

# OMOCENTRISMO VS BIOCENTRISMO

**Giovanni Figliuolo**

Università degli Studi della Basilicata  
giovanni.figliuolo@unibas.it

**Abstract** – L’Antropocene segna l’attuale epoca in cui si assiste alla crescita demografica del tutto naturale di una specie, l’uomo, a scapito di altre specie. Un processo demografico con impatti su scala globale, per i quali l’autore continua a non riconoscere neppure l’evidenza delle scoperte delle scienze empiriche e ostacola la prospettiva culturale orientata al rispetto delle comunità biologiche non antropiche. Queste ultime costituiscono la diversità biologica, affermazione dell’informazione filogenetica sedimentata nei genomi di ciascuna specie, la cui storia naturale, già adeguatamente spiegata dal neo-darwinismo, sancisce il valore etico dell’evoluzione biologica e pone le premesse per un nuovo salto culturale.

**Parole chiave:** antropocene, genoma, evoluzione, specie

## 1. Dal patrimonio genetico alla diversità biologica

Un pulcino, appena nato, segue il primo animale in movimento che incontra, percependolo come un individuo di cui può fidarsi e, contemporaneamente, inizia a nutrirsi sapendo già distinguere le sostanze utili come il cibo da quelle non commestibili. La capacità di distinzione e scelta da parte del neonato è un istinto che lascia intravedere come sia “naturale”, perché già connotata nella struttura del suo sistema nervoso, una conoscenza della diversità biologica. Un istinto ereditabile che preda le future forme di apprendimento.

La natura, quella indagata con particolare profondità dai pensatori greci e latini è stata, invece, più spesso rappresentata da entità essenzialmente fisiche. Un universo che comprende sia gli elementi fondanti della fisica<sup>2</sup>, non viventi, sia quello degli organismi dotati di movimento, ovvero animati secondo la definizione aristotelica<sup>2</sup>. Questi ultimi nei sistemi naturali fondano la diversità biologica<sup>3</sup> e sono i veri e propri organismi biologici, dotati di indipendenza, capaci di riprodursi ed interagire con l’ambiente esterno cercando di conservare la propria identità (invarianza) nella “lotta” per l’esistenza.

Ciascun individuo è un esponente della specie cui appartiene per tutti i tratti che lo compongono, i relativi geni e la capacità di riprodursi. Ciascun gene ha una o più varianti generate dalla mutazione. Ciascuna variante genica è proiettata sul fenotipo tramite l’utilizzo di un codice che consente la traduzione del gene e la sua espressione in “variante” fenotipica<sup>4</sup>. La manifestazione di varianti fenotipiche associata alla presenza di varianti geniche è percepita come diversità genetica intraspecifica. Questo tipo di diversità genetica con effetto “diretto” sul fenotipo è monitorabile come presente o assente, ed è minima o nulla l’influenza dell’ambiente. I caratteri più complessi, invece, tra i quali anche quelli quantitativi (misurabili), sono influenzati da molti geni e dall’interazione con l’ambiente. Pertanto la “diversità fenotipica” intraspecifica per caratteri complessi è la risultante di una componente genetica (genotipo), di una ambientale e dell’interazione tra ambiente e componente genetica che può manifestarsi a diversi livelli di categorizzazione logica. Per ciascuno di questi caratteri i geni possono essere più o meno predittivi in funzione del contesto ambientale, del loro “dosaggio”, dell’entità del loro effetto sul “valore” del fenotipo. Fatta eccezione per quei casi rari

in cui l'individuo è portatore di geni letali o semi-letali o di gravi anomalie cromosomiche, il destino del singolo individuo non è dettato solo dai geni. Ciò nonostante la diversità genetica è il principale determinante della diversità fenotipica totale. L'interazione con l'ambiente non cambia l'informazione del contenuto ereditario dell'individuo, al di là di alcuni effetti secondari lamarkiani attribuibili all'epigenetica. La diversità fenotipica in quanto estensione della diversità genetica, nel giro di molte generazioni consente alla selezione naturale di "scegliere" le varianti geniche più "utili" per la vita dei presenti da trasmettere ai figli.



estrema della diversità genetica colpisce soprattutto le popolazioni piccole e isolate. Il perimetro della definizione di diversità biologica ha consentito di distinguere gli "studi di biodiversità" da altre indagini sul mondo biologico, in modo pragmatico, seguendo il metodo delle scienze empiriche. Lo studio di diversità biologica è appunto inteso come "valutazione sistematica di una griglia completa di differenti tipi di organismi, includendo la tecnologia tramite cui la diversità biologica può essere mantenuta e usata per il beneficio dell'umanità"<sup>5</sup>. Con l'adozione del metodo scientifico l'analisi della diversità biologica perde il suo carattere puramente descrittivo e i segreti dei sistemi

L'interazione con l'ambiente pertanto cambia i numeri e la composizione dei genotipi nelle popolazioni delle generazioni successive, non i geni. La nicchia ecologica, intesa come l'insieme dei parametri ambientali che consentono alla specie di vivere e riprodursi in modo ottimale, è anch'essa in parte determinata (e modificata) dalle specie. Si deduce, pertanto, che la diversità genetica garantisce "l'idoneità ambientale" degli individui, della popolazione e, in definitiva, l'esistenza stessa della specie. Una specie che va incontro a uno stato di "purezza biologica" ovvero di monomorfismo genetico tenderà a perdere il proprio diritto biologico all'esistenza entrando nel tunnel dell'estinzione. La riduzione

naturali possono essere svelati valutando le singole componenti, la composizione e le funzioni che li costituiscono. Ciò nonostante, come per tutte le cose strutturate, anche per i "sistemi naturali" il totale è sempre più grande della somma delle singole parti. In quanto sistema complesso, un individuo, una specie, un habitat, un ecosistema o un intero paesaggio esprime anche "proprietà emergenti" tramite quelle manifestazioni non spiegate dalle singole componenti e che emergono solo per effetto di interazioni interne al sistema o per effetto di pure contingenze. Conseguenza che negli studi di diversità biologica il semplicistico riduzionismo scientifico o una visione olistica

su base logico-teorica non sempre rendono giustizia alla corretta conoscenza della natura. La diversità biologica, in assenza della teoria dell'evoluzione biologica sarebbe rappresentata come un puro collezionismo di francobolli e il suo insegnamento, nei casi più fruttuosi, si manifesterebbe tramite l'esopizzazione della storia biologica.

## 2. La specie

È così immediato riconoscere la specie che quasi sempre nell'indicare un'individualità animale, un insetto, un uccello oppure un esemplare di fiore o di pianta viene spontaneo affermare "questa è la specie" designandone anche il nome. Eppure l'individuo, o l'esemplare di una pianta, non è la specie, non la rappresenta statisticamente, ma sicuramente contiene nel proprio DNA l'informazione minima dell'intera popolazione cui quell'individuo appartiene e quindi della specie. Da solo l'individuo non può riprodurre la specie cui appartiene. Quando quest'individuo trasmette alla propria progenie il materiale ereditario, si riproduce e insieme ai suoi partner svolge il ruolo previsto dalla specie. Ma proprio questo ruolo, la riproduzione, insieme all'informazione genetica che essa convoglia, definirà in modo completo la specie come unità costitutiva della diversità biologica.

La controversia sulla possibilità che una specie possa "modificarsi" in un'altra specie ha sempre occupato l'attenzione dei naturalisti fino all'Illuminismo, scontrandosi con il dogma "fissista" dei creazionisti secondo cui tutte le specie sono state create con un atto unico da un'entità suprema o dei "trasformisti" come Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) che ipotizzano che l'ambiente possa dettare la variazione genetica. Alexander Von Humboldt (1769-1859), illuminista-romantico, conoscitore delle opere classiche, nella sua visione unitaria della natura, considera la specie non come "fissa" ma mutevole; come parte della totalità legata sia al passato che al futuro, le cui forme intermedie è possibile rinvenirle nei reperti fossili<sup>6</sup>. Che le specie evolvano dando origine ad altre specie per effetto della variazione genetica e della selezione naturale

è definitivamente spiegato da Charles Darwin (1809-1882) nell'opera "Origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life"<sup>7</sup> la cui prima edizione è pubblicata l'anno in cui muore Humboldt (1859)<sup>8</sup>.

Il concetto di specie più concreto, particolarmente idoneo per piante ed animali superiori a riproduzione sessuale, è il "concetto biologico" di specie di Ernst Walter Mayr (1904-2005). Secondo il concetto biologico, già ben abbozzato da Lucrezio nel "De rerum natura" (I sec. a.C.), una specie è rappresentata da individui che si incrociano tra di loro con produzione di progenie fertile nell'habitat naturale.



Perché possa esserci riproduzione sessuale, i cromosomi di origine materna e quelli di origine paterna devono essere costituiti da sequenze di DNA sufficientemente simili da consentire un avvicinamento con relativo appaiamento cromosomico in gergo definito "danza dei cromosomi alla meiosi".

Le specie, in quanto unità concrete dell'espressione della vita, definitivamente individuate come unità tassonomiche e filogenetiche da Darwin durante il suo giro intorno al mondo nel XIX secolo, sono state le prime entità oggetto di catalogazione. Attualmente i milioni di specie inventariate sul globo<sup>9</sup> sono l'evidenza dell'evoluzione filetica iniziata a partire da uno o più capostipiti

unicellulari già presenti 3,5 miliardi di anni fa. La conoscenza della diversità biologica è strettamente associata alla coniazione di una catalogazione efficiente, risultata dall'evoluzione culturale e scientifica dell'uomo. La mitologia classica già disponeva di un sistema classificatorio che associava ciascuna divinità dell'Olimpo a un albero di una data specie oppure a un animale. Allora ciascuna specie armonizzava con la personalità della divinità e con la sua funzione<sup>10</sup>.

