

COMPLESSITA' BIOLOGICA

Di Marcello Buiatti

Gli esseri viventi sono per loro natura “multi-versi” nel senso che presentano allo stesso tempo caratteristiche apparentemente contrastanti. In altri termini sono continui e discreti, influenzati dall’ambiente esterno ma anche dai loro corredi ereditari, governati dal caso e dalla necessità, costituiti da componenti indipendenti e collegati fra di loro, ecc. Purtroppo i biologi e i naturalisti spesso non sono coscienti di questa multiversità e ragionano invece in termini di antinomie applicando a queste concetti valoriali spesso dettati dalla “atmosfera umana” in cui lavorano. I concetti biologici cioè risentono della soggettività del cangiante “spirito del tempo” e le teorie cambiano di conseguenza. E’ almeno in parte per questo che si sono alternati durante la storia del pensiero biologico paradigmi contrastanti. In particolare un dibattito mai completamente risolto è stato ed è quello fra una visione “meccanica” e una “complessa” della vita mentre, come cercherò di dimostrare, è possibile e dimostrabile la presenza contemporanea di strutture e dinamiche apparentemente meccaniche ma al contempo complesse negli esseri viventi, compresenza che è anzi essenziale perché possano rimanere tali. Prima tuttavia di entrare nel merito della discussione è utile definire in modo chiaro la differenza fra sistema “complicato” e sistema “complesso”. Un sistema è complicato se è composto di molte parti indipendenti come avviene nelle macchine in cui infatti ogni singolo componente non cambia se viene tolto dalla macchina perché in questa non interagiva con altri elementi. Ne consegue che i componenti possono essere assemblati secondo progetto senza il pericolo che la vicinanza fra due elementi ne comporti la modificazione con conseguenze impreviste. Il livello di complicazione di un sistema è quindi misurabile molto facilmente e dipende soltanto dal numero delle combinazioni che possono formare le parti indipendenti. Un sistema è complesso invece quando:

-- E’ composto di elementi collegati fra di loro in modo interattivo e non additivo per cui $A+B$ non dà mai AB ma qualcos’altro. La interazione quindi determina la comparsa di una “proprietà emergente”, nuova e in parte almeno imprevedibile sulla base della conoscenza delle singole parti componenti. In genere i sistemi complessi sono organizzati su diversi livelli che ubbidiscono tutti alle stesse regole generali (sono, come si dice “invarianti di scala”). Ogni livello è costituito da elementi del livello inferiore ed è un componente di quello superiore. Ad esempio le cellule degli animali sono costituite da molecole (livello inferiore) ma sono al tempo stesso costituenti dei tessuti (livello superiore). I sistemi complessi inoltre hanno una struttura a “reti dinamiche” nel senso che possono facilmente cambiare per cause

esterne ed interne. Quindi, il cambiamento di uno qualsiasi degli elementi provoca modificazioni nel livello in cui si trova in particolare in quelli ad esso collegati, che a loro volta sono collegati con altri del livello superiore e così via, con quello che è stato chiamato “effetto farfalla”, intendendo con questo che piccole modificazioni di un componente ne possono indurre di grandi nel sistema. E’ per questo che il futuro di un sistema complesso ha un livello alto di imprevedibilità a differenza dei sistemi complicati che, come si è detto sono invece del tutto prevedibili una volta che si conosca il “progetto”. Ancora, un sistema complesso deriva da un processo iterativo che fa sì che sia “auto-somigliante” nel senso che un componente, per quanto piccolo può avere la stessa forma del sistema intero (questo tipo di struttura viene chiamato di “struttura frattale” e la sua “ruvidezza” può essere considerata una misura della complessità del sistema). Va detto qui che anche i sistemi complessi non viventi si possono “auto-organizzare” nel senso che i singoli percorsi sono imprevedibili ma non infiniti. In altre parole i percorsi di ogni sistema si muovono comunque in un “attrattore” che ha dei limiti derivanti dalla loro struttura. La auto-organizzazione infatti, nella definizione di Deneubourg, 1977, è un processo in cui il pattern a livello globale, a differenza dei singoli percorsi, deriva dalle interazioni fra i componenti di un livello inferiore (Deneubourg 1977) Gli esempi di auto-organizzazione di molecole in sistemi non viventi sono molti. Ad esempio molecole diverse interagenti in un fluido possono aggregarsi (auto-organizzarsi) spontaneamente con diversi livelli di organizzazione per ragioni chimico-fisiche, come è stato dimostrato ad esempio da Belousov e Zhabotinsky (Zhabotinsky, 1964) e studiato dal punto di vista matematico da Alan Turing già nel 1952 nel suo fondamentale saggio “The chemical basis of morphogenesis”. Turing in questo saggio suggeriva e poi dimostrava matematicamente che: “un sistema di sostanze chimiche, dette morfogeni, che reagiscono gli uni con gli altri e si diffondono in un tessuto, è sufficiente per rendere conto dei processi fondamentali della morfogenesi. Un sistema di questo genere, anche se inizialmente può essere abbastanza omogeneo, può in seguito sviluppare un pattern o una struttura derivata dalla instabilità dell’equilibrio omogeneo prodotta da modificazioni casuali”. In altre parole il pattern costruito dai morfogeni è una proprietà emergente del sistema che si auto-costruisce internamente ma la cui dinamica è influenzata da fenomeni casuali. Non è quindi a caso che la teoria di base dei sistemi complessi sia stata chiamata “Chaos deterministico,” termine che scioglie una delle apparenti antinomie della multiversità, quella del caso e della necessità, ambedue con-presenti nei sistemi dinamici complessi viventi e non viventi. Da quanto si è detto appare chiaro che gli oggetti “complicati” sono costituiti da elementi non connessi ma assemblati come le macchine prodotte dagli esseri umani, gli unici

