

**ORIGINS: LE GRANDI DOMANDE SU COSMO,  
VITA E INTELLIGENZA NELLA SCIENZA, NELLA FILOSOFIA  
E NELLE CULTURE**

**II ANNO: DOMANDE SULLA VITA E EMERGENZA DELLA  
COMPLESSITÀ (A.A. 2021-22)**

30 ottobre 2021, *L'origine della vita e le relazioni nell'organismo: dalla chimica alla biologia,*

Paolo **Tortora**, Università di Milano Bicocca

4 dicembre 2021, *Emergenza dell'ordine e della complessità: il ruolo dell'informazione,*  
[Alberto Strumia](#), già ordinario di Fisica e  
Matematica, [Mirko Di Bernardo](#), Università di  
Roma Tor Vergata

12 febbraio 2022, *La generazione dei viventi:  
scienza, filosofia e religione,*

Antonio **Clericuzio**, Università di Roma Tre



26 marzo 2022, *Dio come vivente: la prospettiva della Rivelazione ebraico-cristiana,*  
Giulio **Maspero**, Pontificia Università della Santa Croce di Roma



Scuola Internazionale Superiore  
per la Ricerca Interdisciplinare  
([www.sisri.it](http://www.sisri.it))

*Albertus Magnus Interdisciplinary Study Program*

**Emergenza dell'ordine  
e della complessità.  
Il ruolo dell'informazione  
(2<sup>a</sup> Parte)**

**Alberto Strumia**  
([www.albertostrumia.it](http://www.albertostrumia.it))

# DOMANDE

- Il tutto è riducibile alla somma delle sue parti?
- Possono l' ordine e l' organizzazione di un sistema complesso fisico e particolarmente in un vivente originarsi solamente dal caso?
- Che ruolo ha l' informazione?

# Sommario

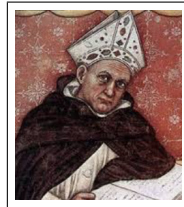
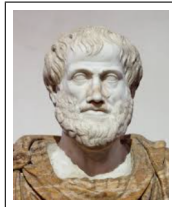
## Premessa

1. Il passaggio dal riduzionismo alla complessità
2. Indecidibilità e non computabilità: non tutto è dimostrabile / calcolabile
3. L'informazione nel passaggio alla biologia: casualità, ordine e organizzazione

## Premessa

Assistiamo “quasi silenziosamente” da più di un secolo a qualcosa di inatteso sia da parte degli uomini di scienza che di quelli di filosofia interessati.

È qualcosa che accade all'interno delle scienze, ma pur comparando nelle pubblicazioni specialistiche, come anche in alcune di quelle divulgative, sembra nascondere ancora tutta la sua effettiva rilevanza filosofica.



Si tratta dell'emergere, dall'interno delle discipline scientifiche, sotto forma di teoremi, o almeno di ipotesi di lavoro, di risultati logici e ontologici (metafisici) già noti, almeno in parte, ad Aristotele prima, e ad Alberto Magno e Tommaso d'Aquino poi.



Risultati oggi ri-trovati rigorosamente con i nostri più avanzati metodi scientifici, che fanno ricorso alle conoscenze e agli strumenti dei quali disponiamo come

- l' informatica e il computer
  - la logica matematica
  - la fisica dei sistemi non lineari e complessi
  - la biologia molecolare e la bioinformatica
  - le scienze cognitive: conoscenza e autocoscienza (naturale / artificiale)
- 

Alcuni uomini di scienza sono stati maggiormente consapevoli, fin dal suo inizio, di questa (ri-)scoperta – nuova – di risultati dal sapore aristotelico e tomista.

Altri meno consapevolmente (per non conoscenza storica) li hanno acquisiti come esclusive scoperte inedite e mai, in qualche modo, note prima di loro.

Col senno di poi possiamo accorgerci che il punto di vista odierno è illuminante anche sulla portata delle idee filosofiche più antiche e viceversa.

La cosa interessante, per gli uomini di scienza,  
è il fatto che tali risultati emergono dall'interno delle scienze in forma tecnica,  
come teoremi o, almeno come ipotesi metodologicamente coerenti  
con il vigente metodo scientifico.

Segnalo, per accenni appena, alcuni passaggi rilevanti che hanno segnato  
la “recente” (fine XIX, XX e inizio XXI secolo) storia delle scienze orientando,  
dall'interno, i risultati delle scoperte sia teoriche che sperimentali verso  
una teoria dei fondamenti (logica e metafisica) che si avvicina alla  
logica e metafisica di Aristotele e Tommaso.

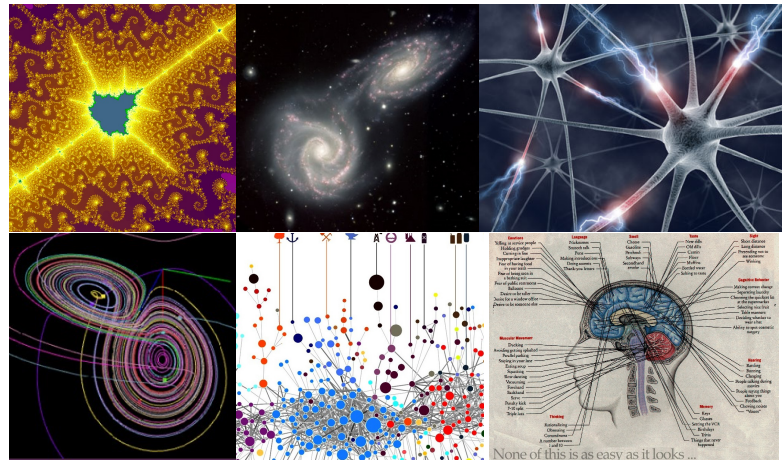
1. Il passaggio dal riduzionismo alla complessità:  
e la (ri-)scoperta dell' irriducibilità tra il tutto e le parti  
(forma / informazione che caratterizza il tutto come tale)
2. L' indecidibilità e non computabilità: non tutto è dimostrabile / calcolabile  
(universale / singolare – compattazione delle stringhe)
3. La teoria dell'informazione: passaggio dalle telecomunicazioni alla biologia

# La complessità

Si tratta di una problematica trasversale che coinvolge un po' tutte le scienze.