La classificazione in botanica e zoologia richiede l'introduzione di termini nuovi da associare alle entità da descrivere ed identificare. Platone (428/427 a.C. – Atene, 348/347 a.C.) ritiene che le cose possano essere identificate mediante “nomi naturali” e l'introduzione di nuovi vocaboli rispetto a quelli conosciuti dai primi legislatori debba essere scoraggiata. Aristotele (384/383 a.C. – 322 a.C.) è più liberale, concedendo la possibilità di variazioni fonetiche; il modello linguistico complessivo è statico perché tutti i nomi devono essere scelti nel lessico della lingua greca consolidata. Ciò nonostante Aristotele adotta una terminologia strategica che consente di utilizzare un lessico già presente nel dizionario convenzionale. Egli per definire nuove cose associa la proprietà dell'entità a termini già presenti nel lessico. Quest'associazione consente di racchiudere il concetto nel termine: *koleoptera* significa “con le ali foderate” l'ordine dei coleotteri è rappresentato dagli insetti con le ali foderate. Pertanto, nel periodo ellenistico nascono le prime nomenclature botaniche, zoologiche e anatomiche. Nel Medio Evo tutto sarà dimenticato e libri e papiri saranno distrutti precipitando in una fase storica non scientifica. Durante il Medio Evo gran parte della flora, è classificata con definizioni lunghe e talora fantasiose prima che si arrivasse a riconoscere ciascuna specie utilizzando criteri più sintetici. Bisogna attendere la rivoluzione scientifica del XVII secolo perché si recuperi il metodo scientifico empirico. Nel XVIII secolo Carl Nilsson Linnaeus (1707-1778) pone le basi della classificazione delle specie utilizzando il concetto morfologico e sulla base della logica aristotelica pone in essere il primo catalogo corretto della fauna e della flora

fino a quella data conosciute. Come caratteri tassonomici, primi tra tutti, considera struttura e morfologia del fiore. In questo Linneo è lungimirante. Infatti nel XX secolo si scopre che il fiore, in qualità di organo deputato alla riproduzione sessuale non è per niente condizionato dall'ambiente. La morfologia e la struttura di quest'organo è infatti il risultato di un progetto scritto nei geni. Il fiore essendo, inoltre, un organo sessuale, consente una classificazione correlata a quella basata sul concetto biologico di specie, riaffermato da Mayr nel XX secolo.

La presenza di “caratteri” condivisi entro ciascun gruppo tassonomico consente il raggruppamento degli organismi in categorie omogenee dal punto di vista evolutivo. In sintesi: in base al principio filogenetico secondo cui la similarità precede la diversità, è possibile costruire il grande albero della vita per cogliere la struttura che connette il mondo vivente. Alla base di tutto, come primo carattere condiviso c'è il genoma: gli organismi, di qualsiasi tipo hanno una sequenza di DNA più o meno lunga in funzione anche della loro complessità. Successivamente vi è la presenza oppure l'assenza del nucleo cellulare. Gli organismi sprovvisti di nucleo cellulare sono i Batteri, se dotati di cellule nucleate fanno parte del regno dell'Eukaria (animali, piante e funghi), e gli Arkea sono microrganismi marini arcaici. È relativamente facile, se non spontaneo in quanto prescritto nei geni, individuare le differenze che conducono alla percezione della diversità. Richiede, invece, un'elaborazione logica non banale identificare gli attributi condivisi, tra individui entro specie, tra specie e tra regni, che definiscono la “struttura che connette”.

### 3. Le uniformità precedono le differenze

L'attuale mole di conoscenze sui sistemi cellulari dal livello molecolare a quello biochimico-cibernetico e riproduttivo per poi passare agli organismi superiori, alle specie ed ecosistemi consente di comprendere la complessità dei sistemi biologici. L'acquisizione di queste conoscenze richiede anni di studio, dottorati di ricerca e tecnologie moderne. Infatti capire come si



genera la diversità biologica è più agevole per chi studia l'evoluzione culturale e la genesi delle differenti lingue che per lo studente di biologia. Quest'ultimo facilmente naufraga nei dettagli dei settori disciplinari perdendo il rapporto con la sostanza dei processi evolutivi. Il lessico è un prodotto culturale dell'evoluzione umana<sup>11</sup>. L'evoluzione dei differenti idiomi è molto simile all'evoluzione biologica delle specie anche se il suo percorso si svolge in un tempo breve (storico) rispetto al tempo biologico in cui si svolge la speciazione. Come esempio si considerino l'italiano, il francese e lo spagnolo, lingue che tanto si somigliano. Per un italiano è facile comprendere il francese e lo spagnolo e viceversa per i confronti reciproci. Gran parte delle parole del dizionario<sup>12</sup> – nel confronto tra italiano, francese e spagnolo – hanno molte lettere in comune e identico significato, anche se non mancano parole quasi identiche con significato totalmente differente (omonimie). Le tre lingue non a caso si definiscono neo-latine. Le tre lingue sono iniziate a formarsi (evolversi) nel Medio-Evo dal latino volgare dopo il crollo dell'impero romano (476 d.C.). Prima esisteva una lingua comune: il latino.

Perché le tre lingue si somigliano? Quando ciascuna lingua si è modificata rispetto alle altre due facendo emergere delle differenze? Su che base è possibile ipotizzare minori differenze (distanza) tra l'italiano e il francese rispetto a quelle intercorrenti tra l'italiano e lo spagnolo? Se si considera la variazione delle tre lingue tenendo presente la linea del tempo si osserva che le “somiglianze” lessicali, in un determinato istante, precedono temporalmente sempre le “differenze”. In generale, le somiglianze tra le lingue che si osservano in un dato periodo storico sono più antiche delle differenze. Ciò che unisce,

accomuna, rende simili, si è formato prima delle entità che si differenziano. Parole molto simili, se non identiche, “create” in un periodo molto precedente all'attuale (nella lingua latina dei Romani, “prima” del 476 d.C.). Le tre lingue, così come codificate dai primi dizionari ufficiali, si differenziano per le parole che si sono formate ex-novo o sono variate nella sequenza delle lettere “dopo” la caduta dell'impero romano.

Da allora si sono create differenze tra due grandi gruppi, uno di questi iniziava a dare origine al grande ceppo franco-iberico (Medio Evo), che ha dato origine al francese (842 d.C.) e allo spagnolo di Castiglia (1492); il terzo gruppo si è differenziato in italiano moderno (1400-1500), motivo per cui, probabilmente, il numero di differenze tra castigliano e francese sono inferiori al numero di differenze che intercorrono tra italiano e castigliano e tra italiano e francese. L'evoluzione delle lingue è promossa dai seguenti agenti<sup>13</sup>: mutazione<sup>14</sup>, migrazione<sup>15</sup>, selezione<sup>16</sup> e trasmissione<sup>17</sup>. Da premettere che l'atto creativo corrisponde sempre a una “mutazione” alquanto radicale di una o più unità semantiche.

Oltre alle mutazioni, dopo la caduta dell'impero romano, sono intervenute altre forze evolutive, tra cui la “migrazione”, la “selezione” e la “trasmissione”. Il principio secondo cui “la somiglianza precede le differenze” non è ovvio perché non vale per tutte le cose che compongono l'universo. Non vale per le strutture non biologiche e non è valido per le cose create in un unico atto. A tal riguardo il principio filogenetico, come principio fondante della diversità biologica, rappresenta anche una dimostrazione dell'irrazionalità dell'ipotesi creazionista. Sarebbe un assurdo logico credere nella simultanea creazione di specie molto differenti insieme a specie molto simili.

Così come è irragionevole immaginare la contemporaneità della nascita dei dizionari latino, francese, italiano e castigliano. L'uomo e scimpanzé sono specie simili, perché condividono gran parte del DNA. Pertanto avranno un progenitore comune, un primate ormai estinto, da cui le due specie attuali si sono originate<sup>18</sup>. Gli esseri viventi soddisfano tutti il principio della "pertinenza"<sup>19</sup>. Gli organismi viventi si spiegano scientificamente nelle loro differenze, nelle relazioni tra le parti, nelle forme<sup>20</sup>. Nell'omologia filogenetica e nell'omologia seriale<sup>21</sup>. Se si osserva un granchio risaltano similarità tra parte destra e sinistra, una ripetitività di strutture corporee.



Queste relazioni entro l'individuo sono connessioni di primo ordine. Quando si analizza la somiglianza formale tra un gambero e un granchio si trovano connessioni di secondo ordine come ad esempio la condivisione di coda e chele; allo stesso modo se si confronta l'uomo con un cavallo che condividono quattro arti e un cranio. Se si confrontano i "confronti" tra granchio-gambero e uomo-cavallo si trovano connessioni di terzo ordine come ad esempio la simmetria bilaterale. La gerarchia logica di queste relazioni è, secondo Gregory Bateson (1904-1980), una meta-struttura o "struttura che connette" risultato della storia biologica-evolutiva. La meta-struttura consente di comprendere come le somiglianze

precedono temporalmente (evoltivamente) le differenze. Questa struttura che connette ha consentito di distinguere il vivente dal non vivente prima che le tecnologie consentissero il confronto tra genomi con algoritmi in software semplicisticamente definiti intelligenza artificiale (IA).

Il modello filogenetico basato sul principio della convergenza su un progenitore comune è supportato dal grado di identità delle sequenze del DNA. Come già descritto, la comunità di specie, sia quelle presenti che le estinte, converge sui tre grandi Regni (Batteri, Archea e Eukaria). I tre regni includono diversi phyla che a loro volta includono classi di differenti ordini. Gli ordini includono famiglie di generi differenti e

ciascun genere può essere attribuito a specie differenti.

