

# Una teoria d'evoluzione costruttiva estesa a biologia, fisica e cultura

*Michele Sarà*

## LE NUOVE BASI DI GENETICA E BIOLOGIA DELLO SVILUPPO

Gli ultimi decenni del Novecento e l'inizio del Duemila sono stati caratterizzati in biologia da una convergenza fra genetica e biologia dello sviluppo (*Evo-Devo*). Ciò è avvenuto sulla base di un vastissimo campo di nuove conoscenze biologico-molecolari sul genoma e sul funzionamento della cellula.

Il genoma non è più considerato, come alla metà del Novecento, quale una semplice sequenza di geni in cui ogni gene, codificando una proteina, presiede ad un carattere, ma come un complesso e dinamico sistema integrato. In esso l'azione di diversi geni, gerarchicamente ordinati, concorre alla formazione di un carattere mediante intricate reti regolatrici. La parte non codificante del DNA è enormemente preponderante su quella strutturale che codifica per le proteine dei caratteri. Nell'uomo si attribuisce solo l'1,6% a questa seconda frazione.

Il funzionamento della cellula e i conseguenti processi di sintesi proteica, che portano alla formazione di caratteri, sono regolati da un complesso sistema reticolare d'informazione. Questa circola in modo bidirezionale, non unidirezionale, cioè soltanto dal DNA alla periferia, dai geni ai caratteri, come si riteneva alla metà del Novecento, quando l'unidirezionalità dal genotipo al fenotipo diventò Dogma centrale della biologia molecolare. Invece, una corrente d'informazione, proveniente sia dalle altre cellule dell'organismo sia dall'ambiente esterno, perviene ai geni e alla loro rete regolatrice influenzandoli. I segnali, chimici e fisici, sono captati dalla rete di recettori di membrana e condotti ai geni attraverso una rete di trasduttori. A queste reti partecipano proteine e molte altre sostanze. Di conseguenza, la formazione di un qualsiasi struttura o funzione cellulare è il risultato di un fitto "dialogo" molecolare fra geni, e fra geni e proteine e altre sostanze.

Il centro di questo "dialogo", il punto nodale, è rappresentato dal processo di espressione genica, mediante cui un gene può essere attivato o represso. Il sistema che ad esso presiede, il complesso di trascrizione, è formato da decine di proteine diverse ed altre sostanze che si pongono in rapporto con diverse sequenze specifiche del DNA. L'espressione genica, e non l'esistenza di un gene con specifiche sequenze nucleotidiche, deve quindi oggi essere considerato il fenomeno fondamentale che presiede alla formazione dei caratteri. Ma il gene per esprimersi, cioè per funzionare, richiede, oltre all'esistenza di particolari sequenze nucleotidiche, un complesso

d'informazioni interne ed esterne all'organismo, veicolato da proteine ed altre sostanze.

Quando fu elaborata, alla metà del Novecento, la Sintesi, la teoria neo-darwiniana ancor oggi dominante dell'evoluzione biologica, nulla di tutto ciò era conosciuto. Le prime nozioni sull'esistenza di sistemi regolatori dei geni, il *lac-operon* del batterio *Escherichia coli*, furono pubblicate ad opera di Jacob & Monod solo nel 1961, cioè dopo la formulazione e il consolidamento della Sintesi.

La Sintesi si è formata nella prima metà del Novecento, dal neo-darwinismo che, raccordando al selezionismo darwiniano l'eredità mendeliana, considerava i geni come entità operanti singolarmente. Selezione naturale ed eredità mendeliana, operanti su di una variazione genetica (mutazioni e ricombinazioni) casuale, furono poste alla base delle elaborazioni matematiche della genetica delle popolazioni e costituirono la base teorica del meccanismo microevolutivo che porta alla formazione delle specie. Utilizzando il principio delle cause attuali, questo meccanismo fu poi considerato sufficiente per spiegare la macroevoluzione, la formazione dei caratteri complessi strutturalmente e funzionalmente, le grandi divergenze fra i viventi e i loro, spesso straordinari, adattamenti all'ambiente. Tuttavia, a molti biologi apparve chiaro, in base a semplici calcoli probabilistici, che un evolucionismo neo-darwiniano, basato su selezione e variabilità casuale, non consentiva di spiegare i grandi fenomeni evolutivi.

La Sintesi ha avuto buon gioco perché, messo da parte il lamarckismo, cioè l'ereditarietà dei caratteri acquisiti, sulla base del principio weismanniano del dualismo somatico germinale (per cui caratteri nuovi prodotti nel soma non possono essere trasferiti al germe) e in assenza di prove convincenti, sembrava non potesse esservi altro meccanismo plausibile del processo evolutivo che quello neo-darwiniano. La scoperta, a metà degli anni cinquanta del Novecento, della struttura del DNA, e quindi del gene, ad opera di Watson & Crick (1953) e la conseguente formulazione del processo di sintesi proteica (un gene – una proteina), fu considerata un'ulteriore, significativa conferma della bontà del meccanismo neo-darwiniano.

La Sintesi è stata una costruzione grandiosa che ha unito le conoscenze biologiche della prima metà del Novecento alla fondamentale idea darwiniana della selezione naturale. Essa, nonostante le difficoltà teoriche e la mancanza di prove per la spiegazione dei processi macroevolutivi, messe in risalto già all'epoca da molti biologi, sembrò non avere alternative possibili. Erano possibili ritocchi, inserzioni, ampliamenti ma non poteva esserne messo in discussione l'impianto fondamentale. Questo parte dagli eventi casuali della variabilità genetica come materiale di base, e ritiene che la selezione naturale sia l'unico possibile agente ordinatore, che spiega la diversità dei viventi, la loro organizzazione e la loro congruenza con l'ambiente. La selezione naturale è un vero *deus ex machina*, perché non si collega ad alcuna proprietà dei viventi, ma agisce sulla base della *fitness*, un valore relativo, cioè la diversa capacità di sopravvivere e riprodursi degli individui che formano una popolazione geneticamente variabile. I più "adatti" hanno maggiori probabilità di trasmettere i loro caratteri, quindi i loro geni, prodotti per caso.