capaci, come vedremo meglio in seguito, di formulare progetti di modificazione della materia e proiettarli all'esterno. Naturalmente anche in questi progetti "reificati", a livello sub-microscopico ci sono interazioni non additive ma queste non sono percepibili nella osservazione macroscopica delle macchine. Come vedremo, la storia delle scienze della vita ci insegna che già molto prima che si conoscessero le caratteristiche ora elencate dei sistemi complessi si sono confrontate due correnti contrapposte, una che partiva dalla supposta equivalenza fra la vita e le macchine, l'altra che invece la negava dando alla vita attributi con significato valoriale di superiorità sulle macchine, che in un primo, lungo periodo, ha assunto significati ascientifici e spiritualisti, sfociati poi nella cosiddetta concezione "vitalistica" della materia vivente. Nel presente saggio partirò dall'ottocento, epoca già di maturità scientifica delle scienze della vita tralasciando la discussione filosofica e teologica delle epoche precedenti e quindi anche ad esempio le opinioni pesantemente divergenti come quelle di Spinoza, ebreo espulso dalla sua comunità e da quella cristiana, che aveva una visione non meccanica e Cartesio, francese che invece considerava gli esseri viventi proprio come macchine complicate. Forse il primo scienziato vero e proprio che ha introdotto una concezione della vita che assomigliava molto a quella della nostra era dei sistemi complessi, è stato il sempre bistrattato Jean Baptiste Lamarck, accusato di vitalismo dai meccanicisti e di blasfemia dalle Chiese. Nel suo "Phylosophie zoologique" pubblicata nel 1809 Lamarck scrive un capitolo specifico sulle differenze fra materia vivente e non vivente che appaiono perfettamente coerenti con la conoscenza attuale dei sistemi complessi. Dice Lamarck nel paragrafo secondo: "Un corpo inorganico può essere una massa completamente omogenea ma può anche essere eterogenea.... non c'è nessuna necessità che le masse di un corpo inorganico siano fatte di componenti omogenei né che siano costituite da componenti eterogenei ma sono come le vediamo per caso. Tutti i corpi viventi, al contrario, anche quelli che hanno la organizzazione più semplice, sono necessariamente eterogenei e cioè costituiti di parti diverse.... sono fatte di molecole di diversa natura". Nel quarto paragrafo Lamarck chiarisce meglio la ragione di quanto detto affermando: "Le molecole di un corpo inorganico sono tutte indipendenti...Al contrario, le molecole che compongono un corpo vivente sono, per quanto riguarda il loro stato, dipendenti le une dalle altre perché tutte devono obbedire ad una causa che le anima e le fa agire; questa causa le fa concorrere tutte a un fine comune sia di un organo che di un individuo intero". E nel quinto: "Nessun corpo inorganico ha bisogno per conservarsi che i suoi componenti si muovano; al contrario, fino a quando i suoi componenti restano nel riposo ed inattivi, il corpo si conserva senza alterarsi e in questa condizione potrebbe esistere per