L'Autore dell'"Origin of species", intuisce questo processo, pur non conoscendo nel 1800 l'esistenza e l'azione della mutazione genetica, tanto che sintetizza il processo di adattamento genetico che porta a nuove unità tassonomiche con queste parole:

"Abbiamo visto che le specie comuni, largamente diffuse ed estese, appartenenti ai generi più grandi<sup>22</sup>, sono quelle che variano<sup>23</sup> di più e che queste specie tendono a trasmettere alla prole modificata la superiorità che ora le rende dominanti numericamente nel proprio paese. La selezione naturale porta alla divergenza dei caratteri e alla frequente

estinzione delle forme di vita meno migliorate ed intermedie."

Quindi il cambiamento ambientale è necessario, ma non sufficiente. Infatti non basta la trasformazione di un habitat affinché si origini una nuova varietà di farfalla. La nostra specie di farfalla è una specie dal colore scuro adattata all'ombra delle chiome di una foresta; bisogna considerare che la popolazione di questa specie di lepidottero sia sufficientemente grande da contenere anche qualche raro esemplare mutato al gene per la sintesi della melanina, pigmento che conferisce colore scuro all'intero corpo. Una mutazione<sup>24</sup> che spegnendo quel gene, per effetto della mancata espressione fenotipica, genera un individuo completamente bianco, molto visibile e facile preda degli uccelli insettivori. Le farfalle bianche pertanto in questo habitat ombroso non raggiungeranno mai l'età fertile che consentirà loro la trasmissione ereditaria del carattere "colore bianco" alla progenie. Ciò nonostante in una popolazione grande di 50.000-100.000 individui dell'insetto solo per effetto della mutazione spontanea per puro caso 1 o 2 individui saranno portatori di questa mutazione<sup>25</sup> e diventeranno numerosi nel caso in cui dalla distruzione del bosco si formerà una lucente prateria in cui ad essere facilmente predate saranno le farfalle scure. Questo tipo di speciazione avviene in centinaia o migliaia di generazioni e prevede non solo un semplice cambiamento di colore ma anche l'affermarsi di geni che presiedono all'isolamento riproduttivo.

La genesi di nuove specie può essere più veloce nel caso di mutazioni cromosomiche. In taluni casi una variazione cromosomica nella specie incipiente che può consistere in un numero non corretto di cromosomi (aneuploidia o poliploidia)<sup>26</sup> oppure in una inversione o in una traslocazione<sup>27</sup>, rappresenta un fattore intrinseco che non consente la produzione di progenie fertile tra la specie originaria e quella derivata. Nelle piante vascolari è frequente l'"evoluzione rapida" che è sempre simpatica.

Quest'ultima, quando possibile, si ottiene mediante ottenimento di individui poliploidi. Coinvolge non i singoli geni ma l'intero pacchetto cromosomico che può incrementare, nella nuova specie, di una o più volte (da 2n

a 3n a 4n, ecc.). Basta anche una semplice generazione per ottenere una nuova specie per poliploidizzazione di quella progenitrice. Circa il 65% delle piante superiori sono poliploidi. Tra le graminacee i cui cromosomi di base sono 7, come esempio l'orzo è diploide con 7 cromosomi di base ( $2n=14$ ), il frumento duro è tetraploide ( $2n=4 \times 7=28$ ), il frumento tenero è esaploide ( $2n=6 \times 7=42$ ). Le specie originarie diploidi, invece, hanno subito un processo di speciazione darwiniana che prevede numerose generazioni. L'evoluzione può portare a differenze tali da formare, da una specie progenitrice, due o più specie nuove adattate a due habitat differenti (speciazione geografica) o allo stesso habitat (speciazione simpatica). Queste specie nuove saranno isolate sessualmente e costituiranno popolazioni separate e differenti. Nel caso della speciazione geografica parapatica sarà possibile una sovrapposizione tra le due popolazioni lungo la fascia di margine tra i due habitat (ecotone). Lungo questa fascia si potranno osservare ibridi interspecifici, sterili o poco fertili, a causa delle condizioni ambientali intermedie.

I fattori antropici accelerano la migrazione delle specie su una scala geografica globale. L'introduzione di una specie in una nuova area geografica non sempre avviene con successo a causa del contesto ambientale biotico e abiotico già occupato da altre cenosi e, la cui nicchia non sempre è idonea. Ma in molti casi il destino della neofita può essere diverso a causa del differente gradimento della nuova nicchia ecologica. La specie introdotta se non si estingue nella nuova area geografica, in funzione delle sue interazioni all'interno della comunità, può diventare "vicariante", "avventizia naturalizzata" oppure "invasiva". Quelle che si comportano da vicarianti presentano le stesse esigenze di nicchia delle specie native le quali si sono evolute e insediate da lungo tempo nell'area. Le vicarianti possono sostituire le native senza alterare la composizione biologica (floristica e faunistica) tipica della comunità. Le naturalizzate<sup>28</sup> pur essendo introdotte da altri areali, dopo un periodo mediamente lungo si adattano senza comportare l'estinzione delle specie native o altri sconvolgimenti ecologici. Le invasive<sup>29</sup>, invece, competono fortemente con le specie

native sottraendo loro risorse e habitat, favorendone la loro estinzione. La specie essendo composta da individui è l'unica unità tangibile all'interno del sistema classificatorio, è "l'atomo" della diversità biologica. All'interno di una specie possono essere presenti le seguenti sotto-categorie tassonomiche le cui perimetrazioni possono essere più o meno precise: Semispecie e "species-complex", morfologicamente simili, spesso distribuite in habitat diversi, con limitata possibilità di scambiare geni tramite la riproduzione sessuale. Razza o sottospecie se ha raggiunto un livello di isolamento riproduttivo soddisfacente ma ancora esiste interfertilità con la specie madre. Seguono la Varietà botanica (var.), la Famiglia genetica (progenie di una coppia), il Deme (unità demografica), la Varietà coltivata (cultivar) derivata dalla selezione antropica. Quest'ultima può essere una "linea pura" che ha raggiunto la completa omozigosi<sup>30</sup> per uno o più caratteri oppure un Ibrido derivato dall'incrocio tra linee pure. Infine il Biotipo è rappresentato da un gruppo d'individui con analogo genotipo e il Clone di individui geneticamente identici perché hanno lo stesso DNA. Com'è facilmente intuibile – in base alla relazione tra insiemi e sottoinsiemi – la diversità dei geni "entro categoria" si riduce progressivamente passando dal livello di specie a quello di razza, varietà botanica, linea pura, biotipo e clone. I gruppi sub-specifici hanno pertanto una distribuzione geografica ben delimitata e più ridotta rispetto alla specie cui appartengono.

#### 4. Storia naturale

Il neo-darwinismo consente di interpretare la diversità biologica passando dal livello di ecosistema a quello di specie, sottospecie fino al cromosoma e gene e viceversa<sup>31</sup>. Ciascun livello rappresenta un livello logico entro cui svolgere le considerazioni pertinenti al processo evolutivo. La confusione tra i tipi logici appena elencati è stata spesso sorgente di ambiguità e inconsistenza di teorie e spiegazioni evolutive proposte in passato. La natura non è indifferente allo scorrere del tempo<sup>32</sup>. La variabile tempo attraversa tutti i livelli appena citati offrendo il paradigma per

leggere l'attuale diversità biologica alla luce dei tempi geologici in cui si sono formati i geni e si è accumulata un'immensa quantità di informazione scritta nella sequenza del DNA. Gli ecosistemi più ricchi, come le foreste tropicali e gli oceani equinoziali, hanno avuto bisogno di centinaia di milioni di anni per formarsi. Il caso ha svolto un ruolo importante nel generare innovazione biologica sotto forma di nuovi geni e nel generare nuove nicchie ecologiche. La selezione invece ha scelto le "novità" più utili in ciascun arco temporale. Nel suo complesso l'evoluzione, composta da una componente casuale (mutazione) ed una deterministica (selezione), è stocastica e non predice una particolare direzione soprattutto se si considera il breve periodo. Ciò nonostante, al di là delle contingenze di breve periodo, la distribuzione delle specie sul globo si è consolidata nel lungo periodo secondo criteri abbastanza prevedibili in parte dalla selezione ambientale e in parte dal tipo di migrazione. Le specie non sono distribuite all'interno degli ecosistemi e nei biomi in modo casuale e ciò è garantito dagli agenti che operano un'attività di selezione. L'evoluzione di una particolare specie al posto di un'altra, nel determinare una speciale impronta alla diversità biologica di un ecosistema, è avvenuta in tempi lunghi, attivati molto spesso da contingenze casuali.

Tra i prodotti della selezione sono inclusi anche importanti sistemi di regolazione che consentono ad una specie in un ecosistema di non proliferare al di sopra di una certa soglia così come a livello di individuo di evitare che la funzionalità di un organo o un apparato vada in "fuga" a scapito dell'intero organismo<sup>33</sup>.

Sistemi simili, a retroazione negativa, sono stati inseriti nelle macchine ed impianti (freno, volano, termostato, interruttore, ecc.) per consentire uno loro funzionamento equilibrato. Gli eventi casuali operano e si diffondono in modo casuale, sicché alcuni di essi hanno esito più favorevole, come le mutazioni che migliorano la vita, altri sono sfavorevoli perché la impattano negativamente, altri ancora sono indifferenti o neutrali. A questo insieme di eventi si

combina la selezione naturale, non casuale ma direzionale perché favorisce, in quel particolare periodo ed ambiente, solo le popolazioni impattate da mutazioni che ne favoriscono la sopravvivenza. Il neo-darwinismo, non è rigido, non disconosce "l'aspirazione all'esistenza" di ciascun organismo in quella propensione da Darwin definita "lotta per l'esistenza". Ne consegue che le specie in quanto popolazioni di organismi viventi sono anche unità etiche il cui carattere "aspirazione all'esistenza" è di tipo logico superiore ad altre categorie fenotipiche. I processi di speciazione a partire dal primo organismo unicellulare apparso 3,5 bya hanno prodotto un grande numero di specie. Oltre il 99% di esse si sono estinte nei tempi geologici mentre altre si sono formate. Secondo i paleontologi ci sono state almeno 6 grandi estinzioni di massa sulla terra. Ogni grande estinzione ha eliminato almeno il 40% delle specie<sup>34</sup>. Attualmente sul globo è presente meno dell'1% delle specie apparse sulla terra a partire dai suoi albori.

