

**TOWARDS A PANEVOLUTIONARY THEORY (PANEVO THEORY),
FOLLOWING THE ACADEMIC OF FISIOCRITICI ENZO TIEZZI**

Mario Tanga, Giacomo Gelati, Marco Casazza

Corpus (International Group for the Cultural Studies of the body)

Abstract. Contemporary science and culture show more and more extended and meaningful signs about the increasing explaining power of evolutionary paradigm. This power overcomes the field of the history of living species. We consider “*On the Origin of Species*” of 1859 by Charles Darwin as the establishment of this paradigm, but this original and fruitful idea has received the several and different contributions from near and (seemingly) far scientific fields. This process happened according distinguishable waves and leded the evolutionary theory very far from its starting point, making it something wider and different. The current knowledge of this theory involves many kinds of scholars: biologists, zoologists, botanists, development biologists, genetics/genomics scholars and also scholars of many other disciplines, as statistics, mathematics, ecology, environmental sciences, physics, chemistry, linguistics, sociology, neuro-sciences, epidemiology, informatics, immunology. During the end of XX Century, the study of complexity, of self-organization and of emerging properties has been a decisive factor to extend evolution until beyond the boundaries of Biology. These phenomena, or properties, or features, that are shown by “living” and “not-living” systems (so called basing ourselves on traditional definitions), have deeply modified even the “properly” biologic evolution itself and besides this has demonstrated that, *mutatis mutandis*, evolutionary processes or phenomena happen also out of biologic dominion, referring “biologic” to “wet-ware world”. This is to say the class of evolutionary phenomena is more widely and more inclusively extended than our opinion. We can mean this as a revolution (according to Kuhn’s definition) that imposes us to restructure the definition of evolution itself and even to redraw the boundaries and the map of Biology itself. Aiming to establish a name of this field of study we propose “PanEvolutionary Theory” (*PanEvo Theory*). No doubt Prigogine offered an important contribution to this area. The thinking and the work of Enzo Tiezzi can be placed seen in the same perspective. Disregarding direct connections and contacts with the Nobel Prize Prigogine, however the studies of Enzo Tiezzi are neither a fully unexpected work nor a theory lacking of important potentialities: it is not a strange or eccentric academic exercise. Except the close contact and the dense exchanges with Prigogine, we collocate Enzo Tiezzi in the same context of Gregory Chaitin, of Rachel Carson, of John Harte and Robert H. Socolow, of James Paul Wesley, of Sertorio, of Oort and Peixoto, just to cite the most strictly related. Our Academy had the privilege and the honor of having Enzo Tiezzi in its ranks. We think that merits and developments of the thinking of this scholar have to produce important and lasting fruits in the future.

Key words: *PanEvo Theory*, Paradigm, Connectivity, Evolution, Physics, Environment.

Nella vita, come del resto nella natura tutta, e come in tutta la realtà, nulla è intelligente e nulla è stupido, semplicemente tutto avviene, tutto diviene, ovvero tutto evolve. L’evoluitività è solo l’altra faccia della connettività: sono due modi di dire la stessa cosa, secondo due assi che si intersecano e tessendo la trama di tutto.

SULLE ORME DI ENZO TIEZZI

Per seguire le orme del Fisiocritico Enzo Tiezzi, dobbiamo, dapprima, rivolgere uno sguardo al passato, per poter comprendere meglio quale sia l’originalità del suo pensiero e coglierne alcuni stimoli di riflessione.

A partire dalla seconda dell’800, l’evoluzione della fisica, della chimica e della matematica hanno portato ad un drastico cambiamento di visione della realtà. Nel 1860 nacque ufficialmente la chimica al congresso di Karlsruhe, in Germania, dove si definirono, tra l’altro, le basi della nomenclatura proprie di quella disciplina. Poincaré, nel 1889, introdusse un approccio differente alla dinamica, considerando i sistemi non integrabili. Vennero, poi, la meccanica quantistica e la relatività. Crollarono definitivamente la visione deterministica e riduzionistica. Il linguaggio matematico, sulla cui base erano fondati i modelli fisici classici acquistò nuova, diversa e maggiore importanza, ebbe una incredibile evoluzione, e questo allargò la forbice tra percezione e

Correspondence to:

Mario Tanga,

Corpus (International Group for the Cultural Studies of the Body)- <http://corpus.comlu.com>

E-mail: m.tanga@tin.it

descrizione del mondo fisico, e sancì un forte distacco di una cosa dall'altra.

Si estese visibilmente il campo di interesse della fisica, fino a giungere alle scienze sociali (Majorana, 1942), per poi giungere alla biologia, con il saggio "Che cos'è la vita?", scritto in lingua inglese dal fisico austriaco Erwin Schrödinger nel 1944 e pubblicato dalla Cambridge University Press. Alcuni decenni dopo la Seconda Guerra Mondiale, questo testo fu recepito negli Stati Uniti, dove l'interesse per la complessità e le scienze della vita prese piede anche a Los Alamos grazie alla volontà di Hans Bethe.

Mentre nel 1962 fu pubblicato il libro di Rachel Carson, "Silent Spring", nel 1971 John Harte e Robert H. Socolow, allora afferenti all'università di Yale, pubblicarono il libro "Patient Earth", dove si parlò del lavoro dei *geofisici*, affrontando i problemi ambientali, che già allora erano stati identificati, ma ampliando lo sguardo, nel parlare del rapporto tra uomo ed ambiente, fino all'economia stazionaria. Tre anni dopo fu pubblicato il primo libro di ecofisica (James Paul Wesley, 1974), dove si presentò la possibilità di applicare i metodi propri delle scienze fisiche all'ecologia. Un secondo libro riguardante il medesimo argomento sarà pubblicato solo qualche decennio dopo (Sertorio, 1991). Crescono sempre più le conoscenze, che convergono negli studi riguardanti il clima della Terra, ben riassunti nel classico libro di Oort e Peixoto (1991).

Le ricerche e le opere del Fisiocritico Enzo Tiezzi si possono inquadrare all'interno del medesimo contesto, avendo egli seguito il percorso tracciato da Prigogine. Alcuni tra gli argomenti da lui affrontati: il riciclo della materia nell'ambito fisico, biologico e dell'economia ecologica (Bianciardi *et al.*, 1993); una rilettura delle categorie spazio e tempo finalizzata alla comprensione dei limiti biofisici della Terra (Tiezzi, 2003); un approccio entropico ai sistemi viventi (Tiezzi e Pulselli, 2008); la rilettura della termodinamica dei processi irreversibili e la teoria dei campi quantistica, finalizzata alla miglior comprensione della dinamica degli ecosistemi (Del Giudice *et al.*, 2009). Gli studi affrontati nel corso della sua carriera, hanno permesso ad Enzo Tiezzi di tracciare un percorso ideale di studi indirizzato verso una fisica evolutiva. Ci concentreremo, dunque, sulla visione filosofica, che guidò ed ispirò le opere del professor Tiezzi.

TUTTO EVOLVE

Il perno delle ricerche di Prigogine e Tiezzi è duplice. Proviamo a formularlo così: i) *tutto cavalca lo scorrere del tempo*; ii) *pur nel generale andamento del cosmo in accordo con il secondo principio della termodinamica, alcune isole si pongono in controtendenza e trovano il modo di stabilizzare la loro distanza dall'equilibrio*.

Nel primo assunto ci sono due elementi importanti, e correlati: "tempo" e "tutto". Nulla cioè si chiama fuori

dal divenire. Il regno del dio Chronos si estende su tutto. E questo a prescindere che sia qualcosa di "vivo" oppure no.

Il secondo assunto ci dice che ci sono due modi diversi di stare sotto il dominio (peraltro inevitabile) di Chronos: far crescere dentro di sé l'entropia e "degradandosi" o mantenerla bassa autorganizzandosi ed evolvendo. Se su scala totale, cosmica, questo è fatale, come sancito dal Secondo Principio, che non ammette deroghe, su scala locale può esserci invece una (relativa) deroga. Isole o parti del sistema possono non solo abbassare la loro entropia, ma anche dar luogo a processi che la mantengono bassa o accentuano l'abbassamento. Qui si sarebbe tentati di tracciare una facile equivalenza tra entropia bassa o in tendenziale calo e vita, quasi che fosse la "*metis*" della vita lo sfuggire alla gravura del secondo principio: la brutta materia, inerte e inconsapevole, cieca e sorda, rotola giù per la china verso l'*en-plein* dell'entropia massima, la trappola finale a cui nulla sfugge. La vita non si lascia "fregare" e si riarrampica, mette in atto una furba controtendenza, la fa franca. Questa visione è viziata da una prospettiva biocentrica, l'ennesimo riflesso nel lago di Narciso a cui abbiamo dato vita per compiacerci e per garantirci privilegi e priorità. Tiezzi, novello Copernico *sui generis*, va a erodere alla base l'equivalenza vita=antientropia in quanto corrispondenza biunivoca.

OLTRE LA BIOLOGIA

Comunque, in questa riluttanza a ridisegnare i confini del biologico, l'antropocentrismo, come altri centrismi a nostro vantaggio, gioca il suo ruolo: percepirsi come organismo, ergo come vivente, è un privilegio che non siamo disposti a condividere con sistemi "altri". Passi con gli (altri) animali (a patto di porre riserve, limiti e condizioni), passi persino con le piante (pregevole il tentativo di Mancuso, con il suo *Verde brillante*, di rivalutare lo status del mondo vegetale, svarioni a parte, come quello secondo cui le piante, gravitropiche, avrebbero in esclusiva il privilegio di percepire la gravità!...), passi persino con una cellula (dalla formulazione della teoria cellulare ha avuto più di due secoli per guadagnarsi un posto al sole nel nostro immaginario), ma con un algoritmo!... Questo proprio no!

Anche nelle scienze biologiche la teoria evolutiva è partita con una sua centratura prospettica ben precisa, quella specie-centrica, per una volta non nel senso che riteniamo una specie (la nostra) superiore a tutte (il che meriterebbe un discorso a parte), ma nel senso che identità o alterità di specie divengono il parametro essenziale, il discriminante decisivo. Il fatto che le specie, ogni singola specie non sia lì *ab aeterno*, ma abbia un punto zero, di partenza (la scelta, oculatissima e a lungo meditata, del titolo *On the Origin of Species* la dice lunga) nel tempo e che l'insieme di questi punti di ori-

gine (per le varie specie) sia distribuito nel tempo, nella storia della vita, dimostra che l'origine di una specie "accade", interviene, sullo scenario della natura, "ad un certo punto", quando la specie che la precede o da cui deriva e il fattore ambientale consentono, sostengono, rendono necessario il passaggio. È il passaggio da specie a specie che alla fine disegna una costellazione che chiamiamo (noi, non Darwin...) evoluzione. Non è un caso che Darwin si concentri sul *taxon* di specie e che questo compaia proprio nel titolo. Il criterio di individuazione della specie è l'interfecondabilità degli individui che ad essa appartengono. Una tassonomia dei viventi basata sull'apparato riproduttivo la troviamo in Linneo, il quale, detto per inciso, ha una visione fissista. Non è certo la stessa cosa, ovvio, ma una qualche relazione può essere ipotizzata. Noi salutiamo l'*Origine delle specie* come l'atto di nascita della teoria evolutiva, ma l'autore non cita mai esplicitamente l'evoluzione con questo termine. Si concentra soprattutto sulla linea di discriminazione tra una specie e l'altra, linea che la deriva storica della vita riesce a superare in molte e diverse occasioni.