sempre”. E invece: “Ogni corpo vivente, al contrario, è continuamente animato da una *forza particolare* che eccita senza interruzioni dei movimenti delle sue parti interiori ma che comporta dei rinnovamenti, delle riparazioni, degli sviluppi di modo che i movimenti eccitati nelle parti interiori alterano e distruggono ma riparano e rinnovano, il che allunga la vita degli individui.” Infine (paragrafo 9) , “nessun corpo inorganico può morire perché nessuno di questi corpi possiede la vita...tutti i corpi viventi invece sono inevitabilmente soggetti alla morte perché la caratteristica della vita ... è di produrre dopo un certo periodo di tempo uno stato degli organi che alla fine rende loro impossibile l’esecuzione delle funzioni a cui sono preposti.” Per Lamarck quindi, gli esseri viventi a differenza della materia non vivente sono costituiti da componenti diversi fra di loro, interagenti in modo non additivo e che cambiano continuamente e di concerto dalla nascita alla morte, due eventi caratteristici solo della vita. E’ interessante notare che anche Charles Darwin, nonostante la sua avversione ufficiale a Lamarck, ha più volte sottolineato la importanza delle connessioni dinamiche dei componenti dei sistemi viventi e la possibilità che il cambiamento di un componente ne modificasse altri affermando ad esempio: *“La variabilità è regolata da molte leggi sconosciute la più importante delle quali potrebbe essere la legge dello sviluppo correlato.... Con questa affermazione voglio dire che le diverse parti di un organismo sono così strettamente connesse che quando avvengano piccole modificazioni in un qualche punto accumulate dalla selezione naturale, le altre parti sono soggette a cambiamenti....Con questa espressione voglio dire che la organizzazione è fatta di elementi così strettamente connessi durante l’accrescimento e lo sviluppo che quando avvengono piccole variazioni in una parte qualsiasi, e si accumulano per selezione naturale, altre parti vengono modificate.... Nonostante che ogni variazione è causata direttamente o indirettamente da cambiamenti nelle condizioni esterne non dobbiamo mai dimenticare che la natura della organizzazione su cui si agisce è di gran lunga il fattore più importante per il risultato._ Questo è provato dal fatto che diversi organismi nelle stesse condizioni possono cambiare in modo diverso mentre organismi simili in condizioni diverse possono spesso variare nello stesso modo”* (CH. Darwin, in: *The Variation*, 1875). Darwin inoltre, in tutte le edizioni della “Origine” ha sempre chiarito che i cambiamenti evolutivi non sono solo determinati dalla selezione naturale, che pure presenta come processo fondamentale della evoluzione, ma anche dall’uso e disuso degli organi e dalla azione diretta o indiretta dell’ambiente, concetto questo da sempre considerato solo lamarckiano E infatti Darwin si arrabbiava quando lo tacciavano da “selezionista estremo”, ma anche quando lo tacciavano di “casualista” mentre lui, anche se agnostico, non credeva nel

caso. Lo si vede da un suo celebre aneddoto scritto nella “Origine della variazione”, del 1875, 236 troviamo: “Immaginiamo che un architetto debba costruire un edificio con spezzoni non tagliati di pietre, cadute da un precipizio. La forma di questi frammenti può essere considerata accidentale; eppure la forma di ognuno è stata determinata dalla forza di gravità, dalla inclinazione del precipizio, eventi e circostanze che dipendono da leggi naturali; tuttavia non c’è nessuna relazione fra queste leggi e lo scopo per il quale ogni frammento è usato dal costruttore” In sintesi quindi, per Darwin, ci sono in natura leggi generali e nulla è completamente senza causa anche se noi vediamo e consideriamo, operativamente, alcuni dei processi come accidentali. Si può dire quindi che ancora nella seconda metà dell’Ottocento la concezione meccanica della vita non era ancora maggioritaria anche se nel 1848 un gruppo di fisiologi e chimici fra cui Von Helmholtz, Du Bois Raymond, Bruecke ed Unger, pubblicò il cosiddetto “Manifesto dei medici materialisti” che sosteneva la totale equivalenza fra sistemi viventi e non viventi. Fu tuttavia Gregorio Mendel, un abate moravo che aveva studiato fisica con Doppler a Vienna ed era amico ed allievo di Unger che, pure senza abbracciare ufficialmente la ideologia meccanica del “Manifesto”, ne applicò i concetti base nei suoi esperimenti sui meccanismi ereditari di alcuni caratteri dei piselli. Mendel in realtà scelse non a caso, di studiare solo caratteri discreti (ad esempio fiore bianco o rosa, seme giallo o verde, liscio o rugoso), non influenzati dall’ambiente, stabili di generazione in generazione nelle “linee pure”, e che si assortivano ad ogni generazione in modo casuale dopo opportuni incroci. La scelta era dettata proprio dalla impostazione meccanica dell’abate e di fatto impedì a Mendel di ottenere risultati applicabili ad altre piante e in genere a tutti i caratteri ereditari di queste. In realtà, lui stesso, da ricercatore serio quale era non considerò mai a priori i suoi risultati e le “leggi” che sembravano derivarne, come dogmi universali, ma anzi cercò di ripetere esperimenti simili su altre specie vegetali. Purtroppo, per questo chiese ad un famoso botanico dell’epoca, Von Naegeli, di indicargli una specie diversa dal pisello su cui ripetere i suoi studi e il suo amico gli propose *Hydracium*. Purtroppo Von Naegeli ignorava che questa pianta purtroppo non è dotata di un meccanismo di riproduzione sessuale, ma si propaga per finti semi che non derivano dalla unione di gameti che hanno passato una meiosi, ma sono propaguli della pianta madre. Mendel quindi, con sua sorpresa ottenne dai suoi tentativi di incrocio sempre piante uguali per cui, ritenendo fallito il suo tentativo di definire leggi matematiche universali della ereditarietà, smise di provare e si dedicò alla apicoltura e nella sua lapide tombale fece scrivere “fisico e apicoltore”. In realtà i tempi non erano maturi per le scoperte di Mendel e soprattutto per i suoi risultati che, estrapolati, sembravano definire gli esseri viventi come completamente determinati