Alessandro Von Humboldt è lo scienziato che per primo e meglio dei suoi contemporanei e successori<sup>35</sup> descrive, tra la fine del 1700 e il 1850, la Natura come una entità unitaria, facendo convergere nelle sue opere sensibilità umanistica e conoscenza scientifica. Le forze della natura interagiscono in un armonico nesso, generando un cambiamento dinamico<sup>36</sup> piuttosto che equilibrio e stabilità. Alla base di questa struttura unitaria della natura c'è il manto vegetale il quale nel costituire la vegetazione - secondo Humboldt - genera ornamento e bellezza dei paesaggi e, nel contempo, consente l'esistenza di altre forme viventi tra cui gli animali<sup>37</sup>.

Al di là degli aspetti estetici e paesaggistici, con la rivoluzione scientifica del XVIII secolo, la natura necessitava di essere "contata e misurata" mediante un metodo di indagine che integrasse le osservazioni qualitative con quelle quantitative. Dal mondo dell'approssimazione si passa al mondo della precisione<sup>38</sup>. Nelle sue indagini biogeografiche Humboldt quantifica tutte le sue osservazioni: specie biologiche, coordinate geografiche, altimetria, nitidezza del cielo, temperatura e umidità entro ciascun habitat.

Nel rappresentare i dati, talvolta anche in forma artistica, trovansi le relazioni tra diversità biologica e luogo, deducendo le regole di funzionamento degli ecosistemi. Humboldt è il primo studioso che stima la diversità delle fanerogame<sup>39</sup> adottando un approccio geniale da lui stesso definito "botanica aritmetica". Oggi sono state identificate sul globo con sufficiente chiarezza mediante i caratteri tassonomici 248.400 specie fanerogame<sup>40</sup>, ricchezza non molto distante da quella stimata da Humboldt alla fine del 1700 quando circa la metà del globo non era stato ancora esplorato. Sulla base del principio dell'"unità della natura" Humboldt intuisce che esistono rapporti ben precisi tra composizione di specie (flora) e tipo di manto vegetale (vegetazione) in ciascuna delle differenti zone (isoterme) del globo. Humboldt calcola per ciascuna zona a lui nota i "quotienti" botanici. Il quoziente botanico è il rapporto tra il numero di specie di una determinata famiglia e il numero di specie totali presenti in un dato "tipo di vegetazione". Le specie di una data famiglia diminuiscono o aumentano secondo la latitudine rispetto alla ricchezza totale entro ciascuna zona. Humboldt considerando i quozienti delle composite (media 1/12) ed utilizzando 12.000, il numero di specie appartenenti alle composite complessivamente riconosciute negli erbari nei primi anni del XIX secolo, stima una ricchezza globale di 144.000 specie fanerogame (12.000 x 12). Considera anche che il numero di specie di composite determinate è inferiore a quello vero e, circa la metà delle specie non sia stato ancora scoperto per il semplice fatto che il globo era stato solo parzialmente esplorato ai suoi tempi. Corregge la ricchezza totale di fanerogame portandola tra 160.000 e 213.000. Quest'ultimo numero non è molto distante da quanto determinato 200 anni dopo Humboldt!

#### 5. Bio-strutture dell'apprendimento

In definitiva la storia naturale è la risultante di una teleonomia che converge sul genoma. L'ontogenesi di ciascun organismo dipende dall'espressione genica, cui seguono interazioni chimiche e biochimiche, reti metaboliche endocellulari, specializzazione cellulare e funzioni di controllo che

assicurano la conservazione degli organismi viventi. Organi e sistemi cellulari oltre allo sviluppo dell'individuo consentono una sua apertura all'ambiente con cui interagiscono. L'interazione con l'ambiente è condizione necessaria all'apprendimento e all'evoluzione culturale. Per quanto l'evoluzione culturale sia considerata un requisito degli organismi più complessi, tra cui l'uomo, non la si può escludere per altre specie perché ancora non studiate adeguatamente. I sistemi dell'apprendimento di piante e insetti sono sicuramente estremamente evoluti. Il sistema immunitario e il cervello dei mammiferi rappresentano le più sofisticate



bio-strutture deputate all'apprendimento. Strutture e funzioni rispettivamente del sistema immunitario integrate nel tessuto emolinfatico e del cervello integrate nel sistema nervoso che consentono all'individuo di aprirsi all'ambiente e di interagire con l'esterno. Le straordinarie funzioni svolte dalle cellule microscopiche del sistema immunitario (plasmacellule) e da quelle macroscopiche del sistema nervoso (neuroni) gettano nuova luce sulle modalità di adattamento all'ambiente, sul cambiamento psico-fisico e culturale. L'interazione con l'ambiente consente cambiamenti somatici di diverso ordine che vanno dalla pigmentazione, alla resistenza a malattie, immunità, tolleranza, ecc., fino ai cambiamenti comportamentali (etica).

A questo punto bisogna sottolineare come la "capacità di cambiare" indichi una forma di apprendimento i cui limiti delle classi di espressione sono biologicamente fissati. Ad esempio la variazione del colore della pelle per esposizione al sole è determinata dal gene funzionale che consente la sintesi del pigmento ed altri geni che regolano quantità e tipo di distribuzione cellulare del pigmento. In assenza di questi geni la pelle si brucerebbe. Il "cambiamento" cromatico "non" dipende dal sole. Lungi dal sostenere un determinismo semplicistico, ciò non significa che le variazioni fenotipiche per tutti gli attributi siano pienamente ereditabili<sup>41</sup>.

Esistono attributi (caratteri) il cui cambiamento è dovuto a una espressione "diretta" del gene sul fenotipo (pigmentazione, impronta digitale, ecc.), altri la cui espressione richiede livelli di elaborazione biologica più alti in cui l'espressione genica consente la "necessità" dell'effetto di interazioni e controlli più complessi. Caratteri come l'immunità, la costituzione fisica, il grado di cultura, il comportamento sociale e socio-ecologico, sono esempi di attributi il cui cambiamento nel manifestarsi con fenotipi differenti nella popolazione, è il risultato dell'interazione del genotipo individuale con l'ambiente (interno ed esterno all'individuo). Dall'apprendimento consegue un'ulteriore capacità di cambiare, questa capacità a sua volta è ancora

apprendimento e, ancora, continua ad essere apprendimento la capacità della capacità di apprendimento. I caratteri complessi si trasmettono alla generazione successiva per via ereditaria solo nella componente dovuta ai geni (quelli che consentono l'interazione con l'ambiente), la rimanente parte di cambiamento dura solo una generazione<sup>42</sup>. Infatti l'evoluzione culturale, in particolare, è molto instabile sulla linea del tempo che segna l'evoluzione della specie. Ciò nonostante, pur sviluppandosi in una sola generazione, al pari dell'evoluzione biologica, quella culturale è connotata da una simile dinamica. L'evoluzione culturale essendo il risultato della combinazione di una componente casuale dovuta alle contingenze ambientali quasi mai prevedibili (caso) e una deterministica associata al fatto che ciascun individuo nel suo comportamento quotidiano prende decisioni tramite scelte raramente rimandate al caso

*“Negli animali superiori e, pertanto, nell'uomo due apparati cellulari raggiungono livelli tanto sofisticati di organizzazione da rappresentare delle eccellenze biologiche in termini di coordinamento e cooperazione cellulare da consentire funzioni che vanno oltre la sensorialità percettiva e l'esperienza.”*

(selezione), ha anch'essa una natura stocastica. I due sistemi stocastici, evoluzione genetica ed evoluzione culturale, in parte interagiscono ma l'eventuale effetto di una data cultura nel selezionare particolari geni richiede numerose generazioni<sup>43</sup>. Raffinatezza e complessità degli organismi biologici sono il risultato di "aggiustamenti graduali di strutture e funzioni" avvenuti in milioni di generazioni (macroevoluzione). In questo modo una enorme mole di informazione si è concentrata in una macromolecola, la doppia elica, miniaturizzata in ogni singola cellula in almeno due copie. Una copia di questa informazione viene segregata nella cellula gametica al momento della riproduzione. L'informazione genetica contenuta nella doppia elica consente la progettazione di sistemi sofisticati deputati all'apprendimento e all'elaborazione della conoscenza; tra questi,

come già accennato, primeggiano il sistema immunitario e quello nervoso.

