



MaCSIS

Università degli Studi di Milano-Bicocca

Centro Interuniversitario MaCSIS

MaCSIS Working Paper Series

**TECNOLOGIE IN EVOLUZIONE, EVOLUZIONISMO
TECNOLOGICO**

Andrea Solito de Solis

Working Paper n.4/2016

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

Dipartimento di Sociologia e Ricerca Sociale

Master in Comunicazione della Scienza e dell'Innovazione Sostenibile



MaCSIS

Tecnologie in evoluzione, Evoluzionismo tecnologico

La teoria darwiniana spiega l'evoluzione della tecnologia?

Che cosa può dirci lo sviluppo tecnologico

riguardo l'evoluzione degli organismi viventi?

Andrea Solito de Solis

Matr.n. 811081

Relatore: Chiar.mo Prof. Aldo Zullini

A.A. 2015/2016

Indice

Introduzione: *Dopo l'evoluzione, l'Uomo* – p. 3

Scopi umani, mezzi naturali: che cos'è una tecnologia? – p. 6

I motori dell'evoluzione biologica: mutazione e selezione – p. 10

Dawkins e il gene egoista – p. 12

Dall'egoismo del gene, a quello del meme, a quello del tecnomeme: Susan Blackmore e l'evoluzione culturale – p. 17

La tecnologia evolve, ma non in maniera darwiniana – p. 18

Darwinismo, darwinismi – p. 21

Questione di ritmo: gradualismo ed equilibri punteggiati nel pensiero darwiniano – p. 23

“Fatto per”, o “pronto per nuovi usi”: cooptazione funzionale e adattamento nel pensiero darwiniano – p. 26

Non solo la selezione: verso una *Extended Evolutionary Synthesis* – p. 31

Conclusioni: *la tecnologia, una forma della natura* – p. 34

Bibliografia – p. 37

Introduzione: *Dopo l'evoluzione, l'Uomo*

*Now I'm the king of the swingers
Oh, the jungle VIP
I've reached the top and had to stop
And that's what botherin' me
I wanna be a man, mancub
And stroll right into town
And be just like the other men
I'm tired of monkeyin' around!
Oh, oobee doo
I wanna be like you
I wanna walk like you
Talk like you, too
You'll see it's true
An ape like me
Can learn to be humen too
[...]
What I desire is man's red fire
To make my dream come true
Give me the secret, mancub
Clue me what to do
Give me the power of man's red flower
So I can be like you*

– King Louis, *Orangutan (Pongo pygmaeus)*,
e Re delle scimmie.

Nella versione animata da Walt Disney del romanzo di Rudyard Kipling *Il libro della jungla* (1967), il “cucciolo d'uomo” Mowgli viene trascinato di peso da un chiassoso branco di scimmie fra le mura della loro antica città abbandonata, nel cuore della foresta tropicale.

È qui che il Re delle scimmie, Luigi, spiega al piccolo Mowgli il perchè del rapimento: il branco pretende che il cucciolo d'uomo riveli alla comunità delle scimmie il segreto del fuoco.

Il fuoco, la più primordiale forma di controllo da parte dell'essere umano di un fenomeno naturale, la più paradigmatica fra tutte le tecnologie, vero e proprio simbolo, nel mito greco di Prometeo, della rottura fra mondo degli uomini e mondo degli Dei.

Chiedendo di trasmettergli la tecnologia del fuoco, Re Luigi rivela a Mowgli il suo sogno utopico di scimmia antropomorfa, senza dissimulare, oltre alla sua grande invidia nei confronti degli esseri umani, una certa dose di ottimismo, convinto di poter percorrere lungo la strada del progresso lo stesso

percorso evolutivo toccato agli esseri umani.

Cugini degli *Homo sapiens*, gli *Orangutan* (*Pongo pygmaeus*) come Luigi sono arrivati in cima alla scala evolutiva, ma proprio per questo non possono più progredire, si lamenta il Re.

Proprio come per *Homo sapiens*, l'evoluzione biologica degli oranghi è arrivata al termine, ed oltre non si può andare: a meno che Mowgli non accetti di trasmettere a Luigi il segreto del fuoco.

Luigi invidia gli esseri umani e la fonte del loro potere: la tecnologia.

L'*Orangutan* non può più migliorare, non può eccedere all'infuori della sua natura biologica, non ha avuto accesso al controllo del fuoco e non può sviluppare da solo questa tecnologia: eppure è stanco di doversi limitare a "scimmiettare senza meta" (*I'm tired of monkeyin' around*), vuole in tutto e per tutto divenire simile all'essere umano, e mettersi finalmente al suo livello.

Al contrario, *Homo sapiens* ha, attraverso la cultura e la tecnologia, varcato la soglia della sua evoluzione biologica, dando inizio a un nuovo percorso, quello della storia e del progresso.

Ha chiuso con la sua natura animale e ha intrapreso, tramite un percorso di avanzamento tecnologico, la strada di una progressiva civilizzazione.

Uscito dall'arena dell'evoluzione biologica, l'essere umano guarda dall'alto dell'evoluzione culturale e tecnologica l'agone della selezione naturale, che in una lotta senza quartiere permette esclusivamente la sopravvivenza del più adatto.

La figura grottesca del Re Luigi di Walt Disney (nel romanzo originale di Kipling il branco di scimmie non ha alcun re, né alcuna organizzazione politica: il suo "stadion di civilizzazione" è ancora più arretrato) riflette una concezione molto diffusa dell'evoluzione: l'Uomo si è, attraverso la tecnologia, affrancato progressivamente della natura e dall'evoluzione biologica, scavalcando una volta per tutte i suoi parenti più prossimi, le scimmie antropomorfe, lasciandole giusto giusto un gradino sotto di lui lungo la *scala naturae*, la linea progressiva che dagli esseri viventi più arretrati e semplici porta dritta dritta a quelli più complessi e speciali, fino ad arrivare a *Homo sapiens* con la sua mente autocosciente e alla sua capacità di manipolare il resto della Natura e di dominarla.

Nonostante l'eco dirompente che ha seguito la pubblicazione de *L'origine delle specie* (1859) e de *L'origine dell'uomo* (1871) da parte del naturalista inglese Charles Darwin, l'immagine dell'essere umano al vertice della natura e al di sopra del resto dei viventi, veicolata con grande efficacia dall'interpretazione tradizionale dei Testi Sacri dei grandi monoteismi (<in cima alla scala dei viventi l'uomo, dotato di un'anima spirituale, fu da Dio collocato principe e sovrano del regno animale> decretava, ancora nel 1941, Papa Pio XII, in un *Discorso* tenuto alla Pontificia Accademia delle Scienze sul tema del dogma della Creazione e della teoria dell'evoluzione) non cessa di essere un'immagine potente e affascinante.

Se la teoria fissista delle specie viventi è stata definitivamente rifiutata dalla comunità degli scienziati e non può più essere recuperata, la teoria darwiniana dell'evoluzione sembra non aver

comunque eliminato le implicazioni che l'immagine della natura come *scala* di progressiva perfezione portava con sé.

Sostituendo tale scala con un percorso evolutivo unilineare dal più semplice al più complesso, dal più informe al più perfetto, dal più goffo al più adatto e dal meno cosciente fino alla mente autocosciente, la cultura occidentale non ha smesso di immaginare l'essere umano come separato dal resto della natura.

La mente di cui siamo portatori, l'universo culturale in cui viviamo immersi e le tecnologie di cui siamo capaci, ci distinguono per natura dal resto dei viventi, avendo messo fine, per quanto riguarda la nostra specie, al ruolo della selezione naturale e dell'evoluzione.

Se pure nessuno contesta la parentela di *Homo sapiens* con tutte le altre forme di vita presenti sul Pianeta, la storia evolutiva di questo particolarissimo ominide viene trattata in maniera eccezionale: con la nascita del linguaggio articolato l'essere umano ha potuto costituirsi in società, e ciò gli ha permesso di sviluppare la Cultura.

Questa a sua volta ha registrato un'evoluzione nel tempo, nella forma di un progresso tecnologico che ha assicurato alla nostra specie un sempre più accentuato potere di manipolazione della natura. Per rendere le cose un po' più chiare, secondo questa rappresentazione della natura umana, una volta terminata la nostra evoluzione biologica (una volta divenuti “esseri umani anatomicamente moderni”) siamo passati ad un'altra forma di evoluzione, quella culturale; e tutto questo mentre il resto del mondo vivente non cessa di evolvere.

La domanda filosofica e scientifica intorno alla natura dell'essere umano si configura oggi come la domanda intorno all'evoluzione della cultura e della tecnologia dell'essere umano: quanto è netta, a ben guardare, la distinzione fra evoluzione biologica ed evoluzione culturale? L'evoluzione culturale contraddice la teoria di Darwin? In che modo riconsiderare questa distinzione cambia l'idea che abbiamo della posizione dell'essere umano all'interno della natura?

Per cercare di rispondere a domande di questo tipo prenderemo in considerazione la teoria dell'evoluzione combinatoria delle tecnologie elaborata dall'economista di Stanford William Brian Arthur nel suo *The nature of technology. What it is and how it evolves* [2009], e le teorie neodarwiniane che fanno uso della nozione di *meme* (l'analogo culturale del gene, l'unità fondamentale di informazione biologica) e di quella di *tecnomeme* (il meme tecnologico), come quella messa a punto dalla pensatrice britannica Susan Blackmore [1999, 2008], e le metteremo in relazione con le più recenti acquisizioni del panorama biologico contemporaneo, in particolare con la proposta di una *Sintesi Evoluzionistica Estesa* (EES) [Laland *et al.*, 2015] che integri e superi i confini limitati del neodarwinismo ortodosso, il paradigma dominante nelle scienze della vita della seconda metà del Novecento.

Mezzi naturali, scopi umani: che cos'è una tecnologia?

Quando ci chiediamo se la tecnologia rifletta una logica evolutiva analoga a quella biologica, se sia un processo completamente distinto da essa o se vada invece inclusa al suo interno, dobbiamo chiederci innanzitutto che cosa una tecnologia *sia*.

Nel suo *La natura della tecnologia* (2009), William Brian Arthur, ingegnere ed economista, fra i fondatori del Santa Fe Institute, ne fornisce una definizione netta e versatile: <la tecnologia è un mezzo per soddisfare uno scopo umano>.

La flessibilità di questa definizione permette di sussumere all'interno di essa tutti quelli che si possono definire dei < sistemi finalizzati >, una molteplicità di elementi fra loro distanti, ma accomunati da quella che Brian Arthur riconosce come una medesima struttura: <in alcuni casi (pensiamo alla raffinazione del petrolio), lo scopo è chiaro; in altri (il computer) è più indistinto, molteplice e mutevole. In quanto "mezzo" una tecnologia può essere un metodo, un processo o un apparecchio fisico: un algoritmo per il riconoscimento vocale, un processo di filtrazione nell'ingegneria chimica o un motore diesel [...] Può essere semplice (un cuscinetto a rulli) o complicata (un multiplexer a divisione di lunghezza d'onda); può essere materiale (un generatore elettrico) oppure immateriale (un algoritmo di compressione digitale)> [Brian Arthur 2009].

Tutte quelle elencate sopra sono tecnologie di carattere individuale (sono delle tecnologie), ma il termine "tecnologia" può essere impiegato anche in senso plurale, per esempio quando si intende riferirsi a un campo di specializzazione tecnologico (quando ci si riferisce ad esempio a "le biotecnologie", "la metallurgia", i sistemi di telecomunicazione...).

Un terzo significato di "tecnologia" è quello più globale e collettivo del termine: per "Tecnologia" si può intendere l'insieme complessivo di tutti gli strumenti e le pratiche disponibili ad una cultura specifica (ad esempio, la tecnologia occidentale, la tecnologia degli abitanti dell'isola di Tasman, la tecnologia del tardo neolitico...), o, in senso ancora più onnicomprensivo, all'intera umanità.

Ognuno di questi diversi significati del termine "tecnologia", pur nella diversità delle accezioni, riflette comunque alcuni elementi costitutivi comuni a tutti gli altri.

Il primo e più determinante fra questi elementi è il carattere composito e ricorsivo della tecnologia: ogni tecnologia è scomponibile, sia materialmente che a livello di funzionamento, in parti.

L'elemento centrale fra quelli in cui è scomponibile una tecnologia è il fenomeno naturale che viene messo al servizio dello scopo umano che caratterizza la tecnologia in questione.

<Ogni tecnologia>, scrive Brian Arthur, <è la versione elaborata di un effetto naturale in azione, o, più sovente, di più effetti in azione al tempo stesso> [Brian Arthur, 2009].

Prendiamo per esempio due tecnologie molto diverse fra loro: la raffinazione del petrolio ed il martello (o, per meglio dire, la pratica del martellare).

La prima di queste tecnologie si basa sul fenomeno naturale per il quale i vari componenti del greggio

vaporizzato si condensano a temperature diverse; la seconda si basa invece sul semplice principio di trasmissione del moto.

Oltre al fenomeno naturale "asservito" le tecnologie si compongono poi di varie parti, ma sempre seguendo una <anatomia comune>: si può individuare una componente principale e molte componenti ausiliarie che la supportano, ne curano il funzionamento, ne regolano le funzioni, la alimentano e svolgono altri compiti sussidiari, riflettendo i principi che Brian Arthur indica come <ricombinazione> e <modularità>.

Con questo principio si individua l'impianto comune a tutte le tecnologie e si spiega il modo in cui esse aumentano di complessità: per composizione e ricombinazione, ovvero per addizione progressiva (o sostituzione) delle parti e del loro portato di aggiuntiva funzionalità.

L'esempio riportato da Brian Arthur è quello del motore a reazione: esso viene costruito intorno ad un funzionamento centrale: <bruciare carburante in un flusso costante di aria pressurizzata, ed espellere i gas di combustione ad elevata velocità [...] il motore riceve di conseguenza una spinta eguale ed opposta> [Brian Arthur, 2009].

