

Biodiversità: Nuove frontiere della conoscenza

Dana Svorova

Noi siamo della Terra e siamo assolutamente collegati a tutte le altre forme di vita del pianeta. Questa, quanto meno, è una delle cose che sappiamo essere vere e che non dovremmo mai perdere di vista.

1. Biodiversità – oltre la diversità biologica

La diversità biologica svolge, nel quadro complessivo della storia del nostro pianeta, un ruolo di fondamentale importanza. Essa si lega inscindibilmente al concetto stesso di vita: svolge un ruolo primario nella costituzione di complessi ecosistemi correlati in cui i suoi singoli “tasselli” compositivi, nelle loro reciproche interazioni, contribuiscono al mantenimento della continuità vitale. La biodiversità rappresenta la storia evolutiva della vita stessa.

Da diversi decenni, sullo sfondo degli effetti devastanti causati dall'azione umana sulla biosfera, che hanno condotto inevitabilmente a un notevole incremento del tasso di estinzione degli organismi viventi, si è aperto un dibattito volto ad acquisire una sempre maggiore e più precisa consapevolezza dell'attuale stato di emergenza al fine di proporre e attuare adeguati piani di salvaguardia. In tale contesto nasce, non disgiunto da un implicito messaggio di monito, il concetto di *biodiversità*. Esso include nella sua estensione concettuale le più accurate descrizioni di ogni singola categoria tassonomica, e mette altresì in rilievo i valori legati al fenomeno chiamato vita e alla sua preservazione. In altre parole, il concetto di biodiversità abbraccia in maniera globale l'attività biologica del pianeta, anche nella sua interazione con il mondo fisico, e mira all'acquisizione di una maggiore sensibilità ecologica per prevenire una eventuale, possibile, futura estinzione di massa: quella causata dall'essere umano (Luisi [2013]: 254). La tutela della *biodiversità* è diventata un paradigma fondamentale in ambito ecologico, etico e politico con risvolti più o meno diretti anche a livello economico-internazionale¹: non a caso

¹ Il concetto della *biodiversità* venne introdotto con il *National Forum on Biodiversity* svolto a Washington nel 1986. Le problematiche legate a essa e alla sua salvaguardia divennero

l'ONU ha dichiarato «il decennio 2011-20 come “decennio della biodiversità”» (Borghini, Casetta [2013]: 97).

Attualmente vengono stimate, in base a calcoli statistici, circa 8,7 milioni di specie viventi, tra cui circa 4.500 mammiferi, 10.000 uccelli, 25.000 specie diverse di pesci, escludendo i batteri e gli insetti. Questi ultimi nel loro insieme sarebbero circa 900.000 e i batteri sembra che raggiungano il numero di ben oltre tre milioni di specie. I botanici stimano circa 370.000 varietà vegetali (Luisi [2013]: 252).

Sono numeri davvero sorprendenti, considerando che le forme biologiche sono l'esito di un lento cammino evolutivo contingente. Secondo il biofisico Harold Morowitz non sono affatto le singole specie che caratterizzano la vita, bensì la loro reciproca interazione e l'interazione con l'ambiente: si potrebbe quindi parlare di una vera e propria interazione «planetaria» di un sistema globale biogeochimico in cui il numero delle specie contribuisce all'aumento della sua complessità (Morowitz [1983]: 5). Nella lunga storia evolutiva si possono rintracciare diverse tappe caratterizzate da significativi cambiamenti evolutivi. Tutto ebbe inizio circa 3,7 miliardi di anni fa: membrane con permeabilità selettiva e trasporto attivo di metaboliti: 3 miliardi di anni fa; sistemi differenziati di organi e tessuti: 1 miliardo di anni fa; sistemi neurologici complessi: 600 milioni di anni fa; metabolismo omeotermo (sangue caldo): 150 milioni di anni fa; primi ominidi: 3 milioni di anni fa (Tiezzi [2006]: 25).

Il tasso più significativo dell'incremento delle varietà biologiche si verificò nell'era geologica del Cambriano (circa 500 milioni di anni fa). Prima la Terra era popolata esclusivamente da organismi unicellulari, inizialmente procarioti, e alcuni organismi acquatici più complessi, come i brachiopodi, le meduse, le spugne, i trilobiti ecc. E proprio nel Cambriano comparvero numerosissime specie pluricellulari che diedero origine a specie attualmente viventi². Tale comparsa improvvisa di forme organiche prima non esistenti è

argomento sempre più urgente a livello internazionale dando luogo a importanti trattati come la *Convenzione sulla diversità biologica* del 1992, la *Direttiva Habitat 92/43/CEE* del 1992 e il *Protocollo di Cartagena* del 2003. Nell'ambito dei trattati sviluppati dalle Nazioni Unite esiste anche la *Convenzione sulla Diversità Biologica*, o CBD, adottata a Nairobi, Kenya, il 22 maggio 1992 e che è stata ratificata a oggi da 192 paesi; successivamente è stata aperta alla firma dei paesi durante il *Summit Mondiale dei Capi di Stato* tenutosi a Rio de Janeiro nel giugno 1992 insieme alla *Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici* e alla *Convenzione contro la Desertificazione*, per questo denominate le tre *Convenzioni di Rio*.

² Scrive Ayala (2012: 119): «Numerosi fossili appartenenti a molti phyla animali che presentano uno scheletro mineralizzato si ritrovano in rocce risalenti a circa 540 milioni di anni fa. [...] Questi organismi sono differenti da quelli attualmente viventi e da quelli vissuti in epoche intermedie. Alcuni di essi sono così radicalmente diversi che i paleontologi hanno dovuto creare dei nuovi

stata definita *esplosione cambriana* (Ayala [2012]: 119). Ancora oggi non si conoscono le cause esatte (cambiamenti ambientali, svolta nell'accrescimento embrionale, oppure cambiamenti delle catene alimentari) che condussero a un aumento così elevato di tali specie e tuttavia si trattò di un fenomeno stupefacente che cambiò il volto del pianeta Terra (Butterfield [2001]: 200-216; Bambach, Bush, Erwin [2007]: 1-22).

2. *Mistero dei misteri*

Di fronte alla straordinaria varietà del mondo naturale, John Herschel, influente studioso dell'Inghilterra vittoriana, si domandava «quando sarebbe comparso un naturalista capace di elaborare una risposta scientifica plausibile al [...] “mistero dei misteri”: ossia come le specie estinte vengano sostituite da specie nuove con il trascorrere delle ere geologiche» (Eldredge [2009]: 4). All'epoca dominavano la scena culturale due posizioni di pensiero contrastanti: il lamarckismo e la teologia naturale, volte entrambe a fornire un'adeguata spiegazione a tale inspiegabile fenomeno. Le dottrine biologiche di Jean-Baptiste Lamarck introdussero nelle scienze naturali il concetto di evoluzione biologica. I suoi studi misero in luce che la diversità biologica è il risultato di un graduale processo di trasformazione che avviene sotto la pressione delle condizioni ambientali, seguendo la legge della funzione dell'organo e dell'ereditarietà dei caratteri acquisiti. Ciò spiegherebbe, a suo avviso, l'esistenza dei fossili e del polimorfismo che caratterizza la vita. La teologia naturale, invece, affondava le radici nel credo dell'ordinamento *supremo* della natura. Essa teorizzava che soltanto Dio può creare una specie nuova e, pur nell'assoluto rispetto di questo dogma, rappresentava una fonte preziosa per i naturalisti, i botanici e i geologi, poiché comunque era in grado di fornire nozioni sulle più avanzate ricerche scientifiche. Lo stesso Charles Darwin fu affascinato dalla raffinatezza dell'opera di William Paley intitolata *Natural Theology*, in cui l'autore non solo esprimeva stupore e ammirazione di fronte alla magnifica bellezza del mondo naturale ma descriveva minuziosamente anche i più sottili adattamenti di alcune specie animali. Ma l'esclusione radicale di ogni ipotesi sul possibile trasformismo delle specie viventi ostacolava notevolmente il progredire scientifico.

Tuttavia concetti come “evoluzione” e “origine delle specie” non erano per i naturalisti del tutto nuovi, poiché gli argomenti che riguardavano le tematiche considerate tipicamente darwiniane erano già stati affrontati da numerosi studiosi, tra cui Kroeber, Hunter,

phyla per classificarli. I primi vertebrati sono apparsi più di 400 milioni di anni fa e primi mammiferi meno di 200 milioni di anni fa».

