

## La candela

Forse qualcuno ricorderà che avevo cominciato a parlare d'informazione, giusto un anno fa, e vi ho intrattenuti su questo tema, non so con quanto vostro diletto, per due puntate. Poi ho divagato, dedicando altre due puntate a un argomento diverso: il riduzionismo. Però il discorso sull'informazione non era concluso, e ora vorrei riprendere il filo. Eviterò il “riassunto delle puntate precedenti,” che sarebbe poco utile a questo punto; piuttosto richiamerò qualcosa al momento opportuno.

Avevo interrotto il discorso al punto di cominciare a parlare dell'informazione in biologia: tema per me arduo, per le solite ragioni, ma anche alquanto interessante. Mi chiedevo, concludendo la prima puntata: “. . . Poi mi resterà da affrontare una questione centrale per l'informazione in genere, ma soprattutto per l'informazione genetica: è giusto ignorare il lato semantico? Nel caso della genetica, è corretto dire che l'informazione risiede nel DNA, e che si può misurare come Shannon ci ha insegnato?”

Osservo intanto una coincidenza: nello stesso numero in cui iniziava il mio ragionamento sull'informazione, apparivano due articoli nei quali si faceva riferimento al ruolo dell'informazione in biologia. Luciano Cozzi scriveva, recensendo un libro di Eldredge:

“Nondimeno Eldredge fa notare che la selezione naturale è una legge molto particolare. Essa è stata infatti enunciata con un secolo quasi di anticipo rispetto ai progressi della fisica, poiché non riguarda direttamente la materia né l'energia ma l'informazione e solo attorno alla fine degli anni '40 i fisici cominciarono a comprendere e a studiare questo aspetto del mondo reale.”

Accanto, Mario Tei scriveva:

“La successiva scoperta della struttura del cristallo aperiodico, cioè del DNA, obbliga a considerare la vita anche in termini d'informazione. Il vivente ha quindi necessità di materia, energia e informazione. In questo contesto la vita diviene ogni entità molecolare, munita di un progetto, inciso sul DNA, aperta e attraversata da un flusso di materia, di energia e di informazione, che consente di svolgere determinate funzioni (metabolismo) necessarie a conservare nel tempo quell'organizzazione ordinata che permette all'organismo di crescere e di riprodursi. . . .”

Non ho citato i due brani per commentarli, ma solo per indicare quello che oggi mi pare un fatto di senso comune in biologia: che gli esseri viventi utilizzano, conservano e trasmettono informazione. Si tratta ora di vedere se

questa informazione è la stessa di cui ho parlato nelle mie due puntate precedenti: appunto quella definita da Shannon oltre 50 anni fa. E se non lo è, in che cosa differisce?

Nel frattempo sono apparsi su *Scientific American* due articoli — subito tradotti in *Le Scienze* — che descrivono recenti progressi su un altro problema strettamente connesso: il cosiddetto “dogma centrale della genetica molecolare,” ossia l’idea che il flusso dell’informazione sia sempre e solo secondo il percorso

DNA → RNA → proteine.

Dato però che la mia competenza è pressoché nulla, lo lascerò da parte, o lo sfiorerò solo occasionalmente.

\* \* \*

Mi sembra che il modo migliore (per me almeno) per condurre queste riflessioni sia di appoggiarmi sul libro di Hofstadter che ho già citato, e in particolare sul sesto capitolo, che è dedicato appunto al nostro tema. Non è molto lungo (28 pagine) ma sicuramente troppo per poterlo esporre con una ragionevole completezza, come meriterebbe; dovrò quindi limitarmi ad alcuni spunti, e a qualche commento un po’ più esteso nelle parti che mi sembrano essenziali.