VITA, E NON SOLO

La specificità della vita (ma ancora una volta non solo "wet") potrebbe essere in una proprietà che Alain Berthoz ha di recente denominato formalmente come "vicarianza" (cfr. Alain Berthoz, *La vicarianza*, Codice Edizioni, 2015)

Nella prospettiva originaria, focalizzata sulla "vita wet", prospettiva che abbiamo definito specie-centrica, si è assistito a un allargamento in due direzioni opposte: cellulare da una parte e ecosistemica dall'altra. Il darwinismo neuronale o la teoria della selezione clonale sul primo fronte, l'evoluzione ecosistemica o biomica dall'altra. Quest'ultima va oltre il concetto di co-evoluzione, sebbene lo presupponga: non si tratta di due specie in interazione diretta e che si evolvono una rispetto all'altra, ma di un sistema biologico nel suo complesso. Se si pensa che la modellizzazione matematica fa un enorme salto di complessità quando passa a trattare l'interazione ("semplicemente" gravitaria) di tre corpi, rispetto a due (Poincaré *docet...*), allora ci si può rendere conto del grado di complessità della rete di interazioni dell'ecosistema, o anche di un più limitato bioma.

La cellula vive, l'apparato o sistema vive, l'organismo vive, la colonia vive, l'ecosistema vive. Non è una semplice estensione quantitativa dell'oggetto osservato, né l'una cosa implica/è implicata dall'altra, non è una costruzione sommativa o componenziale. Per esemplificare. Nell'arco di vita di un organismo molte cellule nascono e muoiono. L'età dell'individuo è altro dall'età delle cellule che lo compongono. La faccenda si ripropone per l'individuo e la colonia. Se si va a visitare un formicaio a intervalli pari alla vita della singola formica

troviamo formiche sempre della stessa età, ma un formicaio sempre più "vecchio", anzi più vecchio senza virgolette. L'età del formicaio prescinde da quella delle formiche. E così l'età di un bosco rispetto all'età delle piante, e via dicendo.

Molte caratteristiche delle strutture e dei processi biologici non richiedono spiegazioni diverse da quelle fisiche per rendere conto della loro genesi. Non si tratta di riduzionismo, per negare una specificità alla biologia, ma della semplice applicazione del rasoio di Occam. La specificità della biologia sta oltre la soglia dell'emergenza di certe proprietà. L'emergenza di proprietà di un sistema, che abbia caratteristiche necessarie e sufficienti per tale evenienza, non è in contraddizione con le proprietà del sistema stesso se e quando si trova al di sotto o al di qua di quella soglia critica. Enzo Tiezzi ci dice che i fondamenti dell'evolutive della vita sono presenti nella natura, "*etiam si vita non daretur*". I sistemi biologici evolvono, sempre e comunque, ma non perché biologici, le loro proprietà fisico-chimiche già bastano a rendere ragione di questa straordinaria proprietà. La vita non ha dovuto inventare l'evolutive, magari l'ha dovuta declinare in termini biologici, le ha fatto assumere proprietà particolari, ma in quanto inserita in un quadro di evolutive che la comprende e si estende oltre essa.

Di questo paradigma getta le basi la fisica del XIX secolo, con la formulazione del 2° Principio della Termodinamica. Con tale principio viene istituita l'asimmetria del tempo, che diviene un vettore le cui polarità non sono più scambiabili. Passato e futuro non sono più solo della storia umana, ma anche di quella naturale. Il senso del tempo non è nuovo nella cultura occidentale. Tutta la Modernità ne è pervasa. Fin dal Rinascimento, introspezione, autoconsapevolezza, capacità di meta-pensiero, agentività del soggetto, senso di identità, richiedono l'iscrizione dentro riferimenti temporali. Lo studio della natura portato dalla Rivoluzione Scientifica mostra quasi soriticamente che la natura tutta, celeste e terrestre, su piccola e grande scala, non può chiamarsi fuori dal tempo. Si tratta tuttavia di un tempo reversibile. È infatti con il secondo principio che tale cornice concettuale segnata dalla freccia del tempo ha la sua formulazione diretta ed esplicita, ed è questo principio che può offrire una base ermeneutica ed euristica unitaria e coerente allo studio tanto dei fenomeni fisico-chimici quanto biologici. La vita non si ferma e non riavvolge il nastro (la storia delle speciazioni, degli adattamenti, delle exaptation, delle mutazioni e quant'altro lo mostra chiaramente, cfr. Werth & Shear, 2015), ma nemmeno la materia, come finalmente appare chiaro (nel come e nel perché) con il 2° Principio. Le ragioni della unidirezionalità dell'evoluzione biologica, potremmo dire semplificando al massimo il discorso di Tiezzi, sono nell'andamento entropico della natura tutta. E non sembri paradossale: tra il "degrado" dell'accumulo entropico e la "follia" dell'evoluzione biologica il rapporto è stretto. In parole povere: è la prima che permette e sostiene la seconda!... L'entropia

comunque è da intendersi in un'accezione estesa, informativa oltre che energetica.

Trasformazioni, degradazioni, conversioni, scambi, transizioni di ogni genere riguardano infatti tutte e tre le dimensioni della natura: la materia, l'energia e l'informazione.

La termodinamica parla dei rapporti tra le due forme di energia: calore e lavoro, la relatività stabilisce in modo elegante e semplice quanto pregnante la scambiabilità tra materia ed energia con quell'equazione che è divenuta un'icona della scienza del Novecento, $e=mc^2$.

Con Prigogine (ma dovremmo parlo in relazione con Darwin, con Maturana e Varela...) anche l'informazione entra in questo quadro e si integra alle altre dimensioni della natura.

Non è una questione epistemologica marginale o opzionale. Occorre fare chiarezza sul fatto che la fisica (o la fisica e la chimica, o in genere le scienze che studiano la materia "non vivente") non sono un dominio in alternativa a quello della biologia. Non si tratta di tracciare l'interfaccia di contiguità tra i due domini. Non si tratta nemmeno di concedere la coesistenza, sia pure critica se non conflittuale, di principi fisico-chimici e biologici insieme, in una intersezione, ovviamente limitata, tra i rispettivi domini.

E ancora: dobbiamo liberarci dall'idea di una gerarchia tra il dominio fisico-chimico, più "semplice" e "inferiore", e quello biologico, più "complesso" e "superiore". Non solo i sistemi fisico-chimici sono la base e il presupposto per quelli biologici, quasi uno stadio preliminare di questi ultimi, ma tra i primi e i secondi c'è una fitta e complessa rete di afferenze e refferenze. Non si può parlare di biologia senza parlare di fisica e chimica, e viceversa: ci sono aspetti dei sistemi fisico-chimici che si rivelano specificamente in contesti biologici.

La "*vis vitalis*" e la concezione vitalistica nel suo insieme, sia pur bandite dalla scienza, hanno lasciato comunque un residuo. Le propaggini più profonde e sottili delle loro radici sono rimaste, poco o nulla visibili, abbarbicate nel terreno delle nostre concezioni di fondo, non certo quelle esplicite e formalizzate, ma quelle implicite, diffuse, invisibili. Così pare ovvio che la fisica e la chimica debbano cedere il passo alla biologia nello spiegare le proprietà ultime della vita e se la biologia dà loro delega in tal senso, lo fa rassegnata a subire una brutale semplificazione o riduzione, un impoverimento radicale.

Ma la recente letteratura scientifica è ricca di esempi che smentiscono finalmente questa concezione. Accenniamo a qualcuno di tali esempi.

Le ripiegature della corteccia cerebrale non obbediscono a chissà quale sofisticato disegno o misteriosa finalità, ma a semplici regole di geometria topologica.

Gli stupefacenti pattern che ornano le più disparate specie di conchiglie non sono progettati uno per uno o specificati fin nei loro dettagli più minuti dal codice genetico. Sembra proprio che possano essere ricondotti

ai pattern generati dalla reazione di Belousov-Zhabotinsky "congelata" in una certa fase. I meccanismi di reazione-diffusione nelle reazioni oscillanti possono infatti generare una quantità di pattern che possono bastare a dar ragione di gran parte delle decorazioni conchigliari. Meinhardt, nel suo "Algorithmic Beauty of Sea Shells" (2009) tratta ampiamente la questione.

L'impacchettamento delle celle dell'alveare coincide (significativamente) con l'impacchettamento delle celle di Bénard. Il reticolo di entrambe coincide con l'impacchettamento di cerchi. Molto c'è da scoprire sotto quest'ottica: chissà cosa ci direbbe la tensescrità di tante strutture biologiche o l'"ingegneria" della tela del ragno...

La geometria frattale di un albero o di tante strutture biologiche ramificate, non è codificata, biforcazione per biforcazione, da un articolato progetto che la rispecchia e dal quale è rispecchiata fedelmente: è affidata al risultato della reiterazione del più semplice degli algoritmi di un automa cellulare, durante l'attuazione del quale non solo sono tollerate variazioni entro certi margini (nemmeno troppo stretti, per la verità), ma tale plasticità permette adattamenti a volte semplicemente opportuni, a volte che fanno la differenza tra sopravvivere e perire.

Laddove i principi fisici e chimici risolvono le cose in modo brillante, la vita non si dà la pena di provvedere con apposite strutture e funzioni, sarebbe uno spreco inutile e, insieme, un rischio di incappare in errori fatali. Se voglio una linea retta mi basta tendere con una tensione sufficiente una corda libera da vincoli (Euclide *docet*...), non occorre che la distenda e la calcoli millimetro per millimetro: sarebbe un lavoro immane e non avrei la garanzia di evitare un seppur minimo errore. La delega alle leggi fisiche nasce con la vita e non viene mai revocata, se non ce n'è fondato motivo. Rasoio di Occam? Compressione informazionale? Emergenza? Entropia informazionale? Beh, sì, forse un po' tutte queste cose. Se no come sarebbe possibile che tanti neuroni stupidi formino un cervello intelligente? O che tante formicuzze capaci di far tanto poco, ciascuna da sola, formino una società con un'organizzazione così sofisticata che neanche il più bravo dei manager umani riuscirebbe a gestirla così? O, ancora, che le trabecole ossee formino (e riformino continuamente) un'intricata architettura così efficace ed efficiente nell'ottimizzare la risposta dell'osso a sollecitazioni statiche e dinamiche? E via dicendo...

LA NOOSFERA

Stesso tipo di considerazioni va fatto anche per la noosfera. La noosfera emerge da strutture fisiche e biologiche. La sua funzionalità e la sua evolutività sono "bio-simili" (cfr. Cavalli Sforza, 2016). Che si parli di metafora, di modello o di semplice descrizione, i Memi

di Dawkins e il relativo “darwinismo memetico” che su di essi potremmo immaginare, funziona in base a leggi che sono *uguali* a quelle del mondo biologico. Una sorta di ricalco? Di doppione? Di replica? Di parallelismo? Forse ancor di più di questo, più direttamente: il cervello compie molte delle sue computazioni in base alla sua funzionalità biologica, senza che la dimensione noetica, che da esse può emergere e su di esse può riafferire, abbia un gran peso. E noi (inclusi i nostri pensieri e le nostre conoscenze) ci avvaliamo di questa prodigiosa quanto inconsapevole proprietà delle nostre cellule grigie. Se devo afferrare al volo un oggetto che mi è stato lanciato posso calcolare l’accelerazione che gli è stata impressa, integrarla per ricavarne la velocità e integrare anche questa per ricavare la posizione nello spazio che mi sarà utile per afferrare il famoso oggetto. Mi dovrei armare di carta e penna (e calcolatrice), avere nozioni di analisi matematica e giù a far calcoli. Se mi piace la matematica e se non sbaglio nulla, ottengo il risultato, anche se dopo che l’oggetto lanciai mi è caduto a terra da un po’ (e io ho fatto la figura del cretino...). Ma i nostri neuroni, grazie al fatto di costituire prodigiose reti neur(on)ali, possono procedere in tempo reale a un’elaborazione parallela dei dati (visivi, ottici, non certo alfa-numeriche), incuranti del fatto che siamo analfabeti di matematica. Eseguono il calcolo in questione in tempo reale con un minimo margine di errore e lo correlano al protocollo motorio adeguato per mettere a frutto il risultato ottenuto. Ho afferrato l’oggetto e posso anche stringere l’occhio all’amico che ha effettuato il lancio.

Amenità e divagazioni a parte, facciamo il punto.

