

# Esistono buone metafore in scienza?

## Note in margine a *La linea e il circolo*

Luca Cabassa

Luca Cabassa (1993) è dottorando in filosofia presso l'Università di Firenze.

luca.cabassa@hotmail.com

In science, metaphors play an indispensable function in the formation of concepts and hypotheses; however, not all metaphors are good. Frequently, metaphors are unsound, confusing and lead to illicit parallels. The aim of this article is to offer an understanding of metaphors that provides rational criteria for making a distinction between good metaphors and bad ones.. Firstly, drawing on the work of I. A. Richards and M. Black, we will clarify the logical grammar of metaphors; secondly, we will examine R. Boyd's conception of metaphor in science; thirdly, we will consider one of the most influential examples of scientific metaphor in the 20th century, that of genetic information; finally, due to the explanatory insufficiency of the conceptions examined, we will refer to E. Melandri's analyses. Since they bring together the primary reference to reality with the secondary reference to possibility, metaphors embody the transgressive and propulsive function of knowledge. Nevertheless, transgression *per se* does not constitute a virtue; metaphors can be reduced to symbols to the extent that they can convey technical or political projects that have nothing to do with knowledge. On the one hand, therefore, metaphors must be constantly controlled; on the other hand, the exercise of creative thinking in science would not be possible without the invention of new and far-reaching metaphors.

61

## I. Posizione del problema

Secondo un'immagine positivista tuttora diffusa, i termini tecnici utilizzati in campo scientifico devono essere regolati da una semantica rigida, tendente all'univocità e sottratta alle ambiguità tipiche del linguaggio ordinario. Qualora in un testo scientifico occorrono termini ambigui, mal definiti, imprecisi, non rigorosi, o addirittura metaforici, la legittimità del testo non può che risiedere nella sua funzione extrascientifica, sia essa didattica, divulgativa o evocativa: tutto ciò che esula da queste finalità ricade sotto l'accusa di non-scientificità. [1] Nel migliore dei casi, e solo alla luce di un'analisi retrospettiva, l'uso di metafore o di termini imprecisi, viene associato alle fasi primigenie di una scienza. Le metafore, infatti, possono svolgere una funzione euristica costituendo un supporto immaginario che favorisce l'invenzione di ipotesi; inoltre, soprattutto nelle fasi di consolidamento della comunità dei ricercatori, possono essere utilizzate per sviluppare un "intuito disciplinare" – intendendo quest'ultima nozione nei termini del *wit*, dell'arguzia, dell'ingegno che coglie in modo immediato lunghe e complesse dimostrazioni. L'ingegno metaforico, ovviamente, non ha nulla da spartire con le facoltà conoscitive, adempie, piuttosto, a un'esigenza estetica o, al limite, mnemonica, compensando le carenze dell'intelletto umano. In tal caso, il passaggio da un regime discorsivo prescientifico a uno scientifico viene segnalato dalla sparizione del linguaggio figurato e dallo sviluppo di un lessico proprio, regolato e istruito rispetto alle esigenze inferenziali messe in campo dalla nuova pratica.

Se le cose stessero così, la precisione e l'esattezza dei linguaggi scientifici dovrebbero fondarsi su una qualche forma di denotazione pura, sulla corrispondenza puntuale – qualsiasi cosa ciò significhi – dei termini utilizzati con l'ambito del mondo specifico che viene di volta in volta indagato. Tralasciando le difficoltà di concettualizzare in maniera coerente una pratica linguistica pura, priva di contaminazioni, retroazioni o influenze degli usi ordinari, la restrizione positivista appena esposta condannerebbe all'imprecisione e all'inesattezza la totalità delle conoscenze scientifiche passate. In effetti, se non si accetta alcuna forma di trasgressione categoriale tra le varie regioni scientifiche (per esempio, tra la matematica e la fisica) e tra le varie fasi che si sono succedute all'interno di un medesimo campo specialistico (per esempio, tra la meccanica newtoniana e la meccanica lagrangiana), la comprensione diacronica dei linguaggi scientifici diventa impossibile poiché gli unici parlanti in grado di usare in maniera adeguata e precisa i termini tecnici sarebbero gli scienziati contemporanei, o per lo meno quelli che in un dato momento storico vengono riconosciuti dalle specifiche comunità scientifiche come i legittimi portatori dello stato definitivo del sapere. Il che sposta semplicemente il problema, dato che questa caratterizzazione irenica del sapere scientifico, contrassegnata da stabilità

[1] La concezione della scrittura scientifica suesposta potrebbe apparire desueta, unilaterale e pretestuosa. Ciononostante, è sufficiente sfogliare uno degli innumerevoli manuali di scrittura scientifica utilizzati in ambito accademico nella formazione del personale scientifico per convincersi della potenza e della pervasività di questa visione. Ad es., un manuale ormai giunto all'ottava edizione, costantemente ampliato e aggiornato dal 1975, presenta il compito della scrittura scientifica con queste parole: «Scientific writing is the transmission of a clear signal to a recipient. The words of the signal should be as clear, simple, and well-ordered as possible. In scientific writing, there is little need for ornamentation. Flowery literary embellishments—metaphors, similes, idiomatic expressions—are very likely to cause confusion and should seldom be used in research papers. Science is simply too important to be communicated in anything other than words of certain meaning». (Gastel & Day 2016, 4) «Literary devices, metaphors and the like, divert attention from substance to style. They should be used rarely in scientific writing» (Gastel & Day 2016, 5). L'internazionalizzazione della ricerca, l'egemonia della lingua inglese, la tendenza a imitare modelli dominanti e il peso di una tradizione ormai secolare sono motivi più che sufficienti per ritenere che questa concezione della scrittura scientifica appaia non solo incontrastata, ma "naturale" alla maggior parte degli operatori scientifici. Per approfondire, criticamente, le origini della scrittura scientifica, rinviamo a (Bazerman 1988).

e permanenza, priva di controversie e di divergenze di visioni, appartiene, al limite, a un particolare genere letterario, quello del trattato manualistico, e non riesce in alcuna maniera a render conto della creazione condivisa di nuove teorie o della semplice comunicazione tra scienziati impegnati in programmi di ricerca affini.

