



7a Giornata in Memoria di Lorenzo Tomatis

GLI INSEGNAMENTI DI LORENZO TOMATIS In occasione del decennale della scomparsa

Ordine dei Medici di Arezzo
28 e 29 Settembre 2017

Venerdì, 29 Settembre

Sessione II – SCIENZA, ETICA E CONFLITTI DI INTERESSE

Ore 09.00 Introducono e moderano: Maria Grazia Petronio e Giuseppe Miserotti

Ore 09,15 Gianni Tamino: Valore e limiti del paradigma neodarwinista

Ore 09,45 Agostino Di Ciaula: Tomatis e la prevenzione primaria del cancro



In *Storia naturale del ricercatore*, Tomatis scrive, fra l'altro: «I ricercatori somigliano di più a sociologi che a innovatori rivoluzionari, si identificano, e finiscono per amare i dogmi. Come i sociologi trovano gran difficoltà a immaginare veri cambiamenti che li costringerebbero a mettere in discussione un dogma.

Gli eretici sono rari tra i sociologi come lo sono tra i ricercatori e per anni **chi si azzardava a sostenere che esistevano meccanismi fondamentali al di fuori del genoma nucleare rischiava l'ostracismo, se non il rogo.**

E ancora scriveva: il malato, invece di essere protetto e assicurato come individuo sofferente, viene "affrontato" come depositario di informazioni molecolari che in nome di un **riduzionismo** spietato possono essere modificate e manipolate.



prima edizione: marzo 2008

Un uomo coerente

di Paolo Vineis

Infine, l'anticonformismo di Renzo arrivava a momenti di eresia, quando per esempio sosteneva Lamarck contro Darwin (ricordo che me ne parlò più volte e scrisse anche un articolo su «Sapere», credo). Se allora (negli anni Novanta) questa era certamente un'eresia, la ricerca degli ultimi anni – con i progressi dell'epigenetica – sembra dargli clamorosamente ragione. Renzo vedeva nel darwinismo alla Monod (*Il caso e la necessità*) un paradigma che negava le influenze ambientali sulle malattie, come dimostrato dall'enfasi recente sulla genetica: le scoperte dell'epigenetica mostrano invece che l'ambiente retroagisce sul messaggio genetico modulandone largamente l'espressione.

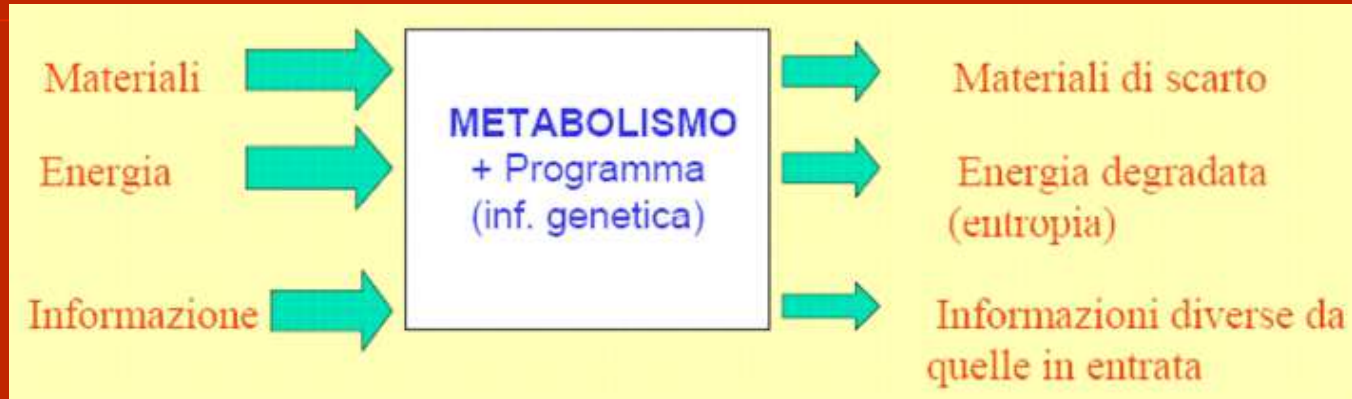
Una considerazione in premessa

Al di là degli aggettivi che possiamo aggiungere al termine **evoluzione** (lamarckiana, darwiniana, neodarwiniana, ecc.), ciò che conta è il significato di una teoria, ancora incompleta, ma arricchitasi nel tempo di tanti contributi, che cerca di spiegare su base scientifica i cambiamenti dei viventi e la loro grande diversità.

Più che definire sbagliata un'ipotesi del passato, è utile individuarne i limiti per elaborare nuove ipotesi più soddisfacenti, a prescindere che siano coerenti o meno con le teorie del passato.

L'obiettivo è sviluppare una ragionevole teoria dell'evoluzione

BIOLOGIA COME STORIA



L'analisi dei flussi pone il problema del tempo e del suo fluire.

Gli organismi derivano tutti da altri organismi.

Gli organismi anche imparentati non sono (quasi) mai uguali (biodiversità).

Nel corso del tempo (o meglio della storia) gli organismi viventi si evolvono (cambiano e si adattano).

Storia dell'evoluzionismo

Nella seconda metà del Settecento viaggi, spedizioni scientifiche sistematiche ed esplorazioni, seppur motivate principalmente da scopi commerciali, avevano dato un forte impulso alla ricerca in campo biologico e fatto nascere la paleontologia e la geologia che, con gli studi di Charles Lyell, avevano rivelato strati geologici formati in tempi successivi, che incorporavano i resti di specie animali e vegetali ormai scomparse da tempo dalla Terra.

Georges-Louis Leclerc de Buffon (1707-1788) nella sua *Histoire Naturelle*, criticò con impeto l'immutabilità delle specie arrivando persino a mettere in dubbio il dogma intoccabile dell'unicità dell'uomo, considerato figlio diletto di Dio e creato a sua immagine e somiglianza.

Così scrisse: “[...] si potrebbe altrettanto sostenere che la scimmia appartiene alla famiglia dell'uomo [...] che l'uomo e la scimmia hanno un'origine comune; che, di fatto, tutte le famiglie, tra le piante come tra gli animali, provengono da un unico ceppo, che tutti gli animali sono discesi da un unico animale [...]”

