

Lettere del mercoledì

GLI SPAZI E I TEMPI DELL'EVOLUZIONE (2) Così lontani, così vicini

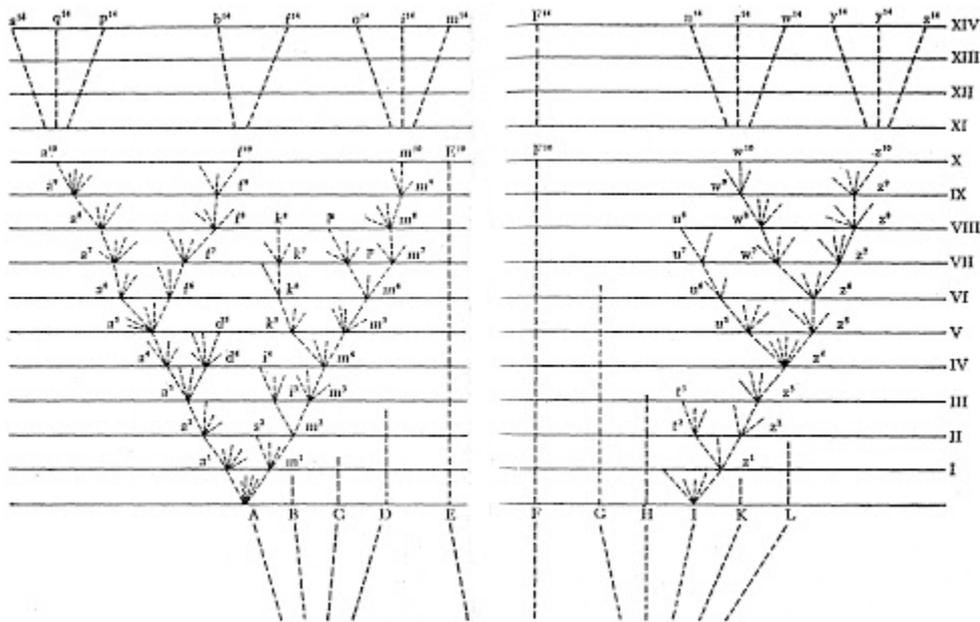
a cura di Andrea Parravicini
24 febbraio 2021, ore 18.30-20.00

In occasione dei 150 anni dalla pubblicazione dell'*Origine dell'uomo* di Charles Darwin, verranno dedicate due serate alla lettura di testi evoluzionisti intorno ai temi dell'origine e della distanza, nel loro intreccio con il qui e il là segnato dagli spazi delle relazioni ecologiche e geografiche, e dalla dimensione verticale del tempo prossimo e del tempo profondo. I testi saranno resi disponibili ai Soci prima della serata.

Gli spazi e i tempi dell'evoluzione darwiniana

- 1) *«Se in condizioni mutevoli di vita gli esseri viventi presentano differenze individuali in quasi ogni parte della loro struttura, e ciò non è discutibile; se a cagione del loro aumento numerico in progressione geometrica si determina una severa lotta per la vita in qualche età, stagione o anno, e ciò certamente non può essere discusso; allora, considerando la infinita complessità delle relazioni di tutti gli esseri viventi fra di loro e con le loro condizioni di vita, la quale fa sì che un'infinita diversità di struttura, costituzione e abitudini, sia per essi vantaggiosa, sarebbe un fatto quanto mai straordinario che non avessero mai avuto luogo variazioni utili al benessere di ciascun individuo, allo stesso modo con cui hanno avuto luogo tante variazioni utili all'uomo. Ma se mai si verificano variazioni utili a un qualsiasi essere vivente, sicuramente gli individui così caratterizzati avranno le migliori probabilità di conservarsi nella lotta per la vita; e per il saldo principio dell'eredità, essi tenderanno a produrre discendenti analogamente caratterizzati. Questo principio della conservazione, o sopravvivenza del più adatto, l'ho denominato selezione naturale»* (C. Darwin, *L'origine delle specie*, Bollati Boringhieri, Torino 1967, p.193).
- 2) *«[...] la progenie di ogni specie che sta subendo variazioni tenderà (ma solo pochi individui vi riusciranno) di impadronirsi del maggior numero possibile di luoghi e quanto più possibile diversi nell'economia della natura. Ogni nuova varietà o specie, una volta formata, prenderà in genere il posto dei genitori meno adattati e così li sterminerà. Io credo sia questa l'origine della classificazione e organizzazione di tutti gli esseri organici in ogni tempo. Essi sembrano creare sempre nuove ramificazioni, che si dividono e suddividono, come i rami di un albero che sorgono dallo stesso tronco; i rami vigorosi distruggono quelli più deboli; i rami morti e caduti rappresentano brutalmente i generi e le famiglie estinte»* (Lettera di Darwin ad Asa Gray del 5 settembre [1857], in F. Burkhardt, (a cura di), *The Correspondence of Charles Darwin*, 15 voll., Cambridge University Press, Cambridge – London – New York 1985-, vol.6, pp.448-449).