Non ha alcun senso adottare le definizioni nominali o lessicali di un dizionario o di un manuale come modello per la valutazione della precisione e dell'esattezza con cui vengono usati i termini scientifici. Al contrario, dovremmo fare i conti con il carattere performativo del linguaggio scientifico e seguire criteri che facciano appello all'efficacia. L'efficacia, infatti, non si contrappone alla verità; anzi, nel suo significato pragmatico può essere intesa come misura stessa del valore di verità. Questo, non perché i termini tecnici abbiano un qualche potere causale sui propri referenti, bensì – come giustamente sostenuto da Evelyn Fox Keller – «perché fanno presa sui modi in cui strutturiamo e costruiamo i nostri mondi sociali e materiali». (Fox Keller 1996, 9)

Alla luce di queste considerazioni, la distinzione classica tra senso letterale e senso figurale non regge nella pratica scientifica più di quanto regga nell'uso ordinario. Buona parte della potenza descrittiva che riconosciamo ai termini scientifici, infatti, è determinata dalle prestazioni del pensiero analogico, dall'accesso a una «doppia visione» [2] capace di individuare il simile nel dissimile o di traslare il significato da un campo a un altro. Quest'ultime operazioni, sebbene ricoprano un campo vastissimo e possano venire specificate adottando molteplici classificazioni, sono tradizionalmente associate alla figura retorica della metafora. Trasgredendo le dicotomie tra uso proprio e improprio, tra forma e contenuto, tra identità e differenza, la metafora svolge una funzione referenziante che consente di elaborare costruzioni concettuali che riorganizzano il campo fenomenico. Ovviamente, non tutte le metafore in campo scientifico sono buone. Anzi, la maggior parte delle metafore sono infeconde, confondono, conducono a parallelismi che veicolano elementi illegittimi e di cui non si riesce a rendere conto da un punto di vista razionale. Per questo motivo, il momento della trasgressione deve essere costantemente bilanciato dal momento opposto e complementare, quello del controllo delle regolarità argomentative. La funzione del controllo – distinguibile a livello analitico, ma difficilmente individuabile nella pratica quotidiana degli scienziati – tende alla riduzione massima dell'equivocità e della polisemia. Solo una volta superato questo esame una parola del linguaggio ordinario può venire associata in maniera univoca a nozioni rigorose, spesso astratte, e ormai indipendenti dai contesti originari da cui sono stati tratti. In breve, l'innovazione, la creazione, l'intelligenza devono scontrarsi di volta in volta con la cultura, la tradizione, l'assimilazione critica.

[2] Prendiamo a prestito il termine da un saggio di Northrop Frye. «Per quanto paradossale sia il suo linguaggio, Blake non ci esorta a cercare di risvegliarci dal sonno della visione singola vedendo due oggetti anziché uno, specialmente quando uno dei due non c'è. Penso voglia dire piuttosto che il soggetto cosciente non sta percependo in realtà finché non si riconosca parte di ciò che percepisce» (Frye 1993, 42).

## II. Grammatica della metafora

Finora, nel parlare di metafore e soprattutto di metafore scientifiche, siamo stati volutamente vaghi, limitandoci a definizioni operative dal carattere estremamente generico. A questo punto però, è necessario prendere

posizione provando a fare un po' di ordine nella sterminata letteratura retorica, letteraria, linguistica e filosofica che si è occupata della metafora. [3] Per ragioni di spazio, dovremo orientare la nostra ricerca in rapporto ad alcune domande specifiche.

[3] Per chi volesse approfondire le questioni legate alle metafore scientifiche, rinviamo ai riferimenti bibliografici di Cantini (2016), Cremaschi (1988), Eco (1980), Frezza & Gagliasso (2014).

a. Cosa distingue l'utilizzo di metafore in un testo scientifico da quelle presenti in un testo letterario?

b. È possibile misurare la fecondità e l'efficacia di una metafora in campo scientifico?

c. Le metafore scientifiche apportano conoscenza o sono, in ultima istanza, riducibili a una funzione ornamentale? Detto altrimenti, la metafora è φύσις o νόμος, fondante o fondata?

Per rispondere a queste domande, necessitiamo, innanzitutto, di una terminologia che chiarisca quella che Max Black ha definito la «grammatica logica» della metafora; in secondo luogo, preso atto dell'insufficienza esplicativa di un approccio strettamente grammaticale, dovremo riferirci a qualche spiegazione dinamica che mostri l'indispensabilità e il valore sintetico della metafora. Ciò che segue, eccezion fatta per alcune integrazioni finalizzate alla disamina delle metafore scientifiche, è da intendersi come un compendio ragionato del paragrafo 101 de *La linea e il circolo* di Enzo Melandri. [4]

[4] Anche limitandosi all'analisi di un singolo paragrafo, render conto in maniera sistematica dei riferimenti dell'opera melandriana è impresa più che ardua. È stato perciò necessario selezionare il materiale in relazione al tema specifico prediligendo la tenuta argomentativa e la perspicuità della presentazione. Ciò, ovviamente, comporta illustri esclusioni, *in primis* i lavori di Northrop Frye, di Kenneth Burke e di Christine Brooke-Rose.

