegno il lavoro di allevatori e coltivatori nella selezione artificiale. Nell'ottobre del 1838 Darwin legge il *Saggio sul principio della popolazione*, pubblicato nel 1798 dall'economista Thomas Robert Malthus (1766-1834), in cui si sostiene che è sbagliato cercare di migliorare le condizioni di vita dei meno abbienti, ma, al contrario, imporre il controllo delle nascite, poiché la crescita della popolazione presenta un andamento esponenziale geometrico, mentre le risorse disponibili sono suscettibili di un incremento aritmetico. Pur sconvolto dalla crudezza di tale ragionamento, Darwin rimane colpito dal rigore matematico che lo sottende. Pur applicando al principio di Malthus dei fattori limitanti all'evoluzione, Darwin non né accetterà mai l'applicazione nel contesto sociale. Per ironia della sorte, lo sviluppo di idee e pratiche malthusiane, viene definito "darwinismo sociale", complice anche l'adozione, da parte di Darwin, del concetto, sviluppato da Herbert Spencer, di sopravvivenza del più adatto. In effetti, con questo concetto si voleva solamente intendere che gli individui di una specie che avessero ereditato variazioni positive avevano maggiore probabilità di lasciare discendenti, per conseguenza la loro frequenza sarebbe aumentata. Nonostante avesse ormai perfezionato le sue teorie, Darwin ritardò per anni la pubblicazione, fino a quando, nel giugno del 1858, Alfred Russel Wallace, un giovane naturalista che aveva lavorato per alcuni anni in Malesia, gli inviò un saggio in cui proponeva una teoria sul ruolo svolto dalla selezione naturale, analoga alla sua. Per evitare qualsiasi polemica sulla priorità della scoperta, Darwin e Wallace pubblicarono, il primo luglio del 1858, sulla rivista della Linnean Society, *On the Tendency of Species to Form Varieties; and on the Perpetuation of Varieties and Species by the Natural Means of Selection*. Nell'anno successivo, il 24 novembre, venne distribuita la prima edizione dell'*Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle of Life*, in ben 1250 copie, tiratura notevole per l'epoca, esaurita il giorno stesso. Purtroppo non abbiamo lo spazio per addentrarci nell'analisi dettagliata dell'*Origine*, contentiamoci di ricapitolare i concetti fondamentali sviluppati da Darwin, ossia quelle che sono le sue cinque teorie fondamentali:

Darwin considera *l'evoluzione come fatto oggettivo*, reale susseguirsi delle specie nel tempo, relegando definitivamente il fissismo nell'abisso dell'ignoranza.

Sostiene che la vita ha avuto un'unica origine, differenziandosi successivamente ed ininterrottamente originando continuamente nuove specie, quindi, *per discendenza comune*.

Spiega l'immensa varietà delle specie che si sono succedute e di quelle attualmente viventi (quella che oggi definiamo *Biodiversità*, concetto definito da Edward Wilson) con *la moltiplicazione delle specie*; in base a questa teoria le specie si suddividono in specie figlie per variazioni e per "gemmazione", producendo cioè per mezzo di popolazioni isolate geograficamente nuove specie (oggi sappiamo che l'isolamento geografico non è l'unica forma di speciazione).

Per Darwin il *motore dell'evoluzione è la selezione naturale* che agisce sulle variazioni che si verificano negli individui, con un processo lento e continuo, senza brusche variazioni improvvise. L'evoluzione è quindi un processo *graduale*.

Oltre queste teorie, che costituiscono il cuore del darwinismo, Darwin ha sviluppato alcune teorie, che potremmo definire "corollarie" alle precedenti: selezione sessuale, pangenesi, effetto dell'uso e del non uso, divergenza dei caratteri, ecc. Desidero soffermarmi brevemente sulla teoria della selezione naturale, visto che è una delle più frastuonate. Molti, infatti, ritengono che, poiché le mutazioni sono casuali, l'evoluzione sia la teoria del caso. Viceversa, le mutazioni, casuali, vengono continuamente "scelte" dalla selezione naturale cumulativa e non casuale. E' quindi corretto il concetto di sopravvivenza del più adatto. (Fig. 2, 3, 4, 5 e 6)



Fig. 2 - Charles Darwin in un ritratto ad acquerello di George Richmond sul finire degli anni 30 del XIX secolo



Fig. 3 - Il brigantino HMS-Beagle al largo delle Galapagos

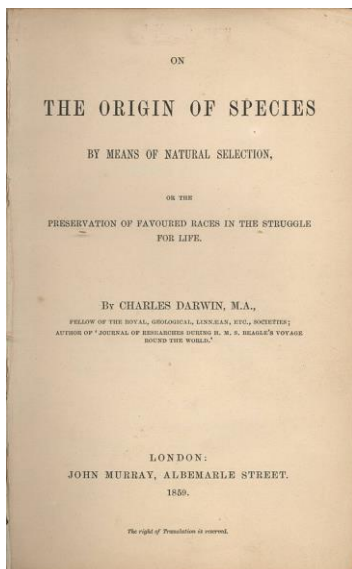


Fig. 4 - Il frontespizio della prima edizione dell'Origine delle specie



Fig. 5 - Thomas Robert Malthus

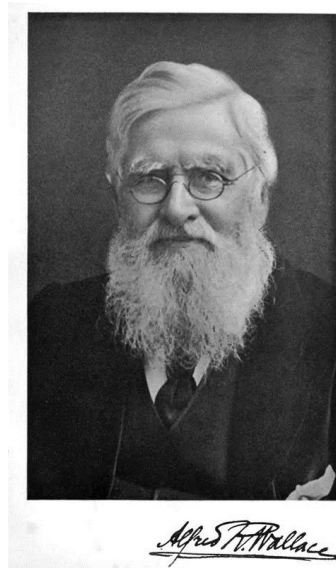


Fig. 6 - Alfred Russel Wallace

Nel 1866 il naturalista tedesco Ernst Haeckel (1834-1919), grande sostenitore di Darwin, formula la sua *teoria biogenetica fondamentale*, secondo cui l'ontogenesi (sviluppo dell'embrione) è una ricapitolazione della filogenesi; l'embrione cioè, nel corso del suo sviluppo, ripercorre le tappe evolutive che hanno caratterizzato i suoi predecessori. Questa teoria è stata successivamente ridimensionata.

Uno dei maggiori esponenti dell'evoluzionismo, fu il biologo tedesco August Weismann (1834-1914), fondatore del "neodarwinismo". Weismann difende la concezione di selezione naturale, confutando con forza la teoria dell'ereditarietà dei caratteri acquisiti. Elabora una teoria secondo cui l'ereditarietà si fonda sulla trasmissione di particelle discrete, teoria poi verificatasi esatta, come vedremo, con la scoperta del DNA ed il conseguente sviluppo del "dogma centrale" della

biologia moderna. Weismann sostiene che il vantaggio della riproduzione sessuale per l'evoluzione è la variazione genetica. Discute sui possibili vincoli all'opera della selezione naturale. Propone l'evoluzione a mosaico e la coesione del genotipo. Famoso il suo esperimento, spettacolare quanto controverso, di tagliare la coda a ventuno generazioni di topi, per confutare il lamarckismo.