Per sfruttare questo principio fisico (la terza legge di Newton) viene costruito un assemblato centrale che combina cinque sistemi principali in sequenza lineare: presa d'aria, compressore, combustore, turbina e infine un ugello di scarico, il luogo fisico dove viene prodotta la spinta vera e propria.

Attorno a questa "spina dorsale" del motore trovano posto un notevole insieme di sottosistemi ausiliari che ne assicurino il funzionamento: un impianto di carburazione, un sistema antistallo per il compressore, uno di raffreddamento per le pale delle turbine, la strumentazione di controllo e i sistemi di comunicazione che lo rendono possibile.

È bene notare come, all'interno di queste componenti, si sviluppino meccanismi di dialogo interno fra le componenti, tutte fra loro interconnesse all'interno del sistema.

Brian Arthur fa notare come il motore a reazione non sia, in questo senso, così dissimile da un qualsiasi programma per computer: ogni software si struttura infatti intorno a un *main*, un insieme principale di istruzioni o funzioni che implementano un funzionamento (l'utilità del programma stesso), e questo *main* "chiama" numerose *subroutines*, le sottofunzioni che permettono al programma di eseguire il proprio compito (ad esempio, la configurazione di una finestra d'interfaccia grafica, i meccanismi di risposta del programma ai segnali inviati dall'utente...).

Tale schema non è poi esclusivamente valido per tecnologie così complesse, come motori potentissimi o *software* per computer; anche un semplice martello può essere scomposto nei moduli che lo assemblano: una massa (la parte più pesante, che trasmette l'energia cinetica), dotata di una bocca (la parte con cui si dà il colpo), di un occhio (il buco attraverso cui la massa viene innestata sul manico) e di un manico.

Già una struttura modulare così semplice riflette il principio per cui ad un funzionamento principale (la trasmissione di energia cinetica) sono stati aggiunti dei funzionamenti ausiliari che lo implementassero: la presenza del manico permette al contempo di sollevare con maggiore facilità la

massa e di imprimere maggior forza al colpo che viene inferto, ed inoltre riduce il rischio di rompersi le dita sotto la forza del proprio stesso colpo, che non viene più dato impugnando direttamente la massa, come si fa con un sasso quando lo si *utilizza come un martello*.

È chiaro che anche il caso estremo di un martello “composto” da un solo componente non mette affatto in crisi il modello di Brian Arthur: pur essendo un insieme con un unico membro, anche un sasso *di cui è stato fatto un martello* è di per sé una tecnologia, in quanto un fenomeno naturale (il principio di trasmissione del moto) è stato asservito ad un fine umano (sia esso fracassare, appiattare, intrudere, scheggiare).

In direzione opposta a questo caso estremo stanno invece tutti quei martelli che al funzionamento principale vedono l'aggiungersi di sottocomponenti più o meno numerose, come ad esempio “pinne” e ganci dalla parte opposta della bocca, per scalzare chiodi dal legno o picchetti dal terreno, o ancora coperture in gomma per la massa, che ne riducano l'urto potenziale (nel caso di martelletti di precisione, o in quelli usati dai medici per saggiare i riflessi); o, ancora, di un motore che renda un martello un martello pneumatico.

L'aggiunta e la modifica di componenti e sottocomponenti (e dunque l'acquisizione di nuove funzionalità e nuovi impieghi da parte di una tecnologia) è uno dei principi che muove l'evoluzione stessa della tecnologia, ovvero la sua variazione nel tempo; è il principio che Brian Arthur individua come alla base del processo di <evoluzione combinatoria> della tecnologia [Brian Arthur, 2009] e discende direttamente dal suo carattere modulare.

Al cuore del processo di innovazione tecnologica risiede, ci dice l'autore, un meccanismo analogico, attraverso cui è possibile pensare (e realizzare) un <trasferimento di principi>: moduli tecnologici possono “viaggiare” di tecnologia in tecnologia, se si presentano le condizioni perchè questo trasferimento avvenga.

Quando le sottocomponenti di un sistema vengono spinte a raggiungere i loro limiti, quando non possono essere ulteriormente portati a svolgere la loro funzione meglio di come già fanno, rimane la possibilità di incorporare <una nuova funzionalità>, e questo fondamentale meccanismo di innovazione avviene con l'incorporazione di <un principio che ha prodotto una funzionalità corrispondente in un campo a lui conosciuto> [Brian Arthur, 2009]; è in questo modo che avvengono dei veri e propri <cambi di dominio>, che producono in tempi ristrettissimi folgoranti “speciazioni” in campo tecnologico.

Periodi di intensissima innovazione sono dunque caratterizzati da ampi “scambi” fra le branche più diverse della tecnologia: pensiamo all'impennata tecnologica che accompagnò lo sviluppo della chimica nella seconda metà dell'Ottocento, con il suo impatto sulla chimica dei materiali, o ancora con la diffusione dei primi materiali plastici di sintesi negli anni '50 del Novecento, protagonista di una vera e propria “invasione” di tutti i settori produttivi.

L'immagine dell'evoluzione tecnologica che ci viene offerta da Brian Arthur è dunque quella di uno sviluppo tortuoso e ramificato, assolutamente non lineare, interessato da una costante tendenza alla

complessificazione per aggiunta additiva di componenti, ma anche per scambi e “salti” di funzionalità resi possibili dal carattere modulare delle tecnologie, che ne massimizza la versatilità, la potenzialità di ri-utilizzo per nuove finalità.

La versatilità dei moduli tecnologici sta al cuore della stessa capacità “esplorativa” attraverso cui la tecnologia costruisce sé stessa, o meglio orienta il proprio sviluppo.

Tutti i sistemi finalizzati, tutte le tecnologie, tendono a costruire, a partire dal proprio materiale disponibile (dai moduli già a disposizione e dalla loro combinazione di partenza) degli “spazi esplorativi”, delle <nicchie di opportunità> [Brian Arthur 2009], all'interno delle quali le capacità dei sistemi e dei loro sottosistemi vengono portate al loro limite interno, ed emergono così, nella forma di <problemi da risolvere>, una serie di nuove necessità, cui la tecnologia cercherà, con qualsiasi materiale essa abbia a disposizione, di offrire soluzioni.

Descritto eminentemente come una pratica collettiva (Brian Arthur prende le distanze dalla concezione “eroica” dell'inventore “geniale”, che da solo scopre qualcosa dal nulla – la sua non è una “psicologia dell'invenzione”), come manifestazione di una <intelligenza di rete>, lo sviluppo tecnologico crea dunque da sé le proprie finalità, non è guidata da scopi “dell'umanità” preesistenti alle tecnologie che permettono di perseguirli – nessun nostro antenato, prima di aver assaggiato la carne cotta, può aver pensato qualcosa come <bisognerebbe proprio inventare un sistema per rendere la carne degli altri animali più appetitosa, nutriente, e digeribile>; più verosimilmente le pratiche di cottura della carne si sono diffuse solo in seguito all'incontro fortuito con carne animale *già* “cotta”, come avviene quando un animale “spazzino” perlustra i margini di un incendio e si nutre degli immancabili cadaveri bruciacchiati, la cui carne è semplice da staccare dalle ossa [Wilson 2013].

È la tecnologia a creare le condizioni di possibilità perché emergano i suoi stessi scopi e i suoi stessi problemi, in una crescita cumulativa dalla direzionalità non prefissata, ma modificata di volta in volta dalle proprie condizioni di sviluppo, storicamente determinate.

Complementare alla modularità delle tecnologie stanno l'organicità degli insiemi tecnologici (tutte le parti sono in comunicazione tra di loro e la funzionalità finale è data dalla collaborazione fra tutte le parti) e il carattere ricorsivo della tecnologia: tanto gli insiemi quanto le componenti stesse costituiscono a pieno titolo delle tecnologie, ed ognuna delle sottocomponenti è a sua volta una tecnologia essa stessa: <possiamo entrare nella gerarchia a qualsiasi livello (in qualsiasi sistema di componenti) e scoprire che anche questo è a sua volta una gerarchia di eseguibili in azione. Il sistema è auto-simile> [Brian Arthur 2009], scrive l'autore portando l'esempio di un caccia F-35.

La gerarchia, argomenta Brian Arthur, è percorribile sia *bottom-up* che *top-down*: possiamo suddividere la tecnologia <aereo da caccia F-35> nelle sue sottocomponenti principali, quali ali e sistema di impennaggio, avionica (sistemi elettronici di controllo), impianto motore, carrelli d'atterraggio, apparati offensivi, e quindi suddividere ulteriormente questi moduli; se prendiamo in considerazione l'impianto motore, esso si può suddividere nei sottosistemi tipici dei motori a reazione (presa d'aria, compressore, combustore, turbina, ugello di scarico) e ognuno di questi sottosistemi è,

chiaramente, composto a sua volta da moduli, fino ad arrivare alle componenti di base, nient'altro che fenomeni naturali “asserviti”.

Possiamo per converso notare come la tecnologia <aereo da caccia F-35> possa (o debba?) essere inquadrata in un sistema tecnologico più ampio: uno stormo aereo imbarcato, il quale consta di numerosi altri caccia e aeromobili con funzioni di supporto ed è a sua volta una sottocomponente della tecnologia <nave portaerei>, uno dei moduli che compone il <gruppo da battaglia di una portaerei>, in cui rientreranno un'altra serie di imbarcazioni (incrociatori, fregate, cacciatorpediniere, navi di appoggio e rifornimento).

<Anche il gruppo di una portaerei è un eseguibile>, perchè è un mezzo che svolge uno (o più di uno) scopo, ci ricorda l'autore: le tecnologie vanno pensate sempre come <systemi costituiti da altri sistemi, interconnessi, comunicanti e vicendevolmente equilibrati. Eseguibili costituiti da altri eseguibili, ovvero tecnologie costituite da altre tecnologie, organizzate gerarchicamente>.

I motori dell'evoluzione biologica: mutazione e selezione

Ed è in massima parte il carattere composito e modulare della tecnologia che permette, secondo l'autore, di accostare lo studio della tecnologia con quello degli organismi viventi.

Proprio come ogni oggetto tecnologico complesso, ogni organismo è composto da parti: sistemi, organi, tessuti, cellule, e a loro volta organelli cellulari, proteine, catene di amminoacidi.

Il rapporto che intercorre tra queste componenti e il tutto costituito dall'organismo è lo stesso che intercorre tra una tecnologia individuale e le sue sottocomponenti (a loro volta delle tecnologie, che implementano un fenomeno naturale in un impiego), e questo “piano anatomico” comune permette di estendere il parallelismo fra la sfera del biologico e quella della tecnologia umana: <la biologia programma i geni, la tecnologia programma i fenomeni in impieghi> [Brian Arthur, 2009].

Con “programma” l'autore intende mettere in evidenza il rapporto di organicità tra le componenti, la loro messa in sequenza e i meccanismi di *feedback* che ne dirigono il funzionamento coordinato: altre metafore con cui viene reso questo concetto è quello di <architettura operativa>, o ancora quello di <orchestrazione> [Brian Arthur, 2009], ed in effetti quando in biologia si parla di *geni* si intende fare riferimento proprio a delle unità singole e discrete di informazione, che agiscono però di concerto, andando a comporre il *genotipo* dell'individuo, che esprimerò in maniera coordinata il suo *fenotipo*, ovvero la sua forma fenomenica (la sua forma percepibile, dal greco φαίνομαι, ovvero “mostrarsi”, “apparire”).

Dal punto di vista chimico-fisico i geni sono delle porzioni discrete di acido nucleico, lunghe catene composte da sequenze regolari e individuabili di coppie di basi azotate (adenina, timina, citosina e guanina, indicate solitamente con le sole lettere iniziali) la cui presenza è correlata alla comparsa di determinati tratti fenotipici, fisici o comportamentali che siano.

Fra questi geni, alcuni sono stati ribattezzati “regolatori”, perchè regolano l'attivazione, l'inibizione o

l'espressione combinata degli altri geni, la cui funzione è solitamente quella di codificare per una o più proteine.

Di proteine si compongono poi le principali strutture fisiche che costituiscono i corpi degli organismi viventi, e si può quindi dire che i geni contengono le istruzioni con le quali un organismo (ogni organismo, a qualsiasi Regno dei viventi esso appartenga) si produce da sé.

Proprio come accade in campo tecnologico allora, in cui ogni < sistema finalizzato >, ogni < mezzo per un fine > [Brian Arthur 2009] è a sua volta la combinazione di sottocomponenti ognuno dei quali è esso stesso una tecnologia, un mezzo in vista di uno scopo, anche in campo biologico si può parlare di un carattere composito e ricorsivo degli organismi viventi.

Attraverso i geni la biologia spiega larga parte dei fenomeni legati all'ereditarietà: l'informazione contenuta al loro interno non solo codifica per la produzione di proteine, ma anche per la duplicazione del gene stesso al momento della riproduzione.

Ad ogni duplicazione cellulare, tutto il DNA contenuto nel nucleo verrà duplicato in ogni singola parte, e così entrambe le cellule avranno, al termine del processo di duplicazione, esattamente lo stesso corredo cromosomico (e quindi saranno portatrici degli stessi geni).

A volte però il processo di copiatura del DNA avviene in maniera imperfetta: un piccolo errore di trascrizione può modificare in maniera impercettibile (magari di una sola "lettera" un intero romanzo) la sequenza delle coppie di basi nucleotidiche che compongono il filamento nella sua interezza.

La possibilità che la trascrizione avvenga in maniera infedele, la possibilità che si verifichino cioè questi piccoli errori nella copiatura, è ciò che sta alla base dell'evoluzione degli organismi viventi: il processo di trascrizione del DNA è ciò che assicura nello stesso tempo la possibilità che un gene venga ereditato dalle generazioni successive (se il processo di trascrizione avviene in maniera corretta) e la possibilità che si generi una novità a livello evolutivo.