L'evoluzione del pensiero evoluzionista



Lamarck (1809):
La vita sorge spontaneamente dalla materia inanimata.
Organismi diversi discendono da antenati comuni.
L'ambiente guida il cambiamento da forme viventi semplici a forme complesse.
L'uso e il disuso alterano la morfologia

Teoria di Lamarck

Nel Lamarckismo il processo avviene in un'unica fase, cioè gli organismi "percepiscono" un mutamento ambientale e rispondono generando la "giusta variazione" (ad esempio tramite l'uso o il non uso di una parte del corpo, o un "adattamento" fisiologico) cioè una variazione che risponde in modo corretto alle necessità ambientali.

Tale variazione viene trasmessa alla generazione successiva (eredità dei caratteri acquisiti) :
il Lamarckismo prevede quindi l'orientamento della variazione in senso adattativo.

Anche **Erasmus Darwin** (1731-1802), medico e naturalista, nonno di Charles, non nascose la sua convinzione dell'ereditarietà dei caratteri acquisiti, per certi versi anticipandola. Nel suo *Zoonomia* citando un brano di David Hume, scrive : “la ragione può fare solo una macchina, come un orologio o una nave, ma il potere della generazione fa il creatore della macchina; [...] il mondo in sé potrebbe essere **generato, piuttosto che creato**; cioè potrebbe essere **prodotto gradualmente da elementi molto piccoli, accresciuti dall'attività di principi intrinseci**, piuttosto che da una rapida evoluzione da un fiat Onnipotente”
Inoltre, quasi anticipa ciò che il nipote dirà oltre mezzo secolo più tardi: “[...] **sembra che lo scopo ultimo della lotta fra maschi sia che l'animale più forte e più attivo possa riprodursi [...]**”

Thomas Robert Malthus (1766-1834),

professore di economia politica, era particolarmente preoccupato del declino delle condizioni di vita nell'Inghilterra di fine secolo XVIII.

Secondo la sua opinione questo declino aveva tre cause principali: **l'incremento demografico, l'impossibilità di reperire risorse sufficienti** a soddisfare questo aumento e **l'irresponsabilità delle classi meno abbienti**, le maggiori responsabili di questa fecondità eccessiva.

Così scrisse: “la popolazione, se non venisse arginata, raddoppierebbe ogni venticinque anni, incrementando in **proporzione geometrica**”. Data la limitata disponibilità di risorse, questo aumento esponenziale sarebbe sfociato in una lotta disperata per la sopravvivenza.

L'evoluzione del pensiero evolucionista



- Malthus (1789): Lotta per l'esistenza
- Wallace (1858): Selezione naturale



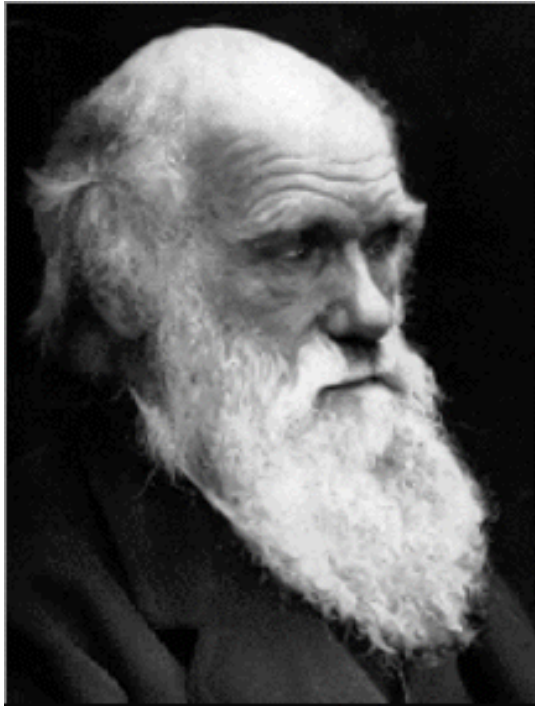
Wallace, che elaborò indipendentemente una teoria della selezione naturale, rifiutava l'idea **lamarckiana** dell'eredità dei caratteri acquisiti, che invece non era estranea (anche se marginalmente) alla concezione di **C. Darwin**

Alfred Russel Wallace, era arrivato a conclusioni simili a quelle di C. Darwin.

Wallace inviò una lettera a Darwin per fargli presente le sue idee e lo stesso Darwin rimase così sbalordito che scrisse subito a Lyell:

