

SU UNA POSSIBILE CARATTERIZZAZIONE GENERALE DEI SISTEMI VIVENTI

“Tutto ciò che esiste nell’Universo è frutto del caso e della necessità.” (Democrito)

Introduzione

Una delle domande che l’essere umano, in quanto pensante, può porsi sul mondo che lo circonda, inteso esso come l’insieme dei fenomeni che egli è in grado di percepire e di rappresentare, è se esistano criteri più o meno oggettivi per poter distinguere un ente “vivente” da uno “non vivente”. Necessariamente, la risposta ad un simile quesito, qualora esista, richiederà necessariamente un’analisi di cosa sia definibile come “vita”, almeno secondo le interpretazioni che a mio modesto avviso sembrerebbero più esaustive, ma che comunque lasciano aperti numerosi interrogativi sul senso stesso di questa fatidica domanda. Evolvendosi, la nostra discussione toccherà punti nei quali verranno introdotti nuovi concetti, che, per il semplice fatto di dover essere funzionali ad una classificazione oggettiva della realtà, saranno quanto più generalizzati ed astratti, ma pur sempre riconducibili, attraverso alcuni esempi, ai fenomeni che stiamo analizzando. Una volta compresa, almeno in linea di principio, la natura approssimata della “vita” e dunque dell’attributo di “vivente”, si noterà però come la riflessione di due scienziati del ventesimo secolo, Humberto Maturana (1928) e Francisco Varela (1946 – 2001), sembrerebbe poter ricondurre l’intera concettualizzazione sopra espressa ad un unico principio necessario e sufficiente per la classificazione a cui vorremmo giungere. Tale principio è noto con il nome di “autopoiesi”, e la sua intrinseca generalità ed indipendenza dalla natura delle componenti che mediante esso sono descrivibili lo rende probabilmente uno dei migliori candidati per ciò che stiamo provando a definire: una caratterizzazione generale dei sistemi viventi.

1. La distinzione tra “naturale” ed “artificiale”

Per giungere ad una definizione di “vivente”, seppur inizialmente con qualche approssimazione, sarebbe a mio avviso corretto seguire il percorso concettuale che il biologo francese Jacques Monod (1910 – 1976) ha esaurientemente espresso nel suo libro “Il caso e la necessità”, cercando di commentare ed approfondire di volta in volta le affermazioni da lui fatte in merito a queste argomentazioni. La prima distinzione “categoriale” che egli si prefigura di fare è quella tra il concetto di “naturalità” e quello di “artificialità”, in modo da poter distinguere, almeno in linea teorica, ciò che è un prodotto spontaneo della natura da ciò che invece è un “artefatto” prodotto dall’attività di un essere senziente. Al di là del fatto che una simile proposizione includa dei termini non proprio univoci, come, ad esempio, la condizione di “senzienza” del creatore di un oggetto, si potrebbe ampliare ugualmente la definizione aggiungendo che la regolarità e la ripetitività di certe forme nella struttura macroscopica di certi fenomeni sarebbe un chiaro segno della loro “artificialità”, dato che la natura di per sé tenderebbe a promuovere la creazione di oggetti irregolari e solo approssimativamente riconducibili a forme geometriche. Analizzando un cristallo, però, si scoprirà presto come, anche ad una scala



Figura 1: un cristallo mostra generalmente geometrie regolari e molto precise

non atomica, la materia si sia organizzata secondo regole e simmetrie quasi perfette, al punto da non permettere ad un'ipotetica macchina appositamente programmata di identificarlo come "oggetto naturale" (figura 1). Dal momento che dunque un simile criterio di classificazione non può essere adottato in modo univoco, potremmo focalizzare l'attenzione non tanto sulla struttura spaziale dei fenomeni, o "enti", quanto piuttosto sulla loro "funzione" all'interno dell'ambiente nel quale essi sono collocati. In particolare, seguendo questo ragionamento, si dirà che la "naturalità" di un oggetto deriva esclusivamente dal modo in cui è stato prodotto, cioè dalla sua "storia" per così dire, mentre il fatto che esso sia "naturale e vivente" poggia sul concetto di "teleonomia", od "orientamento ad un fine". Ciò che in prima approssimazione distinguerebbe un "vivente" da un "non vivente" è quindi, secondo Monod, la spontanea tendenza a pensare e ad agire, seppur non sempre coscientemente, in vista di un obiettivo da portare a termine, il quale consisterebbe nella trasmissione dell'informazione corrispondente alla sua "organizzazione sistemica" ai propri discendenti, il tutto attraverso il fenomeno della riproduzione. Pur non spiegando in questa sede le modalità con le quali quest'ultima può avvenire, proverò nelle due *Appendici* a definire in termini più accurati la nozione di "organizzazione" e, conseguentemente, tenterò di comprendere in che maniera questa possa essere codificata e dunque resa trasmissibile sotto forma di "informazione". Ritornando al nostro discorso, possiamo affermare che la proprietà detta "dell'invarianza riproduttiva", ossia della predisposizione da parte dei viventi a riprodurre l'assetto della propria organizzazione, sia anche la più quantificabile, proprio per il fatto che l'informazione codificante l'ordinata struttura sistemica dell'ente è misurabile in unità apposite. Ogni struttura dell'essere vivente orientata verso questo fine è, anche per quanto detto prima, una "struttura teleonomica", e la mole d'informazione necessaria a codificarlo è detta "informazione teleonomica". Sembra chiaro dunque come l'attuazione del progetto teleonomico fondamentale dia luogo a strutture e processi molto vari, sulla cui base si fonda parte della classificazione degli individui viventi in specie distinte: in generale, pertanto, si dirà che l'invarianza si esprime e si rivela solamente attraverso la formazione spontanea delle strutture costituenti l'apparato teleonomico. Volendo essere più specifici, potremmo anche aggiungere che la strutturazione spontanea dell'essere vivente è più che altro un meccanismo, mentre le altre due, teleonomia ed invarianza, sono dette "proprietà" e si distinguono reciprocamente per due ragioni:

- 1) Strutture dotate di riproduzione invariante, ma prive di apparato teleonomico, sono ad esempio i cristalli, che nel corso del tempo accrescono ordinatamente la propria struttura ma non sembrano possedere, almeno in linea di principio, un "progetto" che ne giustifichi la conservazione;
- 2) La distinzione fra teleonomia ed invarianza è anche di natura chimica, dato che le strutture ed i processi teleonomici sono attuati da molecole denominate "proteine", mentre l'invarianza viene mediata, dal punto di vista informazionale, dagli "acidi nucleici".

La proprietà dell'invarianza, inoltre, sembrerebbe fisicamente "paradossale", perché il mantenimento della produzione di strutture ordinate nel corso del tempo, seppur attraverso individui differenti, sembrerebbe contraddire quello che è noto come "secondo principio della termodinamica". Nella sua prima formulazione, avvenuta nel 1850 ad opera del fisico tedesco Rudolf Clausius (1822 – 1888), esso prevedeva che all'interno di un sistema energeticamente isolato dall'ambiente le differenze di temperatura si sarebbero gradualmente e spontaneamente annullate. In un altro senso, se pensassimo che la temperatura di un gas, per esempio, è proporzionalmente correlata alla velocità media delle particelle che lo compongono, allora potremmo affermare che la predizione posta in essere da questo principio ha a che fare con l'appiattimento delle discrepanze tra i valori numerici delle velocità, ossia con l'incremento del disordine in senso statistico (sul quale, però, non porremo l'accento). Data l'uniformità sempre crescente delle temperature, quindi, affermiamo che in qualche modo l'energia complessiva del sistema, dipendente proprio dalle differenze locali di velocità delle molecole, si sta degradando ed un parametro apposito chiamato "entropia" sta crescendo. L'apparente diminuzione dell'entropia dovuta alla proprietà dell'invarianza riproduttiva è però compensata dal fatto che ciascun essere vivente non è isolato dal suo ambiente, ma, al contrario, scambia con esso

materia ed energia, permettendo la crescita dell'entropia dell'ambiente stesso nel quale è collocato. In altre parole, ciascun individuo che possa dirsi vivente è classificabile come un "sistema aperto".