Se infatti l'errore di trascrizione della sequenza nucleotidica non porta conseguenze (esistono meccanismi di ridondanza che assicurano la corretta codifica delle proteine anche in presenza di geni trascritti male), la mutazione ha carattere neutro e non viene "vista" dalla *selezione naturale*, l'incessante "basso continuo" dell'evoluzione; se la copiatura infedele modifica invece l'espressione fenotipica (questo può avvenire per accumulo di piccolissimi errori, o per l'avvenuta modifica di qualche gene particolarmente importante per lo sviluppo, come appunto quelli che "regolano" l'espressione degli altri geni) si avrà una modifica proporzionale (in senso positivo o negativo) della *fitness*, il successo riproduttivo che caratterizza ogni individuo e il genotipo di cui è portatore.

Si parla in questo caso di *mutazione*: se una mutazione aumenta la *fitness* dell'individuo in cui compare, ovvero se fa aumentare la possibilità che un organismo viva, raggiunga l'età fertile e si riproduca, diffondendo nuovamente i geni di cui è portatore (normalmente ci si limita alla <prole fertile>, nel fornire una definizione informale di *fitness*, anche se sarebbe meglio arrivare almeno ai nipoti!), allora la mutazione avrà maggiori probabilità di diffondersi all'interno di una popolazione; se invece la mutazione fa diminuire la possibilità che l'individuo arrivi a riprodursi, sarà anche meno

probabile che quella stessa mutazione si diffonda all'interno di una popolazione, e a lungo andare finirà per scomparire.

Per descrivere questo processo, il naturalista britannico Charles Darwin coniò, circa centosessanta anni fa, l'espressione "selezione naturale", in analogia con quella artificiale operata dagli allevatori.

A Darwin, appassionato allevatore di piccioni, era nota la tecnica attraverso la quale gli allevatori favoriscono la comparsa di caratteristiche peculiari, come maggiori aggressività e robustezza nei cani da combattimento, maggior velocità e un fiuto più affinato nei cani da caccia, eleganza e docilità per quelli da compagnia: agli esemplari da allevamento che non rispondono a certi standard (che non sono portatori di certe caratteristiche) non viene permesso di riprodursi, mentre gli esemplari portatori delle caratteristiche migliori vengono fatti accoppiare così che le loro caratteristiche si ripresentino alla generazione successiva.

Darwin ipotizzò che la natura si comporti esattamente come fa un allevatore, anche se in maniera del tutto inintenzionale: maggiori le probabilità di riprodursi di un individuo, maggiori le probabilità che i caratteri di cui è portatore passino a una o più generazioni successive; non è tanto che la natura selezioni in maniera attiva certe caratteristiche o certi individui, ma piuttosto alcune caratteristiche aumentano la probabilità che un individuo si riproduca, e di conseguenza sono maggiori anche le probabilità che quelle caratteristiche si diffondano, che vengano cioè "selezionate" dalla natura.

È in questo modo, ci spiega la biologia, che si generano le novità a livello evolutivo: una mutazione casuale nel corredo genetico (casuale rispetto al fine: gli errori nella trascrizione hanno cause meccaniche specifiche, ma sono per l'appunto *errori*, non hanno una relazione col risultato, non avvengono *in vista del* risultato che sarà ottenuto) determina una modificazione nella forma di un organismo, e questa modificazione nella forma renderà tale organismo più adatto o meno adatto all'ambiente in cui si trova, e dunque inciderà sulla capacità di quell'organismo di riprodursi e di diffondere la modificazione stessa da cui è caratterizzato.

Le modificazioni vantaggiose si conservano, riproducono e diffondono in questo modo: per successo differenziale a partire da una mutazione non orientata verso uno scopo.

Dawkins e il gene egoista

L'influenza dei geni nei processi evolutivisti è talmente marcata che per alcuni biologi essi rappresentano i protagonisti dell'evoluzione: l'evoluzione non è un processo che interessa gli organismi nella loro interezza, dei meri *veicoli* che portano in giro i geni lungo le strade della lotta per l'esistenza, bensì interessa esclusivamente i geni e la loro capacità di replicarsi.

È questo il modello interpretativo dei processi evolutivisti proposto dall'etologo britannico Richard Dawkins nel suo *best seller* del 1976, *Il gene egoista*.

Si tratta chiaramente di un egoismo solo metaforico, visto che i geni non hanno una mente né provano sentimenti; l'autore vuole però calcare la mano sul fatto che i geni non evolvono *per avvantaggiare*

l'organismo che ne è portatore, bensì il loro unico “pensiero” è quello di replicare sé stessi.

L'unico interesse che un gene ha è quello di replicarsi il massimo numero di volte, di diffondersi il più possibile: in questo senso ogni gene è un grandissimo egoista.

A volte la presenza di un gene non conferisce all'organismo che ne è portatore alcun vantaggio, eppure esso viene replicato ugualmente ad ogni duplicazione cellulare; altre volte ancora l'egoismo di un gene è tale per cui la sua presenza porta degli svantaggi all'organismo che ne è portatore (pensiamo alle malattie ereditarie, oppure ai tumori, causati da improvvise mutazioni del codice genetico) eppure non cessa di essere riprodotto.

In questi casi, geni che portano degli svantaggi per l'organismo “sfruttano” i geni che invece ne aumentano la *fitness*, visto che ad ogni riproduzione viene trascritto l'intero genotipo dell'individuo, non soltanto le varianti vantaggiose.

L'interesse suscitato dal *Gene egoista* di Dawkins non si limita però alla questione di quale sia *l'unità di selezione* in biologia (gli studiosi dibattono accanitamente su questo fronte: chi sono i protagonisti dell'evoluzione? I geni o gli organismi? Le popolazioni o le specie? Si può ipotizzare una gerarchia multilivello o le varie possibilità si escludono mutualmente?), ma è costituito da una sorta di corollario aggiunto dall'etologo alla sua teoria.

Secondo Dawkins è infatti possibile offrire una spiegazione dell'evoluzione culturale in analogia con l'evoluzione biologica, poiché anche per quanto riguarda i comportamenti umani (che, nella loro totalità, costituiscono la Cultura) si possono individuare delle unità discrete di informazione (in precedenza ci siamo riferiti alle singole “tecnologie individuali” e alla Tecnologia nel suo complesso proprio in questa esatta accezione) che si comportano proprio come i geni in campo biologico:

Dawkins battezza queste unità *memes* (in italiano “memi”) modellando la parola intorno a un'assonanza con il termine *genes* (geni) e aggiungendogli la radice del verbo greco μιμέομαι, ovvero “imitare”.

La scelta è dovuta al fatto che i memi, hanno, come i geni, la caratteristica di poter essere trasmessi, e il meccanismo di trasmissione di un meme è quello dell'imitazione: <Proprio come i geni si propagano nel *pool genico* saltando di corpo in corpo tramite spermatozoi o cellule uovo, così i memi si propagano nel *pool memico* saltando di cervello in cervello tramite un processo che, in senso lato, si può chiamare imitazione> [Dawkins 1976].

Nel fornire alcuni esempi di cosa intenda con il termine <meme>, Dawkins mostra la versatilità della sua definizione, e l'ampio campo di oggetti culturali ai quali intende riferirsi con questo concetto: un meme è tutto ciò che può essere diffuso per imitazione, siano essi <melodie, idee, frasi, mode, modi di modellare vasi o costruire archi> [Dawkins 1976].

Una definizione ancora più ampia di quella che Brian Arthur ci fornisce per quel che riguarda la tecnologia, e che la ricomprende al suo interno; oltre alle tecnologie, rappresentano dei memi, per Dawkins, anche tutti quei comportamenti non finalizzati o per i quali è difficile individuare uno scopo preciso, come un passo di danza, una pratica di decorazione del corpo, un tormentone la cui diffusione

è fine a sé stessa.

La differenza con i geni, riconosce lo stesso Dawkins, risiede nel meccanismo di trasmissione: mentre nel caso dell'informazione biologica abbiamo un contenuto codificato dalla struttura chimico-fisica delle sequenze nucleotidiche dei filamenti di DNA, e la trasmissione avviene tramite il complesso sistema di duplicazione dei cromosomi, nel caso dei memi il contenuto può essere operativo, simbolico, linguistico, può essere un sistema di valori e convinzioni, può essere una serie di istruzioni e prescrizioni, può essere un oggetto (la cui forma riveli il modo in cui è stato prodotto, funzionando in questo modo come delle istruzioni per la sua stessa realizzazione), un insieme di idee.

La diversità del meccanismo di trasmissione, non vincolato alla sola diffusione “verticale” intergenerazionale, come è invece il caso dei geni, permette due fondamentali differenze con la veicolazione dell'informazione genetica: la prima delle quali risiede nella possibile direzionalità della trasmissione.

Un esemplare di *Homo sapiens* può imitare i comportamenti non solo dei propri genitori o gli altri adulti della comunità – come nel caso di tutta la sfera dell'educazione parentale – ma anche quelli dei propri coetanei e degli altri membri del gruppo, o di qualsiasi altro individuo con cui si trovi in qualche modo a relazionarsi; è questo un differente vettore di trasmissione, che si può chiamare trasmissione orizzontale, o infra-generazionale.

È per trasmissione orizzontale di un meme che si diffondono mode, modi di dire e tormentoni, che ci si dispone nello stesso atteggiamento corporeo quando si compie collettivamente un'azione, quando ad esempio ad un concerto qualcuno fra il pubblico accende per primo la fiamma del proprio accendino facendola ondeggiare lentamente nell'aria come una torcia, e nel giro di pochi secondi il suo gesto viene seguito, imitato, riprodotto finché tutti o quasi non hanno in mano il proprio accendino e lo fanno ondeggiare all'unisono, illuminando la platea.

Ed è sempre per trasmissione orizzontale che viaggiano la maggior parte delle istruzioni pratiche: ogni volta che qualcuno ci ha spiegato come fare qualcosa, o abbiamo imparato a fare qualcosa osservando qualcuno, c'è stata una trasmissione memetica in direzione orizzontale.

Certo, farsi spiegare qualcosa, ricevere delle istruzioni, è una cosa molto diversa dall'imparare osservando; solo nel secondo caso dovremmo parlare di imitazione in senso proprio.

Eppure quando ci viene insegnata una tecnica, quando qualcuno ci spiega come fare qualcosa, è raro che la totalità delle istruzioni vengano passate in maniera del tutto astratta da un contesto pratico o concreto: quando ci viene insegnato per esempio a modellare un vaso, ad eseguire una melodia con uno strumento musicale, o anche a surfare sul web utilizzando un browser, le informazioni vengono solitamente passate in maniera mista, con una complementarità tra istruzioni impartite linguisticamente e operativamente.

Anche nei casi in cui tutta l'informazione sia stata passata in maniera discorsiva, tramite cioè istruzioni linguisticamente veicolate, si può comunque parlare di imitazione e di passaggio imitativo di un meme: in questo caso ciò che viene imitato e riprodotto è il risultato finale delle operazioni, l'oggetto

vero e proprio.

Le osservazioni di Susan Blackmore su queste differenti modalità di trasmissione, che lei indica come meccanismi < copia-il-prodotto > e < copia-il-processo > mostrano una sostanziale differenza nella fedeltà con la quale l'informazione è veicolata [Blackmore 1999].

Dawkins raccoglie con entusiasmo questa distinzione, e parla di una differenza tra trasmissione analogica e trasmissione digitale delle informazioni.

La trasmissione analogica, l'imitazione del tipo copia-il-prodotto (“prodotto” in senso lato: si può intendere un passo di danza come “prodotto” delle nostre istruzioni mentali che ci dicono come muoverci) è rapida ma non assicura precisione nella trasmissione dell'informazione: nella *prefazione* al lavoro di Susan Blackmore, Dawkins ricorda di quando era bambino, e un compagno di classe aveva mostrato agli altri bambini l'*origami* di una giunca cinese; in breve tempo tutti gli altri bambini avevano provato a realizzare da sé *origami* dello stesso tipo, ma in mancanza delle istruzioni avevano “liberamente interpretato” la tecnica con cui piegare la carta, e i risultati erano tutti diversi gli uni dagli altri!

Riproducendo in maniera sperimentale una situazione di questo tipo, Blackmore ha testato i due meccanismi di diffusione in un gruppo di bambini: favorendo solo il meccanismo copia-il-prodotto (assegnando ai bambini il compito di riprodurre l'*origami*, senza spiegar loro come fare) si erano effettivamente prodotte numerose varianti “imperfette” o incomplete, o semplicemente diverse dall'originale; favorendo invece il meccanismo copia-il-processo, ovvero mostrando la tecnica con cui l'*origami* doveva essere realizzato, la fedeltà al modello risultava molto maggiore, al punto che introducendo volutamente una variante arbitraria nel processo di realizzazione – un passaggio inutile, oppure una modifica non rilevante nell'ordine dei passaggi – anche quella variante veniva “copiata” fedelmente ad ogni passaggio della trasmissione [Blackmore 1999].

Le osservazioni di Blackmore, nota Dawkins, mostrano come la differenza di fedeltà di copiatura nei casi di trasmissione orizzontale stia alla base della differenza di velocità con cui si diffondono le novità evolutive in campo culturale: la possibilità stessa che una “copiatura infedele” avvenga, ovvero la spontanea tendenza alla variazione, è ciò che assicura la comparsa di novità in ambito evolutivo (le mutazioni date dagli errori nei processi di trascrizione del DNA), ma perché tali novità si fissino, perché vengano conservate dalla selezione naturale, le novità devono poter essere copiate con precisione: la combinazione tra la probabilità che una novità ha di insorgere e il suo successivo diffondersi con velocità maggiore rispetto alle varianti non mutate (che non sono foriere di novità evolutive) è la chiave di comprensione dei meccanismi evolutivi – ed è una delle chiavi del successo evolutivo di *Homo sapiens* e dei suoi memi.

La capacità delle informazioni contenute nei memi di *Homo sapiens* di variare con prodiga floridità (la decantata originalità dell'essere umano) e di essere riprodotte e trasmesse con enorme precisione ha dato una sorta di accelerazione evolutiva alla nostra specie, quella “spinta in più” che ci rende tanto diversi dal resto degli animali e che ci ha permesso di adattarci rapidamente a una miriade di ambienti

diversi e di colonizzare la quasi totalità delle terre emerse del Pianeta.