## 6. Miniaturizzazione dell'informazione

Gregorio Mendel nel 1860 scopre tramite inferenza scientifica la natura fisica delle entità microscopiche che presiedono alla manifestazione dei caratteri individuali (le chiama "particelle", oggi "geni") e le leggi che regolano la trasmissione ereditaria dei caratteri<sup>44</sup>: l'informazione genetica che consente la vita e la riproduzione di ciascun individuo ha natura "particellare" (oggi si direbbe "molecolare") ed è rappresentata da unità di trasmissione ereditaria rappresentate dai geni; i geni sono entità fisiche discrete e concrete, non semplice flusso di energia, fluido parentale o "forza vitale"<sup>45</sup>. Mendel con esperimenti galileiani dimostra con l'evidenza dei numeri le regole di trasmissione genetica che consentono a individui parenti di essere più somiglianti per uno o più attributi rispetto a individui non parenti. Verifica anche come l'informazione genetica di un individuo, al momento della divisione delle cellule germinali, si dimezza segregando equamente e in modo indipendente in ciascun gamete; informazione che si ricomporrà all'unità e in nuove combinazioni nello zigote. Non conosce ancora l'esistenza dei cromosomi quali strutture vettrici di geni e non conosce, pur intuendola, la divisione cellulare che presiede alla formazione delle cellule sessuali. La scoperta della struttura chimica e fisica del DNA (acido deossiribonucleico a doppia elica), ad opera di Franklin, Watson e Crick (1953) chiarisce definitivamente anche la natura molecolare del gene, la sua conformazione e dimensione che consentirà di scoprire come esso muta, come si ricombina e come si esprime nei fenotipi. I geni sono fatti di DNA, un polimero di quattro differenti "lettere" a elica duplice; entro ciascuna cellula dell'organismo i geni sono prima trascritti in un messaggio speculare di RNA (polimero a singola elica) il quale a sua volta è tradotto tramite un codice (universale tra gli organismi viventi) in proteine (sorta di collana di perle che forma un glomerulo) direttamente o indirettamente responsabili della manifestazione del fenotipo (resistenza

a un patogeno, forma dell'organo, colore dell'organo, capacità di effettuare un lavoro, ecc.) A livello di popolazione il fenotipo per un dato carattere è costante, ovvero monomorfo, quando esiste solo una variante per il gene che lo presiede; è molteplice, ovvero polimorfo, se esistono più varianti di quel gene nella popolazione<sup>46</sup>. Considerando l'elevato numero di caratteristiche che costituiscono un individuo, da quelle morfologiche a quelle fisiologiche e molecolari, nei primi quarant'anni del XX secolo si ipotizza che i geni dovessero essere numerosi: diverse migliaia. Nelle specie più complesse in termini di numerosità di



DNA totale contenuto in una singola cellula. L'informazione contenuta nel restante 99% del genoma a cosa potrà servire e, al di là della funzionalità, quale potrebbe essere il suo significato? Un'informazione di così grande magnitudine, quella genetica che presiede alla vita di ciascun individuo e all'evoluzione per ciascuna specie, rappresentata da migliaia di geni e milioni di sequenze, dove potrà essere contenuta, protetta e mantenuta in uno stato di funzionalità? Negli eucarioti la cellula ha evoluto il nucleo, un involucro all'interno del quale è custodito il genoma sotto forma di un lungo filamento di doppia elica di DNA spiralizzato e compattato sotto forma

di caratteristiche che specificano un individuo a tutti i livelli (piante superiori e vertebrati), la numerosità dei caratteri trasmissibili ereditariamente dovrebbe implicare anche un numero di geni più elevato rispetto a organismi semplici come i procarioti e altri piccoli organismi. Un organismo semplice come il moscerino della frutta dispone almeno 4.000 geni in ciascuna cellula del suo corpo mentre in uomo sono almeno 40-50.000 i geni che si "esprimono". Ciò nonostante, negli organismi superiori, uomo compreso, a differenza di virus, funghi, batteri e artropodi, l'informazione rappresentata dai geni è solo una piccola frazione dell'informazione totale contenuta nella sequenza del DNA cellulare. I geni rappresentano solo l'1% del

di cromosomi. Il volume microscopico del nucleo cellulare, una sfera dal diametro medio di 3 millesimi di millimetro (3 micron)<sup>47</sup> è compatibile con la gran quantità di genoma costituito da DNA? La sequenza del DNA è raffigurata da quattro lettere dell'alfabeto (i nucleotidi: A, G, T, C), ciascuna delle quali realmente identifica uno dei quattro mattoni molecolari che costituiscono ciascun filamento della doppia elica. Linearizzando la doppia elica contenuta in uno spermatozoo (o in un'ovocellula) si ottiene una molecola di DNA lineare della lunghezza totale di almeno 2 metri dovuta alla presenza di  $3 \times 10^9$  nucleotidi. In termini di lettere stampate su un testo convenzionale sono 3 miliardi di lettere dell'alfabeto equivalenti a 1 milione

di pagine che costituirebbero i volumi di una intera biblioteca accademica. Questa è tutta l'informazione miniaturizzata in un volume di una sfera di tre millesimi di millimetro di diametro (il nucleo) posta all'interno di un gamete. Nel prodotto della fecondazione (lo zigote) e, di conseguenza, in ciascuna cellula del corpo la quantità di informazione sarà ovviamente doppia ( $2 \times 3 \times 10^9$ ), ovvero l'informazione contenuta in due biblioteche accademiche. Trattasi di una macromolecola lineare (4 m di lunghezza) che riesce a farsi contenere in un volume microscopico in funzione del fatto che è sottilissima (2,2 nm di spessore) e più volte spiralizzata così come il filo di seta all'interno di una matassa. Infatti, la "matassa" è visibile al microscopio ottico sotto forma di cromosoma. Il corpo umano costituito da circa  $10^{14}$  cellule oltre all'abbondante acqua, proteine, grassi e minerali conterrà complessivamente almeno 200 grammi di DNA<sup>48</sup>. Nonostante gli avanzamenti della biologia molecolare, che ha consentito di chiarire il ruolo delle sequenze geniche (circa l'1% del totale) nel determinare tutte le proteine essenziali per lo sviluppo e il funzionamento delle cellule e quindi dell'organismo, il ruolo della rimanente imponente massa molecolare dell'acido deossiribonucleico resta abbastanza ignoto. Anfibi e piante superiori sono gli organismi con un contenuto di DNA nucleare maggiore se confrontati con altre specie appartenenti sempre al gruppo degli eucarioti. Le sequenze di questa grande massa di DNA pur non esprimendosi in proteine non sono distribuite a caso; a seconda delle regioni e dei "volumi" di questa libreria i cui "scaffali" sono rappresentati dai singoli cromosomi, ci sono sequenze brevi che fungono da regolatrici dell'espressione dei geni, altre ripetute in tanti tandem e con periodizzazioni non casuali così come sono ripartite le note musicali su un pentagramma. Probabilmente fungono da impalcatura e organizzano l'enorme massa molecolare durante le fasi di solubilizzazione citoplasmatica e di spiralizzazione/condensazione in cromosomi che si alternano durante le fasi del ciclo cellulare. Altre ipotesi considerano semplicemente questa gran massa di DNA inutilizzata dal codice genetico (infatti

non si traduce) quale risultato di una forma di parassitismo di sequenze che si sono duplicate opportunisticamente trasponendosi talvolta in posti ben precisi (trasposoni). Suggestive interpretazioni sono esposte dall'antropologo Jeremy Narby il quale tenta di stabilire connessioni tra la comprensione biomolecolare del DNA della scienza moderna e la conoscenza impartita allo sciamano dalle allucinazioni indotte dall'ayahuasca<sup>49</sup>.

## 7. Due sistemi cellulari

Ciascun individuo eucariotico, sia esso pianta o animale, come entità pluricellulare può raggiungere notevoli dimensioni in funzione della specie cui appartiene. Tra gli individui più grandi in termini di massa corporea, attualmente presenti sulla terra, si annovera un individuo appartenente al genere *Populus* e anche un fungo appartenente al genere *Armillaria*. Nel primo caso da un singolo albero, sulle radici distribuite a raggiera dall'asse principale si sono sviluppati un numero notevole di polloni diventati a loro volta alberi che replicano il modello del capostipite tramite radici pollonanti. Il risultato è un bosco di alberi geneticamente identici in quanto convergenti su un'unica cellula capostipite. Allo stesso modo il fungo *Armillaria*, con sviluppo prevalentemente sotterraneo, da un'unica spora ha sviluppato un micelio dalla massa imponente che investe diversi ettari di terreno.

Anche gli 80 kg del corpo umano contengono 12 mila miliardi di cellule convergenti sulla cellula capostipite (zigote); ciascuna contenente la stessa sequenza di genoma. Se CACACACA è la sequenza più ripetuta all'interno del genoma umano la cui funzione è ignota; circa 50.000 geni, invece, si esprimono in termini di caratteri individuali. Bisogna sottolineare come, nonostante le cellule dell'individuo contengano il medesimo genoma, l'informazione genetica di ciascuna cellula all'interno dell'organismo si esprime in modi differenti, in funzione dell'organo, dell'età e delle funzioni da svolgere, seguendo uno schema cooperativo così come prescritto dall'evoluzione<sup>50</sup>. Negli animali superiori e, pertanto, nell'uomo due apparati cellulari raggiungono livelli

tanto sofisticati di organizzazione da rappresentare delle eccellenze biologiche in termini di coordinamento e cooperazione cellulare da consentire funzioni che vanno oltre la sensorialità percettiva e l'esperienza<sup>51</sup>. Funzioni solo in parte scoperte con lo sviluppo della biologia cellulare e per la maggior parte ancora ignote. Memoria, coscienza, conoscenza, allucinazione, sogno, resistenza e immunità sono il risultato della specializzazione e della cooperazione delle funzioni cellulari dei due sistemi: il sistema



immunitario e il sistema nervoso. Entrambi i sistemi – per quanto differenti, il primo con cellule in un fluido (sangue e linfa), il secondo una rete di connessioni fisiche di cellule nervose – entrano in contatto con tutte le parti dell'organismo, dal centro sino alla periferia. Il sistema immunitario è quello che più di altri apparati distingue i vertebrati da altri animali. La sua massima specializzazione è riassumibile nella discriminazione biochimica. Quello nervoso invece è specializzato nella capacità di percezione e controllo basato sulla trasmissione elettro-chimica. L'individuo non è un sistema totalmente chiuso e la sua necessaria apertura verso l'esterno purtroppo lo espone anche a pericoli, tra cui l'invasione di patogeni,

virus e batteri in particolare. Le funzioni cellulari e chimiche del sistema immunitario consistono nel distruggere gli invasori dopo aver riconosciuto il “sé” in termini di proprie cellule e molecole. Rispetto ai non vertebrati il sistema immunitario ha sviluppato una categoria di cellule che effettuano questa discriminazione: i linfociti. Questi sono in grado di discriminare un numero quasi infinito di sostanze proteiche diverse da quelle proprie dell'organismo. I linfociti elaborano molecole proteiche chiamate anticorpi capaci

