



CENTRO DI DOCUMENTAZIONE INTERDISCIPLINARE
DI SCIENZA E FEDE



SCUOLA INTERNAZIONALE SUPERIORE
PER LA RICERCA INTERDISCIPLINARE

Mirko DI BERNARDO e
Alberto STRUMIA

***Emergenza dell'ordine e della
complessità:
il ruolo dell'informazione***

A.A. 2021/22

TRIENNIO

***ORIGINS: Le grandi domande su cosmo, vita e intelligenza
nella scienza, nella filosofia e nelle culture***

ANNO II: Domande sulla vita e sulla complessità

4 dicembre 2021

Documento n. 33

Testo ad uso dei partecipanti al seminario

PARTE PRIMA

Mirko DI BERNARDO

Negli ultimi decenni la biologia è divenuta oggetto di sempre più numerose analisi da parte di filosofi, soprattutto a motivo della delicatezza del tema in gioco, ovvero la vita, e delle diverse prospettive lungo le quali questa può essere oggi compresa. Se una filosofia della scienza applicata alla meccanica quantistica poteva trovare interesse in questioni quali la causalità, l'indeterminazione o la natura del tempo, quando oggetto della riflessione è la vita, la sua origine e la sua evoluzione, le riflessioni filosofiche non possono non coinvolgere, direttamente o indirettamente, domande ancor più profonde, capaci di giungere a volte anche fino all'ambito esistenziale e metafisico. Ne è dimostrazione l'ampio dibattito sulle implicazioni filosofiche dell'evoluzione biologica ed il più recente, altrettanto esteso dibattito, che accompagna oggi la rivalutazione, da parte della biologia contemporanea, del concetto di "informazione". Lo evidenziano i numerosi lavori condotti quasi in parallelo da diversi studiosi e che in questi ultimi anni, mediante una vasta produzione scientifica, sta dando i suoi frutti sottoponendo all'attenzione della comunità internazionale una serie di interessanti intuizioni. Pur pertinente in un contesto logico e fisico-matematico, la nozione di "informazione", come quella di "complessità", acquista in biologia risvolti più ricchi. Parlare di informazione vuol dire parlare di forma immateriale, un concetto ben presente nella filosofia della natura di matrice aristotelica, interpretato poi nella metafisica dello Stagirita come una delle quattro cause dell'ente, la causa formale appunto. Qui informazione non vuol dire solo un messaggio che si propaga su un supporto, come nelle teorie informatiche dei segnali o in generale nella gestione dell'informazione, bensì attualità, capacità di informare mediante una forma, facendo calare nella materia non solo un'informazione, ma attualizzando quella materia stessa, perché sia ciò che è già "disposta" ad essere. L'universo è un universo di forme, un mondo dove l'informazione è irriducibile alla materia (se intesa come massa + energia), ma anche si attualizza nella materia e "fa essere" la materia. Una constatazione che inevitabilmente apre verso l'importante domanda circa l'*origine* dell'informazione. Feconde, in proposito, sono le riflessioni che il filosofo avvezzo allo schema aristotelico potrebbe poi realizzare circa il collegamento fra causa formale e causa finale — che lo Stagirita vedeva in strettissimo rapporto, contenendo la forma l'informazione del fine — allo scopo di fornire quadri di composizione, certamente utili anche all'ambito della epistemologia della biologia dove attualmente si riscontra l'esigenza di giungere ad una teoria dell'informazione di carattere semantico capace di interpretare il "linguaggio della vita". Di primo acchito un tale desiderio potrebbe sembrare quasi il tentativo di operare una riduzione della semantica a sintassi, o peggio di ricondurre la semantica entro un quadro computazionale. In tal modo ci troveremmo di fronte ad una nuova forma, surrettizia, di riduzionismo empirico applicato al mondo della vita. In realtà, tenendo presente il pensiero di alcuni esponenti della teoria della complessità, la presente relazione mostrerà come questa interpretazione è esclusa. La "ricerca di un linguaggio" per la vita non vuol dire qui "riduzione ad un linguaggio", né riconoscere nella vita l'esistenza di una semantica da decodificare equivale alla dichiarazione che tale semantica sia solo e soltanto un algoritmo (anche se degli algoritmi possono senz'altro servirci a capirne la logica). Il linguaggio della vita è per l'analisi empirica un metalinguaggio, come lo è la filosofia naturale per le scienze della natura. Cercarne le forme di espressione e di comprensione, in tal senso, non è un atteggiamento riduzionistico, ma semplice e lecito desiderio di intelligibilità.