Oggi essa affiora nelle scienze:

- matematiche
- informatiche
- fisiche
- biologiche
- cognitive
- economiche
- . . . . .



in quanto sembra collocarsi al livello

dei fondamenti comuni a tutte le scienze piuttosto che ad una sola.

Ampliando un po' gli orizzonti ... potremmo chiamarli i

Fondamenti  $\left\langle \begin{array}{c} \text{logici} \\ e \\ \text{ontologici} \end{array} \right\rangle$  delle scienze

La metafisica (ontologia formale) si presenta, in quest'ottica,  
come Teoria dei fondamenti delle scienze.

---

A questo livello il problema

è insieme  $\left\{ \begin{array}{l} \text{scientifico: riguarda} \left\{ \begin{array}{l} \text{l'esperienza (osservazione)} \\ \text{la teoria (formulazione-spiegazione)} \end{array} \right. \\ e \\ \text{filosofico: riguarda} \left\{ \begin{array}{l} \text{le cose (mondo reale)} \\ \text{la conoscenza (mondo mentale)} \end{array} \right. \end{array} \right.$

Quello che è interessante è il dato, a cui non siamo più abituati da secoli: il dover constatare come

le problematiche filosofiche  $\left\{ \begin{array}{l} \text{logiche} \\ \text{e} \\ \text{ontologiche} \end{array} \right.$

oggi emergano dall'interno delle scienze (come problema scientifico)

- per un'esigenza di metodo e
- per superare delle contraddizioni interne

e non come una giustapposizione esterna, facoltativa, estranea al metodo scientifico stesso.

## 2. La scoperta della indecidibilità e della non computabilità: universale e singolare (compattazione delle stringhe)

KURT GÖDEL (1931)



### PROPOSIZIONI INDECIDIBILI

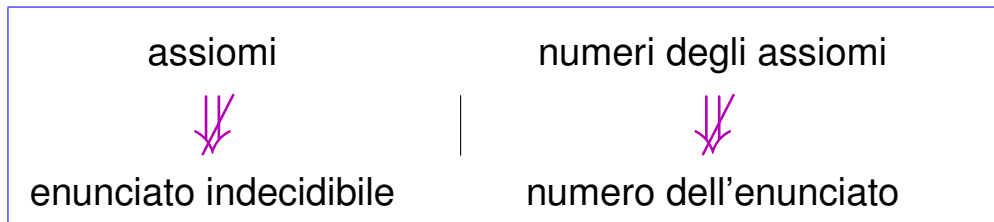
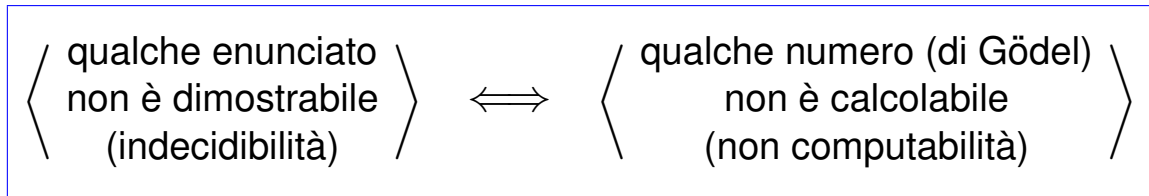
Con il famoso teorema sulle proposizioni indecidibili Gödel sconvolse le idee degli scienziati del suo tempo, mostrando che non tutti gli enunciati veri che si possono formulare in un sistema assiomatico, sufficientemente “ricco”, possono essere dimostrati.

Per cui esistono più enunciati veri (decidibili sperimentalmente o per rivelazione) di quelli che possiamo dimostrare essere tali dall'interno di un sistema.

Conseguenze: 1) – Poiché, con il metodo della numerazione di Gödel

- ogni enunciato può essere codificato da un numero
- e ogni dimostrazione codificata come un calcolo numerico

questo risultato significava anche che non tutti i numeri possono essere ottenuti mediante un processo di calcolo.



Conseguenze: 2) – Ci sono numeri che si possono ottenere solo elencando l'insieme delle loro cifre una dopo l'altra, perché non esiste nessuna formula più breve (legge) che permette di calcolare data una loro cifra, quella successiva.

GREGORY CHAITIN (1936)



## COMPLESSITÀ IRRIDUCIBILE

Gregory Chaitin ha espresso questo in linguaggio informatico odierno in termini di stringhe non comprimibili

ovvero di programmi per computer (algoritmi) le cui stringhe di istruzioni non possono essere codificate in una stringa più corta.

Ogni stringa di istruzioni è una sequenza simboli che con la numerazione di Gödel si rappresenta con un numero: se il numero non è computabile non esiste una formula più breve dell' elenco delle sue cifre per per calcolarlo.





Mettendosi in questa prospettiva sembrerebbe che:

- dire con il linguaggio odierno che non possiamo elaborare una teoria del tutto che ci consenta di calcolare tutti i singoli dati
- per gli antichi equivalesse all'assioma *De singularibus non est scientia*.

$$\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, \dots\}, \quad x_n = ?$$

---

Per cui solo una mente infinita come quella divina può conoscere i singolari nella loro totalità e nelle loro cause individuali.

Mentre una mente finita, come quella umana conosce i singolari mediante gli universali, comprimendo stringhe lunghe in stringhe più brevi  $p(x)$ .

$$\{x \mid p(x)\}$$

E risale alle cause (dimostra, spiega) mediante il calcolo (ragionamento).

Mettendosi in questa prospettiva sembrerebbe che:

- dire con il linguaggio odierno che non possiamo elaborare una teoria del tutto che ci consenta di calcolare tutti i singoli dati
- per gli antichi equivalesse all'assioma *De singularibus non est scientia*.

$$\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, \dots\}, \quad x_n = ?$$

---

Per cui solo una mente infinita come quella divina può conoscere i singolari nella loro totalità e nelle loro cause individuali.

Mentre una mente finita, come quella umana conosce i singolari mediante gli universali, comprimendo stringhe lunghe in stringhe più brevi.

Tutto questo ha a che fare con le nozioni di informazione e di forma.  
Oggi ci si è accorti che non tutte le informazioni sono ottenibili con algoritmi di calcolo.