Herbert, Knight, Gaertner, Jordan, Naudin, Gordon, Lecoq, Wichura, ecc. (Bateson [1909]: 2). Le loro posizioni scientifiche infatti prepararono il terreno per una teoria che aspettava ancora il suo completamento. «Il concetto di evoluzione in fin dei conti fu un'ipotesi facilmente deducibile dalle esperienze ordinarie» annota Bateson, ma con l'introduzione del concetto darwiniano di «survival value» non v'era più alcun dubbio sulla correttezza dell'ipotesi (Bateson [1909]: 3). Darwin, dopo più di vent'anni di ricerca, fece proclamare presso la Linnean Society di Londra nel 1858 la sua teoria dell'evoluzione mediante la selezione naturale. Essa forniva una spiegazione scientifica dell'origine della vita nelle sue innumerevoli forme confutando, anche se non apertamente, le tesi dell'immutabilità delle specie e della creazione per mezzo dell'intervento divino e compromettendo altresì la posizione lamarckiana. La straordinaria intuizione darwiniana non portò esclusivamente all'individuazione del principio centrale del processo evolutivo ma anche alla piena consapevolezza che esso non è l'unico mezzo responsabile delle modificazioni. Le forme viventi, scrisse Darwin, «così elaborate, così diverse una dall'altra, e che dipendono una dall'altra in modi così complicati» sono tutte il frutto di numerose «leggi che agiscono intorno a noi» (Darwin [1859]: 428).

Da quel momento, nonostante le numerose obiezioni di alcuni oppositori alla teoria evuzionistica darwiniana, furono elaborate numerose teorie più o meno direttamente correlate alla teoria darwiniana, le quali contribuirono al suo ampliamento, come ad esempio la teoria dell'ereditarietà di Gregor Mendel (1866), il principio di continuità di Ernst Haeckel (1866), l'ipotesi sull'origine della vita di Alexandr I. Oparin (1937), la *Sintesi Moderna* di Julian Huxley (1942), la prima sintesi prebiotica in laboratorio di Stanley Miller (1953), la struttura del DNA di James Watson e Francis Crick (1953), il “gene egoista” di Richard Dawkins (1976).

Attualmente partecipano all'acceso dibattito scientifico due posizioni divergenti: la *teoria evuzionistica standard* (SET, 1930-40) e la *sintesi evuzionistica estesa* (EES, 2010). La *prima* teoria, posizione alquanto conservativa sostenuta da Wray, Hoekstra ecc., spiega l'evoluzione biologica in termini di mutazione genetica *random* come presupposto della selezione naturale, qui intesa come causa unica dell'adattamento ambientale. In tale contesto la visione “gene-centric” prende il sopravvento sulle molteplici dinamiche dello sviluppo biologico che divengono un fattore di secondaria importanza. La *seconda* teoria, invece, concepita da Massimo Pigliucci e Gerd B. Müller, si focalizza proprio sull'importanza dei meccanismi dello sviluppo nel processo evolutivo e sulla coevoluzione degli organismi con l'ambiente (Laland [2014]). A differenza della SET, nella EES “cooperano” alla costruzione del complesso edificio evolutivo non soltanto le teo-

rie “classiche” (selezione naturale, meccanismo della discendenza con le modificazioni, principio dell’ereditarietà di Mendel, genetica delle popolazioni, paleontologia, storia naturale) ma anche tesi più recenti (evo-devo, teoria della complessità, genomica, epigenetica, plasticità genetica, network theory, teoria della nicchia, ecologia, multilevel theory, modularità). Ciò conduce inevitabilmente a un ripensamento della teoria evolutivista classica, infatti il numero *team* degli studiosi schierati a favore della EES, tra cui Laland, Uller, Feldman, Moczek, Jablonka, Wray, Lenski, Strassmann e altri, sottolinea l’importanza di un approccio interdisciplinare poiché nuove discipline affini potrebbero contribuire a spiegare aspetti ancora oggi poco chiari. Come conferma Pigliucci: «La scienza procede così. Le idee sono costantemente sottoposte a cambiamenti, ridefinizioni, miglioramenti, e solo occasionalmente sono eliminate. Ma quest’ultimo non è ancora il caso del nucleo fondamentale delle teorie darwiniane» (Pigliucci [2013]: 13).

Si deve tenere in considerazione che il mondo è strutturato in livelli di complessità progressivamente più elevati e legati da condizioni gerarchiche: l’interazione tra queste ultime si traduce in un comportamento complesso che richiede un’interpretazione separata per ogni singolo livello. Sarebbe quindi una vera presunzione quella di mirare all’identificazione di una singola legge onnicomprensiva in grado di spiegare la complessità dei sistemi viventi, poiché ogni singolo livello gerarchico obbedisce a leggi differenti. Nell’analisi dei sistemi viventi, quindi, si ritrova una sorta di «multiversità dei meccanismi evolutivi» (Buiatti [2000]: 50), ciò riconduce necessariamente a più livelli metodologici esplicativi. Secondo Gagliasso per cogliere la complessità della materia vivente nel senso globale e nelle sue manifestazioni più concrete bisogna attingere ad «anelli ricorsivi che potenziano, o depotenziano, livelli di concentrazione di materia e di energia attraverso flussi energetici, informatici, biochimici». In tal modo un dato processo ecologico modifica nel corso del tempo il nesso tra le nuove condizioni di partenza dei fenomeni che condurranno, a loro volta, a forme sempre nuove (Gagliasso [2001]: 214).

3. *L’origine della vita*

Secondo gli studi scientifici la vita sulla Terra ebbe origine circa 3,7 miliardi di anni addietro, quando comparvero condizioni particolarmente favorevoli per lo sviluppo delle prime molecole prebiotiche. Nel 1953 Stanley Miller dimostrò la validità della tesi di Alexander I. Oparin sull’origine della vita compiendo con successo in laboratorio la prima sintesi prebiotica (si veda Ayala [2012]: 92). Dall’esperimento si evince che i processi chimici spontanei, in determinate condizioni ambientali, possono dar luogo a composti d’importanza biologica, ossia alla formazione dei costituenti base della vita, come gli

acidi nucleici, basi azotate e determinati enzimi. Ad oggi non si conosce ancora con esattezza il modo in cui iniziò la vita, si ipotizza che le forme prebiotiche aumentando progressivamente la loro complessità strutturale contribuirono, nelle specifiche condizioni ambientali, non soltanto alla formazione del cosiddetto *brodo primordiale*, o meglio alla miscela di molecole organiche in grado di autoreplicarsi, ma altresì alla formazione del vero e proprio «mondo dell'RNA» (Ayala [2012]: 93) che avrebbe consentito a sua volta di garantire una continuità del fenomeno vita grazie alla sintesi spontanea di molecole ereditarie. La selezione naturale, poi, avrebbe gradualmente portato a una maggiore complessità molecolare sino alla formazione dei primi organismi unicellulari dotati di DNA, avviando in tal modo un lento processo evolutivo che diede luogo a quella stupefacente varietà di forme di vita che tutti conosciamo.

Come sostiene il biologo Stuart Kauffman «la selezione naturale è un importante, ma non l'unico, costruttore dell'edificio fine della biosfera, dalla cellula, all'organismo all'ecosistema [...] L'ordine del mondo biologico sgorga naturalmente e spontaneamente tramite questi principi di autoregolazione» (Kauffman [1993]: VII). Kauffman si riferisce con tale affermazione ai processi auto-organizzativi abitualmente riscontrati in natura. Essi si caratterizzano per correlazioni di ordine superiore tra molecole che si instaurano secondo un ordine naturale scandito nel tempo, con la qualità di conservare tutto l'insieme di informazioni che influiranno poi sulle correlazioni successive. È interessante osservare che l'informazione determina sia le reazioni chimiche che conducono all'organizzazione strutturale del sistema sia quelle che influiscono in maniera peculiare sul modo in cui l'energia fluirà attraverso l'organismo. Da ciò si deduce che le «funzioni parziali di entropia sono associate con il codice genetico e con altri aspetti gerarchicamente organizzati dei sistemi di informazione degli organismi» (Brooks, Wiley [1986]: 83). Qui però ci si trova di fronte a una condizione apparentemente paradossale che ha sollevato tra gli studiosi numerosi punti interrogativi. Come osserva Tiezzi ([2006]: 64):

Nel 1859 *L'origine delle specie* di Charles Darwin fa la sua prima comparsa, e con essa il nuovo paradigma evolutivo; negli stessi anni Clausius formula il secondo principio della termodinamica che ci indica l'inesorabile cammino dell'universo verso la morte termica, verso cioè la totale degradazione di ogni sistema. Come è allora possibile che Darwin e Clausius possano avere entrambi ragione, quando il primo afferma che il mondo si evolve, attraverso la selezione naturale, verso forme sempre più complesse, mentre il secondo ci garantisce un destino di distruzione?