- 3) Il diagramma ad albero contenuto nell'*Origine delle Specie* (Bollati Boringhieri, Torino 1967, p.176-177).



- 4) «Le affinità di tutti gli esseri della stessa classe sono state spesso rappresentate con un grande albero. Credo che questa similitudine corrisponda bene alla realtà. I verdi e germoglianti rami possono rappresentare le specie esistenti; e quelli prodotti negli anni precedenti possono rappresentare la lunga successione di specie estinte. Ad ogni periodo di crescita, tutti i rametti in sviluppo tentano di ramificarsi in tutte le direzioni e di sorpassare e uccidere i ramoscelli e i rami circostanti, allo stesso modo in cui le specie e i gruppi di specie hanno in tutti i tempi sopraffatto altre specie nella grande battaglia per la vita.

I tronchi divisi in grandi rami, e questi in rami sempre più piccoli, furono essi stessi una volta, quando l'albero era giovane, rami germoglianti; e questo rapporto tra i vecchi e i nuovi germogli [...] può rappresentare bene la classificazione di tutte le specie estinte e viventi [...]. Come i germogli crescendo danno origine a nuovi germogli, e questi, se vigorosi, si ramificano e superano da ogni parte un ramo più debole, così per generazione io credo sia avvenuto per il grande albero della vita, che riempie la crosta terrestre con i suoi rami morti e rotti e ne copre la superficie con le sue sempre rinnovantisi, meravigliose, ramificazioni» (C. Darwin, *L'origine delle specie*, cit., pp.195-196).

- 5) «Coloro che credono che i documenti geologici siano in certo modo perfetti, respingeranno senza esitazione la mia teoria. Per quanto mi riguarda, secondo la metafora di Lyell, considero i dati geologici come una storia del mondo tramandata imperfetta e scritta in un mitevole dialetto; storia di cui possediamo solo l'ultimo volume, limitato a due o tre regioni. Di questo volume si è conservato solo qua e là un breve capitolo; e di ogni pagina solo qualche riga ogni tanto. Ogni parola di questa lingua, che varia lentamente, più o meno diversa nei successivi capitoli, può rappresentare le forme di vita, che sono sepolte nelle nostre formazioni successive, e che erroneamente sembrano esservi state repentinamente introdotte» (C. Darwin, *L'origine delle specie*, cit., pp.399-400).

Dal gradualismo filetico al riduzionismo gene-centrico

- 6) «Poiché la selezione naturale agisce solo accumulando variazioni leggere, successive e favorevoli, essa non può produrre modificazioni grandi o improvvise; può agire soltanto con passi brevi e lenti. Perciò, l'assioma "Natura non facit saltum", che ogni nuova aggiunta alla nostra conoscenza tende a confermare è, secondo questa teoria, comprensibile» (C. Darwin, *L'origine delle specie*, cit., p. 537).