2. Le "proteine" e la loro attività teleonomica

Abbiamo accennato come il concetto di "teleonomia" implichi l'esistenza di un'attività orientata e costruttiva, la cui attuazione concreta deve poggiare necessariamente su determinate componenti strutturali degli esseri viventi. Di fatto, questi ultimi sono "macchine chimiche", nel senso che per produrre la loro crescita e moltiplicazione sono necessarie numerose reazioni chimiche, dalle quali sono poi generati i singoli "blocchi molecolari" che li costituiscono. L'insieme di queste reazioni prende il nome di "metabolismo", ed il suo corretto funzionamento fa sì che l'intero organismo vivente sia in grado di produrre le sue componenti da sé, cioè in modo autonomo ed indipendente da forze esterne. Le proteine, già citate in precedenza, sono proprio quelle parti strutturali e molecolari che costruiscono e guidano l'attività della macchina chimica, e la loro attività si fonda sulle loro proprietà "stereospecifiche", ossia sul fatto che sono in grado di riconoscere le altre molecole a cui si legano in base alla loro forma. In generale, le proteine sono molecole molto grosse, con un peso molecolare di decine di migliaia, se non milioni, di unità, derivate essenzialmente dalla polimerizzazione di composti più semplici, che prendono il nome di "amminoacidi". La combinazione strutturale delle unità amminoacidiche determina le proprietà macroscopiche dei viventi, in particolare attraverso la formazione di due differenti "classi" di proteine:

- 1) Le proteine "filamentose", che hanno una struttura allungata e sono utili a svolgere funzioni di tipo meccanico;
- 2) Le proteine "globulari", di gran lunga le più numerose e funzionali, che si generano a partire dal ripiegamento di più filamenti amminoacidici, polimerizzati in maniera lineare.

Ciascuna reazione chimica che contribuisce al funzionamento dell'organismo è catalizzata, ossia "portata avanti", da una specifica proteina, chiamata "enzima", caratterizzata dal fatto che la sua azione è "elettiva",

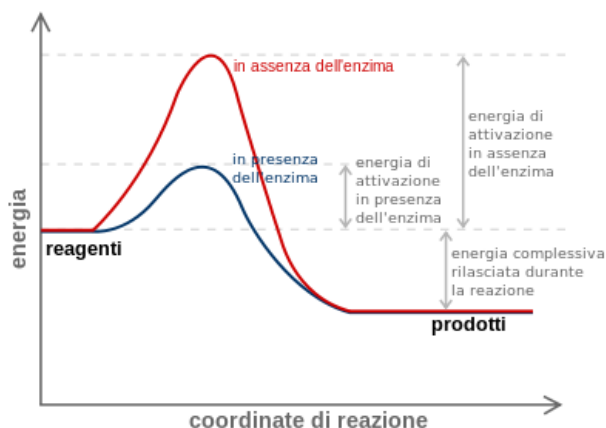


Figura 2: in presenza di un enzima, l'energia "di attivazione" necessaria a portare a termine la reazione cala drasticamente, rendendola più accessibile

cioè mirata per quel preciso compito. Di fatto, quindi, la specificità dell'enzima consiste nella catalisi di una particolare ed unica reazione chimica e nella piena operatività solo nei confronti di una delle sostanze coinvolte nel processo (figura 2). A titolo di esempio, vi è un enzima, chiamato "fumarasi", che catalizza l'idratazione dell'acido fumarico in acido malico, ma è completamente inattivo nei confronti dell'acido maleico, un isomero (stessa composizione chimica ma diversa disposizione delle molecole nello spazio) dell'acido fumarico in grado di subire lo stesso tipo di reazione chimica. Esistono poi due isomeri "ottici", cioè speculari, dell'acido malico, l'uno in grado di ruotare il piano della luce polarizzata verso sinistra (acido L-malico) e l'altro verso destra (acido R-malico), e tra di essi l'enzima fumarasi compie una netta

distinzione, operando esclusivamente sull'isomero di tipo L. Dato che poi la molecola di acido fumarico, a differenza di quella dell'acido L-malico, è simmetrica e l'idratazione della prima porta esclusivamente alla seconda, sembrerebbe che si stia violando il "principio di Curie" secondo il quale la simmetria delle componenti molecolari si deve temporalmente e complessivamente conservare nel corso della reazione

chimica. Questo ragionamento ci porterebbe pertanto a pensare, come in effetti fisicamente avviene, che l'enzima stesso sia fonte di asimmetria e che la molecola di partenza, ossia l'acido fumarico nel nostro esempio, perda parte della sua simmetria iniziale nel momento in cui si lega strutturalmente all'enzima che ne catalizza la trasformazione chimica. Il complesso strutturale che si forma tra la molecola di partenza, chiamata anche "substrato", e l'enzima stesso prende il nome di "complesso stereospecifico", ma la sua generazione può avvenire soltanto se l'area superficiale del sito enzimatico è perfettamente complementare a quella del substrato. I complessi enzima-substrato, per supportare un'intensa attività catalitica, devono inoltre potersi costruire e disfarsi molto rapidamente, per cui i legami chimici tra le due componenti molecolari sono in generale poco energetici (tecnicamente "non covalenti"). In generale, queste peculiari strutture presenti negli esseri che chiamiamo "viventi" sono una delle tante prove a favore dell'esistenza di attività guidate, teleonomiche, apparentemente sfuggenti al secondo principio della termodinamica: è proprio grazie ad esse che l'informazione strutturale viene creata e distribuita all'interno dell'organismo stesso.

3. La cibernetica a livello microscopico

Pur essendo ciascun enzima considerabile come un'unità funzionale autonoma, deputata all'esecuzione di un preciso compito, non si riuscirebbe a giustificare l'efficienza dell'intero organismo vivente senza l'introduzione di una rete di controllo in grado di regolarne l'attività e di coordinarla con quelle degli altri componenti dell'intera macchina chimica. Si parla in questo caso di una vera e propria "cibernetica microscopica", richiamandosi proprio a quella disciplina, sorta alla metà del XX secolo, in grado di giustificare l'organizzazione delle macchine artificiali in termini di comunicazioni e scambi di informazioni tra le sue componenti. Di fatto, nel nostro caso, stiamo provando a ricondurre il comportamento di un "vivente", almeno dal punto di vista meccanico e funzionale, a quello di un apparato sistemico organizzato e regolato dall'interno, secondo le modalità che almeno parzialmente enunceremo a breve. Le più note proteine in grado di consentire la regolazione dell'organismo sono i cosiddetti "enzimi allosterici", i quali, oltre a comportarsi come catalizzatori di reazioni chimiche, riescono a regolare la loro attività nei confronti del substrato a seconda della presenza o meno di altri componenti molecolari nell'ambiente di reazione. Le principali modalità di regolazione sono:

- 1) Inibizione retroattiva, per cui l'enzima che catalizza la prima reazione di una sequenza è inibito dal prodotto finale di quest'ultima, chiamato "metabolita" (figura 3);
- 2) Attivazione retroattiva, per cui un prodotto di degradazione di un metabolita finale è in grado di riattivare la catalisi enzimatica e dunque di consentire la generazione di nuovi metaboliti;
- 3) Attivazione in parallelo, per cui il primo enzima di una sequenza metabolica viene attivato da un metabolita prodotto in un'altra sequenza parallela, solitamente per il fatto che esso dovrà legarsi chimicamente al prodotto finale della prima catena di reazioni;
- 4) Attivazione da parte di un precursore, nella quale un precursore più o meno immediato del substrato attiva l'enzima che lo sta trasformando.

Nelle vie metaboliche "ramificate", all'interno delle quali le prime tappe di reazione sono regolate dalla presenza o meno di più metaboliti finali, vengono impiegati

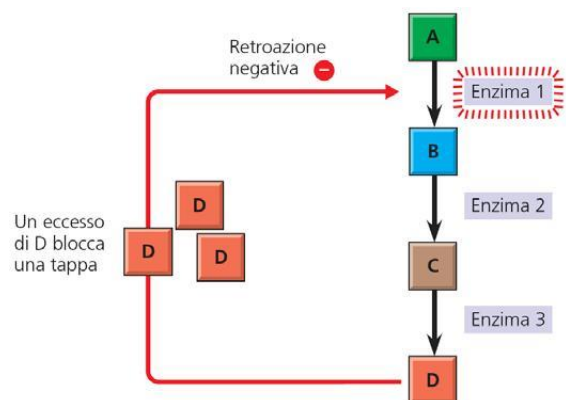


Figura 3: una schematizzazione del processo di "inibizione retroattiva"

solitamente più enzimi allosterici distinti, proprio per evitare, ad esempio, che la produzione di un primo metabolita infici quella di un secondo. Poiché i componenti chimici che regolano l'attività di un enzima non partecipano alla reazione stessa, legandosi dunque solo debolmente e temporaneamente alla proteina, si potrebbe paragonare l'operazione di catalisi enzimatica a quella di un circuito elettronico d'automazione, nel quale la minima energia assorbita da un relè è in grado di scatenare reazioni imponenti. La non-linearità di tali operazioni è altresì evidente a partire dal fatto che la curva rappresentante la variazione di attività enzimatica in funzione della concentrazione di un effettore è una "sigmoide" e non una retta. Pur non approfondendo in questa sede le modalità ed i processi secondo i quali gli enzimi vengono sintetizzati nell'organismo, vorrei sottolineare come la natura dei segnali chimici in grado di regolare l'attività catalitica sia indipendente dalla funzione degli enzimi stessi: l'interazione stereospecifica tra enzima e substrato non è pertanto subordinata alla natura chimica dei legami, ma solamente alla struttura della proteina nei suoi diversi stati. Tale principio operativo autorizza pertanto una completa libertà nella selezione spontanea delle subordinazioni enzima-substrato, fondate esclusivamente su proprietà molecolari di natura fisiologica. Lo studio di questi sistemi microscopici evidenzia complessivamente come l'analisi delle componenti essenziali di un sistema, in particolare "vivente", non può prescindere dalla natura e dalla semplice presenza di una rete di relazioni cibernetiche in grado di regolarne il funzionamento, a patto che però, secondo Monod, non si passi ad una visione troppo comprensiva, od "organicista", per cui il comportamento di un essere vivente è deducibile solamente a livello globale, unitario, non analitico nelle singole parti.