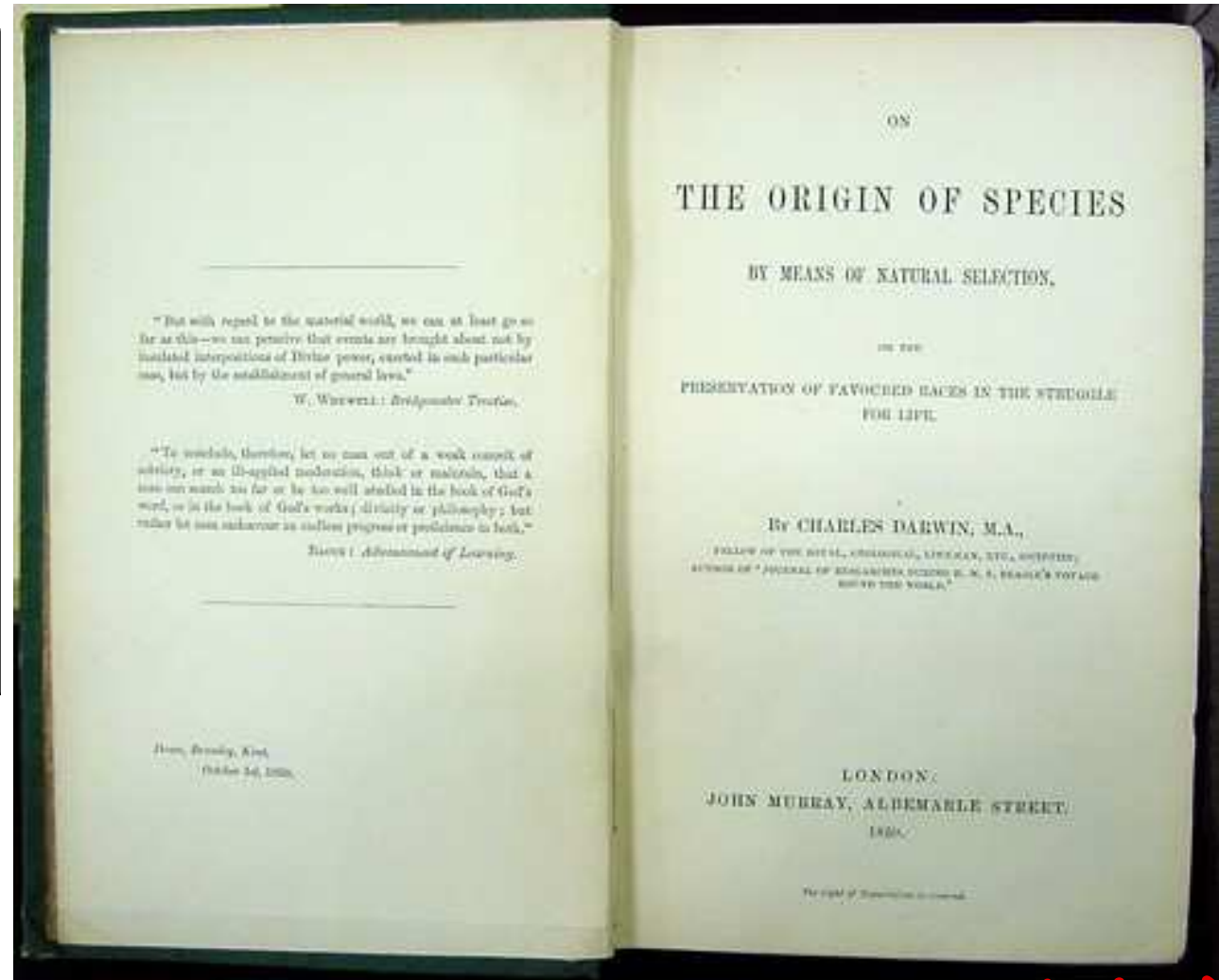
“non ho mai visto una coincidenza così puntuale; se Wallace avesse avuto la mia bozza scritta nel 1842, non avrebbe potuto fare un miglior riassunto!”

Dopo quell'episodio i due decisero di pubblicare insieme i loro articoli, che vennero letti alla Società Linneana il 1 luglio 1858.



C. Darwin

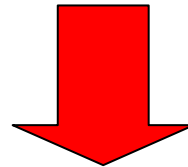
1859



I fattori ambientali agiscono sulla **variabilità** dei **caratteri ereditabili**, **selezionando** nel **tempo**, quelli che permettono una miglior sopravvivenza all'individuo

secondo Darwin

- 1) gli individui di una specie/popolazione differiscono tra loro (variabilità naturale)
- 2) la variabilità è ereditabile
- 3) i fattori ambientali in cui l'individuo viene a trovarsi favoriscono la sopravvivenza di alcuni rispetto ad altri (selezione naturale)



RIPRODUZIONE DIFFERENZIALE

MA NON C'E' FINALITA'

NON C'E' UN "MIGLIORE" IN ASSOLUTO

Anche il filosofo inglese **Herbert Spencer** (1820-1903) utilizzò l'*Origin* di Darwin per suffragare la teoria evolutiva che andava sviluppando.

L'evoluzionismo di Spencer si forma parallelamente all'indagine che C. Darwin ha sviluppato sull'evoluzione delle specie viventi, ma è anche vero che Spencer già lavorava sui concetti dell'evoluzione della società umana, utilizzando una teoria in stile lamarckiano.

La controversia per la paternità della “nuova idea” evoluzionistica, rintracciabile in alcuni scritti darwiniani: **secondo Darwin, Lyell e Wallace** (uomini al cui giudizio Darwin teneva), si ostinavano a definire il suo lavoro in termini di uno sviluppo della teoria lamarckiana dello sviluppo e trasmutazione progressiva...”

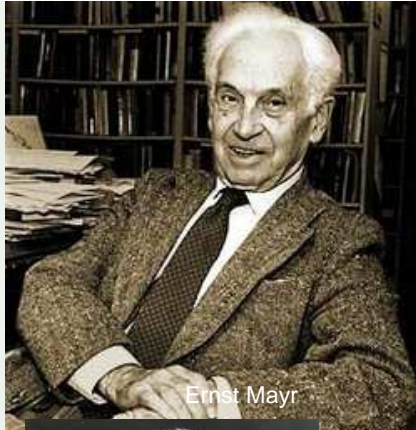
(My dear Lyell.. you refer repeatedly to my view as a modification of Lamarcks doctrine of development & progression; if this is your deliberate opinion there is nothing to be said—; but it does not seem so to me; *Plato, Buffon, my grandfather before Lamarck & others* propounded the obvious view that if species were not created separately, they must have descended from other species)

La **“lotta per l'esistenza”** è da intendersi come metaforica (come ha sottolineato lo stesso Darwin nell'*Origine delle specie*) e non nel senso di **Spencer** (e di alcuni autori più recenti) come eterno conflitto tra gli individui (o i geni!) per assicurarsi il maggior successo riproduttivo.

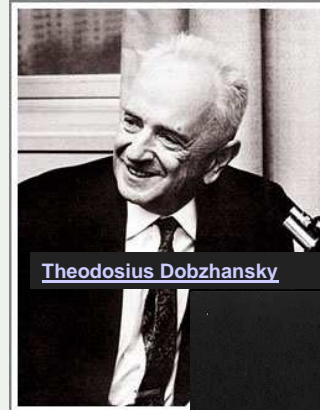
L'affermazione della **“sopravvivenza dei più adatti”**, dovuta a **Spencer**, rende la selezione naturale tautologica : sopravvive chi è più adatto, ed adatto è colui che sopravvive !

Scriveva Lyell (a pag. 469 della sua “The geological evidences of the antiquity of man”):
“Se noi confondiamo la variazione o selezione naturale con le leggi di creazione, divinizziamo cause secondarie o esageriamo incommensurabilmente la loro influenza.”