Hofstadter affronta in generale il problema del significato, ma subito fa l’esempio dell’informazione genetica, in due sensi:

- a) Si può dire che genotipo e fenotipo siano in qualche senso *isomorfi*? In altre parole: esiste tra il genoma e l’individuo una corrispondenza simile ad es. a quella che c’è tra un disco musicale e la musica che se ne può estrarre? (Al tempo del libro i CD non esistevano ancora, per cui H. parla dei vecchi dischi in vinile, ma la differenza non è essenziale.)
- b) L’informazione contenuta nel genotipo è *intrinseca*, ossia indipendente da un ambiente, da un contesto, oppure è utilizzabile, interpretabile, solo in un dato contesto?

Confesso che mentre scrivevo queste righe mi è sorto il sospetto che a un lettore di formazione biologica le risposte appaiano così scontate che le domande possano risultare pressoché superflue: è ovvio che non c’è isomorfismo, ed è altrettanto ovvio che il contesto è essenziale. . . Però vorrei rassicurare il suddetto lettore che H. non è così sprovvisto da non sapere che la relazione genotipo–fenotipo è tutt’altro che banale; questo lo ripete più volte, e per fare un solo esempio scrive: “se voleste trovare un pezzo del vostro DNA che spiega la forma del vostro naso o di un’impronta digitale, avreste da faticare parecchio . . .”

D’altra parte, H. scriveva 25 anni fa, e così come non esistevano ancora i CD, anche in materia di genetica tante cose non erano ancora note. Alcune cominciano a esserlo solo da pochissimo: penso per es. alla foto sul numero di novembre scorso di *Scientific American*, dove si vedono sei topolini clonati, col pelo che sfuma tra l’uno e l’altro dal biondo al bruno. Sembra che il dogma di

cui sopra debba essere rivisto; ma non è forse privo di senso accettarlo per un po' come regola del gioco, per capire dove ci porta quanto al concetto d'informazione in genetica.

Per spiegare il problema del contesto, H. ricorre ancora all'esempio del disco musicale, facendo l'ipotesi fantascientifica che uno di quei dischi (contenente, dice lui, la registrazione della sonata in Fa minore per violino e clavicembalo di Bach, eseguita da David Oistrakh e Lev Oborin) venga spedito nella Galassia. E si chiede: quanto significato porta con sé quel disco?

Non posso seguire tutto il suo ragionamento; mi limito a dire per sommi capi che H. è portato a distinguere diversi livelli in un messaggio. In primo luogo un *messaggio cornice*, che si può enunciare così: "Io sono un messaggio: cerca di deciframmi!" Nel caso del disco, questo messaggio cornice appare anzitutto nella forma: un oggetto piatto, tondo e con un foro al centro. Evidentemente non un oggetto naturale. Poi uno sguardo appena più attento scorge una quantità di sottilissimi solchi, e un esame con un microscopio a basso ingrandimento mostra che i solchi non sono regolari, ma ondulati in modo vario, diverso da punto a punto. Non solo: non sarebbe difficile scoprire che in realtà i solchi sono un'unica lunghissima spirale (qualche centinaio di metri, se la si potesse svolgere). Tutto ciò — dice H. — suggerirebbe a una civiltà aliena che il disco contiene appunto un messaggio e porrebbe il problema di scoprire il modo di decifrarlo.

Di passaggio, qui H. osserva che la decifrazione potrebbe anche riuscire impossibile: con un gioco intellettuale di quelli che gli sono cari, invita il lettore a immaginare se quel disco fosse apparso sulla Terra ai tempi di Bach. Sarebbe stato possibile arrivare fino alla cornice (il microscopio era già stato inventato) ma non si sarebbe potuti andare oltre, perché la tecnologia del tempo era ben lontana dal poter costruire un giradischi. . . Eppure, anche allora sarebbe stato chiarissimo che il disco conteneva un messaggio: non dimentichiamo che quelli erano anche i tempi di Newton e di Leibniz, per fare solo due nomi, oltre che di Leeuwenhoek. Voglio dire che potevano essere indietro quanto a strumenti; ma quanto a cervelli, non stavano certo peggio di noi. . .