4. La "morfogenesi autonoma" in chiave molecolare

Se gli esseri viventi sono paragonabili a macchine per quanto concerne la loro struttura e funzionalità, ciò non è del tutto vero se pensiamo ai processi primari mediante i quali le sue componenti si costituiscono. Mentre la forma di un oggetto artificiale, un artefatto, è data dalle abilità e dalla volontà del costruttore, che la modella per azione di forze esterne, quella relativa ad un organismo vivente è infatti generata a partire da soli meccanismi interni, riconducibili fondamentalmente alle proprietà stereospecifiche delle proteine. Per il fatto che in una molecola "oligomera", cioè composta da poche subunità elementari (chiamate "protomeri"), queste ultime siano legate reciprocamente da legami deboli di tipo non covalente, come nel caso delle proteine globulari, è spesso possibile dissociarla ed osservarne la naturale ricombinazione in modo identico a quello "nativo". Questo evento, che dimostra quanto la funzionalità di simili molecole sia strettamente dipendente dalla sua struttura, accade anche in presenza di ambienti non omogenei e di miscugli con altri composti proteici, a testimonianza di come l'aggregazione di una proteina a partire dalle sue unità sia guidata da un processo di riconoscimento altamente specifico. L'intero processo è altresì classificabile come "spontaneo", dato che non è necessario immettere nell'ambiente alcun catalizzatore o forma di energia libera per vedere verificato l'evento: il potenziale chimico necessario alla formazione degli oligomeri è già presente nella soluzione dei monomeri. Uno degli esempi più spettacolari di costruzione spontanea di un edificio molecolare, oltre al caso dei ribosomi nel meccanismo di traduzione del codice genetico, è quello di certi batteriofagi, come il "batteriofago T4" (figura 4). Esso necessita di possedere una struttura tale da permettergli una corretta conservazione del materiale genetico e la possibilità di iniettarlo nella cellula ospite attraverso la penetrazione della membrana cellulare. I singoli componenti

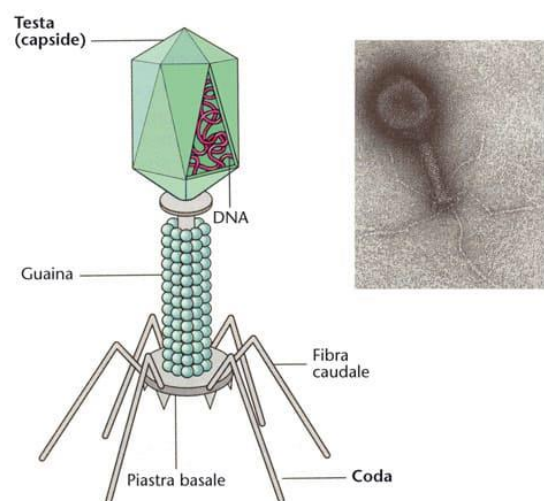


Figura 4: uno schema strutturale ed un'immagine al microscopio di un batteriofago

appena citati possono essere sintetizzati separatamente, a partire da certi virus, ma, se collocati in uno stesso ambiente ed in presenza delle giuste condizioni ambientali, essi sono in grado di combinarsi fino a generare un complesso identico a quello previsto in linea teorica. In vista di una certa interpretazione sistemica, è come se la struttura molecolare fosse concretizzabile solo attraverso le associazioni fra le componenti, nonostante però il “progetto” della sua formazione sia interno alle parti che ne realizzano l’unità organizzazionali. Resta tuttavia da comprendere se questo meccanismo così spontaneo sia o meno estendibile all’intero organismo, ossia se, come affermato dal fisico e biologo tedesco Walter Elsasser (1904 – 1991), l’arricchimento strutturale degli esseri viventi al di fuori dell’esplicazione del puro dato genetico (processo spesso chiamato “epigenetico”) sia pienamente riconducibile a queste associazioni molecolari dettate dal codice genetico stesso. Elsasser, in merito a questo scetticismo, rispondeva addirittura con la cosiddetta teoria delle “leggi biotoniche”, una serie di principi al di fuori della scienza che avrebbero potuto consentire la naturale distinzione di un “vivente” da un “non vivente”, sulla base di forze interne non riconducibili a processi biochimici. Monod, però, ribatte a simili affermazioni dicendo che la comparsa di strutture tridimensionali ed ordinate, come appunto le proteine globulari, deriva dal fatto che l’informazione racchiusa nel codice genetico si esprime in condizioni iniziali ben definite e tali da permettere lo sviluppo di una sola di queste strutture, imponendo l’attuazione univoca di un messaggio equivoco a priori. Pertanto, partendo dal meccanismo costitutivo delle proteine, lo sviluppo dell’intero organismo vivente, che lo classificherebbe anche come tale, consiste in alcune precise fasi:

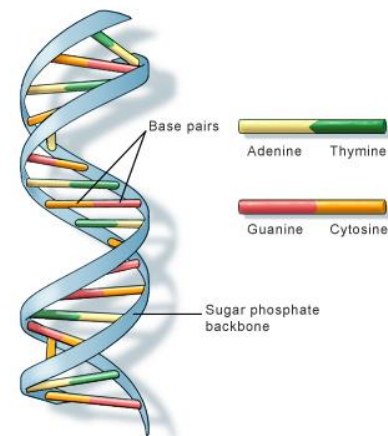
- 1) Ripiegamento delle catene proteiche filamentose per formare strutture globulari;
- 2) Interazioni associative tra proteine per formare gli organelli cellulari;
- 3) Interazioni tra cellule per costituire tessuti e organi;
- 4) Coordinazione delle attività chimiche, anche in queste fasi, per mezzo di meccanismi allosterici.

L’ultima “ratio” delle strutture presenti nei viventi, e dunque di tutte le prestazioni teleonomiche ad esse associate, poggierebbe di fatto sulle sequenze amminoacidiche che compongono le proteine: se si sapesse descriverle ed enunciare conseguentemente la legge di associazione a cui obbediscono, allora probabilmente si potrebbe giungere alla comprensione del “segreto della vita”. Nel 1952, il pluripremiato chimico britannico Frederick Sanger (1918 – 2013) riuscì ad analizzare la prima sequenza completa di una proteina globulare, chiamata “insulina”, e a scoprire come, anche a seguito di numerosi altri esperimenti, la codifica di queste molecole segue le leggi imprevedibili del caso, seppure per ciascuna specifica proteina la sequenza sia invariante nel tempo. Il caso, origine di una struttura, si tramuta pertanto in ordine e conservazione dell’organizzazione sistemica, in possibilità di un’invarianza che altrimenti, probabilmente, non si sarebbe potuta concretizzare.

5. L’invarianza strutturale nel puro caso

Nella storia della filosofia occidentale, si è da sempre assistito alla creazione di correnti di pensiero che spiegassero il divenire dell’Universo per mezzo di una riconduzione a concetti non fenomenici, come nel caso più esemplare del filosofo greco Platone (428/427 a.C. – 348/347 a.C.), oppure proprio alla luce della costante ed onnipresente evoluzione, così come il filosofo greco Eraclito (535 a.C. – 475 a.C.) sottolineava essere necessario per comprendere il mutamento in generale. La scienza, idealisticamente fondata su quel metodo sorto a partire dal XVII secolo, si fonda su principi di oggettività tali da non permettere alla sua dottrina di avvalersi di concetti metafisici, ossia “al di là della fisica”, nonostante essi comunque tentino a loro modo di giungere a conclusioni sensate sul senso della realtà alla luce di certe ipotesi. Nelle leggi della fisica, comunque, si possono apprezzare una serie di strani formalismi matematici alla cui base vi sono i principi