Tale contraddizione è stata brillantemente risolta dal chimico Ilya Prigogine con la *teoria delle strutture dissipative*. Le strutture dissipative, ossia i sistemi lontani dall'equi-

librio termodinamico, coinvolte nei processi termodinamici irreversibili, dissipano energia e materia aumentando l'entropia nell'ambiente. Per dirla con Erwin Schrödinger «la materia vivente si alimenta di "entropia negativa"» (Schrödinger [1944]: 74), ossia «tutti i sistemi viventi sono costituiti in modo tale da essere in grado di attirare a sé e di accumulare energia» (Lorenz [1973]: 47). Infatti, il processo evolutivo si caratterizza proprio per questo tipo di meccanismo che consente ai sistemi viventi di aumentare la loro complessità mantenendo la stabilità. «La produzione di entropia contiene sempre due elementi "dialettici": un elemento creatore di disordine, ma anche un elemento di creazione d'ordine. E i due sono sempre legati» (Prigogine [1987]: 41).

La complessità delle dinamiche irreversibili dei sistemi viventi è subordinata all'azione del «tempo interno» (Prigogine [1978]: 207) che risiede nelle relazioni tra le varie unità sistemiche e tra le sue singole particelle e determina la successione degli eventi. Ed è l'irreversibilità³ del tempo a caratterizzare il processo evolutivo, quel «naturale fluire del tempo», ragione per cui «i sistemi evolutivi non consentono esperimenti riproducibili» (Tiezzi [2006]: 78). Il fluire del tempo, in piena armonia con la termodinamica e le leggi della natura, rompe la simmetria della descrizione classica: c'è un'evoluzione nel tempo. Il tempo fa parte integrante dell'evoluzione biologica poiché ogni istante successivo differisce dall'istante precedente. Esso è «irreversibile» (Prigogine [1978]: 203). La biodiversità è l'esito di complesse interazioni tra processi biologici irreversibili e gradienti di entropia dell'ambiente che conducono, a stupefacenti manifestazioni morfologiche e funzionali.

4. *Morfogenesi*

L'intervento di leggi matematiche⁴ (Livio [2002]) e fisico-chimiche nel processo evolutivo è stato per molto tempo largamente ignorato nell'ambito delle scienze biologiche, dove veniva posta l'attenzione soprattutto alla ricerca della specificità dei sistemi viventi. Un

³ «L'irreversibilità non è legata al tempo newtoniano o alla sua generalizzazione einsteiniana, ma ad un "tempo interno" espresso in termini di relazioni tra le varie unità che compongono il sistema, così come sono le relazioni tra le particelle» (Tiezzi [1996]: 78).

⁴ Nella natura sono ben osservabili anche alcune leggi matematiche che plasmano le forme naturali seguendo alcuni ben precisi logaritmi. Si tratta soprattutto della *sezione aurea*, individuata già dai Pitagorici, che è comune a diverse formazioni riscontrate frequentemente in natura: nebulose, uragani, conchiglie marine, l'alternarsi delle foglie sui fusti delle piante, la disposizione dei semi in un girasole, persino l'anatomia umana obbediscono nelle proporzioni dei loro costituenti a tale rapporto di natura squisitamente matematica. Oppure la *geometria frattale*, basata sul concetto di *self-similarity* che consente di ricostruire un'ampia varietà di forme naturali irregolari, come ad esempio la struttura di una formazione rocciosa.

approccio più generale come quello matematico o fisico, a loro avviso, veniva considerato inadeguato nel contesto della selezione naturale. Secondo i neo-darwinisti la selezione naturale produce forme che altrimenti non avrebbero potuto esistere e che sono vantaggiose per gli organismi. È la combinazione di unità genetiche che, in quanto portatrici di informazioni genetiche, sono responsabili della formazione di singole strutture. Ne nasce un acceso dibattito tra il chimico-fisico Ilya Prigogine e il biologo Jacques Monod. L'ipotesi che la crescita biologica possa obbedire oltre che all'influsso del messaggio genetico anche alle leggi della fisica e della chimica fu da Monod lasciata ai margini dei suoi interessi scientifici. Prigogine, invece, mise in luce l'importanza di alcune leggi fisico-chimiche nel determinare proprio alcuni *vincoli* sulle forme biologiche possibili. Secondo Piattelli Palmarini e Fodor ([2010]: 90):

È più plausibile supporre che le cause di tali forme siano da cercare nelle complesse interazioni di auto-organizzazione fra molte componenti per cui codificano, effettivamente, i geni (complessi di proteine, gradienti morfogenetici, ormoni, interazioni fra cellule e così via) e le limitazioni determinate dalle forze chimiche e fisiche. Queste ultime sono enormemente più diffuse e meno modulari dei processi biologici [...]. I capricci dei fattori genetici e dello sviluppo, attivi per centinaia di milioni di anni, insieme con vari livelli interni ed esterni di selezione, devono aver esplorato gli stretti canali resi percorribili.

In tale contesto risulta utile riferirsi al matematico Peter Timothy Saunders, il quale sottolinea che i biologi invece dovrebbero prima interrogarsi sul regno delle forme possibili in natura e soltanto dopo chiedersi della selezione naturale: «Il compito primario del biologo è scoprire l'insieme delle forme che hanno qualche probabilità di comparire [perché] solo a quel punto val la pena chiedersi quale di esse verrà selezionata» (Saunders [1992]: p. XII).

Si parla soprattutto dei cosiddetti processi auto-organizzativi che consentono uno spontaneo aumento della complessità del sistema, accompagnato da proprietà emergenti, ossia da nuove proprietà che emergono con la nuova struttura stessa. Recentemente si è registrato un certo ritorno ad alcune leggi naturali responsabili della forma, ripensamento avviato da studiosi come Stuart Kauffman, Brian Goodwin, Lewis Wolpert, Antonio Garcia-Bellido, Stuart Newman, Gerd Mueller ecc.

I processi auto-organizzativi sono ben osservabili, non solo nel mondo vivente ma anche nella natura inanimata. Tra i più semplici vi sono la formazione delle cosiddette celle di Bénard e la reazione di Belousov-Zhabotinsky (BZ). Le celle di Bénard sono l'esito di un processo chimico auto-organizzativo molto semplice. Determinate particelle chimiche, sottoposte a specifiche condizioni di fluttuazione dovute al cambiamento della tempera-

tura, tendono a organizzarsi in forme esagonali (Tiezzi [2006]: 76-77). La reazione BZ invece appartiene alla categoria di reazioni chimiche oscillanti che conduce spontaneamente alla generazione di forme e strutture spaziali in natura. Questi fenomeni si riscontrano sia a livello microscopico, come nell'auto-organizzazione cellulare, che a livello macroscopico: ne sono esempio eloquente le macchie presenti sulla pelliccia di molti animali (Portmann [1960]: 76; Langer [1969]: 333-335). A ogni livello di complessità si possono osservare caratteristiche comuni che mettono in relazione le dinamiche degli ecosistemi con lo sviluppo e l'organizzazione di sistemi chimici e biologici (Tiezzi [2006]: 82-83). Si è osservato che oscillazioni chimiche possono verificarsi a qualsiasi livello naturale (Strogatz [2003]: 28) determinando variazioni morfologiche davvero sorprendenti. Si tratta di un meccanismo di reazione-diffusione che secondo alcuni studiosi sta alla base della peculiare conformazione della superficie della corteccia cerebrale dei mammiferi (Tiezzi [2006]: 85).