Una fedeltà ancora maggiore nei processi di trasmissione delle informazioni è dato da un terzo meccanismo, quello della diffusione “obliqua”.

In questo caso le informazioni vengono veicolate da un individuo a un altro solo in maniera indiretta: le informazioni possono viaggiare attraverso mezzi di comunicazione che permettono un processo imitativo *a distanza*, come quando un'idea è contenuta in un libro scritto secoli prima, quando una melodia viene trascritta su di un sistema di notazione, il pentagramma, e può essere riprodotta senza mai dover essere stata ascoltata dall'esecutore, o quando “leggiamo” le pratiche istruzioni ideografiche che ci spiegano come assemblare un mobile IKEA appositamente redatte e che immancabilmente accompagnano i pezzi del prodotto.

È con questo terzo meccanismo che *Homo sapiens* ha plasmato il mondo che oggi conosciamo: un mondo popolato da oggetti *standard* che vengono riprodotti in serie con metodologie *standard* che assicurino una esecuzione regolare dello stesso procedimento: il “vantaggio evolutivo” conferito non all'essere umano, *ma ai suoi memi*, dal fatto che *Homo sapiens* abbia sviluppato questo tipo di meccanismo di veicolazione obliqua delle informazioni, è enorme.

È bene infatti sottolineare che per Dawkins come per Blackmore anche i memi si comportano, proprio come i geni, in maniera del tutto egoista: non conta il bene complessivo dell'individuo portatore, l'unica cosa che conta per un meme è la propria replicazione.

Per la studiosa è necessario <trattare il meme come un replicatore a pieno titolo, che opera esclusivamente a vantaggio della propria replicazione egoista> [Blackmore 1999], ovvero senza alcun riguardo per l'individuo che ne è portatore, mero *veicolo* e mezzo del suo successo evolutivo e riproduttivo.

In questo senso bisogna abbandonare ogni connotazione “benevola” dei memi e di una loro funzione di intrinseca utilità per gli organismi che ne sono veicolo: <i memi vincenti saranno quelli capaci di indurre un processo di memorizzazione fedele e duraturo. Se riescono a diffondersi è perchè sono ricordabili, non perchè sono importanti o utili> [Blackmore 1999].

Lo studio della memetica, la scienza dei memi, obbliga a porsi dunque dal “punto di vista del meme”, per parafrasare la famosa espressione di Richard Dawkins, per il quale bisogna guardare l'evoluzione <*from the genes' eyes view*>, dal punto di vista dei geni [Dawkins 1976], e riconoscere che l'evoluzione della cultura e della tecnologia umana non ha una funzione necessariamente adattativa, ovvero non porta sempre e necessariamente vantaggi in termini di adattamento all'ambiente per la forma di vita *Homo sapiens*.

Non saranno solo i memi che aumentano la *fitness* dell'individuo portatore ad essere fissati dalla selezione naturale, ma, in maniera del tutto svincolata rispetto al vantaggio complessivo dell'organismo, solo quelli che riescono a farsi riprodurre di più.

Un caso esemplare è quello di chi si fa esplodere per convinzioni politico/religiose; Daniel Dennett ha fatto riferimento a questo comportamento-limite in una controversa conferenza per la piattaforma

“TED Talks”, intitolata *On the danger of memes* [Dennett 2002]: chiaramente l'individuo non può percepire alcun vantaggio da un comportamento del genere, visto che lo porterà a sicura morte e all'impossibilità di diffondere ulteriormente il proprio pool genetico; la *fitness* dell'individuo complessivo non viene affatto massimizzata da un comportamento del genere, anzi – viene resa nulla. Tuttavia, il meme “farsi esplodere per convinzioni politico-religiose” non cesserà di esistere: la sua esistenza non è vincolata a quella del singolo individuo portatore, così come la vita dei geni è slegata dall'esistenza dei singoli organismi.

Il comportamento “farsi esplodere per convinzioni politico-religiose” continuerà, nonostante la morte del suo portatore (anzi, proprio in virtù di essa!) a essere trasmesso: un giovane attratto per i motivi più vari da questo tipo di comportamento sarà un terreno fertile perché quel meme attecchisca su di lui; la sua mente costituisce infatti l'ambiente adatto per essere colonizzato da quel meme: secondo Blackmore la mente degli individui è un *meme-plesso*, ovvero un insieme più o meno coeso di memi che si sorreggono fra di loro, costruendo l'uno l'ambiente memetico dell'altro e favorendo la conservazione, la trasmissione e la diffusione di certi memi piuttosto che di altri [Blackmore 1999]. Dennett ammonisce in questo senso riguardo il pericolo che certi memi recano con sé: così come esistono geni che portano svantaggi all'individuo che ne è portatore e nondimeno si diffondono (è il caso delle malattie ereditarie, ma anche della riproduzione dei virus, che introducono il proprio materiale ereditario all'interno delle cellule degli individui che “invadono”, sfruttandone la capacità di trascrizione), così ci sono dei memi che si comportano come dei veri e propri virus della mente.

Dall'egoismo del gene, a quello del meme, a quello del tecnomeme: Susan Blackmore e l'evoluzione culturale

La questione del “meme egoista” è resa ulteriormente complicata dalla capacità dei memi di farsi trasmettere in maniera multidirezionale: la capacità di trasmettere memi per via obliqua ha scoperto, per usare l'espressione richiamata da Susan Blackmore in un'altra conferenza per la piattaforma “TED Talks”, il <vaso di Pandora dell'evoluzione tecnologica> [Blackmore 2008]. La conferenza era intitolata *Memes and “temes”*, e in quell'occasione la studiosa britannica ha argomentato intorno al significato evolutivo (e, in chiave pessimistica, intorno al pericolo per la specie *Homo sapiens* e per il Pianeta stesso che abitiamo) della comparsa di questo terzo tipo di meccanismo di trasmissione, o, meglio ancora, della comparsa di un terzo tipo di replicatore: a scuotere incessantemente i rami dell'albero della vita non ci sono più soltanto i geni, e nemmeno guardare all'accoppiata geni-memi è più sufficiente per spiegare l'evoluzione degli organismi viventi.

È necessario prendere in considerazione la presenza di un terzo, potentissimo replicatore: <chiamiamoli tecno-memi, o “temi”>, suggerisce Blackmore [2008], perché il loro funzionamento è ormai separato e indipendente anche da quello dei memi.

L'evoluzione della tecnologia umana va sicuramente compresa come un fenomeno nato all'interno

interno dell'evoluzione culturale di *Homo sapiens*, ma il suo sviluppo ha sostanzialmente separato il percorso evolutivo dei tecno-memi (o temi) da quello degli organismi biologici in cui tali particolari memi si sono originati.

Pensiamo per esempio ai cambiamenti climatici attualmente in corso: c'è ormai un consenso praticamente unanime in seno alla comunità scientifica riguardo al fatto che si debba annoverare l'attività antropica fra i fattori che causano questa pericolosissima accelerazione nell'aumento della temperatura media della biosfera; se l'evoluzione tecnologica fosse a servizio degli esseri umani che l'hanno creata, dovremmo da tempo aver abbandonato tutte quelle forme di produzione industriale altamente emmissive che concorrono alla compromissione degli equilibri omeostatici della biosfera. Al contrario, poichè la “vita” stessa di queste tecnologie è ormai slegata dall'interesse generale dell'umanità, nonostante il valore fortemente negativo in relazione alle stesse condizioni di sopravvivenza dei loro “veicoli” organici, queste tecnologie (o tecno-memi) decisamente dannose continuano imperterrite a farsi riprodurre. Non la loro utilità, ma la loro riproducibilità e i fattori che ne legano la comparsa alla presenza di ulteriori tecno-memi è la garanzia della loro proliferazione.

La tecnologia evolve, ma non in maniera darwiniana

Mentre concordano sulla presenza di una qualche forma di evoluzione della cultura e della tecnologia, autori come William Brian Arthur e Susan Blackmore non si troverebbero d'accordo sull'annoverare i meccanismi evolutivi che animano questo tipo di evoluzione all'interno della teoria evoluzionistica darwiniana.

Mentre per Blackmore <è evidente che le culture si evolvono> poiché <i loro cambiamenti sono graduali e vanno a sommarsi a quelli precedenti> [Blackmore 1999], per William Brian Arthur <le nuove specie tecnologiche non sorgono dall'accumulo di piccoli mutamenti graduali; piuttosto da un processo, umano e spurio, assai lungo, che consiste nel collegare un bisogno con un principio> [Brian Arthur 2011].

L'economista del Santa Fe Institute ne fa in primo luogo una questione di ritmo: nell'evoluzione della tecnologia le novità <non emergono in seguito a cambiamenti graduali, come le mutazioni biologiche: le combinazioni innovative possono essere create istantaneamente, e rispondono alla necessità di risolvere un problema, di raggiungere un obiettivo> [Brian Arthur 2011].

Il richiamo all'intenzionalità umana non è del resto significativo: chiaramente le tecnologie sorgono necessariamente attraverso l'attività umana orientata verso scopi, ovvero, in ingegneria, la ricerca di soluzioni sempre più ottimali ad un problema nuovo, o la ricerca di nuove soluzioni a vecchi problemi; ma Brian Arthur si concentra maggiormente, nelle sue ricerche, sugli aspetti indicati come di carattere <spurio> dell'evoluzione tecnologica.

Si tratta di tutti quegli elementi che direttamente o indirettamente permettono, favoriscono, inibiscono o alterano la diffusione di una tecnologia in seno a una società – elementi che sono esterni

all'intenzionalità umana, che Brian Arthur descrive con perizia mostrando la competenza diretta datagli dalla sua formazione ingegneristica e dalla conoscenza della storia della tecnologia e dei suoi aspetti economici.

Molto più che intorno all'aspetto dell'intenzionalità (un concetto che in biologia è stato completamente abbandonato dalla “rivoluzione” darwiniana in avanti) è per Brian Arthur significativo l'aspetto del ritmo al quale le novità evolutive insorgono, nell'evoluzione biologica e in quella culturale e tecnologica.

Dalla sua indagine storica sui processi evolutivi che direzionano lo sviluppo della tecnologia, Brian Arthur ricava un'immagine dell'evoluzione tecnologica tutt'altro che lineare: <le nuove specie tecnologiche non sorgono dall'accumulo di piccoli mutamenti graduali>, sottolinea l'autore, richiamandosi all'opera dello storico dei processi economici Joseph Alois Schumpeter: <mettete in fila quante carrozze volete, non otterrete mai una locomotiva> [Brian Arthur 2011].

Non si ha, per quanto concerne l'evoluzione della tecnologia, un andamento che segua una linea di progressivo miglioramento, o ad albero, con progressive divergenze e ramificazioni, come avverrebbe, secondo l'autore, in biologia.

L'evoluzione tecnologica viene descritta dall'autore come una trama fittamente intricata in cui i rami del cespuglio non solo divergono progressivamente, per lento accumulo di variazioni, in quel processo che Brian Arthur descrive come <ingegneria normale>, ovvero la ricerca di miglioramenti sempre più ottimali attraverso la modifica delle sottocomponenti di una tecnologia o di un sistema finalizzato; ma dopo essersi separati i rami possono piegarsi in direzioni impreviste e nuovamente convergere, ed è proprio nei nodi, nei punti di convergenza fra più rami che compaiono le maggiori novità evolutive, le innovazioni più significative in campo tecnologico.

Fuor di metafora, secondo Brian Arthur il meccanismo principale responsabile della comparsa di novità in tecnologia è quello della <evoluzione combinatoria>, ovvero della capacità che hanno le tecnologie, per la loro natura modulare e ricorsiva, di acquisire componenti da altre tecnologie e sistemi finalizzati e, in questo modo, cambiare la loro orchestrazione complessiva e acquisire nuove finalità (o mantenere la stessa finalità ma ottimizzare le procedure per raggiungerla).

I fenomeni di ricombinazione si verificano quando, durante il processo dell'ingegneria normale, si affaccia una soluzione particolarmente congeniale ad un problema, e la versatilità di questo nuovo <mezzo per uno scopo umano> è tale per cui essa possa essere adottata da altri sistemi finalizzati in vista di un miglioramento complessivo.

William Brian Arthur indica questi fenomeni come momenti di <ingegneria rivoluzionaria> sulla scorta del sociologo e filosofo della scienza Thomas Kuhn, che descrisse l'andamento discontinuo dello sviluppo delle teorie scientifiche nella sua opera del 1962 *The structure of scientific revolutions*. Per Kuhn la storia della scienza è caratterizzata da un ritmo anodino, da un andamento che vede contrapporsi lunghe fasi di stasi o di cambiamento minimo e lento a fasi di “rivoluzione” in cui l'insorgere eccessivo di anomalie fa collassare l'impianto generale che sorregge le scienze nel loro

complesso e si slitta, o salta, verso un nuovo paradigma, più soddisfacente del precedente (che sia in grado di spiegare e ricomprendere quelle che precedentemente costituivano le anomalie).

Allo stesso modo, per Brian Arthur la storia della tecnologia è fortemente caratterizzata da un simile andamento anodino e discontinuo, in cui lunghe fasi di cambiamento lento si alternano a fasi di improvvisi <cambi di dominio> o riformulazione secondo nuove <grammatiche> [Brian Arthur 2011]; un meccanismo, questo, che <non implica che in tecnologia sopravvivano solo le migliori e le più adatte fra le soluzioni>, poiché, argomenta l'autore, l'affermazione e la diffusione di questi <cambi di dominio> (ma la stessa cosa vale anche per l'innesto di qualsiasi modulo tecnologico in un sistema finalizzato) può avvenire in seguito ad avvenimenti del tutto contingenti [Brian Arthur 2011].

Il caso storico riportato dall'autore (ma è solo uno, fra i molti possibili) è quello dell'affermarsi dell'utilizzo, nei reattori nucleari, dell'acqua come materiale di raffreddamento, che trasferisce il calore del nocciolo alle turbine, e come moderatore, ovvero come sistema di controllo della velocità dei neutroni nel nocciolo.