scientifici della conservazione, nello spazio e nel tempo, di certe grandezze, misurabili poi a seguito della sperimentazione sui fenomeni che ne sono caratterizzati. Se dunque il “Teorema di Noether”, formulato dalla matematica tedesca Emmy Noether (1882 – 1935), mette in luce quali sono queste grandezze, allo stesso modo, nel ramo della biologia, potremmo dire che la teoria cellulare ha la valenza di scorgere un’unità strutturale ben precisa sotto la diversità dei viventi. A seguito soprattutto degli sviluppi nel ramo della biochimica avvenuti tra il 1925 ed il 1950, oggi si sa che alla base della struttura dei viventi vi sono le due classi di macromolecole rappresentate da proteine ed acidi nucleici, a loro volta sintetizzate dagli stessi componenti elementari, mentre per quanto riguarda il funzionamento degli organismi si sono evidenziate le stesse sequenze di reazioni nello svolgimento delle operazioni essenziali. Il problema alla base di tale ragionamento emerse però nel momento in cui ci si rese conto di dover spiegare la diversità dei viventi proprio a partire dall’invarianza dei loro componenti basilari, ed anche di come, all’interno di una stessa specie, i caratteri distintivi siano tramandati attraverso le generazioni future. Alla base della risoluzione di questo dilemma vi è il DNA, l’invariante biologico per eccellenza, codice universale mediante il quale possono essere scritti tutti gli elementi che specificano, nella loro sintesi effettiva, la diversità delle strutture organizzative presenti nella biosfera. Alla base della sua esistenza, gli acidi nucleici sono unità generate dalla polimerizzazione lineare di componenti chiamati “nucleotidi”, a loro volta costituiti da uno zucchero, una base azotata ed un gruppo fosforico. L’unione degli zuccheri per mezzo di legami instaurati grazie ai gruppi fosforici costituisce il meccanismo per il quale si forma una catena “polinucleotidica”. Il DNA è pertanto descrivibile come l’unione di due catene polinucleotidiche, complementari, tenute vincolate dalla presenza di legami non covalenti fra le due possibili coppie di basi azotate presenti al suo interno: l’adenina (A) si lega con la timina (T), mentre la guanina (G) con la citosina (C), secondo un accoppiamento strutturale molto preciso (figura 5). La replicazione di questa macromolecola avviene attraverso la separazione dei due filamenti, successiva allo “srotolamento” dell’elica, e la conseguente creazione dei due filamenti complementari alla coppia ottenuta. Da tutto ciò deriva pertanto che la struttura sterica, ossia spaziale, del complesso può essere descritta in due dimensioni, una delle quali contiene in ogni punto una coppia di nucleotidi, mentre l’altra comprende una sequenza estesa di tali coppie. Inoltre, essendo descrivibile



U.S. National Library of Medicine

Figura 5: la struttura "ad elica" del DNA, derivata sommativamente dall'accoppiamento delle basi azotate e dalla catena dei gruppi fosforici e degli zuccheri

come la risultante di una simmetria traslazionale e di una rotazionale, potremmo dire che il DNA è una sorta di cristallo, seppur “aperiodico”, come suggerito dal fisico austriaco Erwin Schrödinger nel 1944, poiché la sequenza delle coppie di basi non è ripetitiva. Ogni elemento di uno dei due filamenti si comporta come un germe cristallino, che sceglie spontaneamente i componenti ad esso associabili e permette l’accrescimento dell’intera molecola, in modo che i due filamenti separati possano altrettanto spontaneamente ricostruire il complesso specifico appaiandosi ciascuno alla sua specifica sequenza complementare. Il meccanismo di traduzione di una catena di nucleotidi in una serie di amminoacidi, i quali costituiranno successivamente le proteine, è molto più complicato di quello della replicazione, dato che quest’ultima in linea di principio è riconducibile all’interazione diretta fra una sequenza polinucleotidica ed i singoli nucleotidi stericamente complementari. Anche nella traduzione, la trasmissione dell’informazione viene guidata attraverso la formazione di legami stereospecifici non covalenti, ma tali interazioni necessitano la comparsa di più componenti indipendenti che riconoscono esclusivamente il loro partner immediato, ignorando dunque ciò che accade nelle rimanenti parti della sequenza. Sebbene il codice genetico sia scritto in un linguaggio stereochimico in cui ciascuna lettera è costituita da una sequenza di tre nucleotidi nel DNA, tripletta che specifica un preciso amminoacido, non esiste infatti alcuna relazione sterica diretta tra quest’insieme di lettere e la molecola codificata. Il trasferimento dell’informazione avviene pertanto secondo una

convenzione del tutto arbitraria, non necessaria, per mezzo della quale un errore nell'interpretazione della tripletta potrebbe causare a catena errori pregiudizievoli per l'organismo intero. In condizioni generalmente normali, però, il grado di precisione nel processo di traduzione è tale da non essere compromettente per il funzionamento dell'intera macchina vivente, così che le sue componenti strutturali, come appunto le proteine, preservano la loro configurazione in modo univoco e straordinariamente ripetitivo. Il meccanismo della traduzione è oltretutto irreversibile, in modo che una modificazione delle prestazioni di una molecola, ad esempio, potrebbe esclusivamente scaturire da un'alterazione del messaggio genetico di partenza. Ciò sottolineerebbe di fatto anche la descrizione di questi processi all'interno dell'ottica di un sistema microscopicamente chiuso, che però contrasta con l'apertura macroscopica dell'organismo all'ambiente nel quale egli vive: è proprio da questo ambiente comprensivo della sua unità che ciascuna macchina vivente è perturbata nel tempo, fino alla sua completa degradazione con e dopo la morte. I due meccanismi citati in precedenza, quelli della "replicazione" e della "traduzione", si svolgono pertanto nella costante presenza di questi errori accidentali, i quali, propagandosi a catena fino alla strutturazione della catena "polipeptidica" del DNA, altererebbero la funzionalità di alcuni dei sotto-processi organizzazionali dell'organismo vivente. Grazie al ramo della "genetica molecolare", numerosi biologi hanno potuto analizzare i diversi tipi di alterazioni accidentali discrete che può subire una sequenza di nucleotidi nel doppio filamento del DNA, principalmente secondo questi meccanismi:

- 1) Sostituzione di una sola coppia di nucleotidi ad un'altra;
- 2) Sostituzione o addizione di più coppie di nucleotidi;
- 3) Diversi tipi di "refusi" che alterano il testo genetico per inversione, ripetizione, traslocazione e fusione di segmenti di DNA.

L'evenienza di queste alterazioni è soggetta essenzialmente all'azione "costruttrice" del caso, che altera le strutture invarianti dei viventi e crea diversità nella biosfera: al di là del forte antropocentrismo che connota il pensiero di molti individui, è probabilmente l'alea a giustificare la nostra presunta "esclusività" come specie organizzata in tal modo. Nella trasmissione dell'informazione genetica attraverso la riproduzione, ad esempio, ciascuna unità funzionale di DNA all'interno di una cellula, dopo essersi duplicata, si compatta assieme ad altre proteine in una struttura che prende il nome di "cromosoma", la quale successivamente



Figura 6: una bambina affetta da "sindrome di Down", dopotutto, è figlia dello stesso caso che ci rende "viventi"

viene trasmessa alle cellule figlie. Errori in questi processi meccanici, che trascendono almeno parzialmente dall'errata decodificazione del messaggio genetico, possono dare origine a manifestazioni "fenotipiche", ossia osservabili a livello fenomenologico, come la nota "sindrome di Down" (figura 6). La sua individuazione come "malattia cromosomica" avvenne nel 1958, quasi un secolo dopo la sua scoperta, ad opera del genetista francese Jerome Lejeune (1926 – 1994), il quale attribuì principalmente la sua manifestazione ad una mancata disgiunzione del cromosoma n°21 nel processo di divisione cellulare, governato anch'esso da leggi statistiche che sfuggono a predizioni di carattere

deterministico. La parola "caso", a pensarci bene, è la medesima che viene usata nel gioco dei dadi, o nella più generale descrizione di un evento che è impossibile analizzare in modo deterministico nelle singole fasi della sua realizzazione. Nell'ambito della nostra discussione, però, l'aleatorietà assume un carattere più radicale, "essenziale" per così dire, perché è la struttura stessa dei fenomeni genetici a non permettere un'analisi predittiva del loro svolgimento temporale, neanche con un grado elevatissimo di precisione. Il filosofo francese Henri Bergson (1859 – 1941) scorgeva nella differenziazione dei viventi l'espressione di una forza creatrice che era finalizzata di per sé alla generazione di esseri "superiori" alla materia inanimata: di

fatto, la sua posizione faceva sì che l'evoluzione fosse semplicemente la percezione conoscitiva di una rivelazione finalisticamente e metafisicamente orientata. Per la teoria odierna, però, questa stessa evoluzione non è altro che il frutto delle imperfezioni di un meccanismo interno all'individuo, alimentato nel suo svolgimento da un ambiente in grado di perturbare più e più volte le sue componenti. Tenendo conto di questa "onnipresenza del caso", non è tanto l'evoluzione, quanto la stabilità di certe specie a sembrare paradossale (anche se in questa sede non definiremo in termini esatti cosa significhi "specie"): si può ritenere che la cellula moderna esistesse così già da due o tre miliardi di anni, guidata dalle stesse prerogative teleonomiche di oggi. Una mutazione semplice, quale la sostituzione nel DNA di una lettera del codice ad un'altra, è in linea teorica reversibile, ma qualsiasi evoluzione sensibilmente apprezzabile è frutto di un enorme numero di variazioni indipendenti, la ricombinazione delle quali rende il processo statisticamente irreversibile. Le improbabili manifestazioni di quella che è nota come "neghentropia", ossia "entropia negativa", sono dunque la chiave per poter uscire fuori da questo irrefrenabile meccanismo e per poter coerentemente spiegare, a seguito dei processi di selezione naturale, il perfezionamento generalmente "ascendente" dei nostri apparati teleonomici.