Questo meccanismo porta ad una visuale del mondo basata su caso e necessità, com'è stato esposto con successo nel libro di Monod (1970). La necessità, oggi, è

vista spesso come ottimizzazione ma non si deve confondere ciò con una nozione di progresso, perché l'ottimizzazione è solo un valore relativo ad una data situazione: un batterio può essere altrettanto ottimizzato, e magari più, dell'uomo. Un neo-darwinista coerente, come Dawkins (1987), non ritiene, al contrario di Darwin (1859), che vi sia stato progresso nell'evoluzione e non pone l'uomo al vertice di un processo, di un disegno evolutivo. Per i neo-darwinisti l'uomo è magari più complesso degli altri viventi, ma ciò non è un perfezionamento ed è frutto del caso.

Le critiche principali, negli anni sessanta e settanta, al neo-darwinismo, come quelle del saltazionismo di Eldredge & Gould (1972) e del neutralismo di Kimura (1983), pur se ancora oggi oggetto di disputa, sono state facilmente riassorbite nella Sintesi. Infatti, anche se accentuano l'importanza dei fattori casuali nei confronti della selezione, non introducono aspetti veramente nuovi nei riguardi del fenomeno dell'adattamento degli organismi all'ambiente. L'adattamento, anche secondo tali autori, può essere prodotto solo dal meccanismo della selezione naturale. Come Gould e Lewontin (1979), nelle loro critiche al panselazionismo, sottolineano che molti caratteri sono dovuti al caso e ai vincoli strutturali e filetici, il che attenua l'importanza della selezione naturale, anche se questa rimane necessaria per spiegare gli adattamenti.

Un paradigma evolutivo diverso da quello neo-darwiniano si ha solo se emergono novità di fondo sul problema degli adattamenti tali da giustificare, sulla base di nuove conoscenze, la loro formazione come dovuta agli organismi stessi e non, o almeno non solo, al fattore estrinseco della selezione naturale. Le premesse per questa "rivoluzione" scientifica esistono nella biologia dell'ultimo trentennio e sono date dal nuovo quadro sul funzionamento del genoma e della cellula (Sarà 2003, 2005).

Il fatto che il nuovo paradigma evolutivo, coerente con le attuali conoscenze, un paradigma sostanzialmente costruttivo anziché selettivo, non si sia ancora imposto all'attenzione scientifica generale dipende da una serie di fattori come disinformazione, arroccamento intorno al sistema precostituito, rapido e tumultuoso accumulo delle nuove, talora rivoluzionarie, conoscenze, soprattutto negli ultimi dieci-quindici anni. Sono stati, inoltre, scarsi i tentativi di formulare un nuovo ed organico quadro evolutivo, anche per la scarsa attenzione ai problemi teorici sollevati dalle nuove conoscenze, spesso finalizzate solo agli aspetti pratici. Se poi ci si riferisce alla più vasta cerchia dell'insegnamento e dei *media* d'informazione, la situazione è peggiore, perché spesso si confonde darwinismo o neo-darwinismo, che peraltro sono diversi, con l'evoluzionismo *tout-court*. Su questa base errata si afferma che il rigetto del darwinismo significherebbe rigetto dell'evoluzionismo a vantaggio di oscurantiste teorie creazionistiche. Ma ciò ignora un principio basilare della scienza, cioè che le teorie, e quindi anche quelle evoluzionistiche, sono soggette a continua revisione e magari al loro rigetto sulla base d'una nuova documentazione di fatti ed esperimenti.

Il passaggio al nuovo paradigma costruttivo è implicito, anche se non completamente espresso, nelle ricerche pionieristiche di Conrad Waddington, genetista ed embriologo inglese, operante fra gli anni quaranta e sessanta del Novecento, che saldano nuovamente genetica e biologia dello sviluppo, discipline scientifiche strettamente connesse, che avevano, purtroppo, divorziato all'inizio del Novecento. La loro connessione porta

Waddington (1961) a formulare concetti e termini nuovi come quelli di canalizzazione dello sviluppo, di paesaggio epigenetico e di assimilazione genetica. In sostanza, per Waddington (1942, 1953) è possibile, ed è stato dimostrato con esperimenti in laboratorio sulle drosofile, che caratteri somatici, indotti plasticamente nel fenotipo da stimoli ambientali fisici e chimici, e quindi non ereditari, siano successivamente, nel corso delle generazioni, con l'ausilio della selezione, assimilati geneticamente e resi pertanto ereditari. Essi diventano acquisizioni della specie, in quanto continuano ad essere espressi anche in assenza dello stimolo che li aveva originariamente causati. Un meccanismo molecolare dell'assimilazione genetica è stato recentemente interpretato, come capacità genetica, da Rutherford & Lindquist (1998).

Il concetto di assimilazione genetica, affine al cosiddetto effetto Baldwin (Baldwin 1896) formulato alla fine dell'Ottocento, è stato considerato dai neo-darwiniani poco ortodosso, quindi posto in ombra nei suoi aspetti innovativi, e si è cercato di ricondurre gli esperimenti di Waddington nell'alveo neo-darwiniano. Ma gli aspetti neo-lamarckiani della ricerca di Waddington non possono essere minimizzati. Il fatto fondamentale è che l'azione dell'ambiente sul fenotipo precede la formazione della struttura genetica che lo rende ereditario. L'organismo risponde all'ambiente con modificazioni fenotipiche e queste, con l'aiuto della selezione, che è quella artificiale di laboratorio, diventano, in poche generazioni, ereditarie. L'origine, però, non è in mutazioni casuali ma in modificazioni del fenotipo orientate dall'ambiente. Si tratta di un'evoluzione fenocentrica anziché genocentrica. I geni sono a servizio del fenotipo e questo non è, come sostenuto da Dawkins (1982), solo il veicolo, lo strumento per la loro persistenza.