Un interessante processo auto-organizzativo, riscontrato in natura e definito in chimica *chiralità*, consente la formazione di strutture ordinate, simmetriche o asimmetriche. Alcuni esperimenti in laboratorio, ad esempio, hanno rilevato che l'organizzazione del carbonio, considerato la base della chimica della vita, nella sintesi di un aminoacido avviene dando una miscela speculare delle molecole, ossia molecole della forma L (per *levo*) e della forma D (per *dextro*) in proporzione 50:50. In natura, invece, nonostante la stessa probabilità di formazione, la forma D è inesistente, a parte rare eccezioni, e quindi si può parlare di *omochiralità*. Da questa osservazione nascono inevitabilmente numerose domande, dato che vi risiede una sorta di contraddizione intrinseca: l'asimmetria riscontrata a livello microscopico con la corrispondente simmetria ben osservabile a livello macroscopico. Per quale ragione nel corso dell'evoluzione venne privilegiata la prevalenza della forma L degli aminoacidi? Si tratta del frutto di fattori contingenti? O esiste una *ex-lege* legata al materiale cosmico con una prevalente chiralità? (si veda Luisi [2013]: 60). Si potrebbe ipotizzare che si tratta di «una strategia della natura per economizzare il materiale genetico di informazione» (Luisi [2013]: 161). La “programmazione” di ogni singolo petalo o della bilateralità dell'organismo vivente richiederebbe necessariamente un numero di «bit d'informazione» maggiore rispetto alla condizione di una riproduzione speculare. Infatti (Luisi [2013]: 160-161):

Basta pensare alla moltitudine di fiori con i loro multiformi e colorati dispiegamenti di simmetrie raggiate; alla simmetria bilaterale osservata nelle farfalle e in moltissime altre specie animali; alla simmetria raggiata (o pseudo raggiata) di celenterati ed echinodermi [...] La cosa che le accomuna è l'ordine apportato nelle strutture della natura.

Recenti studi di biologia evolutiva dello sviluppo (Evo-Devo), disciplina che focalizza l'attenzione sulla genesi delle forme biologiche reali e possibili a partire dallo stato embrionale, hanno evidenziato, per quanto riguarda un corpo a simmetria bilaterale, che l'informazione genetica non gioca un ruolo preponderante. Essa determina, senza dubbio, la realizzazione delle singole componenti strutturali e il loro corrispettivo numero, ma sembra che non influisca sulla loro disposizione simmetrica. Come afferma lo zoologo Alessandro Minelli: «non esistono, probabilmente, i geni per la simmetria». Si tratta piuttosto di una «amplificazione, proiezione, dell'elementare geometria dell'embrione». Si è potuto osservare che in ogni organismo, nella storia del suo sviluppo, si sono fissate coordinate ben precise sulla localizzazione dei vari segmenti somatici sino a raggiungere la simmetria bilaterale dell'intera architettura dell'organismo. Così, «nessun gene per la simmetria è stato necessario per dare all'uovo, o all'embrione precoce, la sua regolare geometria. E nessun gene per la simmetria sarà necessario nelle fasi successive, quando la struttura dell'animale si completerà in tutti i suoi organi» (Minelli [2007]: 194-196).

Tuttavia l'Evo-Devo non si occupa di indagare esclusivamente sulle regolarità e le simmetrie presenti in natura, ma si pone anche un interrogativo di fondamentale importanza: ci sono regole e leggi che intervengono durante la morfogenesi ancor prima della selezione naturale? E quali sono? Quali vincoli interni devono essere soddisfatti affinché l'organismo possa perpetrarsi almeno per alcune generazioni? C'è un confine preciso tra le forme possibili e quelle impossibili? (Carroll [2006]). Come spiega lo studioso Salvatore Tedesco ([2013]: 159):

l'Evo-Devo e la nuova sintesi estesa focalizzano infatti la loro attenzione, piuttosto che sul gene e sulla relazione lineare fra adattamento e selezione, sui *vincoli* dello sviluppo e sulla *coevoluzione* fra organismo e ambiente, raccontandoci di una molteplicità di fattori evolutivi che agiscono a più livelli sulle proprietà dei sistemi organici, secondo una logica per cui il livello genetico in ultima analisi provvede un ancoraggio, una "routinizzazione" di interazioni (fisiche, ambientali, epigenetiche) che fanno leva in modo particolare sulle modalità dello sviluppo dell'organismo.

Si suppone quindi che siano i *vincoli* interni⁵, ossia i vincoli determinati dalle interconnessioni dei «tratti»⁶ gerarchicamente differenti (Tedesco [2013]: 158), a causare i

⁵ Secondo gli studi dell'Evo-Devo ogni specie possiede dei propri vincoli di sviluppo. Questi limiti dello sviluppo embrionale possono essere di natura diversa: anatomica, genomica, strutturale in quanto identità dei tratti funzionali ecc.

⁶ Per i *tratti* si intendono in questa sede entità di qualsiasi genere, come strutture ed elementi anatomici, processi, comportamenti, ecc.

principali cambiamenti di tipo morfologico. La forma quindi non viene più vista semplicemente come un'unità bensì come una pluralità delle strutture, la quale deriva a sua volta da un complesso intreccio dei processi dello sviluppo. Come scrive Minelli, «le transizioni evolutive da una forma all'altra sono un po' come i movimenti dei pezzi degli scacchi. Solo conoscendo le regole del gioco possiamo capire quali caselle potrebbe raggiungere un cavallo muovendo dalla sua posizione attuale e quali caselle sono accessibili» (Minelli [2007]: 198).

Secondo gli studi di paleontologia le forme di vita ancestrali contenevano già una serie completa di strumenti di sviluppo utili a differenziare i loro piani strutturali, ma erano ancora poco sofisticati per potere determinare strutture somatiche tipiche degli animali superiori (Erwin [2008]). Si ipotizza, inoltre, che proprio con le “esplosioni morfologiche” siano avvenuti cambiamenti significativi nei vincoli interni che condussero a loro volta alla sorprendente diversificazione morfologica, pur non esaurendo il loro potenziale. (Piatelli Palmarini, Fodor [2010]: 62). Come conferma Minelli: «L'universo delle forme possibili può ben comprendere un numero grande, forse illimitato, di forme non ancora realizzate» (Minelli [2007]: 61). Le forme regolari, quasi perfette, sono dunque l'esito di «una costanza che non può essere frutto del caso, ma fa supporre una sequenza di eventi tale da rendere poco probabile l'errore» (ivi, 196).

5. *Forme regolari e percezione*

Le strutture regolari, simmetriche, ordinate svolgono in natura un ruolo di fondamentale importanza. Esse sono strettamente legate alla conservazione della specie. Dagli studi della *Gestalt* emerge una caratteristica alquanto interessante: l'apparato percettivo degli organismi viventi opera in maniera selettiva nel cogliere le forme riscontrate in natura, o come sostengono gli etologi: «un animale non reagisce a tutti i cambiamenti ambientali che i suoi organi di senso possono percepire, bensì solo a una piccola parte di essi» (Tinbergen [1951]: 60). In tal modo ogni animale ha il proprio “mondo percettivo”, fatto che gioca a suo favore nella spietata lotta per la sopravvivenza. Infatti, come ha sostenuto il biologo Jakob von Uexküll, ogni determinata specie si contraddistingue proprio per una certa diversità della percezione sensoriale che viene accompagnata anche da una diversa sensibilità degli organi di senso (Uexküll [1934]). È quindi rilevante l'efficienza dell'apparato sensoriale, specialmente l'apparato visivo, in grado di fornire i dati essenziali per “scatenare” una serie di reazioni fisiologiche, le quali inducono a complessi comportamenti istintivi innati (Lorenz [1978]). I fenomeni meglio conosciuti come discriminazione della distanza e localizzazione della direzione sono specificità per-

cettive proprie della visione che consentono all'animale di individuare gli oggetti e al tempo stesso localizzarli in relazione a sé stesso e all'ambiente. La percezione della forma non è semplicemente di natura statica bensì una prestazione attiva, dinamica. Le leggi dell'organizzazione formale hanno messo in luce che una determinata configurazione si realizza già a livello sensoriale. Anche la visione cromatica presenta peculiarità fisiologiche non indifferenti. Il processo dell'associazione del colore si fonda sul processo d'integrazione dei colori fondamentali e di quelli complementari, si parla del cosiddetto "contrasto simultaneo". Per numerose specie, infatti, sono decisivi alcuni determinati cromatismi circoscritti per avviare una serie di processi fisiologici che confluiscono infine in meccanismi di natura istintiva.

Nell'essere umano «la percezione gestaltica e il pensiero razionale appartengono entrambi all'apparato cognitivo e sono in grado di funzionare pienamente solo *insieme*» (Lorenz [1978]: 47). La percezione gestaltica è in grado di organizzare un numero immenso di singoli dati, di registrarne le innumerevoli relazioni reciproche, di astrarre le leggi insite in queste relazioni, e scoprire persino leggi "inaspettate". Nell'uomo infatti opera, non soltanto, la capacità di liberarsi in un certo senso di ciò che è stato riconosciuto ma anche la capacità di cercare nella configurazione ciò che ancora è da riconoscere, come dimostrano il famoso calice di Rubin o il cubo di Necker. Inoltre, gli studiosi della *Gestalt* hanno individuato una tendenza dell'uomo all'ordine e alla pregnanza. L'uomo "cerca" ordine anche dove esso non si presenta, tendendo a livellare i piccoli difetti o differenze riscontrate nelle diverse configurazioni trasformandoli in immagini regolari, ordinate e simmetriche (Eibl-Eibesfeld [1982]: 26-28).