La domanda che sorge è se gli enti  
del nostro mondo (fisico e biologico) osservabile siano

- tutti spiegabili
- oppure no

in termini di informazioni algoritmiche, che ne costituiscono la

- definizione (logica)
- e l' essenza (ontologia)

contribuendo

- a costruirne la struttura organizzata (essere)
- a governarne la dinamica (divenire)
- e la capacità operativa (natura)

### 3. L'informazione in biologia: casualità, ordine e organizzazione

1) – Il DNA e i codici biologici sono tutti comprimibili in algoritmi di complessità irriducibile o sono già essi stessi le stringhe più brevi?

---

2) – Che ruolo giocano il caso e l'informazione nella generazione

– di strutture ordinate organizzate (fisiche e biologiche)

– di una dinamica finalizzata (accrescimento, auto-conservazione, riproduzione, apprendimento)  
e non puramente caotica?

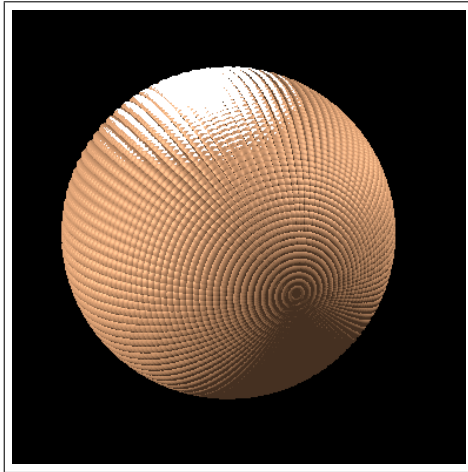
→ Il caso può nascondere l'ordine e la finalità dovuti all'informazione (forma)  
che orienta

– la costruzione di una struttura ordinata

– e una dinamica teleonomica.

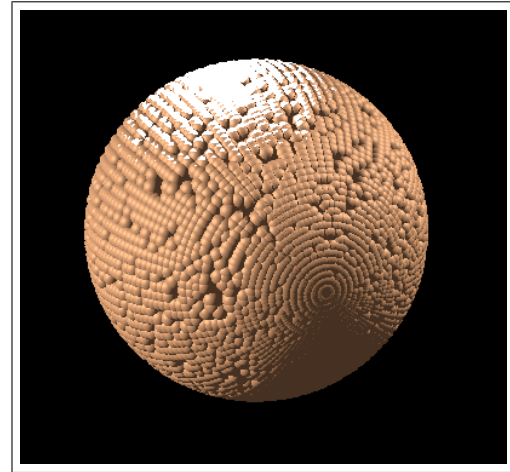
L' informazione che genera ordine può essere nascosta dalla casualità nell'assegnazione delle condizioni iniziali

●●● STRUTTURA NON COMPLESSA ●●●



Ordine osservabile genera ordine

ANIMAZIONE

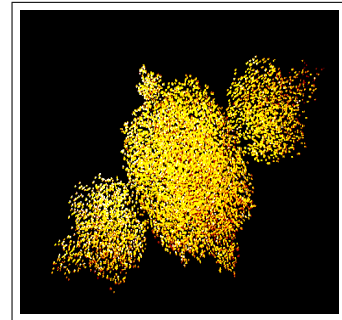
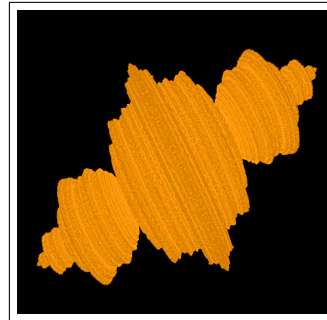
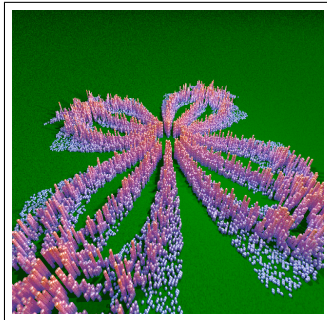
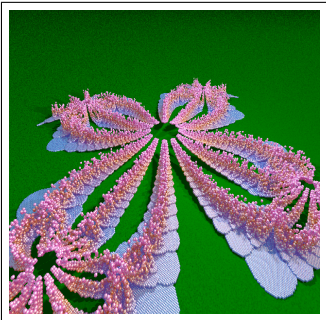


Ordine nascosto dal caso genera ordine

ANIMAZIONE

L' informazione che genera ordine può essere nascosta dalla casualità nell'assegnazione delle condizioni iniziali

## ●●● STRUTTURE COMPLESSE ●●●



ANIMAZIONE 1

ANIMAZIONE 2

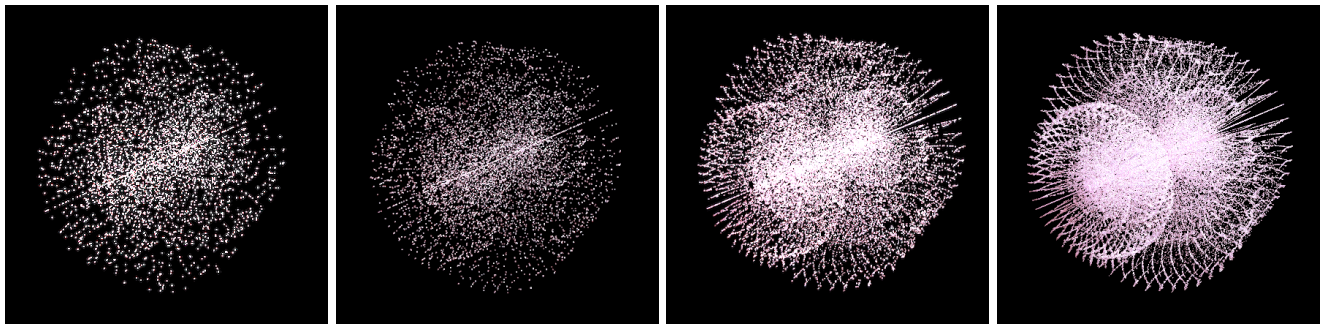
ANIMAZIONE 3

ANIMAZIONE 4

Ordine osservabile genera ordine

Ordine nascosto dal caso genera ordine

Oggi sappiamo che l'assegnazione casuale delle condizioni iniziali di un processo di costruzione di una struttura (attrattore) guidato da un' informazione codificata in un algoritmo (legge, programma) può nascondere un ordine e un' organizzazione che emergono gradualmente nel tempo, come un vivente che prende la sua forma a partire da un grumo di cellule iniziali apparentemente prive di ordine nella loro disposizione esterna.