In ragione dell'importanza assunta nel panorama letterario e filosofico novecentesco, *La filosofia della retorica* di Ivor Armstrong Richards, combinata e raffinata dalle analisi contenute in *Metafora* di Black, costituisce un buon punto di partenza per la precisazione terminologica richiesta. Come prima cosa, è bene sottolineare che Richards critica il preconcetto secondo cui la metafora sarebbe «qualcosa di speciale e di eccezionale nell'uso del linguaggio, una deviazione dal suo funzionamento normale, invece di essere l'onnipresente principio di ogni suo spontaneo atteggiarsi». (Richards 1967, 86) Qualesivoglia concezione della metafora che si fondi sul primato del significato letterale e che riduca le prestazioni del linguaggio figurato a ornamenti o a patologie semantiche non riesce in alcuna misura a spiegare il meccanismo che regge lo spostamento di significato nella sua generalità.

Ciò non toglie che in numerosi casi, spesso banali e di uso comune, le metafore non apportano alcun contenuto cognitivo essenziale limitandosi a svolgere una funzione retorica, ossia persuasiva. A tal proposito, Black distingue due concezioni della metafora: una *sostitutiva* e una *comparativa*. Nel primo caso, la metafora è intesa come una definizione enigmatica in cui il *definiendum* criptico può essere sostituito in maniera equivalente da un *definiens* espresso in termini letterali; nel secondo caso, la metafora è ridotta a una presentazione contratta, ellittica, dell'analogia che soggiace alle espressioni che la compongono. Entrambe le concezioni ritengono che il significato delle espressioni metaforiche sia determinato da una trasformazione del normale significato letterale; chi utilizza metafore «fornisce non il significato conforme alla sua intenzione,  $m$ , ma una qualche funzione di esso,  $f(m)$ ; il compito del lettore è di applicare la funzione inversa,  $f^{-1}$ , e ottenere in tal modo  $f^{-1}(f(m))$ , cioè  $m$ , il significato originale». (Black 1983, 52) La funzione di trasformazione può essere una sostituzione o un qualche tipo di deformazione fondata su una similarità preesistente, poco

importa; ciò che conta è che la trasmissione di *m*, a livello informativo, non necessita in alcun modo di queste modificazioni. L'uso delle metafore, così come quello di ogni figura del discorso, è giustificato dal piacere che la risoluzione dell'enigma suscita nel lettore, in maniera non troppo dissimile da ciò che si prova nel completare un cruciverba.

Tuttavia, esistono esempi paradigmatici di metafore in cui la produzione del significato pare determinata dall'interazione tra le parole e i contesti semantici da esse evocati, in cui la connessione e la risonanza di campi semantici eterogenei genera senso. In casi del genere, il loro uso sembra indispensabile, non solo a livello euristico, ma anche su un piano strettamente cognitivo. Ogni qualvolta tentiamo di analizzare metafore di questo tipo, le concezioni sostitutive e comparative risultano assolutamente insoddisfacenti. È allora necessario rivolgersi ad una concezione *interattiva* della metafora. «Per dirlo nei termini più semplici, quando adoperiamo una metafora abbiamo due pensieri di cose differenti contemporaneamente attivi e sorretti da una singola parola o frase, il cui significato risulta dalla loro interazione». (Richards 1967, 89) Per saggiare questa definizione, prendiamo come esempio una delle metafore più note e influenti del *Saggiatore* di Galilei:

La filosofia [della natura] è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto dinanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscere i caratteri ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto. (Galilei 1966, VI, 232)

In questo passaggio, densissimo di metafore, i due pensieri compresenti e interagenti sono, da una parte la conoscenza scientifica [5] che possiamo ottenere dell'universo, dall'altra i libri che hanno per oggetto il sapere matematico. Si tratta, chiaramente, di oggetti differenti che non hanno tra loro alcun rapporto diretto. Inoltre, salta subito all'occhio che i due pensieri svolgono funzioni differenti nell'articolazione del senso metaforico: il primo è il tema che si vuole significare, in questo caso un certo modo di conoscere la natura; il secondo è un insieme di rimandi, implicazioni, allusioni che servono ad esprimere il tema. Richards propone di chiamare il primo pensiero "tenore", il secondo "veicolo", riservando il termine "metafora alla «coppia di elementi indivisa» (Richards 1967, 92); Black, invece, parlerà di "soggetto principale" e di "soggetto sussidiario". Le possibilità sono varie: le metafore possono fondarsi su una diretta somiglianza fra tenore e veicolo, rinviare a una base comune, differire a tal punto da rendere rilevanti le differenze più che le somiglianze, ecc... Ciò che ci preme sottolineare è che il significato della metafora è frutto non della semplice giustapposizione tra veicolo e tenore, bensì della loro interazione, della risonanza reciproca tra i due campi semantici; il che può comportare la creazione, per così dire, *ex novo*, della somiglianza che renderà perspicua e feconda la metafora.

Tornando all'esempio galileiano, è evidente che l'interazione tra veicolo e tenore non si limiti a rendere leggibile la natura, ma apra piuttosto alla possibilità di matematizzare la fisica. Ciò che ci vuol dire Galilei, è

[5] Assumiamo come non problematica l'equivalenza tra scienza e filosofia naturale; anche in questo caso, ovviamente, la possibilità di interpretare correttamente la metafora di Galilei è fondata sull'uso del pensiero analogico; cfr. (Melandri 2004, 47-70).

che l'universo è sì un libro, ma solo a patto che se ne comprenda la lingua; in caso contrario, si è condannati all'assoluta ignoranza, allo smarrimento in un labirinto oscuro. Infatti, un conto è un fenomeno naturale letto come una lettera o una pagina di un libro, tutt'altra cosa è interpretare un fenomeno naturale come una formula matematica. Nel primo caso ci si può limitare a una lettura, per così dire, contemplativa, focalizzata nel discriminare le lettere che compongono il libro; nel secondo caso, invece, la comprensione dei simboli procede attraverso l'accettazione dell'operatività e del carattere di legalità della lingua matematica.

