

# ISSR "A. MARVELLI"

SULLE ORIGINI DELLA VITA E DEL MONDO

Rimini/San Marino, 9 - 10 Aprile 2018

***LA VITA E IL SUO MISTERO. CHE COS'È  
LA VITA?***

*Mirko Di Bernardo*

(Università di Roma "Tor Vergata" - SISRI)

# La grande domanda

- Al libro del 1944 ***Che cos'è la vita?*** di Erwin Schrödinger si ascrive il merito di aver ispirato una generazione di fisici e di biologi alla ricerca della natura fondamentale dei sistemi viventi.
- Fu Schrödinger infatti ad introdurre in biologia la meccanica quantistica, la chimica ed il concetto d'informazione (a livello embrionale).
- Egli fu l'antesignano della nostra concezione del DNA e del Codice Genetico poiché tradusse l'idea del dire nell'idea del codificare:
  - a) dato che un cristallo regolare, pur essendo ordinato, non può codificare molta informazione, la sostanza del gene, secondo lui, doveva essere una forma di ***cristallo aperiodico*** e la forma dell'aperiodicità avrebbe dovuto contenere una sorta di ***codice microscopico*** capace di controllare l'ontogenesi.
  - b) Il carattere quantistico del solido aperiodico stava a significare che si sarebbero verificati piccoli cambiamenti discreti: le mutazioni.

# La prima risposta

Il 28 febbraio del 1953 Francis Crick entrò nell' Eagle Pub di Cambridge, in Inghilterra, dichiarando di aver scoperto il segreto della vita. Il 25 aprile dello stesso anno Watson e Crick pubblicarono sulla rivista *Nature* un articolo in cui si presentava il modello della struttura a doppia elica della molecola di DNA.

Questo modello divenne una sorta di icona simbolo della rivoluzione scientifica che stava nascendo poiché grazie ad esso fu possibile comprendere il ruolo e la funzione svolti da questa misteriosa macro-molecola all'interno della cellula.

I due scienziati capirono che il DNA:

- è un “Archivio di Informazioni” che risiede nel nucleo stesso della cellula.
- contiene anche le informazioni necessarie per potersi auto-replicare.

La scoperta della doppia elica del DNA e della sua particolare proprietà di auto-replicazione, dunque, diedero nascita alla necessità di giungere ad una delucidazione della natura ultima del codice genetico. Diversi scienziati lavorarono a questo progetto ambizioso (Watson, Crick, Monod, Gamow, Nirenberg e Wilkins), un progetto che, però, venne realizzato pienamente solo a metà degli anni sessanta.

Alla fine degli anni sessanta, quindi, fu chiaro che nei sistemi biologici due meccanismi chiave connettono il linguaggio del DNA con quello delle proteine; le originali intuizioni di Schrödinger erano ormai realtà:

a) **La *trascrizione*: dal DNA allo mRNA**

b) **La *traduzione*: dallo mRNA alle proteine**

Nasceva così il ***dogma centrale della biologia molecolare***, ovvero la concezione secondo cui ad ogni gene corrisponde una proteina: il DNA, infatti, codifica le *proteine* e, successivamente, le *proteine* fanno l'*organismo*. Alla luce di tutto ciò possiamo fare due considerazioni:

1) Con la nascita della biologia molecolare si assiste alla confutazione dell'***olismo ingenuo*** (la prospettiva secondo cui lo studio delle parti può essere tralasciato poiché il tutto non è riducibile alla somma delle stesse) e all'apparente vittoria del ***riduzionismo*** (la visione secondo cui l'indagine sul tutto può essere tralasciata poiché quest'ultimo è riducibile alle parti che lo costituiscono) e del ***determinismo genetico*** secondo cui conoscendo le condizioni iniziali di un sistema (in questo caso i singoli geni di un organismo) è possibile prevederne lo stato finale (nel caso di un embrione è possibile prevedere con certezza le caratteristiche dell'organismo adulto).

2) Questa visione dunque nasconde una forma di materialismo: in fondo gli organismi viventi e l'uomo sono semplicemente il risultato della somma dei loro geni che, tra l'altro, costituiscono sequenze di acidi nucleici contenute nei cromosomi (quindi una realtà meramente fisica). Il DNA pertanto è una semplice molecola costituita da elementi chimici presenti anche nella materia non vivente.