ANIMAZIONE



In biologia, però, le cellule si riproducono l' una vicina all'altra (contiguità)

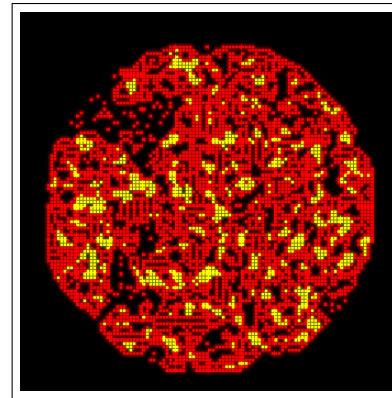
– a caso quanto alla collocazione della cellula figlia (destra-sinistra, sopra-sotto)

– ma guidate da un' informazione ordinatrice in vista della struttura ordinata dell'organo che devono generare.

Fino dalla nascita del computer si è cercato un primo livello di modellizzazione di questo tipo di comportamento con i cosiddetti automi cellulari.



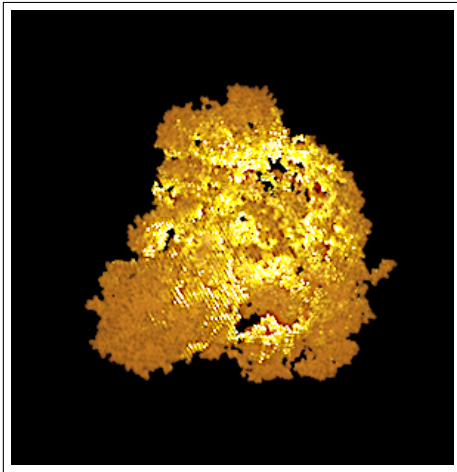
ANIMAZIONE



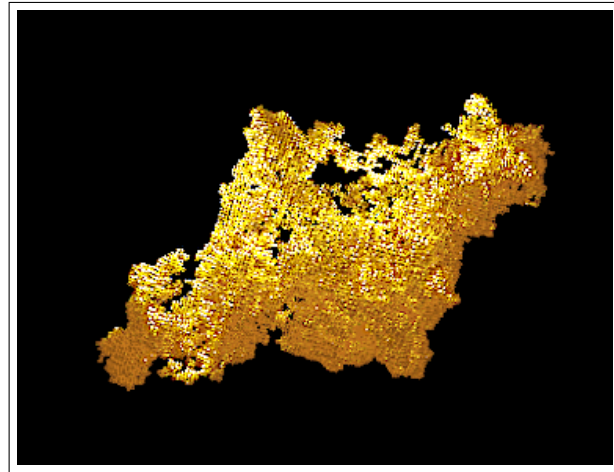
ANIMAZIONE

Nelle animazioni precedenti prevale l'elemento casuale e le strutture che si ottengono sono scarsamente ordinate

Nelle animazioni sottostanti, invece l'informazione determina in modo evidente una struttura organizzata ben precisa.



ANIMAZIONE



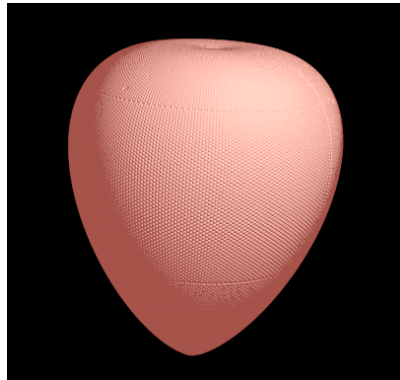
ANIMAZIONE

Che tipo di processo di generazione di elementi contigui (automi cellulari)

- casuale nelle condizioni iniziali
- ma guidato da un' informazione (forma) organizzatrice e ordinatrice

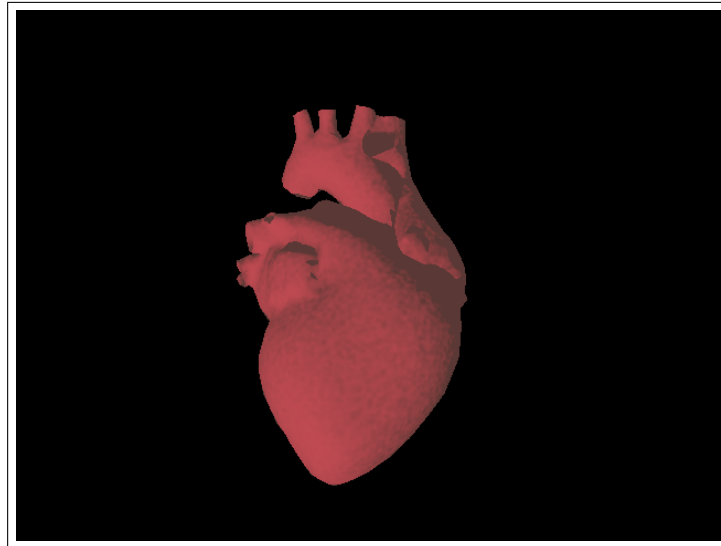
accade quando una cellula staminale rigenera un intero organo o uno zigote genera un'intero vivente?

Si tratta di un' informazione compressa in una stringa di codice genetico computabile e riproducibile artificialmente come un programma di computer o di un informazione dalla complessità irriducibile?



ANIMAZIONE

Una grafica più realistica, che non arriva al livello delle singole cellule (ma solo di porzioni macroscopiche), si ottiene partendo da una stringa nella quale le singole porzioni sono elencate singolarmente una per una senza compressione della stringa (stringa irriducibile?).