Waddington ha chiaramente indicato l'importanza dei processi di sviluppo dei caratteri nell'individuo che impediscono che vi sia stretta corrispondenza fra genotipo e fenotipo. Il fenotipo, ciascun carattere, dipende dal paesaggio epigenetico in cui si sviluppa, sotto l'influenza dei fattori dell'ambiente interno ed esterno. La selezione, che discrimina i caratteri, non discrimina necessariamente i geni dei caratteri e, se lo fa, lo fa in modo distorto. L'azione dei fattori ambientali, che si esplica nel periodo di sviluppo dell'organismo, dipende dall'*habitat* in cui questo viene a trovarsi e dalle caratteristiche del suo comportamento e può, soprattutto in animali superiori, dipendere da scelte comportamentali in cui le componenti innate, genetiche, agiscono in stretta interconnessione con quelle dell'apprendimento (Campan & Scapini 2004). Il comportamento, con la sua alta plasticità, può quindi assumere la *leadership* dell'evoluzione. Ciò esalta le capacità autonome di adattamento dell'organismo e interferisce con la selezione naturale.

Gli ulteriori sviluppi delle ricerche waddingtoniane hanno portato a una serie di filoni sperimentali e teorici che rendono sempre più evidente l'esistenza di processi costruttivi, legati al comportamento e alla morfogenesi degli organismi ed istruiti dai fattori ambientali, nella genesi degli adattamenti all'ambiente.

Un importante filone riguarda l'epigenetica, che dimostra l'intervento di processi epigenetici in tutti i processi biologici, anche quelli legati agli acidi nucleici, come la mutazione, con i processi di riparo, la regolazione genica, la trascrizione e la tradu-

zione. L'esistenza di processi epigenetici indica che il funzionamento dei geni a tutti i livelli è sottoposto ad influenze ambientali. Ad opera specialmente di Jablonka (Jablonka & Lamb 1995), è stato dimostrato che esiste ed ha importanza evolutiva in una vasta serie di organismi, dai protisti ai vertebrati, un'ereditarietà epigenetica, non mendeliana, accanto a quella genetica. Ciò, insieme al superamento dello steccato eretto da Weismann sulla separazione delle linee somatiche e germinale, ha mostrato che è possibile un'ereditarietà dei caratteri acquisiti. Modificazioni epigenetiche, dette epimutazioni, ad esempio quella del gene *aguti* del mantello dei topi (Morgan *et al.* 1999) sollecitate da stimoli ambientali, possono avvenire anche nella linea germinale chiusa di animali superiori.

Un altro filone è quello delle mutazioni adattative, descritte da Cairns *et al.* (1988) in batteri e poi ritrovate anche in eucarioti come i lieviti. Si tratta di mutazioni indotte da fattori ambientali, come la scarsità di nutrienti, e quindi orientate. I meccanismi sono complessi (Foster 1999), probabilmente non specifici e legati a ipermutazione (Bridges 2001), ma portano, comunque, ad adattamenti che non sono dovuti a selezione naturale, ma ad uno stimolo ambientale diretto.

Un terzo e più importante filone, che riguarda tutti gli organismi, è quello della plasticità fenotipica o plasticità di sviluppo, seguito da assimilazione o da accomodamento genetico, che rendono la plasticità ereditaria. Questo fenomeno, fondamentale per le piante, ma anche per gli animali, è stato ampiamente descritto e considerato d'importanza generale soprattutto da Schlichting & Pigliucci (1998), da Pigliucci (2001) e da West-Eberhard (2003), che ne forniscono un'imponente casistica. Processi macroevolutivi come quelli delle lucertole *Anolis* dei Caraibi (Losos *et al.* 2000) o dei pesci ciclidi dei grandi laghi africani (Chapman *et al.* 2000; Bouton *et al.* 2002) sono stati ricondotti a questo meccanismo.

La maggiore labilità e conseguente reversibilità dei processi evolutivi di adattamento legati al meccanismo plasticità-assimilazione genetica rispetto a quello mutazione-selezione naturale è compensata dalla loro maggiore possibilità di modulazione. I processi di assimilazione possono non essere solo genetici, ma genetico-epigenetici anche se, in particolare nell'accomodamento genetico descritto da West-Eberhard, vi è il concorso della selezione naturale, soprattutto nella fase di fissazione dell'adattamento.

Il quadro biologico-molecolare qui fornito riguarda i meccanismi del processo evolutivo, esaminati ai livelli di base, cellulare ed organismico. Esso però va completato considerando l'intervento dei livelli più alti, in particolare quelli della specie e dell'ecosistema. Il comportamento e l'ecologia degli organismi, con i complessi rapporti che si stabiliscono fra i diversi individui della medesima specie, come nei rapporti sociali, o fra quelli di specie diversa, come nella predazione, nel parassitismo e nella simbiosi, interagiscono con i livelli di base in un complesso ed olistico supersistema evolutivo. Esso, in sostanza, è rappresentato dall'intero pianeta, considerato come superorganismo, col termine di *Gaia*, da Lovelock (1988).

La dinamica delle popolazioni, dal cui studio, isolato dal contesto, si sono voluti dedurre i meccanismi microevolutivi e, per estrapolazione, l'intera evoluzione biologica, non è che il riflesso di ciò che è prodotto ai vari livelli del sistema della vita. Perciò,

per comprendere i processi evolutivi dei viventi, l'attuale genetica di popolazioni non è sufficiente e occorre dare maggiore importanza ai fenomeni che si svolgono nella cellula, nell'organismo e nell'ecosistema.