da fattori ereditari totalmente indipendenti l'uno dall'altro che si assortiscono a caso di generazione in generazione. E infatti i lavori dell'abate di Brno furono del tutto dimenticati fino all'inizio del "Novecento", il secolo della "Utopia prometeica" della onnipotenza umana capace di progettare il Mondo intero, inteso come una immensa macchina modificabile grazie alla scienza ed alla tecnologia senza effetti imprevedibili ed indesiderati. Non a caso il Novecento inizia con la rivalutazione delle leggi di Mendel, ma anche con la alternativa di caso e necessità in fisica (vedi M. Buiatti and M. Buiatti, 2008) , con la rottura della armonia nella musica con Schoenberg, con la frammentazione dei dipinti nel "pointillisme" di Seurat, e infine con la pittura e la letteratura dei futuristi inneggianti alle macchine insieme ad una parte consistente del movimento "Dadà". Da qui poco dopo, lo snaturamento almeno parziale della teoria evolutiva di Charles Darwin, la nascita della Genetica delle popolazioni, disciplina ricavata dalla trasformazione in frequenze dei rapporti di segregazione degli esperimenti mendeliani (M. Buiatti, 2011) e, negli anni successivi, la formulazione della cosiddetta "Sintesi moderna" dal titolo del libro omonimo di Julian Huxley (1942). Anche se sarebbe veramente sbagliato confondere la Sintesi moderna di J. Huxley e soprattutto di E. Mayr con la sola Genetica di popolazioni, non vi sono dubbi che il neo-darwinismo è effettivamente una teoria tipicamente novecentesca ben lontana dalla concezione del terzo millennio della complessità biologica. Nella visione neo-darwiniana infatti, i geni e i loro varianti allelici sono del tutto indipendenti, il genoma quindi è dato dalla somma dei loro effetti, i fenotipi e cioè gli esseri viventi "in carne ed ossa" sono completamente determinati dai geni, l'evoluzione avviene o per processi completamente casuali o per cambiamento, nelle popolazioni delle frequenze relative dei varianti (alleli) di ogni gene. Del darwinismo di Darwin restano quindi soltanto la continuità del processo evolutivo e il progressivo adattamento agli ambienti, ma si perdono quasi completamente la visione "naturalistica" degli ecosistemi, chiarissima in molti passi della letteratura darwiniana originaria come il trattato sui lombrichi, il concetto di variazione correlata di cui accennavo prima, presente in sistemi viventi costituiti da componenti interagenti che non possono non co-evolvere in modo concertato, nonché la funzione dell'ambiente come fattore di cambiamento del fenotipo come risultava dal lamarckiano-darwiniano "uso e disuso degli organi". Ciò nonostante, la revisione della teoria darwiniana della evoluzione non si può ancora considerare il segnale finale della svolta meccanicista del Novecento che invece viene raggiunta con la nascita della Biologia molecolare e la enunciazione del "Dogma centrale della Genetica Molecolare" da parte di Francis Crick nel 1958 (si veda su questo ad esempio M. Buiatti,2011, a, b). Paradossalmente questa data è vicinissima all'inizio in Fisica della discussione sui sistemi complessi