ANIMAZIONE

## In conclusione

- 1) – Lo studio delle strutture e delle dinamiche dei sistemi complessi richiede l'introduzione di un principio di unità del tutto irriducibile alla somma delle parti
- 2) – Tale principio è stato individuato nell' informazione (immateriale) che guida la costruzione di un tutto dotato di ordine, organizzazione nella struttura e finalità nella dinamica
- 3) – L' informazione non è sempre comprimibile in un algoritmo che ne compatta la stringa del codice (complessità irriducibile)
- 4) – La nozione di informazione in tutta la sua ricchezza sembra ben confrontabile con quella di forma aristotelica.

[www.albertostrumia.it/chance-order-biology](http://www.albertostrumia.it/chance-order-biology)

A. Strumia, [From fractals and cellular automata to biology. Information as Order Hidden Within Chance](#), World Scientific, Singapore 2020.

# Seminario Permanente

SCUOLA INTERNAZIONALE SUPERIORE PER LA  
RICERCA INTERDISCIPLINARE (SISRI)

ROMA, 4 DICEMBRE 2021

***EMERGENZA DELL'ORDINE E DELLA  
COMPLESSITA': IL RUOLO  
DELL'INFORMAZIONE***

*MIRKO DI BERNARDO*

(UNIV. ROMA "TOR VERGATA" - UNICUSANO)

MIRKO.DI.BERNARDO@UNIROMA2.IT



# Instabilità dinamica e ordine naturale

- ▶ L'idea fondamentale che è alla base dei lavori della scuola di Bruxelles è che l'irreversibilità risulta strettamente legata alla nozione di instabilità dinamica. Nella predizione del comportamento dei sistemi instabili, infatti, non è la nostra mancanza di conoscenza ad essere in gioco, bensì la natura dinamica del sistema (Nicolis and Prigogine, 1977). Pertanto, è l'instabilità dinamica che è all'origine della nozione di probabilità e non viceversa. Per chiarire il senso di quest'affermazione basterà ricordare come, per Prigogine (1980), sottoponendo un sistema di tipo particolare ad una data costrizione possiamo avere come risultato un aumento di entropia correlato, nel contempo, al delinearsi di un fenomeno d'ordine (Prigogine, 1988). Il meccanismo che sottostà a questo tipo di fenomeno è, essenzialmente, un meccanismo di amplificazione delle fluttuazioni. Lontano dall'equilibrio si dà un'amplificazione delle fluttuazioni che apre la via ad una serie di possibilità variate.



# La termodinamica del non-equilibrio

- ▶ La termodinamica di non equilibrio si occupa, segnatamente, dei sistemi che presentano scambi con l'ambiente, sistemi in cui la variazione di entropia è legata non soltanto ai processi che si verificano all'interno del sistema, ma anche ai flussi di energia e di materia tra sistema ed ambiente. In questo tipo di sistemi la grandezza decisiva non è più l'entropia, ma la produzione d'entropia, la variazione d'entropia per unità di tempo in relazione ai processi che avvengono all'interno del sistema (Carsetti, 2000). Come è noto, a partire dal 1967, Prigogine definisce tali sistemi strutture dissipative, ovvero strutture che corrispondono ad una forma di organizzazione supermolecolare. In tali sistemi, dunque, diversamente dai sistemi termodinamici in equilibrio in cui l'equilibrio è associato con la caduta verso lo stato più probabile e meno ordinato, il flusso di materia e di energia costituisce una forza trainante che genera ordine.



# Ordine naturale ed ordine biologico

- ▶ Applicando questa teoria alla biologia, seguendo le riflessioni dello studioso russo, si può inferire che le strutture si adattano alle condizioni esterne, mostrando un tipo di meccanismo di adattamento pre-biologico e che in condizioni di lontananza dall'equilibrio la materia comincia ad essere capace di percepire differenze nel mondo esterno (quali campi gravitazionali od elettrici); ciò non potrebbe avere senso alcuno in condizioni d'equilibrio, poiché all'equilibrio la materia è cieca (Prigogine and Stengers, 1979). In questa prospettiva la vita appare molto meno contrapposta alle leggi normali della fisica, molto meno in lotta contro di esse per evitare il suo normale destino, che sarebbe la sua distruzione. Al contrario, la vita sembra esprimere in qualche modo proprio le condizioni in cui è immersa la nostra biosfera, se si tiene conto di tutte le non linearità delle reazioni chimiche e le condizioni di lontananza dall'equilibrio che la radiazione solare impone alla biosfera (Prigogine and Stengers, 1984).



# Leggi del caos e ontogenesi

- ▶ Nel corso di alcuni lavori sulle leggi del caos Prigogine ed altri studiosi hanno mostrato come le reti booleane siano modelli logico-matematici (anche se limitati) di un'ampia classe di sistemi dinamici non lineari (Nicolis and Prigogine, 1989). Gli attrattori di queste reti possono simulare il naturale oggetto di interesse. Da un punto di vista biologico, in accordo con Kauffman (1993, 1995), è possibile ipotizzare che questi attrattori corrispondano ai tipi cellulari, mentre da un punto di vista conoscitivo risulta possibile interpretare tali attrattori come la naturale classificazione che la rete fa del mondo esterno. Queste scoperte rappresentano un prudente allargamento dei risultati ottenuti nel campo della termodinamica di non-equilibrio. In particolare è importante precisare, a questo proposito, che tale allargamento riguarda, prima di tutto, la natura e la dinamica dei processi di differenziamento, il collegamento, in prospettiva, che esiste tra questi ultimi processi e la successiva formazione di particolari bacini di attrazione. Stando così le cose, dunque, a mio giudizio, risulta possibile affermare che Kauffman, utilizzando il linguaggio della Dinamica per interpretare i fenomeni biologici, mette a punto un modello matematico (plausibile da un punto di vista biologico) capace di inserire il mistero dell'ontogenesi in un quadro teorico più ampio in cui la biologia si trova improvvisamente in "dialogo" con altri saperi come per esempio la matematica, la fisica, la teoria del caos, l'informatica e la teoria dei sistemi. Ebbene, in questo contesto, attraverso la teoria delle reti booleane costruite casualmente, il biochimico statunitense risponde in modo definitivo all'esigenza di costruire un nuovo paradigma organicistico non vitalista dello sviluppo in cui la biologia sia in grado di acquisire un potere di spiegazione logica e matematica che avevano sempre avuto le scienze fisiche (Waddington, 1970).