Un’operazione con implicazioni diverse sui piani metodologico ed epistemologico (forse un po’ meno su quello euristico) è forse quella di Gregory Chaitin, di cui abbiamo già avuto modo di trattare (2013). Per questo autore la vita “*wet-ware*” non è l’unica implementazione delle proprietà che le riconosciamo tradizionalmente. Ben altri e ben diversi sistemi sono a buona ragione “altrettanto viventi”, come per es. un algoritmo. Una rivoluzione dei domini semantici per il quale Chaitin invita a parlare di “Metabiologia”. Si dà forza al denominatore comune di tutti questi sistemi: tutti evolvono.

Dobzhansky dice in modo illuminante che nulla ha senso in biologia se non in chiave evolutiva. Forse si potrebbe estendere a sistemi al di fuori della biologia tradizionale, oppure comprendere entro i confini del biologico ciò che attualmente non è considerato tale. Entrambe le opzioni ci portano estensivamente ad interpretare in senso evolucionista altri domini della realtà.

PER UNA TASSONOMIA DEI SISTEMI CHE EVOLVONO

Si può tentare una tassonomia dei sistemi (che evolvono) e che può essere concepita secondo una triparti-

zione, ma, come si vedrà, i confini sono labili e relativi, fino a dissolversi per i “vettori causativi”, ovvero azioni capaci di produrre effetti tra tale realtà e che ne attraversano i confini in entrambi i sensi e su tutta la loro estensione.

- I *sistemi* possono cioè essere ascritti al taxon di *fisico-chimico, biologico, noetico*. Non si parla di mondi separati, eterogenei, e ontologicamente distinti. Passando dal precedente al successivo, si rileva un passaggio emergenziale, cioè ad un livello di organizzazione che comprende proprietà precedentemente non presenti. Quindi ogni insieme successivo può essere considerato un sottoinsieme del precedente.
- All’inverso per le *proprietà*: le proprietà del precedente sono un sottoinsieme di quelle del successivo. Le proprietà emerse retroagiscono infatti su quelle “di base”, così come queste ultime impongono alcuni vincoli e limiti, così che le une e le altre non si possono più considerare separatamente. Questo reciproco influenzarsi di proprietà, di base e emergenti, costituisce un circuito che possiamo definire “*circuito emergenziale*”.

Inoltre, spostandosi ad un livello più comprensivo, olistico, per così dire, abbiamo l’insieme dei sistemi (il sistema dei sistemi) una parte del quale ha proprietà emergenti. Anche questo ha una retroazione, in questo caso sul resto, oltre che, come accennato, su se stesso. Il tutto va incontro a cambiamenti, a un’evoluzione con traccati particolari.

Se consideriamo i sistemi a seconda della loro appartenenza a un dominio o a un altro (Figura 1-I) oppure a seconda delle loro proprietà (Figura 1-II) possiamo raffigurarli con due diagrammi di Venn che sono uno il reciproco dell’altro. I limiti che circoscrivono ciascun insieme sono da intendere come permeabili e attraversati da un flusso a doppio senso di effetti causativi. Oltre che permeabili, tali limiti sono anche mobili.

Dobbiamo chiederci quale sia e perché sia collocabile secondo una certa configurazione il limite tra un ambito e l’altro. La geografia di questi territori dipende dalla concezione che scegliamo di adottare.

In entrambi i casi il limite, rispettivamente, dei sistemi che evolvono e delle proprietà evolutive, abbraccia la sfera più grande.

LE CAUSAZIONI RECIPROCHE E LE CONNESSIONI TRA I SISTEMI CHE EVOLVONO

Le classi di sistemi che mostrano capacità di evolvere (fisico-chimico, biologico e antropico) costituiscono i tre nodi di una rete toticonnessa. Una schematizzazione di tale rete può offrire un semplice approccio alla sua comprensione (Figura 2).

1. Le proprietà fisico-chimiche dei sistemi sono limite ma anche risorsa per i processi biologici. Molti sono

gli esempi in tal senso. Potremmo citare le proprietà elastiche di molti tessuti, l'autorganizzazione dei sistemi complessi, le leggi meccaniche che determinano il ripiegamento del cortex cerebrale dentro la scatola cranica, le proprietà quantistiche dell'elettrone nella fotosintesi clorofilliana o le proprietà quantistiche di certi legami chimici nella percezione olfattiva. Certamente centrali sono le dinamiche dei sistemi lontani dall'equilibrio e l'irreversibilità che Tiezzi, sulla scorta di Prigogine, ci descrive. La sua "fisica evolutiva" è cioè una fisica che crea le condizioni e fornisce le risorse per comprendere i processi biologici.

2. I processi organici cambiano la materia e ne rivelano

proprietà altrimenti insospettabili, come la possibilità di andamento neghentropico, sia pure a certe condizioni. La comparsa e l'evoluzione della vita hanno cambiato, per es., il sistema meteorologico e quello idro-geologico e forma con questi un sistema integrato e con particolari caratteristiche.

3. La mente, le strutture del pensiero e della conoscenza discendono con continuità, sia pure non deterministicamente, dai processi cerebrali.
4. Le proprietà ricorsive e di autodeterminazione della mente vengono implementate retroattivamente con modificazioni della rete di connettività neuronale e del funzionamento del cervello.
5. La mente apprende ed elabora conformandosi alla

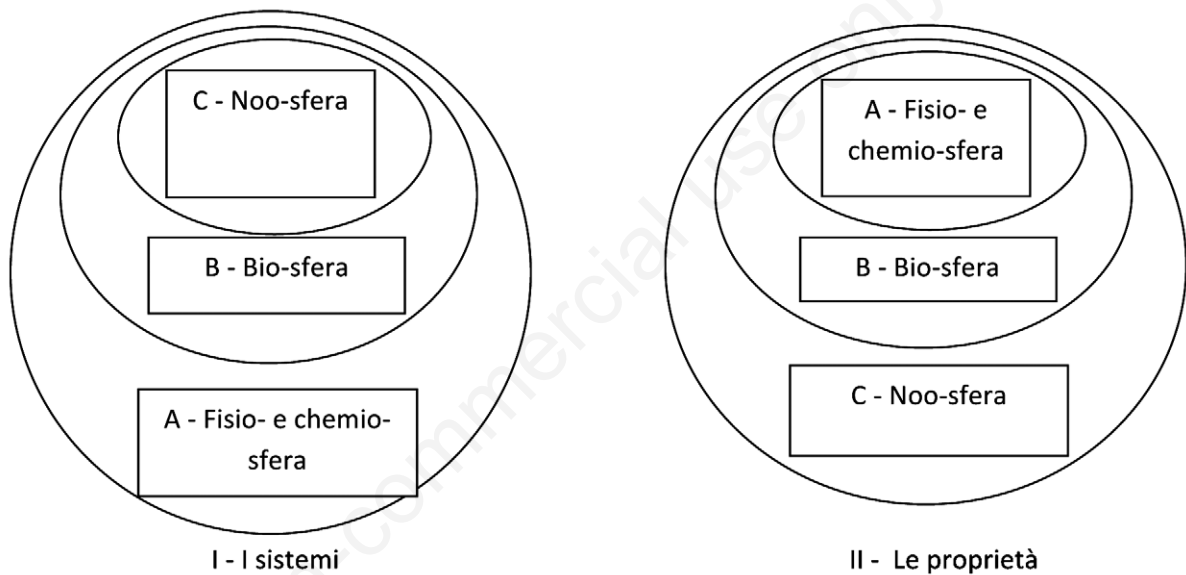


Figura 1.

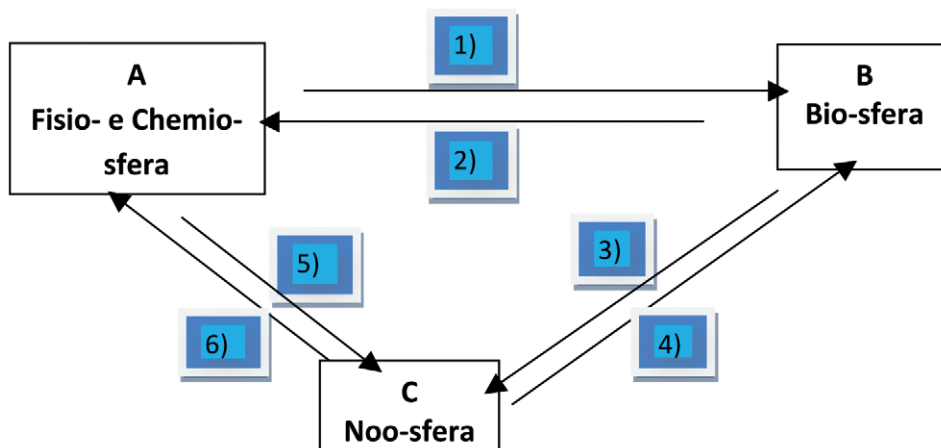


Figura 2.

processualità fisica del mondo, i nessi causali tra i fenomeni, la tempistica degli eventi, le caratteristiche geometriche delle traiettorie, le dinamiche termiche dei corpi, i giochi delle forze, delle tensioni elastiche, delle pressioni, e quant'altro, tutto viene recepito, ne viene costruita una simulazione cognitiva (cfr. Alain Berthoz), spesso denominata rappresentazione. Noi concordiamo con la definizione di Berthoz, perché il correlato mentale della realtà non ne è una raffigurazione, ad essa estranea, ma è qualcosa che funziona "concordemente" alla realtà stessa, fa proprie le sue stesse leggi, fino a prevederne possibili sviluppi mai osservati, "è" la realtà stessa, sia pur virtualizzata. Inoltre la materialità del S.N. è un fattore con cui il pensiero fa sempre i conti.

6. Se la realtà fisica "modella" il pensiero (nel senso che acquista un nuovo dominio di esistenza sul piano virtuale), è altrettanto vero che il pensiero retroagisce sulla materia secondo l'impresa che nella mitologia ha il nome di Prometeo. Quello che chiamiamo artefatto non cessa di essere materia, non cessa di essere "naturale", ma diviene portatore di un'ulteriorità di carattere neghentropico e informazionale. Non dimentichiamo poi che se il pensiero ha potere causativo sulla materia è grazie al fatto che esso è in diretta continuità con la materia del corpo e questa ha proprietà biologiche in quanto organismo. A conferma che bisogna guardarsi dai falsi dualismi, nella fattispecie quello "naturale-artificiale", come se le due proprietà fossero reciprocamente escludentesi. Per essere "artificiale" qualcosa deve essere stato trasformato da un'attività guidata dal pensiero, dalla cognitività dell'uomo. Tuttavia la materia di cui l'artefatto è costituito non può avere altra provenienza che la natura. Ciò non significa che naturale e artificiale si equivalgano. Le trasformazioni antropiche potrebbero non accadere, e di fatto non accadono, in natura, senza l'intervento dell'agente umano.

QUALI TEMPI PER L'EVOLUZIONE?

I tentativi di porre in relazione trasformazioni su scale temporali e di natura diversa sono stati spesso tentati. Significativa, e pittoresca, è la "Legge di ricapitolazione" di Haeckel nel XIX secolo. Ben altra portata, su questa linea, avrà la biologia Evo-Devo nell'ultimo scorcio del XX secolo. Questa ci mostra come i rapporti tra i due processi (di sviluppo ontogenetico e di evoluzione filogenetica) siano complessi e ben lungi dall'essere uno la riproposizione dell'altro come ingenuamente ci spiegava Haeckel. C'era qui un'eco romantica di referenzialità iconica, il senso di autorappresentazione di cui la vita sarebbe capace, cose che, sia pur animata dalle migliori intenzioni scientifiche, rischiano di sfociare nella mistificazione. La equivalenza di sviluppo ed evoluzione, fatta salva la diffe-

renza di scala temporale, aveva comunque almeno un merito: quello di infrangere un tabù della cultura occidentale, secondo il quale il piccolo sta nel grande, ma il grande non può stare nel piccolo. Già a suo tempo questa funzione di sovvertimento l'aveva avuta la teoria preformista del XVII secolo e, più di recente, la genetica molecolare: nel genoma sta l'organismo, ovviamente non come il contenuto sta nella scatola, ma come la quercia sta nella ghianda.