Lo stesso relazionarsi all'ambiente contingente, come osserva Fabrizio Desideri, pone l'uomo di fronte a una «proto-forma», o per meglio dire a un «hotspot di una scena ambientale selezionata», in quanto oggettivante un insieme di elementi viventi e naturalistici, i quali sono in grado di innescare in esso una serie di meccanismi psicologici caratterizzati da vari gradienti di piacere o dispiacere. Da ciò si evince che le forme naturali e ambientali non forniscono all'apparato neuro-sensoriale qualità esclusivamente formali, bensì esse portano con sé qualità «ontologicamente espressive» (Desideri [2013]: 147). Ne emerge, nel corso dell'evoluzione, per la stessa innata affinità dell'uomo verso le altre forme naturali (Wilson [1984]), un atteggiamento trans-culturale di tipo estetico, ossia una vera e propria connessione sistemica «tra l'emergenza filogenetica di un'attitudine estetica e la biodiversità caratteristica di un ecosistema vantaggioso per la sopravvivenza» (Desideri [2013]: 147). Si tratterebbe quindi di un nesso tra estetica e biodiversità originariamente costitutivo, necessario e interno. In sintesi, si potrebbe affermare

che «in virtù di un'esperienza della biodiversità, che a buon diritto può dirsi "estetica" [...], possiamo quasi sfiorare il senso stesso dell'unità del *bios* al quale ci sentiamo affiliati» (ivi, p. 153).

6. *La funzione estetica delle forme in natura*

Recentemente, in riferimento alle forme riscontrate in natura, è stata ripresa l'ipotesi darwiniana relativa al *sense of beauty* animale operante durante la selezione del partner sessuale⁷. Darwin in *L'origine dell'uomo e la selezione sessuale* ipotizza che la bellezza, ben evidente in singole specie soprattutto del sesso maschile, si sia coevoluta in concomitanza alla scelta femminile durante il corteggiamento nella fase riproduttiva. Ciò consentirebbe, a sua volta, la selezione di caratteri sessuali attraenti i quali garantirebbero infine un maggiore successo della riproduzione stessa. Darwin, tra l'altro, evidenziò la sostanziale differenza tra i due meccanismi selettivi: «La selezione sessuale dipende dal successo di taluni individui su altri dello stesso sesso in relazione alla propagazione della specie; mentre la selezione naturale dipende dal successo di entrambi i sessi, a tutte le età, in relazione alle condizioni generali di vita » (Darwin [1871]: 398).

Alcune mutazioni riscontrate nelle varie specie, secondo la teoria della selezione naturale, risulterebbero neutrali, se non addirittura nocive, ma nel contesto della "scelta" orientata alla selezione del partner sessuale risultano invece determinanti, come ad esempio l'apparato delle corna o i palchi di alcune specie animali. Tale svantaggio viene in un certo senso ricompensato con una maggiore probabilità di successo riproduttivo. Infatti gli animali maschi meglio ornati dispongono di regola di maggiori possibilità di accoppiamento. Come osserva Menninghaus ([2003]: 72):

Fagiani, pavoni e paradisee sono in fin dei conti soltanto fenomeni estremi di una regola generale: tutti gli esseri viventi sessuati tendono a rendere ereditarie le divergenze mor-

⁷ «La colorazione e il disegno, così come la figura complessiva, possono anche non essere correlati alla visibilità. Sotto il profilo dell'apparenza fenomenica, vivaci pattern colorati e forme che ai nostri occhi appaiono belle possono essere del tutto indifferenti per la vita dell'animale. Le spugne marine possono essere gialle, arancioni o violette, ma la loro colorazione non è comunque destinata a essere guardata [...] Nell'ambito di questa bellezza inosservata rientrano pure le varie tipologie di disegno delle conchiglie dei gasteropodi e dei bivalvi [...] Dobbiamo quindi cercare di comprendere tali forme e pattern per altra via. A un livello di organizzazione così basso, gli scarsi rapporti tra individui avvengono per mezzo di stimoli trasmessi da sostanze chimiche: di norma gli elementi della riproduzione – uova e sperma – vengono abbandonati in acqua e si incontrano per effetto di sostanze chimiche che si attraggono. In altri casi, invece, stimoli analoghi a quelli olfattivi fanno sì che animali di sesso diverso possano ritrovarsi» (Portmann [1960]: 116-118).

fologiche sessuali (*sexual dimorfism*) che per un ampio arco di tempo sono state scelte dall'altro sesso in quanto esteticamente attraenti, e che dunque hanno aumentato le *chances* di accoppiamento.

Da ciò si evince che gli individui di sesso femminile devono possedere una peculiare capacità di discriminare i caratteri sessuali secondari del maschio in base alla loro forma, proporzione, regolarità, intensità cromatica, e così via. Secondo tale posizione la scelta che ne deriva è, senza dubbio, subordinata a una stimolazione degli organi riproduttivi femminili in base a sua volta a una stimolazione ottica prodotta dagli ornamenti maschili, ma implica altresì una discriminazione condizionata dalla preferenza individuale. Menninghaus parla di «una sincronizzazione ormonale degli animali di sesso femminile» (Menninghaus ([2003]: 69) con il grado dell'ornamentazione maschile. Non si tratta quindi di un meccanismo di natura puramente istintiva bensì di un meccanismo che richiede un'attribuzione di un valore aggiuntivo *protoestetico*. Ed è ciò che Darwin definisce *sense of beauty* animale e che nell'uomo trova un correlato mentale, ossia il raffinato senso estetico.

Si potrebbe quindi ipotizzare che gli animali possiedono un sistema di valutazione gerarchica del piacere (Guilford, Dawkins [1991]) e ciò che potrebbe spiegare la peculiare differenza tra un comportamento istintivo e un comportamento accompagnato da una scelta operata in relazione a determinanti fattori (proto)estetici. In riferimento agli studi di etologia, per comportamento istintivo si intende un meccanismo scatenante innato che si attiva in conseguenza di stimoli neuro-sensoriali, i quali operano una selezione mirata di stimoli-chiave (Lorenz [1978]: 158), innescando a sua volta una reazione fisiologica molto complessa, finalizzata, in questo caso, all'atto sessuale, coinvolgendo contemporaneamente in una sottile interazione l'apparato sensoriale, endocrino, muscolare, e il sistema nervoso centrale (ivi, 158-163). Il *sense of beauty* animale renderebbe la selezione sessuale del partner volta alla conservazione della variante di specie maggiormente proficua, fino a orientare e fissare una "scelta" in maniera transgenerazionale (Menninghaus [2003]: 68). Darwin infatti, aveva ipotizzato una possibile sovrapposizione tra selezione naturale e sessuale nella fase riproduttiva delle singole specie.

Nell'attuale dibattito filosofico si riscontrano due posizioni contrapposte: i sostenitori dell'ipotesi del *buon gusto*, per usare la terminologia croniniana, e i sostenitori dell'ipotesi del *buon senso* (Cronin [1991]: 213). Entrambe le posizioni avvalorano l'esistenza del *sense of beauty* animale, ma la prima, che deriva dalla teoria darwiniana, considera l'attitudine protoestetica animale come prerogativa della scelta femminile, laddove gli ornamenti possono essere indicatori di *fitness elevato*, comunque selezionati per il loro

intrinseco valore estetico; la seconda, invece, erede del pensiero di Wallace, intende la bellezza come un tratto utilitaristico, ossia ritiene vi sia uno stretto nesso tra ornamento e qualità selettiva.

Tuttavia ne emerge che la “bellezza” e la stessa capacità di coglierla sono fattori contingenti coevolutivi finalizzati alla sopravvivenza delle specie, ciò che significherebbe che la teoria della selezione sessuale e quella naturale sono parti complementari. Studiosi come Wolfgang Welsch, Ronald Fisher, Winfried Menninghaus ecc., hanno contribuito all’attualizzazione di questo lato trascurato della teoria evoluzionistica darwiniana da tempo dimenticata.