## IL CORSO MACROEVOLUTIVO DEI VIVENTI E LE PROPRIETÀ EMERGENTI

La documentazione della macroevoluzione dei viventi, dall'origine della vita ad oggi, si basa sulla successione dei fossili ma anche sull'esame comparato, a livello sia organismico sia molecolare, delle forme attuali. La fenomenologia che ne deriva è fondamentale per comprendere come si sia potuta attuare la macroevoluzione, che ha portato in poco meno di quattro miliardi di anni dalle primitive forme procariotiche, documentate dagli stromatoliti, all'uomo.

L'esame del corso macroevolutivo ci mostra che esso non corrisponde allo schema gradualistico neo-darwiniano, dedotto dalla microevoluzione. La macroevoluzione è contrassegnata da grandi trasformazioni, alcune delle quali costituiscono quelle che sono state chiamate transizioni principali (Maynard Smith & Szathmary 1995). Fra queste vanno poste l'origine, già nelle cellule procariotiche, dei cromosomi, cioè di sistemi organizzati per la memoria genetica, la formazione degli eucarioti per simbiosi di forme diverse di procarioti, la comparsa del sesso, che complica il primitivo sistema di riproduzione asessuale, l'origine dei pluricellulari, con la formazione di colonie di unicellulari che si organizzano in modo unitario producendo tessuti ed organi, e quella della socialità, che porta ad un'organizzazione all'interno della specie. Questi processi possono anche prodursi più volte e in modo diverso, con tentativi più o meno riusciti, ma il loro successo rappresenta dei salti evolutivi, con esiti imprevedibili. Si tratta di salti di qualità legati al prodursi di proprietà emergenti che caratterizzano il fenomeno dell'interazione costruttiva o cooperazione. Il principio delle proprietà emergenti non si riferisce solo ai fenomeni biologici, ma regola anche la formazione dei sistemi fisici e chimici. Esso dipende dal fatto che il tutto è più della somma delle parti, in quanto alle parti si aggiunge ciò che le lega, e ciò produce nuove qualità, cioè nuove forme e funzioni. In ciò sta l'essenza dell'evoluzione costruttiva e quindi lo spartiacque che la separa da un'evoluzione esclusivamente selettiva, che sarebbe solo rielaborazione dell'esistente. Perciò, una fase costruttiva, in cui compaiono le nuove proprietà, precede quella selettiva.

I grandi salti, con le relative proprietà emergenti, vanno considerate come vette di un processo evolutivo che in genere si esplica attraverso la produzione di nuovi caratteri morfologici e funzionali, innovazioni che costituiscono le cosiddette apomorfie. Di queste, e della discontinuità da esse fornite, la sistematica moderna tiene un gran conto nel costruire cladogrammi per la ricostruzione filogenetica. Anche per la cladistica, l'evoluzione, contrariamente all'assunto neo-darwiniano, non è continua ma discontinua, formata da innumerevoli piccoli salti.

L'analisi, libera da pregiudizi, del corso macroevolutivo ci mostra che l'evoluzione biologica nel suo insieme, ma anche nei suoi singoli *phyla*, ha seguito delle direzioni, dei

*trends*, che vanno verso una crescita di complessità, intesa come organizzazione, accompagnata da individualizzazione ed autonomia oltre che da diversità. Affermare, come fanno i neo-darwiniani, che questo è contraddetto da molti casi, significa non cogliere l'essenziale, cioè che, nella successione delle ere, sono comparsi, ad intervalli sempre più ravvicinati, organismi sempre più complessi, con strutture e funzioni più elaborate, capaci di esprimere una maggiore autonomia nell'ambiente. Che si tratti di una proprietà fondamentale dell'evoluzione è confermato dal fatto che ciò si è potuto realizzare in vario modo, a seconda dei piani d'organizzazione, e anche in direzioni divergenti, come nel caso delle piante e degli animali. Negli animali, il *trend* ha favorito lo sviluppo dei sistemi della vita di relazione, organi neurosensoriali e locomotori, con un centro di elaborazione degli stimoli rappresentato dal cervello, e i conseguenti fenomeni comportamentali rappresentati da istinti e apprendimento. Al culmine di questo *trend* stanno gli Ominidi, con la novità evolutiva della stazione eretta e, in particolare, *Homo sapiens*, con la novità del linguaggio e la connessa capacità di pensiero.

Le eccezioni al corso evolutivo verso la complessità e l'autonomia, ad esempio le rudimentazioni che si verificano in organismi viventi in ambienti limite, si spiegano con le particolari esigenze d'ambiente e comportamento, ma rappresentano solo delle deviazioni, non la norma. La coesistenza nell'attuale biosfera degli organismi più primitivi, come i batteri, e di quelli più evoluti, come i Vertebrati, nonostante che tutti siano perfettamente adattati alle loro condizioni di vita, si spiega col fatto che l'insieme dei viventi forma un complesso olisticamente integrato secondo le leggi degli ecosistemi e si evolve come tale, per cui i piani alla sommità dell'edificio devono necessariamente poggiare su quelli inferiori e di base, che quindi persistono. La nozione di progresso evolutivo negata in genere dai neo-darwiniani, ma che Darwin ammetteva, non consiste nella capacità di sopravvivere, ma nella crescita di complessità ed autonomia e, in rapporto a ciò, nell'acquisizione di funzioni vitali sempre più ricche e sofisticate. Se, per un mal posto timore di antropomorfismo, si preferisse evitare il termine progresso, sarebbe sempre necessario coniare un termine analogo per esprimere ciò che fotografa la crescita qualitativa e quantitativa nel corso del tempo, espressa, nel suo insieme, dall'evoluzione della vita. Allo stesso modo, sulla scorta dei fatti, non si può negare che l'uomo sia il prodotto culminante del progresso evolutivo. Per coloro che non vogliono ammetterlo per presupposti ideologici, è bene chiarire che ciò non significa ammettere una sorta di supremazia dell'uomo sulla natura e neppure implica necessariamente che il corso evolutivo segua un programma predeterminato, un disegno preciso che porta all'uomo. Anche se vi sono alla base delle potenzialità inesprese, queste vengono rese attuali attraverso processi di autorganizzazione (autopoiesi), che agiscono nella formazione dei sistemi complessi. Le proprietà emergenti, di cui l'evoluzione è costellata, rappresentano fatti imprevedibili, creativi, che non sono il risultato di meccanismi deterministici e gradualistici di causa-effetto ma neppure, sul piano scientifico, l'espressione di un disegno prestabilito, bensì di semplici potenzialità. Ad ogni novità evolutiva il disegno va rielaborato nel suo insieme. Le tendenze macroevolutive esistono, ma possono essere riconosciute *a posteriori* e non *a priori*. Anche se esse dipendono da un fenomeno intrinseco, che porta a progressiva realizza-