Quando nel 1949 l'Unione Sovietica fece detonare la sua prima bomba atomica, gli Stati Uniti d'America dovettero reagire rapidamente per riaffermare la propria superiorità nucleare, e così vollero dimostrare di avere almeno un reattore funzionante.

In quel momento, la marina militare statunitense stava sviluppando il suo programma di sottomarini nucleari; nelle particolari condizioni dell'ambiente sottomarino, si scelse di utilizzare l'acqua come liquido di raffreddamento e di moderazione, nonostante essa abbia, in relazione allo scopo, un'efficienza minore rispetto, ad esempio, al sodio, che ha però il difetto di esplodere al contatto con l'acqua – il che avrebbe rappresentato un problema non trascurabile, visto l'ambito d'uso.

L'uso dell'acqua come materiale moderatore e di raffreddamento venne allora adottato dall'ingegneria nucleare civile: fu “trasferito” in un altro sistema finalizzato perchè costituiva un modulo pronto e disponibile in un momento in cui si manifestava la necessità di trovare in fretta (una fretta dettata da ragioni geopolitiche) una soluzione al problema del funzionamento del reattore, non perché fosse il più adatto.

Tuttavia, in seguito, tutti gli impianti nucleari realizzati dalla Westinghouse e dalla General Electric, riporta Brian Arthur, furono costruiti seguendo il progetto “ereditato” dall'ingegneria navale e sottomarina, che aveva ricevuto, per circostanze contingenti, un notevole vantaggio rispetto a qualsiasi soluzione alternativa.

Nello stesso periodo in cui gli Stati Uniti adottavano il sistema ad acqua leggera, stavano venendo implementati in Canada sistemi che utilizzavano l'acqua pesante (D_2O), mentre la Gran Bretagna sperimentava l'uso di elio per il raffreddamento e la grafite come materiale moderatore; eppure, nel 1986, ben 81 dei 101 reattori in costruzione nel mondo (ad esclusione dell'Unione Sovietica), utilizzavano l'acqua (leggera, H_2O) per raffreddare il nocciolo e per moderare la velocità dei neutroni; la selezione aveva “visto” <una fra tutte le soluzioni possibili, ma non necessariamente la migliore> [Brian Arthur 2011].

Al contrario, spiega l'economista, la filogenesi delle specie è spiegata semplicemente attraverso la diversificazione per accumulo di impercettibili cambiamenti gradualmente che proseguono gradatamente verso forme sempre più “adattate” ai rispettivi ambienti, e la dialettica tra mutazioni e selezione naturale conferisce all'evoluzione delle forme organiche un andamento lineare, continuo e privo di accelerazioni, interruzioni, cambiamenti di rotta.

È vero che anche nell'evoluzione dei processi tecnologici si verificano processi selettivi, in un gioco costante fra l'emergere di nuove combinazioni, nuove soluzioni, nuovi impieghi, e i meccanismi inconsapevoli di “selezione” che determinano la persistenza, la diffusione o piuttosto la marginalizzazione di tecniche e tecnologie, ma, specifica Brian Arthur, <il meccanismo principale è la combinazione, i meccanismi evolutivisti entrano in gioco successivamente, durante la 'potatura'> [Brian Arthur, 2011].

La sentenza di Brian Arthur è dunque netta: <abbiamo la risposta al quesito fondamentale sull'origine delle nuove tecnologie: il meccanismo non è darwiniano> [Brian Arthur 2011].

Darwinismo, darwinismi

L'argomentazione di Brian Arthur fa dunque perno su una serie di assunzioni che poggiano le une sulle altre:

- 1) lo sviluppo della tecnologia umana, come quello delle forme viventi, è caratterizzato da cambiamenti nel tempo interessati da meccanismi di selezione *non intenzionale*;
- 2) l'evoluzione della tecnologia umana *non* è caratterizzata da un progresso verso l'*ottimalità*; l'evoluzione degli organismi viventi procede invece in direzione di progressivo adattamento degli organismi ai loro ambienti (*adattazionismo*)
- 3) l'evoluzione della tecnologia umana avviene per *ricombinazione* di parti modulari; mentre l'evoluzione degli organismi viventi non è interessata da alcun processo di ricombinazione;
- 4) l'evoluzione della tecnologia umana è caratterizzata da fasi di *discontinuità*; l'evoluzione degli organismi viventi procede in maniera *graduale e continua*;

Isolando una ad una le sottocomponenti della teoria di Brian Arthur si può notare come sia esclusivamente il principio generale, la componente principale del suo sistema di spiegazione dell'insorgere di novità in campo tecnologico, ad essere sovrapponibile al sistema esplicativo darwiniano relativo all'insorgere di novità in campo biologico.

In altre parole, tecnologia e biologia hanno in comune, secondo Brian Arthur, soltanto il fatto di partecipare ad un mutamento storico non finalizzato, ovvero di essere interessate nel loro sviluppo da una componente di selezione non intenzionale (l'evoluzione tecnologica, poi, presenta anche l'elemento della selezione intenzionale da parte della “ingegneristica” mente umana).

Non possiamo spiegare, con Darwin, i percorsi evolutivi che dall'uso del fuoco per cuocere cibi ha

portato alla diffusione delle automobili con motore a scoppio e al sistema di guida su strade asfaltate, non possiamo spiegare l'evoluzione delle tecnologie individuali, né quella delle varie branche della tecnologia, né la differenziazione degli specifici sistemi di tecnologie proprie delle diverse comunità umane.

La tecnologia dunque evolve, ma non in maniera darwiniana.

Brian Arthur sposa questa tesi perché la versione della teoria di Darwin con cui è venuto a contatto è pesantemente filtrata dall'impianto teorico con cui Richard Dawkins, e con lui la psicologia evoluzionistica e la sociobiologia, presentano il darwinismo.

La diffusione e la percezione pubblica della teoria darwiniana soffre del resto della stessa mistificazione, per cui una versione ristretta e piuttosto limitata del darwinismo viene presentata come unica erede di tutto il pensiero darwiniano.

Così, per i non specialisti e per i non addetti ai lavori sostenere che mutazione e selezione naturale siano gli *unic* due motori dell'evoluzione biologica sembrerà un'affermazione del tutto fondata. Se la teoria darwiniana venisse condensata in estrema sintesi nel principio per cui un'evoluzione "cieca" produce, a partire da antenati comuni, una miriade di forme organiche diverse, che nei tempi lunghi dell'evoluzione sono destinate a sparire, falciate dalla selezione naturale e dall'estinzione, oppure ad affermarsi e a trionfare nella <lotta per l'esistenza>, secondo il meccanismo impietoso della <sopravvivenza del più adatto>, questa sarebbe già una formulazione anche piuttosto estesa e dettagliata della teoria darwiniana, rispetto al livello di comprensione diffuso.

Darwin e il darwinismo, d'altra parte, dicono qualcosa di più, e qualcosa di diverso.

Sostenendo la separazione inconciliabile fra evoluzionismo tecnologico ed evoluzionismo biologico, Brian Arthur sposa in maniera acritica alcune formulazioni della teoria darwiniana che sono tutt'ora oggetto di forte dibattito fra gli studiosi della materia.

Quando per esempio esclude dai meccanismi che regolano l'evoluzione biologica quello della ricombinazione, Brian Arthur prende un proverbiale granchio.

Non solo i meccanismi di ricombinazione genica e cromosomica sono la vera anima dei processi di duplicazione cellulare e di riproduzione sessuata – studi recenti mostrano inoltre come non siano affatto rari in natura veri e propri trasferimenti orizzontali di DNA, fenomeni di ricombinazione genica non dipendenti dalla riproduzione e dalla trasmissione verticale (intergenerazionale) di geni [Laland et al. 2015] – ma la ricombinazione, la capacità di scambio e di reciproca collaborazione, potrebbero stare, come dicono alcuni studiosi, al centro dei processi organici a tutti i livelli del vivente.

L'idea che le novità in biologia possano nascere da processi di unificazione fra simbionti è, come lamentava ancora sul finire dello scorso secolo la biologa statunitense Lynn Margulis, una prospettiva ancora non del tutto <presa seriamente dalla società scientifica ben educata> [Margulis 1998], nonostante l'ampia rivalutazione dei suoi lavori sulla teoria dell'endosimbiosi seriale (SET), inizialmente respinta come una vera e propria eresia dagli ambienti neodarwiniani degli anni '60, ed oggi accettata come importante chiave di lettura per comprendere alcuni dei passaggi più importanti

della storia della vita sulla terra, come la comparsa della forma di vita eucariote, la capacità fotosintetica degli organismi vegetali, la vita pluricellulare.

<L'impatto della visione simbiotica dell'evoluzione deve ancora essere compreso per intero> riconosceva Margulis, e il fatto che Brian Arthur escluda senza pensarci due volte qualsiasi meccanismo di ricombinazione nei processi evolutivi mostra sembra esserne una piena conferma; eppure è necessario rimarcare che <stando alla base della creatività di *tutte* le forme di vita, la simbiosi genera novità evolutive> [Margulis 1998, corsivo mio], e va dunque riconosciuta come uno dei motori principali dei processi evolutivi, a tutti i livelli del vivente.

Le altre due differenze che Brian Arthur riscontra fra i processi evolutivi che interessano la tecnologia e quelli che interessano gli organismi viventi riguardano il loro ritmo e la tendenza di questi verso l'ottimalità.

La versione della teoria darwiniana sposata da Brian Arthur è quella del neodarwinismo della Sintesi Moderna, che ammetteva come spiegazione dell'insorgere di novità evolutive esclusivamente l'azione <di "potatura"> [Brian Arthur 2011] della selezione naturale che spunta e stabilizza le variazioni nate esclusivamente da mutazioni spontanee e casuali del corredo cromosomico.

Ammettere quest'unico principio costringe ad ammettere solo un cambiamento delle forme organiche nel tempo che sia lento, graduale e continuo.

Accumulando lentamente insensibili variazioni, le forme organiche finiscono, nei tempi lunghi sui quali agisce la selezione naturale, per differenziarsi fino a divergere in specie differenti, ancora imparentate ma ormai troppo distanti – per aspetto fenotipico, comportamento, pool genetico – per incrociarsi nuovamente e formare una popolazione coesa e che metta al mondo prole fertile.

Essendo frutto dell'azione della selezione naturale, solo le variazioni utili e "adattate" all'ambiente si fisseranno, mentre le variazioni svantaggiose, che non forniscono strumenti in più per riuscire nella "lotta per l'esistenza" finiranno per essere sempre meno frequenti e infine per sparire; si può quindi fornire una spiegazione dell'insorgere delle novità evolutive in biologia come tendenti verso l'ottimalità, verso una capacità di adattamento sempre maggiore agli ambienti rispettivi degli organismi.

Questione di ritmo: gradualismo ed equilibri punteggiati nel pensiero darwiniano

Questo impianto esplicativo, incentrato sui meccanismi chimico-fisici che interessano la comparsa di mutazioni a livello del corredo cromosomico e sui fenomeni statistici che rendono conto delle variazioni nella frequenza genica all'interno di determinate popolazioni di organismi, ha dominato l'intero panorama delle scienze del vivente di grande parte del secolo scorso, ma non è l'unico possibile.

All'inizio del secolo passato era dotata di molto credito la teoria evuzionistica anti-darwiniana del saltazionismo, o delle macromutazioni.

Secondo i sostenitori della teoria saltazionista, le nuove specie organiche sorgerebbero per improvvise mutazioni a livello macroscopico, che coinvolgerebbero l'intero piano complessivo degli individui organici interessati; e la filogenesi, la storia delle specie viventi, si configurerebbe così come una storia di grandi “salti” evolutivi.

Gli studiosi di genetica delle popolazioni si accorsero che queste improvvise macromutazioni rappresentano, nella storia della vita sulla Terra, più l'eccezione che la regola, e che anche laddove “salti” di questo tipo si verificano, si tratta, nella stragrande maggioranza dei casi, di degenerazioni che portano sostanziali svantaggi per l'individuo che ne è portatore, sconvolgendone completamente il piano corporeo.

Così divenne sempre più saldo, nell'ambito della Sintesi Moderna (tra genetica delle popolazioni ed evolucionismo darwiniano) il dogma del <gradualismo filogenetico>, la convinzione secondo la quale l'emergere delle novità in ambito evolutivo avviene a ritmi lenti e continui, sotto la pressione costante della selezione naturale.

La difficoltà nel ritrovare, con l'indagine paleontologica, serie continue di forme caratterizzate da variazioni insensibili (il problema dei cosiddetti “anelli mancanti”) aveva interessato il darwinismo fin dalle sue primissime formulazioni, ed era uno dei più forti argomenti degli anti-darwiniani, fissisti o saltazionisti che fossero.

Gli evolucionisti della sintesi rispondevano solitamente a questa argomentazione facendo perno sull'incompletezza della documentazione fossile: gli anelli mancanti potevano *non ancora* essere stati rinvenuti, oppure potrebbe non essere stato più possibile rinvenirli, perchè, per circostanze contingenti ed esterne relative alla possibilità della loro fossilizzazione, non si sarebbero conservate, come avviene per esempio per le parti molli degli organismi.

Una spiegazione alternativa e convincente si affacciò con i lavori dei paleontologi Stephen J. Gould e Niles Eldredge del 1972.

I due paleontologi recuperarono l'intuizione fondamentale di George Gaylord Simpson e del suo libro del 1944 *Tempo and Mode in Evolution*: secondo Simpson le discontinuità nella documentazione fossile sarebbero dovute a lacune reali, alla mancanza effettiva di forme intermedie, che vanno spiegate però non attraverso il ricorso ai “salti” e alle “macromutazioni”, a passaggi improvvisi da una forma organica ad un'altra, ma ad accelerazioni e rallentamenti nel ritmo al quale le piccole variazioni insorgono e vengono selezionate.