7. *L'impronta vocale*

Gli studiosi di ecodinamica hanno messo in luce alcuni dati interessanti che riguardano la misurazione vocale, non solo nell’uomo ma anche nelle varie specie animali applicando specifiche tecniche di misurazione che consentono di rivelare la cosiddetta *impronta vocale*: *impronta* che differisce da specie a specie, presentando alcune peculiari variazioni all’interno della stessa specie. Tutti i mammiferi, uomo compreso, possiedono un apparato vocale anatomicamente simile; esso differisce, nei singoli individui, in alcuni parametri d’espressione vocale che si traducono sul grafico della misurazione sotto forma di specifici *pattern* regolari. Per meglio dire, la dinamica delle corde vocali cambia tra specie e specie, e in modo più sottile tra gli individui. A tale verifica sperimentale sono state sottoposte diverse specie di pipistrelli (*Lausirius cinereus*, *Lausirius borealis*, *Myotis auriculus*, *Myotis californicus*). Lo studio delle vocalizzazioni mostra notevoli differenze nella forma degli attrattori. Lo spettrogramma usato nel caso del bramito di *Cervus elaphus corsicanus*, specie molto rara di cervo rosso, ha messo in luce la specificità della sua vocalizzazione, di tipo caotico.

Risultati particolarmente interessanti sono stati forniti anche dalla misurazione del pianto dei neonati, fenomeno importante nel campo della medicina, in quanto il pianto è una delle prime forme di comunicazione del neonato in grado di esprimere i vari stati dell’organismo: rabbia, fame, dolore, al variare delle tonalità e dell’intensità. Si è osservato, quindi, che durante la misurazione sonora incentrata sulla scala DAN (scala soggettiva comportamentale) con il cosiddetto *recurrence plot* (la ricostruzione dell’attrattore per rivelare la dinamica di un sistema con la visualizzazione sui grafici che fornisce informazioni sull’evoluzione temporale della curva nello spazio delle varie fasi nell’analisi di segnali biologici) che:

- quando il punteggio DAN è basso, le serie temporali sono periodiche, le massime frequenze raggiunte dei pianti sono vicine ai 20 KHz. I *pattern* sono tipici dei sistemi periodici.
- all'aumento del dolore, corrisponde un punteggio DAN medio, le serie diventano irregolari, le armoniche spariscono e compaiono due frequenze. I *pattern* sono irregolari, si verifica la comparsa di zone bianche che indicano una dinamica di transizione.
- quando il dolore sofferto dal neonato è molto alto, DAN massimo, tutte le armoniche scompaiono, i segnali diventano irregolari, gli spettrogrammi mostrano delle oscillazioni caotiche, stato paragonabile al rumore. I *pattern* rappresentano il *caos*.

La tecnica peculiare di *recurrence plot* nella misurazione del pianto dei neonati, basata sull'esplorazione della dinamica sottile del movimento delle corde vocali, ha consentito di rilevare la cosiddetta *impronta vocale*, che per certi versi è molto simile all'impronta digitale. «L'impronta vocale rappresenta, se estratta, un potente indicatore di biodiversità, ed è importante notare che la produzione della voce non è un fenomeno di origine puramente meccanica, ma dipende anche da fattori interni non ancora chiari e riproducibili» (Tiezzi [2006]: 96). Si ipotizza, altresì, che «le macrostrutture curve che formano i *pattern* possono essere ricondotte a una sorgente nascosta d'informazione» (ivi, 109). Da ciò ne consegue che la *biodiversità* si evidenzia anche a livello della vocalizzazione e «può essere misurata; non è un concetto astratto, ma una realtà chiaramente misurabile» (ivi, p. 96).

8. *Biodiversità e conservazione della vita*

“*Che cos'è la vita?*”, domanda canonica delle scienze biologiche che richiede l'individuazione di quel *quid* peculiare che distingue la vita dalla non vita. Gli organismi viventi sono caratterizzati da un determinato tipo di dinamismo che consente lo svolgimento dell'attività vitale di ogni singola struttura, la quale sorge su caratteristiche ben specifiche⁸. La studiosa Susanne K. Langer definisce la “vita” come un ininterrotto flusso degli *atti vitali* (Langer [1969]: 205). Essi, nel loro intersecarsi, esprimono il potenziale della singola “forma vivente”, ossia ciò che si trova inscritto nel suo patrimonio genetico: «la vita, quindi, è la realizzazione progressiva di atti potenziali; [...] il corpo vivente è una costellazione di possibilità in continuo rinnovamento» (ivi, 206). Già Alfred North Whitehead identifica la vita con un inarrestabile processo inteso come un continuo divenire organico (Whitehead [1929]: 11). Quest'ultimo potrebbe essere considerato come un insieme

⁸ «Per garantire lo stato vitale sono indispensabili cinque condizioni fondamentali: (1) metabolismo, (2) riproduzione, accrescimento ed ereditarietà, (3) reattività, (4) congruenza con l'ambiente, (5) attività spontanea» (Lillie [1923]: 1-2).

di singoli piccoli eventi che nel loro complesso costituiscono il fondamento di un atto indivisibile. Per dirla con Ernst Mayr: «Il termine vita è una pura e semplice reificazione del processo vitale, il quale non esiste come entità a sé. È possibile occuparsi scientificamente del processo della vita, ma non del concetto astratto di “vita” » (Mayr [1997]: 2).

Il sorprendente numero di specie viventi che ne sono emerse, ha formato un vero e proprio «historical pattern» evolutivo, o meglio «la matrice naturale della vita fissatasi nel corso del tempo» (Langer [1969]: 394). Gli *atti* stessi costituirebbero, a loro volta, il cosiddetto *pattern of living form* che il processo evolutivo ha plasmato progressivamente in un mondo vivente e nelle sue sorprendenti forme, colori, suoni, odori, sapori. La complessità biologica, custodita nel patrimonio genetico, si manifesta appunto nelle peculiari *qualità* insite nella materia vivente. Ne emerge un ecosistema globale, caratterizzato da un numero incalcolabile di interazioni specie-specie e specie-ambiente che conducono a un sottile *equilibrio dinamico*. La continua trasformazione dell'ambiente vitale dovuta a cause geologiche e meteorologiche, o alla stessa comparsa o scomparsa di alcuni tipi di flora o di specie animali, influisce sensibilmente sul mantenimento della sua complessità e della vita stessa, poiché ogni forma vivente svolge un ruolo fondamentale nel bilanciare quel fine equilibrio che caratterizza l'intera biosfera.

Uno straordinario esempio evolutivo è di fatto lo sviluppo della struttura cerebrale dell'essere umano e l'attività che ne deriva. Dagli studi evoluzionistici si evince che la graduale riorganizzazione delle singole substrutture cefaliche, emersa durante il lento processo evolutivo della specie *Homo*, ha consentito con grande probabilità uno straordinario sviluppo delle loro rispettive funzioni. La stessa capacità di attribuire al mondo extraorganico il senso deriva principalmente dalla diversificazione funzionale delle aree corticali in seguito all'estensione anatomica della massa cerebrale consentita dall'aumento volumetrico della scatola cranica. Ripercorrendo lo sviluppo filogenetico relativo al cervello umano, delineato dagli evoluzionisti, ci si accorge che i maggiori cambiamenti sono avvenuti proprio nel *proencefalo*, sede del diencefalo e del telencefalo, ossia i centri deputati alla produzione degli stati emotivi e dei processi cognitivi superiori. Sembra che il progresso evolutivo si sia avviato già dal piano cerebrale relativo al tetto del mesencefalo, detto anche “cervello primitivo”, caratterizzato da una conformazione strutturale molto complessa (LeDoux [1996]; Boncinelli [1999]), costituita prevalentemente dalla corteccia degli emisferi, la quale si differenzia ulteriormente in *neopallium* e *archipallium*, e dalla sostanza bianca che riveste la corteccia stessa. Il *neopallium*, che domina per la sua maggiore estensione sull'*archipallium*, è divenuto nell'uomo, durante lo sviluppo filogenetico «la sede dell'elaborazione dei fenomeni motori, sensitivi, sensoriali e

psichici che tengono sotto il loro controllo tutte le strutture nervose sottostanti» (Delmas [1970]: 218). Le operazioni cognitive più sofisticate, e non solo, sono quindi esito della specifica differenziazione funzionale delle singole aree corticali e della loro reciproca interconnettività.