- 7) «Come la geologia moderna ha ormai ripudiato ipotesi quale quella dell'escavazione di una grande valle ad opera di un'unica ondata diluviale, così la selezione naturale bandirà la credenza della creazione continua di nuovi esseri viventi, o di qualsiasi grande e improvvisa modificazione della loro struttura» (C. Darwin, *L'origine delle specie*, cit., p. 161).
- 8) «Un fattore decisivo, di cui Darwin stesso sottolineò l'importanza (sebbene riferendosi a piante e animali e non a molecole), è la competizione. Il brodo primordiale non era in grado di sostenere un numero infinito di replicatori. [...] Nel nostro quadro del replicatore che agisce da stampo, lo abbiamo considerato immerso in un brodo ricco di piccole unità base necessarie per la formazione delle copie. Ma quando i replicatori divennero numerosi, queste unità furono utilizzate a un ritmo tale da diventare una risorsa scarsa e preziosa, tanto da far nascere una competizione tra tipi o linee diverse di replicatori. [...] le varietà meno favorite devono in effetti essere diventate meno numerose a causa della competizione e alla fine molte di esse si sono estinte. C'è stata quindi una lotta per l'esistenza fra le varietà di replicatori. [...] I replicatori lottavano nel senso che qualunque errore che portasse a un nuovo livello superiore di stabilità, o a un nuovo modo di ridurre la stabilità dei rivali, veniva automaticamente conservato e moltiplicato. Il so di miglioramento era cumulativo e i meccanismi che aumentavano la stabilità di un replicatore e diminuivano quella dei rivali divenivano più elaborati e più efficienti. Alcuni di essi forse "scoprirono" anche il modo di rompere chimicamente le molecole di varietà rivali e di usare le unità così rilasciate per fare copie di sé stessi. Questi protocarnivori ottenevano cibo e simultaneamente rimuovevano i loro rivali. Altri replicatori forse scoprirono il modo di proteggersi, sia chimicamente che costruendo intorno a sé una parete fisica di proteine. Questo può essere il modo in cui sono apparse le prime cellule viventi. I replicatori non solo hanno cominciato a esistere ma hanno anche costruito dei contenitori, dei veicoli che li aiutassero a continuare a esistere. I replicatori che sopravvissero furono quelli che costruirono delle macchine di sopravvivenza in cui vivere. Le prime consistevano probabilmente di un semplice rivestimento protettivo, ma con il graduale aumento della difficoltà della vita, a causa dell'insorgere di nuovi rivali dotati di macchine di sopravvivenza migliori e più efficaci, queste divennero sempre più grandi ed elaborate, in un processo cumulativo e progressivo. Il graduale miglioramento delle tecniche e degli artifici usati dai replicatori per assicurare la propria sopravvivenza era destinato a finire? [...] Quale sarebbe stato il destino di questi antichi replicatori quattro miliardi di anni dopo? Essi non si sono estinti in quanto sono gli antichi maestri dell'arte della sopravvivenza, ma non cercateli nel mare, perché hanno rinunciato a quella libertà molto tempo fa. Adesso si trovano in enormi colonie, al sicuro all'interno di robot giganti, fuori dal contatto con il mondo esterno, con il quale comunichiamo in modo indiretto e tortuoso e che manipolano a distanza. Essi si trovano dentro di voi e dentro di me, ci hanno creato, corpo e mente e la loro conservazione è lo scopo ultimo della nostra esistenza. Hanno percorso un lungo cammino, questi replicatori e adesso sono conosciuti sotto il nome di geni e noi siamo le loro macchine di sopravvivenza» (R. Dawkins, *Il gene egoista*, Oscar Saggi Mondadori, Milano 1992, pp.22-23).
- 9) «Un altro aspetto del gene è che non invecchia: non ha più probabilità di morire quando ha un milione di anni di quante ne abbia quando ha cent'anni soltanto. Il gene salta di corpo in corpo lungo le generazioni, manipolando corpo dopo corpo a modo suo e per i suoi scopi, abbandonando una successione di corpi mortali prima che questi invecchino e muoiano. I geni sono gli immortali, o meglio, sono definiti come entità genetiche che si avvicinano a meritare questo nome. Noi, le singole macchine da sopravvivenza, possiamo aspettarci di vivere pochi decenni, mentre l'aspettativa di vita dei geni deve essere misurata non in decenni ma in migliaia e milioni di anni» (R. Dawkins, *Il gene egoista*, cit., pp.37-38).

Simbiosi ovunque!