La terminologia di Richards, però, deve essere problematizzata; come giustamente nota Black, «parlare di “interazione” dei due pensieri “operanti insieme” (o della loro “illuminazione reciproca” o “cooperazione”) significa usare una metafora che enfatizza gli aspetti dinamici della risposta di un buon lettore ad una metafora non banale». (Black 1983, 57) A causa di questi aspetti dinamici le nozioni di veicolo e di tenore si dimostrano insufficienti. In effetti, se seguiamo la concezione interattiva della metafora, alcune specificazioni fornite da Black risultano più che opportune. In primo luogo, i due elementi che compongono la metafora non possono essere valutati come “cose” o “pensieri”, meglio intenderli come “sistemi di cose”; la metafora non è altro che l'applicazione al soggetto principale di un sistema di implicazioni associate tipiche del sistema sussidiario. «La metafora seleziona, enfatizza, sopprime ed organizza i tratti del soggetto principale, implicando asserzioni di esso che normalmente vengono attribuite al soggetto sussidiario». (Black 1983, 63) Ciò permette di far luce su numerose ambiguità nell'uso delle nozioni usate da Richards; senza queste precisazioni, infatti, non è chiaro se il tenore indichi il soggetto principale, le implicazioni connesse a tale soggetto o il risultato dell'interazione metaforica; il veicolo, allo stesso modo, oscilla tra l'espressione metaforica, il soggetto sussidiario e il sistema pertinente di implicazioni connesse a questo soggetto. [6]

[6] Per una critica puntuale della terminologia di Richards, cfr. (Black 1983, 141).

### III. Una concezione interattiva della metafora nelle scienze

Una notevole applicazione della concezione interattiva della metafora nel campo scientifico è quella elaborata da Richard Boyd. Secondo Boyd, un modo per distinguere le metafore scientifiche da quelle letterarie sarebbe quello di concentrarsi sulla natura del sistema di implicazioni del soggetto sussidiario. Nel caso letterario, il corretto funzionamento della metafora presuppone la condivisione di un insieme di luoghi comuni associato al soggetto sussidiario; persino nei casi in cui la metafora dipende da un'informazione esoterica, il lettore (o l'ascoltatore) deve potervi accedere in una misura più o meno agevole. Tipicamente, il fruitore di una metafora letteraria non è indotto a intraprendere un progetto di ricerca per poterla comprendere; l'importante è trasmettere una qualche forma di *apertura concettuale* sul soggetto principale. Nel caso delle metafore scientifiche – costitutive di teoria nei termini di Boyd –, invece, la situazione è pressoché contraria. La fecondità e la ripetibilità di queste metafore risiedono nella loro *apertura induttiva*. Ovviamente, è richiesto un certo grado di comprensione del sistema di implicazioni correntemente associati ai soggetti principali e sussidiari, ma l'attrattiva e la circolazione di queste metafore

è fondata sull'implicito invito «a esplorare le somiglianze e le analogie fra caratteri di argomenti primari e secondari, compresi caratteri non ancora scoperti o non ancora compresi compiutamente». (Boyd & Kuhn 1983, 30) [7] L'uso ripetuto di una metafora letteraria conduce inevitabilmente alla stereotipia, diventa bagaglio culturale e alla lunga fiacca l'ingegno; l'uso di una metafora costitutiva di teoria, al contrario, stimola la scoperta di nuovi caratteri sia nell'argomento primario sia nell'argomento secondario, invita a future ricerche e stimola programmi di ricerca che indaghino le somiglianze teoricamente rilevanti tra i campi messi in risonanza semantica. In breve, per Boyd, l'utilità «delle metafore costitutive di teorie sembra risiedere in gran parte nel fatto che forniscono un modo per introdurre una terminologia per aspetti del mondo la cui esistenza sembra probabile, ma molte delle cui proprietà fondamentali rimangono ancora da scoprire». (Boyd & Kuhn 1983, 32) Nella pratica quotidiana, perciò, l'apertura induttiva stimolata dalle metafore si traduce nel tentativo di spiegare le somiglianze e le analogie tra gli argomenti primari e gli argomenti secondari. Di fatto, secondo Boyd, «la spiegazione di tali metafore è essenzialmente una conseguenza automatica del successo nei programmi di ricerca che esse stimolano». A meno che la congettura metaforica si riveli priva di riferimento, l'induzione di nuove proprietà nell'argomento primario può continuare fino al completo esaurimento delle somiglianze e delle analogie.

[7] Ovviamente, gli "argomenti primari" e gli "argomenti secondari" di Boyd corrispondono ai "soggetti principali" e ai "soggetti sussidiari" di Black.

Il modello interattivo di Boyd sembra rispondere a tutte e tre le questioni poste all'inizio del § 2. a) Le metafore scientifiche si distinguono dalle metafore letterarie per una proprietà particolare che ne regola la fruizione, l'apertura induttiva; b) l'efficacia e la fecondità risiedono nel successo dei programmi di ricerca che investigano sulle somiglianze e le analogie tra i due campi interagenti; c) le metafore costitutive di teoria apportano conoscenza poiché permettono di introdurre una terminologia che individua, in maniera certo vaga, ma costantemente migliorabile, proprietà fondamentali del mondo. Ciononostante, a questo punto, sorgono almeno due domande strettamente interconnesse: (i) quando può dirsi esaurita l'apertura induttiva stimolata dalle metafore costitutive di teorie? e (ii) quando, invece, è lecito abbandonare una metafora? La risposta di Boyd a entrambe le questioni è chiara: quando una metafora teorica

non risulta corrispondere a una percezione reale, non abbiamo più bisogno di investigare sui nuovi referenti dei suoi termini metaforici, più di quanto abbiamo ancora bisogno di investigare rispetto al referente dell'espressione "forza vitale": in tali casi la "congettura" non funziona, e i termini rilevanti non hanno alcun riferimento. (Boyd & Kuhn 1983, 40)

Conseguentemente, l'apertura induttiva potrà dirsi esaurita nel momento in cui la terminologia sviluppata riuscirà a cogliere in maniera precisa e rigorosa il riferimento reale.