di riconoscere la specifica disposizione atomica di molecole proteiche (epitopi antigenici) che emergono sulla superficie di virus e batteri così come di sostanze proteiche più o meno pure, indipendenti, presenti nei vaccini o assorbite direttamente dall'ambiente (anche artificiali). Questi anticorpi non riconoscono le proteine appartenenti allo stesso organismo. Si legano solo alle molecole “intruse” scatenando, nel caso dei patogeni, una sistemica e complessa reazione di difesa a livello emolinfatico inducendo anche una memoria di quel pericolo nell'individuo che ha appena sconfitto il patogeno. Anche gli anticorpi sono proteine; queste sono il prodotto della traduzione da un numero molto limitato di geni presenti nel nucleo delle cellule madri

del plasma. Come mai un numero limitato di geni codifica un numero quasi infinito di proteine anticorpali? Quest'arcano è stato scoperto negli anni Settanta del XX secolo<sup>52</sup>. Nelle cellule madri dei linfociti, al momento della loro divisione, il DNA dei geni anticorpali varia casualmente (ricombinazione somatica) generando su milioni di cellule che si dividono, milioni di combinazioni differenti che porteranno alla sintesi di milioni di anticorpi configurati in modo da riconoscere potenzialmente milioni di epitopi antigenici. Solo poche cellule si svilupperanno secondo il modello dell'albero di pioppo che forma il macro-individuo di cui all'inizio del saggio. Queste cellule sono proprio quelle che riconosceranno in modo efficace (saranno selezionate da) le sostanze proteiche portate da organismi patogeni provenienti dall'esterno. Queste cellule formeranno cloni, cioè popolazioni di cellule che producono un solo tipo di anticorpo. Un processo stocastico, tipico nell'evoluzione biologica e cognitiva, in cui si accoppia la generazione casuale di mutazioni che generano anticorpi ed uno deterministico di selezione di poche categorie cellulari (quindi anticorpali) da parte dell'antigene intruso. Questi anticorpi sia direttamente sia indirettamente tramite reazioni complesse mediate sempre dai linfociti, una volta vinta la battaglia contro il patogeno conserveranno la loro memoria in linfociti quiescenti in assenza del nemico. Come retroazione negativa, il sistema immunitario distrugge, invece, i linfociti che producono anticorpi contro cellule del proprio organismo prima che diventino veri e propri cloni per evitare l'autoimmunità. La cellula nervosa, invece, è costituita da un corpo e da prolungamenti (assoni) che possono raggiungere misure notevoli in funzione della

dimensione dell'organismo. Una estremità di questi prolungamenti è sensibile a uno stimolo fisico o chimico, l'altra estremità è in grado di rilasciare un segnale chimico (neurotrasmettitore). Uno stimolo chimico o fisico a una estremità genera un eccitamento elettrico che in tempi rapidi si trasmette all'altra estremità inducendo il rilascio del neuro trasmettitore che agisce a sua volta su altre cellule del sistema nervoso. La comunicazione rapida (elettrica) del segnale a differenza di quella chimica (ormoni, sali minerali o anticorpi) consente risposte rapide alle variazioni esterne.

La cellula nervosa di un lombrico non è molto diversa da una cellula nervosa di un animale più complesso. La differenza più importante che distingue gli animali più complessi è rappresentata dalla numerosità di cellule nervose connesse tra di loro e funzionalmente organizzate in un sistema<sup>53</sup>.

Negli animali meno complessi dell'uomo gli schemi possibili delle connessioni tra cellule nervose sono in gran parte codificati nei geni e pertanto i modelli di comportamento essendo prescritti geneticamente si evolvono solo per mutazione genetica. I sistemi nervosi di questi animali sono pertanto in grado di rispondere a variazioni ambientali abbastanza prevedibili e regolari. In questi ultimi casi, un cambiamento comportamentale sostanziale sarà di tipo biologico-evolutivo e richiederà tempi lunghi (numerose generazioni). Negli animali cosiddetti “superiori”, uomo compreso, oltre alle connessioni nervose prescritte dall'evoluzione biologica geneticamente determinate, esistono le connessioni che possono modificarsi più rapidamente quale risposta all'attività elettrica provocata da influenze ambientali.

Influenze ambientali imprevedibili o irregolari quali ad esempio stimoli fisici e chimici provenienti dall'ambiente (una nuova lingua, una variazione di habitat, musica, cibo, molecole psicoattive) generano configurazioni tra le connessioni nervose che costituiscono “l'apprendimento”. Quest'ultimo genera un'evoluzione rapida del comportamento denominata “evoluzione culturale”, la quale, come già accennato, avviene nell'arco dell'esistenza dell'individuo e non è trasmissibile geneticamente. Se non tutto il comportamento è determinato geneticamente ne consegue che le “esperienze” durante la fase di sviluppo di un individuo sono essenziali per la costruzione di configurazioni nervose che diventano permanenti nel corso della vita. Le connessioni cerebrali si modificano in conseguenza di attività elettriche ovvero di “quell'esperienza” in grado di modificare le connessioni delle terminazioni nervose in modo permanente. In questo modo è possibile parlare la lingua madre, avere affetti, un credo religioso, essere persone con senso civico e senso socio-ecologico. Nonostante l'estinzione massiva di specie biologiche il sistema culturale corrente esclude dal proprio ambito la diversità biologica come dato “oggettivo” della storia naturale. Di qui la necessità di utilizzare le scienze fisiche e biologiche (senso lato) per oggettivare la “comunità” di specie (incluso l'uomo) e il suo importante ruolo sia nel macrocosmo che nel nano-cosmo. Necessità corrispondente alla responsabilità di impedire ulteriori minacce alla civiltà e alla salute della biosfera: una nuova frontiera etica più efficace nella tutela della complessità della vita, espressione di una nuova “tradizione<sup>54</sup>” per il futuro.



## Note

<sup>1</sup> Fuoco, aria, acqua e terra

<sup>2</sup> L'anima nella fisica aristotelica corrisponde al perno che consente il movimento che “anima” una porta o una ruota

<sup>3</sup> Nella sua definizione originaria (National Academy of Sciences and Smithsonian Institute, 1988) BioDiversity è la prima formula che individua la diversità di specie, la diversità genetica e la diversità di ecosistemi come tre grandi categorie che nel loro insieme compongono, strutturano e rappresentano la biosfera ai differenti livelli. L'entomologo Edward Osborn Wilson (1929-2021) nel 1992 riporta nel bestseller “The diversity of life” la definizione integrale, rendendola popolare, riproposta sempre nel 1992, nel secondo articolo della Convenzione di Rio: “Biodiversità è la varietà di organismi considerati a tutti i livelli, dalle varianti genetiche appartenenti alla stessa specie, agli insiemi di specie, di generi, famiglie, fino ai livelli tassonomici superiori; essa include la varietà di ecosistemi che comprendono sia le comunità di organismi entro particolari habitat sia le condizioni fisiche entro cui essi vivono”.

<sup>4</sup> Fenotipo deriva da “phenos” = “ciò che appare”

<sup>5</sup> Edward O. Wilson, 1992. The diversity of life.

<sup>6</sup> L'origine della paleontologia risale al periodo ellenistico quando Senofonte (VI a.C.) osserva conchiglie fossili e impronte di pesci in aree molto distanti dal mare. A partire dal V sec. a. C. alcuni fossili erano stati identificati come resti di animali appartenenti a specie estinte. George Cuvier, nel XIX sec., il fondatore della paleontologia moderna, e sostenitore del catastrofismo quale fattore evolutivo, secondo il prof. Lucio Russo (2001), conosceva le scoperte degli ellenisti. I sostenitori della fissità delle specie hanno sempre osteggiato la considerazione dei reperti fossili.

<sup>7</sup> Il titolo originale dell’”Origine delle specie” rende chiaro e ben sintetizza il contenuto dell’opera.

<sup>8</sup> Darwin nel XIX secolo definisce con il metodo scientifico l'evoluzione delle specie. L'argomento è però già affrontato nella Grecia antica da Aristotele. Quest'ultimo, però, nella sua impostazione teleologica intravede un principio finalistico quale agente determinante la formazione delle specie. In base alla logica finalistica le specie con le proprie strutture anatomo-funzionali si sono formate come risposta a un “fine” e non per caso o necessità.

Ad esempio, la natura consente ai carnivori di avere denti canini lunghi e affilati con il fine di penetrare la carne, mentre gli incisi affilati degli erbivori hanno il fine di tagliare l'erba. Ciò nonostante Aristotele prefigura l'intervento della selezione naturale e ammette che le modificazioni di morfologie e funzioni, quindi la formazione di una specie in specie nuove, possa avvenire non per rispondere a un dato fine ma solo per “caso”, accidentalmente tanto che “quegli esseri si sono salvati perché costituiti accidentalmente in modo opportuno; quelli, invece, per i quali ciò non è avvenuto, si sono estinti e si estinguono” (Physica II). E' già evidente il ruolo giocato dalla selezione naturale. L'allievo di Aristotele, Teofrasto, botanico, ipotizza anche l'origine della variazione biologica, sviluppando una vera e propria teoria delle mutazioni (prodotte come entità casuali) che si trasmettono in modo ereditario, generando modifiche graduali di generazione in generazione in condizioni ambientali in cui opera la selezione naturale che detta le necessità. Nel corso di molte generazioni i mutamenti possono essere così grandi da favorire la nascita di una nuova specie. Il concetto di mutazione e selezione naturale era già presente nel periodo ellenistico e, probabilmente pare che fosse anche matura una vera teoria dell'evoluzione naturale di cui non si hanno evidenze a causa della perdita delle opere scientifiche dell'epoca. Lucrezio, in epoca romana, riprende l'argomento della selezione naturale dal pensiero di Aristotele e conia il concetto di specie, quasi identico a quello attuale, intesa come gruppo di animali interfeondi e, riprendendo le fonti ellenistiche che interpretano le trasformazioni della terra, inquadra anche il processo che conduce all'evoluzione delle specie pur non avendo ancora risolto il problema dell'origine della vita, per la quale ipotizza una “generazione spontanea”. In: L. Russo, 2002. La rivoluzione dimenticata.