5 – LA NASCITA DELLA GENETICA

Mentre la biologia evoluzionistica sconvolgeva il pensiero del tempo, sarebbe già stato possibile dare risposta a molti interrogativi sull'ereditarietà, grazie agli esperimenti effettuati nel 1868 da un monaco austriaco, Gregor Mendel (1822-1884). Questi concentrò i suoi studi sulla trasmissione ereditaria di singoli caratteri. Purtroppo i suoi studi rimasero sconosciuti fino al 1900, quando vennero riscoperti. Già nel 1700 Kohlreuter analizzò l'ereditarietà per mezzo di una lunga serie di ibridazioni, ma il suo lavoro peccò di mancanza di rigore matematico. Mendel, al contrario, applicò ai suoi esperimenti il massimo rigore matematico, ibridando fra loro delle piante di pisello e concentrandosi su singoli caratteri. Arrivò così a formulare le sue tre leggi fondamentali. Paradossalmente la scoperta delle leggi di Mendel fu interpretata all'inizio come una confutazione del darwinismo, poiché De Vries (uno dei riscopritori delle leggi di Mendel), in base alle suddette leggi, descrisse le mutazioni come un fenomeno drastico, sufficiente ad originare ogni volta una nuova specie, quindi opponendosi alla variazione continua di Darwin. (Fig. 7)



Fig. 7 - Gregor Mendel

6 – LA NUOVA SINTESI

Nella prima parte del ventesimo secolo si acuì la polemica fra genetisti da una parte e naturalisti (sistematici e paleontologi) dall'altra. I naturalisti, ignorando le scoperte fatte nel campo della genetica, continuarono ad opporsi al punto di vista devriessiano, come se questo rappresentasse ancora la concezione di base della genetica. I genetisti ignoravano completamente la ricca letteratura sulla speciazione e sulla variazione geografica, per cui nei lavori di Muller, Fisher e Haldane non si poteva trovare spiegazione alla moltiplicazione delle specie, alla comparsa di *taxa* superiori ed alla formazione di nuove strutture e funzioni negli organismi. A rendere ancora più distanti questi due gruppi di scienziati, gli studi che conducevano li portavano ad occuparsi in maniera diametralmente opposta dei viventi; infatti i naturalisti studiavano le

specie e le popolazioni, mentre i genetisti concentravano i loro interessi sulle mutazioni relative a singoli geni. Ciò nonostante, proprio l'aumento di conoscenze in queste discipline, stava per farle confluire nella seconda rivoluzione darwiniana: quella che si è convenuto chiamare *La nuova sintesi*, in omaggio ad un libro sull'argomento, pubblicato nel 1940, da J. Huxley con questo titolo. La nuova sintesi, che si è realizzata fra il 1937 ed il 1950, più che una rivoluzione è stata caratterizzata dalla riunificazione di campi di indagine in passato assurdamente separati. Il primo passo fu compiuto dai genetisti Fisher e Haldane, che, riesaminando criticamente le conoscenze genetiche del tempo, si accorsero che le mutazioni sostanziali (devriessiane potremmo dire) rappresentano l'eccezione piuttosto che quanto avviene generalmente in natura. I due genetisti si resero conto che si erano sottovalutate notevolmente la frequenza e l'utilità delle piccole mutazioni. Oggi sappiamo che le piccole mutazioni avvengono frequentemente, e su queste opera la selezione naturale. In effetti già Thomas Hunt Morgan e la sua scuola, Edward East ed Erwin Baur, si erano resi conto che la maggior parte delle mutazioni producevano nel fenotipo variazioni molto piccole; inoltre chiarirono la differenza fra fenotipo (insieme delle caratteristiche dell'individuo) e genotipo (il corredo genetico dell'individuo) e che sono gli interi genotipi ad essere selezionati e non i singoli geni. Come conseguenza di ciò, fu finalmente chiara l'importanza della ricombinazione genetica. Altrettanto chiaro il modo in cui agisce la selezione naturale. I tassonomisti approfondirono la loro conoscenze nel campo della genetica delle popolazioni e se ne servirono per elaborare un nuovo darwinismo che combinava la sistematica con la genetica delle popolazioni. Questi tassonomisti erano Ernst Mayr, Theodosius Dobzhansky, Julian Huxley, Sergei Cetverikov, E. B. Ford e Bernhard Rensch. Il paleontologo George Gaylord Simpson dimostrò che anche l'evoluzione superiore al livello di specie era perfettamente coerente con il darwinismo e con la moderna genetica. Sua è la distinzione fra micro, macro e megaevoluzione. La dimostrazione di Simpson fu fatta, indipendentemente anche da Rensch e, per le piante, da Stebbins. La nuova sintesi costituisce il trionfo definitivo della selezione naturale. Il promotore della divulgazione della nuova sintesi fu Dobzhansky, con la pubblicazione di *Genetics and the Origin of Species* nel 1937, cui seguirono i lavori di Huxley (*Evolution: the Modern Synthesis*), nel 1942, Mayr (*Systematics and the Origin of Species*), nello stesso anno, Simpson (*Tempo and Mode of Evolution*), 1944, Rensch (*Neuere Probleme der Abstammungslehre*), 1947 e Stebbins (*Variation and Evolution in Plants*), 1950. Questi autori sono spesso considerati gli unici artefici della nuova sintesi, ma non è del tutto corretto poiché, prima del 1937, erano apparse opere sull'argomento di Cetverikov, Sumner, Stresemann, Fisher, Haldane e Wright. (Fig. 8, 9, 10 e 11)



Fig. 8 - Thomas Hunt Morgan



Fig. 9 - Ernst Mayr



Fig. 10 - George Gaylord Simpson



Fig. 11 - Theodosius Dobzhansky

7 – IL CONCETTO DI SPECIE

A questo punto dobbiamo necessariamente soffermarci sul concetto di specie, in quanto è impossibile avere una chiara visione della storia della vita, senza appropriarci di questo fondamentale concetto. Quando, nel 1735, Carl von Linné (1707-1778) propose il suo sistema di classificazione, tuttora adottato, le specie erano considerate come fisse ed immutabili. Si ritenevano appartenenti alla stessa specie, organismi che condividevano le stesse caratteristiche morfologiche. Questa prima definizione di specie è stata successivamente affinata, per confluire nella definizione data dagli estensori della nuova sintesi. Per questi il criterio di distinzione è l'isolamento riproduttivo. In pratica appartengono alla stessa specie gli individui che condividono lo stesso patrimonio genetico e, quindi, sono isolati riproduttivamente. Il concetto di isolamento riproduttivo non sottende necessariamente la sterilità fra specie diverse, ma l'esistenza di meccanismi isolanti che rendono pressoché impossibile l'accoppiamento. Questa definizione appare già più soddisfacente della precedente, ma non del tutto. Il problema cruciale, ben messo in evidenza per i virus da Eigen e successivamente esteso da Dawkins a tutti i viventi, è che il concetto di specie è un artificio dei naturalisti. Se abbiamo a che fare con due organismi che rispondono alle definizioni più sopra esposte, lo studioso li ascriverà alla stessa specie, ma ciò non significa che effettivamente condividano interamente il loro patrimonio genetico. L'opera incessante della selezione naturale sulle mutazioni intraspecifiche e sulla variabilità presente nelle popolazioni, produrrà continuamente delle differenze che, per quanto impercettibili, differenzieranno maggiormente le diverse popolazioni che ascriviamo ad una stessa specie. Mentre queste variazioni saranno continuamente rimescolate fra i membri di una stessa popolazione, aumenteranno continuamente le differenze fra popolazioni isolate tra loro.