- 10) «La simbiosi, il sistema in cui membri di specie diverse vivono in contatto fisico, ci colpisce come un concetto arcano e un termine biologico specializzato. Ciò è dovuto alla nostra mancanza di consapevolezza della sua prevalenza. Non solo le nostre viscere e le nostre ciglia sono decorate da batteri e simbiotici animali, ma se guardate al vostro cortile condominiale o al parchetto di quartiere, sep-

*pur non ovvi, i simbiotici sono onnipresenti. Trifoglio e veccia, erbacce comuni, hanno delle palline sulle loro radici. Questi sono i batteri che fissano l'azoto che sono essenziali per una crescita sana in un suolo povero di azoto. Poi prendi gli alberi, l'acero, la quercia e il noce. Ben trecento diversi simbiotici fungini – che è la micorrizza che notiamo come funghi – sono intrecciate nelle loro radici. Oppure guardate un cane, che di solito non ha alcuna consapevolezza dei vermi simbiotici nel suo intestino. Siamo simbiotici su un pianeta simbiotico, e, se ci interessa, possiamo trovare la simbiosi ovunque» (L. Margulis, *Simbiosi ovunque!*, in “Kaiak. A Philosophical Journey”, 7, 2020: Parassitismi, p.1).*

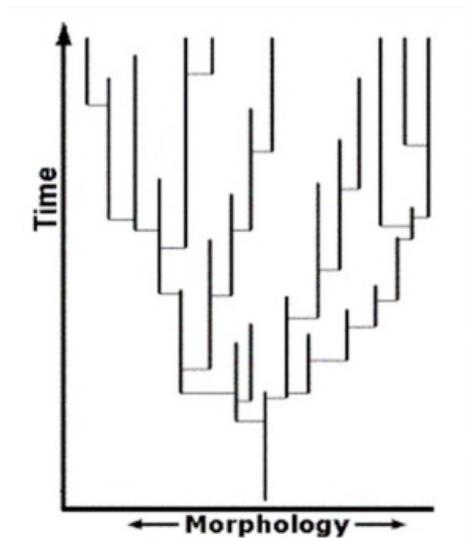
- 11) *«Gli esseri viventi sfidano la definizione precisa. Combattono, si nutrono, ballano, si accoppiano, muoiono. Alla base della creatività di tutte le grandi forme familiari di vita, la simbiosi genera novità. Riunisce diverse forme di vita, sempre per un motivo. Spesso la fame unisce il predatore con la preda o la bocca con il batterio fotosintetico o la vittima delle alghe. La simbiogenesi riunisce individui differenti per creare entità più grandi e complesse. Le forme di vita simbiogenetiche sono ancora più diverse dai loro improbabili “genitori”. Gli “individui” si fondono permanentemente e regolano la loro riproduzione. Generano nuove popolazioni che diventano nuovi individui simbiotici multiunità. Questi diventano “nuovi individui” a livelli di integrazione più grandi e più inclusivi. La simbiosi non è un fenomeno marginale o raro. È naturale e comune. Dimoriamo in un mondo simbiotico» (L. Margulis, *Simbiosi ovunque!*, cit., p.3).*
- 12) *«In Bretagna, sulla costa nord-occidentale della Francia, lungo le spiagge confinanti con la Manica, si trova una strana sorta di “alga” che non è affatto un'alga. Da lontano è una macchia verde brillante sulla sabbia. Le chiazze sguazzano scintillanti in pozzanghere poco profonde. Quando si raccoglie l'acqua verde e la si lascia scivolare tra le dita si notano nastri appiccicosi molto simili alle alghe. Una piccola lente di ingrandimento o un microscopio a bassa potenza rivela che quelle che sembravano alghe sono in realtà vermi verdi. Queste masse di vermi verdi che prendono il sole, a differenza da qualsiasi alga, scavano nella sabbia ed effettivamente vi scompaiono. Furono descritti per la prima volta negli anni '20 da un inglese, J. Keeble, che trascorse le sue estati a Roscoff. Keeble li chiamò “piante-animali” e li illustrò splendidamente nel colorato frontespizio del suo libro Plant-Animals. I vermi piatti della specie Roscoffensis Convoluta sono tutti verdi perché i loro tessuti sono pieni di cellule di Platymonas; poiché i vermi sono traslucidi, si intravede il colore verde delle Platymonas, alghe fotosintetiche. Seppure amabili, le alghe verdi non sono solo decorative: vivono e crescono, muoiono e si riproducono, dentro ai corpi dei vermi. Infatti, producono il cibo che i vermi “mangiano”. Le bocche dei vermi diventano superflue e non funzionano più dopo che le larve del verme si schiudono. La luce solare raggiunge le alghe all'interno delle loro mobili serre e permette loro di crescere e nutrirsi mentre fanno filtrare prodotti fotosintetici e nutrono i loro ospiti dall'interno. Le alghe simbiotiche fanno anche un favore al verme nella gestione dei rifiuti: riciclano i rifiuti dell'acido urico del verme trasformandoli in loro nutrienti. Le alghe e i vermi fanno un ecosistema in miniatura che nuota al sole. In effetti, questi due esseri sono così intimi che è difficile, senza microscopia ad altissima potenza, stabilire dove finisce l'animale e iniziano le alghe» (L. Margulis, *Simbiosi ovunque!*, cit., pp.3-4).*
- 13) *«Noi animali, tutte le trenta milioni di specie, siamo sorti dal microcosmo. Il mondo microbico, la fonte e la sorgente del suolo e dell'aria, informa la nostra stessa sopravvivenza. Uno dei temi principali del dramma microbico è l'emergere di individualità dalle interazioni della comunità di attori un tempo indipendenti» (L. Margulis, *Simbiosi ovunque!*, cit., p.4).*