Secondo la Langer, la straordinaria complessità delle attività cerebrali compare con l'*Homo sapiens* e portò con sé la peculiare capacità di mediazione simbolica tra il mondo "interno" e quello "esterno" che avviene appunto per mezzo del *pensiero* (Langer [1969]; Gibbons [2006]). Il filosofo Ernst Cassirer definisce il *pensiero* come «energia dello spirito, attraverso la quale un contenuto spirituale viene connesso a un concreto segno sensibile e interiormente riferito a tale segno» (Cassirer [1923]: 64). Si tratta, in un certo qual senso, di un «estraniarsi dell'essere naturale» che introduce a sua volta all'apertura di una dimensione esclusivamente umana, quella della spiritualità (Hegel [1807]: 689). Tale *novum* consentì all'uomo di attribuire alla realtà biologica la struttura e il senso, e allo stesso tempo acquisire la consapevolezza della propria esistenza. Questo specifico modo di relazionarsi al mondo avvenne grazie ai vari sistemi simbolici che l'uomo elaborò progressivamente nel corso del tempo e imparò a padroneggiare con sempre maggiore abilità (Cassirer [1968]). Il linguaggio in tale contesto rappresenta un sistema simbolico di primaria importanza poiché consente non soltanto di instaurare un rapporto più profondo con la realtà e di soddisfare le esigenze di socialità, ma altresì di tradurre il proprio stato interiore in segni comunicabili, creando "mondi" del tutto nuovi, quelli culturali. Si potrebbe, quindi, affermare che con la comparsa delle nuove facoltà cognitive dovute all'estensione biologica della massa cerebrale prende avvio la cosiddetta *evoluzione culturale*, la quale analogamente a quella *filogenetica* si rende palese nel progressivo divenire organico «creativo», costruendo forme sempre nuove (Lorenz [1973]: 296). La società, la religione, il pensiero concettuale, l'arte ecc., forniscono modelli dimostrativi dell'evoluzione culturale in atto. Come ipotizza Arnold Gehlen, ad esempio, le esperienze artistiche sorgono probabilmente su un substrato biologico della sensibilità per le armonie (Gehlen [1986]), mentre i valori etici sembra che sorsero principalmente su atteggiamenti di approvazione o disapprovazione supportati da una comunicazione simbolica, assegnando così a determinati fenomeni qualità specifiche (Langer [1982]); la religione sembra sia scaturita dalla consapevolezza della propria finitezza, dal tentativo di istituire un equilibrio tra la mente umana e le inevitabili "regole" della morte (Morin [1970]; Langer [1982]). E quindi l'essere umano può essere a pieno titolo definito *homo culturalis* poiché egli, grazie alle peculiari facoltà cognitive, è in grado di tradurre la propria esperienza con la realtà extraorganica in una fitta trama di simboli

costruendo attorno a sé una vera e propria *seconda natura* (Gehlen [1961]). La struttura sociale gerarchicamente organizzata che ne deriva, infine, fornisce un luogo comune basato su leggi comportamentali comunemente accettate e culturalmente tramandate offrendo a ogni singolo membro un indispensabile punto di riferimento con cui identificarsi grazie a espliciti modelli culturali di appartenenza (Gehlen [1986]). Secondo gli etologi, la cultura rappresenta metaforicamente un *sistema vivente* in continua evoluzione. Come annota Lorenz: «ogni piccolo ramo, ogni specie, cresce a proprio rischio e pericolo in una sua direzione e proprio lo stesso avviene per ogni singola cultura!» (Lorenz [1973]: 296-297).

L'evoluzione culturale tuttavia, in un certo senso, è una lama a doppio taglio. Se da un lato, è vero, essa ha enormemente migliorato le condizioni di vita implementando il sistema vivente di complesse interazioni, dall'altro l'intervento dell'uomo rappresenta una seria minaccia al mantenimento dell'equilibrio globale della biosfera. Sorge dunque, con sempre maggiore urgenza, l'esigenza di difendere e tutelare la *biodiversità* (Luisi [2013]). Ciò significa non soltanto opporsi all'impoverimento, o peggio alla distruzione, di tutte le relazioni operanti tra ogni singolo sistema che nel corso del tempo hanno consentito la straordinaria comparsa delle diverse forme viventi (Dyson [1999]: 48), ma preservare altresì il suo valore intrinseco: quello della vita⁹, poiché la sua origine è unica e irripetibile¹⁰.

La *biodiversità* viene intesa come unità vivente della biosfera, gerarchicamente organizzata, in cui le dinamiche temporali dei sistemi biologici agenti in molteplici relazioni si intrecciano con le più diverse forme qualitative: ne consegue tra l'altro una complessa ma al tempo stesso armoniosa fusione tra leggi scientifiche e proprietà estetiche, o me-

⁹ «La Terra è probabilmente l'unico pianeta del Sistema Solare in cui attualmente c'è vita. Nella nostra galassia vi sono circa cento miliardi di stelle, e molte di esse possiedono dei sistemi solari. Inoltre, vi sono più di cento miliardi di galassie nell'Universo. È assai plausibile ipotizzare che vi sia vita in qualche altro luogo. [...] C'è vita sulla Terra perché sul nostro pianeta esistono condizioni favorevoli alla sua esistenza. In condizioni simili, e con eoni di tempo a disposizione, è probabile che accada altrettanto su altri pianeti. Di recente nella nostra galassia sono stati individuati pianeti in cui esistono condizioni adatte alla vita (almeno per quanto riguarda la temperatura). Altrove la vita, qualora esistesse, presenterebbe caratteristiche diverse da quelle indicate in precedenza, il che dimostra l'origine unica della vita sulla Terra» (Ayala [2012]: 95):

¹⁰ «Secondo gli studi, da LUCA (*Last Universal Common Ancestor*) hanno avuto origine tre diversi principali domini del vivente: gli *archeobatteri*, o *archea*, i *batteri* e gli *eucarioti*. In questo modo, come già accennato, tutte le specie della Terra appaiono legate fra loro – una rete sistemica universale che include tutte le specie viventi e si spinge indietro nel tempo per 3,5 miliardi di anni» (Luisi [2013]: 243-244).

glio un peculiare nesso tra scienza ed estetica. «La qualità e il tempo non sono valori esterni, ma proprietà insite nella materia vivente. Questa è la grande lezione della teoria darwiniana dell'evoluzione» (Tiezzi [1998]: 27). È l'innegabile ridondanza di informazione contenuta nella varietà delle forme, dei colori, dei suoni, e delle altre peculiari manifestazioni della materia vivente a consentire il superamento di una visione puramente *quantitativa* della realtà, introducendo infine alle fondamentali categorie ecologiche della *qualità* e della *biodiversità*. Per coglierne la sua più intima essenza bisogna «recuperare il rapporto tra bellezza e scienza – o per meglio dire - riannodare quelle trame perdute nella rottura tra mente e natura» (ivi, p. 30). Per dirla con il padre dell'evoluzionismo Charles Darwin: «C'è una grandiosità in questa visione della vita, con i suoi molteplici poteri, cominciata con poche forme o addirittura con una sola; e, mentre il pianeta continua a ruotare secondo una costante legge di gravità, da un così semplice inizio si sono sviluppate e continuano a svilupparsi in innumerevoli forme, le più belle, le più meravigliose» (Darwin [1859]: 428).

In tale contesto il concetto di *biodiversità* apre verso numerose prospettive d'indagine interdisciplinare, poiché implica ambiti del sapere come la filosofia della scienza, l'epistemologia, l'etica, l'estetica che potrebbero a loro volta confluire in una disciplina a sé stante, appunto quella della filosofia della biodiversità.

Bibliografia

- Ayala, F. J., 2012: *The Big Questions: Evolution*, Quercus Publishing Plc, London. Trad. it. *Evoluzione*, Dedalo, Bari 2012.
- Bambach, R. K., Bush, A. M., Erwin, D. H., 2007: *Autecology and the filling Ecospace: Key metazoan radiations*, in "Paleontology", vol. 50, n. 1.
- Bateson, W., 1909: *Mendel's Principles of Heredity*, University Press, Cambridge.
- Boncinelli, E., 1999: *Il cervello, la mente, l'anima*, Mondadori, Milano
- Borghini, A., Casetta, E., 2013: *Filosofia della biologia*, Carocci, Roma.
- Brooks, D. R., Wiley, E. O., 1986: *Evolution as Entropy*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Buiatti, M., 2000: *Lo stato vivente della materia*, UTET, Torino.
- Butterfield, N. J., 2001: *The Ecology of the Cambrian Radiation*, Columbia University Press, New York.
- Carroll, S. B., 2006, *La nuova scienza dell'Evo-Devo*, Codice Edizioni, Torino.
- Cassirer, E., 1923: *Philosophie der symbolischen Formen*, Bruno Cassirer, Oxford. Trad. it. *Filosofia delle forme simboliche*, La Nuova Italia, Firenze 1987.