8 – LA SCOPERTA DEL DNA

Il quesito fondamentale: dove sono ubicati e, soprattutto, cosa sono i geni, rimane ancora insoluto.

Nel 1943 il premio Nobel per la fisica, Erwin Schrödinger, si dedica in modo inusuale al problema: applica i principi della fisica quantistica alla spiegazione della vita ed alla problematica della trasmissione dell'informazione genetica. Le lezioni che trattano l'argomento, tenute al Trinity College, vengono raccolte e pubblicate l'anno successivo, con il titolo *Che cos'è la vita? A questa domanda lo scienziato risponde: "Ci siamo spesso chiesti come mai questa insignificante parte di materia, il nucleo dell'uovo fecondato, possa contenere tutto un elaborato codice che riguarda tutto il futuro sviluppo dell'organismo"*. Una ben ordinata associazione di atomi, dotata di sufficiente stabilità per mantenere il proprio ordine in permanenza, sembra essere l'unica struttura materiale concepibile, che offre una varietà di possibili riordinamenti (isomerici) sufficientemente grandi da racchiudere un complicato sistema di "predeterminazioni" entro un volume spaziale piccolo. Infatti, non è necessario che il numero di atomi in una struttura di questo genere sia molto grande, per dar luogo ad un numero di possibili ordinamenti diversi praticamente "illimitato". Possiamo veramente affermare che la logica rigorosa applicata allo studio della natura ha avuto effetti strabilianti. Infatti, pochi anni dopo, nel 1953, James Dewey Watson e Francis Harry Compton Crick, insieme con Maurice Hugh, Frederick Wilkins e Rosalind Franklin, descrivono la struttura a doppia elica del DNA, il codice genetico, che funziona secondo quanto ricavato dalla logica da Schrödinger. Il DNA è formato da un doppio filamento di nucleotidi, costituiti da uno zucchero pentoso (a cinque atomi di carbonio), il desossiribosio, un radicale fosfato e da quattro basi azotate, adenina, timina, guanina e citosina. I due filamenti sono avvolti uno intorno all'altro, appunto come una doppia elica, e le basi, rigorosamente complementari: l'adenina con la timina e la guanina con la citosina, legate con ponti ad idrogeno. Quando si duplica il DNA, la doppia elica si svolge ed ogni filamento, utilizzando i nucleotidi presenti nel nucleo, ricostruisce la controparte complementare. La duplicazione del DNA è controllata da enzimi, le polimerasi. Le quattro basi del DNA formano le lettere del codice genetico, infatti, ogni amminoacido (l'elemento da cui sono formate le proteine) corrisponde ad una combinazione di tre basi (tripletta o codone).

A questo punto tutto sembra risolto e, sostituendo con il DNA le particelle discrete (geni) e con le proteine il soma, la teoria ereditaria di Weismann diventa il "dogma centrale" della biologia. Fig. 12)



Fig. 12 - Watson e Crick con un modello del DNA

9 – GLI EQUILIBRI PUNTEGGIATI

Il fenomeno evolutivo considerato come un susseguirsi ininterrotto di piccole mutazioni, “scelte” dalla selezione naturale (confluenza di caso e necessità, per usare le parole di Jacques Monod), non sembra a molti poter giustificare la formazione dei grandi gruppi. La disputa fra i darwinisti e quanti non accettano il gradualismo, sorta con la pubblicazione dell’*Origine*, non si è ancora risolta. E’ vero che la distinzione fra micro, macro e megaevoluzione, proposta da Simpson, ed in un certo senso corroborata dalla comprensione dei cambiamenti che possono avvenire nel DNA, poteva indicare la strada verso la soluzione del problema ma l’ipotesi che l’evoluzione potesse produrre cambiamenti radicali (cosa peraltro non necessariamente vera), le radiazioni adattative che si verificano dopo le crisi biologiche (come le estinzioni di massa), l’apparente ipertelia (sviluppo esagerato di un organo), il gigantismo, i vuoti nelle serie fossili, eccetera, sembrano a molti poter essere giustificate solamente da modalità evolutive diverse dal modello darwiniano. Inoltre si è a conoscenza di fenomeni, legati allo sviluppo, che implicano, apparentemente, una diversa interpretazione: l’eterocronia, scoperta da Haeckel (spostamento nella comparsa e/o nello sviluppo di un organo durante lo sviluppo dell’embrione, rispetto al normale sviluppo ontogenetico); la pedomorfosi, scoperta da Garstang (conservazione di caratteri giovanili nell’adulto; neotenia), scoperta da Kollman (ritardo o assenza dello sviluppo corporeo, accompagnato da normale sviluppo dei caratteri sessuali); progenesesi, secondo Giard, o pedogenesi, secondo De Beer (precoce sviluppo dei caratteri sessuali, rispetto al resto dell’organismo).

La disputa assume connotati sempre più radicali quando, nel 1950, il genetista R. Goldschmidt pubblica *The Material Basis of Evolution*, in cui sostiene che l’evoluzione procede essenzialmente per grandi salti, con la nascita di organismi mutanti radicali, completamente differenti dalla ascendenza. Questa teoria, definita da alcuni “del mostro speranzoso”, è stata proposta, indipendentemente, dal paleontologo O. Schindewolf (*Paläontologie, Entwicklungslehre und Genetik. Kritik und Synthese* 1936, *Grundfragen der Paläontologie* 1950). Nel 1972 vede la luce un lavoro destinato a dare grande notorietà ai suoi due Autori: *Punctuated Equilibria: an Alternative to Phyletic Gradualism*, opera di Stephen Jay Gould e Niles Eldredge. Secondo la teoria di Gould ed Eldredge, definita “degli equilibri punteggiati”, l’evoluzione non avviene per sviluppo filetico, ma per l’origine improvvisa di nuove specie, partendo da isolati periferici delle specie ascendenti. Cioè da popolazioni isolate alla periferia dell’area di distribuzione della specie ancestrale. Contrappone quindi un modello “saltazionista” al gradualismo filetico darwiniano; considera la documentazione fossile non lacunosa e la speciazione allopatrica la principale causa dell’evoluzione. Il concetto di speciazione allopatrica, sviluppato da Ernst Mayr negli anni sessanta, considera che le condizioni estreme nelle aree marginali e le dimensioni esigue delle popolazioni ivi presenti, favoriscono la rapida evoluzione di nuovi caratteri, accelerando il processo di speciazione in un numero ridotto di generazioni. Un corollario di questa ipotesi è che il rapido processo di speciazione difficilmente lascia testimonianze fossili. La teoria degli equilibri punteggiati porta, come diretta conseguenza, a modificare i concetti di specie e di speciazione, ritenendo causate da due fenomeni diversi l’evoluzione infraspecifica (microevoluzione) e l’evoluzione sovraspecifica (macro e megaevoluzione).