6. La deriva "generalista" nel concetto di "autopoiesi"

All'inizio di questa trattazione, avevamo evidenziato come al percorso logico di Monod sulla classificazione dei viventi in base alle loro funzionalità se ne sarebbe contrapposto un altro, più generalizzante, proposto dai biologi Maturana e Varela. Alla luce della sintetica esposizione di quest'ultimo, pertanto, tenteremo di mostrarne le caratteristiche che lo differenziano dal precedente, specialmente per il suo carattere più teorico ed astratto, seppur collegato all'esperienza comune. Il concetto di partenza per questa linea di pensiero è quello di "autonomia", che sembrerebbe emergere come caratteristica sostanziale degli esseri viventi anche a seguito di un'esperienza non scientificamente orientata, ossia meramente percettiva. La biologia moderna, contrariamente a quanto teorizzato dai filosofi greci come Aristotele (384 a.C. – 322 a.C.), ha fatto sì che la diversità riscontrabile nella pluralità dei viventi sia oggi spiegabile alla luce di un meccanicismo rigoroso e coerente alla pari di quello riscontrabile, ad esempio, nella fisica classica. La forza epistemologica della genetica ha completamente debellato ogni sorta di possibile visione vitalistica od animistica del problema in esame, decentrando però l'attenzione della scienza dall'individuo alla specie che lo include dal punto di vista classificatorio. La domanda che dunque permane è: "Cosa è comune a tutti i sistemi viventi, per cui li definiamo e distinguiamo come tali?". Le nozioni proposte da Monod, alla luce della teoria evoluzionistica e alla possibilità di un orientamento teleonomico, non definiscono in realtà la natura dell'organizzazione di un essere "vivente" in quanto tale, perché speculano sulla processualità del suo divenire e non sul suo status attuale e sistemico di "macchina organica". Per dimostrare che i sistemi viventi sono macchine, inoltre, non occorre indicare i loro componenti, poiché a partire da essi non potrebbero essere tratte conclusioni sulla loro organizzazione sostanziale, la quale si pone a fondamento della loro stessa definizione. Vi sono macchine che mantengono costante, o entro una certa fascia di valori, qualche loro parametro variabile nel tempo: esse sono chiamate "omeostatiche", tra le quali troviamo le cosiddette "macchine autopoietiche". Queste ultime sono, per definizione, unità di parti interagenti che, mediante una rete di processi produttivi, adempiono due precisi compiti:

- 1) Rigenerano e realizzano, attraverso le continue interazioni reciproche, la stessa rete di processi in grado di generarli;
- 2) Costituiscono la macchina come un'unità concreta, specificando uno spazio topologico nel quale la rete delle loro interazioni esiste e si sviluppa.

Da tali considerazioni segue che una macchina autopoietica, producendo i suoi stessi componenti, genera e specifica continuamente la sua organizzazione, attraverso la compensazione continua delle perturbazioni indotte dall'ambiente. Proprio per queste ragioni, pertanto, le macchine autopoietiche si prefigurano come sottoclasse di quelle omeostatiche, dato che il parametro da mantenere costante, in tal caso, è la stessa organizzazione sistemica. Se i processi di produzione delle componenti macchinari si fermassero, le relazioni tra le parti del sistema sparirebbero istantaneamente, così che è necessaria la continua rigenerazione della rete processuale per mezzo delle attività delle stesse parti sistemiche. In un artefatto generato dall'attività umana, come ad esempio un'automobile, le parti che compongono l'oggetto sono sì in relazione tra di loro, formando di fatto un'unità composita, ma il loro ipotetico danneggiamento non potrà mai riparsi da sé, se non per mezzo dell'azione di forze esterne. L'automobile in questione, dunque, non è affatto una macchina autopoietica, ma semplicemente un oggetto che funziona per mezzo di un'organizzazione pensata e costruita artificialmente. Le conseguenze del possesso di una certa organizzazione autopoietica sono:

- 1) Autonomia delle macchine autopoietiche, ossia la subordinazione di tutti i cambiamenti al mantenimento della loro organizzazione, contrariamente a quanto fanno le macchine "allopoietiche" (produttrici di qualcosa che è esterno alla loro organizzazione);
- 2) Individualità delle macchine autopoietiche, ossia l'indipendenza della loro identità produttrice dall'osservatore che le descrive come tali;
- 3) Unità delle macchine autopoietiche, intesa essa come specificazione dei propri confini nei processi di auto-produzione, contrariamente al fatto che in quelle allopoietiche il bordo del sistema è descritto dall'osservatore che le sta esaminando;
- 4) Le macchine autopoietiche non hanno input e output, perché il motore che ne guida il funzionamento riposa nella loro capacità di preservare l'organizzazione sistemica interna, seppure a seguito di perturbazioni indotte dall'esterno.

In termini fenomenologici, possiamo concepire le macchine autopoietiche concrete come parti di un sistema più grande che comprende anche quegli eventi in grado di perturbarne il funzionamento. Questi ultimi, a seguito di tale considerazione, possono essere concepiti come input, mentre i cambiamenti riscontrabili nella struttura della macchina possono essere registrati come output del sistema. Inoltre, anche le stesse componenti di una macchina autopoietica possono essere raggruppate in sottosistemi minori, ciascuno dei quali è intendibile come un meccanismo allopoietico che contribuisce alla poiesi generale dell'unità. Intendendo i sistemi viventi come macchine, viene a questo punto naturale pensare come queste siano autopoietiche e fisiche: esse infatti trasformano la loro stessa materia per produrre e rigenerare continuamente l'organizzazione che le mantiene come tali. Tuttavia, la nozione che in tal caso si vuole dimostrare riguarda praticamente l'equivalenza logica opposta, ossia che un sistema è vivente se e solo se è autopoietico. Questa corrispondenza concettuale non è così evidente da concepire, e ciò a causa di ragioni che a priori influenzano il dominio descrittivo degli osservatori, rendendoli di fatto incapaci di pensarne la possibilità. Prima di tutto, le macchine sono generalmente viste come artefatti umani, similmente a quanto affermato da Monod, con proprietà deterministiche conosciute, il che le rende prevedibili anche a lungo termine. Al contrario, i sistemi viventi sono a priori visti come autonomi, concepiti idealisticamente come tali, con un comportamento orientato che sembra impossibile riprodurre a partire da un progetto umano: è come se il mistero della vita dovesse in teoria rimanere ancorato ad un'inconcepibile forza "arazionale" che per sua stessa natura non può essere ridotta a pura spiegazione. Le proprietà organizzazionali dei viventi, che non emergono dalla mera elencazione delle loro componenti, potrebbero, secondo Maturana e Varela, essere riprodotte accuratamente in un meccanismo concreto ma artificiale, caratterizzabile comunque come una macchina autopoietica in grado di evolversi e di preservarsi come tale. Il ragionamento di Monod, che in quest'occasione viene parzialmente smorzato, è totalmente contraddetto nel momento in cui i due biologi tentano di esprimere la non necessità della teleonomia come proprietà fondante dell'organizzazione dei

viventi. Di solito, infatti, uno degli aspetti che viene messo in risalto in una discussione sistematica delle macchine viventi è proprio la presenza costante di un finalismo implicito, il quale orienta complessivamente l'attività concreta di ogni individuo nella preservazione della sua organizzazione nel tempo. Ragionando in tal modo, si considera la genesi delle componenti strutturali come una serie di processi automatici di sviluppo verso uno stadio evolutivo più avanzato della macchina, il quale a suo tempo sarà necessario per poter avviare la riproduzione e dunque la trasmissione dell'invarianza alla generazione filiale. Ciò che chiamiamo "scopo" della macchina, però, non è altro che una connessione descrittiva tra un insieme di comportamenti del sistema, registrabili dall'osservatore come output, una serie di segnali di stimolazione, chiamati come input, e la relazione del sistema stesso con l'ambiente che lo include e con il quale scambia materia ed energia. Privata di ogni sorta di "finalismo interno", un'organizzazione autopoietica si costituisce pertanto come un dominio chiuso di relazioni fra più parti, le quali possono essere di tre tipi:

- 1) Relazioni di costituzione, determinanti del fatto che i componenti dei processi produttivi costituiscono appunto lo spazio topologico di sviluppo dell'insieme;
- 2) Relazioni di specificità, per cui i componenti prodotti sono quelli specificamente definiti dalla loro partecipazione nell'autopoiesi;
- 3) Relazioni d'ordine, per le quali la concatenazione delle parti sistemiche sono già specificate nei processi autopoietici.