zione proprietà fondamentali implicite nella natura stessa dei viventi, il diverso modo in cui tali proprietà vengono realizzate è un fatto storico, che deriva dall'interazione fra organismo ed ambiente e non può quindi essere preveduto.

È importante riconoscere nell'evoluzione due aspetti. L'aspetto propriamente macroevolutivo è rappresentato dalla realizzazione delle tendenze intrinseche ai viventi, modulate dai piani di organizzazione che si sono formati nella loro storia evolutiva. L'altro aspetto, che lega la microevoluzione alla macroevoluzione, e quindi il solo considerato dai neo-darwiniani, è quello della radiazione adattativa delle specie, del loro adeguarsi ai diversi *habitat*, del loro diversificarsi. Nella metafora dell'albero filogenetico, le tendenze macroevolutive sono rappresentate dal tronco e dai rami principali, a direzione generalmente verticale, mentre la radiazione adattativa si riferisce ai rami secondari e alle foglie, a direzione prevalentemente orizzontale.

## L'EVOLUZIONE COSTRUTTIVA COME UN FENOMENO GLOBALE

Mentre la teoria evoluzionistica della Sintesi, essendo basata su mutazione casuale e selezione naturale, può riferirsi solo ai viventi, la teoria costruttiva può essere estesa a tutti i processi del cosmo, a partire dalla formazione degli atomi e delle molecole per proseguire, dopo l'evoluzione biologica, con l'evoluzione culturale e psico-spirituale dell'uomo (Sarà 2005).

È oggi diffuso l'applicare principi ed idee evoluzionistiche ai più vari campi della realtà, anche quelli che esorbitano dalla biologia. Chiari esempi sono dati, in campo fisico, dallo scenario dell'evoluzione cosmologica, dal *big bang* alla formazione dell'attuale struttura della materia, a quella delle galassie e delle stelle e quindi del nostro sistema solare e, in campo antropologico, dai processi evolutivi presi in considerazione nella storia della cultura, in sociologia e in psicologia.

I fenomeni dell'evoluzione fisica e chimica, da una parte, e quelli dell'evoluzione culturale, psichica e spirituale dell'uomo insieme a quelli dell'evoluzione biologica, dall'altra, possono essere inquadrati in un unico schema evolutivo e considerati come fasi di una storia che va dalla formazione dell'atomo a quella dell'uomo e prosegue poi nei processi cognitivi ed emozionali dell'interiorità umana, così come in quelli culturali e socio-economici che riguardano l'intera umanità.

I fattori costruttivi di quest'evoluzione sono sempre i medesimi, anche se si esplicano con modalità diverse, col cambiamento della natura dei sistemi in cui devono operare. Il primo fattore è dato dalla interazione fra entità o strutture diverse, siano esse particelle, atomi, molecole, cellule, organismi, specie e, nell'uomo, forme di cultura o stati cognitivi, ad esempio pensieri, o emozionali, come sentimenti, o volitivi, propositi e progetti. Affinché l'interazione assuma un significato costruttivo per la formazione di un sistema più complesso ed integrato occorre che essa sia positiva, cioè che i due enti che si pongono in rapporto producano una nuova entità, con formazione di proprietà emergenti. Per tale interazione costruttiva, in cui vi è compartecipazione



nella costruzione, può, a mio avviso, bene utilizzarsi, in senso generale, il termine di cooperazione. L'insieme delle interazioni costruttive, col processo di autopoiesi, porta poi all'organizzazione, cioè alla formazione di sistemi di crescente complessità, che si suddividono in genere in sottosistemi. I sottosistemi possono fondersi in un sistema più complesso, ma possono anche individuarsi come parti relativamente autonome, per un migliore funzionamento del sistema globale cui appartengono.

Interazione, cooperazione ed organizzazione sono resi possibili dall'esistenza di processi d'informazione che fanno comunicare fra loro gli enti, cioè gli oggetti del sistema. Con l'evoluzione della complessità dei sistemi, si ha anche l'evoluzione dei processi d'informazione e comunicazione che diventano sempre più ricchi e sofisticati, passando da puri scambi di energia a trasferimento d'informazioni mediante codici, come nel caso del DNA. Le reti mediante cui l'informazione circola nelle cellule e fa comunicare le varie parti della cellula e le cellule fra loro sono di altissima sofisticazione. Ma ancora più complesse e sofisticate sono le reti neuronali d'informazione che hanno centro nel cervello. Col cervello umano si raggiunge la massima complessità di materia conosciuta nel cosmo e, parallelamente, d'informazione e comunicazione biologica. Questo porta al più ricco sistema d'informazione e comunicazione che si conosca, cioè al linguaggio umano.

## GLI ASPETTI OLISTICI E SISTEMICI E IL NUOVO PARADIGMA DELL'EVOLUZIONE COSTRUTTIVA

L'evoluzione è un fenomeno globale che interessa tutti gli aspetti della realtà, fisica, biologica e umana. Essa deve, quindi, essere oggetto di studio non solo delle scienze biologiche, ma anche di quelle fisiche ed umanistiche. L'evoluzione biologica ha introdotto nel dominio della conoscenza scientifica, prima con Lamarck (1809) e poi con Darwin (1859), la nozione che gli organismi si trasformano nei lunghi tempi geologici in modo coerente e sono imparentati fra di loro in quanto hanno un'origine comune.