derivante dagli studi di un fisico meteorologo, Lorenz, che nel 1963 riprese e rivalutò il lavoro di Poincaré che, nel 1892 aveva scoperto la impossibilità di prevedere i movimenti anche soltanto di tre corpi interagenti in modo non additivo. Da qui la svolta del “caos deterministico” che ho citato precedentemente. E’ interessante notare che la scoperta di Lorenz derivava dalla meteorologia, una scienza che studia dinamiche ambientali ed ha aperto la strada alla “falsificazione” della ipotesi prometeica della capacità degli esseri umani di conoscere completamente la materia vivente e non vivente sì da poterla modificare a volontà mantenendola totalmente sotto controllo. Non a caso qualche anno dopo, nel 1968, Aurelio Peccei e Alexander King fondarono il Club di Roma che nel 1972 pubblicò il Rapporto sui limiti dello sviluppo, sancendo così la fine della ipotesi della onnipotenza umana nel processo di trasformazione della natura. Lo “spirito del tempo” stava cominciando a cambiare e l’umanità si stava accorgendo della esistenza di possibili problemi in parte non prevedibili e di difficile controllo e soluzione. Tuttavia, contrariamente a quanto previsto da Kuhn, non c’è stato un cambiamento di paradigma improvviso e generalizzato ma le diverse aree di pensiero scientifico hanno continuato a convivere mentre il cosiddetto “buon senso comune” si andava frammentando in opinioni diverse e contrastanti come non mai. Il dibattito è ed è stato particolarmente complesso nelle scienze della vita ed ha investito aree come l’etica, le religioni e la stessa politica, per i riflessi che le ricerche in campo biologico hanno sulla nostra concezione della umanità, con dibattiti sempre più accesi fra gli stessi biologi che, studiando la vita, di fatto studiano sé stessi in quanto viventi. Come sempre, le divergenze derivano dal “paio di occhiali” che i singoli ricercatori utilizzano, influenzati come sono non solo dal sentire comune ma anche dalle diverse tradizioni filosofiche e anche teologiche con cui sono entrati in contatto. Un esempio paradigmatico di questo comportamento ci viene da un episodio strano solo in apparenza, dell’ormai lontano 1966. In quell’anno, Tre ricercatori (Jacques Monod, André Lwoff, François Jacob) furono insigniti del Premio Nobel per la scoperta, fatta insieme in perfetto accordo nello stesso istituto scientifico, del primo sistema di regolazione della azione dei geni di un batterio, il famoso “operone lattosio”. Come è prassi in questo caso, i tre ricercatori tennero ognuno una conferenza alla consegna del premio stesso in cui, sorprendentemente, visto che avevano lavorato insieme giungendo allo stesso modello dell’operone, discussero la loro concezione della vita in modo nettamente diverso. In particolare, Monod, francese, ateo, cartesiano, che poco dopo scrisse il suo famoso “Il caso e la necessità” (1970), espose una visione prettamente meccanica della vita attribuendo addirittura al DNA il ruolo di “invariante fondamentale” e di “programma” completamente deterministico delle vite

degli organismi. Monod, in questo era molto chiaro e attaccava nel suo volume la dialettica di Hegel e, anche se non direttamente la dialettica della Natura di Engels, probabilmente anche perché in quel periodo era oggetto di lettura da parte dei membri di una corrente di pensiero molto diversa, in qualche modo legata al marxismo come vedremo. André Lwoff, (1966), invece, ebreo osservante, Direttore del Dipartimento in cui avevano lavorato tutti e tre, vedeva gli esseri viventi come reti di elementi interagenti in modo non additivo influenzati dall'ambiente, precorrendo i concetti dei sistemi complessi. François Jacob, infine, anche lui ebreo di origine, anche se agnostico, scriveva nel suo libro "La logica del vivente" (1970) : "Ogni essere vivente, sostiene Goethe ha in sé stesso la ragione della sua esistenza: tutte le sue parti interagiscono le une con le altre...La vita è...un gioco di interazioni degli organismi con l'ambiente: è la dialettica dell'uguale e del diverso all'interno di una unitaria storia della natura...Non è la materia che si evolve ma piuttosto la organizzazione, la unità di emergenza sempre capace di unire unità simili integrandole in un sistema. La opinione di Lwoff e Jacob del resto non era isolata perché negli stessi anni ma anche prima, era viva una corrente di pensiero che derivava almeno in parte, da un convegno del 1936, intitolato "Science at the cross-road" in cui si incontrarono marxisti inglesi e filosofi e scienziati sovietici di quella che ho chiamato la "terza via" e cioè lontani sia dal meccanicismo occidentale della sintesi moderna che dal Lysenkoismo staliniano (vedi M. Buiatti e Micheli, 1988). A questo convegno erano presenti due studiosi inglesi, Needham e Waddington, ambedue anti-meccanicisti che poi continuarono la loro battaglia per molto tempo. In particolare Conrad Hal Waddington era un embriologo e in quanto tale si trovava continuamente di fronte a variazioni nello sviluppo degli animali indotte dall'ambiente e non poteva quindi condividere l'ipotesi DNA-centrica dominante, tanto che propose il passaggio dal paradigma allora dominante ad un "paradigma fenotipico" sia per lo sviluppo dei sistemi viventi che per la loro evoluzione in cui si tenesse ne debito conto il fatto che non sono i geni né gli alleli che vengono selezionati durante la evoluzione ma semmai gli organismi che li contengono (Waddington, 1975). Waddington fra l'altro fu uno dei primi a tentare la modellizzazione matematica dei processi di sviluppo e della evoluzione con la collaborazione di un grande matematico topologo, René Thom, autore della "Teoria delle catastrofi" che prevedeva, in sistemi complessi, che un piccolo cambiamento di un elemento potesse far cambiare bruscamente un percorso aprendo nuove possibilità successive, concetto questo tipico della teoria più generale della complessità come ho accennato precedentemente. Contemporaneamente a Waddington lavoravano in Inghilterra su teorie simili, Steven Rose e Needham e negli Stati Uniti una serie di