<sup>9</sup> Non si conosce la stima del numero di specie ospitate dalla terra. Il numero potrebbe oscillare tra 10 e 100 milioni. Quelle attualmente scoperte di cui si conosce “nome e cognome” sono solo una frazione del totale. Escludendo microrganismi come virus, batteri e forme simili (monera), il numero totale di specie conosciute sono 1.407.100 rappresentate secondo queste proporzioni nei principali gruppi tassonomici: Insetti (751.000), Piante superiori (248.400), Animali - non insetti (281.000), Funghi (69.000), Protozoi (30.800), Alghe (26.900). In: E. O. Wilson, 1992. The diversity of life.

<sup>10</sup> Jacque Brosse, 1989. Mitologia degli alberi.

<sup>11</sup> Luigi Cavalli Sforza, 1995. Geni popoli e lingue.

<sup>12</sup> Il dizionario di una lingua è analogo al genoma di una specie molto semplice: il dizionario è un codice che elenca la sequenza di tutte le parole, ciascuna costituita da una sequenza di lettere, specifiche di una lingua; il genoma (DNA) è un codice che in successione contiene tutti i geni, ciascuno costituito da una sequenza di basi nucleotidiche, specifici di una data specie. Esemplicando si osservano le seguenti analogie: dizionario = genoma; parola=gene; lettera dell'alfabeto = nucleotide del DNA (raffigurata da 4 lettere: A, G, C, T); sequenza di lettere nella parola = sequenza di nucleotidi nel gene; trascrizione e traduzione delle parole = trascrizione e traduzione dei geni; lingua di una nazione = esistenza di una specie.

<sup>13</sup> In genetica si utilizza “forza” invece che “agente” evolutivo probabilmente perché si sarà preso inopportuno il termine in prestito dalla fisica.

<sup>14</sup> La mutazione genica può consistere in una inserzione, delezione, inversione di uno o più nucleotidi del DNA con effetti sul significato dell'informazione del gene; mutazioni più estese possono variare la successione di differenti geni. In linguistica la mutazione nella sequenza di lettere può comportare per una o più parole un cambiamento fonologico (suono), semantico (significato) o grammaticale (nella struttura che organizza la sequenza di verbo, soggetto e complemento). Alcune parole mutano molto (tasso di mutazione alto) probabilmente perché si usano con più frequenza, generando in tal modo parole differenti con lo stesso significato (sinonimi); nella specie un gene che si replica molto (es. un gene di una data specie virale) genera ugualmente molte “varianti” sinonime del gene ancestrale.

<sup>15</sup> La migrazione, sia in genetica che in linguistica, è un fenomeno che si svolge su scala geografica. Quando va in tutte le direzioni genera omogeneizzazione senza annullare la diversità. Se è unidirezionale genera un gradiente di variazione lungo la sua traiettoria. In presenza di barriere (geografiche o culturali/riproduttive) si formano gli isolati (genetici e/o linguistici) caratterizzati da uniformità interna (bassa diversità o addirittura purezza) e grande diversità con l'esterno.

<sup>16</sup> Cambiando il regime di una nazione o la classe sociale al potere cambiano i programmi di insegnamento.

<sup>17</sup> Quest'ultima opera solo in linguistica.

<sup>18</sup> Il genoma di scimpanzé è per il 98,77% identico a quello umano.

<sup>19</sup> Un qualunque A è pertinente a un qualunque B se A e B sono entrambi parti della

stessa “storia”. In: G. Bateson, 1979: *Mente e natura*.

<sup>20</sup> Relazioni che consentono anche di distinguere un organismo da una cosa a-biotica come un sasso o un bastone di metallo.

<sup>21</sup> Somiglianza formale tra due organismi tale che le relazioni tra certe parti di A sono simili alle relazioni tra le parti corrispondenti di B. Questa somiglianza formale è considerata una prova della correlazione evolutiva.

<sup>22</sup> Una specie è comune a livello locale se abbondante in termini di numero di individui, è inoltre abbondante anche se ampiamente distribuita su scala geografica. L'ampia distribuzione geografica aumenta l'interazione della popolazione con ambienti diversificati. Inoltre la specie appartiene a un genere ricco di specie.

<sup>23</sup> La variazione implicita al fattore dimensionale, oggi sappiamo che è frutto della mutazione dei geni (DNA) e pertanto è trasmissibile ereditariamente. Le variazioni “utili” si diffonderanno di generazione tramite maggior numero di figli da parte dei portatori di tali variazioni rendendo in tal modo i nuovi tipi dominanti come numero. Le varianti originarie e intermedie nel corso delle generazioni diminuiranno e si estingueranno.

<sup>24</sup> Il gene è quello della melanina (M). Il gene mutato è M' e non produce pigmento. I suoi effetti sul fenotipo sono tali per cui gli individui omozigoti MM presentano fenotipo nero, gli individui eterozigoti MM' fenotipo marrone (le cellule epiteliali del corpo e delle ali presentano solo metà della melanina presente nei neri), gli omozigoti M'M' sono bianchi (assenza di melanina)

<sup>25</sup> Il tasso di mutazione genica nelle specie superiori è circa 1/50.000; cioè su 50.000 gameti 1 gamete ha 1 gene mutato per effetto della mutazione casuale. Non è poco! L'uomo, il cui genoma contiene almeno 40-50.000 geni, avrà di conseguenza che ciascuno dei cinquantamila gameti sarà portatore di un gene mutato. Non è pertanto casuale che la riproduzione sessuale in piante, funghi e animali abbonda di vita nel generare milioni di gameti ad ogni ciclo riproduttivo.

<sup>26</sup> Il cromosoma è una struttura a bastoncello visibile al microscopio ottico costituita di DNA spiralizzato che compone i geni. Ogni individuo ha un numero doppio cioè diploide (2n) di cromosomi in quanto contributo di due genitori che trasmettono un numero dimezzato di cromosomi (n) tramite i relativi gameti. Per effetto di errori durante la divisione cellulare, i gameti possono avere un

numero non corretto di cromosomi. In questo caso si formano gameti poliploidi (con numero multiplo di cromosomi) o aneuploidi (con uno o più cromosomi superiore o inferiore al numero normale). In questi casi la progenie può abortire o dare origine a individui con difetti funzionali.

<sup>27</sup> Sono due tipi di mutazioni che riguardano la struttura del cromosoma. L'inversione è il cambio d'ordine dei geni all'interno del cromosoma a causa della rottura di un braccio cromosomico e successiva riunione in senso contrario. La traslocazione è il ri-posizionamento di un frammento di braccio cromosomico o di tutto il braccio su un altro cromosoma. Queste mutazioni cromosomiche se compatibili con la sessualità (es. produzione di gameti funzionali) possono favorire la formazione di specie nuove proprio perché la progenie dei mutanti è sessualmente incompatibile con la specie originaria.

<sup>28</sup> Tra le piante naturalizzate *Helodea* (acquatica) e *Conyza canadensis* (cresce lungo i margini di strade) sono specie selvatiche, rare in Canada, paese di origine, comuni da noi.

<sup>29</sup> Tra le piante arboree selvatiche invasive in Europa sono noti *Ailanthus altissimus* delle Molucche e Cina e *Robinia pseudoacacia* del Nord America.

<sup>30</sup> L'omozigosi implica la presenza di una coppia di geni con identica sequenza sulla relativa coppia di cromosomi omologhi. L'eterozigosi, invece, implica la presenza di una coppia di geni di cui uno è la variante dell'altro.

<sup>31</sup> Il viceversa è preferito dai biologi molecolari, tra i quali, come massimo esponente, Richard Dawkins sostenitore di un genoma fatto di una moltitudine di “geni egoisti” il cui unico scopo è la propria conservazione tramite l'organismo vivente, vera e propria macchina finalizzata alla trasmissione dei geni alla generazione successiva. I chimici James Watson e Francis Crick, scopritori della struttura chimica della doppia elica, vanno addirittura oltre quando considerano che il livello molecolare del gene con il suo codice e i suoi atomi, possa spiegare il funzionamento dei livelli superiori (organismo, comunità, ecosistema, ecc.). Questa posizione scientifica è tipica dei cosiddetti “riduzionisti”. Ma la scienza non si basa su verità universali. A tal proposito Craig Venter, dopo aver completato alla fine del millennio, con Celera Genomics, il sequenziamento di tutto il genoma umano, suggerisce molta cautela nel proporre una visione “deterministica”, vale a dire l'idea che tutti gli attributi di una persona siano pre-co-dificati nel genoma.

<sup>32</sup> Buffon, 1778. *Epoche della natura*.

<sup>33</sup> L'intuizione che i sistemi di regolazione sono alla base del principio della selezione naturale è di Wallace, naturalista contemporaneo di Darwin, che nel 1856 mentre studiava la diversità biologica dell'Indonesia, preso da un attacco di malaria e sotto gli effetti dell'allucinazione scoprì il principio della selezione naturale. Wallace in una lettera a Darwin dice: “l'azione di questo principio è esattamente come quella del regolatore centrifugo di una macchina a vapore, che controlla e corregge ogni irregolarità quasi ancor prima che essa diventi evidente; in modo analogo, nessuna carenza squilibrata nel regno animale può mai raggiungere dimensioni cospicue, poiché si farebbe sentire fin dall'inizio rendendo difficile l'esistenza e quasi certa la susseguente estinzione” (Alfred Russel Wallace, *On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type*; in: Gregory Bateson, 1972. *Mente e Natura*).

<sup>34</sup> Si stimano due miliardi di specie estinte dal Cambriano fino ad oggi.

<sup>35</sup> Linneo, De Candolle (il vecchio e il giovane) e Darwin. Quest'ultimo quasi contemporaneamente, riprende l'argomento nell’”Origine delle Specie”. Nel primo novecento, con la nascita dell’”Ecologia” il principio Humboldtiano diventa una vera e propria disciplina.