Ne sono scaturite teorie evolutive fra cui quella darwiniana, basata sulla selezione naturale, ha avuto il maggior successo e oggi, nella forma neo-darwiniana della Sintesi, che deriva dalla fusione di darwinismo e mendelismo, è seguita dalla stragrande maggioranza dei biologi. Ciò però porta a due conseguenze negative, che ostacolano un rinnovamento del pensiero evolutivo coerente con la nuova biologia che è emersa nell'ultimo trentennio. Una è di considerare il neo-darwinismo o Sintesi, peraltro spesso erroneamente ritenuto come identico al darwinismo, come l'unica possibile teoria dell'evoluzione, quindi come l'evoluzionismo stesso, e ciò è, purtroppo, recepito in larghissima misura nei *media* e a tutti i livelli dell'istruzione. L'altra consiste in un continuo *maquillage* mistificatorio per cui la selezione naturale, cardine del darwinismo, è introdotta in contesti che non le competono e che non corrispondono neppure alla sua formulazione darwiniana. La più evidente di queste mistificazioni è quella di considerare processi che avvengono all'interno dell'organismo, a livello cel-

lulare o molecolare, e che possono definirsi nel complesso come di selezione organica o somatica, come equivalenti ai processi di selezione naturale darwiniana. Espressioni come “darwinismo neurale” (Edelman 1987) sono quindi *misleading*, se non se ne sottolinea l’aspetto puramente analogico. È necessario chiarire, per evitare equivoci, che la selezione naturale che discrimina fra organismi è il risultato della loro sopravvivenza differenziale dovuta ad una diversa *fitness* e non può essere applicata a processi di *sorting* all’interno degli organismi stessi. Poiché la selezione darwiniana riguarda solo una scelta fra organismi, i processi interni anche selettivi, come morte differenziale di cellule o eliminazione di date molecole a vantaggio di altre, che portano alla formazione del fenotipo dell’organismo, sono a monte della selezione naturale e possono solo influenzarla in varia misura. Inoltre, come tutti i fenomeni morfogenetici, essi sono plastici, cioè dipendono dagli stimoli ambientali diretti e non sono quindi il semplice frutto della selezione naturale che ha operato precedentemente. In sostanza, i processi di *sorting* interni all’organismo, cellulari o molecolari, vanno considerati come la necessaria componente demolitiva dei processi costruttivi di un sistema integrato e fanno parte della fase costruttiva, non selettiva, dell’evoluzione.

Le nuove, attuali, conoscenze del funzionamento del genoma e della cellula indicano chiaramente la loro natura di sistemi complessi e dinamici, che funzionano sulla base d’informazioni ambientali. La formazione di nuovi caratteri e funzioni nell’organismo, che entrano nell’evoluzione delle specie, sono il frutto d’una continua interazione fra la memoria genetica dell’organismo, contenuta nel suo DNA, e d’informazioni ambientali che ne condizionano lo sviluppo. Le stesse mutazioni, pur se la loro origine è casuale, possono esprimersi nell’organismo solo in rapporto a sistemi di regolazione a cui sono sottoposte e che sono influenzati dall’ambiente. Nuove nozioni sulla trasmissione ereditaria dei caratteri, genetica ed epigenetica, indicano che è possibile l’eredità dei caratteri acquisiti ad opera dell’ambiente, nel soma come nel germe. Adattamenti particolarmente sofisticati come il polimorfismo mimetico delle farfalle (Nijhout 1991) non dipendono solo dalla selezione di alcuni geni principali, ma dalla modulazione della loro espressione ad opera di geni modificatori, a loro volta legati all’informazione ambientale diretta che ne dirige il comportamento. Si tratta, come anche nel caso del polimorfismo delle caste degli insetti sociali (West-Eberhard 2003), di processi costruttivi legati alla plasticità.

La plasticità fenotipica di sviluppo, accompagnata dalla sua assimilazione genetica, rappresenta il meccanismo più plausibile dei processi costruttivi dell’evoluzione biologica. Il comportamento, particolarmente plastico, ha un’importanza fondamentale come motore dell’evoluzione, soprattutto per gli animali. In esso, come si è detto, si deve tener conto della continua interazione fra aspetti istintivi, più legati ai geni, e quelli dell’apprendimento, più legati all’ambiente, per cui tali componenti, innata ed appresa, non possono essere considerate separate (Campan & Scapini 2004). L’aspetto dell’apprendimento diventa comunque sempre più importante nel corso dell’evoluzione degli animali. La selezione naturale continua ad esercitare un importante ruolo evolutivo a livello delle popolazioni, ma esso si limita a regolare la frequenza dei nuovi caratteri, che emergono dai processi costruttivi ed istruttivi dell’organismo, nell’am-

bito delle specie e delle comunità. Il meccanismo dell'evoluzione biologica si compone quindi di due fasi successive, la prima, costruttiva dei caratteri, che ha luogo nell'organismo, la seconda, selettiva degli individui, che ha luogo nella popolazione (Sarà 1993). I nuovi caratteri prodotti dagli organismi rappresentano novità evolutive più o meno grandi per l'ampiezza della variazione, e quindi per proprietà emergenti che possono portare a nuove funzioni, per la possibilità di correlazione con altri caratteri nella formazione di organi complessi, e anche per il loro successo nel tempo, una dimensione storica dell'evoluzione. Quest'ultima può, però, dipendere da eventi apparentemente fortuiti come catastrofi legate, ad esempio, all'impatto di meteoriti. È quindi possibile distinguere una microevoluzione, come diversificazione adattativa, da una macroevoluzione che porta, per i singoli *phyla*, a tendenze evolutive diverse nei loro piani d'organizzazione e, per il complesso dei viventi, a quelle generali della complessificazione e dell'autonomia.