Per "vedere" le trasformazioni evolutive, a livello somatico, a volte occorrono milioni di anni, anche molti milioni, decine o addirittura centinaia. Altre volte a distanza di centinaia di milioni di anni le famose trasformazioni somatiche non si vedono o quasi. Si pensi al limulo, al celacanto, agli squali e via dicendo. Ma questo non perché la loro evoluzione si sia fermata, quanto piuttosto perché sul "fermento" delle mutazioni (inevitabile, intacabile, regola aurea dello status della vita) la selezione lavora per mantenerlo sempre sullo stesso "asse". Risultato: un'apparente stasi, apparente, non perché l'evoluzione si è dimenticata di loro (Werth & Shear, 2015).

Altre volte ancora i tempi sono molto più brevi: non è raro il caso di tempi storici, iscritti nei tempi della storia umana. Si pensi al caso, paradigmatico, di *Biston betularia* (la falena punteggiata delle betulle), la cui evoluzione-selezione è stata letteralmente osservata nei dintorni di Manchester nella prima metà dell'Ottocento. Gli esemplari bianchi hanno prevalso dove gli alberi erano chiari, in assenza di inquinamento, e quelli scuri dove i fumi dell'industria avevano annerito le cortecce (Pievani, 2016).

Né il caso delle falene detiene il record di "velocità" evolutiva. Nella "coevoluzione" batteri-antibiotici constatiamo tempi decisamente più brevi. Per non parlare delle simulazioni digitali dell'evoluzione...

Evolvono le macromolecole organiche, evolvono le cellule (non solo quando coincidono con il vivente come negli unicellulari), evolvono tessuti e organi, evolvono gli organismi, evolvono i processi fisiologici, evolvono i processi di sviluppo, evolvono le popolazioni, i biomi e gli ecosistemi, evolvono i rapporti tra organismi. Le articolazioni del processo evolutivo sono tali e tante che dire che la vita evolve è una brutale semplificazione. Tutti questi ambiti cui, *mutatis mutandis*, si può (e si deve) riconoscere la proprietà di evolvere ricoprono un dominio esteso e variegato, tenuto insieme da una rete fitta e complessa di relazioni, senza però che questo sia un blocco monolitico e indifferenziato.

C'era una volta un'idea della vita come qualcosa che mantiene se stessa, sia nel senso della durata sia nel senso di costanza delle sue proprietà. Entrambe queste forme di mantenimento sarebbero implementate innanzitutto dalla generazione (discendenza) e rigenerazione (ricostruzione di parti perdute e/o deteriorate) di entità viventi. La reiterazione del ciclo di vita del singolo vivente grazie alla riproduzione garantirebbe in tale visione continuità e costanza. La discrepanza tra

genitore e figlio non sarebbe rilevante e, alla lunga, non porterebbe a derive significative. Al di là dell'identità individuale e di ciò che la caratterizza, un uomo o una quercia sarebbero riconoscibili come tali anche spostandosi nel tempo, indietro quanto in avanti. E poi ci sono tutti i meccanismi di preservazione, difesa, mantenimento, compensazione, stabilizzazione, feedback negativo che, in modo attivo e/o passivo, si oppongono ai fattori perturbativi che tendono a modificare il vivente. Si tratta di dispositivi che aumentano le probabilità di persistenza del vivente, ovvero il dominio del suo poter rimanere uguale a se stesso in un certo momento.

La dimensione del tempo, specie del tempo profondo, oltre che di quello vissuto e percepito, acquista peso decisivo relativamente tardi, nella Modernità ormai matura. Che il tempo, sia pure reversibile, sia la dimensione di cui è fatta la vita e, più estesamente, l'intero Cosmo, arriva soprattutto dopo la rivoluzione scientifica. La trasformazione è un parametro con cui fare i conti, di regola, non più solo l'accidente che colpisce le frange materiali, corruttibili, effimere, della realtà. Nell'Iperuranio platonico come nel mondo superlunare di Aristotele la trasformazione non ha spazio, è incompatibile con la perfezione. Ciò che è perfetto (e tale deve rimanere) è fuori dalla mischia della corruttibilità, del cambio di identità, dell'incertezza del dopo...

Eraclito non ha avuto gran seguito nella tradizione del pensiero occidentale: l'ontologia parmenidea è quella che ha prevalso e molta acqua è dovuta passare sotto i ponti (ci perdonerà Eraclito se prendiamo a prestito un suo *topos*) prima che la dimensione del tempo riprendesse il suo posto sulla scena, divenisse il sistema di riferimento non solo della cultura in generale, ma della scienza in particolare. Ancor oggi, che la teoria evolutiva è uno dei pilastri della conoscenza scientifica, siamo tentati da modalità di ragionamento "ontologiche". Gee (2009) va al cuore di questo problema nel paragrafo "L'essere e il divenire degli uccelli", dove ci spiega come anche la scienza abbia cercato e cerchi l'essenza dell'"uccellità" per definire questo *taxon*. L'autore non vuole esecrare tale impostazione, ma dice solo che va resa quantomeno compatibile con la deriva evolutiva che ha portato al costituirsi del famoso *taxon*.

Il già citato principio espresso da Dobzhansky, per cui nulla ha senso in biologia se non alla luce dell'evoluzione, andrebbe esteso in una forma di questo tipo: nulla ha senso nello studio dei sistemi più disparati, se non nella prospettiva dei processi e dei fenomeni di trasformazione, se non iscrivendolo nella dimensione temporale e delle trasformazioni che comporta.

Il paradigma evolutivo propone una visione del tempo e del divenire che si è dovuta riscattare (e ancora deve in parte farlo...) dalla concezione escatologica del tempo, come nella cultura giudaico-cristiana e da quella romantica del progresso. Queste hanno portato tensioni religiose o ideali nell'interpretazione della natura, generando equivoci e proiettando sul mondo fi-

sico e biologico modelli fuorvianti e inappropriati. Lasciamo che il paradigma interpretativo di un'evoluzione estesa si affermi e si dispieghi pienamente e sicuramente nuovi equilibri emergeranno.

Galileo dà linfa (decisiva) alla nascente Rivoluzione Scientifica basando la sua nuova visione dell'Universo proprio sugli accidenti che investono senza distinzioni il mondo "sub-lunare" e quello delle "alte sfere": Venere non è una stella, ha una superficie aspra, esito di chissà quali vicissitudini, così come quella della luna, le stelle esplodono... Il problema si porrà dal secolo successivo anche in una nascente Geologia. Anche qui sulla Terra infatti il paesaggio cambia, questo è certo, anzi era certo anche da prima che si rilevassero gli stravolgimenti celesti. Il problema residuo è se cambi con un divenire costante e regolare o sia segnato da episodi clamorosi (catastrofici) intervallati da relativa calma in cui nulla accade. Da qui le posizioni rispettivamente di uniformisti e catastrofisti. Con il tempo la visione continuista e uniformista prevarrà: una sorta di compromesso con cui accettare il cambiamento, che almeno questo sia costante e affidabile...

Siamo nel XVIII secolo. Col senno del poi si vedrà che in entrambe le posizioni, denominate uniformismo e di catastrofismo, c'era un po' di ragione. Sedimentazione ed erosione rientrano nel bilancio quanto eruzioni e cataclismi di sorta. Nel XIX secolo la Seconda Legge della Termodinamica dirà come e perché la marcia del cambiamento sia inarrestabile e irreversibile e si faccia valere su tutte le scale dimensionali, da quella atomica a quella cosmica. Per ogni apparente controtendenza locale c'è una scala più generale, più estesa, che include questa, rispetto alla quale le cose vanno concordemente alla Seconda Legge, in misura tale da superare in valore assoluto (solo uguagliare non basta mai) il processo di diminuzione di entropia.

Le trasformazioni della vita (limitandosi a quella biologica) riguardano diversi aspetti e tutti strettamente correlati, per cui di evoluzione si può parlare secondo diverse prospettive: morfologica, genetica-genomica, funzionale, relazionale...

Ma sistemi di ogni tipo, fisici, chimici, biologici, sociali, culturali, mostrano processi definiti come di emergenza e di autorganizzazione. Nello spazio di stato delle condizioni possibili del sistema non seguono un decorso *random*, ma sono orientati da attrattori, da punti o zone di tale spazio verso cui il sistema "tende" in modo preferenziale.

Algoritmi e sistemi informatici mostrano capacità non solo di rappresentare o simulare trasformazioni, ma anche di intraprenderle materialmente.

Sistemi culturali, linguistici, memetici, economici si trasformano seguendo modelli darwiniani che sembrano tagliati su misura su di loro, mostrando parallelismi talvolta un filo perturbanti...

La Cosmologia ci porta sul più vasto degli orizzonti possibili, e anche qui nulla rimane uguale a se stesso.

La Geologia nasce come scienza nel XVIII secolo e

nasce proprio come scienza delle trasformazioni, scienza della Terra che cambia, più che scienza della Terra.

La Meteorologia, anch'essa una scienza giovane, stenta a cogliere le regolarità di uno dei sistemi più irrequieti e turbolenti. Ma a poco a poco si delineano dinamiche e strutture che, per quanto fluide e instabili, hanno pur sempre un volto.

Nella seconda metà del Novecento lo studio delle reti neurali, e delle reti neuronali (biologiche) in perfetta analogia, a cui si correlano processi di addestramento/apprendimento piuttosto che di programmazione, apre un panorama fortemente innovativo e offre un potente e incisivo mezzo di modellizzazione di processi adattivi, di riconoscimento, di tassonomizzazione, e quant'altro (Domingos, 2016).

Il fattore tempo, al culmine di un processo che ha accompagnato tutta la modernità, nel Novecento giunge ad occupare una posizione primaria nel panorama culturale: scientifico, filosofico, letterario, artistico, musicale...

Si pensi a opere come "Essere e tempo", "L'evoluzione creatrice", "Breve storia del tempo", tanto per citare qualche titolo famoso, per capire come il tempo stia riprendendo priorità su un'ontologia che per secoli ha dominato e ha caratterizzato la fisionomia della cultura occidentale.

Il Futurismo fa della velocità un nuovo e supremo tipo di bellezza. Inaugura l'aeropittura come un genere di arte che consideri ed esalti la vista della realtà come condizionata non solo dalla collocazione (statica) del punto di vista (a questo aveva già pensato la prospettiva rinascimentale), ma anche e soprattutto da fatto che tale punto di vista possa cambiare mentre si guarda, e cambiare rapidamente. Molte opere figurative futuriste sono altrettanti tentativi di cogliere il vibrare, il ribollire, della realtà, le sue metamorfosi, i suoi dinamismi. Non è un'invenzione estemporanea del Futurismo, ma questo coglie un sentire che si è diffuso e radicato proprio in questo secolo. La tecnologia e le opportunità che offre proprio per spostarsi a gran velocità risvegliano antichi terrori di sapore luddista, ma concedono anche di godere di una inedita *hybris*.

SPAZIO FISICO E SPAZIO DI STATO

L'evoluzione di un sistema, biologico o no, è riferibile a due generi di spazio, fisico e di stato. Chiariamo un po'.

Lo *spazio fisico* è un'estensione, fisica, appunto, o potremmo dire anche geometrica, definita, o meglio costituita da una o più dimensioni (l, l², l³, l⁴...). Le dimensioni in realtà, nelle condizioni ordinarie, sono definite, da Einstein in poi, sempre 4. Ne consideriamo di meno se una o più sono poco o niente rilevanti nei processi che riguardano il sistema stesso. Nello spazio

fisico il sistema è immerso materialmente, vi occupa una posizione concreta ed estesa (mai puntiforme). È omogeneo, coesteso rispetto a tale spazio. La sua estensione può cambiare di localizzazione, e/o di entità e/o di morfologia. È costitutivo di tale spazio e ne cambia le caratteristiche con la sua stessa presenza.

Lo *spazio di stato* è un'estensione concettuale, le cui dimensioni sono una o più. È la rappresentazione in forma spaziale dei campi di variabilità di parametri attribuiti al sistema e della combinazione di tali parametri. Tali parametri possono essere indipendenti o uno in funzione di un altro o degli altri secondo funzioni definibili di volta in volta.