La presente relazione, dunque, desidera interpretare il tentativo di approfondire la nozione di informazione in biologia, mettendone in luce la rilevanza strategica ed esplorandone gli aspetti interdisciplinari di ordine epistemologico, e per certi versi anche metabiologico. Mantenendo come orizzonte teorico di riferimento la contemporanea teoria della complessità, ovvero lo studio interdisciplinare dei sistemi complessi adattativi (sistemi naturali e biologici) e dei fenomeni emergenti ad essi associati, la cui articolazione, in questi ultimi anni, è venuta

ampliandosi, non riferendosi più alla semplice disamina di fenomeni dissipativi di stampo markoviano, fino a considerare fenomeni di elaborazione e di trasformazione accoppiata dell'informazione presenti al livello del costituirsi successivo di un sistema biologico di elaborazione dell'informazione stessa, il contributo intende mostrare come il riduzionismo ed il determinismo lascino il posto ad una visione olistica in cui i sistemi biologici non sono più né equivalenti alla somma delle loro parti, né determinabili in base alle sole condizioni iniziali. I sistemi viventi, infatti, come affermano Atlan e Carsetti, sono caratterizzati dal fatto che ciò che si auto-organizza al loro interno è la funzione stessa che li determina con il loro significato. Ma è appunto nella misura in cui il sistema si costituisce come realtà autonoma che l'origine del significato relativo all'auto-organizzazione del sistema stesso può giungere a rivelarsi, sul piano oggettivo, come una proprietà emergente. Qui possiamo riconoscere con esattezza quel particolare intreccio di complessità, auto-organizzazione, intenzionalità ed emergenza che caratterizza le forme naturali dell'attività cognitiva di ogni sistema vivente. In questo contesto, dunque, lo studio dei meccanismi di trasmissione dell'informazione, che sono alla base dei processi di auto-organizzazione della vita, vengono aggrediti attraverso nuovi modelli matematici non più riconducibili agli strumenti offerti dalla tradizionale teoria dell'informazione di Shannon.

La relazione, pertanto, prendendo le mosse dalle investigazioni scientifiche e dalle esplorazioni metodologiche di Kauffman, intende mostrare come oggi la nuova sfida della teoria della complessità consista nell'ambizioso progetto di elaborare una teoria dell'informazione a carattere semantico (una nuova teoria algoritmica) capace di interpretare il misterioso linguaggio della vita e quindi i processi profondi di auto-organizzazione. In tal modo, da contenuti quali complessità, informazione semantica, auto-organizzazione, e dalle azioni che questi stessi contenuti implicano, possono emergere interessanti spunti di riflessione che consentono di riconoscere non solo alla materia e alla energia, ma anche all'informazione, la dignità scientifica di componente originaria del cosmo. Una teoria dell'informazione semantica, allora, dovrebbe fare i conti con un'alterità radicale: in un ipotetico dialogo tra l'osservatore e la sorgente quest'ultima può essere paragonata da un filosofo anche ad una *significazione originaria* che sfugge costantemente ad ogni tentativo umano di oggettivazione e di rappresentazione. Prenderebbe qui avvio l'ipotesi suggestiva di far dialogare il mistero dell'auto-organizzazione con una diacronia non-rappresentabile, ovvero con un'intenzionalità priva d'inizio che, trascendendo la chimica, la fisica, la matematica, la biologia e la stessa scienza dell'informazione, si rivela come essenza profonda della vita, che si "incarna" costantemente in un linguaggio, e quindi in un codice. Quest'ultima prospettiva consentirebbe di estendere l'interdisciplinarietà della ricerca dalla epistemologia ad una ontologia dei processi e delle forme simboliche, cercando nell'approccio filosofico una apertura verso la sorgente *ultima* del significato e dell'informazione.

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 et al., *On emergence, agency, and organization*, in «Biology and Philosophy», 21, 2006, pp. 501-521.
- Kauffman, S.A. *Un mondo oltre la Fisica. Nascita ed evoluzione della vita*, Codice, Torino 2021
- Keller, E.F., *Expliquer la vie. Modèles, métaphores et machines en biologie du développement*, Gallimard, Janvier 2005.
- 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. 1988. *Bios, Logos, Ethos*, in «La Nuova Critica», 5-6.

PARTE SECONDA

Alberto STRUMIA

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 comparso 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, intelligenza naturale/artificiale). Alcuni uomini di scienza sono stati maggiormente consapevoli, fin dal suo inizio, di questa (ri)scoperta – in forma 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.