<sup>36</sup> Andrea Wulf, 2017. In “L'invenzione della Natura: le avventure di Alexander von Humboldt, l'eroe perduto della scienza” ricorda come Humboldt fosse un “darwinista pre-darwiniano” pur non avendo mai avuto la possibilità di leggere l'Origin of Species perché morì nel 1859, prima della sua pubblicazione.

<sup>37</sup> Alexander Von Humboldt. (1807). *Ansichten der Natur. Quadri della Natura* (italiano).

<sup>38</sup> Alexander Koyré, 1967. Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione.

<sup>39</sup> Piante superiori collettivamente denominate anche tracheofite in quanto dotate di vasi conduttori (trachee).

<sup>40</sup> Edward O. Wilson, 1992. The diversity of life.

<sup>41</sup> L'ereditabilità di un attributo, sia esso semplice (un carattere qualitativo) che complesso (un carattere quantitativo) è quella percentuale di variazione del carattere presente in una progenie o popolazione che sia attribuibile solo ai geni trasmessi ereditariamente. Con esperimenti replicati si può calcolare dal rapporto Vg/Vp tra la diversità (statisticamente V è una varianza) dovuta ai geni (Vg) e quella fenotipica totale (Vp). Un carattere

semplice, come ad esempio il colore del fiore con fenotipo bianco o viola nella specie *Pisum sativus* ha un’ereditabilità del 100% perché la variazione da bianco a viola è dovuta solo all’espressione, per parallelismo genetico, a due varianti (alleli) dello stesso gene. La produzione in litri di latte durante un intero ciclo di lattazione che segue al parto di una vacca ha un’ereditabilità del 30%. In questo caso il carattere è più complesso, non solo è poligenico ma è molto importante l’effetto dell’ambiente inteso come condizioni di vita e regime alimentare per cui se si esamina la diversità per questo carattere in una progenie, il 30% della variazione (statisticamente la varianza espressa in litri) è dovuta al patrimonio genetico degli individui e il 70% è dovuta all’ambiente. Il Q.I. degli studenti americani calcolato con il voto dei test scolastici, carattere molto complesso, ha un’ereditabilità molto bassa perché la diversità dei voti che si osserva è soprattutto condizionata dall’ambiente sociale piuttosto che dall’ingenua presunzione dell’esistenza di geni dell’intelligenza. Al contrario l’ereditabilità delle impronte digitali supera il 90% perché quasi del tutto la loro tipica conformazione è dovuta ai geni, tanto che ogni individuo se è geneticamente differente dagli altri lo si può rivelare dal fenotipo dell’impronta digitale.

<sup>42</sup> La trasmissione, se possibile, può avvenire solo per via culturale (libri, musica, ecc.).

<sup>43</sup> I selezionatori di piante e animali da introdurre in agricoltura o nelle competizioni sportive (breeder) svolgono la selezione direzionale per almeno 8<sup>-10</sup> generazioni prima di vedere gli effetti visibili desiderati per un dato carattere.

<sup>44</sup> Gregor J. Mendel, 1865. Experiments in planthybridization(1865).suhttp://www.esp.org

<sup>45</sup> È la spiegazione che si dà fino al primo decennio del 1900, quando Correns, Tschermak e De Vries ri-scoprono le Leggi di Mendel.

<sup>46</sup> Francisco J. Ayala, J. A. Kiger, 1987. Genetica moderna.

<sup>47</sup> Micron (μ)= 10<sup>-6</sup> m; nanometro (nm)= 10<sup>-9</sup> m; angstrom (Å)= 10<sup>-10</sup> m. Strutture dell’ordine dei micron (millesimi di millimetro) come cromosomi, nuclei e cellule sono visibili con il microscopio ottico; strutture dell’ordine dei nanometri come le piccole molecole (millesimi di millimetro) sono visibili solo con il microscopio elettronico.

<sup>48</sup> Una cellula aploide umana (es. lo spermatozoo) contiene 1 pg di DNA (10<sup>-12</sup> g). Ciascuna cellula diploide del corpo conterrà 2 pg di genoma. Se il corpo umano è formato da 10<sup>-14</sup>

(100 mila miliardi) cellule diploidi si stima facilmente la quantità totale di 200 g di DNA. Se linearizzato sotto forma di doppia elica si ottiene un filamento di lunghezza astronomica. In: Bruce Alberts et Al., 2016. Biologia molecolare della cellula. Zanichelli.

<sup>49</sup> Jeremy Narby, 1995. The cosmic serpent: DNA and the origins of knowledge.

<sup>50</sup> L’eccezione a questo modello, negli organismi pluricellulari, è rappresentata dalla cellula cancerogena, la quale sfrutta tutte le energie per moltiplicare sé stessa a scapito dell’intero organismo.

<sup>51</sup> Bruce Alberts et Al., 2016. Biologia molecolare della cellula.

<sup>52</sup> Georges Kohler e Cesar Milstein nel 1975 tramite l’invenzione dell’ibridoma (cellule di topo fuse con cellule di uomo) hanno prodotto “in vitro” gli anticorpi monoclonali, strumenti essenziali per scoprire i segreti del sistema immunitario e, non solo. Per questo motivo vinsero il Premio Nobel nel 1984.

<sup>53</sup> Si stimano 86 miliardi di cellule neuronali nel cervello umano; non molto dissimile al numero presente in altri primati, ma con densità differenti di cellule associate e di dimensioni di ciascun neurone. L’evoluzione ha favorito (gorilla e orango) un aumento della dimensione del corpo a parità di massa cerebrale mentre in uomo è stato favorito un aumento del cranio (3 volte più grande che in altri primati) rispetto al corpo. In: Herculano-Houzel e J. H. Kaas, 2011. Brain Behav Evol. Nel conosciutissimo minuscolo nematode *Caenorhabditis elegans* l’intero sistema nervoso è costituito da soli 302 neuroni.

<sup>54</sup> Tradizione intesa come “caratteristica acquisita” trasmissibile ereditariamente in senso giuridico e non genetico.

## Riferimenti bibliografici

Ayala F. J., Kiger J. A. (1987). *Genetica moderna*. Zanichelli.

Bateson G. (1979): *Mente e natura*. Adelphi

Brosse J. (1989). *Mitologia degli alberi*. Rizzoli.

Bruce Alberts et Al. (2016). *Biologia molecolare della cellula*. Zanichelli.

Buffon (George-Louis Leclerc). (1778). *Epoche della natura*. Ed. italiana, Boringhieri.

Cavalli Sforza L. (1995). *Geni popoli e lingue*. Adelphi.

Darwin C. R. (1859). *L’origine delle specie*. Ed. moderna, Rizzoli.

Darwin C. R. (1871). *L’origine dell’uomo e la selezione sessuale*. Ed. moderna, Rizzoli.

Dawkins R. (1976). *Il gene egoista*. Mondadori.

Ehrlich, P. and Ehrlich A. (1981). *Extinction: The causes and consequences of disappearance of species*. New York: Random House.

Floreano D., Keller L. (2010). *Evolution of adaptive behaviour in robots by means of Darwinian selection*. PLoS Biology, 8.

Herculano-Houzel A., Kaas J. H. (2011). *Gorilla and orangutan brains conform to the primate cellular scaling rules: Implications for human evolution*. Brain Behav Evol. 77. 33-44.

Koyré A. (1967). *Dal mondo del pressappoco all’universo della precisione*. Einaudi.

Leopold A. (1948). A sand country almanac. https://archive.org/.

Lévi-Strauss C. (1988). *Da vicino e da lontano*. Rizzoli.

Lorenz Z. K. (1974). *Gli otto peccati capitali della nostra civiltà*. Adelphi.

Lorenz Z. K. (1974). *L’altra faccia dello specchio*. Adelphi.

Maturana H. e Varela F. (1985). *Autopoiesi e cognizione*. Boringhieri.

Mendel J. G. (1865). Experiments in plant hybridization (1865). su http://www.esp.org Mill S. J. (1843). System of logic. https://archive.org/

Monod J. (1970). *Il caso e la necessità*. Mondadori.

Narby J. (1995). The cosmic serpent: DNA and the origins of knowledge. Ed. italiana “Il Serpente Cosmico: Il DNA e le origini della conoscenza. Venexia 2002.

National Academy of Sciences and Smithsonian Institute (1988). https://nap.nationalacademies.org/catalog/989/biodiversity

Russo L. (2001). *La rivoluzione dimenticata*. Zanichelli

United Nations Conference on Environment and Development, Convention on Biological Diversity 1992.


United Nations General Assembly World Charter for Nature. New York: UN General Assembly Resolution No. 37/7 of 28 October 1982.

Von Humboldt A. Tre edizioni dal 1807 al 1849. Ansichten der Natur. Quadri della Natura (italiano). Codice.

Wilson E. O. (1992). The diversity of life. Norton

Wulf A. (2017). L’invenzione della Natura: le avventure di Alexander von Humboldt, l’eroe perduto della scienza. Luiss University Press

Ultimo rapporto delle N.U. sullo stato del pianeta: https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2019/05/nature-decline-unprecedented-report/ La dimostrazione dell’estinzione di massa delle specie: https://online.ucpress.edu/abt/article-abstract/73/2/78/18301/The-Anthropocene-Mass-Extinction-An-Emerging?redirectedFrom=fulltext La realtà dei cambiamenti climatici: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\_AR6\_WGL\_SPM\_final.pdf L’impoverimento generalizzato dei servizi ecosistemici: https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/biodiversita/documenti/millennium-ecosystem-assessment



*“ Il problema è che siamo talmente immersi nelle nostre abitudini di vita, che diventa molto complicato immaginarci qualcosa di diverso. Diventa difficile distinguere tra quello che si può cambiare e quello che non si può cambiare.”*