Tempi e modi dell'evoluzione: gradualismo, estinzioni di massa ed equilibri punteggiati

- 14) *«Noi crediamo che il cambiamento punteggiato domini la storia della vita: l'evoluzione è concentrata in rapidissimi eventi di speciazione (istantanei dal punto di vista geologico, anche se risultano tollerabilmente continui nel tempo ecologico). Molte specie, durante la loro storia geologica, non cambiano in alcun modo significativo, o altrimenti esse fluttuano leggermente nella loro morfologia, senza alcuna chiara direzione. Il gradualismo filetico è molto raro e troppo lento, in ogni caso, per produrre i principali eventi dell'evoluzione. [...] Come un pregiudizio a-priori, il gradualismo fileti-*

co ha precluso qualsiasi corretta valutazione dei tempi e dei modi dell'evoluzione. Non potrebbe essere confutato da cataloghi empirici costruiti sotto la sua prospettiva poiché essa esclude l'informazione contraria in quanto risultato artificiale di un record fossile imperfetto. Con il modello degli equilibri punteggiati, una distribuzione senza pregiudizi a priori dei tempi evolutivi può essere stabilita trattando la stasi come un dato e registrando il pattern del cambiamento per tutte le specie in un assemblaggio» (S.J. Gould e N. Eldredge, *Punctuated Equilibria: The Tempo and Mode of Evolution Reconsidered*, "Paleobiology", vol.3, n.2, 1977, p.115. Traduz. mia).

- 15) Un albero dell'evoluzione nella prospettiva degli equilibri punteggiati. La maggior parte del cambiamento morfologico (cioè il cambiamento macroevolutivo) ha luogo in periodi geologicamente brevi in popolazioni ridotte, in modo tale che le forme transizionali difficilmente fossilizzano.



- 16) «Gli equilibri punteggiati sono un modello per tempi di cambiamento discontinui presso un livello biologico soltanto: il processo di speciazione e lo sviluppo delle specie nel tempo geologico. Tuttavia noi crediamo che una teoria generale del cambiamento punteggiato sia ampiamente valida in tutti i settori della biologia, per quanto per nulla in modo esclusivo. La preferenza generale che moltissimi di noi accordano al gradualismo è una posizione metafisica incorporata nella storia moderna delle culture occidentali: non è un'osservazione empirica di alto ordine, indotta da uno studio oggettivo della natura. La famosa affermazione attribuita a Linneo – natura non facit saltum (la natura non fa salti) – può riflettere una qualche conoscenza biologica, ma rappresenta anche la traduzione in biologia dell'ordine, armonia e continuità che i governanti europei speravano di mantenere in una società già assalita da pulsioni verso un cambiamento sociale radicale [...]. Quando Darwin si attaccò così fortemente al gradualismo – ignorando il consiglio di Huxley secondo cui egli non aveva bisogno di appoggiare a questo assunto la sua teoria della selezione naturale – egli tradusse la società vittoriana in biologia, dove non è necessario che essa risieda [...]. Karl Marx, che ammirava grandemente Darwin e che una volta affermò che l'Origin conteneva “la base, nella storia naturale, di tutta la nostra visione” osservò qualcosa di simile in una famosa lettera a Engels (1862):