In conclusione, un'evoluzione biologica fondata, come nel neo-darwinismo, sulla selezione naturale e sulle mutazioni casuali, e che ha nella selezione naturale l'unico agente produttore dell'ordine esistente in natura che si esprime negli adattamenti, è, in sostanza, un'evoluzione selettiva. Ma se, come risulta dalla recente genetica molecolare, si considera che gli adattamenti sono prodotti *in nuce* durante lo sviluppo degli organismi in rapporto con gli altri caratteri e le richieste ambientali, e che la selezione serve solo a regolare la loro diffusione ed il loro successo nelle popolazioni, è lecito parlare di evoluzione costruttiva perché l'aspetto costruttivo, pur non ignorando la grande intuizione di Darwin, cioè l'azione della selezione naturale, diventa predominante. Ma in tal modo, più che di un rimaneggiamento o ampliamento della Sintesi, si deve parlare di nuovo paradigma evolutivo.

Si tenga anche presente che il paradigma dell'evoluzione selettiva non consente di formulare una teoria globale d'evoluzione che comprenda anche i processi extra-biologici perché si fonda su mutazione casuale e selezione naturale che hanno senso solo in biologia. Quello dell'evoluzione costruttiva permette invece di formulare una teoria globale dell'evoluzione estesa a tutti i fenomeni della natura. Esistono infatti fattori comuni ai diversi tipi d'evoluzione, compresa la biologica, rappresentati dall'interazione, interazione costruttiva o cooperazione ed organizzazione. Essi agiscono, in fasi successive, nella formazione dei sistemi complessi prodotti dall'evoluzione, a livello fisico e chimico, astrofisico, biologico e umano, sia culturale che psicologico. I sistemi prodotti da questi fattori sono concatenati e hanno prodotto un'unica storia evolutiva, che va dall'atomo all'uomo e prosegue, a livello interiore e culturale, con l'uomo.

Il filo rosso di quest'evoluzione globale è rappresentato dalla crescita di complessità e di autonomia, che si accompagna a quella dell'informazione e comunicazione. Alla base di ogni fenomeno evolutivo sta l'interazione, il porsi in rapporto di due enti, da cui derivano proprietà nuove ed imprevedibili, perché alle proprietà dei due enti separati si aggiunge ciò che proviene dallo scambio d'energia e/o d'informazione e, nel caso dell'interazione costruttiva, anche dalla loro integrazione. Da ciò deriva che la somma delle parti non è equivalente all'insieme, perché esiste un *medium* che le unisce e perché vi è una trasformazione reciproca delle parti. La teoria costruttiva

dell'evoluzione è una visuale olistica che considera il tutto come qualcosa di più e di nuovo in rapporto alla somma delle parti. Il terzo fattore evolutivo, d'organizzazione, deriva dalla molteplicità dell'interazioni e segue leggi d'autorganizzazione, proprie dei sistemi complessi e della loro dinamica. La teoria costruttiva dell'evoluzione trova quindi importanti punti di riferimento nelle recenti teorie generali della complessità e dei sistemi.

Il cambiamento d'un paradigma evolutivo, soprattutto se coinvolge non il solo mondo biologico, ma tutta la realtà, anche il mondo fisico e umano, può avere conseguenze importanti dal punto di vista della *Weltanschauung*, della visione del mondo. La teoria neo-darwiniana in auge è riduzionista, genocentrica e privilegia la competizione selettiva sulla cooperazione costruttiva. Al contrario, la teoria costruttiva è olistica, fenocentrica, comunque sistemica, e si basa sulla cooperazione costruttiva. A parte queste connotazioni fondamentali, le differenze sono molteplici. Particolarmente importante è la diversa posizione dell'uomo nell'evoluzione. Questa è stata minimizzata nel neo-darwinismo, al di là di ciò che emerge dalla spregiudicata analisi dei fenomeni, per il timore, implicito nella scienza naturale moderna, di antropocentrismo. Ne è derivata l'idea che l'evoluzione abbia portato all'uomo solo per una concatenazione di eventi casuali. La teoria costruttiva dell'evoluzione mostra che le tendenze evolutive di complessificazione ed autonomia, sin dalla formazione della materia e ancor più dall'origine della vita, sviluppano potenzialità che portano in modo conseguente alla formazione di un essere intelligente capace di comprendere il mondo da cui è derivato. Ciò è stato sostenuto da fisici col principio antropico (Barrow & Tipler 1986, Harris 1991) e da biologi come Teilhard de Chardin (1955). L'evoluzione poi prosegue con l'uomo con nuove caratteristiche date dallo sviluppo delle forme culturali e delle capacità interiori, in cui assume una posizione centrale l'autocoscienza.

La teoria costruttiva dell'evoluzione può quindi rappresentare una solida base scientifica, che oggi manca, per un neo-umanesimo. Ciò non significa degenerare nell'antropocentrismo del dominio dell'uomo sulla natura. Si tratta, infatti, d'una teoria olistica e sistemica, che poggia sulla cooperazione ed integrazione di tutti i processi, e quindi anche sull'armonia dell'uomo con la natura. Essa, dato il ruolo che l'uomo oggi ha nella natura, è presupposto fondamentale di ogni ulteriore evoluzione. Va anche sottolineata l'importanza che nella teoria costruttiva assumono i processi emergenti. Questi, infatti, possono essere tali da produrre improvvisamente nuove ed imprevedibili qualità di grande spessore. Per quanto riguarda l'evoluzione umana, la novità più importante è l'affermazione della coscienza di sé o autocoscienza, in rapporto con linguaggio e pensiero. Lo sviluppo dell'interiorità umana, e quindi della psiche, ne sviluppa l'autonomia e stabilisce, con l'affermazione del Sé e col libero arbitrio, i presupposti della libertà, che però per essere costruttiva deve armonizzarsi col mondo.