Quella che si presenta sotto una nuova veste, evidentemente, è la concezione positivista da cui abbiamo preso l'avvio. Le metafore svolgono sì una funzione conoscitiva, ma solo a livello euristico, suggerendo modi di compensare alle nostre mancanze, in attesa di accomodare il nostro linguaggio allo stato reale del mondo. E con mondo, come giustamente

nota Kuhn nel commentare il lavoro di Boyd, dobbiamo intendere «l'unico mondo reale, ancora ignoto ma verso il quale la scienza procede per successive approssimazioni». (Boyd & Kuhn 1983, 111-112).

#### IV. La metafora dell'informazione genetica

Prima di procedere oltre, consideriamo un esempio più vicino ai nostri giorni. Nel 1953, James D. Watson e Francis Crick, nel discutere la portata della scoperta della struttura molecolare del DNA, forse involontariamente, inaugurano una delle metafore scientifiche di maggior successo nel discorso biologico del XX secolo: l'*informazione genetica*. I due inizialmente si limitano a scrivere che «in una molecola lunga, sono possibili molte permutazioni diverse e sembra quindi probabile che la sequenza precisa delle basi sia il codice che trasporta l'informazione genetica» (Watson & Crick 1953, 965); successivamente, però, nozioni quali “traduzione”, “programma”, “istruzioni” diventano sempre più frequenti nel lessico biologico e, poco alla volta, conducono a una rappresentazione linguistica del genoma. Il Libro della Vita – trasposizione metaforica del Libro della Natura di galileiana memoria – sarebbe dunque scritto sotto forma codificata: la combinazione di quattro “lettere” (ATCG) in “parole” di tre lettere dà luogo a sequenze, o meglio “frasi” che specificano in maniera univoca il montaggio delle proteine. A loro volta, queste sequenze di proteine, composte da parole scritte in un alfabeto di venti lettere (gli aminoacidi), costituiscono il testo che definisce la diversità strutturale e funzionale degli organismi e che, presumibilmente, determina l'essenza delle specie biologiche. Ovviamente, nessun biologo interpreta i termini messi tra virgolette in senso letterale, ciò che più conta sono le possibilità pratiche veicolate dalla metafora del testo. Se la vita è scritta in un libro, il genoma può essere letto, riscritto ed editato senza alcun rischio di ambiguità, l'importante è decrittare l'informazione presente nel DNA. In maniera estremamente logica, gli sforzi dei ricercatori dovranno profondersi nel sequenziamento dei genomi. Come ben riassunto da Jean-Jacques Kupiec, «a prescindere dal fenomeno studiato, l'isolamento della proteina in esame, del gene codificante per quella proteina e l'analisi delle interazioni in cui sono implicati devono offrire la chiave esplicativa». (Kupiec & Sonigo 2009, 88-89) La ricostruzione che abbiamo tratteggiato, a prima vista, può sembrare caricaturale, ma restituisce per sommi capi l'immaginario che ha sostenuto l'attività di numerosi membri dello Human Genome Project. [8]

[8] Per esempio, cfr. (1990).

A questo punto, analizziamo gli elementi che compongono la metafora dell'informazione genetica varata da Watson e Crick. Il soggetto principale, sulla scia dei lavori di T. H. Morgan, ha a che fare con la base materiale della trasmissione dei caratteri ereditari negli organismi. Il soggetto sussidiario sembra aver a che fare con la nozione tecnica di informazione. Nel 1948, Claude Shannon aveva proposto una misura quantitativa precisa della complessità dei codici lineari e l'aveva chiamata *informazione*. Dato che, in apparenza, il DNA funziona come un codice lineare, l'applicazione del concetto matematico di informazione al caso biologico poteva sembrare legittimo. Ma, sin da subito, – non vedendo alcun modo di assegnare una quantità di informazione differente al DNA di un organismo funzionante e alla sua forma mutante



– per quanto disfunzionale e compromettente potesse essere quest’ultima  
– i genetisti abbandonarono la definizione tecnica di informazione. Perciò, il sistema di implicazioni che ha permesso alla metafora di funzionare e di diffondersi deve essere cercato altrove.

Preliminarmente, però, è necessario farsi un’idea del contesto in cui si muoveva la genetica del tempo. Dai tempi di T. H. Morgan, i genetisti erano alla ricerca di un concetto che permettesse di rispondere in maniera adeguata al problema della differenziazione cellulare nello sviluppo degli organismi. Tradizionalmente, il problema dello sviluppo apparteneva all’embriologia, ma nel corso degli anni ’30 e ’40, la ricerca si spostò dalla ricostruzione dei meccanismi soggiacenti la dinamica complessa delle uova e degli organismi multicellulari allo studio, negli organismi unicellulari, delle catene di reazioni che legavano l’attività di un gene ai prodotti finali che si presentavano al genetista come caratteri. Ciò condusse all’elaborazione dell’ipotesi “un gene, un enzima”, secondo cui il gene catalizza una reazione chimica specifica, detto altrimenti, fabbrica un enzima. In tal modo, la genetica dello sviluppo poteva essere intesa come la biochimica dell’azione del gene. [9]

[9] Per una ricostruzione degli sviluppi del rapporto tra embriologia e genetica nel XX secolo, cfr. Fox Keller (1996, 17-54)