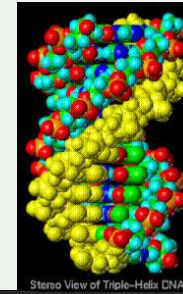
il neo-darwinismo la nuova sintesi 1930-1940



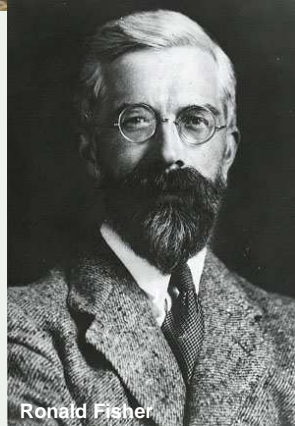
Ernst Mayr



Theodosius Dobzhansky



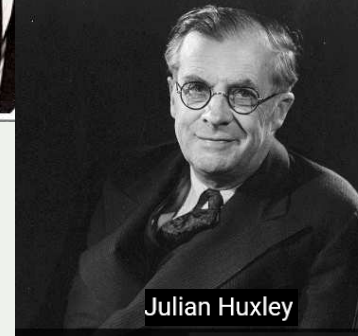
Stereo View of Triple-Helix DNA



Ronald Fisher



George Gaylord Simpson



Julian Huxley

Il **neodarwinismo**, nella sua espressione detta anche “sintesi moderna” (ad opera di T. Dobzhansky, E. Mayr, G. G. Simpson, J. Huxley, ecc.), **ha coniugato la teoria della selezione naturale con la genetica mendeliana. La teoria sintetica diviene il paradigma unificante della biologia, quasi un dogma.**

Gli aspetti fondamentali della teoria sintetica dell'evoluzione sono i seguenti:

- L'usuale rappresentazione dell'albero della vita (albero filogenetico) è stata elaborata sulla base di quanto prospettato prima da Darwin, poi dai neo - darwiniani e infine, in modo ancor più accentuato, dai sostenitori della teoria sintetica: tutti gli organismi discendono sicuramente da un unico antenato.
 - Nascono più individui di quanti ne possano sopravvivere.
 - La variabilità individuale è frutto delle mutazioni che, attraverso ricombinazioni alleliche, interazioni geniche e crossing-over, arricchiscono il campionario dei diversi aspetti che ogni carattere può assumere.
 - L'evoluzione è un fenomeno di popolazione e non opera su un genotipo ma sull'intero patrimonio genetico (pool genico)
 - La selezione naturale conserva le mutazioni "vantaggiose", i cui portatori aumenteranno di frequenza da una generazione all'altra, ed elimina più o meno rapidamente quelle "svantaggiose".

A partire dagli anni Settanta la teoria sintetica è divenuta **oggetto di numerose critiche**, in particolare per quanto riguarda l'ipotesi gradualista e **l'idea che tutta l'evoluzione si possa spiegare solo con la selezione naturale** (ciò che lo stesso Darwin non dava per certo!).

Infatti Darwin scrisse nell'*Origine dell'uomo*:

"Avevo in mente due obiettivi distinti; in primo luogo dimostrare che le specie non sono state create separatamente, e in secondo luogo che agente principale del mutamento è stata la selezione naturale...

....se ho errato...nell'aver esagerato il potere della selezione naturale... spero di aver reso un buon servizio almeno aiutando a rovesciare il dogma di creazioni separate."

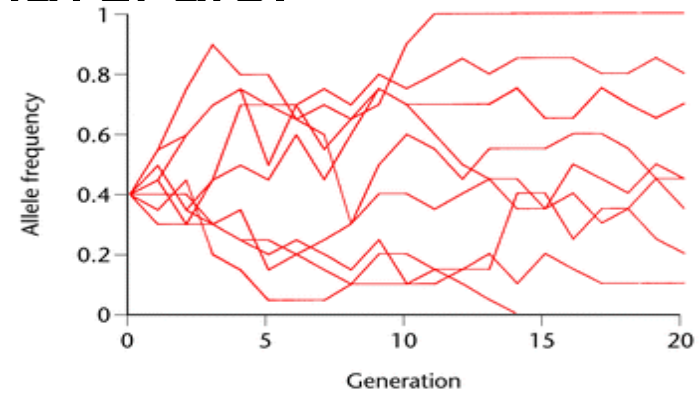
Gould S.J. *Quando i cavalli avevano le dita*, Univ. Economica Feltrinelli 1995

L'evoluzione è una della mezza dozzina di "grandi idee" sviluppate dalla scienza. Essa si occupa dei profondi problemi della genealogia che affascinano noi tutti: il fenomeno delle "radici" nella sua accezione più vasta. Da dove veniamo? Dove ebbe origine la vita? Come si sviluppò? Quali rapporti hanno gli organismi fra loro? Essa ci costringe a pensare, a ponderare e a porci domande.

Ma sono rattristato da una tendenza che comincio appena a discernere fra i miei colleghi. **Ho l'impressione che alcuni di loro vogliano ora mettere la sordina alla sana discussione sulla teoria che ha dato nuova vita alla biologia evuzionistica.** Essa fornisce grano da macinare ai mulini dei creazionisti, dicono, anche se solo grazie a loro deformazioni.

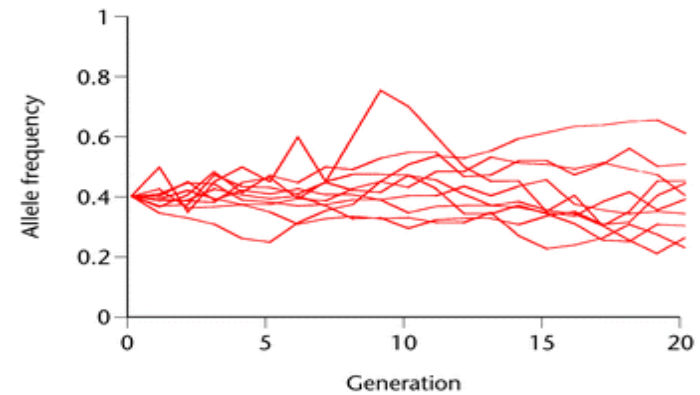
Forse dovremmo starcene zitti e stringerci attorno alla bandiera di un darwinismo rigoroso, almeno per il momento: una sorta di religione dei vecchi tempi da parte nostra?

È tutto frutto di selezione naturale?