Dando importanza nell'evoluzione al principio delle proprietà emergenti e della comparsa creativa di nuove qualità, si comprende come qualità apparentemente incommensurabili fra loro, come quelle spazio-temporali della materia e quelle interiori del vissuto esistenziale, possano essere state originate da un medesimo processo evolutivo. Vi è continuità storica in quanto i medesimi fattori di base hanno operato

per lo sviluppo di entrambe. Il mondo può quindi essere considerato monistico e non dualistico o pluralistico, pur evolvendosi sui diversi e non confrontabili, anche se intimamente correlati, piani qualitativi della materia, vita e psiche, ciascuno con le proprie peculiari caratteristiche.

La teoria dell'evoluzione costruttiva, qui esposta nei suoi punti salienti, è trattata in modo più ampio e circostanziato in Sarà (2005).

## BIBLIOGRAFIA

- Baldwin J.M. 1896. A new factor in evolution. *American Naturalist* 30: 441-541.
- Barrow J.D. & Tipler F.J. (eds) 1986. *The anthropic cosmological principle*. Oxford, Clarendon Press.
- Bouton N., Witte F. & Van Alphen J.J.M. 2002. Experimental evidence for adaptive phenotypic plasticity in a rock-dwelling cichlid fish from Lake Victoria. *Biol. J. Linn. Soc.* 77: 185-192.
- Bridges B.A. 2001. Hypermutation in bacteria and other cellular systems. *Phil. Trans. Roy. Soc. London B* 355: 29-40.
- Cairns J., Overbaugh J. & Miller S. 1988. The origin of mutants. *Nature* 335: 142-145.
- Campan R. & Scapini F. 2004. *Etologia*. Bologna, Zanichelli.
- Chapman L.J., Galis F. & Shinn J. 2000. Phenotypic plasticity and the possible role of genetic assimilation: hypoxia-induced trade-offs in the morphological traits of an African cichlid. *Ecol. Lett.* 3: 387-393.
- Darwin C.R. 1859. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle of life*. London, J. Murray.
- Dawkins R. 1982. *The extended phenotype*. Oxford, Oxford University Press.
- Dawkins R. 1987. *The blind watchmaker*. Oxford, Oxford University Press.
- Edelman G.M. 1987. *Neural darwinism. The theory of neuronal group selection*. New York, Basic Books.
- Eldredge N. & Gould S.J. 1972. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In: *Models in Paleobiology*. Schopf T.J.M. (ed.), pp. 82-125. San Francisco, Freeman, Cooper and Co.
- Foster P.L. 1999. Mechanisms of stationary phase mutation: a decade of adaptive mutation. *Annu. Rev. Gen.* 33: 57-88.
- Gould S.J. & Lewontin R.C. 1979. The spandrels of San Marco and the panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. *Proc. R. Soc. Lond. B, Biol. Sci.* 205: 581-598.
- Harris E.E. 1991. *Cosmos and anthropos. A philosophical interpretation of the anthropic cosmological principle*. New Jersey and London, Humanities Press Int.
- Jablonka E. & Lamb M.J. 1995. *Epigenetic inheritance and evolution. The Lamarckian dimension*. Oxford, Oxford University Press.
- Jacob F. & Monod J. 1961. Genetic regulatory mechanisms and the synthesis of pro-

- teins. *J. Mol. Biol.* 3: 318-356.
- Kimura M. 1983. *The neutral theory of molecular evolution*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Lamarck J.B. 1809. *Philosophie zoologique*. Paris, Denton.
- Losos J.B., Creer D.A., Glossip D., Goellner R., Hampton A., Robers G., Haskell N., Taylor P. & Etlting J. 2000. Evolutionary implications of phenotypic plasticity in the hindlimb of the lizard *Anolis sagrei*. *Evolution* 54: 301-305.
- Lovelock J. 1988. *The ages of Gaia. A biography of our living earth*. Oxford, W.W. Norton/Oxford University Press.
- Maynard Smith J. & Szathmary E. 1995. *The major transitions in evolution*. Oxford, W.H. Freeman.
- Monod J. 1970. *Le hasard et la nécessité*. Paris, Seuil.
- Morgan H.D., Sutherland H.G.E., Martin D.J.K. & Whitelaw E. 1999. Epigenetic inheritance in the mouse. *Nat. Genet.* 23: 314-318.
- Nijhout H.F. 1991. *The development and evolution of butterfly wing patterns*. Washington, DC, Smithsonian Institution Press.
- Pigliucci M. 2001. *Phenotypic plasticity: beyond nature and nurture*. Baltimore, J. Hopkins University Press.
- Rutherford S.L. & Lindquist 1998. S. Hsp90 as a capacitor for morphological evolution. *Nature* 396: 336-342.
- Sarà M. 1993. Biological evolution. a holistic organism-centered approach. *Rivista di Biological/Biology Forum* 86: 347-354.
- Sarà M. 2003. Cell system complexity and biological evolution. In: *Determinism, Holism and Complexity*. Benci V., Cerrai P., Freguglia P., Israel G. & Pellegrini C. (eds), pp. 293-304. New York, Kluwer Acad./Plenum Publ.
- Sarà M. 2005. *L'evoluzione costruttiva. I fattori d'interazione, cooperazione ed organizzazione*. Torino, UTET Libreria.
- Schlichting C.D. & Pigliucci M. 1998. *Phenotypic evolution*. Sunderland, Sinauer Ass.
- Teilhard de Chardin P. 1955. *Le phénomène humain*. Paris, Seuil.
- Waddington C.H. 1942. Canalization of development and the inheritance of acquired characters. *Nature* 150: 563-565.
- Waddington C.H. 1953. Genetic assimilation of an acquired character. *Evolution* 7: 118-126.
- Waddington C.H. 1961. *The evolution of an evolutionist*. Edinburgh, Edinburgh University Press.
- Watson J.D. & Crick F.C. 1953. Molecular structure of nucleic acids. *Nature* 171: 737-738.
- West-Eberhard M.J. 2003. *Developmental plasticity and evolution*. New York, Oxford University Press.