Queste precisazioni permettono di chiarire il ruolo svolto dalla metafora informazionale. Infatti, «sebbene non permettesse alcuna misura quantitativa», il concetto di informazione «autorizzava l’aspettativa – anticipata nel concetto di azione del gene – che l’informazione biologica non aumentasse nel corso dello sviluppo: era già interamente contenuta nel genoma». (Fox Keller 1996, 32) Inoltre, pareva lecito attingere a una prospettiva teorica come quella elaborata da Erwin Schrödinger in *What is life?*. Nel capitolo II, dedicato al meccanismo dell’ereditarietà, Schrödinger parla di “configurazione quadridimensionale” o “disegno” di un organismo, riferendosi «non soltanto alla struttura e al funzionamento di quell’organismo nello stadio adulto o in ogni altro stadio particolare dello sviluppo, ma a tutto l’insieme del suo sviluppo ontogenetico, dalla cellula uovo fecondata fino allo stadio della maturità» (Schrödinger 1995, 43); tale “disegno”, paragonato a un testo di un codice, sarebbe contenuto nella struttura delle fibre cromosomiche, le quali sono, contemporaneamente, «codice di leggi e potere esecutivo, o, per usare un’altra metafora, sono il progetto dell’architetto e insieme abili costruttori» (Schrödinger 1995, 45). In questo modo, il sistema di implicazioni associate al soggetto principale assume contorni ben definiti: l’informazione genetica non è altro che l’insieme di *istruzioni preesistenti codificate* nelle sequenze nucleotidiche del DNA, conoscerla permette, allo stesso tempo, di rivelare il progetto e il modo di costruzione di qualsiasi organismo.

Nel corso degli anni quest’ipotesi interpretativa si è rivelata sempre più problematica. Senza alcun intento esaustivo vorremmo elencare tre ragioni che giustificano la rinuncia della metafora informazionale. Innanzitutto, è fondamentale rilevare che le proteine sono strutture tridimensionali che verrebbero codificate in una sola dimensione; tale proprietà di codifica, tipica dell’informazione digitale, rappresenta la necessità di applicare i concetti tecnici delle macchine digitali. Per esempio, nella macchina universale di Turing, i sistemi operativi e i compilatori sono codificati linearmente, come i programmi. È possibile trovare concetti analoghi in biologia molecolare? In assenza di risposte chiare e rigorose a domande

di questo tipo, l'informazione codificata nel genoma pare solo giustificare a livello molecolare la dualità genotipo/fenotipo, che sarebbe così spiegata dalla dualità DNA/proteine. Così intese, queste dualità ne evocano un'altra, di sapore aristotelico, quella tra essenza ed esistenza. In secondo luogo, l'interazione tra le molecole deve essere esatta, in maniera tale da garantire la trasmissione e l'elaborazione dell'informazione. Il che conduce a postulare la stereospecificità delle molecole: «una proteina troverà il suo posto in una cellula perché diretta da un segnale codificato nella sua sequenza di amminoacidi, che determineranno la sua proprietà di stereospecificità nei confronti delle altre costituenti cellulari» (Kupiec & Sonigo 2009, 81). Il modello alla base di questa spiegazione è quello della chiave e della serratura. Una volta accettata la caratterizzazione stereospecifica, la ricerca, conseguentemente, tenderà a focalizzarsi su una concezione statica del mondo, proiettando sulle molecole caratteristiche discrete, atomistiche e composizionali riducendo qualsivoglia forma di interazione non funzionale (accidentale) a rumore di fondo. Anche in questo caso, la metafora dell'informazione genetica fa da tramite a una concezione dell'ordine biologico pressoché identica a quella dell'ordine nella cosmologia aristotelica. In quest'ultima,

una cosa trovava il suo posto a seconda della propria natura, che determinava una relazione specifica con un luogo. Secondo la teoria della biologia molecolare, una molecola trova il suo posto a seconda dell'informazione che contiene (natura), che determina le sue proprietà e le sue relazioni stereospecifiche con gli altri costituenti della cellula. (Kupiec & Sonigo 2009, 83).

Infine, l'ultimo punto da chiarire consiste nell'accorpamento nel DNA della doppia funzione di «codice di leggi e di potere esecutivo» – detto altrimenti, l'attribuzione di autoriproduzione e di autoazione al DNA. La fusione di queste funzioni ebbe l'effetto di rendere per lungo tempo immotivato il ritorno alle uova e alla loro struttura citoplasmica, per non parlare degli eventi anteriori la fecondazione. L'idea che a essere trasmessi dai genitori alla prole fossero solo i geni mise in ombra il fatto che l'eredità di un organismo è composta non solo dal DNA, ma anche da un'intricata struttura di meccanismo cellulare costituito di proteine. Queste osservazioni, che potevano essere considerate di senso comune nell'embriologia di inizio secolo, vennero sostanzialmente relegate all'invisibilità dal discorso sull'azione del gene per molti anni.

## V. Quando una metafora nelle scienze è una buona metafora?

Alla luce di quanto detto in precedenza, che possiamo dire a proposito della metafora dell'informazione genetica? Si tratta di una buona metafora? Dal punto di vista di Boyd, dovremmo dire di sì. Se si adotta come criterio di valutazione il successo del programma di ricerca veicolato dalla metafora informazionale, pochi potrebbero negarne la fecondità. L'opera di sequenziamento dei genomi ha vissuto un'era a dir poco gloriosa a partire dagli anni '80; per non parlare della risemantizzazione che ha investito la quasi totalità del vocabolario biologico: nozioni come quella di “segnale”, “istruzione”, “controllo”, infatti, sono estremamente diffuse negli articoli e nei testi di biologia. Il fatto che si trattasse di ipotesi di lavoro ormai viene

tralasciato, dando per scontato che il significato tecnico dei termini si fondi su un riferimento reale. Tuttavia, se le critiche che precedono hanno un minimo di plausibilità – e secondo chi scrive è più che lecito pensare che sia così [10] – la risposta dovrebbe essere no. L'insostenibilità della concezione di Boyd va ricercata in un approfondimento della caratteristica che riconosce alle metafore costitutive di teorie: l'apertura induttiva.