10 – IL CLADISMO

Con la nascita del darwinismo si è profondamente modificato il concetto stesso di specie. Oggi non è più possibile proporre una sistematica che non tenga conto dei concetti evolutivisti. Al contrario, ogni contributo deve necessariamente tener conto delle conoscenze provenienti dalla genetica, dalla paleontologia, dalla microbiologia, dalla biogeografia, dall'anatomia e dalla fisiologia comparata, dall'etologia, ecc. La sistematica è una delle discipline più vivaci ed attuali, non solo per la continua descrizione di nuove specie, ma soprattutto per le revisioni cui vengono sottoposte intere classi e per l'acceso dibattito sulle metodologie adottate e gli stessi fondamenti della materia.

La revisione classificatoria in senso evolutivista, frutto di un efficace integrazione fra le conoscenze acquisite in tassonomia, genetica, paleontologia e teorie evolutivistiche, è stata intrapresa verso la fine degli anni trenta da studiosi come Ernst Mayr e George Gaylord Simpson. Revisione che ha portato alla redazione, nel 1940, del volume, diretto da Julian Huxley, *The New Systematics*, alla cui stesura hanno partecipato studiosi di eccezionale levatura, come il genetista Hermann Joseph Muller, il genetista di popolazioni Sewall Wright ed il botanico Nicolai Ivanovic Vavilov. Questa è l'origine di quella che è stata definita "scuola evolutivista classica" e che vede Mayr e Simpson come suoi padri fondatori. Il suo definirsi come scuola e l'esplicita enunciazione dei principi su cui si fonda, ha creato i presupposti alla nascita di modelli classificatori alternativi. Modelli che implicano una diversa concezione dello sviluppo evolutivo.

Nel 1950 un entomologo tedesco, Willi Hennig, dà alle stampe il suo volume *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik*, in cui propone una nuova metodologia di classificazione. Questo libro riceve pochissima attenzione. La bomba deve scoppiare qualche anno più tardi, nel 1966, quando viene pubblicato, in lingua inglese, dall'University of Illinois Press, con il titolo *Phylogenetics Systematics*. È la nascita del cladismo. Hennig intende ridefinire il modo di lavorare dei sistematici. Riprende in considerazione gli alberi filogenetici, proposti da Haeckel più di cent'anni prima, non basandosi però su costruzioni fantasiose ma definendo procedure e criteri a cui il tassonomista deve attenersi nella ricostruzione filogenetica. Nonostante le sue argomentazioni presentino un certo rigore logico-matematico, le possibilità di tradurle in pratica si dimostrano fallaci. Altrettanto fallace, la sua idea che da ogni specie capostipite debbano originarsi due specie figlie, da cui si dipartono altrettante specie ad ogni evento di speciazione. Un importante contributo alla sistematica, dato da Hennig, è il concetto che la ricostruzione filogenetica deve appoggiarsi esclusivamente al riconoscimento delle sinapomorfie (comune possesso di caratteri plesiomorfi, cioè originari), e non alle simplesiomorfie (possesso di caratteri apomorfi, ossia derivati). Secondo i cladisti la ricostruzione dei gradi di parentela si riduce nella semplice traduzione in termini gerarchici dei rapporti di parentela che sono rappresentabili graficamente in un albero filogenetico. Quindi ogni livello classificatorio, dal phylum alla specie, deve avere necessariamente un taxon fratello, definito sister group da Hennig stesso e adelphotaxon da Peter Ax. Ovviamente ogni livello di *taxa* deve essere necessariamente monofiletico, infatti ognuno deve includere solo le forme derivate dal capostipite. Questo porta a rifiutare sia i *taxa* parafiletici (*taxa* che, pur comprendendo specie con antenati in comune, non le includono tutte) che polifiletici (ossia comprendenti specie originate da antenati diversi). Questa metodologia sistematica, oltre a considerare la speciazione alla stregua di un artificio matematico, non tiene conto di un aspetto fondamentale del problema: l'evoluzione non può ridursi alla cladogenesi (speciazione), perché hanno importanza fondamentale anche l'adattamento, il superamento dei problemi ecologici sperimentati dalle generazioni precedenti, l'occupazione di nuove nicchie ecologiche rese disponibili (radiazione adattativa). (Fig. 13)

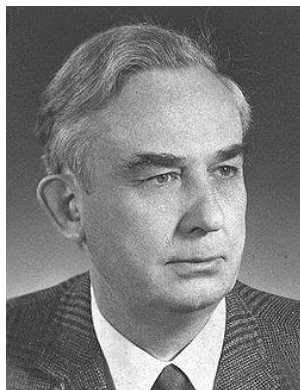


Fig. 13 - William Hennig

11 – LE NUOVE SCOPERTE E LE LORO IMPLICAZIONI

Alcuni specialisti, specialmente fra coloro che si occupano di microrganismi, non ritengono sufficienti le spiegazioni fornite dalla nuova sintesi per giustificare il rapido evolversi dei viventi in relazioni alle mutate condizioni dell'ambiente esterno. Costoro sottovalutano, a nostro parere, le scoperte avvenute negli ultimi anni nei campi della biochimica, della genetica e dell'embriologia.

E' noto da tempo che condizioni ambientali avverse possono condizionare lo sviluppo dell'embrione. Meno noti sono gli effetti che le stesse condizioni possono avere sul DNA. Il DNA modifica infatti la propria struttura secondaria in funzione di variazioni ambientali come: temperatura, forza ionica, concentrazione idrogenionica e qualità degli ioni presenti, modificazioni covalenti (come ad esempio metilazione delle basi azotate), interazione con proteine, tensioni dovute alle torsioni, presenza di radioattività, ecc. Il concetto di configurazioni alternative del codice genetico è alla base del comportamento allosterico delle proteine (come brillantemente descritto da Di Mauro). La comprensione della capacità delle proteine di modificare in maniera programmata la loro conformazione tridimensionale in funzione dell'interazione con molecole specifiche connesse con il loro funzionamento ha consentito di chiarire i meccanismi che regolano il funzionamento degli enzimi e di molte proteine strutturali. La capacità del DNA di modificare la propria struttura vuol dire arricchire, in un certo qual modo, aggiungere "informazione all'informazione genetica" (mi si consenta il gioco di parole). In questa alternanza di strutture si inserisce la dinamica delle interazioni proteiche e delle modificazioni indotte dal superavvolgimento della doppia elica. Un altro fenomeno basilare è il comportamento degli attivatori. Questi fenomeni, già da soli, rendono conto di apparenti anomalie nella trasmissione del genoma. Un argomento addotto dai neolamarckiani è l'apparente violazione del "dogma centrale" da parte delle proteine di sintesi. Infatti, trapiantando in un batterio una sequenza nucleotidica, che specifica la formazione di una data proteina, spesso quest'ultima non assume la normale conformazione tridimensionale, restando "a spaghetti". E' stato proposto che la conformazione tridimensionale è specificata da un'altra sequenza, ma è probabile che giochino un ruolo non secondario le modifiche indotte dalla conformazione del DNA (a prescindere cioè dalla sequenza nucleotidica) e le interazioni con l'ambiente cellulare.

Un fenomeno, chiarito da Yuichiro Hiraizumi fin dal 1956, che potrebbe determinare apparenti "anomalie" è l'apparente violazione delle leggi ereditarie da parte di alcuni geni. Questi, nella riproduzione sessuale, riescono ad "ingannare" il sistema, garantendosi la sopravvivenza anche se sono recessivi. In generale questi geni risultano dannosi per l'organismo, ma in alcuni casi, potrebbero determinare delle variazioni utili.