Ma qual è la caratteristica principale del disco, che farebbe scattare l'idea che vi sia contenuto un messaggio? A questo H. risponde come ho già detto: sarebbe soprattutto la lunghissima spirale, le cui parti sembrano da un lato molto simili, ma dall'altro tutte diverse da punto a punto. H. non ha paura di paragonare per questo aspetto il disco microsolco al DNA, e scrive: "Prima che Avery stabilisse [nel 1946] la connessione tra geni e DNA, il fisico Erwin Schrödinger aveva predetto su basi puramente teoriche, nel suo notevole libro *Che cos'è la vita?*, che l'informazione genetica dovesse essere immagazzinata in 'cristalli aperiodici'."

\* \* \*

Il livello più profondo è quello che H. chiama il *messaggio interno*. Si tratta del reale contenuto del messaggio: l'esperienza estetica ed emotiva della sonata

di Bach, il fenotipo, la storia di un'antica civiltà in una tavoletta di argilla...  
“Comprendere il messaggio interno vuol dire averne estratto il significato inteso dall'autore.” (Ho tradotto con “autore” il “sender,” ossia mittente, usato da H.; ma senza che nel caso genetico ci si debba associare altro che una provenienza, non certo un'entità superiore che l'abbia prodotto.)

Ma tra la scoperta che c'è un messaggio da decifrare, e la comprensione del messaggio interno, c'è almeno un passo intermedio. Le sinuosità del disco, se percorse nel tempo, si tradurranno in vibrazioni: occorre dunque realizzare un congegno capace di quest'operazione. I caratteri cuneiformi sulla tavoletta sono una scrittura: dovremo dunque in primo luogo scoprirne l'alfabeto e le regole di costruzione delle parole. La successione di basi in un DNA, se vista in termini astratti, non è cosa diversa: anche qui avremo anzitutto il problema di stabilire una corrispondenza, ossia il codice genetico; e poi quello di costruire il macchinario biochimico che effettua la trascrizione e la traduzione.

Siamo a ciò che H. chiama il *messaggio esterno*, e osserva che “esso è necessariamente implicito, nel senso che il mittente non può garantire che verrà inteso.” Sarebbe inutile, in un messaggio scritto in giapponese, inserire le istruzioni per tradurlo in italiano: o il lettore conosce il giapponese, e allora non ha bisogno d'istruzioni; o non lo conosce (come nel caso delle tavolette sumeriche) e allora dovrà procedere per tentativi, per analogie. Anche nel secondo caso, leggerà le istruzioni solo quando sono diventate superflue...

A questo punto (è sempre H. che parla) può sembrare che siamo caduti in una trappola:

“[...] prima di poter comprendere un qualsiasi messaggio, dobbiamo avere un messaggio che ci dica come comprenderlo; in altre parole, c'è un'infinita gerarchia di livelli di messaggi, che impedisce a ogni messaggio di essere capito. Eppure, noi tutti sappiamo che questo paradosso non vale, [...] che i messaggi vengono *di fatto* compresi. Come può essere?”

La risposta che H. dà ha qualche rapporto col nostro discorso delle recenti puntate sul riduzionismo:

“Ciò accade perché la nostra intelligenza non è incorporea, ma si realizza in oggetti fisici: i nostri cervelli. La loro struttura è dovuta al lungo processo dell'evoluzione, e il loro funzionamento è governato dalle leggi della fisica. In quanto entità fisiche, i nostri cervelli *funzionano senza che gli si dica come funzionare*. [...] A quanto pare, i cervelli nascono dotati di uno ‘hardware’ capace di riconoscere che certe cose sono messaggi, e di decodificare tali messaggi. [...] Questo hardware innato [...] fornisce l'informazione addizionale che trasforma dei semplici indizi [la spirale, la successione ordinata di caratteri] in messaggi completi.”