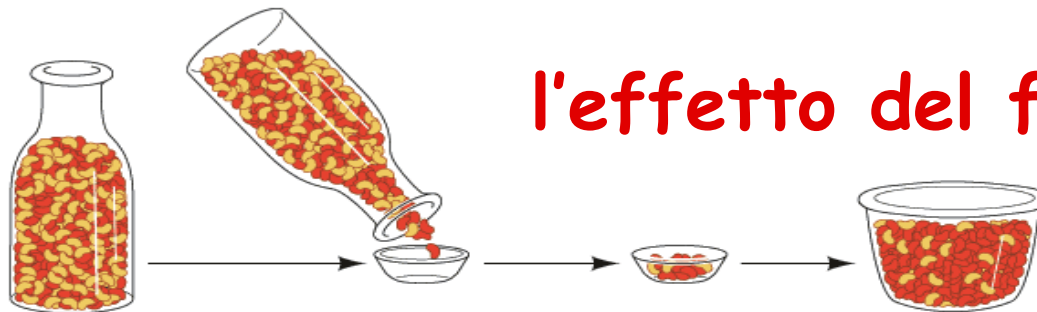


(a)

la deriva genica



l'effetto del fondatore



1 The original population has approximately equal frequencies of red and yellow alleles.

2 A chance environmental event greatly reduces the population size.

3 The surviving population has different allele frequencies from the original population...

4 ... which generates a new population with more red than yellow alleles.

Alle critiche di J. S. Gould si contrapposero le posizioni di **R. Dawkins**, che propose il singolo gene o un insieme limitato di geni, come vero oggetto della selezione naturale: *“L’unità fondamentale di selezione, e quindi di interesse, non è la specie, né il gruppo e neanche l’individuo in senso stretto. È il gene, l’unità dell’ereditarietà.”*

Dawkins predilige dunque una visione riduzionista, in cui la selezione, unico motore dell’evoluzione, avviene a livello dei geni.

Già nel 1972 **Gould** aveva sviluppato l'ipotesi che la realtà biologica su cui opera l'evoluzione sia costituita da una gerarchia di livelli che va oltre i singoli organismi, comprendendo in particolare la selezione al livello delle specie.

Rispetto a quest'idea, sviluppata in particolare da Steven Stanley e da Elizabeth Vrba, **Dawkins** è andato in direzione radicalmente opposta: una visione non-gerarchica del processo di selezione naturale spostata ad un livello inferiore, secondo la quale è il singolo gene o un insieme limitato di geni, il reale oggetto di selezione

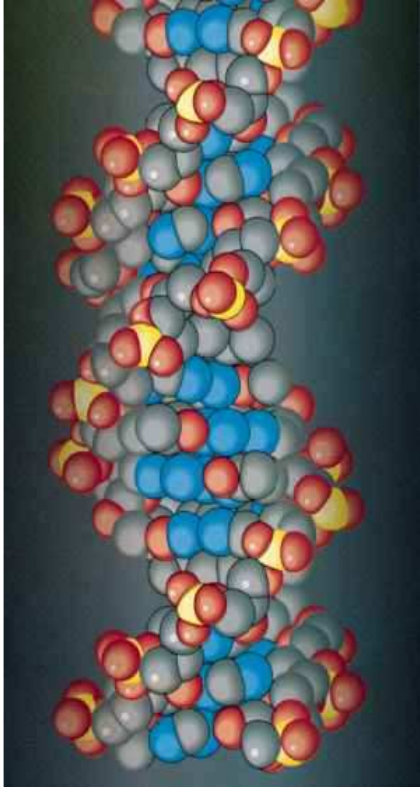
Da dove nasce la visione riduzionista di Dawkins?



Per **Dawkins**, uno dei massimi esponenti del paradigma genocentrico, il gene è la parte immortale che si trasmette nel processo evolutivo mentre l'organismo è un "ingombrante robot" creato dai geni. Contrariamente **Elliott Sober**, critico della selezione genica, fa notare che la selezione "vede" gli organismi e non i geni in essi contenuti, la selezione di alcuni geni statisticamente connessi ai fenotipi vincenti è solo l'effetto collaterale ed automatico della selezione naturale.

Il paradigma del gene nasce con l'enunciazione del "**dogma centrale della biologia**" di **Francis Crick** nel 1957. Il dogma centrale è un'importante versione di genocentrismo (Rosenberg, 2006). Crick afferma che dal DNA, all'RNA, alle proteine vi è un flusso unidirezionale d'informazione. È fondamentale sottolineare come oggi il paradigma del gene abbia superato i confini della comunità scientifica per diffondersi all'intera comunità sociale. La diffusione del paradigma nella società è tale da creare una dicotomia tra la biologia reale e la biologia comunicata (Buiatti, 2007). La divulgazione scientifica ha creato l'idea che vi sia un gene per qualsiasi tratto, somiglianza, differenza, stato d'animo, comportamento, cura o problema globale.

Ma un filamento di DNA non possiede informazione ma acquisisce informazione nel momento in cui fa parte di un sistema di relazioni in cui questa informazione abbia un senso perché non vi è informazione al di fuori di un sistema di riferimento (Tamino, 2006).



MA NOI NON SIAMO I NOSTRI GENI!