Spazio fisico e spazio di stato non coincidono né possono essere scambiati, ma sono in relazione. Quello che si verifica concretamente è la risultante o l'intersezione tra quello che le mutazioni hanno reso possibile e quello che necessità contingenti (legate alla specificità della situazione) e invarianti (legate a principi fisici o chimici ineludibili, a prescindere dalla specifica situazione, come il limite meccanico di rottura dell'osso rispetto alla sezione, o il limite di accumulo di energia chimica per grammo di sostanza di riserva, lipidi o glicogeno, etc.). Questa combinazione, pur basandosi sui medesimi principi, può dare esiti diversi. Si vedano gli esempi della libellula o del cavallo che hanno cambiato soprattutto le dimensioni. La libellula, da sfiorare il metro di apertura alare nel Carbonifero, si è "ridotta" ai pochi centimetri di oggi. Il cavallo, da una bestiolina poco più di un gatto è divenuto un "gigante" che si avvicina ai 2 m al garrese e alla mezza tonnellata di peso. E il "motore" di tale aumento non è stato certo il cibarsi: da una alimentazione che comprendeva anche le foglie di piante cespugliose è passato a prediligere l'erba!...

Comunque, come recita il titolo di un famoso libro di Jay Gould, "Gli alberi non crescono fino in cielo", nel senso che i cambiamenti non sono possibili a oltranza, ogni modifica deve fare i conti con tutto un insieme di fattori che limita lo spazio di stato di tali variazioni.

IL TEMPO FRECCIA E IL TEMPO PROFONDO

Tiezzi vede il discrimine tra visione non-temporale e temporale dell'universo nel Novecento con il paradigma dell'irreversibilità così come ce la presenta Prigogine. Se questo è vero per quanto riguarda l'irreversibilità, la freccia del tempo, la temporalità, come si è visto, prende forma, almeno per certi aspetti, proprio con la Rivoluzione Scientifica. Sostanzialmente si tratta qui però di un tempo ancora reversibile, simmetrico e quindi di fatto è un tempo/non-tempo, ma quel divenire pone già le basi e le condizioni per ciò che verrà dopo.

Certo è che né la memoria di un soggetto, iscritta

entro l'arco di una singola esistenza, né la memoria storica, basata sulla somma delle testimonianze delle generazioni precedenti, sono ormai più sufficienti ad abbracciare il passato del mondo. Mondo non coincide più con umano, si apre la prospettiva di un passato senza l'uomo, con il solo dominio della Natura, il tempo profondo si spalanca davanti agli occhi degli studiosi in tutta la sua vastità, richiede l'istituzione di scale temporali fino ad allora impensabili, talmente diverse che ci vorrà tempo e sforzo epistemologico per ritrovare continuità tra le due.

L'abisso del tempo profondo fa paura, la stabilità, ma anche un raggio di tempo che stia dentro la memoria, rassicurano. L'irruzione della nuova prospettiva del tempo profondo, di un tempo senza l'uomo, che riduce la nostra storia a una sua appendice, non è automatica né indolore.

La definizione, non più proprio ortodossa, di "fossile vivente" (cfr. Werth & Shear, 2015), è in un certo senso figlia del vecchio modo di concepire la vita, l'ultimo superstite di un'idea di continuità e persistenza della vita stessa, che stenta a cedere completamente il passo a un paradigma evolutivo che tutto abbraccia. La vita è un po' come la Regina Rossa di "Alice nel paese delle meraviglie", che deve correre sempre per rimanere dov'è...

Da quando i fossili sono stati riconosciuti per quali erano, ovvero come testimonianze di forme di vita diverse dalle attuali, piuttosto che come *lusus naturae* (di una natura che, per gratuita bizzarria, si prende gioco di noi o ci vuole divertire), il problema di significative trasformazioni della vita ha cominciato a porsi, si comincia a intravedere una linea di deriva trasformativa che trascende l'arco di vita del singolo essere. La vita cambia cioè su una scala temporale ben più ampia dello sviluppo del singolo essere.

La concezione magico-naturale del Rinascimento coglie, sia pure a suo modo, la forza pervasiva e onnipotente della trasformazione, e ne dà un'immagine come di una proprietà coincidente non solo con la vita: tutto germina, tutto germoglia, animato da una sorta di *vis vitalis*, da cui non sono esenti nemmeno i minerali nel buio e muto mondo ipogeo...

La tradizione alchemica, tramandataci dalla tarda Antichità e che giunge fino alla Modernità, fa della trasformazione il perno di una serie di pratiche artificiali, ma che si pongono in continuità con proprietà e fenomeni naturali orientati già di per sé a una meta di perfezione. In tale flusso, tendenza naturale e opera umana si intrecciano con sinergie curiose e risonanze suggestive. Il magistero naturale non viene negato, ma il potere dell'intervento umano ha un ruolo non secondario. Forza prometeica, *techne*, artificio si innestano sulla Natura senza contraddirla, ma con la capacità di portare un contributo non fungibile, u innesto germinativo e fecondante.

A partire dal XVII secolo, i grandi viaggi di esplorazione portano agli occhi di tutti una Natura molto più

estesa e diversificata di quella a cui l'occhio europeo era abituato. Un profluvio di reperti va a invadere tanto i tavoli dei gabinetti scientifici quanto l'immaginario di tutti. Alimenta il senso di meraviglia e costituisce materiale per le *Camere delle meraviglie*, le *Wunderkammern*, ma pone anche problemi e interrogativi, chiede spiegazioni...

L'EVOLUZIONE DELL'EVOLUZIONE

Nemmeno la teoria dell'evoluzione sfugge alla teoria dell'evoluzione. Una inevitabile autoreferenzialità. A noi qui però interessa come l'evoluzione dell'evoluzione, ci sia concesso il gioco di parole, mostri come tratto significativo la convergenza tra i tradizionali ambiti di fisica e biologia.

Il senso del mondo, della natura e della vita come qualcosa che evolve, da idea o immagine diviene a poco a poco teoria. La configurazione di una teoria non significa però che essa assuma una configurazione definitiva, che questa cioè sia un punto di arrivo: la teoria dell'evoluzione si è evoluta e continua ad evolversi: autoreferenzialmente non sfugge a se stessa!... Nemmeno le "teorie" anti-evolutioniste sfuggono alle leggi dell'evoluzione, con buona pace di chi le sostiene, come è stato dimostrato da recenti studi!

Chiamata a rendere conto di fenomeni sempre più estesi e complessi e che mostrano connessioni a volte inattese, a volte (apparentemente) paradossali e contraddittori, la teoria dell'evoluzione si è adattata e si adatta (autoreferenzialmente) alle richieste epistemologiche, osservative e sperimentali.

Il cambiamento dell'idea di evoluzione è legato a doppio filo al cambiamento dell'idea di vita. Definire e delimitare ciò che è "vivo" sembra ovvio per quanto è difficile e problematico quando lo si vuole rendere esplicito. Il centro del modello della vita è sempre stato l'organismo. La sua realtà ontologica è ovvia ed evidente anche per il senso comune. La biologia ci dice che è altrettanto viva una cellula, ma storicamente la cellula "esiste" solo dal XVIII secolo, quando fu formulata la teoria che ne descriveva e spiegava l'esistenza. La cellula è arrivata molto tardi... La cellula è talmente viva che può coincidere con l'organismo, come accade negli unicellulari. Ma questo è un mondo a cui abbiamo avuto accesso tardi e in modo mediato: il microscopio è il tramite obbligato. La cellula è stata osservata e riconosciuta prima come organismo che come componente di organismo. Grandi scoperte, ma che saranno poste nella giusta relazione solo quando inquadrate in termini evolutivi.

La fisica si è posta in opposizione dualistica nei riguardi della biologia (e viceversa), in più modi.

La fisica classica si è sempre attenuta all'esattezza del determinismo e alla perfetta reversibilità del tempo. Niente sbavature, niente approssimazioni. I corpi sono

puntiformi e se non lo sono, o sono perfettamente rigidi o perfettamente elastici. Le equazioni lineari stabiliscono lo stato dei sistemi istante per istante. I processi si svolgono seguendo un binario prefissato e si sa dove andranno a parare. L'universo è un orologio che scandisce il suo ticchettio con una regolarità che non ammette deroghe.

La vita, nella concezione classica, ha tutta quella irregolarità, imprevedibilità (fisica), bizzarria che non hanno cittadinanza nel mondo fisico. Il vivente si svincola dal rigido determinismo e conquista domini più "ricchi" e vari. La materia ticchetta, il vivente pulsa. Quando con la rivoluzione scientifica la fisica diviene la regina delle scienze e fa della previsione il cardine della scientificità, le scienze della vita sembrano mal inquadrabili in tale cornice e prudentemente vengono lasciate "fuori". Ma molto dovrà ancora cambiare nel palinsesto epistemologico...

La fisica termodinamica ci ha mostrato poi un universo che è un calderone ribollente, dove turbinano moti arruffati e privi di ogni esattezza o geometria. La linearità e la pulizia euclidea sono spazzate via. La natura non è più l'orologio che ticchetta diligentemente: è un vorticare furioso e indomabile o è un'erosione ineluttabile, inarrestabile. L'universo ha una vocazione tragica e corre verso la propria fine, ha davanti a sé un imbuto che finisce (finisce!... *Sensu stricto*) con la propria morte, definitiva, assoluta, certa. La perfezione della fisica classica è un'eccezione, una particolarità, che non ha la forza di farci ricredere o distogliere dalle fosche visioni che la termodinamica ci svela. Nata per migliorare l'efficienza delle macchine a vapore di un'ancora giovane industria, finisce con il consegnarci una grandiosa e tragica visione dell'universo e del suo destino.

In tale arena terribile la vita lotta per smentire l'assolutezza di questo rovinoso precipitare o scivolare verso il basso. Essere vivo significa anche voler vivere, avere un fine, tener alta la testa, tenersi saldi nello sbalottamento del caos. Sullo sfondo del ribollire termodinamico la vita assume un'aura eroica, è tenuta al coraggio di far sentire la sua voce.

Lungi da noi l'idea di tracciare qui una storia delle scienze dell'evoluzione, tuttavia riteniamo opportuno ricordare alcuni punti fondamentali di tale excursus.

Possiamo far coincidere il punto zero della storia dell'evoluzionismo con il preformista Bonnet che nel 1762 per primo usa il termine "evoluzione", ma l'accezione di tale termine dovrà molto cambiare.

Una delle prime teorie significative viene da Lamarck.

Lamarck propone un paradigma in cui il finalismo è il motore principale e la concatenazione causa-effetto ed è strutturato di conseguenza: il collo della giraffa si allunga *perché* la giraffa si protende sempre di più verso l'alto, vuole mangiare foglie che stanno più in alto e si impegna in tal senso. Il collo risponde adattivamente divenendo più lungo. L'evidenza d'altronde ci mostra che risposte adattive a livello ontogenetico si verificano

continuamente: un osso si mineralizza in seguito a sollecitazioni statiche e dinamiche o cresce seguendo la legge di Delpech, un muscolo si irrobustisce se esercitato, orienta il suo corredo enzimatico verso il tipo di compito che esegue più spesso (di resistenza piuttosto che di velocità, etc.), la pianta regola il suo sviluppo secondo le leggi del gravitropismo e del fototropismo, e via dicendo. Il salto inferenziale che vede tali adattamenti come acquisiti definitivamente per le generazioni future, è il salto "non autorizzato" che il buon Lamarck ha compiuto disinvoltamente.

Il fraintendimento di Lamarck sta infatti proprio in questo salto inferenziale con cui estende questa capacità adattiva del singolo essere vivente alla catena delle generazioni. Lamarck non dice come le modificazioni adattive scavalcherebbero il salto generazionale.