Ipotizzare che il ritmo a cui avvengono le speciazioni non sia costante costringe ad introdurre fra i meccanismi esplicativi della teoria darwiniana ulteriori fattori, anziché considerare unicamente mutazione e selezione naturale: Eldredge e Gould integrarono quindi l'intuizione di Simpson con la teoria della speciazione allopatrica sistematizzata da Ernst Mayr, secondo la quale molti processi di speciazione dipendono da fattori geografici che producono situazioni di isolamento riproduttivo fra popolazioni di una stessa specie originaria.

Due popolazioni possono infatti, secondo quanto proposto da Mayr, distanziarsi sempre più a livello

genetico a seguito di una fortunata migrazione, che abbia reso disponibile un nuovo habitat da colonizzare, oppure a seguito dell'insorgere di una barriera geografica che le abbia separate. Quando, ad esempio, durante il Pliocene (circa tre milioni di anni fa) il continente Sud Americano e quello Nord Americano si unificarono, la comparsa del Centro America e dell'istmo di Panama da un lato separò le popolazioni di specie marine che fino a quel momento avevano condiviso lo stesso areale, e che iniziarono così ad aumentare gradualmente la loro distanza filogenetica, dall'altro permise alle specie terricole della porzione settentrionale del continente di migrare verso Sud (e viceversa) e di diversificarsi in numerose sottopopolazioni ed in seguito in nuove specie.

I paleontologi chiamano questo evento “grande scambio americano”, uno dei più grandi eventi fra quelli che oggi conosciamo come <radiazioni adattative> [Pievani 2005].

Areali geografici differenti sono interessati da pressioni selettive differenti: mentre la probabilità che avvengano mutazioni a livello cromosomico è sempre più o meno costante, la selezione naturale non ha ovunque la stessa incidenza, perché habitat diversi offrono per ogni organismo che li abita possibilità diverse in termini di risorse disponibili, di concorrenza, di predatori.

Così, con l'ingresso della geografia fra i fattori più importanti per l'evoluzione biologica, diveniva possibile spiegare le lacune nella documentazione fossile senza ricorrere a “salti evolutivi” o macromutazioni e veniva modificata l'immagine complessiva dell'evoluzione: non più un albero dal cui tronco centrale, per progressiva diversificazione, si separano in maniera uniforme rami e rami secondari, ma un cespuglio irregolare e intricato, che rappresenti una storia evolutiva che vede alternarsi episodi di rapidissima speciazione (solitamente, una cinquantina di migliaia di anni) a lunghi periodi di “quasi-stasi” (calcolati intorno alla decina di milioni di anni).

La teoria proposta da Gould e Eldredge fu battezzata, dunque, degli equilibri punteggiati, o, per l'appunto, intermittenti.

L'“intermittenza” fra gli *adagio* dell'evoluzione e i brevi periodi di rapida speciazione (le radiazioni adattative) non ha del resto solo cause “geografiche”: una mutazione minima e originatasi gradualmente, ma che compaia su un gene regolatore, può portare a cambiamenti nell'espressione genica in tutto il resto dell'organismo; pensiamo ad esempio all'accumulo di sottili modificazioni nei geni che in *Homo sapiens* regolano i tempi della gestazione e dello sviluppo neonatale, che hanno causato indirettamente modifiche nei tempi di dipendenza della prole nei confronti dei genitori e dunque, necessariamente, a una maggiore socialità: il fenomeno della cosiddetta “neotenia”, che potrebbe essere stato fra i fattori chiave del successo di noi *sapiens* nei confronti dei cugini coi quali abbiamo in passato convissuto, come *Homo neanderthalensis* e *Homo floresiensis*.

La velocità alla quale possono avvenire mutazioni a livello cromosomico resta costante, ma quello che non resta costante è la velocità con cui compaiono modificazioni nel fenotipo complessivo degli organismi: il lento e graduale accumulo di modificazioni insensibili nel corredo cromosomico può rimanere a lungo “silente”, fino al momento in cui viene varcata una certa “soglia” e si ha un cambiamento nell'espressione del fenotipo.

Dunque gradualismo e teoria degli equilibri intermittenti sono nati come due paradigmi evolutivisti fra loro contrapposti, ma non sono necessariamente in contrasto, anzi: come sottolinea il filosofo della biologia Telmo Pievani, con la teoria degli equilibri intermittenti non si ha affatto una confutazione del darwinismo o di un ritorno al saltazionismo di inizio Novecento; al contrario essa rappresenta un'estensione dell'originale nucleo esplicativo pensato da Darwin: con la teoria degli equilibri punteggiati < la stabilità delle specie, da una parte, e i bruschi cambiamenti connessi a episodi di speciazione, dall'altra, smisero di essere un mistero in una prospettiva darwiniana > [Pievani 2005].

“Fatto per”, o “pronto per nuovi usi”: cooptazione funzionale e adattamento nel pensiero darwiniano

La questione della contrapposizione di gradualismo filetico ed equilibri intermittenti o punteggiati riguarda direttamente anche un'altra grande questione che anima dibattiti in seno alla comunità degli evolutivisti: la dialettica fra forme e funzioni.

Il cambiamento graduale e cumulativo dei caratteri, fin dai primi passi del darwinismo, fu uno dei punti più dibattuti: una spiegazione ingegnosa per rendere conto di differenze morfologiche di tipo continuo, come ad esempio quelle che riguardano le dimensioni o la forma degli arti o della coda, o del becco negli uccelli, come nel celeberrimo caso di studio dei fringuelli delle Galapagos (*Geospizinae*), portato da Charles Darwin stesso come prova della sua teoria e, un secolo più tardi, corroborato dalle osservazioni più che trentennali compiute da parte dei coniugi Rosemary e Peter Grant; ma che dire della comparsa delle grandi strutture complesse, o dei sofisticati moduli comportamentali riscontrabili nel regno animale e, all'interno di esso, in *Homo sapiens*?

Se è semplice accettare l'idea che piccoli cambiamenti graduali che portano vantaggio ed utilità per l'organismo vengano fissati dalla selezione naturale, come è possibile che la selezione abbia “visto” l'utilità futura di un organo ancora non formato, di uno stadio incipiente, di un comportamento non ancora del tutto “rodato”?

In altre parole, prendendo un caso molto discusso nella biologia evolutivista: è ben chiara, per gli uccelli, la funzione delle ali e la loro utilità, ma a che potrebbe mai servire il 5% di un'ala?

La ripresa di questo animato dibattito coinvolse nuovamente (e non poteva essere altrimenti) il paleontologo Stephen J. Gould, che assieme al genetista Richard Lewontin pubblicò, nel 1979, un influente articolo, curiosamente dedicato ad una struttura architettonica: *I pennacchi di San Marco e il paradigma di Pangloss. Una critica del programma adattazionista*.

Gli autori ragionavano intorno alla “mirabile armonia” che poteva essere rintracciata nella costruzione della Cattedrale di San Marco, a Venezia, e in particolare in alcuni specifici elementi architettonici, detti “pennacchi” (*spandrels*).

I pennacchi sono le superfici trilaterali che si formano sotto la base di una cupola quando essa viene innestata sopra un sistema di archi; a volte esse possono ospitare delle decorazioni pittoriche o musive

molto elaborate, come appunto nel caso della basilica di San Marco: i quattro pennacchi ospitano i ritratti dei quattro evangelisti, Matteo, Marco, Luca e Giovanni, e lo fanno in una maniera talmente “perfetta” da far pensare che i pennacchi siano stati pensati proprio per assolvere a quella funzione. <Il disegno si adatta così bene all'interno del pennacchio> scriverà Gould in un successivo articolo, <che, se non conoscessimo l'ordine storico di sviluppo o non valutassimo correttamente le conseguenze strutturali che derivano dal montare cupole sopra archi, potremmo anche invertire il rapporto di causa ed effetto e supporre che i pennacchi siano stati progettati esplicitamente per alloggiare gli evangelisti> [Gould 2012].

Naturalmente, i due evoluzionisti non scrissero l'articolo sui pennacchi perché avevano intenzione di disincantare i visitatori della Basilica, meravigliati dall'armonia fra la ricchezza decorativa dei mosaici e l'eleganza della struttura architettonica, ma perché pensavano che la storia dei ritratti degli evangelisti raccontasse qualche cosa in proposito dell'apparente perfezione di certe strutture (organiche), e del loro uso potenziale.

<Molto spesso i biologi sbagliano nell'inferire un'origine adattativa da un uso successivo e proficuo di pennacchi disponibili> [Gould 2012] sintetizza l'autore; o meglio: la natura abbonda di *pennacchi* organici, che sorgono per cause strutturali e irrelate all'uso che noi ne vediamo fare, ma i naturalisti spesso tendono a postulare che ogni struttura che ha una qualche utilità si sia anche originata in virtù di quella utilità, sia nata *per* adempiere a quella funzione e a causa di quella funzione venga mantenuta. Torniamo all'esempio delle ali degli uccelli, croce e delizia dell'evoluzionismo: è chiaro, con il 5% di un'ala di certo non si spicca il volo; è possibile pensare che l'utilità che ha fissato lo sviluppo di strutture alari sia stato il “5% del volo”?

Per degli organismi con abitudini arboricole, che si muovono saltando di ramo in ramo, la capacità di “volare al 5%”, utilizzando delle membrane per frenare l'aria e accompagnare con maggior dolcezza le cadute, in altre parole, anche solo la capacità di planare, potrebbe in effetti essere stata di eccezionale utilità.

Ma c'è di più: origine e fine di una struttura possono divergere fino al punto da costituire funzioni completamente differenti; le ali degli uccelli (a differenza di quelle degli insetti, la cui comparsa è stata totalmente indipendente a livello filogenetico da quella delle ali degli uccelli o dei mammiferi volanti – un fenomeno chiamato “convergenza adattativa”) sono membrane sottili e riccamente irrorate di vasi sanguigni, le strutture ideali per massimizzare la potenzialità di irraggiamento termico da parte del sole e per diffondere in tutto il corpo il sangue riscaldato.

Considerato sotto questo punto di vista, il 5% di un'ala riesce comunque a costituire un vantaggio non indifferente.

Dunque un'utilità locale e la differenziazione graduale, per piccole modificazioni insensibili, può portare alla fissazione di una struttura, la quale solo successivamente, potrà venire “cooptata” a livello funzionale, riutilizzata per adempiere al meglio a una nuova necessità.

Nel caso delle ali, esse sarebbero sorte prima per la termoregolazione [Gould e Vrba, 2008], poi, una

volta sviluppatasi a sufficienza in termini di dimensioni, forza, e complessità strutturale, sarebbero potute finalmente essere utilizzate per volare – dapprima degli ineleganti salti al *rallenty*, o dei goffi svolazzi come quelli che vediamo compiere, per esempio, alle galline (*Gallus gallus*), poi una capacità sempre più sicura di planare di ramo in ramo, fino ad arrivare alle sorprendenti capacità acrobatiche di alcune specie di *Apodidi* o alla resistenza impressionante della sterna codalunga (*Sterna paradisaea*), che ogni anno, per riprodursi, copre per due volte i 35.000 km che separano le coste del continente Antartico da quelle del continente Artico.

Pensare le strutture organiche nei termini di pennacchi, sorti gradualmente e con una forma determinata da vincoli strutturali, e solo successivamente cooptate per nuovi usi, costringe a cambiare nettamente punto di vista in biologia rispetto all'impostazione di quello che Gould e Lewontin indicano come <programma adattazionista> o, con intento derisorio, <paradigma di Pangloss>.

Il Dottor Pangloss era, in *Candido, ovvero l'ottimismo* (1759), il racconto filosofico dell'illuminista Voltaire, la caricatura di Leibniz che nei suoi *Saggi di Teodicea* (1710) sosteneva la tesi per cui, data la suprema bontà e l'onnipotenza del Creatore, quello in cui viviamo non può che essere <il migliore dei mondi possibili>, e ogni cosa che accade, accade per una ragione buona, in vista del Bene del Tutto.

Per Gould e Lewontin, la ricerca spasmodica di ragioni adattative, il postulato per il quale ogni struttura ha un'utilità in virtù della quale si è originata e viene mantenuta in essere ad opera della selezione naturale, porta i naturalisti e i biologi evuzionisti a comportarsi come il Dottor Pangloss, e ad inventarsi <racconti proprio così>, spiegazioni plausibili, ma fondamentalmente false, riguardo il sorgere e il mantenersi in uso di una struttura in ragione della sua utilità.

Per Gould, come egli stesso chiarirà tre anni più tardi, in un articolo redatto assieme alla paleontologa Elisabeth Vrba intitolato *Exaptation – a missing term in the science of form* [Gould e Vrba 2008], bisogna riconfigurare la biologia evuzionista intorno a questo nuovo modo di guardare alle strutture organiche: non c'è una corrispondenza diretta e univoca fra una struttura ed il suo uso, fra un comportamento e la sua utilità, fra forme e funzioni.

E allora non si può parlare esclusivamente di *ad*-attamenti, ma riconsiderare la storia evolutiva degli organismi dal punto di vista della *ex*-attamenti, ovvero di *aptations* (forme, strutture, comportamenti, coinvolgimenti funzionali di simbiotici) che *originano da* (in latino, appunto, “*ex*”), e non *sorgono per* la funzione che svolgono attualmente.

La storia evolutiva si configura, per naturalisti come Gould, Vrba, Lewontin, non come una tendenza verso l'ottimalità, verso il perfetto adattamento di organismi ai rispettivi ambienti, ma come la storia di rimaneggiamenti, di ri-usi di ciò che gli organismi hanno a disposizione.

Prendiamo l'esempio del peculiare comportamento di caccia di *Egretta ardesiaca*, l'airone nero diffuso in Africa e noto anche come *Umbrella bird*, perchè spiegando e congiungendo le ali ai lati della testa a mo' di ombrello, crea un cono d'ombra all'interno del quale i pesci vengono attratti: un uso sorprendente ed unico di una struttura comune a un numero enorme di altri animali.

Le ali portano in questo caso dei vantaggi in senso adattativo per quanto concerne non solo la capacità di spostamento, ma direttamente il reperimento di risorse, eppure non si può affermare che le ali si siano originate appositamente *per* sviluppare questa particolare tecnica – proprio come i quattro pennacchi della Basilica di San Marco sono l'ideale per alloggiare i mosaici degli evangelisti, ma non sono stati costruiti *in vista di quel fine*.