# Cibernetica e Biologia

- Nel 1970 viene pubblicato dal biologo francese (premio nobel nel 1965) J. Monod il volume *Il caso e la necessità*, un testo che avrebbe cambiato il volto della biologia contemporanea: egli, infatti, mettendo in stretta relazione la scienza degli automi di J.von Neumann, la teoria delle macchine di A. M. Turing, la Cibernetica di N. Wiener, la teoria dell'informazione così come elaborata da Shannon e Wiener, la teoria innatistica di Chomsky e la teoria evuzionistica di Darwin, offre alla biologia la possibilità di costruire un nuovo paradigma e di individuare un codice per esso.
- L'intreccio di questi ambiti di ricerca dunque pone le basi per la configurazione della Cibernetica come scienza dell'auto-regolazione in grado di fornire i primi modelli matematici capaci di "interpretare" la realtà profonda dei processi biologici di auto-organizzazione.
- Nel suo volume Monod individua nella **teleonomia**, nella **invarianza riproduttiva** e nella **morfogenesi autonoma** le caratteristiche fondamentali degli organismi viventi. Per ragioni di brevità ci soffermeremo solo sulla morfogenesi autonoma.

# Le 3 caratteristiche fondamentali dei viventi

- 1) La **teleonomia**: *“Gli organismi viventi sono oggetti dotati di un progetto rappresentato nelle proprie strutture e realizzato mediante le proprie prestazioni”* Monod
- 2) La **morfogenesi autonoma**: *“Gli organismi viventi testimoniano un determinismo autonomo che implica una libertà quasi totale verso agenti o condizioni esterne che possono solo ostacolare questo sviluppo.”* Monod
- 3) L' **invarianza riproduttiva**: *“Gli organismi viventi sono macchine che si riproducono”* Monod. Secondo questa proprietà gli organismi viventi producono e trasmettono (senza variazioni) l'informazione corrispondente alla loro struttura: l'emittente dell'informazione (la fonte) espressa nella struttura di un essere vivente è sempre un altro oggetto identico al primo (ricevente).

# La morfogenesi autonoma

- “Un organismo vivente non deve nulla all’azione di forze esterne, mentre deve tutto (dalla forma generale, al minimo particolare) ad interazioni morfogenetiche interne all’oggetto medesimo.” Monod
- La morfogenesi autonoma, pertanto, mette in luce l’origine spontanea della forma dell’organismo: l’auto-organizzazione, ovvero quel processo che, agli occhi di Monod, si fonda su leggi misteriose.
- La struttura macroscopica degli oggetti artificiali è il frutto dell’azione di forze esterne ai materiali che li costituiscono.
- La struttura macroscopica degli esseri viventi, invece, risulta essere edificata dal carattere autonomo e spontaneo dei processi morfogenetici.
- Questo criterio ci permette di differenziare gli organismi viventi da tutti gli artefatti e da tutti gli oggetti naturali la cui morfologia macroscopica è dovuta all’azione di agenti esterni.

- I cristalli, tuttavia, costituiscono un'eccezione (sono oggetti naturali, es roccia, montagna) poiché, pur non essendo vita, sono comunque il frutto del libero gioco di forze fisiche alle quali non possiamo attribuire alcun progetto (la natura è oggettiva e non proiettiva).
- Essi sono l'espressione macroscopica di una struttura microscopica: la loro geometria caratteristica, infatti, riflette le interazioni microscopiche interne all'oggetto stesso.
- Seguendo il solo criterio dell'auto-costruzione, quindi, i cristalli verrebbero classificati tra gli esseri viventi.
- A questo punto la domanda è la seguente: quale è la natura delle forze interne che conferiscono agli esseri viventi la loro struttura microscopica?
- Le strutture degli organismi viventi rappresentano una notevole quantità di INFORMAZIONE di cui resta solo da identificare la fonte. Ancora una volta, le intuizioni di Schrödinger si sono rivelate, potremmo dire, "gravide di futuro".
- Tra la vita e la non vita, pertanto, vi è una continuità quantitativa e materiale (le cellule sono fatte di atomi e molecole), ma una discontinuità qualitativa: la qualità dell'informazione fa la differenza.