Un concetto, chiarito da Motoo Kimura, perfettamente compatibile con il modello darwiniano della selezione naturale, è che la maggior parte delle mutazioni e la variabilità intraspecifica sono

provocati dalla deriva casuale di geni mutanti che sono equivalenti nei confronti della selezione. Molte mutazioni alternative sono sempre presenti in ogni popolazione, diventano predominanti quando cambiano le condizioni ambientali diventando a loro più favorevoli. Probabilmente è questa la ragione della conservazione, da parte della selezione, delle differenze intraspecifiche. Gli organismi di una stessa specie, e spesso di una stessa popolazione differiscono per numerosi caratteri, come la composizione di alcune proteine; queste differenze dovrebbero contribuire a favorire la sopravvivenza della specie in caso di crisi.

Del resto la funzione della riproduzione sessuale, così dispendiosa nell'economia dell'individuo, è proprio il favorire il rimescolamento del patrimonio genetico e la comparsa di variazioni.

Il concetto di deriva genetica in effetti era già stato elaborato da Sewall Wright. Merito di Kimura averlo sviluppato matematicamente. (Fig. 14 e 15)



MOTOO KIMURA

Fig 14 - Motoo Kimura



Fig. 15 - Sewall Wright

Di fondamentale importanza è la duttilità e la dinamicità del cromosoma della cellula eucariota. Infatti i cromosomi svolgono, attraverso la loro plasticità, un ruolo non secondario nell'evoluzione, contribuendo a rafforzare la variabilità genetica.

Dalla fine degli anni novanta è stata sviluppata la cosiddetta teoria dell'evo-devo, ossia si è riconosciuta l'importanza dello sviluppo embrionale nel processo evolutivo e si è dimostrato che gli effetti delle mutazioni sono maggiori se queste si realizzano durante lo sviluppo embrionale.

12 – EVOLUZIONE BIOLOGICA ED EVOLUZIONE CHIMICA

Affrontiamo ora uno degli argomenti più delicati e controversi, eppure affascinante: l'origine della vita dalla materia inorganica e la formazione della cellula.

La caratteristica basilare che deve possedere qualsiasi molecola che può essere candidata alla formazione della vita è la capacità di replicarsi. La molecola del DNA è troppo grossa, complessa e delicata, per poter essere candidata a questo ruolo. Del resto il DNA per replicarsi ha bisogno di un ambiente adatto e di una serie di "partner" (come le polimerasi).

Le ipotesi sull'origine della vita sulla Terra, in presenza di un'atmosfera riducente, risalgono agli anni trenta, e sono dovute a Alexander I. Oparin e J. B. S. Haldane. (Fig. 16 e 17)



Fig. 16 - Alexander J. Oparin



Fig. 17 - J.B.S. Haldane

Altri scienziati, Richter ed Harrenius, avevano proposto che la vita fosse stata trasportata sulla Terra da meteoriti. Molecole biologiche sono state trovate in meteoriti, ma quest'ipotesi, oltre a spostare il problema dell'origine su un altro pianeta, appare difficilmente difendibile per l'estrema improbabilità che un meteorite cada al momento giusto, nel posto giusto. E' possibile che le prime molecole capaci di duplicarsi abbiano potuto beneficiare del substrato formato da rocce di origine vulcanica, che sono caratterizzate dal possedere un debole campo magnetico che ha facilitato l'instaurarsi della loro configurazione (ipotesi questa attualmente oggetto di sperimentazione da parte dell'Autore di questa monografia). Nel 1953 Stanley L. Miller, laureando all'University of Chicago, nel laboratorio di H. C. Hurey, poneva le basi della ricerca sperimentale tesa a far luce sulle condizioni che hanno determinato la comparsa della vita sulla Terra. Utilizzando un semplice apparato, da lui stesso ideato, e le molecole che potevano trovarsi sul pianeta in epoca prebiotica (metano, ammoniaca, acqua ed idrogeno) e sottoponendo le stesse a scariche elettriche continue, ottenne degli amminoacidi. Nel 1961, Juan Orò, a quel tempo all'University di Houston, nel tentativo di semplificare l'esperimento di Miller, ottenne la formazione, insieme con altre molecole, di adenina. Negli anni settanta, Ponnamperuma, dell'Istituto di Esobiologia della NASA, riuscì ad ottenere, con opportuni esperimenti, gli altri costituenti degli acidi nucleici. Secondo molti ricercatori, la prima molecola in grado di autoreplicarsi potrebbe essere stata l'RNA, il secondo acido nucleico, che ha la funzione di "tradurre" il messaggio genetico per sintetizzare le proteine. Anche riconoscendo l'altissima probabilità della formazione dell'RNA prima del DNA, rimane la domanda fondamentale di come spiegare la replicazione di un acido nucleico in assenza di proteine. Una possibile spiegazione, dimostrata sperimentalmente da James P. Ferris del Rensselaer Polytechnic Institute, è che un'argilla comune, la montmorillonite, catalizza la sintesi degli oligonucleotidi dell'RNA. Alcuni studiosi hanno iniziato a cercare sistemi genetici alternativi. Eschenmoser, ad esempio, ha ottenuto una struttura alternativa di ribosio, il piranosil-RNA, che si distingue dallo zucchero dell'RNA per la presenza di un atomo di carbonio in più. Questo riduce le possibili variazioni nella molecola. Peter E. Nielsen, dell'Università di Copenaghen, ha progettato al computer una molecola polimerica caratterizzata da uno scheletro proteico e da due catene laterali formate dalle basi azotate degli acidi nucleici. Questa molecola, una sorta di RNA proteico, è in grado di combinarsi stabilmente con un filamento complementare. Questo significa che anche un codice proteico può fungere da stampo per la costruzione del suo filamento complementare, esattamente come accade con gli acidi nucleici. Sia che la formazione dell'RNA sia avvenuta in maniera spontanea, sia che abbia sostituito un sistema replicante più semplice, è probabile che sia stata la reazione che ha permesso il successivo sviluppo della vita. Una scoperta fondamentale, effettuata da Thomas R. Cech, è che l'RNA è in grado di comportarsi come un enzima, essendo in grado di

catalizzare tagli e saldature nella propria molecola. Un ulteriore passo avanti è la dimostrazione, in laboratorio, della selezione naturale delle molecole prebiotiche. Questo permette di capire in che modo gli antichi geni a RNA interagissero con le molecole proteiche e come si sia potuto evolvere il codice genetico. Inoltre pare ormai accertato che la composizione dell'atmosfera primordiale non fosse riducente e che le prime macromolecole si siano sviluppate in pozze calde, probabilmente originate dalla presenza di magmi. Questo avvalorerebbe l'ipotesi della presenza di un debole campo magnetico che potrebbe aver favorito fenomeni di coerenza molecolare.