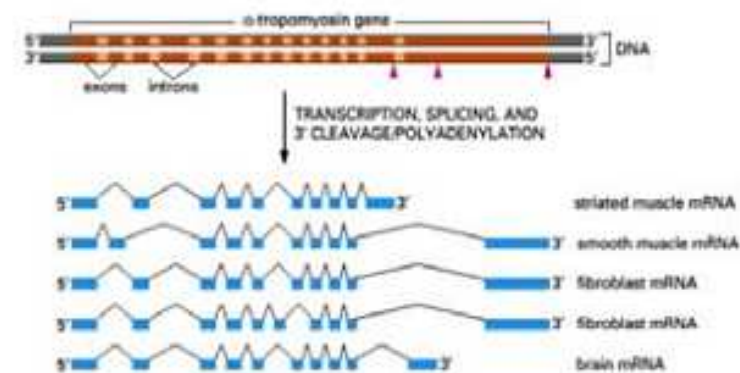
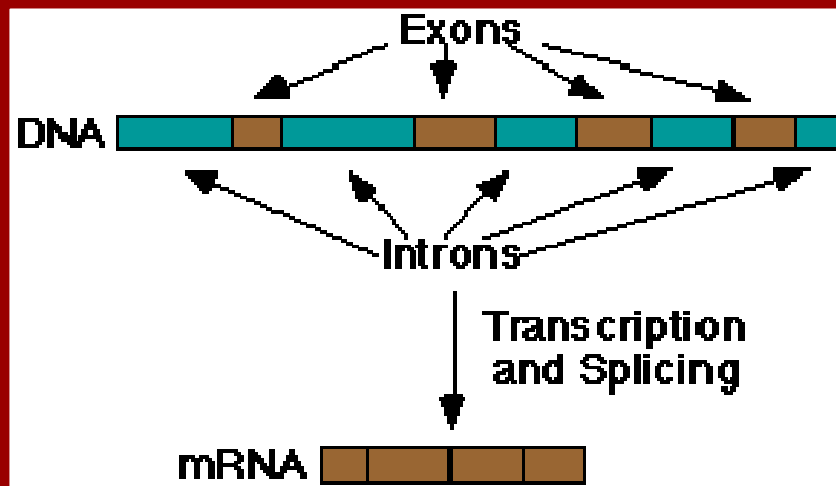
Di per sé un frammento di DNA non ha informazione né per la sua duplicazione né per la sintesi proteica, ma ha bisogno di un contesto in cui questo si realizzi (Tamino, 2011).

Non è il DNA a trasmettere l'informazione ereditaria ma l'intero sistema organico, composto da filamenti nucleici e proteine che interagiscono nel mezzo cellulare. La forma e la relativa funzione delle proteine sono poi il risultato di particolari ripiegamenti, dipendenti dal mezzo cellulare.

In altre parole **l'informazione emerge dal contesto delle relazioni** e non è una proprietà intrinseca del singolo elemento chimico, come si deduce, invece, dalla **logica del dogma centrale** (Crick: *gene > messaggero > proteina*).

I geni, in particolare degli eucarioti, sono «ambigui»

La ambiguità, del tutto epigenetica e cioè regolata dagli inputs esterni, interviene sia nella trascrizione da DNA ad RNA e poi dopo dal processo detto «splicing alternativo». Questo si basa sul fatto che lo RNA trascritto viene poi spezzato e frammenti di questo che non servono a fare proteine (gli «intron») vengono eliminati, mentre i frammenti restanti (gli «esoni») vengono riuniti a formare lo RNA definitivo che verrà poi tradotto in catene polipeptidiche diverse. La scelta delle catene che poi verranno usate dipende da segnali che vengono dall'esterno.



Splicing alternativo del gene della α -tropomiosina di ratto. Il trascritto primario può essere processato in differenti modi, come mostrato nella figura, per produrre differenti mRNAs, che danno origine a diverse proteine. Alcuni degli splicing sono specifici per determinati tipi di cellule. Ad esempio, l' α -tropomiosina del muscolo striato differisce da quella del muscolo liscio.

luglio 2005

Il genoma alternativo

di Gil Ast

Le istruzioni contenute in un gene possono essere modificate dall'apparato cellulare in modo da trasmettere più significati diversi, consentendo a un ridotto numero di geni di dare origine a una gamma molto ampia di proteine diverse.

- Era noto da tempo che i messaggi genetici possono subire lo **splicing alternativo**. Ma è solo da quando è diventato possibile confrontare le sequenze del genoma umano e di quello di altri organismi che si è osservato fino a che punto lo splicing alternativo sia diffuso negli organismi complessi, e quanto questo meccanismo contribuisca al differenziamento di creature dotate di corredi genetici simili.
- **Lo splicing alternativo consente a un numero limitato di geni di produrre e regolare organismi complessi decidendo quando, dove e quali tipi di proteine devono sintetizzare.**

2005 Le Scienze S.p.A.

07.04.2005

Come i microRNA regolano i geni

Ogni microRNA regola mediamente 200 differenti geni umani

Lo studio, pubblicato sulla rivista "[Nature Genetics](#)", contiene previsioni dettagliate di tutti i microRNA del genoma umano, oltre che previsioni specifiche dei tessuti, molte delle quali confermate sperimentalmente. I risultati rivelano un'inattesa complessità del processo di regolazione genica da parte dei microRNA a livello dell'intero genoma.

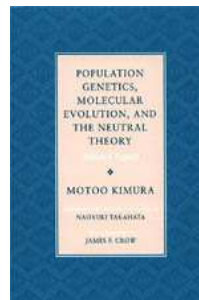
Quelle che inizialmente sembravano soltanto anomalie ed **eccezioni al dogma** si stanno rivelando manifestazioni di un sistema di strati nascosti dell'informazione genetica, di cui per ora ignoriamo natura e codici. In particolare la scoperta che l'informazione contenuta nel DNA possa subire modificazioni post-trascrizionali ha minato la certezza della corrispondenza univoca tra DNA e proteine.

Una visione eretica può essere quella di una **nuova definizione di gene** (Eva M. Neumann-Held):

“Tutti i fattori che contribuiscano all'espressione della proteina fanno parte del "gene" e quindi qualsiasi distinzione tra genetico e ambientale svanisce nel momento in cui le cause ambientali vengono addirittura incluse nella definizione di gene (Pievani, 2005)”.

Ritornando agli aspetti critici della teoria della selezione:

molte mutazioni, come ha evidenziato M. Kimura, sono neutrali nei confronti della selezione, ossia danno origine a cambiamenti che non migliorano né peggiorano la fitness individuale.



The neutral theory of molecular evolution contends that most evolutionary change at the molecular level is driven by genetic drift rather than natural selection.

The Neutral Theory

- The vast majority of nucleotide variation is selectively neutral or nearly neutral
- Mutation – Drift Balance
 - Mutation creates new polymorphisms
 - Drift randomly drives existing polymorphisms extinct

La selezione naturale non è di per sé sufficiente a spiegare il cambiamento evolutivo per due importanti motivi.