Nel primo caso, possiamo prendere in considerazione il fatto che la cellula, mediante la produzione di molecole costituenti (come proteine, acidi nucleici eccetera), determina da sé la topologia, ossia la configurazione strutturale, dei suoi confini e delle reazioni che accadono al suo interno. Nel secondo, invece, si può notare come l'esistenza dei complessi stereospecifici in precedenza visti, così come la corrispondenza tra codice genetico ed amminoacidi, sia un chiaro segno di come la produzione dei componenti necessari al mantenimento dell'organizzazione sistemica avvenga in maniera specifica, univocamente descritta dall'informazione contenuta nel DNA. Nel caso delle relazioni d'ordine, infine, è da notare come la produzione di metaboliti a livello cellulare riesca a retroagire sulla velocità delle reazioni stesse, garantendo la creazione controllata ed ordinata di una rete di processi paralleli ed invarianti. Se considerassimo pertanto l'insieme di queste relazioni come una caratteristica fondante dei sistemi autopoietici, saremmo allora in grado di affermare che la loro "fattibilità" ricade sull'esistenza di componenti reagenti in modo tale da generare uno spazio topologicamente chiuso nel quale le reazioni di produzione possono avvenire. La loro occorrenza in maniera spontanea, di conseguenza, può solamente essere giustificata a partire dalla presenza in un dato ambiente delle giuste componenti strutturali. I sistemi viventi materializzano l'organizzazione vivente, nel senso che in un dato spazio fisico riescono a costruire la loro capacità autopoietica: le espressioni fenomenologiche di questa costruzione sono però diverse a seconda della tipologia di individuo che le possiede, nei termini della riproduzione della sua specie e dell'evoluzione globale degli esseri viventi. Tuttavia, ciascun individuo, nella sua unità sistemica, possiede già intrinsecamente un'organizzazione autopoietica, e non vi è dunque la necessità, a differenza di quanto fatto dai biologi come Monod, di includere i processi riproduttivi ed evolutivi nella caratterizzazione dei viventi. Tutta la fenomenologia biologica, di fatto, può essere determinata e realizzata mediante una serie di unità autopoietiche individuali nello spazio fisico, e consiste in un insieme di trasformazioni che queste subiscono come sistemi omeostatici. Se, nel corso delle loro interazioni, le singole unità sistemiche si uniscano o meno per costituire unità aggiuntive, ciò è praticamente irrilevante al fine della conservazione dell'identità per ciascuna di esse. La riproduzione, mezzo per il quale viene mantenuta l'invarianza organizzativa nel tempo, richiede obbligatoriamente un'unità da riprodurre, dunque è subordinata all'esistenza di questa stessa unità autopoietica. Vi sono essenzialmente tre fenomeni che devono essere distinti in seno alla nozione di riproduzione:

- 1) Nella "replicazione", un sistema genera unità diverse da sé stesso, ma in linea di principio identiche tra di loro;

2) La “copiatura” ha luogo ogni volta che un dato oggetto o fenomeno è mappato per mezzo di qualche procedura su un sistema diverso, così che in quest’ultimo è realizzato un oggetto isomorfo;

3) La “auto-riproduzione” ha luogo quando un’unità ne produce un’altra con un’organizzazione simile alla propria, mediante un processo accoppiato alla sua stessa produzione (avviene solo nei sistemi autopoietici).

Nelle prime due tipologie, mantenute ben distinte da un osservatore esterno al processo, il meccanismo di riproduzione è necessariamente esterno alla configurazione che viene riprodotta, mentre nell’ultima è identico ad essa. Nozioni come “codifica”, “messaggio” ed “informazione” non sono applicabili al fenomeno dell’auto-riproduzione, se non come tentativi di riportare il fenomeno ad una dimensione eteropoietica più descrivibile. Anche il concetto di “evoluzione”, come già accennato in precedenza, non può essere affatto trattato al di fuori del dominio descrittivo dell’osservatore che ne parla, poiché la percezione dei nessi causali tra le mutazioni strutturali di un vivente è propria delle sue capacità cognitive. Se per evoluzione noi ci riferiamo a ciò che ha avuto luogo nella trasformazione dei viventi sulla Terra, allora essa è concepibile come la storia del cambiamento nella realizzazione di un’organizzazione invariante: è in tal caso necessaria una qualche riproduzione sequenziale, mediante la quale poter riordinare temporalmente i cambiamenti del sistema. La selezione naturale, principio emerso a partire dalle ricerche del biologo britannico Charles Darwin (1809 – 1882), è un processo di realizzazione differenziale di autopoiesi, secondo la possibilità che l’auto-riproduzione delle unità viventi preservi o meno l’organizzazione della specie in un dato spazio fisico. Una specie è poi una popolazione, o una collezione di popolazioni, di individui interconnessi riproduttivamente: essa è un nodo in una rete storica, collocato in un dominio astratto all’infuori dello spazio fisico di riproduzione degli esseri viventi concreti. La generale caratterizzazione dei sistemi viventi come sistemi autopoietici fisici deve essere pertanto capita come avente un valore universale, capace di spiegare sia la natura dell’individualità sistemica che le dinamiche proprie di un insieme di viventi in evoluzione.

Conclusione – Un’analisi razionale del puro caso?

Al termine di questa lunga e spero chiara riflessione, tanti interrogativi e spunti affollano la mia mente, come se in realtà si fosse diradata la nebbia su un cammino che però è composto da molteplici sentieri e bivi. Come, a livello esistenziale, il filosofo danese Søren Kierkegaard (1813 – 1855) propone l’essenzialità e la complicatezza delle scelte di vita, poiché da queste nascono le determinazioni del nostro essere, allo stesso modo, epistemologicamente, non è semplice decidere con convinzione quale linea di pensiero adottare per comprendere, qualora sia possibile, il mondo. Posizioni come quella di Monod trasmettono, almeno a me, la possibilità di scorgere l’irrazionale dietro al fenomeno analizzabile tramite il metodo scientifico, come se quel puro caso capace di muovere i processi che ci creano, ci trasformano e ci rendono vivi sia realmente e concretamente in nostro possesso, pronto a mutarsi in creatività, genialità, libertà. D’altro canto, però, l’impostazione teorica ed astratta di Maturana e Varela è portatrice di un’altra forma di bellezza, o sublimità, la quale è legata alla possibile comprensione delle cose in senso generale, universale. In quest’ultimo caso, l’astrazione, seppur rigorosamente condotta, ci fa dunque assaporare l’esistenza di una dimensione gnoseologica, ossia conoscitiva, che potrebbe “stare dietro” alle cose, oltre il mero fenomeno della percezione. Nel corso della nostra trattazione, abbiamo incontrato la “sindrome di Down” come un esempio di mutazione genetica, ed in particolare cromosomica, in grado di provocare vistosi cambiamenti nella struttura fenotipica, ossia concreta, del suo portatore: è proprio da questo esempio che vorrei partire per giungere infine ad una conclusione dell’intero mio lavoro. Se dovessimo istruire una macchina, mediante una qualche sorta di algoritmo, a riconoscere un individuo affetto da questa sindrome, sarebbe allora consigliabile dotarla di proprietà come “occhi a mandorla”, “viso piatto”, “testa più piccola della norma” e così via, tutte ovviamente tradotte in un codice opportuno. Questi aspetti, individuabili mediante l’osservazione particolareggiata del loro cranio, definiscono però delle caratteristiche “estetiche”, cioè

letteralmente vincolate alla percezione sensibile di un osservatore, mentre vi sono delle proprietà “funzionali” dell’organismo, legate agli apparati che lo costituiscono, strettamente dipendenti dalla loro evoluzione dinamica nel tempo. Con il passare degli anni, infatti, i soggetti affetti da sindrome di Down perdono più rapidamente la loro capacità di essere fertili, oltre ad essere più predisposti al deterioramento dell’attività cerebrale sotto una determinata forma di Alzheimer. La memoria a breve termine e la propriocezione, ad esempio, vengono meno molto più rapidamente delle abilità linguistiche e numeriche, a testimonianza di un’involuzione differenziale che non colpisce allo stesso modo le diverse aree di un organo coinvolto. Ora, se la “macchina vivente” affetta dalla sindrome di Down perde gradualmente la sua funzionalità, proprio a causa della mutazione genetica che sta a fondamento del suo sviluppo, ciò è frutto di quel caso che ciecamente, e non teleonomicamente, opera a livello della replicazione genetica da cui la vita stessa ha origine. L’alea, che crea la diversità in senso più ampio, pare dunque essere la responsabile del “meglio” e del “peggio”, del “bello” e del “brutto”, del “deforme” nella conformità, valori questi che però riposano nel sistema delle idee, o “noosfera”, tipica del genere umano, dunque privi di univocità alcuna. L’essere umano, spogliato da ogni attributo non riconducibile alla sola sfera biologica, è lo stesso in tutte le sue molteplici individualità, veramente come una macchina autopoietica che è caratterizzabile esclusivamente dal punto di vista sistemico. Sono forse davvero le “persone”, assieme alle loro credenze, a rendere “vivente” un qualcosa che è pura meccanicità travestita da spirito per azione del caso? A questa domanda, sinceramente, non saprei rispondere. Sembra così evidente, alla luce dell’intuizione, che una macchina sia diversa da un uomo, che un uomo sia diverso da una donna e che un ragazzo sano ed uno affetto da una sindrome come quella di Down siano ben distinguibili. All’ombra della ragione, però, appare tutto immerso in un bagno di uniformità, di comunanza di principi e di dinamiche, di possibilità e varietà a cui soggiacciono strutture invarianti: è proprio nella razionalità che ci rendiamo conto di quanto sia complessa la nostra visione della realtà. Ed ecco, infine, che nella mia mente riecheggia il pensiero del caso, che forse, assieme a qualche sorta di determinismo, è davvero la chiave di lettura della molteplicità. Il bello della casualità sta proprio nella sua apparente necessità: se scegli di viverlo, sotto tutti i punti di vista, allora sarà la vita a rendertelo possibile.