# L'approccio sistemico alla complessità biologica

- ▶ Con tale spirito Kauffman, donando un codice matematico ed un nuovo metodo di approccio alla biologia, offre, al contempo, un modello efficace in grado di superare la dicotomia classica tra meccanicismo e vitalismo il quale può essere riassunto in modo schematico nei seguenti punti:
- ▶ a) la vita è un fenomeno non determinabile univocamente dalle leggi fisico-chimiche cui pure è vincolato;
- ▶ b) non esiste tuttavia neppure una proprietà speciale della vita, un principio immateriale che ne diriga il corso;
- ▶ c) il segreto di funzionamento dei sistemi viventi è la stratificazione di livelli evolutivi, irriducibili l'uno all'altro ma interagenti;
- ▶ d) il passaggio da un livello ad un altro corrisponde al succedersi di proprietà emergenti, prodotte dalle interazioni fra le diverse unità evolutive di ciascun livello;
- ▶ e) l'oggetto vivente nella sua interezza è dato dalla sua organizzazione morfologica e funzionale;
- ▶ f) questa organizzazione vitale è in un rapporto al contempo di continuità e di autonomia rispetto ai principi fisici (Kauffman 2021).



# La vita come fenomeno emergente

- ▶ Alla luce di tutto ciò, quindi, la visione sistemica di Kauffman può essere ben riassunta, in accordo con i risultati ottenuti da Prigogine, nelle seguenti parole:
- ▶ “la vita è 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, ma è una proprietà collettiva di sistemi di molecole interagenti fra 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.”
- ▶ In questo modo, dunque, nel passaggio dalla teoria delle strutture dissipative alla teoria delle reti booleane auto-organizzate possiamo realmente percepire lo sviluppo di una linea di ricerca coerente e continua volta all’individuazione dei principi generali che caratterizzano la realtà profonda di quella misteriosa auto-organizzazione che contrassegna la complessità del *bios*.



# Informazione, auto-organizzazione e significato

- ▶ La comprensione dei processi profondi di auto-organizzazione concernenti i sistemi biologici richiede oggi un approccio sistemico ed interdisciplinare. Come messo in luce da recenti studi nel quadro di una teoria estesa della complessità (Grossberg, 2000; Carsetti, 2009), non ci si riferisce più alla semplice disamina di fenomeni dissipativi di stampo markoviano, bensì si giunge a considerare fenomeni di elaborazione e di trasformazione accoppiata dell'informazione presenti al livello del costituirsi successivo di un sistema biologico caratterizzato dall'elaborazione dell'informazione stessa. A partire da questo contesto, dalla fine degli anni Ottanta, alcuni studi hanno tentato, innanzitutto, di illuminare l'articolazione interna, a livello biologico e cognitivo, di quel particolare processo costituito dall'emergere successivo delle strutture teleonomiche ed intenzionali che sottendono i processi della vita in un quadro evolutivo e coevolutivo. Tale emergere appare essenzialmente legato a precise procedure di trasmissione ed assimilazione della informazione di profondità che si danno, tuttavia, a livello semantico e probabilistico e che determinano l'articolarsi successivo di uno specifico codice biologico, inteso come sintesi operante di funzione e di significato, che si pone come supporto effettivo per il costituirsi dinamico di precise strutture teleologiche (Carsetti, 2020; Atlan, 1998).



# Modelli non lineari della morfogenesi

- ▶ L'informazione genetica dell'organismo non risiede nelle condizioni iniziali del processo dinamico dell'ontogenesi, bensì in programmi distribuiti che governano nuova informazione e che rendono impossibile, date le condizioni iniziali, la previsione certa dello stato finale dell'organismo in questione. Oggi siamo a conoscenza del meccanismo nascosto che permette al DNA, attraverso il codice genetico, di controllare la sintesi delle proteine: nella dinamica dell'auto-programmazione, infatti, è la stessa funzionalità del genoma che crea l'informazione genetica (Li, 2011). Il significato biologico, a nostro avviso, è, dunque, il "volto nascosto" dell'informazione genetica, ovvero quella funzione creatrice ed organizzatrice che risponde ad una matematica per tanti aspetti ancora sconosciuta, una matematica, ad esempio, dell'infinito che vada oltre i teoremi di Cantor e la stessa teoria della complessità di Kolmogorov, in grado di dare ragione di quei fenomeni altamente complessi e attualmente non completamente spiegabili, non prevedibili e non misurabili dalla ragione umana, facendo ricorso unicamente alla rarità statistica o alla incomprimibilità computazionale.



# Autonomia del vivente ed emergenza del significato

- ▶ Secondo la teoria della complessità biologica ciò che si auto-organizza è la funzione stessa con il suo significato. L'origine del significato nell'organizzazione del sistema è, dunque, una proprietà emergente. Inoltre, l'origine del significato è strettamente connessa con precise opzioni di osservazione. Se abbiamo in programma di costruire una rete cellulare complessa, al fine di simulare le attività di un sistema biologico (cognitivo) dobbiamo tener conto del fatto che il comportamento della rete possiede un significato non solo nella misura in cui il risultato sarà autonomo, ma anche nella misura in cui il risultato sarà osservato e intenzionalmente legato ad una produzione continua di nuove possibili interpretazioni (Atlan, 2000). Così, affinché una sorgente di informazione possa mostrare un comportamento autonomo che si auto-organizza, dobbiamo aggiungere ai suddetti processi di mutazione, selezione e differenziazione anche particolari capacità di osservazione, auto-osservazione, simulazione ed interpretazione. Da un punto di vista oggettivo si deve notare, innanzitutto, che il confine tra ordine e caos sembra essere in grado di offrire strumenti molto più sofisticati alla selezione (Carsetti, 2000; Andreucut et al., 2009)