- Cassirer, E., 1968: *An Essay on Man*, Yale University Press, New Haven. Trad. it. *Saggio sull'uomo*, Armando Editore, Roma 2000.
- Cronin, H., 1991: *The Ant and the Peacock: Altruism and Sexual Selection from Darwin to Today*, Cambridge University Press, New York. Trad. it. *Il pavone e la formica. Selezione sessuale ed altruismo da Darwin ad oggi*, il Saggiatore, Milano 1995.
- Darwin, Ch., 1859: *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, John Murray, London. Trad. it. *L'origine delle specie*, Newton Compton, Roma 2010.
- Darwin, Ch., 1871: *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, John Murray, London. Trad. it. *L'origine dell'uomo e la selezione sessuale*, Newton Compton, Roma 2010.
- Dawkins, R., 2004: *The Ancestor's Tale*, Houghton Mifflin Harcourt, Boston. Trad. it. *Il racconto dell'antenato. La grande storia dell'evoluzione*, Mondadori, Milano 2006.
- Delmas, A., 1970: *Voies et centres nerveux*, Masson & Cie Éditeurs, Paris. Trad. it. *Vie e centri nervosa. Introduzione alla neurologia*, UTET, Torino 1971.
- Desideri, F., 2013: *La misura del sentire. Per una riconfigurazione dell'estetica*, Mimesis, Milano 2013.
- Dyson, F., 1999: *Origins of Life*, Cambridge University Press, London. Trad. it. *Origini della vita*, Bollati Boringhieri, Torino 2002.
- Eibl-Eibesfeldt, I., 1982: *Die Biologie des menschlichen Verhaltens Grundriss der Humannethologie*, R. Piper GmbH & Co. KG, München. Trad. it. *Etologia umana*, Bollati Boringhieri, Torino 1993.
- Eldredge, N., 2006: *Darwin. Discovering the Tree of Life*, Baror International, Inc., Armonk, New York. Trad. it. *Darwin. Alla scoperta dell'albero della vita*, G+J/Mondadori, Milano 2009.
- Erwin, D. H., 2008: *Wonderful ediacarans, wonderful cnidarians?*, in "Evolution and Development", n. 10, 3, pp. 263-264.
- Fodor, J., Piattelli Palmarini, M., 2010: *What Darwin got wrong*, published by arrangement with Marco Vigevani Agenzia Letteraria. Trad. it. *Gli errori di Darwin*, Feltrinelli, Milano 2010.
- Gagliasso, E., 2001: *Verso un'epistemologia del mondo vivente*, Guerini, Milano. Gehlen, A., 1961: *Anthropologische Forschung*, Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, Hamburg. Trad. it. *Prospettive antropologiche*, Il Mulino, Bologna 1987.
- Gehlen, A., 1986: *Urmensch und Spätkultur. Philosophische Ergebnisse und Aussagen*, AULA-Verlag GmbH, Wiesbaden. Trad. it. *Le origini dell'uomo e la tarda cultura*, il Saggiatore, Milano 1994.

- Gibbons, A. 2006: *The First Human. The Race to Discover Our Earliest Ancestors*, The Doubleday Broadway Publishing Group of Random House, Inc. Trad. it. *Il primo uomo. L'avventura della scoperta dei nostril antenati*, Codice edizioni, Torino 2009.
- Guilford T., Dawkins M. S., 1991: *Receiver Psychology and the Evolution of Animal Signals*, in "Animal Behaviour", 42, 1, pp. 1-14.
- Hegel, G. W. F., 1807: *Phänomenologie des Geistes*, Joseph Anton Goebhardt, Bamberg und Würaburg. Trad. it. *Fenomenologia dello Spirito*, Bompiani, Milano 2000.
- Kauffman, S., 1993: *The Origin of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*, Oxford University Press, Oxford.
- Laland, K. et al., 2014: *Does evolutionary theory need a rethink?* in *Nature News*, 8 October 2014.
- Langer, S. K., 1969: *Mind: An Essay on Human Feeling*, The John Hopkins University Press, Baltimore, vol. I 1969, vol. II 1972, vol. III 1982.
- LeDoux, J., 1996: *The Emotional Brain. The Mysterios Undrpinings of Emotional Life*, Simon & Schuster, Touchstone. Trad. it. *Il cervello emotivo. Alle origini delle emozioni*, Baldini & Castoldi s.r.l., Milano 1998.
- Livio, M., 2002: *The golden ratio*, Doubleday Broadway Publishing Group, New York. Trad. it. *La sezione aurea*, BUR, Milano 2003.
- Lorenz, K., 1973: *Die Rückseite des Spiegels*, R. Piper & Co. Verlag, München. Trad. it. *L'altra faccia dello specchio*, Adelphi, Milano 1974.
- Lorenz, K., 1978: *Vergleichende Verhaltensforschung: Grundlagen der Ethologie*, Springer-Verlag, Vienna. Trad. it. *L'etologia*, Boringhieri, Torino 1980.
- Luisi, P. L., 2013: *Sull'origine della vita e della biodiversità*, Mondadori Education, Milano.
- Mayr, E., 1997: *This is Biology*, Harvard University Press. Trad. it. *Il modello biologico*, McGraw-Hill Education, Milano 2003.
- Menninghaus, W., 2003: *Das Versprechen der Schönheit*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main. Trad. it. *La promessa della Bellezza*, Aesthetica, Palermo 2013.
- Minelli, A., 2007: *Forme del divenire. Evo-devo: la biologia evoluzionistica dello sviluppo*, Einaudi, Torino.
- Morin, E., 1970: *L'Homme et la Mort*, Éditions du Seuil, Paris. Trad. it. *L'uomo e la morte*, Newton Compton Editori, Roma 1980.
- Morowitz, H., 1983: *Due punti di vista sulla "vita"*, in "Le Scienze", Giugno 1983, Roma.
- Pigliucci, M., Romano, A., 2013: *Aggiornare la teoria di Darwin*, intervista in "Le Scienze", Maggio 2013.
- Portman, A., 1960: *Die Tiergestalt. Studien über die Bedeutung der tierischen Erscheinung*, Basel. Trad. it. *La forma degli animali*, Raffaello Cortina, Milano 2013.

Prigogine, I., 1978: *From Being to Becoming. Time and Complexity in the Physical Sciences*, Freeman & Company, San Francisco. Trad. it. *Dall'essere al divenire. Tempo e complessità nelle scienze fisiche*, Einaudi, Torino 1986.

Prigogine, I., 1987: *The birth of time and eternity*, Random House, New York. Trad. it. *La nascita del tempo*, Theoria, Roma 1988.

Saunders, P. T., 1992: *Morphogenesis*, North-Holland, Amsterdam.

Schrödinger, E., 1944: *What is Life? The Physical Aspects of the Living Cell*, Cambridge University Press, Cambridge. Trad. it. *Che cos'è la vita?*, Sansoni, Firenze 1988.

Tedesco, S., 2013: "Evo-Devo Meets the Mind". *La questione dell'esperienza estetica e l'evoluzionismo contemporaneo, dall'ipotesi degli adattamenti modulari all'interpretazione sistemica dell'omologia*, in "Rivista di estetica", LIV (3/2013), Torino, pp. 157-179.

Tiezzi, E., 1996: *Fermare il tempo*, Raffaello Cortina, Milano.

Tiezzi, E., 1998: *La bellezza e la scienza*, Raffaello Cortina, Milano.

Tiezzi, E., 2006: *Verso una fisica evolutiva*, Donzelli editore, Roma.

Tinbergen, N., 1951: *The Study of Instinct*, Oxford University Press, Oxford. Trad. it. *Lo studio dell'istinto*, Adelphi, Milano 1994.

Uexküll, J. von, 1934: *Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen: Ein Bilderbuch unsichtbarer Welten*, Springer, Berlin. Trad. it. *Ambienti animali e ambienti umani*, Quodlibet, Macerata 2010.

Whitehead, A., 1929: *Process and Reality and Essay in Cosmology*, Macmillan Company, London. Trad. it. *Processo e realtà*, Bompiani, Milano 1965.

Wilson, E. O., 1984: *Biophilia*, Harvard University Press, Cambridge