“eretici” come R. Lewontin che si riferiva direttamente al materialismo dialettico, I.M. Lerner, che aveva scoperto il vantaggio evolutivo della presenza contemporanea in singoli organismi di alleli diversi dello stesso gene (la omeostasi genetica), Barbara Mc Clintock, la prima a dimostrare la instabilità del DNA, Richard Goldschmidt amico suo che aveva individuato geni “pleotropici”, che influenzano più di un carattere e quindi, se cambiati provocano modificazioni complesse e ancora Barry Commoner, biologo e uno dei primissimi scienziati ambientalisti a studiare i sistemi complessi globali che aveva predetto quanto diverso tempo dopo è stato dimostrato dagli studiosi dei cambiamenti climatici. Contemporaneamente in fisica Prigogine e Stengers costruivano un ponte logico fra biologia e fisica aprendo la strada alla costruzione di modelli di biologia dei sistemi complessi e a strade nuove a tutta la scienza. Anticipatore di tutto questo d’altra parte era stato Alan Turing che per primo aveva introdotto e modellizzato il concetto di auto-organizzazione dei sistemi complessi viventi e non viventi (A. Turing, 1952), derivante da interazioni dinamiche non additive di componenti connessi, concetto poi esteso anche ai processi di sviluppo animali e vegetali. È poi sulla modellizzazione dei sistemi complessi in Biologia che nasce il centro ben noto di Santa Fé in cui spicca il lavoro di Stuart Kauffman, genetista di Drosophila all’inizio della sue carriera, da tempo centrale in questo campo. Come era prevedibile anche la “Sintesi moderna” è stata ripresa e criticata in particolare da S. J. Gould e N. Eldredge, che nel 1972 formularono la cosiddetta “teoria degli equilibri punteggiati” derivata dai loro studi paleontologici che dimostravano la esistenza di periodi di relativa stasi nel cambiamento evolutivo seguiti da apparentemente improvvise accelerazioni, non compatibili con la teoria “continuista” di Darwin e dei neo-darwiniani. Come ho discusso ampiamente in un recente saggio (M. Buiatti, 2012, in stampa) questa ipotesi è stata recentemente confermata da studi molecolari che hanno chiarito i processi reali che portano alle accelerazioni, del tutto coerenti con le teorie dei sistemi complessi. E’ di Gould infatti la affermazione: “ La teoria della complessità può aiutarci a capire perché la predizione è così difficile.... Io posso dirvi con una precisione di minuti quando avverrà la prossima eclisse perché é un sistema semplice con poche interazioni. Non posso dirvi invece dove sta andando la evoluzione umana. Inoltre la analisi matematica dei sistemi complessi composti da molti elementi dimostra che una piccolo perturbazione può produrre effetti profondi perché si producono delle cascate a cause delle interazioni non lineari del sistema”. Con questo, Gould ritorna, pur non essendo in alcun modo lamarckiano, su alcuni concetti che sono coerenti, come dicevo all’inizio di questo saggio, con le teorie dei sistemi complessi e quindi con alcune posizioni dello scienziato francese. Infine, è utile sottolineare che la