Mentre proseguono le ricerche su questo argomento, si moltiplicano gli studi tendenti a capire come si sia originata la cellula. Attualmente sappiamo che gli organismi più semplici sono Batteri. Escludiamo i Virus che, pur formati solo da un acido nucleico e da un rivestimento proteico, non sono in grado di autoreplicarsi e quindi sfruttano l'apparato cellulare dell'organismo ospite. La maggior parte dei Batteri è formata da una cellula estremamente semplice, senza una membrana che divide il nucleo dal resto della cellula. Questa struttura, in linea generale, è condivisa dalle Alghe azzurre, classificate con i Batteri nel raggruppamento dei procarioti (appunto senza il nucleo cellulare). Fino a non molto tempo addietro gli altri organismi, Protisti, Piante, Animali e Funghi, eucarioti (possessori di un vero nucleo) erano considerati l'altra linea di discendenza dei viventi. Studiando gli estremofili, organismi apparentemente simili ai batteri che vivono in ambienti inadatti alla sopravvivenza degli altri esseri viventi (luoghi troppo caldi o troppo freddi, acidi o basici, salati, ecc.), ci siamo resi conto di avere a che fare con un terzo raggruppamento di organismi, denominati Archibatteri, con caratteristiche intermedie ai primi due. Si è potuti arrivare a questa strabiliante scoperta grazie al confronto, effettuato nel 1977 da Carl R. Woese e dai suoi collaboratori dell'Università dell'Illinois, dell'RNA ribosomiale di molti organismi diversi. Questa scoperta è stata confermata nel 1996 da Craig Hennig, dell'Istituto per la Ricerca sul Genoma, decodificando il DNA di *Methanococcus jannaschii*, composto da 1638 geni; un Archibatterio raccolto nel 1982 da Holger Jannasch in una sorgente sulfurea nel corso di una spedizione, cui hanno contribuito i ricercatori di tre diversi Istituti di Ricerca. Poiché gli Archibatteri e molte specie di Batteri sono adattate a vivere in condizioni estreme, per lo più in ambiente riducente (assenza di ossigeno), si ipotizza che questi organismi siano fra i più antichi e che si siano separati molto presto da un antenato comune. Gli eucarioti si sarebbero separati successivamente dagli Archibatteri. La documentazione fossile indica che questa separazione è avvenuta intorno ad un miliardo e quattrocento milioni di anni fa, almeno a quel tempo risalgono i fossili più antichi di organismi planctonici unicellulari eucarioti. Le cellule degli eucarioti possiedono molti tipi di organelli specializzati, come i cloroplasti ed i mitocondri. Le ricerche stanno portando alla conferma dell'ipotesi di Lynn Margulis secondo cui questi organelli si sono sviluppati da organismi indipendenti, entrati in simbiosi nella cellula. E' già noto da anni che cellule isolate di alcuni animali più semplici, come i poriferi (spugne) e i polipi (idra), possono aggregarsi e riformare un animale completo. E' possibile che questo ci dia un'idea di come si sono aggregate singole cellule per dare inizio agli organismi pluricellulari. (Fig. 18, 19 e 20)

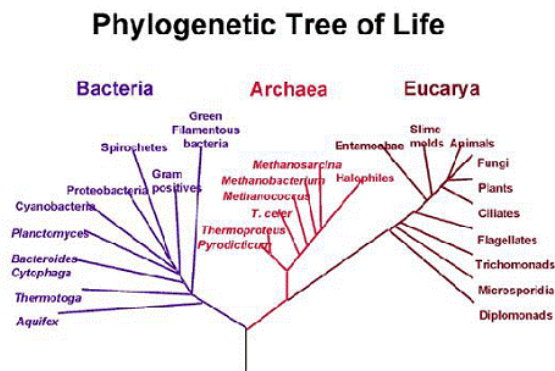


Fig. 18 - Albero filogenetico dei viventi basato sulle sequenze ribosomiali dell'unità 16s di RNA (Carl Woese, 1990)



Fig. 19 - Sorgente sulfurea dove è stato scoperto *Methanococcus jannaschii*

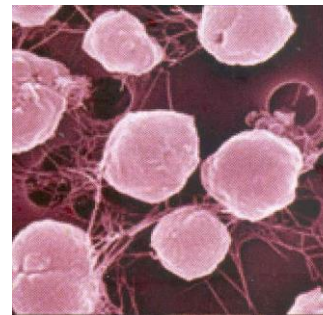


Fig. 20 - *Methanococcus jannaschii*

13 – VERSO LA COMPrensIONE DEI MECCANISMI CHE REGOLANO LO SVILUPPO

Non possiamo non accennare ad un argomento fondamentale: lo sviluppo, dall'embrione all'organismo adulto. Per molto tempo è risultato arduo cercare di rispondere al quesito di come si formi un organismo complesso, spesso formato da centinaia di tipi cellulari diversi, per di più riuniti in organi, afferenti ad apparati a loro volta interagenti fra loro. Solo recentemente si è cominciato a poter abbozzare una risposta a questa complessa domanda. Ricapitoliamo brevemente ciò che avviene dopo la fecondazione dell'ovulo femminile da parte dello spermatozoo. La spiegazione di come questo avvenga e dei meccanismi che impediscono l'ingresso di più spermatozoi nell'ovulo è stata data solo recentemente. Comincia la divisione cellulare, in breve tempo si formano, per divisione successive, circa quattromila cellule. A questo stadio l'embrione, chiamato blastula, ha la forma di una sfera cava. Le cellule attorno alla zona mediana, si differenziano a formare il mesoderma, grazie a fattori di crescita liberati da grosse cellule presenti nel tuorlo, presenti nella parte inferiore dell'embrione. Nella fase successiva, la gastrula, si formano tre strati di cellule: il mesoderma, che darà origine alla maggior parte delle strutture corporee; l'endoderma da cui si originerà lo strato epiteliale del tubo digerente, il fegato ed il pancreas, i polmoni, ed altri organi; l'ectoderma che porterà alla formazione della cute e del sistema nervoso.

L'ectoderma si trasforma nel sistema nervoso a causa di segnali chimici provenienti dal sottostante mesoderma. Segnali che inducono parte dell'ectoderma ad ispessirsi per formare la piastra neurale (per questo motivo l'embrione a questo stadio di sviluppo viene definito neurula). I bordi della piastra neurale si piegano, l'uno verso l'altro, mentre la parte mediana si insinua nel corpo dell'embrione originando il tubo neurale che costituirà la base per la formazione dell'encefalo e del midollo spinale. Nel 1918 Ross G. Harrison era già riuscito a dimostrare che le cellule dell'embrione stabiliscono le strutture che formeranno già dopo la gastrulazione. Gli studi