Darwin, pur senza far riferimento alla genetica classica, che pure già prendeva forma, allora, e tantomeno ovviamente a quella molecolare, propone un modello di mutazione-selezione, capace di spiegare la deriva evolutiva in modo robusto e soprattutto andando al cuore del problema. Non per questo si deve dire che tutto è stato detto. Come ogni buona teoria, quella di Darwin pone più problemi di quanti ne risolve. L'avventura epistemologica è appena iniziata. Ma intanto le basi sono state gettate: il caso produce variazioni, la necessità delle richieste ambientali le seleziona. È come se una vibrazione di fondo facesse sì che la vita possa variare andando a occupare più posizioni possibili nello spazio di stato delle possibilità, senza privilegiare nessuna direzione, una sorta di espansione isomorfa omnidirezionale. A questo spazio di stato delle possibilità, sempre più invaso dal nugolo delle mutazioni, si sovrappone un altro spazio di stato, quello delle mutazioni che rendono adatto il vivente. I due spazi si intersecano: solo quanto del primo cade dentro il secondo avrà successo, deciderà quali delle mutazioni si affermeranno e, corollario o quasi, si perpetueranno. Può darsi che parte del secondo spazio di stato (quello delle mutazioni adatte) si estenda anche fuori da quello delle mutazioni che si sono prodotte, ma questo non ha effetto, se non dirci che esistono nicchie ancora libere per future eventuali mutazioni. Quelle che ci cadranno avranno verosimilmente successo, ma la storia della vita non si fa né per ipotesi né per progetti...

Cambiando le condizioni ambientali, la forma e l'estensione del secondo spazio di stato cambia. Ciò che era adatto può non esserlo più, ciò che non lo era può diventarlo. Il caso delle mutazioni insegue la necessità della selezione. Ogni mutazione è una scommessa, il cui esito va a insindacabile giudizio delle verifiche selettive. In questo eterno gioco la vita va avanti, la vita rimane vita, ma alla condizione di non essere la vita di prima e senza sapere la vita che sarà...

Nelle grandi estinzioni di massa (es. fine Permiano, fine Cretaceo...) l'intersezione tra i due spazi di stato si è ridotta, ha tagliato via di botto interi "sottoinsiemi" del vecchio spazio delle forme casuali (il più famoso è

quello di Dinosauri, Ammoniti e Belemniti a fine Cretaceo, ma anche il caso dei Trilobiti a fine Primario non ha scherzato!...), ma al contempo si è esteso anche quel sottoinsieme vuoto di posizioni possibili, tuttavia ancora inesistenti, cioè che non avevano forme prodotte dalle mutazioni capaci di occuparle. E i Mammiferi non hanno tardato a sfruttare uno di questi spazi vuoti.

Lo scenario dell'evoluzione si fa più articolato nel secolo successivo a Darwin. Nel Novecento l'impianto delineato da Sir Charles si fa più esteso e più robusto. Nuovi apparati concettuali e di prove (senza che si possa distinguere nettamente tra i due ambiti...) rendono quello che sembrava un punto di arrivo (l'edizione de *L'origine delle specie*) un punto di partenza, la parte emersa dell'iceberg di cui le parti sommerse cominciano piano piano a rivelare forma e dimensioni. Sinergie arrivano da fronti all'inizio nemmeno intravisti.

Nel neo-darwinismo l'idea-cardine della mutazione-selezione non perde valore, ma si combina con quella dell'ereditarietà mendeliana e poi con quella della matematica della genetica delle popolazioni e con la paleontologia.

La genetica, ma anche la sistematica, la citologia e la botanica vengono coinvolte.

Il "genocentrismo" degli anni '60 del XX secolo porta il gene al centro della teoria evolutiva e la riconfigura significativamente.

Negli anni '80 la teoria della coalescenza, soprattutto ad opera di Kingman, con la sua capacità di ricostruzione a ritroso delle derive evolutive (vedi la cladistica) e con il calcolo dei tempi che si ricollega a quello dell'orologio molecolare, partito con Zuckerkandl e Linus Pauling all'inizio degli anni '60 e proseguito con Kimura un ventennio dopo. Sempre a Kimura si deve la teoria (quasi) neutrale dell'evoluzione, che evidenzia come "l'evoluzione biologica non sia un «tendere verso», quanto l'essenza vera e propria dell'esistenza" (Fumagalli e Pagani, 2016).

Così la Sintesi Evolutiva e la Sintesi Estesa diventano nel XX secolo parte di un panorama scientifico vasto e complesso, in cui si incrociano con teorie e modelli come quelli della complessità e dell'autorganizzazione.

Il paesaggio delle scienze biologiche si è arricchito e soprattutto trasformato profondamente nell'ultimo scorcio del XX secolo. L'epigenesi e la Biologia Evo-Devo sono riferimenti significativi.

Nel frattempo un sempre più esteso e consistente insieme di studi ci mostrano come (e perché) sistemi secondo la definizione tradizionale "non-biologici" (fisici, chimici, soft-ware, sociali, linguistici, economici, culturali...) evolvono...

Gregory Chaitin, nel suo *Darwin alla prova*, parla di Metabiologia, intesa come un ambito di studio che comprenda la biologia tradizionale, ma si estenda anche a "oggetti" non "wet-ware", accomunati dalla capacità di evolvere.

Evidentemente Chaitin propone di estendere, ma so-

prattutto di ridisegnare l'ambito semantico della definizione di "vivente", includendovi tutte le entità o sistemi capaci di evolvere. Evolvere, quindi, piuttosto che l'ormai obsoleto "nascere-crescere-nutrirsi-riprodursi-morire", diviene la marca della vita! Tra l'altro, paradossalmente, spogliato da connotati animistico-finalistici, questo paradigma è tutt'altro che discriminativo: anche una stella, *mutatis mutandis* rispetto alla vita biologica nell'accezione tradizionale, nasce, si nutre, cresce, muore... Ma non è questo che la rende viva. Chiediamoci: evolve? Se sì, allora sarà viva.

Questa "ricategorizzazione" del vivente, come indicata da Chaitin, è meno banale di quanto possa sembrare. Un algoritmo potrebbe essere vivo piuttosto che un ammasso di sostanza organica!...

MI EVOLVO, DUNQUE VIVO!...

Che avessimo (ri)creato la vita senza volerlo e senza saperlo, magari facendo "girare" un algoritmo? Chissà... Un'implementazione della vita al di fuori dell'esclusività del *wet-ware* fa fatica ad essere accettata. La corrispondenza biunivoca "*wet-ware* vita" pare scontata, senza eccezioni.

Sta di fatto che l'evoluzione accade, e non solo nella vita biologica, e non solo su scale di tempo del tipo milioni di anni... I virus li vediamo "evolvere" nell'arco del tempo di osservazione al microscopio!... Gli algoritmi nel tempo del computo digitale. Ma i virus sono vivi? E i prioni? Vivi nel senso tradizionale, si intende. "Ai posteri l'ardua sentenza!"... *L'empasse* in cui si inciampa nel dare una risposta è forse la prova che nuovi sistemi di categorizzazione e di definizione sono necessari. Un virus, comunque, è vivo? In attesa della risposta, intanto non possiamo negare la sua evolutività rapidissima. Per non parlare poi di un automa cellulare o di altri sistemi informatici, compresi quelli che simulano l'evoluzione dei viventi in modo aderente tanto da costituirne un modello. Sullo schermo del nostro PC vediamo (ri)accadere il prodigio dell'evoluzione.

Per esplorare una scala di tempo intermedia tra quella del virus o dell'applicazione informatica e quella delle specie di darwiniana accezione, possiamo considerare il caso delle colonie di invertebrati come il formicaio o l'alveare. La colonia ha una vita ben più lunga di quella del singolo componente, ma cionondimeno ha una vita "a scadenza", attraversando fasi caratteristiche, in un certo ordine, ciascuna rivelatrice dell'età della colonia. È lapalissiano che non c'è rapporto diretto tra l'età della formicuzza e quella del formicaio in toto. Il formicaio evolve, fa il suo corso, "fregandosene" dell'età dei suoi componenti, sempre la stessa o giù di lì.

Le reti neurali evolvono grazie alle refferenze che ne modificano i pesi sinaptici con tutte le conseguenze del caso, anch'esse seguono "percorsi" di trasformazioni

configurati (configurabili) in modo particolare. La rete apprende, il che significa che va ad assumere una posizione particolare nello spazio di stato delle configurazioni possibili. La "regola Delta generalizzata" fa sì che le refferenze dell'esposizione ai singoli casi (che si presentano casualmente) spingano il sistema verso microaggiustamenti, nessuno decisivo o significativo in sé, ma che nel tempo e soprattutto insieme agli altri (delle altre giunture della rete implicate nel processo apprenditivo) facciano emergere un sistema "evoluto" e "adatto" ad affrontare i futuri ulteriori compiti.

Oggi si parla di "Deep Learning", ovvero di una forma di apprendimento da parte di dispositivi sintetici, quali le Reti Neurali. I processi di *deep learning* sono organizzati in modo da coinvolgere i livelli più profondi della struttura (da cui la denominazione), per far scaturire da qui le forme più "alte" e più organizzate dell'apprendimento stesso. Non è qualcosa di automatico e scontato, ma un insieme di dinamiche da cui c'è molto da imparare anche per quanto riguarda l'apprendimento umano e le trasformazioni cognitive e neuronali relative.

UNA NUOVA EPISTEMOLOGIA E UNA NUOVA METODOLOGIA PER L'EVOLUZIONE: LA *PANEVO THEORY*

Il valore euristico ed interpretativo della teoria evolutiva non può più essere contenuto entro l'ambito esclusivo delle scienze biologiche, fino magari a sovrapporglisi. L'evoluzione della teoria evolutiva (ci sia concesso il gioco di parole) deve portare questa oltre i confini della vita *wet*, ovviamente anche cambiandola. Molti sistemi mostrano di trasformarsi secondo percorsi modellizzabili, non certo tutti nello stesso modo, ma comunque modellizzabili. Si riesce cioè a individuare una struttura, una regolarità nell'andamento della trasformazione, o, se vogliamo, una sorta di chiave ermeneutica... sia pure fuori dall'accezione finalistica.

Dall'avvicinamento, confronto e incrocio di modelli trasformativi di sistemi disparati, ognuno uscirà rinforzato, arricchito di una dimensione nuova.

Proponiamo la creazione di una cornice meta-teorica che consenta di inquadrare in modo unitario o quantomeno coerente i diversi fenomeni trasformativi, le loro regolarità, similitudini e differenze. A tale cornice proponiamo di dare il nome di "Teoria Panevolutiva" (Teoria PanEvo o *PanEvo Theory*).

Hanno o potrebbero avere una pertinenza con il paradigma evolutivo molti ambiti scientifici:

- ecodinamica
- evoluzione biologica in tutte le sue articolazioni e declinazioni: genetica, genomica, epigenetica, saltazionismo evoluzioni delle popolazioni, biologia Evo-Devo, cladistica, teoria della coalescenza...)
- biologia dello sviluppo
- epidemiologia, infettivologia

- metabiologia
- mimesi, adattamento, vicarianza, transfert
- fisica chimica
- termodinamica e fisica in generale
- cinetica chimica e chimica in generale
- complessità, emergenza-autorganizzazione
- geologia
- meteorologia
- cosmologia
- teoria delle catastrofi
- teoria dei sistemi dinamici
- algoritmi e informatica
- geometria frattale
- teoria dell'informazione
- semiotica
- linguistica
- musica
- sociologia
- economia
- apprendimento (reti nervose e reti neurali)
- ...

Come la teoria darwiniana ha permesso di vedere nel loro insieme e in una prospettiva nuova e diversa le trasformazioni del mondo biologico su grande scala temporale (ma anche non tanto grande, se si pensa che Darwin pose attenzione alle trasformazioni ottenute con la selezione degli allevatori) e in una chiave unica, così una Teoria Pan-Evoluzionistica offrirebbe le coordinate in cui collocare contenuti e scoperte che, anche se puntiformi e apparentemente estranei uno all'altro, si possano inquadrare in un insieme coerente e coordinato.

Non si tratta di creare estemporaneamente un imbuto per far confluire forzatamente contenuti e metodi di scienze diverse, costringendoli a una convivenza forzata quanto gratuita, ma di offrire a tali contenuti e metodi la possibilità di essere coordinati sulla base di analogie, omogeneità, parallelismi, connessioni sempre più provati.