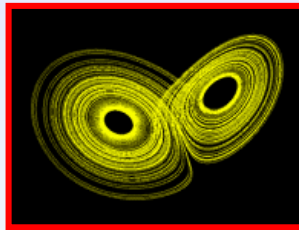
# L'auto-organizzazione come Programma genetico

- La dottrina della morfogenesi autonoma di Monod individua nel meccanismo morfogenetico la base sia della teleonomia, sia dell'invarianza riproduttiva poiché consente agli organismi viventi la conservazione e la moltiplicazione delle specie.
- L'organizzazione globale di un organismo complesso è già contenuta nella struttura dei suoi costituenti e diviene attuale grazie alle loro interazioni, pertanto la struttura compiuta non è pre-formata in alcun luogo, ma il suo progetto è presente fin dal concepimento.
- La struttura compiuta, quindi, si realizza senza immissione di informazioni nuove poiché l'informazione è presente (ma inespressa) nei costituenti e si rivela solo durante lo sviluppo.
- L'essenza dell'auto-organizzazione, quindi, agli occhi di Monod, risiede nel concetto di programma genetico (modello cibernetico applicato alla biologia molecolare): una guida invisibile in grado di dirigere l'organismo e di spiegarne, quindi, lo sviluppo.

- Il Programma genetico, quindi, viene concepito come un programma di sviluppo della cellula racchiuso all'interno del genoma. In questo programma scritto con l'alfabeto dei nucleotidi, dunque, risiedono, per Monod, la fonte e l'apparente finalità dello sviluppo biologico.
- Secondo un certo parallelismo è allora possibile paragonare il materiale genetico di un ovulo al nastro magnetico di un calcolatore. Seguendo questa logica, quindi, l'organismo vivente viene paragonato ad una macchina: i geni costituiscono l'informazione genetica presente nel genoma da cui dipende la formazione delle proteine e quella dell'organismo. Immediatamente dopo il concepimento, infatti, esiste in essenza un programma completo di sviluppo di un nuovo essere vivente, un programma, vale a dire, che ha la peculiarità di essere singolare e discriminante di ogni organismo.
- Da un lato, quindi, il computer programmato rappresenta, per Monod, un modello perfetto di macchina finalizzata non cosciente e non intenzionale in grado di realizzare un compito in maniera perfettamente deterministica, cioè prevedibile, dall'altro la struttura molecolare del DNA e delle proteine può essere interpretata come un messaggio codificato in cui i meccanismi di replica del DNA e della sintesi delle proteine sono trattati come casi specifici di trasmissione dell'informazione lungo canali di comunicazione applicando la teoria dell'informazione: come in un computer, infatti, l'origine delle determinazioni finalizzate in un organismo vivente si trova in un programma inserito nei geni.

# I sistemi complessi

- Nel 1963 ha luogo un evento che di lì a poco avrebbe contribuito a cambiare sensibilmente il modo di guardare la realtà in tutte le scienze, compresa la fisica: Edward Lorenz scopre il caos deterministico le cui basi erano state poste già da Poincaré nel 1889 con il problema dei tre corpi.
- Lorenz mostrò come per avere un comportamento caotico di un sistema dinamico fosse sufficiente un modello assai semplice di equazioni differenziali non lineari. In questo caso, infatti, nonostante il rigoroso determinismo della legge di Newton, ci si trova di fronte ad un comportamento caotico del sistema provocato dall'estrema sensibilità delle soluzioni delle equazioni alle condizioni iniziali.



- Accade che due stati prossimi quanto si vuole, si allontanano esponenzialmente col tempo. Dall'impossibilità, non solo pratica, ma di principio, di definire le condizioni iniziali con precisione infinita, discende dunque una sostanziale imprevedibilità dello stato del sistema che diventa sempre meno dominabile con il crescere dell'intervallo di tempo trascorso dall'istante iniziale.