# Oltre il modello dell'informazione di Shannon

- ▶ Alla luce di tutto ciò, dunque, In questo quadro teorico appare chiaramente come per realizzare la costruzione di una biologia teorica indipendente dalla fisica e dalla chimica, non bastano gli accorgimenti, le rimodulazioni ed il disegno astratto relativi ad una meccanica statistica a carattere rinnovato così come individuati e perseguiti da Kauffman in *The Origins of Order* e più volte rivisitati nei suoi testi successivi. Per costruire a livello biologico una meccanica statistica concernente geni e macromolecole (in azione) occorre fare i conti sino in fondo con l'informazione profonda, un'informazione, vale a dire, non misurabile tramite il ricorso agli strumenti offerti dalla tradizionale teoria dell'informazione di Shannon basata su di una matematica troppo semplice e quindi "incompatibile" con la complessità dei fenomeni vitali. Occorre, in altre parole, definire, come abbiamo precedentemente accennato, i principi di una nuova teoria dell'informazione algoritmica (cioè di una nuova teoria della complessità), non esclusivamente ancorata ad una base proposizionale, bensì articolata al livello di una dimensione logica a carattere predicativo e stratificato



# Verso una semantica dei processi biologici

- ▶ Una tale teoria della complessità dovrebbe essere in grado, tra l'altro, di mostrarci come sia possibile parlare, senza contraddizione alcuna, di non esistenza di algoritmi finiti in relazione a problemi che pure risultano ben posti in termini di unicità e di esistenza (la non esistenza è un dato di partenza ineliminabile così come, sul versante fisico, in accordo con Prigogine, è un dato primitivo l'esistenza di una *randomness* che trova il suo fondamento nella dinamica). Ebbene, tutto ciò implica anche l'elaborazione di una semantica intensionale ed iper-intensionale per i processi ricorrenti di auto-organizzazione, nonché la costruzione di modelli di simulazione di automi dotati di basi intensionali e di funzioni riflessive ed interpretative. In tal senso la prima tappa di un progetto così vasto dovrebbe, a mio giudizio, far riferimento, almeno da un punto di vista astratto, ai tentativi in atto di delineare nuovi principi concettuali atti a definire un background logico adeguato per una corretta semantica dei processi biologici (Del Re 1992; Talmy, 2000; Carsetti, 2020).



# Informazione semantica stratificata

- ▶ A questo livello non siamo più solo legati all'esistenza degli individui e delle forme logiche invarianti, come nel caso delle costruzioni teoriche di Russel, Tarski ed Henkin; siamo, al contrario, legati, in primo luogo, all'articolazione di specifici generatori e di attributi complessi, vale a dire, all'esistenza di particolari attrattori, chiusure operative, flussi ricorrenti di informazione e, in generale, ad un'architettura multilivello dei regimi di auto-organizzazione (Avery 2003; Auletta 2011). Il nucleo teorico di questo nuovo concetto, dunque, è rappresentato dall'intuizione secondo cui il terreno della semantica non è costituito da domini di individui atomici, bensì da flussi di informazione, ovvero da processi generativi e ricorrenti che determinano una precisa gerarchia di livelli caratterizzata in modo intensionale dove il passaggio da un livello all'altro è sottoposto a trasformazioni algebriche dinamiche soggette all'azione di vincoli specifici a seconda dei diversi tipi di livello.



# Irreversibilità, rottura di simmetria ed incertezza

- ▶ Eccoci, dunque, ancora una volta di fronte ad alcune delle geniali intuizioni di Prigogine. Secondo lo studioso russo, infatti, per spiegare l'irreversibilità (e stocasticità) si devono considerare gli stati con una rottura di simmetria temporale propagata mediante leggi che sono esse stesse dovute ad una rottura di simmetria (Lefever, Prigogine, 1968). La rottura di simmetria temporale, quindi, in questo contesto, rappresenta uno strumento essenziale per sviluppare un nuovo livello di comprensione nel quale la razionalità non viene più identificata con l'idea di certezza. Allo stesso modo, dunque, risulta possibile affermare che nella semantica dei processi si assiste alla progressiva introduzione di concetti correlati a particolari condizioni di rotture di simmetria che si danno a livello logico ed informativo come per esempio i concetti di partizione e di modello auto-organizzantesi. Tuttavia, se da un lato anche in virtù di un'intuizione di Prigogine oggi è possibile penetrare in territori nuovi della semantica, in un terreno, vale a dire, che appare strettamente determinato dal progressivo ampliamento di processi evolutivi (Avery, 2003; Maynard Smith, 2000); dall'altro è opportuno sottolineare ancora una volta come a livello dell'attuale semantica dei processi, nonché al livello di una teoria dell'informazione multidimensionale, non siamo più confinati entro i limiti di semplici cornici markoviane.



# L'informazione biologica oltre il caos deterministico

- ▶ Questo fatto costituisce una vera linea di demarcazione rispetto all'apparato formale sviluppato da Nicolis e da Prigogine a livello della loro esplorazione delle basi matematiche della teoria della complessità (Anderson and Stein, 1985). All'interno del quadro di riferimento della semantica dei processi, dunque, noi realmente dobbiamo ricorrere alla delineazione di nuovi e più complessi spazi informativi, di nuove misure (nuovi assiomi) di complessità in grado di esprimersi non solo a livello proposizionale (come, per esempio, l'entropia di Shannon), ma anche a livello del primo e del secondo ordine (Carsetti, 2020). È solo con riferimento a questi spazi informativi più complessi che i suddetti processi di partizione funzionale e di autorganizzazione dinamica risulteranno definibili secondo modellazioni matematiche più adeguate ai fenomeni vitali (Oyama 2000; Talmy 2000).



# Il tempo come creazione e rivelazione

- ▶ In quest'ottica, allora, non abbiamo a che fare solo con due diverse concezioni del tempo, vale a dire, il tempo come ripetizione (invarianza) ed il tempo come disgregazione (dissoluzione), bensì ci troviamo dinanzi ad un terzo concetto di tempo in grado, cioè, di superare questo dualismo: il tempo come costruzione, una costruzione che appare ai nostri occhi, simultaneamente, come creazione e come ritrovamento, anche se questa stessa costruzione passa attraverso stati specifici di invarianza e di degradazione. Questa trama si presenta, allo stesso tempo, come creazione e rivelazione. Come la creazione continua di nuove forme di autonomia e, contemporaneamente, come la rivelazione continua di nuovi livelli di potere generativo: un'emergenza di sempre nuovi significati in grado di plasmare in modo consecutivo e ravvicinato le determinazioni (o schemi) del tempo, che formano, a loro volta, in base a precisi moduli matematici, l'espressione variegata e vincolata del linguaggio della vita (Tonini, 1988).