La teoria di Gaia (cfr. James Lovelock) prende in considerazione il pianeta Terra come un sistema di elevato grado di unitarietà, una concezione olistica che cerca di cogliere i fenomeni di insieme come di un unico organismo. Certo è che l'organismo (e il suo equivalente come genoma del singolo soggetto) non può e non deve rimanere l'unico oggetto di studio. Si può scendere di scala e considerare un sistema, un organo o la singola cellula, un suo organulo o una "macchina molecolare", oppure si può salire fino a una coppia di simbionti o predatore/preda, oppure fino a una popolazione, una specie, un bioma o, come nel caso di Gaia, all'intero ecosistema. A ciascuno di questi livelli l'evoluzione agisce.

I NODI EPISTEMICI DELLA *PANEVO THEORY*

L'evoluzione, nella sua accezione estesa e profonda, così come la presentiamo qui, ha alcuni punti di riferi-

mento concettuali. Indichiamoli, sia pur sommariamente, senza al momento intenti sistematici né di completezza.

I sistemi che evolvono mostrano capacità di vicarianza e qualità di resilienza e connettività, come denominatore comune.

- La *vicarianza*. La vita è riconoscibile come capace di vicarianza nell'andamento di molti processi, creando vie alternative, equifunzionali. E di processi che si possono inquadrare in questa marca ne troviamo molti. Quelli che andiamo a elencare qui di seguito possono essere considerati infatti entro la cornice della vicarianza, come la descrive Alain Berthoz.
- La *resilienza* è una qualità meccanica, che indica la proprietà dei materiali (inizialmente i metalli) di resistere a fattori di stress. Si definisce in antitesi alla fragilità. Attualmente la sua semantica, dall'ambito dell'ingegneria e delle scienze dei materiali, si è estesa all'ecologia e alle scienze dell'evoluzione. Il termine ben si presta infatti ad esprimere metaforicamente non tanto una proprietà della vita e dei sistemi evolutivi, quanto quello che comportano le loro proprietà. Accettare sollecitazioni modificatorie dall'esterno e dall'interno e rispondere in modo non tanto da resistergli o opporgli rigidamente e passivamente, quanto piuttosto da non lasciare che compromettano il proprio equilibrio complessivo e la propria funzionalità, ovvero da "convivere" con le loro conseguenze, da includerle nelle proprie dinamiche. Flessibilità? Plasticità? Adattabilità? Margine di tolleranza? Tenace sopravvivenza? Strategia per convertire problemi in risorse? Un po' tutte queste cose insieme, forse...
- La *connettività*. I sistemi che evolvono mostrano una rete significativa di connessioni che legano gli elementi che lo compongono facendone qualcosa di integrato. Le connessioni danno un carattere di sistemicità all'insieme di componenti e le rendono tutte parte di un qualcosa di unitario. Le connessioni, interne e tra interno ed esterno, garantiscono il propagarsi degli effetti di un qualunque cambiamento o sollecitazione. Nulla resta isolato. Se un fattore agisce su una parte non può essere neutro per il resto. Né il sistema può essere isolato dall'ambiente. Insomma ciò che evolve "fa rete" ed ha un forte tasso di contestualizzazione.

Questi tratti vengono implementati in modo diversificato, presenti o no a seconda dei casi. Diamone qualche indicazione.

- Il *mimetismo* nei suoi vari tipi e la simulazione in genere. L'organismo dà luogo ad un "apparire" senza essere, quanto basta per ottenere il suo scopo. La mancanza di risorse non è un ostacolo, l'organismo ottiene come se ne avesse. Può trattarsi di una dotazione morfologica, funzionale, biochimica o comportamentale che funziona comunque come espediente e produce l'effetto vantaggioso.
- *L'exaptation*. Grazie ad essa l'organismo utilizza un organo, un apparato o una funzione per fini diversi ri-

spetto a quelli per cui quell'organo, apparato o funzione si erano evoluti. Per il nuovo uso sono adeguati, con il vantaggio di essere "bell'e pronti", immediatamente (o quasi) sono disponibili. È come piantare un chiodo battendolo con le pinze. Anziché andare a comprare il martello che non ho o costruirlo, mi guardo intorno, vedo le pinze, valuto che possono avere massa e durezza sufficienti e, oplà, il gioco è fatto!

- Il *transfert*. Si parla di transfert di solito in ambito di abilità umane legate alla sfera cognitiva e apprenditiva. Riuscire a fare o imparare qualcosa utilizzando apprendimenti pregressi, come a dire grazie a ciò che già si sa o si sa fare, è attuare un transfert. C'è un considerevole risparmio di tempo, di energie attentive e cognitive, c'è una garanzia di "solidità" del nuovo apprendimento, che è sinergico con quello precedente, c'è una maggior facilità e rapidità di uso. Il transfert è in un certo senso il corrispondente cognitivo dell'exaptation, in quanto è il riutilizzo per scopi inediti di ciò che c'è di già pronto, non importa quanto diversa fosse la destinazione originaria!...
- Il *reincanalamento*. Molti processi (es. dello sviluppo, ma anche funzioni fisiologiche), grazie a meccanismi combinati di feedback e regolazione, quando un fattore perturbante li allontana dall'alveo "canonico", rendono tale allontanamento reversibile e riprendono il loro andamento regolare. È come se questo funzionasse da attrattore e un feedback negativo si attivasse in funzione del mantenimento. Il termine mantenimento non deve far pensare ad uno status quo, ad un'omeostasi: a funzionare da attrattore non è una condizione statica, ma l'andamento di un processo.
- La *compensazione*. La capacità di un sistema di compensare l'effetto di fattori perturbanti meglio di altre caratteristiche o comportamenti implementa una sorta di resilienza, in quanto vanifica le conseguenze di "urti" e "traumi" capaci di trasformare, snaturare o addirittura distruggere il sistema stesso. Stavolta a fare da attrattore può essere anche una condizione del sistema. La compensazione può agire in contemporanea al fattore perturbante e senza frapporre un differimento, oppure può avere un tempo di latenza. Compensare non vuol dire eliminare il fattore perturbante o i suoi effetti, ma mettere in gioco qualcosa che con questi pareggi il bilancio, qualcosa anche di molto diverso, ma con la proprietà di convergere con la loro azione su ciò che è stato perturbato. I sommozzatori, con la manovra Marcante-Odaglia, compensano, non eliminano la pressione idrostatica che si esercita secondo la legge di Bernoulli. Quel che conta è che il timpano non subisca disturbi o danni.
- Il *ripristino*. Il ripristino è la messa in atto di una reversibilità, il ritorno alla condizione originaria. Il sommozzatore che, non riuscendo ad eseguire la manovra Marcante-Odaglia, decide di risalire, ripristina sul timpano la pressione originaria e ugualmente preserva il timpano da disturbi o danni.

- I *feedback*, positivi o negativi, sono ciò che rende i sistemi che li mettono in atto capaci di “reagire” a cambiamenti propri e/o dell’ambiente. Tale reazione è essenzialmente di due tipi: a)- mantenere uno status quo (feedback negativo): l’azione del meccanismo regolativo tende ad essere uguale in valore assoluto e di segno opposto al fattore perturbante; è questo stesso che provoca il feedback (negativo) e lo regola, annullando di fatto se stesso. b)- innescare in modo iperbolico un allontanamento dalla condizione iniziale (feedback positivo) qualora un fattore interno o esterno provochi un iniziale, anche minimo, allontanamento da tale condizione; quando il sistema è predisposto a tale tipo di feedback ci si deve aspettare una sorta di “deflagrazione” al minimo disturbo. Ovviamente i feedback (sia negativi che positivi) si attivano quando il fattore di innesco supera un certo valore soglia. Questo determina la prontezza del sistema a reagire e la finezza della reazione. Lo “sparo” del neurone ne è un esempio.
 - *L’informazione*. La vita genera e utilizza diversi tipi di informazione: chimica, fisica, elettrica... Si pensi al DNA, agli impulsi elettro-chimici del SN, agli ormoni, ai feromoni, ai linguaggi visivi, sonori, tattili e via dicendo.
 - *L’emergenza*, che è il sorgere di proprietà nuove che trascendono la somma di quelle parziali. Impedisce, a ritroso, la reversibilità dei processi e l’analisi componenziale.
 - La *metaevoluzione*, che è il superamento di una soglia, oltre la quale si accede a nuove potenzialità evolutive, ovvero ad un più ampio spazio di stato di possibili futuri sviluppi (cfr Tanga, Gelati)
- Nella *noosfera* troviamo altri tipi di vicarianza, dei quali si può tracciare una sorta di corrispondenza con l’analogo biologico:
- Si pensi alle *simulazioni* che vengono messe deliberatamente in atto, anche ai fini dell’inganno o della menzogna, ai bluff nelle minacce o agli espedienti cosmetici, chirurgici, di abbigliamento, grazie ai quali si riesce a sembrare ciò che non si è, indipendentemente che ciò accada nella vita o nella recitazione artistica. Tutto questo può essere correlabile al mimetismo. La simulazione, in sintesi, possiamo dire che vicaria una qualche realtà.
 - Consideriamo poi gli *artefatti* che in nostra vece possono eseguire compiti in nostra vece, non solo i sofisticati e avveniristici robot, ma anche le più banali macchine, dal frullatore al PC, dal motore a scoppio del tagliaerba all’erogatore dell’apparato di respirazione del sommozzatore, dall’abaco all’orologio. Tutti questi artefatti hanno un contenuto informativo, che hanno “assorbito” con la loro realizzazione, ma che sono anche in grado di trasformarlo e di produrlo, in un modo o in un altro. L’artefatto vicaria una nostra struttura, funzione, capacità, comportamento o altro.
 - La nostra presa sul mondo può essere indiretta non solo perché vi lasciamo agire macchine al posto no-

stro, ma anche perché una nostra azione fisica può avvenire con l’interposizione di qualcosa che la rende indiretta. Dal semplice bastone da passeggio con il quale tastiamo il terreno, all’automobile che, per come reagisce ai nostri comandi, ci fa capire quanta presa hanno le ruote a terra o l’eventuale presenza di una pozza scivolosa. Tutto questo e molto altro ancora rientra nella definizione di “percezione *haptic*”, una modalità percettiva che richiede e sviluppa capacità astrattive. Difficile che facciamo qualcosa senza usare uno strumento, sia che a tavola tagliamo un pomodoro con il coltello (valutandone la consistenza e altre caratteristiche), sia che siamo operatori di una gru in controllo remoto, sia che avviti una vite con il cacciavite, sia che siamo chirurghi che usano il robot “Da Vinci” e via dicendo. Ogni volta che interponiamo uno strumento tra il nostro corpo e il mondo, noi operiamo in modalità *haptic*. È così scontato che quasi non ci facciamo caso... La percezione *haptic* vicaria quella diretta.

- Tutte le forme di *linguaggio* umano hanno una componente di arbitrarietà, ma non per questo sono meno efficaci nel vicariare il loro referente o nel vicariarsi l’un l’altra. I linguaggi umani sono in larga misura “costruiti” e possono (devono) essere insegnati-appresi. Il linguaggio vicaria (la simulazione de)il referente.

Altro esempio: quando l’uomo è comparso, e con lui la *noosfera*, il mondo dei viventi e il mondo in genere sono cambiati. Il fatto che il pensiero fosse presente in una parte di materia ha reso la materia qualcosa di (potenzialmente o attualmente) diverso da prima. Il corso della sua storia ha preso un decorso che altrimenti non avrebbe mai avuto luogo...