sul controllo della formazione del piano corporeo continuarono, su tutti gli organismi, fino al 1948, quando furono sostituiti dalla ricerca genetica. Risale a quell'anno l'analisi genetica sulle mutazioni omeotiche, ossia che provocano la crescita di un organo localizzato normalmente in un'altra zona dell'organismo, effettuata sulla *Drosophila melanogaster* da Edward B. Lewis del California Institute of Technology. Agli inizi degli anni ottanta, David S. Hogness e Welcome Bender della Stanford University, riuscirono ad isolare i primi geni omeotici. Seguiti ben presto da Walter J. Gehring e Richard L. Garber del Biozentrum dell'Università di Basilea e da Matthew P. Kaufmann dell'Indiana University. Nel 1983 Gehring, insieme al suo collaboratore William J. McGinnis, scoprì che le sequenze dei geni omeotici presenti in un sito genetico venivano conservate anche in un altro sito deputato allo sviluppo. In seguito McGinnis ha dimostrato che queste sequenze si trovano in diversi invertebrati. Le cellule embrionali sono cioè collegate fra loro. In seguito Eddy M. De Robertis, Guillermo Oliver e Christopher V. E. Wright estesero questa informazione anche agli embrioni dei vertebrati. Più recentemente, Robb Krumlauf del Medical Research Council di Londra e Denis Duboule del Laboratorio europeo di biologia molecolare, lavorando sugli embrioni di topo, fecero contemporaneamente ed indipendentemente fra loro, una fondamentale scoperta. Partendo da una precedente scoperta, di altri ricercatori, che i geni homeobox (omeotici) si dispongono in complessi su un cromosoma, secondo un preciso ordine, si accorsero inaspettatamente che i geni dotati di sequenza homeobox si dispongono nella sede nella quale si esprimono. Gli homeobox situati all'estremità sinistra del complesso si esprimono nelle parti posteriori del corpo, mentre i geni homeobox localizzati nei pressi dell'estremità destra, si esprimono nella testa. Lewis aveva osservato lo stesso fenomeno nella *Drosophila* molto tempo prima. I geni homeobox sembrano presenti in tutto il regno animale, nella stessa tipologia e divisi in quattro domini che determinano la formazione antero-posteriore del corpo. Determinando così l'ubicazione dei campi di cellule che origineranno organi ed apparati. (Fig. 21)

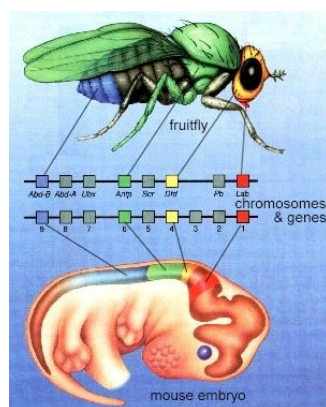


Fig. 21 - Ubicazione dei geni homeobox in *Drosophila* ed in Topo

Riferimenti bibliografici

Allègre J. e Schneider S. H.

1994 *L'evoluzione della Terra* Le Scienze, 316: pp. 44-52

Alvarez W.

1998 *T.REX e il cratere dell'apocalisse* Milano Mondadori (ed. or. 1997)

Ayala F. J.

1979 *I meccanismi dell'evoluzione* (Da *Storia naturale ed evoluzione*, ed. Le Scienze)

Brouwer A.

1986 *Paleontologia generale* Milano. Mondadori (ed. or. 1965)

Brown D. D.

1973 *L'isolamento del gene* Le Scienze, 64: pp. 13-21

Capecchi M. R.

1994 *Sostituzione mirata di geni* Le Scienze, 309: pp. 42-50

Carroll S. B.

2008 *Al di là di ogni ragionevole dubbio* Torino. Codice

Cech T. R.

1987 *L'RNA come enzima* Le Scienze, 221: pp. 32-41

Chiarelli B.

1976 *Le variazioni cromosomiche nell'evoluzione dei primati* Le Scienze, 95: pp. 74-85

Clarke B.

1975 *Le cause della diversità biologica* Le Scienze, 88: pp. 44-55

Crow J. F.

1979 *Geni che violano le leggi di Mendel* Le Scienze, 128: pp. 98-111

De Rosa M. e Gambacorta A.

1975 *Quale è la temperatura massima per la vita sul nostro pianeta?* Le Scienze, 80: pp. 74-81

Darwin C. R.

- 1967 *L'origine delle specie* Torino. Boringhieri (ed. or. 1872, 6° ed. - 1° del 1859)

- 1970 *L'origine dell'uomo* Torino. Boringhieri (ed. or. 1872)

Dawkins R.

- 1986 *Il fenotipo esteso* Bologna. Zanichelli (ed. or. 1982)

- 1988 *L'orologio cieco* Milano. Rizzoli (ed. or. 1986)

- 1994 *Il gene egoista* Milano. Mondadori (ed. or. 1976)

- 1995 *Il fiume della vita* Milano. Sansoni (ed. or. 1995)

- 2001 *L'arcobaleno della vita* Milano. Mondadori (ed. or. 1998)

- 1997 *Alla conquista del monte improbabile* Milano. Mondadori (ed. or. 1996)

Dennett D. C.

1997 *L'idea pericolosa di Darwin* Torino. Bollati Boringhieri (ed. or. 1995)

De Duve C.

2008 *Alle origini della vita* Milano. Longanesi (ed. or. 2007)

De Robertis E. M., Oliver G. e Wright C. V. E.

1990 *Geni homeobox e sviluppo embrionale* Le Scienze, 265: pp. 22-29

Desmond A. e Moore J.

1992 *Darwin* Torino. Bollati Boringhieri (ed. or. 1991)

Di Mauro E.

1986 *Informazione conformazionale nel materiale genetico* Le Scienze, 210: pp. 66-73

Dickerson R. E.

- 1972 *Struttura e storia di un'antica proteina* Le Scienze, 47: pp. 46-59

- 1980 *Il citocromo c e l'evoluzione del metabolismo energetico* Le Scienze, 141: pp. 85-98

Doolittle R. F. e Bork P.

1993 *La modularità delle proteine nell'evoluzione* Le Scienze, 304: pp. 58-64

Dyson F. J.

1987 *Origini della vita* Torino. Bollati Boringhieri (ed. or. 1985)

Eigen M., Gardiner W., Schuster P. e Winkler-Oswatitsch

1981 *L'origine dell'informazione genetica* Le Scienze, 154: pp. 18-34

Eigen M.

- 1992 *Gradini verso la vita* Milano. Adelphi (ed. or. 1987)

- 1993 *La quasispecie virale* Le Scienze, 301: pp. 26-33

Eldredge

- 1999 *Ripensare Darwin* Torino. Einaudi (ed. or. 1995)

- 2002 *Le trame dell'evoluzione* Milano. Cortina (ed. or: 1999)

Erwin D. E.

1996 *La madre di tutte le estinzioni* Le Scienze, 337: pp. 82-88

Fredrickson J. K. e Onstott T. C.

1997 *Microrganismi nelle profondità della Terra* Le Scienze, 341: pp. 52-59

Fry I.

2002 *L'origine della vita sulla Terra* Milano Garzanti (ed. or. 2000)

Gee H.

2006 *Tempo profondo. Antenati, fossili, pietre* Torino Einaudi

Gould S. J.

- 1994 *L'evoluzione della vita sulla Terra* Le Scienze, 316: pp. 64-7

- 1995 *La vita meravigliosa* Milano Feltrinelli (ed. or. 1989)

- 2003 *La struttura della teoria dell'evoluzione* Torino Codice (ed. or. 2002)

Gieger A.

1975 *L'idra: un modello per lo sviluppo delle forme biologiche* Le Scienze, 80: pp. 20-31

Grivell L. A.

1983 *Il DNA mitocondriale* Le Scienze, 177: pp. 102-114

Glover D. M., Gonzales C. e Raff J. W.

1993 *Il centrosoma* Le Scienze, 300: pp. 38-44

Holliday R.

1989 *Un tipo diverso di trasmissione ereditaria* Le Scienze, 252: pp. 32-40

Horgan J.

1991 *Ipotesi sull'origine della vita* Le Scienze, 272: pp.

Joyce G. F.