- Nascono così in tutte le discipline degli anni 60 e 70 (parallelamente agli studi di Monod) nuovi linguaggi adatti a rappresentare le proprietà dei sistemi caratterizzati da una complessità funzionale e strutturale che impedisce di dedurle da quelle dei loro componenti.
- Esse si basano sull'insufficienza del riduzionismo come unico metodo scientifico valido accettando l'irriducibilità dei diversi livelli di organizzazione di tali sistemi e l'impossibilità di trovare spiegazioni esaurienti delle loro proprietà senza ricorrere a categorie storico-evolutive (organismi biologici, la mente, l'organizzazione sociale, le economie).
- Questo nuovo modo di indagare la realtà che è stato definito da alcuni studiosi la "sfida della complessità" porta a ritenere che i fenomeni semplici, manifestazioni di leggi naturali universali, che per la scienza classica erano la regola, siano in realtà rare eccezioni.
- Tutto ciò impone, allora, una nuova caratterizzazione del tempo: il tempo della meccanica classica e relativistica è una semplice variabile nelle equazioni del moto, fluisce in modo uniforme, non è apportatore di novità, in quanto tutta l'informazione è contenuta nelle condizioni iniziali. Oggi invece si impone un nuovo concetto di tempo, poiché la maggioranza dei fenomeni chimici, fisici e biologici non si spiegano in termini di "leggi" ma di "processi", in cui il tempo è continuamente apportatore di nuove informazioni, poiché nel tempo si determinano le "scelte" del sistema, che vanno a costituire la sua "storia", secondo una evoluzione non predicibile a partire dalle condizioni iniziali.

# I sistemi complessi in Biologia

Ad Ilya Prigogine, premio Nobel nel 1977, si deve l'applicazione dei sistemi complessi all'ambito biologico; in particolare, egli si è occupato dello studio di sistemi ordinati in non-equilibrio. Un esempio di struttura continua in non-equilibrio è dato dalla Grande Macchia Rossa di Giove che è essenzialmente un sistema di tempeste presente da diversi secoli. Si tratta di un'organizzazione stabile di materia ed energia attraverso cui entrambe fluiscono. La similitudine con un organismo umano le cui componenti molecolari cambiano molte volte durante il corso della vita è suggestiva.

I sistemi termodinamici in non equilibrio, quindi, sono alimentati dalla costante dissipazione di materia ed energia, pertanto vennero chiamati da Prigogine **Strutture Dissipative**, ovvero sistemi in cui il flusso di materia ed energia diviene una forza trainante in grado di generare ordine:

*“Questo è uno stato di cose paradossale che sfida la nostra intuizione del comportamento delle popolazioni numerose. Al caos indifferente dell'equilibrio segue un caos creatore simile a quello evocato da alcuni presocratici, un caos fecondo, da cui potenzialmente possono uscire differenti strutture.”* (Prigogine, Stengers, *La nuova alleanza*, 1979).

I sistemi viventi, dunque, in accordo a Prigogine, sono strutture dissipative (vortici metabolici complessi). Le cellule, infatti, sono strutture dissipative in non equilibrio, ovvero sistemi chimici complessi che metabolizzano di continuo le molecole nutritive per mantenere la loro struttura interna e riprodursi. Invece, per la maggior parte delle cellule l'equilibrio corrisponde alla morte.

Per Prigogine, quindi, vi è uno stretto legame tra auto-organizzazione e distanza dall'equilibrio, tuttavia la vita costituisce un eccezionale stato della materia: "La vita con la sua coerenza caratteristica sembra appartenere ad un tipo di regime intermedio. La distanza dall'equilibrio è sufficiente ma non eccessiva, cosicché si evita la distruzione della delicata configurazione necessaria a mantenere le normali funzioni viventi."

Lo stato vivente della materia, dunque, è uno stato di transizione tra ordine e caos: la vita infatti emerge proprio sull'orlo del caos, dove cioè la materia diviene in grado di percepire e comunicare.

La vita pertanto si trova in uno stato intermedio tra l'ordine del cristallo ed il disordine dell'anello di fumo, è proprio lì infatti che emergono i comportamenti complessi. (il cristallo a-periodico di Schrödinger ha anticipato la storia).

A partire dagli studi di Prigogine, quindi, ha inizio quella che alcuni studiosi chiamano la scienza della complessità, la quale, in ambito biologico, si svilupperà negli anni novanta grazie anche al notevole contributo offerto dalle ricerche portate avanti presso il Santa Fe Institute dal biochimico S. Kauffman.

Kauffman, infatti, nel volume del 1995 dal titolo *A casa nell'universo. Le leggi del caos e della complessità* così scrive: *“Proprio in mezzo, proprio vicino alla transizione di fase, proprio ai confini del caos, possono verificarsi i comportamenti più complessi: abbastanza ordinati da assicurare una stabilità, ma pieni di flessibilità e sorprese. Questo è veramente ciò che intendiamo per complessità”*.