Ma vita e noosfera hanno anche aspetti comuni: in quanto, sia pure in modi diversi, sono caratterizzate dal fattore informativo, grazie a ciò hanno nella capacità di vicarianza un aspetto decisivo. Vicariano le proprietà e i processi dei sistemi da cui emergono. La spora vicaria il fungo, il genoma l’organismo, la mappatura del genoma il numero scritto la quantità o la sua rappresentazione diretta, estensiva. Laddove il fungo non può sopravvivere o laddove non può giungere, può giungere la sua spora, estendendo il dominio della sua esistenza nello spazio e nel tempo. Immaginatoci ora 6 unità e di dividerle in due mucchietti uguali. È possibile, persino facile. Possiamo farlo materialmente, manipolando gli oggetti, o immaginandoceli. Ma operare sui numeri potenza ed estende questa capacità. $123.456 : 9.876$ è un calcolo alla portata di molti, basta un foglietto e una penna (o una calcolatrice...) e il gioco è fatto. Ma se dovessimo rappresentarci queste quantità estensivamente, sarebbe un problema insormontabile. Per piccole quantità funziona, ma al crescere delle quantità, le operazioni divengono presto ingestibili. La simbologia dei numeri vicaria tale rappresentazione e consente di spostare ben oltre il dominio delle operazioni possibili.

I NODI METAEVOLUTIVI

I fenomeni emergenziali non costituiscono solo la comparsa di un nuovo e più complesso sistema di (auto)organizzazione, ma anche alcune sue trasformazioni (il momento cioè in cui nessun nuovo sistema si origina, ma quello esistente cambia). Ciò che funziona da innesco o preconditione per un'emergenza, può esser definito "nodo metaevolutivo", così come l'abbiamo trattato in precedenti occasioni.

Possono essere esempi in tal senso:

- l'*eucariosi* (da cui è emersa la variabilità genetica, l'aggregazione pluricellulare, etc.)
- il *Sesso* (e la morte, dall'apoptosi alla morte dell'individuo, all'estinzione di una specie) da cui pure è emersa la variabilità genetica
- l'*eterotrofia* (da cui è emerso un salto di biodiversità)
- il *metabolismo ossidativo*
- la *pluricellularità* (da cui è emersa la radiazione dei piani corporei)
- e via dicendo

Il gradualismo, a cui in passato si è fatto largamente appello, non va abolito, ma nemmeno va fatto coincidere con la costanza del tasso di cambiamento. Gli equilibri punteggiati, per esempio, sono un modello valido, ma tutta la differenza che mostrano non si raggiunge d'un sol colpo, come con la bacchetta magica!... La teoria (quasi)neutrale dell'evoluzione ben rappresenta questo aspetto dei fattori propulsivi delle trasformazioni. Quello che a noi pare avvenuto istantaneamente, ha richiesto comunque del tempo e dei passaggi intermedi. La non-costanza della velocità genera a volte, nel processo evolutivo, un andamento caratteristicamente *sigmoide* (cfr. Jay-Gould, *Questa idea della vita*). Questo accade ogniqualvolta lo spazio di stato delle condizioni concretamente compatibili con la vita per qualche sopravvenuta ragione si apre, si estende. In quel momento le nuove posizioni (nicchie) sono vuote e la vita non tarda a occuparle. In un certo senso è statistico.

CONCLUDENDO: LA CONVERGENZA TRA SCIENZE FISICHE E SCIENZE DELLA VITA

La relatività e la quantistica sembrano essere lontane, in direzioni opposte, dalla dimensione della vita. Tra le due, la quantistica sembra però trovare già un raccordo con la funzionalità biologica, come viene teorizzato in un ambito di intersezione che si viene delineando, la "Bioquantistica".

In generale comunque, è il fulcro del presente lavoro, in riferimento a Tiezzi e ad altri AA., il dualismo fisica-biologia si viene però dissolvendo in più punti con le concezioni che prendono consistenza nell'ultimo scorcio del XX secolo, concezioni che riguardano, tanto la fisica e la chimica che la biologia, producendo una convergenza tra i due ambiti.

La fisica e la chimica, soprattutto a partire dall'ultimo scorcio del XX secolo, assumono come oggetto privilegiato i sistemi lontano dall'equilibrio, al limite tra l'ordine cristallino e il caos termodinamico. Il gioco dialettico tra i due, in sistemi che come prerequisito devono possedere un grado sufficiente di complessità, implica un continuo e cospicuo flusso energetico che li attraversi. L'entropia, grazie a tutto ciò, riesce a essere mantenuta bassa. E questa è una caratteristica di sistemi fisici complessi così come dei sistemi viventi tradizionalmente intesi. E questo è già un importante punto di contatto tra fisica e biologia.

"La storia della vita sulla terra è effetto principalmente di una folle esuberanza: l'avvenimento dominante è lo sviluppo del lusso, la produzione di forme di vita sempre più onerose" (Bataille, *La parte maledetta*, trad. it. Verona, Bertani, 1972, p. 81)

Tiezzi, citando Bateson, ben focalizza la dialettica tra stasi e cambiamento che si gioca nel dominio della vita. Ognuna delle due dinamiche, se estremizzata e non temperata da quella complementare (opposta?...), diviene assurda: il cambiamento senza stasi è follia, la stasi senza cambiamento è morte. Se si va a senso unico non si va da nessuna parte!

Importante notare che il siffatto gioco di mantenimento/espansione del proprio dominio da parte della vita viene giocato sempre in rapporto all'ambiente ed è frutto dell'emergenza di proprietà particolari, cosa che si nota anche in sistemi non propriamente "viventi", ma comunque autorganizzati. L'autorganizzazione e la complessità condividono con i processi termodinamici l'irreversibilità del tempo, ma, mentre nella termodinamica il degrado dell'energia e l'aumento dell'entropia sono sempre e comunque attuali, a patto ovviamente di considerare una porzione sufficientemente grande dell'universo, al limite l'universo nella sua totalità, nella vita la controtendenza, persistente, è il tratto distintivo. L'irreversibilità dei processi della vita è cioè diversa. Se si considera il sistema vivente in sé l'entropia si mantiene bassa o, addirittura, cala. Il sistema-ambiente a cui è legato provvede all'energia necessaria e, in accoppiamento con il vivente, rispetta però l'andamento entropico in accordo con il secondo principio.

Dal canto loro i sistemi biologici presentano aspetti che possono essere spiegati in termini fisici, ma non in chiave riduzionistica. Inoltre ad essere inclusi nei sistemi viventi ce ne sono di quelli che tali non sarebbero stati definiti in precedenza. La metabiologia di Chaitin ne dà ampia descrizione.

Il senso di questo nostro lavoro, in estrema sintesi, auspichiamo sia quello di offrire una proposta metodologica, nello stesso tempo negli ambiti della ricerca e della didattica, che consenta di organizzare con maggior coerenza e funzionalità gli epistemi delle diverse discipline che si occupano dell'evoluzione in senso lato in uno stesso quadro meta-disciplinare.

BIBLIOGRAFIA

- Bianciardi C, Tiezzi E, Ulgiati S. Complete recycling of matter in the frameworks of physics, biology and ecological economics. *Ecol Econ* 1993;8:1-5.
- Cavalli Sforza LL. *L'evoluzione della cultura*. Milano: Dedalo Edizioni; 2016.
- Del Giudice E, Pulselli RM, Tiezzi E. Thermodynamics of irreversible processes and quantum field theory: an interplay for the understanding of ecosystem dynamics. *Ecological Modelling* 2009;220:1874-9.
- Domíngos P. *L'algoritmo definitivo*. Torino: Bollati Boringhieri; 2016.
- Fumagalli M, Pagani L. Geni umani per ambienti estremi. *Le Scienze*, 2016. pp. 64-73.
- Gee H. *Tempo profondo: antenati, fossili, pietre*. *Le Scienze*; 2009.
- Harte J, Socolow RH. *Patient Earth*. New York: Holt, Rinehart and Winston Inc., 1971
- Majorana E. Il valore delle leggi statistiche nella fisica e nelle scienze sociali. *Scientia*, 1942. pp. 58-66.
- Meinhardt H. *The algorithmic beauty of sea shells*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2009.
- Pievani T. *L'evoluzione secondo le falene*. *Le Scienze*, 2016. p. 16.
- Sertorio L. *Thermodynamics of complex systems: an introduction to eco-physics*. Singapore: World Scientific; 1991.
- Tiezzi E. I limiti biofisici della Terra e la rilettura delle categorie spazio-tempo. In: *Economia dell'ambiente e bioeconomia*. Milano: FrancoAngeli; 2003.
- Tiezzi E, Pulselli RM. An entropic approach to living systems. *Ecological Modelling* 2008;216:229-31.
- Werth AJ, Shear W. *La verità sui fossili viventi*. *Le Scienze*, 2015. pp. 74-83.
- Wesley JP. *Eco-physics; the application of physics to ecology*. Springfield: Charles C. Thomas Publisher; 1974.
- Brawand, D. et al., *The Genomic Substrate for Adaptive Radiation in African Cichlid Fish*, in "Nature", Vol. 513, 18 Settembre 2014, pp. 375-381
- Brusatte, S. e Zhe-Xi Luo, *L'ascesa dei mammiferi*, in "Le Scienze", n. 576, Agosto 2016, pp. 56-63
- Casane, D. e Laurenti, P., *Why Coelacanths Are Not Living Fossils: A Review Of the Molecular and Morphological Data*, in "Bioessays", Vol. 35, pp. 332-338, Aprile 2013
- Daelli, V., *Come scompare il padre dai mitocondri*, in "Le Scienze", n. 576, Agosto 2016, p. 23
- Denet, Daniel C. e Roy, Deb, *Il nostro futuro trasparente*, in *Le Scienze* 561, Maggio 2015, pp. 90-95
- Di Mauro, E. e Saladino, R., *Dal Big Bang alla cellula madre*, Il Mulino, Bologna, 2016
- Ferrari, Marco, *L'evoluzione è ovunque. Vedere il mondo con gli occhi di Darwin*, Codice Edizioni, Torino, 2015
- Hanson, T., *Piume, il saggiaio*, Milano, 2016
- Hawking, Stephen W., *La grande storia del tempo*, BUR, 2015
- Hay, J. M., Subramanian S., Miller, C. D. e Lambert, D. M., *Rapid Molecular Evolution in a Living Fossil*, in "Trends in Genetics", vol. 24, Marzo 2008, pp. 106-109
- Kean, S., *Il pollice del violinista*, Adelphi, Milano, 2016
- LeCun, Y., *Deep Learning*, in "Nature", Vol. 521, 28 Maggio 2015, pp. 436-444
- Lloyd, S., *Il programma dell'universo*, Einaudi, Torino, 2006
- Meyer, Axel, *Evoluzione estrema*, in "Le Scienze", 562, Giugno 2015, pp. 72-77
- Michelin, D., *Ai primordi dell'organizzazione sociale*, in "Le Scienze", n. 576, Agosto 2016, p. 27
- Parker, A., *In un batter d'occhio. La causa del più spettacolare evento nella storia della vita*, Zanichelli, Bologna, 2005
- Pievani, Telmo, *Ripensare Darwin?*, in "Le Scienze", n. 561, Maggio 2015, pp. 42-47
- Tanga, M., Ghelli, F. e Gelati, G., *From Body to Map e Back. Drawing Body Maps: on Skin, on Paper, on Bit And on Neurons. A Core for Recently Established Anthropokinetics*, in "JSAS", Vol. 4, N. 1, 2012
- Tanga, M., Gelati, G. e Ghelli, F., *From Metabiology to Metaevolution: a New Perspective in (Life) Sciences*, in "JSAS", Vol. 5, N. 1, 2013
- Tanga, M., Ghelli, F. e Gelati, G., *The Human Rachis: Can It Be Considered a Shock Absorber (That Was Produced by Exaptation) Rather than a Column?*, in "JSAS", Vol. 6, N. 1, 2014
- Tiezzi, Enzo, *Verso una fisica evolutiva*, Donzelli Editore, Roma, 2006 <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02697459.2013.787695> (per la definizione di resilienza)

BIBLIOGRAFIA SUGGERITA

- Bengio, Y., *Macchine che imparano*, in "Le Scienze", n. 576, Agosto 2016, pp. 40-47
- Bengio, Y., Goodfellow, I. e Courville, A., *Deep Learning*, MIT Press, in corso di pubblicazione
- Bergman, A. e Siegal, M., *Evolutionary Capacitance as a General Feature of Complex Gene Networks*, in "Nature", Vol. 424, 31 Luglio 2003, pp. 549-552