“È rimarchevole come Darwin riconosca tra gli animali e le piante la sua società inglese con la sua divisione del lavoro, la competizione, l'apertura di nuovi mercati, l'invenzione e la 'lotta per l'esistenza' malthusiana. È il 'bellum omnium contra omnes' di Hobbes e si viene rimandati alla Fenomenologia di Hegel, dove la società civile è descritta come un 'regno animale spirituale', mentre in Darwin il regno animale raffigura la società civile”.

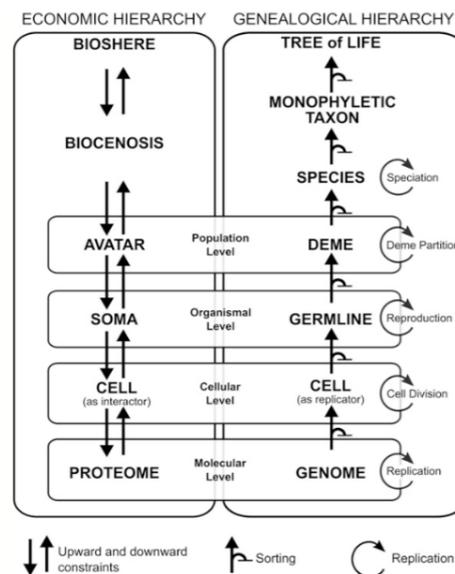
Riportiamo tutto questo non per screditare Darwin, nel modo più assoluto, ma semplicemente per evidenziare che persino le più grandi conquiste scientifiche sono radicate nei loro contesti culturali – e per sostenere che il gradualismo fosse una parte del contesto culturale, non della natura. Concezioni alternative del cambiamento hanno un pedigree rispettabile in filosofia. Le leggi dialettiche di Hegel, tradotte in un contesto materialista, sono diventate la filosofia di stato ufficiale di mol-

te nazioni socialiste. Queste leggi del cambiamento sono esplicitamente puntezioniste in quanto sostengono una teoria della trasformazione rivoluzionaria nella società umana. Una legge, enfatizzata in particolare da Engels, sostiene che una nuova qualità emerge in un salto quando l'accumulazione lenta di cambiamenti quantitativi, fermati a lungo da un sistema stabile, alla fine lo forzano rapidamente passando da uno stato a un altro (legge della trasformazione della quantità in qualità) [...]. È facile vedere l'ideologia esplicita in agguato dietro a questa affermazione generale circa la natura del cambiamento. Non possiamo discernere anche l'ideologia implicita nella nostra preferenza occidentale per il gradualismo? Alla luce di questa filosofia ufficiale, non è del tutto sorprendente che una visione punteggiata della speciazione, proprio come la nostra, ma priva di riferimenti alla teoria sintetica dell'evoluzione e al modello allopatrico [ovvero priva dei riferimenti al neodarwinismo, di cui invece è dotata la teoria di Gould e Eldredge], sia stata a lungo favorita da molti paleontologi russi. E può non essere irrilevante per le nostre personali preferenze che uno di noi due abbia acquisito il suo Marxismo, letteralmente sulle ginocchia del suo papà. [...] Noi enfaticamente non sosteniamo la "verità" di questa metafisica alternativa del cambiamento punteggiato. Qualsiasi tentativo di supportare la validità esclusiva di una tale nozione monistica, a priori, grandiosa, non avrebbe senso. Noi riteniamo che il cambiamento graduale caratterizzi alcuni livelli gerarchici, anche se possiamo attribuirlo al pattern punteggiato a un livello più basso – il trend macroevolutivo prodotto dalla selezione di specie, ad esempio. Noi semplicemente preghiamo che il pluralismo guidi le filosofie – e che basilarmente venga riconosciuto che tali filosofie, per quanto nascoste e inarticolate, vincolano tutto il nostro pensiero. [...] Noi crediamo che la visione punteggiata diventerà importante in biologia evolutivista a livelli sia più bassi che più alti rispetto agli eventi di speciazione a cui si riferisce il nostro modello» (S.J. Gould e N. Eldredge, *Punctuated Equilibria: The Tempo and Mode of Evolution Reconsidered*, "Paleobiology", vol.3, n.2, 1977, p.145-6. Traduzione mia).