Appendice 1: Il concetto di “organizzazione” e le sue conseguenze

Secondo il filosofo e sociologo francese Edgar Morin (1921), il concetto di “organizzazione” emerge in generale quando più parti di un sistema in movimento nell’ambiente interagiscono tra di loro e creano, attraverso le modalità di queste singole interazioni, una struttura più “ordinata” nella quale ciascuna delle molteplici componenti è in grado di acquisire nuove proprietà, per questo dette “emergenti”. Rimandando per ora una possibile spiegazione del concetto di “emergenza”, vorrei sottolineare come, sempre secondo Morin, la scienza classica abbia tralasciato quasi del tutto questa proprietà nella descrizione degli aggregati di materia, tanto per fare un esempio, mentre la termodinamica lo abbia trattato solo nella sua accezione negativa, come una “disorganizzazione” disgregatrice nei processi entropici. Nel XX secolo, però, l’avvento della meccanica quantistica e della fisica subnucleare fece sì che l’atomo, prima trattato come componente “oggettuale” ed elementare della materia, perdesse quella specie di “identità” che fino ad allora lo aveva caratterizzato come “mattoncino fondamentale ed osservabile del mondo”, con la conseguenza che nella maggior parte dei casi esso poteva essere trattato scientificamente solo come un aggregato di più minuscole particelle in reciproca interazione. In altri termini, l’atomo stava assumendo la configurazione di un “sistema”, ossia come un insieme di elementi che, a seguito di incontri aleatori e di interazioni ripetute, si era aggregato in un unico oggetto più stabile. Il nesso logico e concettuale tra l’elemento sistemico e quello organizzativo poggia però sul concetto di “interrelazione”, per cui, seguendo la teoria dello psichiatra britannico William Ashby (1903 – 1972), se la relazione tra due entità A e B è condizionata ad un parametro C, allora vorrà dire che è presente una qualche componente dell’organizzazione sistemica. L’importanza

rivestita dal concetto di “organizzazione” è altresì evidente, per esempio, nel caso degli isomeri, ossia di molecole che pur essendo composte dalle medesime particelle hanno proprietà chimiche diverse, proprio a causa del fatto che queste “parti molecolari” sono spazialmente disposte in modi differenti. Anche la diversità delle specie viventi, almeno in una prima approssimazione, dipende da variazioni nel numero e nella disposizione di quattro elementi biochimici di base che costituiscono il “codice genetico”. Alla luce di queste considerazioni, un sistema organizzato si presenta all’osservatore come “*unitas multiplex*”, ossia come omogeneo nell’unità ed eterogeneo nei singoli costituenti presi individualmente. Il filosofo francese Henri Atlan (1931) afferma che l’organizzazione è un misto di varietà e di “ridondanza”, ossia di un ordine ripetitivo nella configurazione strutturale del sistema, ed all’interno di questo apparente “paradosso” può costituirsi l’idea del sistema come “unità complessa”. Ciò significa che le parti costituenti di tale sistema si aggregano in modo tale da generare un’unità, ossia un oggetto descrivibile come un blocco unitario, che è “originale”, perché possiede qualità proprie ed irriducibili, “individuale”, perché se scomposta perde di significatività e di funzionalità, ed “egemonica”, perché è solo grazie ad essa che le parti del sistema guadagnano determinate proprietà. Proprio queste ultime si possono definire come “emergenze”, perché in realtà sono qualità che finiscono per definire il sistema stesso solo a seguito delle associazioni che le sue componenti instaurano reciprocamente, facendo sì che la loro somma non sia un’addizione, ma una “integrazione” in un’unità più funzionale. In base a quanto detto, pertanto, ciascun sistema è uno e molteplice, ma la sua molteplicità può essere solamente relativa a costituenti simili e distinti allo stesso tempo: è l’esistenza di una qualche sorta di diversità tra le parti a far emergere il concetto di “organizzazione” e a permettergli di concretizzarsi attraverso l’implementazione funzionale e teleonomica delle differenze fra i singoli costituenti sistemici. Ed è proprio nei sistemi biologici che l’organizzazione di queste differenze conosce i suoi sviluppi originali, in particolare per quanto riguarda:

- 1) Lo sviluppo della “specializzazione”, ossia della suddivisione dell’organismo in più sottosistemi che adempiono, ciascuno singolarmente, un certo compito, spesso guidati da apparati di controllo che ne regolano l’attività;
- 2) Lo sviluppo delle comunicazioni e delle interrelazioni fra le singole parti, che, dotate di un’autonomia propria, cercano di cooperare per raggiungere un obiettivo spontaneamente condiviso.

Il problema, d’altro canto, è che l’idea di antagonismo tra le parti di un sistema nasconde necessariamente in sé una potenzialità disorganizzatrice dell’unità complessa, il rischio di una crisi e dell’incontrollabilità delle diversità individuali. Più è ricca la complessità organizzazionale e più è alto questo rischio, ma d’altronde è proprio grazie alla complessità delle interazioni reciproche che le parti sistemiche sono maggiormente in grado di superare la crisi e di trarne vantaggio per lo sviluppo dell’intero sistema. Di conseguenza, la crescita spontanea dell’entropia fisica, dal punto di vista organizzazionale, consiste nel passaggio sempre più marcato dalla virtualità all’attuazione delle potenzialità disgregatrici interne al sistema, che oltre certe soglie di tolleranza diventa irreversibile. L’unica possibilità di lottare contro l’effetto disintegratore degli antagonismi si concretizza proprio nell’attività del sistema, cioè, ad esempio, nell’integrazione delle divergenze a livello organizzazionale, nell’attingimento di energia dall’ambiente circostante, nella correzione dei disordini interni e nell’auto-riproduzione contro la disintegrazione della totalità. E questo, d’altronde, è proprio ciò che in termini concreti i sistemi viventi fanno.

Appendice 2: I processi informativi nei sistemi viventi

Il secondo principio della termodinamica, del quale a grandi linee abbiamo precedentemente discusso, pareva essere messo in discussione nel momento in cui il fisico scozzese James Clerk Maxwell (1831 – 1879) formulò un suo personale paradosso mentale. Maxwell descrive l’esperimento in maniera semplice e

facilmente immaginabile: si considerano due contenitori immaginari, A e B, riempiti con il medesimo gas e posti alla stessa temperatura, messi uno a fianco dell'altro e resi potenzialmente comunicanti per mezzo di una piccola botola apribile. Un piccolo “diavoletto” sta a guardia della botola, mantenendola chiusa e osservando le molecole agitarsi nei due diversi contenitori. Quando una molecola più veloce delle altre si dirige verso la botola, il diavoletto la apre e lascia che la molecola passi dal contenitore A al contenitore B. La velocità media delle molecole in B ne risulta quindi ogni volta aumentata, mentre quella delle molecole in A ne esce diminuita. Come detto in precedenza, all'aumento della velocità media delle molecole corrisponde un aumento della temperatura. Pertanto, successivi interventi del diavoletto comportano la diminuzione della temperatura in A, e l'aumento di quella in B: questo è in contraddizione con la seconda legge della termodinamica (figura A). La soluzione a questo paradosso fu formulata dal fisico ungherese Leo Szilard (1898 – 1964), nel momento in cui affermò