L'informazione

«L'informazione è informazione né materia né energia. Nessun materialismo che non lo riconosca potrà sopravvivere al giorno d'oggi» (N. Wiener, *Cybernetics: or the control and communication in the animal and the machine*, Technology Press, MIT, Cambridge (MA), 1965 [1948], p. 132). Nella scienza compare la nozione di informazione come un nuovo tipo di ente di carattere immateriale (irriducibile alla materia: massa ed energia) indispensabile per spiegare il comportamento della materia stessa. Qualcosa che incomincia ad avvicinarsi alla forma aristotelica (?).

«*Scimat* (= *Science-matters*) è la disciplina iniziata da Lam che tratta di tutte le problematiche che hanno a che vedere con le conoscenze umane (*humanities*) come scienza. [...] Nel Programma *Scimat* troviamo il più recente tentativo (internazionale) di riprendere la tradizione di Aristotele di esaminare con la stessa sistematicità "l'umano" e "il non umano" per conseguire la conoscenza» (M. Burguete & L. Lam (eds), *All about science. Philosophy, history and communication*, World Scientific, Singapore 2014, p. 7).

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. Segno, 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.

1. Il passaggio dal riduzionismo alla 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, ecc., 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 logici e ontologici delle scienze". La metafisica (ontologia formale) si presenta, in quest'ottica, come "Teoria dei fondamenti delle scienze". A questo livello il problema affiora come scientifico: riguarda l'esperienza (osservazione) e la teoria (formulazione-spiegazione) e insieme filosofico: riguarda le cose (mondo reale) e la conoscenza (mondo mentale).

Quello che è interessante, e a cui non siamo più abituati da secoli, è il dover constatare come le problematiche filosofiche, "logiche e ontologiche", 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): l'indecidibilità

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 all'interno del sistema. Per cui esistono più enunciati veri (decidibili solo 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.

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): la complessità "irriducibile"

Gregory Chaitin ha espresso questo in linguaggio informatico odierno nei 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 di 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 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*. Per cui solo una mente infinita come quella divina può conoscere i singoli nella loro totalità e nelle loro cause individuali. Mentre una mente finita, come quella umana, conosce i singoli 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).

STEPHEN WOLFRAM sostiene che tutto ciò che è nell'universo, tutti i corpi (secondo il linguaggio aristotelico) sono definiti da una informazione (forma) computabile algoritmicamente, che cioè noi possiamo conoscere scientificamente. Diversamente, il mondo materiale sarebbe, a suo parere, ultimamente inconoscibile.

GREGORY CHAITIN al contrario ammette che non ogni informazione (forma) che caratterizza ciò che è nell'universo sia riconducibile ad un calcolo algoritmico e, quindi, la scienza non riuscirà mai a spiegare tutto l'universo (soprattutto quello biologico), perché nessun sistema assiomatico è completo (Gödel).

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.

Vengono proposti alcuni esempi, in animazione, di come l'informazione può generare una struttura (non complessa o complessa) a partire da condizioni iniziali assegnate ordinatamente oppure a caso (guscio sferico, frattali, galassie).

L'informazione che è la responsabile della generazione di ordine e organizzazione può essere nascosta dalla casualità nell'assegnazione delle condizioni iniziali.

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.

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 una 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".

Nelle strutture nelle quali prevale il fattore "caso", ciò che si ottiene è scarsamente ordinato (come nella generazione di formazioni cancerose). Nelle strutture nelle quali prevale il fattore "informazione", invece è quest'ultima che determina in modo evidente una struttura organizzata ben precisa. 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?

Esempi della generazione di un cuore umano da una cellula staminale: "grossolano" a partire da una "stringa ridicibile"; "realistico" a partire da una "stringa irriducibile" nella quale le singole porzioni sono elencate "singolarmente" una per una senza compressione della stringa.

Bibliografia

Sito web (per una bibliografia complete del relatore):

www.albertostrumia.it/chance-order-biology

- A. Strumia, *Dalla filosofia della scienza alla filosofia nella scienza*, Edusc-Sisri, Roma 2017 (sisri.it/libri/9788883336881), cap. XV.
- A. Strumia, "Information as Order Hidden within Chance: An Application to Biology", *Phy Sci & Biophy J* 3(3): 000126 (2019) (medwinpublishers.com/PSBJ/PSBJ16000126.pdf).
- A. Strumia, *From fractals and cellular automata to biology. Information as Order Hidden Within Chance*, World Scientific, Singapore 2020.