La questione si intreccia inoltre con quella del ritmo dell'evoluzione e fa da corollario alla teoria delle “radiazioni adattative”.

Se origine e uso di una struttura possono divergere, come abbiamo visto nel caso delle ali degli uccelli – ma si può spiegare nei termini di successivi exattamenti e adattamenti anche la nascita del sistema scheletrico nei vertebrati, inizialmente sorta e fissata dalla selezione come fonte di risorse metaboliche (in particolare minerali e fosfati) a livello locale per il resto dell'organismo, solo da un certo momento in avanti disponibile ad essere “sfruttata” come impalcatura per le parti molli del corpo, e di lì sempre meglio “adattata” a questo scopo [Gould e Vrba 2008] – allora non è più necessario vincolare gli adattamenti degli organismi agli ambienti e ai tempi lunghi del “gradualismo filetico”: una struttura con più usi potenziali non ha bisogno di molto tempo per assumere stabilmente una nuova funzione, nel caso l'ambiente inviti o permetta questo cambiamento di funzione – l'emergere di una novità evolutiva può avvenire, attraverso questo meccanismo, in maniera praticamente immediata.

La risposta ai cambiamenti nella pressione adattativa può, a seconda della possibilità, essere graduale e lenta, oppure rapidissima: se le strutture disponibili sono potenzialmente cooptabili per un nuovo uso, ecco che la natura e l'evoluzione non tarderanno ad assecondare il cambiamento di funzione.

L'uniformità dell'albero della vita, già messa in crisi dalla “intermittenza” degli equilibri punteggiati, viene ulteriormente frammentata, ripiegata, stracchiata, da una molteplicità di spiegazioni per la differenziazione delle forme organiche, cessando di essere il regno della determinatezza e della necessità, dell'adattamento orientato verso il meglio, verso l'ottimalità, e configurandosi invece come il dominio della potenzialità, del rapporto tra vincoli storico-strutturali e possibilità.

L'immagine della natura e dell'evoluzione darwiniana cambia, se pensiamo che <non tutto in natura serve a qualcosa, ma tutto può sempre tornare utile> [Pievani 2006].

Il tema dell'*exaptation*, ovvero quello dell'evoluzione come gioco fra vincoli e possibilità, fra la determinazione storicamente vincolata delle condizioni di partenza di ogni organismo e la sua capacità “esplorativa” dell'ambiente, ci riporta alle analogie e alle differenze fra evoluzione tecnologica e evoluzione strettamente biologica.

Brian Arthur sosteneva che a dividere biologia e tecnologia fosse, oltre alla velocità e al ritmo a cui compaiono le novità evolutive (graduali, continue, uniformi, in biologia; discontinue e improvvisamente “esplosive” per quel che riguarda la tecnologia), fosse la “direzionalità” dei due percorsi di sviluppo: l'evoluzione biologica tenderebbe sempre all'ottimalità, all'adattamento dell'organismo nei confronti dell'ambiente, mentre questo non si può dire nei confronti della tecnologia.

Brian Arthur descrive molto bene la storia di numerose tecniche e tecnologie il cui sviluppo è caratterizzato da discontinuità nello sviluppo e soprattutto da “residualità”, tecnologie “vestigiali”, ovvero che non hanno più alcun ruolo eppure vengono mantenute in uso (a volte anche inconsapevolmente), o che potrebbero essere sostituite del tutto da alternative più funzionali, più adatte allo scopo, ma che continuano invece ad essere utilizzate semplicemente perchè *storicamente*, in maniera quindi contingente rispetto al proprio essere adatte allo scopo, quelle sono le tecnologie che si sono affermate, riprodotte, e diffuse – come nell'esempio precedentemente citato riguardo l'utilizzo dell'acqua come materiale di raffreddamento e moderazione nei reattori nucleari.

Lungi dal procedere linearmente verso il progresso, lo sviluppo tecnologico rimane per la maggior parte del tempo <locked-in> [Brian Arthur 2011], ovvero <imprigionato>, incastrato, all'interno di una rete di moduli onerosi da scardinare, persino da parte di nuove soluzioni vantaggiose.

Lo stesso principio che vincola, incastra le tecnologie all'interno di sequenze storicamente determinate, è però anche uno dei principali meccanismi che generano innovazione: <quando emergono nuove circostanze, oppure quando nasce la necessità di un nuovo ambito di applicazione> scrive in proposito Brian Arthur, <è più facile ricorrere alla vecchia tecnologia (al vecchio principio base) e adattarla, 'estendendone' la gamma di applicazioni> [Brian Arthur 2011].

Questo meccanismo viene descritto da Brian Arthur come <estensione adattativa> e viene posto al centro delle dinamiche di sviluppo della tecnologia, a riprova di come fra evoluzione biologica e storia della tecnologia ci sia un ulteriore, importante, punto di contatto: la flessibilità, la capacità di riutilizzare in nuove chiavi adattative il materiale già disponibile, di intraprendere traiettorie di sviluppo non date *a priori*, ma determinate dalla situazione e dal contesto.

Facevano dunque bene Stephen J. Gould e Elisabeth Vrba a domandarsi, a proposito del peso eccessivo attribuito alla categoria dell'adattamento come ragione della comparsa di novità evolutive: <quanta parte della letteratura evoluzionistica sul comportamento umano crollerebbe se incorporassimo il principio dell'*exaptation* nel cuore del nostro pensiero evoluzionistico?> [Gould e Vrba 2008].

Il loro obiettivo polemico era l'adattazionismo di Richard Dawkins e del suo *Gene egoista*, e ancora di più le sue dirette discendenti, la sociobiologia di Edward O. Wilson e la psicologia evoluzionistica. Oggi il consenso di fondo intorno all'adattazionismo comincia a venir meno, se si tiene conto di come per esempio proprio Edward O. Wilson, nel recente *La conquista sociale della Terra* [Wilson 2013], faccia largo uso della categoria di <preadattamento> e centri le sue spiegazioni su imprevedibili effetti <a cascata> di piccole modificazioni, e soprattutto apra a meccanismi di selezione multilivello per spiegare la nascita della socialità umana, rinunciando all'“ortodossia” che riconduceva la *kin selection* a una forma di egoismo genetico mascherato.

Brian Arthur esclude quindi dal novero dei meccanismi evolutivi elementi come la capacità di ricombinazione (simbiosi) e la <cooptabilità per nuovi usi> [Gould e Vrba 2008], e decide di ammettere unicamente cambiamenti graduali e uniformi (gradualismo filetico) che tendono

necessariamente verso l'ottimalità (adattazionismo); la sua non è una scelta “neutra”, ma rappresenta l'adesione ad uno specifico modo in cui concettualizzare l'evoluzione.

Credo si possa affermare che Brian Arthur compia questa scelta perché non a conoscenza della tradizione evoluzionistica che pone l'accento sui caratteri di “strutturalismo” dello sviluppo delle forme organiche (il nome di Gould non compare mai fra le righe de *La natura della tecnologia*, e nella bibliografia del libro viene citato un suo unico, breve e poco significativo articolo), un resoconto dell'evoluzionismo in cui egli stesso potrebbe rinvenire molte analogie con la sua analisi dei processi di sviluppo tecnologici; o perché convinto che ci sia un consenso unanime intorno alle tesi adattazioniste di Dawkins.

Al contrario, ritengo che proprio la ricchezza esplicativa del resoconto di Brian Arthur sull'evoluzione combinatoria in tecnologia potrebbe dare un notevole contributo a far cambiare i pesi e i rapporti di forza fra una visione ristretta e limitata dell'evoluzione e gli approcci pluralisti che sempre più cercano una sinergia e una visione d'insieme dei fenomeni evolutivi.

<Oggi sappiamo che processi di cooptazione funzionale> - senz'altro l'aspetto che in maniera più significativa legano le ricerche di Stephen J. Gould a quelle di William Brian Arthur - <interessano tutti i livelli del vivente, dai geni alla morfologia, fino ai moduli comportamentali> scriveva Telmo Pievani nel presentare *La teoria dell'evoluzione* [Pievani 2006]; Quanti altri elementi, non considerati da Brian Arthur e dalla visione “ortodossa” (o forzosa?) del darwinismo, investono e coinvolgono <tutti i livelli del vivente>, tecnologia inclusa?

Non solo la selezione: verso una *Extended Evolutionary Synthesis*

Un articolo recentemente pubblicato sui “Proceedings of the Royal Society” ad opera di un nutrito gruppo di autori, intitolato *The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions* intende fare il punto della situazione nella biologia evoluzionistica e offrire una visione d'insieme per una molteplicità di prospettive teoriche alternative al geno-centrismo adattazionista, quel paradigma che riconosce come meccanismi evolutivi esclusivamente i cambiamenti nei fenomeni di trasmissione ereditaria che avvengono a livello microevolutivo (i cambiamenti nella frequenza genica e la loro espressione) e l'azione della selezione naturale.

<Una definizione largamente accettata di evoluzione è 'cambiamento della composizione genetica di una popolazione'> scrivono gli autori, riprendendo la definizione fornita da Ernst Mayr, uno dei maggiori responsabili della sistemazione teorica del moderno pensiero darwiniano.

Questa definizione, con la sua influenza, ha spinto un vasto numero di biologi evoluzionisti a restringere i processi evolutivi a quelli <che cambiano direttamente la frequenza genica: selezione naturale, *drift*, flusso genico e mutazione> [Laland et al., 2015], e a ignorare tutti gli altri: fattori quali <i vincoli di sviluppo o la costruzione di nicchie> non intervengono direttamente sulle frequenze geniche e quindi <non vengono considerate cause di processi evolutivi> da parte dei resoconti

standard dell'evoluzionismo darwiniano, lamentano gli autori [Laland et al., 2015].

Al contrario, è necessario riconoscere che <i processi di sviluppo ricoprono ruoli importanti dal punto di vista dell'evoluzione in quanto cause di nuove, potenzialmente benefiche, variazioni fenotipiche, della *fitness* differenziale di queste variazioni, e/o della loro ereditabilità. Ne deriva che a portare il peso della creatività, nell'evoluzione, non è esclusivamente la selezione> [K. N. Laland et al., 2015]. La direzionalità dell'evoluzione, scrivono gli autori, <non dipende esclusivamente dalla selezione> e non è necessario che a dare origine a una novità evolutiva sia una mutazione – ovvero un errore in un processo di trasmissione; <la descrizione causale di un cambiamento evolutivo può, ad esempio, originarsi dalla plasticità dei processi di sviluppo o dalla costruzione di nicchie>, e il cambiamento nella frequenza genica verrebbe fissato dalla selezione, in casi come questi, solo successivamente. Un impianto esplicativo di questo tipo viene per esempio utilizzato da Eva Jablonka e Daniel Don per fornire un'ipotesi sull'origine del linguaggio: <il linguaggio ha incominciato a svilupparsi esattamente come la ruota o la scrittura> [Don e Jablonka 2016] – ed è significativo che gli autori prendano come esempio un “tratto” dell'evoluzione tecnologica, proprio come fecero Gould e Lewontin nel loro articolo sui *pennacchi di San Marco* – e questo nuovo tratto, ipotizzano gli autori, <è comparso come una tecnica di comunicazione sviluppatasi nella collettività prima che i singoli individui acquisissero le capacità di servirsene in modo efficiente> [Don e Jablonka 2016].

La diffusione di questo comportamento a partire da processi “esplorativi”, avrebbe dato origine, direttamente a partire dai suoi “stadi incipienti” <a un nuovo contesto di comunicazione, e ha poi coinvolto le cognizioni individuali e i geni in una dinamica coevolutiva in grado di far nascere il linguaggio, e la mente con esso compatibile, che noi oggi possediamo> [Don e Jablonka 2016]. Solo una volta iniziata, in conseguenza di “comportamenti esplorativi” messi in atto da gruppi umani, la costruzione di una nuova “nicchia” (l'insieme di condizioni di possibilità, all'interno di un ambiente, che permette lo sviluppo di un determinato organismo), <alcuni individui della nostra specie hanno incominciato ad essere selezionati per la loro capacità di sopravvivere in un nuovo ambiente culturale, che aveva al centro la tecnologia del linguaggio> [Don e Jablonka 2016]; in altre parole, la diffusione del linguaggio <avrebbe seguito dunque la medesima logica della diffusione degli alleli per la tolleranza al lattosio. Un iniziale aggiustamento fenotipico comportamentale, non generato da una fortunata mutazione ma dalla plasticità fenotipica, avrebbe diffuso una pratica> [Pievani e Suman 2016]; in casi come questo i geni, come dice il titolo stesso dell'articolo di Jablonka e Don, vengono dopo.

Ma dopo che cosa, di preciso?

Come indicano le suggestioni portate dai sostenitori della Sintesi Evoluzionistica Estesa (EES, *Extended evolutionary synthesis*), bisogna riconoscere pienamente l'intrinseca pluralità che interessa i processi di sviluppo individuale e determina l'emergere di novità evolutive: i processi di sviluppo, operando a partire da <vincoli> (<*bias*>), attraverso processi di <costruzione di nicchie> che permettono dinamiche di <ereditarietà inclusiva> (ovvero non geneticamente veicolata) vanno

considerati <corresponsabili della direzionalità e del ritmo dell'evoluzione> [Laland et al. 2015]. L'impianto esplicativo proposto dalla EES è di stampo intimamente costruzionista, e si basa sulla causalità reciproca (<*reciprocal causation*>) che intercorre fra tutti gli elementi chiave che interessano lo sviluppo individuale degli organismi e la loro evoluzione su scala filogenetica: geni e ambiente, organismi e specifiche nicchie ecologiche, vincoli di sviluppo storicamente determinati e possibilità d'uso (e ri-uso), sono tutte coppie di elementi fra loro interrelati e che si co-costruiscono vicendevolmente.