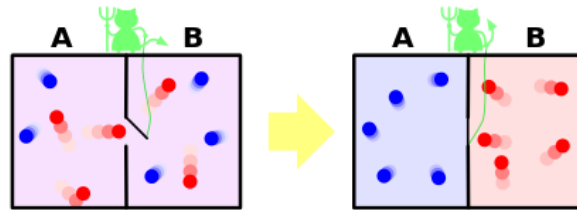


Figura A: la schematizzazione dell'esperimento mentale ideato da Maxwell per contraddire il secondo principio della termodinamica

che la sola conoscenza, da parte del diavoletto, dello stato microscopico del gas in un certo istante di tempo poteva tradursi in un'acquisizione di “informazione”, ossia di un aumento dell'entropia dell'ambiente circostante il gas. Quest'entropia non è la medesima che concettualmente fu postulata da Clausius, ma è comunque in grado di bilanciare la perdita statisticamente probabile dell'entropia “disorganizzatrice” propria del fluido in movimento in un recipiente. All'interno dei sistemi viventi, contesto nel quale ci siamo avventurati lungo questa trattazione, possiamo assistere a fenomeni nei quali l'incremento temporale di ordine sembra essere la regola, accompagnato da numerosi processi di carattere chimico nei quali ciò che sembra trasmettersi è proprio questa “informazione”. Per comprendere però cosa significhi realmente questo concetto, al di là del fatto che probabilmente ne abbiamo una vaga impressione, possiamo pensare che all'interno di un calcolatore di tipo von-Neumann, ideato in linea teorica proprio dal matematico statunitense John von Neumann (1903 – 1957) nell'ambito della teoria della computazione, il ruolo dell'informazione è svolto da simboli che, a seguito di un segnale di ingresso (input), si trasformano per mezzo di istruzioni formali (programma) in un messaggio di uscita (output). L'intero processo, che prende il nome di “computazione”, è in tal caso lineare, concatenato alle regole imposte dal programma, e l'unica possibilità per lo scienziato di intervenire sul fenomeno sta nell'interpretazione, o decodificazione, dei simboli in un linguaggio funzionale alla comunicazione umana. Per le macchine che non seguono un'architettura di tipo von Neumann, però, il significato della computazione non è banale, perché il processo di traduzione delle istruzioni della macchina in linguaggio di programmazione e viceversa non segue una diretta corrispondenza. Non esiste, infatti, un compilatore in grado di eseguire questa interpretazione “linguistica”, e la ragione di questa complicatezza sta nella complessità organizzativa di queste macchine: proprio gli esseri viventi, macchine chimiche teleonomicamente orientate, possono essere assimilati a questo tipo di apparati. Pensiamo per esempio al sistema immunitario, un insieme quasi incommensurabile di cellule e molecole che circolano nel nostro organismo e lo difendono, attraverso vari tipi di inter-comunicazioni, dagli attacchi di virus, batteri ed agenti patogeni. Tra queste “componenti”, i “linfociti” sono cellule che si formano nel midollo osseo e che si suddividono categorialmente in quelli di “tipo B”, aventi il compito di rilasciare gli anticorpi contro i virus ed i batteri, e di “tipo T”, responsabili della soppressione degli invasori e della

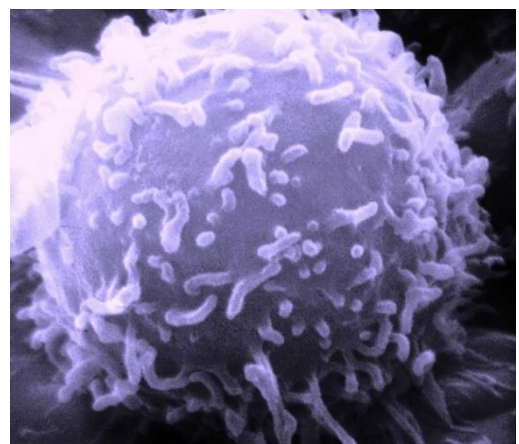


Figura B: l'immagine di un linfocita ottenuta mediante un microscopio elettronico

regolazione della risposta delle altre cellule compagne (*figura B*). Ciascuna di queste cellule ha sulla superficie delle molecole chiamate “ricettori”, mediante le quali captano altre molecole che si adattano perfettamente alla loro forma: in tal modo, possiamo dire che esse stanno ricevendo informazione dall’ambiente esterno. Se un linfocita incontrasse a caso una particolare molecola patogena, chiamata “antigene”, in grado di adattarsi ad uno dei suoi ricettori, avverrebbe che le due componenti si legassero chimicamente e iniziasse così un processo di riconoscimento che condurrebbe all’eliminazione finale del patogeno. Il problema sta nel fatto che il sistema immunitario non potrebbe, in linea di principio, dotare i suoi linfociti di ricettori in grado di coprire l’intera varietà di forme che gli antigeni potrebbero assumere, varietà che raggiunge quantitativamente un numero astronomico di casi possibili. Per risolvere il problema, la popolazione di linfociti presente nell’organismo in un dato momento è enormemente diversificata, frutto della casualità con la quale il sistema immunitario seleziona geneticamente le forme dei vari recettori molecolari. Nel momento in cui si verifica un evento di “legame”, per il quale un antigene si adatta perfettamente alla forma di uno dei recettori, il sistema deve però decidere se esso è figlio di un’azione non così dannosa per l’organismo, tale dunque da non scatenare la reazione immunitaria, oppure se è il caso di agire nella debellazione degli intrusi per scongiurare potenziali danni. Le cellule di tipo B e T, sempre del gruppo dei linfociti, lavorano assieme per determinare quando un attacco ha ragione di essere sferrato o meno: in particolare, se il numero di legami forti con gli antigeni in una cellula B eccede una data soglia e se contemporaneamente le cellule di tipo T con simili recettori danno il segnale di “via”, le prime sono attivate e rilasciano anticorpi nel sangue. Inoltre, a seguito dell’attivazione, le cellule B strettamente coinvolte migrano verso un linfonodo e lì si dividono in numerosissime cellule figlie, soggette a mutazioni casuali che alterano la forma dei recettori e testate con alcuni antigeni presenti nel linfonodo stesso. In breve, ciò a cui stiamo assistendo è un vero e proprio processo di selezione naturale, per cui, oltre ad essere creata una diversità non banale di molecole, sono premiate le cellule con i ricettori più conformi agli antigeni presenti nel corpo dell’organismo. Tutto questo processo, inoltre, è regolato da bilanci molecolari molto delicati che prevengono, ad esempio, un attacco delle cellule benigne da parte del sistema immunitario stesso, oppure un’eccessiva produzione di anticorpi per l’entità della virulenza riscontrata, fenomeni che, se debellati, ci fanno pensare a quanto complessa e spesso efficiente sia l’organizzazione delle macchine viventi. Una conseguenza del fatto che l’informazione, come in questo caso, sia codificata con una serie di pattern statisticamente variabili nel tempo, sta nel fatto che nessuna delle componenti individuali partecipanti all’organizzazione sistemica può percepire il “macrostato” verso il quale il sistema stesso è orientato. Nell’azione dei linfociti, per esempio, non vi è alcuna sorta di “consapevolezza” su quali siano le azioni combinate delle altre molecole: il compito da adempiere per ciascuna delle unità singolari è comunicato dall’ambiente stesso in modo indiretto. Il caso, anche in questo contesto, è veramente dominante, poiché la distribuzione delle componenti chimiche, patogene e non, nello spazio, oltre alla selezione delle forme per i recettori molecolari, sono eventi caratterizzati da un’alea “essenziale”, che permea le radicali dinamiche del fenomeno. Il vantaggio di sfruttare l’alea consiste nella possibilità di esplorare l’ambiente in modo efficiente, ad ampio raggio d’azione ed in breve tempo, per conseguentemente ricavarne una serie di input in grado di guidare teleonomicamente l’azione del sistema intero: è questo, in ultima essenza, il bilancio tra caso e determinismo. Come l’informazione acquisti un significato è poi un vasto e discusso argomento di dibattito per tutte le filosofie dei tempi, sul quale, possiamo dirlo, non vi è univoco accordo. Secondo l’opinione della scienziata statunitense Melanie Mitchell, da cui ho preso la sostanza di queste considerazioni, il “significato” emerge concettualmente con la selezione naturale e la sopravvivenza delle specie, per cui un dato evento si dice “significativo” se esso influenza la crescita delle abilità psico-fisiche dell’individuo che lo ritiene come tale. Ma nei sistemi complessi, in cui le parti sono in relazioni non-lineari, reticolari, e dove l’informazione viene distribuita in assenza di un leader che controlla l’azione delle componenti, ecco che emerge una sorta di “auto-consapevolezza” del sistema stesso per quanto concerne il suo posizionamento in un dato ambiente e la sua funzionalità in esso. In termini filosofici, ed in particolare riferiti al filosofo tedesco Martin Heidegger (1889 – 1976), pare proprio che le origini e le ragioni del nostro “*dasein*”, lo stare nel mondo, siano ancora razionalmente da scoprire.

Bibliografia

- Maturana H., Varela F., *Autopoiesi e cognizione: la realizzazione del vivente*, Marsilio, 1985
- Mitchell M., *Complexity: A guided tour*, Oxford University Press, 2009
- Monod J., *Il caso e la necessità*, Mondadori, 2017
- Morin E., *Il metodo: La natura della natura*, Cortina Raffaello, 2001
- Ruffaldi E., Ubaldo N., *Filosofia oggi: leggere la complessità*, Loescher, 2012
- Von Bertalanffy L., *Teoria generale dei sistemi: fondamenti, sviluppo, applicazioni*, Mondadori, 2004