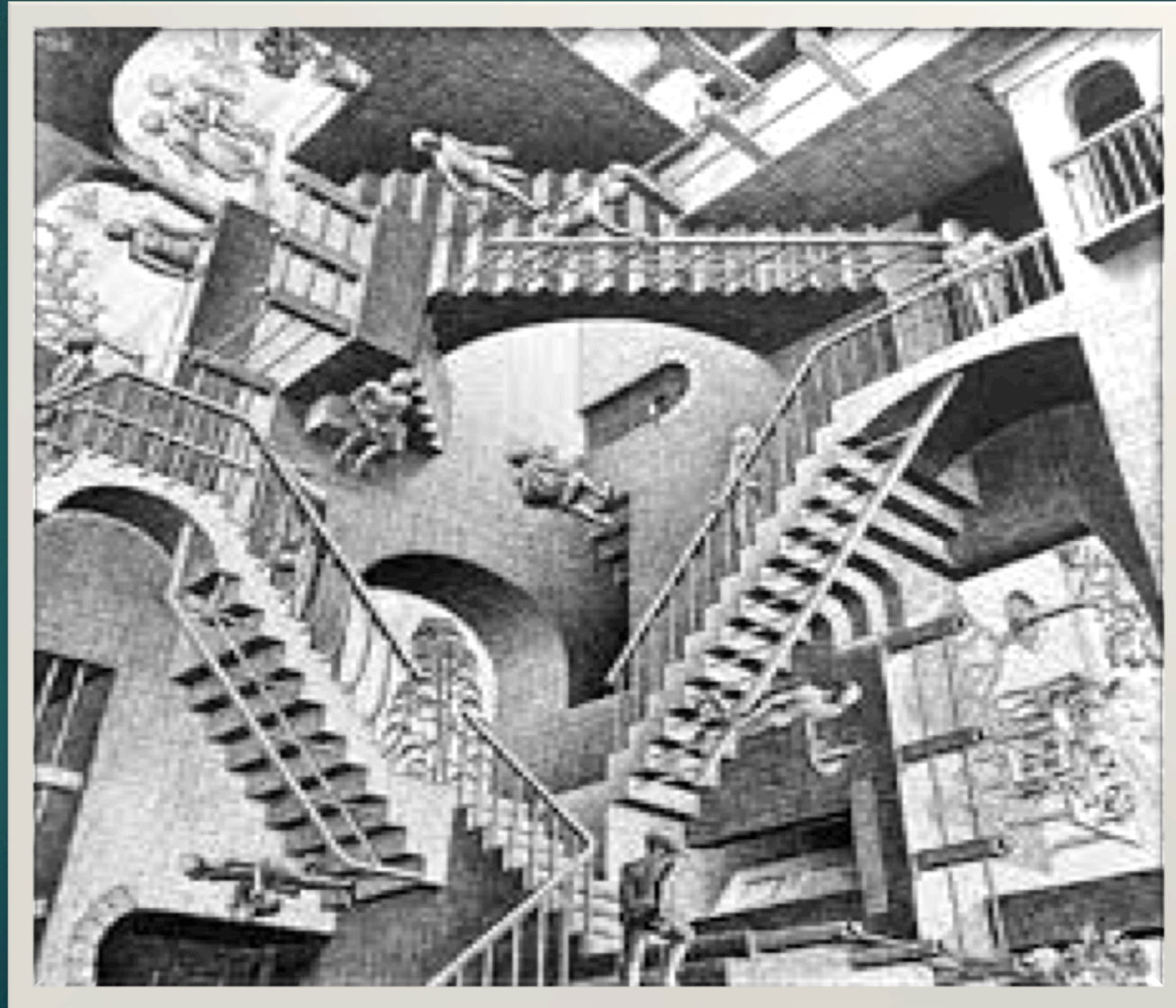
# Bibliografia

- ▶ **Atlan, H.**, *Intentional Self-Organization. Emergence and Reduction. Towards a Physical Theory of Intentionality*, in «Thesis Eleven», 52, 1998, pp. 5-34.
- ▶ **Auletta, G.**, *Cognitive Biology. Dealing with Information from Bacteria to Minds*, Oxford University Press, Oxford 2011.
- ▶ **Avery, J.** *Information Theory and Evolution*, World Scientific, Singapore 2003.
- ▶ **Carsetti, A.** *Metabiology*, Springer, Berlin 2020
- ▶ **Davies, P., Gregersen, N.** (a cura di), *Information and the Nature of Reality. From Physics to Metaphysics*, Cambridge University Press, Cambridge 2010
- ▶ **Del Re, G.** 1992. *Meaning as ingredient of physical reality*, in: «La Nuova Critica», pp.19-20.
- ▶ **Di Bernardo, M.** *Che cos'è la vita? Indagini epistemologiche ed implicazioni etiche*, GemmaEdizioni, Ceccano 2021
- ▶ **Grossberg, S.**, *Linking mind to brain: the mathematics of biological intelligence*, in «Notices AMS», 47, 2000, pp. 1358-1374.
- ▶ **Kauffman, S.A.** *Un mondo oltre la Fisica. Nascita ed evoluzione della vita*, Codice, Torino 2021
- ▶ **Maynard Smith, J.** *The idea of information in biology*, in «Quart. Rev. Biol.», 74, pp. 395-400.
- ▶ **Monod, J.**, *Il caso e la necessità*, Mondadori, Milano 1970.
- ▶ **Oyama, S.** 2000. *The Ontogeny of Information: Developmental Systems and Evolution*, Science and Cultural Theory, Duke University Press. Prigogine, I., *Les lois du Chaos*, Flammarion, Paris 1994.
- ▶ **Talmy, L.**, *Toward a cognitive semantics*, Cambridge (Mass) 2000.
- ▶ **Tonini, V.** *Bios, Logos, Ethos*, in «La Nuova Critica», 5-6, 1988.



# Grazie per l'attenzione!

18



M. C. Escher,  
*Relativity*, 1953