Al posto delle relazioni univoche e unidirezionali che contraddistinguono i resoconti ristretti dell'evoluzionismo darwiniano (le condizioni ambientali permettono che determinati geni vengano selezionati, i geni codificano per intero lo sviluppo dell'organismo) la EES descrive l'evoluzione come un sistema di relazioni di reciproca causalità, in cui gli organismi sono determinati dagli ambienti in cui vivono – le loro “nicchie ecologiche” – al contempo essi stessi sono attori che contribuiscono alla modificazione e alla stabilizzazione di quelle stesse nicchie, intervenendo così direttamente sul loro ambiente e indirettamente sulla relativa pressione selettiva – pensiamo ad esempio ai nidi degli insetti *eusociali* e al peso che l'esistenza di quelle particolari nicchie riveste nei processi di sviluppo individuale dei singoli insetti [Hölldobler e Wilson 2010].

Il fenomeno della <costruzione di nicchie> come fattore di stabilizzazione viene considerato fondamentale per definire la categoria della <eredità inclusiva>: mantenendo costanti “artificialmente” le condizioni modificate del proprio ambiente, un organismo potrà far sì che modificazioni occorse a livello *epigenetico* (che avvengono cioè senza che incorra una modificazione nella linea germinale, e rimangono “fuori”, o “al di sopra”, dei geni, appunto) e, dunque, di per sé non ereditabili, vengano comunque in qualche modo “trasmesse” alla propria prole, che svilupperà le stesse “risposte adattative” alla nicchia ecologica stabilizzata in cui si troverà.

I fenomeni di costruzione di nicchie e i processi di eredità inclusiva da essi messi in atto trovano come presupposto la natura attiva dei singoli organismi e la capacità che ognuno di essi ha nel <modellare la traiettoria del proprio sviluppo, attraverso la costante risposta e modifica delle proprie condizioni, interne ed esterne> [Laland et al. 2015].

Lo <sviluppo costruttivista> (<*constructive development*>) teorizzato dalla EES sottolinea il rapporto di interdipendenza fra geni e ambiente, ma ancora maggiormente calca la mano sul rapporto tra plasticità e vincoli di sviluppo storicamente determinati, in una piena ripresa della chiave di lettura proposta da Gould, Vrba, e Lewontin: <i vincoli di sviluppo e la plasticità giocano, nella EES, un ruolo centrale come generatori di nuove [...] potenzialmente funzionali, variazioni fenotipiche> [Laland et al. 2015].

Gli autori sottolineano come i vincoli di sviluppo (*developmental bias*), tradizionalmente concepiti come fattore limitante (*constraints*), per spiegare come mai una certa traiettoria adattativa – pur tendente all'ottimalità – non sia stata intrapresa, vadano invece pensati come potenziale fonte di novità evolutive e variazioni adattative favorevoli: <vincoli di sviluppo e costruzione di nicchie devono

essere rispettivamente riconosciute come processi evolutivi che possono dare origine a processi selettivi e direzionarli> [Laland et al. 2015].

L'elemento che sta veramente al cuore dell'evoluzione non va ricercato, per la EES, nell'adattamento, la relazione ottimale di un organismo nei confronti del suo ambiente (o di un gene nei confronti del suo “ambiente” genico, come nella *gene's eye view* di Dawkins), determinata storicamente dall'azione della selezione, ma nella flessibilità evolutiva e nelle potenzialità che si presentano con la possibilità di continui rimaneggiamenti ed exattamenti di strutture disponibili, sorte per ragioni contingenti, che non sono in rapporto con gli usi che se ne faranno.

<Se lo sviluppo>, ragionano gli autori <in quanto processo *esplorativo*, si caratterizza come un processo costruttivista e *open-ended*> cioè le cui conseguenze non sono prevedibili a partire dalle sole condizioni di partenza, <fenotipi funzionali completamente nuovi possono emergere a partire da piccolissime, se non nulle, variazioni genetiche, e nondimeno generare nuovo materiale disponibile per conseguenti percorsi selettivi> [Laland et al. 2015]; un'ottica difficile da accettare per chi concettualizza la plasticità fenotipica, di sviluppo, e comportamentale come programmata geneticamente, secondo la logica delle norme di reazione, preventivamente fissate dalla selezione naturale; e che trova invece numerose argomentazioni a sostegno se prendiamo in considerazione i meccanismi evolutivi che interessano lo sviluppo tecnologico per come ci vengono descritti da Brian Arthur.

Al cuore della sua descrizione dell'evoluzione tecnologica sta infatti il meccanismo della <ricombinazione>, possibile in virtù della natura modulare della tecnologia, ma anche e soprattutto per via della sua intrinseca flessibilità.

L'ingegneria è del resto descritta da Brian Arthur non tanto come una successione di invenzioni (che corrisponderebbero alle mutazioni genetiche in ambito biologico), ma come continua riformulazione e spostamento di dominio delle stesse problematiche, ovvero continuo processo di riuso dello stesso materiale per nuovi fini – i quali emergono generativamente proprio dall'uso stesso delle tecnologie e dal loro uso per scopi del tutto nuovi, secondo il processo di costruzione di <nicchie di opportunità> attraverso il quale la tecnologia apre a sé stessa nuovi campi di esplorazione.

Conclusioni: la tecnologia, una forma della natura

L'approccio costruttivista comune alla teoria dell'evoluzione combinatoria di Brian Arthur e alla Sintesi Evoluzionistica Estesa rafforza una lettura che superi la divisione preconcepita fra evoluzione biologica ed evoluzione culturale e tecnologica, e insieme ad essa la stessa separazione fra uomo e natura.

Il più peculiare prodotto dell'evoluzione umana, la tecnologia – anche se, noteremo solo incidentalmente, la tecnologia non si manifesta solo in *Homo sapiens* – deve essere riconsiderato come prodotto dell'evoluzione, più che della mente umana.

Pensare lo sviluppo della tecnologia esclusivamente nell'ottica astratta di una serie di progetti via via migliori, che rispondano in modo sempre più sofisticato a delle finalità prettamente umane, riflette una rappresentazione erronea dei processi che generano e orientano i processi di innovazione tecnologica, soggetti anch'essi, come l'evoluzione degli organismi viventi, a una <contingenza radicale>, frutto di una complessa negoziazione tra flessibilità d'uso e vincoli storicamente dati [Pievani 2005].

Se vogliamo uscire davvero dalle secche dell'esenzialismo antropocentrico, dobbiamo smettere di concettualizzare la tecnologia come il portentoso frutto di qualcosa di completamente separato dal resto del mondo naturale, la mente *disincarnata* dell'essere umano, e imparare a ripensarla in quanto uno dei processi attivi attraverso i quali la natura genera novità a partire dal materiale che ha a disposizione.

Oggi la totalità degli organismi che vivono sulla Terra sono minacciati da sconvolgimenti climatici di chiara origine antropica, che abbiamo avviato e lasciato proliferare perché troppo a lungo ci siamo pensati come degli esseri posti dall'evoluzione al di sopra della natura, e dalla natura, vista la capacità che abbiamo di manipolarla tramite la tecnologia, *indipendenti*.

I preconcetti antropocentrici che per secoli hanno fatto da sfondo a questa mentalità non sono stati del tutto messi da parte, e continuano a far sentire oggi il loro peso, trovando paradossalmente appoggio in alcuni dei modi in cui la teoria darwiniana viene “popolarizzata”.

La retorica che descrive l'evoluzione nei termini di una lotta che conduce alla sopravvivenza “del più forte”, viene utilizzata strumentalmente come giustificazione di questo *status quo*: l'essere umano ha trionfato una volta per tutte nella lotta per la sopravvivenza, perché una volta scoperta la tecnologia si è, con un vero e proprio salto di qualità, portato in cima alla scala dei viventi, al di fuori del resto della natura – nessun biologo concorderebbe mai con affermazioni di questo genere, eppure ritengo che approcci evolucionistici che insistono con particolare accanimento sul carattere “egoista” degli organismi viventi (o dei loro stessi geni, o dei loro memi e tecno-memi...) e che dipingono i meccanismi evolutivi come esclusivamente orientati verso un vantaggio competitivo abbiano contribuito a lasciare intatto il pregiudizio che vede l'essere umano come un essere superiore a tutti gli altri, e dunque esente da qualsiasi responsabilità verso il resto della natura.

Approcci all'evoluzionismo che rendano invece conto del modo in cui gli attori dei processi biologici siano intimamente legati fra loro da un gioco di reciproca costruzione, il cui andamento non tende necessariamente a condizioni di ottimalità, ma che continuamente, procedendo per scambi, commistioni, rimescolamenti, “apre” nuovi spazi potenziali da esplorare, forniscono nuovi strumenti per ripensare il nostro posto nella natura e il ruolo che abbiamo nei suoi confronti.

Rinvenire, nei processi che interessano lo sviluppo della tecnologia, gli stessi meccanismi che interessano l'evoluzione degli organismi viventi, e nelle dinamiche che caratterizzano il mondo dei viventi, le stesse logiche che rintracciamo nel mondo “artificiale” della tecnologia, deve spingerci a infrangere i rigidi dualismi attorno a cui abbiamo strutturato la separazione concettuale fra essere umano e natura: mente e corpo, istinti e cultura, innato e acquisito, naturale e artificiale.

Riconoscere la tecnologia e i suoi prodotti come fenomeni massimamente naturali ci deve aiutare, nell'orientare la nostra azione per rispondere alle sfide che ci verranno poste dal prossimo futuro, a non riproporre idee preconcepite riguardo il particolare *status* che attribuiamo a uno fra i molti possibili percorsi che l'evoluzione di *Homo sapiens* poteva intraprendere e che ha, in maniera contingente, intrapreso: quello della tecnologia.

Non possiamo più scindere in due l'essere umano, in un "sostrato biologico", geneticamente determinato, e in un disincarnato ed astratto "universo culturale", in cui prendono vita idee e tecnologie ("disincarnate" anch'esse, *progetti* che necessariamente preesistono alle loro stesse applicazioni), così come non possiamo più tenere concettualmente separati "mondo naturale" e mondo "dell'Uomo": sono dimensioni troppo intimamente intrecciate, implicate come sono nella trama di relazioni causali complesse che accomunano tutti i livelli del vivente.

Ritengo che ripensare *Homo sapiens* e i processi tecnologici che mette in atto come pienamente *coinvolti* (e *co-implicati*) nella natura e nei suoi processi co-costruttivi sia l'unica strada da imboccare se vogliamo davvero salvaguardarne il futuro; e assieme ad esso anche il futuro di tutti gli altri viventi, coi quali noi *Homo sapiens* condividiamo pienamente, oltre che la Terra, anche la *natura*.

Bibliografia

Brian Arthur, W. (2009), *The nature of technology. What it is and how it evolves*, trad. it. Davide Fassio, *La natura della tecnologia. Che cos'è e come evolve*, Codice Edizioni, 2011;

Blackmore, S. (1999), *The meme machine*, Oxford University Press, trad. it. Isabella Blum, *La macchina dei memi. Perché i geni non bastano*, Instar Libri, Torino 2002;

Dawkins, R (1976), *The selfish gene*; Oxford University Press;

Don, D., Jablonka, E. (2016) “*i geni vengono dopo*”, in “*MicroMega*” 6/2016, trad. it. G. P. Parini, 2016;

Gould, S. J. (1997), *L'eccellenza esattativa dei pennacchi come termine e prototipo*, “*Proceedures of the Natural Academy of Sciences USA*”, vol. 94, pp. 10750-10755, trad. it. Andrea Parravicini, “*Paradosso. Forme della vita e statuti del vivente. Filosofia e biologia*”, pp. 181-198, 2012;

Gould, S. J., Vrba, E. (2008), *Exaptation. Il bricolage dell'evoluzione*, Bollati Boringhieri, 2008;

Hölldobler, B., Wilson, E. O. (2008), *The Superorganism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies*, Norton, 2008, trad. it. Isabella Blum, *Il superorganismo. Bellezzam eleganza e stranezza delle società degli insetti*, Adelphi, 2010;

Laland, K., Uller, T., Feldman, M. W., Sterelny, K., Müller, G. B., Moczek, A., Jablonka, E., Odling-Smee, J. (2015), *The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions*, “*Proceedings of the Royal Society*” (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4632619/>);

Margulis, L. (1998) *Symbiotic planet. A new look at evolution*, Basic books, Massachussets;

Pievani, T., Suman, F. (2016), *Nani sulle spalle dei giganti. Evoluzione culturale cumulativa e origine del linguaggio*, in “*MicroMega*” 6/2016;

Pievani, T. (2005), *Introduzione alla filosofia della biologia*, Laterza;

Pievani, T. (2006), *La teoria dell'evoluzione. Attualità di una rivoluzione scientifica*, Il Mulino;

Sterelny, K. (2001), *Gould vs Dawkins. The survival of the fittest*, 2001, trad. it. T. Pievani, La

sopravvivenza del più adatto. Dawkins contro Gould, Cortina, 2004;

Wilson, E. O. (2012), *The social conquest of Earth*, 2012, trad. it. Lucio Trevisan, *La conquista sociale della Terra*, Cortina, 2013.

Sitografia

Susan Blackmore, *Memes and “temes”*, TED talks, 2008, consultato in data 24 Ottobre 2016 (https://www.ted.com/talks/susan_blackmore_on_memes_and_temes) ;

Daniel Dennett, *On the deanger of memes*, TED talks, 2002, consultato in data 24 Ottobre 2016 (https://www.ted.com/talks/dan_dennett_on_dangerous_memes?language=it#t-111971)

Laland, K., Uller, T., Feldman, M. W., Sterelny, K., Müller, G. B., Moczek, A., Jablonka, E., Odling-Smee, J., *The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions*, “*Proceedings of the Royal Society*”, 2015 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4632619/>), consultato in data 24 Ottobre 2016;

Pio XII, *Dio, unico Comandante e Legislatore dell’universo, discorso alla Pontificia Accademia delle Scienze*, “*casinapioiv.va*”, 30 novembre 1941, consultato in data 24 Ottobre 2016 (<http://www.casinapioiv.va/content/accademia/it/magisterium/piusxii/30november1941.html#11>)