Nell'ambito della Teoria della Complessità, pertanto, in accordo con Kauffman, la vita appare come *“un fenomeno emergente che si sviluppa quando la diversità molecolare di un sistema chimico pre-biotico supera un dato livello di complessità. Se questo è vero, allora la vita non si trova nelle proprietà individuali di ogni singola molecola (nei dettagli) ma è una proprietà collettiva di sistemi di molecole interagenti tra loro. In quest'ottica, la vita è emersa per intero ed è sempre rimasta un tutt'uno. In quest'ottica, essa non deve essere ricercata nelle sue parti, ma nel complesso delle proprietà emergenti che creano il tutto. [...] Nel tutto che emerge e si auto-riproduce non è presente alcuna forza vitale o sostanza estranea. E tuttavia, il sistema complessivo possiede una sorprendente proprietà che è assente in ognuna delle sue parti: può riprodurre se stesso ed evolversi. Il sistema complessivo è vivo, mentre le sue parti non sono altro che molecole chimiche.”* (Kauffman, 1995).



Alla luce di tutto ciò, dunque, possiamo affermare che i sistemi biologici sono **sistemi complessi, non lineari** (impredicibili), **dissipativi** (che scambiano energia con l'esterno), capaci di **GENERARE INFORMAZIONE** (dal caos si genera l'ordine): *nelle dinamiche caotiche è possibile separare i flussi energetici da quelli informativi, reciprocamente indipendenti.* (Cfr. R. Shaw, "Strange Attractors, Chaotic Behavior, and Information Flow", 1981).

I sistemi viventi, quindi, sono sistemi complessi che generano costantemente nuova informazione. La vita, allora, non può essere più spiegata attraverso l'idea monodiana di un compromesso tra caso e necessità, invarianza e metamorfosi, bensì può essere "interpretata" come un ordine che, emergendo dal caos, è in grado di auto-assemblarsi in modi sempre diversi producendo altresì un tipo di informazione non più misurabile attraverso la tradizionale teoria di Shannon e Wiener basata, cioè, su un tipo di matematica di ispirazione platonica. A differenza di quanto pensava Monod, infatti, in un sistema complesso la novità dell'informazione è intrinseca alla dinamica del processo (per esempio nell'ontogenesi). In altre parole, il sistema ridefinisce continuamente lo spazio delle alternative e non può essere in alcun modo paragonato ad un programma che, come è noto a tutti, si basa su regole predefinite a priori. Si passa così dal modello deterministico in cui tutto è platonicamente prestabilito (es. le idee immutabili presenti nell'Iperuranio), all'interpretazione del DNA come sistema complesso capace di creare sempre nuovi significati (informazione qualitativamente sempre differente). La nuova visione allora sarà quella legata non più ad un **programma fisso**, bensì ad un **fascio di capacità** (possibilità imprevedibili), vale a dire a regole capaci di auto-regolarsi e di mutare in relazione all'ambiente.



# Invito alla lettura

## Testi introduttivi:

- G. Boniolo, P. Vidali, *Introduzione alla filosofia della scienza*, Mondadori, Milano 2003;
- T. Pievani, *Introduzione alla filosofia della biologia*, Laterza, Roma-Bari 2005;
- A. Borghini, E. Casetta, *Filosofia della biologia*, Carocci Editore, Roma 2013;
- M. Di Bernardo, *Per una rivisitazione della dottrina monodiana della morfogenesi autonoma alla luce dei nuovi scenari aperti dalla post-genomica*, Dialegesthai, Aracne, Roma 2007;
- D. Saccoccioni, M. Di Bernardo, *Caos ordine e incertezza in epistemologia e nelle scienze naturali*, Mimesis, Milano 2011.

# Invito alla lettura

## Testi classici:

- E. Schrodinger (1944), *Che cos'è la vita?*, Sansoni, Firenze, 1970.
- C. E. Shannon, W. Weaver, "The mathematical theory of communication", Urbana: University of Illinois Press 1949;
- J. Monod, *Il caso e la necessità*, Mondadori, Milano 1970;
- F. Jacob, *La logica del vivente. Storia dell'ereditarietà*, Einaudi, Torino, 1971;
- I. Prigogine, I. Stengers, *La nuova alleanza. Metamorfosi della scienza*, Einaudi, Torino 1979;
- R. Shaw, "Strange Attractors, Chaotic Behavior, and Information Flow", in *Z. Naturforsch.*, 36a, 1981, pp. 80-112;
- S. Kauffman, *The Origins of Order*, Oxford University Press, New York 1993.