1993 *Evoluzione molecolare guidata* Le Scienze, 294: pp. 28-37

Kauffman S. A.

1991 *Anticaos ed evoluzione biologica* Le Scienze, 278: pp. 82-91

Kimura M.

1980 *La teoria della neutralità nell'evoluzione molecolare* Le Scienze, 137: pp. 34-43

Klein J., Takahata N. e Ayala F. J.

1994 *Polimorfismo MHC e origine dell'uomo* Le Scienze, 306: pp. 44-49

Lane N.

2012 *Le invenzioni della vita. Le dieci grandi tappe dell'evoluzione* Milano. Il Saggiatore (ed. or. 2009)

Levinton J. S.

1993 *Il big bang dell'evoluzione animale* Le Scienze, 293: pp. 48-56

Madigan M. T. e Marris B. L.

1997 *Gli estremofili* Le Scienze, 346: pp. 78-85

Margulis L.

1971 *Simbiosi ed evoluzione* Le Scienze, 39: pp. 55-64

Mattevi A., Rizzi M. e Bolognesi M.

1997 *Biologia strutturale degli enzimi* Le Scienze, 341: pp. 44-51

May R. M.

1992 *Quante sono le specie che vivono sulla Terra?* Le Scienze, 292: pp. 16-23

Mayr E.

- 1970 *L'evoluzione delle specie animali* Torino. Einaudi (ed. or. 1963)

- 1983 *Evoluzione e varietà dei viventi* Torino. Einaudi (ed. or. 1977)

- 1994 *Un lungo ragionamento* Torino. Boringhieri (ed. or. 1991)

- 2005 *L'unicità della biologia. Sull'autonomia di una disciplina scientifica* Torino. Cortina

- 2011 *Storia del pensiero biologico* Torino. Bollati-Boringhieri (ed. or. 1997)

McGinnis W. e Kuziora M.

1994 *Le molecole che determinano la forma corporea* Le Scienze, 308: pp. 40-48

McKnight S. L.

1991 *Chiusure lampo molecolari per la regolazione dei geni* Le Scienze, 274: pp. 30-38

McIntosh J. R. e McDonald K.

1989 *Il fuso mitotico* Le Scienze, 256: pp. 14-23

Minelli A.

- 1985 *Il Systema naturae* Le Scienze, 206: pp. 22-33

- 2007 *Forme del divenire. Evo-devo: la biologia evuzionistica dello sviluppo* Torino. Einaudi

Monod J.

1971 *Il caso e la necessità* Milano. Mondadori (ed. or. 1970)

Montalenti G.

1984 *Charles Darwin 1809 - 1882* Roma. Editori Riuniti

Morel V.

1997 *Microbiology's Scarred Revolutionary Science*, 276: pp. 699-702

Morris D.

1976 *La scimmia nuda* Milano. Bompiani (ed. or. 1968)

Moyzis R. K.

1991 *Il telomero umano* Le Scienze, 280: pp. 40-51

Nüsslein-Volhard C.

1996 *Gradienti che organizzano lo sviluppo dell'embrione* Le Scienze, 338: pp. 60-67

Omodeo P.

1996 *Le radici dell'evoluzionismo ottocentesco* Le Scienze, 336: pp. 72-78

Oparin A.

I. 1978 *L'origine della vita* Boringhieri (ed. or. 1957, 3° ed. - 1° del 1924)

Orgel L. E.

1994 *L'origine della vita sulla Terra* Le Scienze, 316: pp. 54-62

Pääbo S.

1994 *Antichi DNA* Le Scienze, 305: pp. 64-70

Pace N. R.

1997 *A Molecular View of Microbial Diversity and the Biosphere* Science, 276: pp 734- 740

Pinna G.

1995 *La natura paleontologica dell'evoluzione* Torino. Einaudi

Polito L.C. e Furia M.

1980 *Struttura e funzione del cromosoma eucariota* Le Scienze, 148: pp. 130-141

Raup D. M.

1994 *L'estinzione* Torino. Einaudi (ed. or. 1991)

Rennie J.

1993 *Nuovi imprevisti sviluppi per il DNA* Le Scienze, 297: pp. 78-87

Rizzotti M.

1998 *Prime tappe dell'evoluzione cellulare* Padova Decibel

Rollo F.

1996 *Microbi dalla preistoria: realtà o fantasia?* Le Scienze, 340: pp. 56-63

Ruberti E.

- 1997 *L'evoluzione biologica: storia e sviluppi recenti* Energia Ambiente e Innovazione, 6/1997 pp. 66-77

- 2005 *The origin of life from inorganic matter and the cell formation: a new hypothesis on the role taken by a weak electromagnetic field* Ferrara. 1° Congresso dei Biologi Evoluzionisti Italiani

Russell D. A.

1982 *L'estinzione in massa dei dinosauri* Le Scienze, 163: pp. 24-31

Schrödinger E.

1995 *Che cos'è la vita?* Milano. Adelphi (ed. or. 1944)

Schopf J. W.

2003 *La culla della vita* Milano Adelphi (ed. or. 1999)

Siever R.

1976 *La Terra* Le Scienze, 91: pp. 67-73

Smith J. M. e Szathmàry

2001 *Le origini della vita* Torino Einaudi (ed. or. 1999)

Simpson G. G.

1944 *Tempo and Mode in Evolution* New York. Columbia University Press

Stanley S. M.

1984 *Estinzioni in massa negli oceani* Le Scienze, 192: pp. 30-39

Sterelny K.

2004 *La sopravvivenza del più adatto* Milano Cortina (ed. or. 2001)

Vidal G.

1984 *Le prime cellule eucarioti* Le Scienze, 188: pp. 94-105

Woese C. R.

- 1981 *Gli archibatteri* Le Scienze, 156: pp. 52-66

- 1990 *Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archea, Bacteria, and Eucarya* PNAS Vol. 87: pp. 4576-4579

Willmer P.

1993 *Relazioni di parentela tra gli invertebrati* Bologna Zanichelli (ed. or. 1990)

Wilson A. C.

1985 *Le basi molecolari dell'evoluzione* Le Scienze, 208: pp. 166-175

ETTORE RUBERTI

E' Ricercatore dell'ENEA, Dipartimento FSN-FISS-SNI, inserito nel board di Direzione. I suoi campi di ricerca sono l'evoluzione biologica e l'entomologia applicata. Dal '91 si occupa anche di idrogeno come vettore energetico e di fenomeni nucleari collettivi nella materia condensata. Rappresenta l'ENEA al Forum Italiano dell'Idrogeno ed è coautore del libro bianco sull'idrogeno "Linee guida per la definizione di un piano strategico per lo sviluppo del vettore energetico idrogeno". Dal '97 Professore a contratto di Biologia generale e molecolare all'Università Ambrosiana. Dal 25 settembre 2012 con la qualifica accademica di Licentia Docenti ad Honorem per merito di chiara fama nella disciplina. Ha sviluppato una nuova ipotesi sul ruolo svolto da un debole campo elettromagnetico in argille di origine magmatiche (le montmorilloniti) nella formazione delle prime macromolecole biologiche, ipotesi che sta sottoponendo a verifica sperimentale.

Contatti:

FSN-FISS-SNI

S. Teresa, 19032

Lerici (SP)

E-mail: ettore.ruberti@enea.it

Tel. uff. 0187978280