discussione sulla complessità degli esseri viventi, nata in ambiente scientifico è diventata poi vivace anche in ambito filosofico dove persone come Edgar Morin, Henri Atlan, Hans Jonas, Steven Rose e molti altri, hanno costruito un ponte fra scienze biologiche, filosofia e anche la teologia. Fra questi forse è proprio Jonas che, ancora prima della accettazione generalizzata della struttura complessa della vita, avvenuta nel terzo millennio e quindi dopo la sua scomparsa, ne aveva capito i principi fondamentali e li aveva confrontati con la utopia meccanica ancora largamente prevalente nelle società umane. Molto importante soprattutto dal punto di vista della interazione fra esseri umani e gli altri sistemi viventi è il fatto che Jonas introduce lo studio di alcune fra le più importanti differenze fra Homo sapiens e gli altri esseri viventi, identificate in tre caratteristiche fondamentali. La prima è la “immagine”, la capacità cioè di ricordare ma anche di inventare contemporaneamente oggetti, facoltà del resto presente già nei nostri antenati quando riproducevano figure di cose, animali, esseri umani non in modo fotografico ma modificandoli secondo le impressioni soggettive avute. Questa operazione non è presente negli altri animali proprio in quanto non è stereotipa e immette nella figura un contributo individuale dell'autore determinato da “sentimenti” avuti al momento della visione ricordata dell'oggetto. E' questa capacità che poi ci ha permesso di “inventare” strumenti mai esistiti in natura, secondo elemento distintivo della umanità, alcuni dei quali, a differenza di quanto avviene negli animali, non prodotti con finalità adattative. Il terzo strumento è, secondo Jonas “la tomba” e cioè la capacità di trascendenza e anche di immaginazione di una vita post-mortem. Sappiamo adesso che queste tre capacità non sono solo state presenti negli umani attuali ma lo erano, anche se non sappiamo a che livello, anche negli altri “ominini” che hanno vissuto con noi per un lungo periodo di tempo e cioè Homo Neanderthalensis, Homo floresensis, Homo denisovianus. La biologia molecolare ed altri strumenti di indagine ci hanno inoltre dimostrato che le nostre e loro capacità derivavano da un “salto evolutivo” dovuto alla accelerazione del cambiamento di un numero relativamente basso di geni di grande importanza per lo sviluppo della conoscenza. Come ho discusso a fondo in un precedente saggio (M. Buiatti, 2012), probabilmente le prime sequenze di DNA che si sono modificate con grande velocità solo nella nostra linea evolutiva hanno avuto la funzione di aumentare le dimensioni relative dell'encefalo e di permetterci di scambiare fra di noi una quantità di informazioni enormemente superiore a quanto avviene negli altri animali. Questi cambiamenti hanno quindi accelerato un gruppo di altri geni correlati ai primi con un processo tipico dei sistemi complessi ma questa volta in positivo. Come infatti già Goldschmidt indicava la possibilità che un danno ad un gene e cioè ad un “nodo” fondamentale di un sistema complesso vivente può

portare ad una modificazione di una serie di altri geni ad esso connessi, così nella nostra specie la innovazione in uno o pochi geni che hanno aumentato l'encefalo sembra avere determinato la selezione in positivo di altri che hanno permesso la differenziazione in aree del cervello, una maggiore capacità di percepire ed intendere i segnali di altri umani, l'utilizzazione di tutto questo per scambiare le informazioni e le invenzioni con altri membri della nostra specie. Questa ipotesi è stata in parte confermata dal raffronto delle capacità di bambini di due anni e mezzo e scimpanzé di età equivalente, che ha dimostrato la uguaglianza fra i due "bambini" per tutte le facoltà tolto che per quella dello scambio di informazioni enormemente più avanzata nella nostra specie. Sono essenzialmente queste le ragioni per cui il nostro sistema complesso "cervello" è adesso capace di una enorme capacità di archiviazione di dati, di costruzione di connessioni fra di essi, di invenzione di combinazioni e strutture del tutto nuove. E' questo che ha poi portato ad effetti enormemente positivi per la nostra sopravvivenza ma anche alla utopia meccanica ed ai danni che sta ancora provocando non solo a noi ma alla vita su questo pianeta. Hans Jonas aveva molto chiaro questo processo ed aveva quindi molti dubbi sulla utilità della modificazione artificiale degli esser viventi e cioè della meccanizzazione del Mondo, vita inclusa. E' da questi concetti infatti che Jonas fa derivare il principio di responsabilità degli esseri umani che comporta la necessità non solo di evitare un eventuale effetto negativo immediato di un nostro atto ma anche di prevedere tutti gli altri cambiamenti potenzialmente dannosi che ne possono derivare, data la struttura complessa e connessa della vita a tutti i livelli della sua organizzazione gerarchica. Infine, come spero appaia chiaro da questo mio breve saggio, la natura, dinamica e funzioni dei sistemi viventi complessi sono ormai note e ampiamente discusse non solo in ambito strettamente scientifico ma anche in quello filosofico ed etico. Tuttavia probabilmente, se Jonas tornasse nei nostri tempi sarebbe fortemente deluso da quanto è successo dalla sua morte nei primi anni novanta ad oggi. Come era purtroppo prevedibile il principio di responsabilità è del tutto lettera morta nel senso che ben pochi cercano di prevedere gli effetti delle trasformazioni del pianeta per poi evitare quelle che non recano danno alla vita né direttamente né indirettamente. E' invece stato mantenuto l'obiettivo prometeico della continua accelerazione del cambiamento su progetto umano e cioè della sua trasformazione in una immensa macchina. Si è infatti affermato il concetto di "crescita infinita" della produzione come obiettivo della umanità fidando ancora nella nostra capacità illimitata di riparare a eventuali danni non previsti. Questo nonostante le sempre più preoccupanti dimostrazioni del fatto che i sistemi viventi e in genere tutto il Pianeta stanno rispondendo in modo imprevedibile e purtroppo difficilmente regolabile. Ne è una delle prove più evidenti il fallimento del progetto, temuto da