(Ho tradotto con “indizio” una parola difficile da tradurre alla lettera. H. usa “trigger,” ossia “grilletto,” “pulsante di scatto”; il che si può capire se si legge tutto il suo discorso, ma suonerebbe strambo nella sintesi che ne debbo dare.)

\* \* \*

Con queste considerazioni H. ha preparato il terreno per affrontare l'altro problema: se il significato di un messaggio sia o no intrinseco.

“Se persone diverse possedessero ‘congegni’ diversi, che rispondessero agli stessi indizi in modi completamente idiosincratici, allora non potremmo essere indotti ad attribuire un significato intrinseco a quegli indizi. Invece i cervelli umani sono così fatti che uno risponde a un dato indizio in modo assai simile a un altro, a parità di condizioni. [...] Questa uniformità dei ‘congegni’ stabilisce un ‘linguaggio’ uniforme in cui possono essere comunicati i messaggi cornice e i messaggi esterni. Se in più crediamo che l'intelligenza umana sia solo un esempio di un fenomeno generale in natura — l'emergere di esseri intelligenti nei più vari contesti — allora [...] ci saranno certi tipi d'indizi ai quali [...] tutti i tipi di esseri intelligenti tenderanno a rispondere allo stesso modo come noi facciamo.”

Ed ecco che siamo arrivati: il significato di un messaggio diventa indipendente dal contesto, se questo contesto, per quanto variabile da caso a caso, è però dotato di certe caratteristiche generali comuni: di un “congegno” di funzionamento universale.

Possiamo quindi rispondere (se siamo d'accordo con H.) alla domanda centrale: *quanto è universale il messaggio del DNA?* Torno ancora a citare H.:

“È in grado il DNA di evocare un fenotipo senza essere immerso nell'appropriato contesto chimico? A questa domanda la risposta è no, ma un ‘no’ condizionato. Certamente una molecola di DNA nel vuoto non creerà un bel niente. Ma se la molecola fosse spedita a cercar fortuna nell'universo, come avevamo immaginato per il disco di Bach, potrebbe venire intercettata da una civiltà intelligente. Essi potrebbero in primo luogo riconoscere il messaggio cornice; ciò posto, potrebbero tentare di dedurre dalla sua struttura chimica di che tipo di ambiente chimico possa aver bisogno, e fornirla di tale ambiente. Una serie di tentativi sempre più raffinati su queste linee potrebbero portare alla fine alla completa ricostruzione dell'intero ambiente chimico necessario per la rivelazione del significato fenotipico del DNA. Tutto ciò può suonare un po' inverosimile; ma se si permettono molti milioni di anni per gli esperimenti, forse il significato del DNA alla fine verrebbe fuori.”

Per finire, H. si rende conto che c'è un limite a questi voli della fantasia razionale: si potrebbe, lui dice, inviare non la molecola, con la sua struttura a doppia elica, ma semplicemente la sfilza di lettere che usiamo per designare la

successione delle basi. Alla fine del capitolo, la metà inferiore della pagina porta, a titolo d'esempio, quella successione per il batteriofago  $\phi$ X174 (così almeno dice H.; non sono in grado di verificare...). In tal caso nessuna intelligenza potrebbe riconoscere il messaggio interno, a causa del carattere troppo astratto del messaggio esterno. Perciò un messaggio così confezionato non avrebbe significato intrinseco.

Notate (questo lo dico io) che sarebbe ancora informazione nel senso di Shannon, e potremmo anche darne la misura; col che si vede quanto diverso sia il significato del termine "informazione" come l'ho usato questa volta rispetto a quello delle precedenti puntate.

Ma mi piace citare ancora la frase finale del capitolo di H.:

"Perché non pensiate che tutto ciò suona disperatamente astratto e filosofico, considerate che il momento esatto in cui il fenotipo può essere detto 'disponibile' o 'implicato' dal genotipo è questione assai pesante in questi tempi: è la questione dell'aborto."

Ai nostri tempi, 25 anni dopo, è la questione degli embrioni congelati, della procreazione assistita, ecc.