In primo luogo vi sono molte altre cause che influiscono su di esso, particolarmente ai livelli di organizzazione biologica che sono sia al di sopra sia al di sotto di quello su cui si è tradizionalmente concentrato Darwin e che riguarda gli organismi e la loro lotta per conseguire il successo riproduttivo. Al livello più basso, che è quello della sostituzione delle singole coppie di basi del DNA, il cambiamento è spesso, di fatto, neutro e quindi casuale. Ai livelli più alti, che interessano intere specie o faune, l'equilibrio intermittente (o punteggiato) può produrre tendenze evolutive mediante una selezione di specie basata sulla velocità di comparsa e di estinzione di queste ultime, mentre le estinzioni in massa spazzano via porzioni considerevoli di comunità vegetali e animali per ragioni che non hanno relazione alcuna con le lotte adattative che le singole specie intraprendono nei periodi "normali" intercorrenti tra l'uno e l'altro di questi eventi.

In secondo luogo, **benché la teoria della selezione naturale rappresenti un quadro di riferimento importante per spiegare la storia del cambiamento evolutivo** (nessun aspetto di questa storia può essere in contrasto con una buona teoria e considerazioni teoriche possono consentire di prevedere certi aspetti generali del quadro geologico in cui si inserisce la vita), **i suoi principi non devono essere considerati come le cause determinanti dell'effettivo corso degli eventi evolutivi.**

Le catene e **le reti di eventi sono** così complesse, così zeppe di elementi casuali e caotici, così irripetibili nel loro includere una simile moltitudine di oggetti unici (e interagenti in modo unico), che per esse non possono valere i modelli standard della semplice previsione e duplicazione.

Gould S.J. *L'evoluzione della vita sulla Terra*, Le Scienze n.316 25

Nel 1972, i due paleontologi Stephen Jay Gould e Niles Eldredge, indicarono il **gradualismo** come fonte del “vago senso di insoddisfazione che [...] alcuni paleontologi hanno sempre provato per le premesse darwiniane secondo cui i meccanismi microevolutivi possono mettere in piedi tutto il grande spettacolo dei viventi semplicemente accumulando i risultati via via più consistenti nell’enormità dei tempi geologici”

Eldredge e Gould considerarono il gradualismo della teoria sintetica come il prodotto di un pregiudizio dello stesso Darwin, e non una parte necessaria della teoria. Le conseguenze paleontologiche del gradualismo cioè che la documentazione fossile sia una lunga sequenza di forme intermedie continue e caratterizzate da gradazioni insensibili e che tali forme di transizione siano dovute alle imperfezioni della documentazione fossile – rendono virtualmente infalsificabile la teoria dell’evoluzione: ogni vuoto può essere giustificato.

*La teoria viene quindi esposta a critiche scientifiche ed epistemologiche, poiché aggiunge all’idea della selezione naturale un’ipotesi non testabile puramente interpretativa. La proposta alternativa dei due paleontologi fu la cosiddetta **teoria degli equilibri punteggiati**: la nascita di nuove specie avviene rapidamente, punteggiando lunghi periodi in cui le specie sono stabili, in equilibrio.*

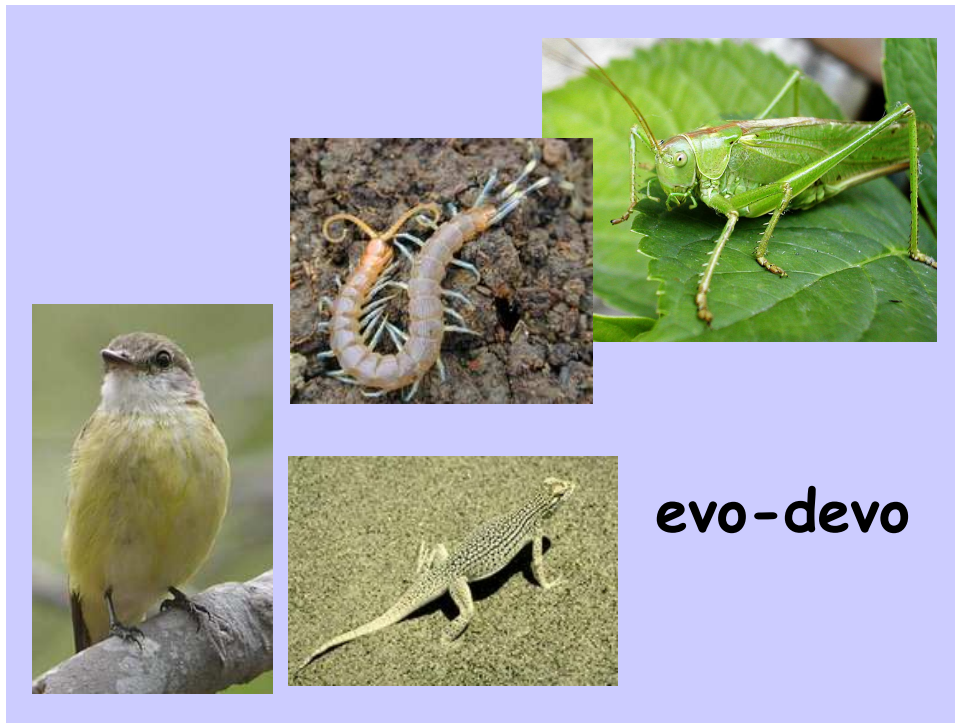
La teoria degli equilibri punteggiati

propone un modello evolutivo a salti: in altre parole, secondo questa ipotesi l'evoluzione delle specie sarebbe caratterizzata da lunghi periodi di equilibrio, interrotti da brevi ma intensi periodi di cambiamento evolutivo.

Lo studio dell'evoluzione sulla base delle testimonianze fossili è reso difficile perché mancano quasi sempre molti anelli, vale a dire le forme intermedie capaci di testimoniare il passaggio da una specie all'altra. Secondo [Stephen J. Gould e Niles Eldredge](#), queste forme intermedie non sono necessariamente esistite.

Secondo i due studiosi, l'evoluzione potrebbe essere stata caratterizzata da periodi di stabilità punteggiati da improvvisi squilibri durante i quali avrebbero potuto apparire nuove specie.