La teoria gerarchica dell'evoluzione e il “secchio oscillante”

- 17) «La biologia evolutivista presenta a scienziati e studenti una serie sconcertante di fenomeni, che vanno dal dominio delle molecole a quello delle specie e degli ecosistemi, abbracciando 3,8 miliardi di storia della vita sulla Terra. I sistemi biologici sono organizzati gerarchicamente, dove unità più piccole costituiscono le componenti di sistemi maggiori. La gerarchia evolutiva, che si basa sulla replicazione dell'informazione genetica e sulla riproduzione, è un complesso di geni/organismi/demi/specie e taxa superiori. La gerarchia ecologica, basata su patterns di trasferimento di materia e di energia, è un complesso di proteine/organismi/avatar/ecosistemi locali/ecosistemi regionali. Tutti gli organismi fanno simultaneamente parte di entrambi i sistemi gerarchici. L'originale formulazione della selezione naturale di Darwin si accorda facilmente a un diagramma in cui i due sistemi gerarchici sono collocati uno accanto all'altro» (N. Eldredge, *Il “secchio oscillante” ovvero la teoria gerarchica dell'evoluzione* (2008), in “Micro-Mega”, Almanacco della scienza, 6, 2017, pp.79-80).

- 18) Illustrazione della doppia gerarchia di Eldredge presa dal volume a cura di N.Eldredge, T. Pievani, E. Serrelli, I. Temkin, *Evolutionary Theory: A Hierarchical Perspective*, The University of Chicago Press, Chicago and London 2016, p.13.

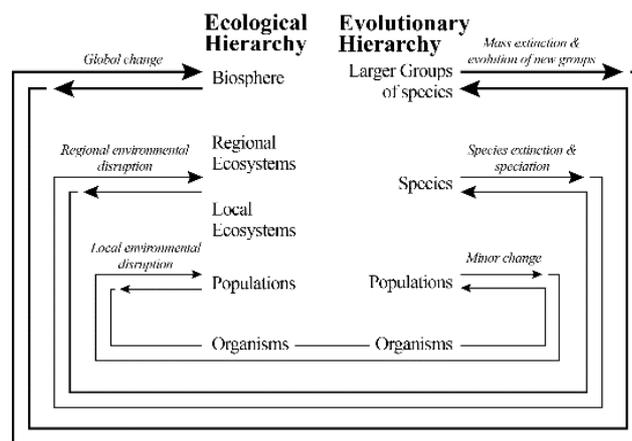


- 19) «Gli organismi fanno sostanzialmente due cose: la prima è ottenere l'energia di cui abbisognano per svilupparsi (quello che per esempio le piante o gli animali fanno dal seme o dall'uovo fecondato); la seconda è che di regola, ma non è sempre così, si riproducono. Allora la differenza tra Dawkins e uno come il sottoscritto è semplice. L'autore del gene egoista sostiene che, in una prospettiva evuzionistica, sarà pur vero che voi vi nutrite per vivere, ma voi vi nutrite per riprodurvi. Procurarsi l'energia è solo una condizione che consente ai geni di perpetuarsi. Io sostengo una tesi meno radicale e cioè che noi mangiamo per vivere. Magari possiamo anche riprodurci, ma da questo non dipende la nostra sopravvivenza. Sostengo inoltre che il successo nel ricavare l'energia per vivere influenzerà mediamente il nostro successo riproduttivo [...]. Dunque intendo la selezione naturale come la ricaduta del successo economico su quello riproduttivo; vale a dire, competiamo per le risorse energetiche al fine di sopravvivere, con possibili ricadute sulla sopravvivenza dei nostri geni nella generazione successiva. Il ragionamento di Dawkins andrebbe invertito, ossia competiamo per le risorse energetiche perché i nostri geni competono per propagarsi» (N. Eldredge, *Le trame dell'evoluzione*, Cortina, Milano 2002, p.3).