Jonas, della trasformazione della vita con la ingegneria genetica, la tecnologia che prevede la costruzione di nuovi esseri viventi programmati a tavolino dai tecnologi. Come ho discusso ampiamente in un mio recente saggio (M. Buatti, 2012b), la ingegneria genetica delle piante è fallita del tutto nel senso che solo quattro specie vegetali sono state trasformate con successo sul mercato e la loro immissione ha portato a risultati tecnici e sociali negativi. Analogamente, purtroppo la speranza di curare malattie genetiche umane con la sostituzione di un gene “malato” con una versione “buona” non ha prodotto nessun risultato reale. Contemporaneamente le previsioni del Club di Roma precedentemente citato si sono più che avverate come dimostrano la spaventosa accelerazione del cambiamento climatico e i suoi effetti che si registrano ogni giorno di più. Infine, la stessa crescita infinita della produzione si sta rivelando impossibile tanto che si tenta di ravvivarla con la diffusione coercitiva di oggetti che niente hanno più a che fare con la funzione adattativa che aveva all’inizio il cambiamento futurista. Purtroppo tutti questi segni evidenti della disfatta umana vengono nascosti sostituendo alla crescita materiale di prodotti utili quella virtuale di moneta. Da cui la presente crisi finanziaria che sta mettendo in forse la stessa coesione delle società umane senza che si veda ancora un progetto vero di recupero della vita nostra e in genere dei sistemi viventi che abitano con noi questo Pianeta. Ma questa è una altra storia ormai staccata dal dibattito fra complessità e natura meccanica della vita, di cui magari ripareremo in altri saggi.

M. Buiatti e O. Micheli (1988): *Struttura della scienza e ideologia: Una revisione critica della polemica tra lamarckismo e darwinismo da Lysenko ad oggi*. Metamorfosi 9: 25-45.

M. Buiatti (a), 2011, Evoluzione e complessità. In: *Evoluzione, complessità, uomo*. F. Facchini Ed., Jaca book Ed. 115-133

M. Buiatti, 2011(b), From methods to ideology: the resistible ascent of reductionism in Biology, In: Auletta, G., Leclerc, M., Martini, R.A. Eds., *Biological evolution: facts and theories*, Gregorian Biblica Press: 667-691

M. Buiatti, 2012, Biological complexity and punctuated equilibria, in: *Stephen J. Gould legacy: Nature, history and society*, G. Danieli, Ed. Springer Verlag, in press.

M. Buiatti, 2012b, GMOs are the result of a mechanistic vision of life, Caen University Press, in the press

- F. Crick, 1970, Central dogma of molecular Biology, *Nature*, 227:561-563
- J.L. Deneubourg, 1977, *Application de l'ordre par fluctuations a la description de certaines étapes de construction du nid chez les termites*, *Insectes sociaux* 24:117-130
- J. Huxley, 1942, *Evolution: The modern Synthesis*, Allen and Unwin, London, UK
- F. Jacob, 1970, *La logique du vivant*, Gallimard Paris Ed.
- J.B. Lamarck, 1809, *Philosophie zoologique, ou exposition de considerations relatives à l'histoire naturelle des animaux*, Dentu Ed., Paris
- E. Lorenz, 1963, Deterministic non-periodic flow, *Journal Atmospheric Science*, 20:130-141
- "André Lwoff - Nobel Lecture: Interaction among Virus, Cell, and Organism". Nobelprize.org. 11
- J. Monod, 1970, *Le hasard et la nécessité, essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Editions du Seuil, Paris, France
- H. Poincaré, 1905, *Science and hypothesis*, The Walter Scott publishing Co., New York, U.S.A
- Science at the crossroads*, 1931, International Congress on the history of science and technology, London, 1931
- Turing, A. M., 1952, The chemical basis of morphogenesis: *Philosophical transaction of the Royal Society of London*, 237:37-72
- Waddington, C.H., 1975, *The evolution of an evolutionist*, Edinburgh, Scotland
- A. M. Zhabotinsky 1964, Periodic processes of malonic acid oxidation in a liquid phase.] *Биофизика [Biofizika]*, 9:306–311, 1964.