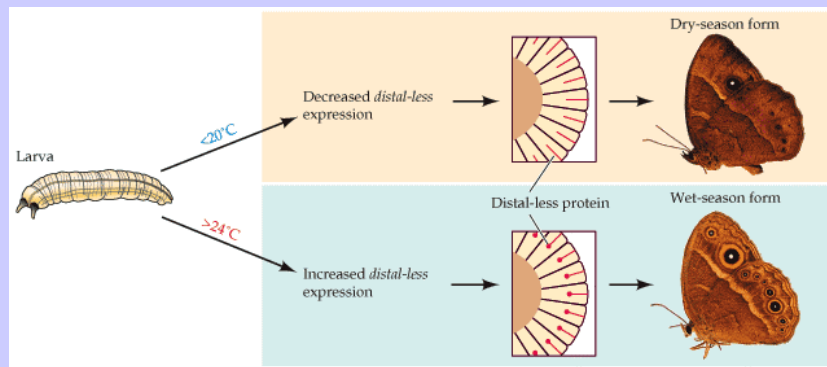


Il rapporto tra filogenesi ed ontogenesi (o tra evoluzione e sviluppo) è stato da sempre oggetto di studio degli evolucionisti e degli embriologi, come nella legge biogenetica fondamentale di Haeckel (secondo la quale "l'ontogenesi ricapitola la filogenesi"), o, più recentemente, nella relazione Evo/Devo (biologia evolutiva dello sviluppo).

Per capire il nesso tra evoluzione e sviluppo occorre parlare di genetica e di epigenetica.

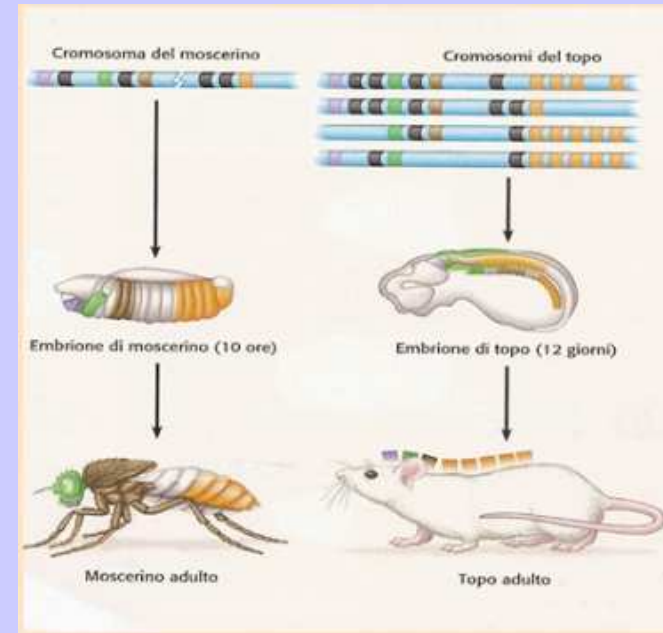
La genetica molecolare, applicata alla biologia dello sviluppo, ha messo in luce l'esistenza di modificazioni e regolazioni dell'espressione dei geni, che sono oggetto di studio dell'epigenetica.

il contributo della biologia molecolare dello sviluppo



... unita all'indagine morfologica

i geni Hox



Una fortunata mutazione in un gene di regolazione, uno di quei **geni detti omeotici** (in questo caso particolare si tratta del ben studiato **gene "Hox"**), può d'un tratto produrre una specie nuova, assai diversa da quella di partenza.

Questa scoperta conferma le ipotesi "discontinuiste" propugnate da decenni soprattutto da Stephen Jay Gould e Richard Lewontin :

“l'evoluzione biologica non è una sfera liscia che rotola nel tempo con continuità, bensì un poliedro sfaccettato che, di tanto in tanto, procede scattando di colpo da una faccia a un'altra contigua, senza soste intermedie” .

secondo Stephen J Gould è importante non confondere le origini con la funzione di una struttura

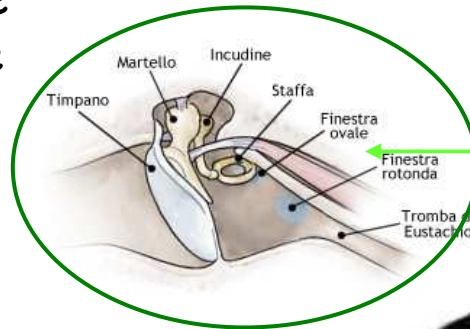
adaptation

un carattere la cui funzione odierna è quella per cui si è evoluto



exaptation

un carattere la cui funzione odierna è diversa da quella per cui si è evoluto



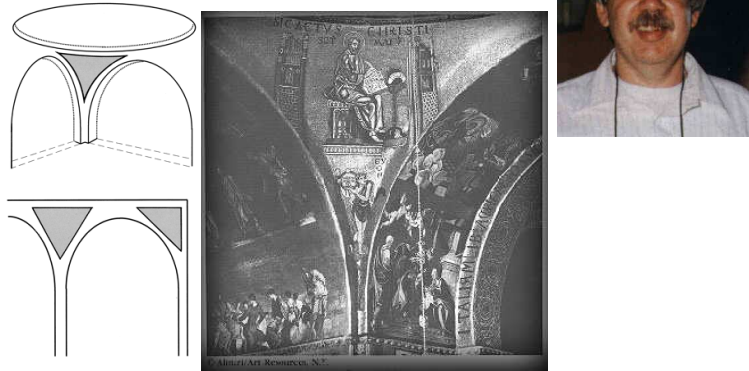
La figura mostra la riduzione delle ossa mandibolari e la loro trasformazione nelle ossa dell'orecchio medio.

Dal basso all' alto: pesce sarcopterige, primitivo anfibio, rettile e mammifero

tutte le caratteristiche di un organismo
sono adattamenti ??

i pennacchi (spandrels) di San Marco

strutture che si originano come conseguenza
"architettonica" del formarsi di una certa
struttura



Quindi gli organismi, sulla base di
strutture precedenti, non sempre
utili, cercano di adattarsi, al variare
dell'ambiente,
alle nuove condizioni.

Se le condizioni sono stabili,
tendenzialmente non ci sono
cambiamenti, ma quando l'ambiente
cambia assistiamo a **rapide**
evoluzioni, per adattarsi all'ambiente.

Le attuali conoscenze scientifiche permettono di
affermare che **l'evoluzione** (a partire dal paradigma
darwiniano) non si può limitare al meccanismo della
selezione naturale (come prevede il paradigma *neo-*
darwinista): altri meccanismi vi concorrono ed altre
spiegazioni sono necessarie.