- 20) «Se Darwin considerò la competizione per le risorse alla base del successo riproduttivo differenziale, biologi contemporanei alla Dawkins tendono a considerare la competizione per le risorse una manifestazione della competizione per il successo riproduttivo, essa stessa una spinta riportabile ai geni medesimi. Riecheggiando alcuni temi e negazioni più forti in Darwin, la biologia evolutiva contemporanea enfatizza i geni e le interazioni biotiche a spese di legami espliciti con il mondo fisico. L'ecologia svolge un ruolo parziale nella teoria evuzionistica. Inoltre, pattern nella storia della vita – pattern fortemente collegati alla storia fisica della Terra – attendono ancora una piena integrazione con la teoria evuzionistica. [...] la selezione naturale è una “legge” ineluttabile del mondo naturale. Ma non il tipo di legge che molti biologi evolutivi (che definisco ultra-darwinisti) hanno voluto a forza che fosse: come quando essi assegnano agli organismi e specialmente ai geni degli organismi ruoli “attivi”, in competizione, per il successo riproduttivo. Gli organismi interagiscono effettivamente – con membri della stessa specie, di altre specie e direttamente col mondo fisico. La selezione naturale è la ricaduta, la documentazione storica, di quelle interazioni. Ma sono le interazioni stesse a costituire le connessioni vere e proprie tra i sistemi biologici e il resto del mondo fisico» (N. Eldredge, *Le trame dell'evoluzione*, Cortina, Milano 2002, p.130-1).

21) «Nulla accade in termini di discernibile evoluzione morfologica finché il cambiamento ambientale non manda all'aria l'equilibrio ecologico. Una degradazione minore, incluse le morti di singoli individui, non condurrà a un cambiamento evolutivo misurabile. Una quantità considerevole di devastazione, d'altra parte, può portare all'estinzione di interi gruppi maggiori, inducendo l'evoluzione di altri gruppi su larga scala. E su scale spaziotemporali intermedie, dove specie individuali sono condotte a estinzione, ma non interi taxa superiori, si evolvono nuove specie, popolando i nuovi ecosistemi [...]. Maggiore è la grandezza dell'evento ambientale, maggiore sarà il cambiamento negli ecosistemi, inclusa l'entità di perdita di diversità tramite estinzione; maggiore la perdita di taxa superiori, maggiormente diversi saranno i taxa di nuova evoluzione, e dunque la natura degli ecosistemi successivi che hanno sostituito i sistemi precedentemente perturbati. [...] tutto ciò è rappresentabile dall'acqua che oscilla all'interno di un secchio – dove l'ampiezza delle oscillazioni dipende da quanto intensamente viene mosso il secchio» (N. Eldredge, *Il "secchio oscillante" ovvero la teoria gerarchica dell'evoluzione* (2008), in "Micro-Mega, Almanacco della scienza", 6, 2017, pp.89-90).

22) La teoria evolutiva del "secchio oscillante". In N. Eldredge, *Hierarchies and the Sloshing Bucket: Toward the Unification of Evolutionary Biology*, "Evo Edu Outreach", 1, 2008, p.14.



23) «Ogni singolo organismo fa parte allo stesso tempo di due sistemi organizzati in modo gerarchico e radicalmente diversi. Dal punto di vista riproduttivo, un organismo appartiene a un deme, che fa parte di una specie, che fa parte di un ancestrale groviglio discendente di specie che chiamiamo "taxon superiore". Allo stesso tempo, un organismo conduce un'esistenza economica, fa parte di una popolazione locale – un avatar – che essa stessa parte di un ecosistema locale. Quest'ultimo interagisce con altri nell'ambito della stessa regione formando sistemi economici biotici ancora più grandi. Soltanto a forza di attività riproduttive, si formano sistemi genealogici su grande scala. Allo stesso modo, soltanto a forza di attività economiche si formano sistemi economici su grande scala» (N. Eldredge, *Ripensare Darwin. Il dibattito alla tavola alta dell'evoluzione*, Einaudi, Torino 1999, pp.185-6).