L'induzione stabilisce in che misura certi tratti osservabili si trovano associati; nel farlo formula leggi a carattere probabilistico fondate sul coefficiente di correlazione tra le variabili in gioco. Ma, l'induzione non può spiegare perché certe variabili si trovano costantemente associate e altre no; e non può nemmeno azzardare alcuna spiegazione del perché certi valori e non altri si trovino costantemente associati. Come nota giustamente Melandri, «solo l'ipotesi, e quindi al limite, la teoria consentono un soddisfacimento dell'esigenza esplicativa». (Melandri 2004, 447) Perciò, piuttosto che nell'individuazione di un riferimento "reale", l'apertura induttiva di una metafora scientifica si esaurisce nel momento in cui subentra una conoscenza sistematica delle cause, ossia una teoria. Modernamente, ciò significa introdurre una qualche considerazione dinamica del divenire degli oggetti (per esempio, nel caso del moto, il principio di inerzia), per poi, nel migliore dei casi, sviluppare una meccanica che renda univoco il senso della causalità. Diversamente, in un contesto classico – ossia influenzato dall'aristotelismo –, la spiegazione, poiché si fonda sulla morfologia e sulla classificazione, tende a coincidere con la descrizione degli individui.

L'induzione, come si è detto, non può comprendere il momento ipotetico; al limite, qualora confutasse l'ipotesi, può suggerire la necessità di formulare un'alternativa. Tutto ciò acquisisce senso solo se è possibile fissare la fattispecie degli individui inseriti in un calcolo; per esempio, nel caso della meccanica newtoniana, limitandosi a proprietà quali la massa, la posizione (in uno spazio omogeneo) e la velocità. In altre parole, l'induzione può far parte di un sistema ipotetico-deduttivo solo se è di tipo estensionale, «se un individuo (caso, evento) ha una certa proprietà, anche il successivo l'avrà». Il problema è che esiste un altro tipo di induzione, che potrebbe essere definita, per contrarietà, intensionale, o analogica: essa «consiste nel supporre che se due individui hanno una certa proprietà in comune, ne avranno anche una seconda». (Melandri 2004, 445-446) [11] Questo secondo tipo di induzione, dato che può condurre alla scoperta di nuove proprietà rilevanti, svolge un ruolo fondamentale nella formazione delle ipotesi. Ma, legittimando l'ampliamento del riferimento e l'eventuale ridefinizione della fattispecie sotto esame, un uso spregiudicato dell'induzione intensionale può rendere problematica, se non equivoca, la maggior parte delle attribuzioni individuali, facendo venir meno le condizioni minimali per far parte di un calcolo (identificazione, sostituibilità, corrispondenza univoca).

Chiaramente, l'apertura induttiva stimolata dalle metafore scientifiche pertiene all'induzione analogica; il che, a livello formale, spiega perché la maggior parte delle metafore falliscano o incorrano in confusioni:

[10] Per una disamina critica, bibliograficamente rigorosa e aperta a prospettive teoriche alternative, cfr. (Soto et al. 2016). Per chi volesse farsi un'idea dei dibattiti tesi a definire teoricamente la nozione di informazione in biologia – che raggiunsero, non a caso, data l'eco mediatica e le aspettative riposte nello Human Genome Project, il loro apice tra gli anni '90 e i primi anni 2000 – rinviamo a uno dei primi contributi critici, (Nijhout 1990), e a una rassegna più o meno esauriente dei tentativi effettuati, (Griffiths 2001). Infine, per un contributo consapevole della posta epistemologica e politica mediata dall'uso delle metafore in campo scientifico, cfr. (Noble 2009).

[11] Il riferimento principale da cui Melandri attinge, con variazioni ed estensioni concettuali che andrebbero messe in rapporto ai §§ 38, 84, 129 de *La linea e il circolo*, la distinzione tra l'induzione estensionale e quella analogica è Pap (1967, 206-215).

in assenza di una meccanica, l'analogia tra i campi messi in risonanza deve essere ritenuta, in linea di principio, arbitraria.

La nostra analisi, dunque, sembra condurci a una completa delegittimazione della metafora nella scienza. È davvero così? Dobbiamo, nuovamente, e per l'ultima volta, affinare i nostri strumenti analitici.

Seguendo le analisi di Philip Ellis Wheelwright, possiamo distinguere due aspetti del moto semantico operato dalle metafore: l'epifora e la diafora. La prima denota l'ampliamento di significato di cui è suscettibile un termine inserito in un paragone e procede dal più noto (il veicolo semantico) al meno noto (il tenore semantico) [12]; la seconda, invece, indica il processo di sintesi attraverso cui una traslazione semantica crea un nuovo significato. [13] Per tenere a mente questa distinzione possiamo considerare la rilevanza della mimesi nelle arti: ogni qualvolta subentri un fattore di somiglianza, non importa se naturale, artistico o rivolto a qualche idea nota, ci troviamo di fronte ad un esempio di epifora; diversamente, se tale fattore imitativo non è presente, come nella pittura astratta, nella poesia simbolista o nella musica, ci troviamo di fronte ad un esempio di diafora. A seconda dell'aspetto tematico messo in luce, perciò, una metafora può funzionare epiforicamente o diaforicamente; non solo, i due modi sono correlativi e complementari: tanto più uno dei due prevale, tanto più l'altro viene messo in ombra.

L'epifora può essere studiata limitandosi a valutazioni strettamente semantiche; l'analisi della diafora, invece, poiché ha a che fare con la creazione di nuovi significati, deve trascendere la dimensione logico-grammaticale. La sua comprensione necessita l'introduzione della dimensione pragmatica, ossia il riferimento alle modalità dell'azione, nel nostro caso, della traslazione di significato. In tal modo, lo studio della metafora non può più limitarsi a valutare gli effetti persuasivi suscitati dalla fruizione di una figura retorica, ma deve, piuttosto, tramutarsi nello studio sistematico del meccanismo che regge lo spostamento di significato, ovvero in *tropologia* o teoria dei tropi. Il *τρόπος*, infatti, denota il rovesciamento della relazione semantica che normalmente va dal segno al designato, dal termine figurato a quello letterale; assumendo la prospettiva tropologica, «il problema non è più la verità intesa come verificabilità, ma la verità intesa come veridicità: come qualcosa che merita di essere inteso prima ancora di riscontrare se esiste di fatto». (Melandri 2004, 441)

Ovviamente, il campo tropologico è lungi dall'essere ben definito; tuttavia, esistono ottimi tentativi di classificazione dei tropi in funzione, per così dire, trascendentale. Per quanto riguarda le metafore scientifiche, la tripartizione dei tropi in sineddoche, metonimia e cataresi proposta da Foucault in *Le parole e le cose* (Foucault 1978, 128-134) può fare al caso nostro. Data la perspicuità della formulazione, riportiamo la trasposizione che ne fa Melandri nel § 101 de *La linea e il circolo*:

[13] «The other and complementary kind of semantic movement that metaphor engages may be called diaphor. Here the "movement" (*phora*) is "through" (*dia*) certain particulars of experience (actual or imagined) in a fresh way, producing new meaning by juxtaposition alone. (Wheelwright 1962, 78)

[12] «Epiphoric metaphor starts by assuming a usual meaning for a word; it then applies this word to something else on the basis of, and in order to indicate, a comparison with what is familiar. The semantic "movement" (*phora*) here is characteristically from a more concrete and readily graspable image "over on to" (*epi*) what is perhaps vaguer, more problematic, or more strange». (Wheelwright 1962, 72-73)

La “sineddoche” sarebbe la metafora estensiva o epiforica, nella quale cambia il tema – dalla parte al tutto o dal tutto alla parte, per extrapolazione o interpolazione – ma non la diafora. La “metonimia”, la metafora intensiva o diaforica, nella quale non cambia il tema – dalla causa all’effetto o dall’effetto alla causa, per anticipazione o posticipazione di sequenza – ma il modo di usare il veicolo. E infine la “catacre-si” che, come metafora totale, estensiva e intensiva a un tempo, cambia tutto: essa oltrepassa i limiti sia della rappresentazione sia della riduzione e, in quanto figura dell’abusione, entra anche nel gioco più elusivo della dialettica. (Melandri 2004, 530)

Alcuni esempi di introduzione e variazione di termini tecnici possono mostrare la rilevanza di questa sistematica. Quando si estese il concetto di “entropia” dalla termodinamica ad altre branche della fisica, per esempio alla meccanica statistica, lo spostamento, inizialmente, avvenne per sineddoche, dato che il calcolo, la diafora, rimase il medesimo, variando soltanto il riferimento, il tenore. Diversamente, quando Faraday estese il concetto di “campo” dalla gravitazione all’elettromagnetismo, il cambiamento avvenne per metonimia, poiché il riferimento, essendo universale, rimase il medesimo, e cambiò solo il tenore, dando luogo a una teoria che portò alle equazioni di Maxwell. Lo sviluppo della computazione quantistica a partire dalle nozioni di computazione classica può costituire un esempio di catacre-si; in questo caso, la variazione del tenore e del veicolo sconfinava nell’abuso variando in maniera difficilmente controllabile. Infine, se pensiamo all’uso del termine “campo” in psicologia o in biologia, tenore e veicolo variano senza che sussista alcun principio regolativo. La metafora in questo caso non permette l’introduzione di alcun termine tecnico; qualora si venissero a definire un “campo psicologico” o un “campo biologico”, il termine “campo” sarebbe solamente omonimo di quello fisico.

A questo punto, possiamo tornare agli esempi analizzati in precedenza: nel caso della metafora galileiana ci troviamo di fronte a un’ambiziosa catacre-si che pretende di farsi passare per sineddoche; la posta in gioco è la matematizzazione della fisica e, grazie alla stabilità e alla ripetibilità della metafora del Libro della Natura, assurta a vero e proprio simbolo della nuova scienza, sarà possibile, nel corso degli anni, sviluppare una meccanica adeguata a mediare e rendere univoco il senso della causalità fisica proposto da Galilei. Che dire, invece, della metafora dell’informazione genetica? Dal punto di vista tropologico, dato che non sussiste alcun principio regolativo tra la nozione di informazione tecnica e quella genetica, abbiamo a che fare con un analogo dell’estensione di “campo” in psicologia. Ciò, ovviamente, non ci esime dal cercare una spiegazione della sua straordinaria diffusione e proliferazione. Prescindendo dalle considerazioni teoriche esposte nel § 4, pare lecito sostenere che la metafora informazionale abbia fornito «motivi e incentivi potenti per mobilitare risorse, per identificare particolari programmi di ricerca, per concentrare le energie e l’attenzione scientifica in particolari direzioni» influenzando «scienziati, amministratori, enti preposti alle sovvenzioni». (Fox Keller 1996, 34 leggermente modificata)

Se ci limitiamo a esaminare la semantica delle metafore scientifiche, finiamo per applicare, più o meno inconsapevolmente, un pregiudizio isomorfo nei confronti del rapporto tra i tenori e i veicoli; conseguentemente, la fecondità di una metafora verrà identificata con la capacità di sostenere investigazioni sempre più profonde delle analogie e

delle somiglianze tra i campi giustapposti. Ciò che passa inosservato, tuttavia, è che, così facendo, introduciamo surrettiziamente l'identità tra i due argomenti come norma del giudizio, identità che non potrà mai essere raggiunta dato che l'articolazione della metafora presuppone l'eterogeneità. Il fatto, è che «i trofi scientifici non si risolvono analiticamente, nell'ambito delle singole discipline. Essi contengono alla radice un problema in senso lato morale: che, come tale, rimanda da ultimo a una decisione e non a un'ulteriore conoscenza». (Melandri 2004, 544) La necessità di oltrepassare le analisi gnoseologiche, o strettamente epistemologiche, risulta evidente se teniamo a mente che il tema di una metafora non è il suo contenuto empirico o il suo significato referenziale «ma questo insieme col suo traslato o intenzione seconda della significazione; corrisponde piuttosto a ciò che Aristotele chiamava *διάνοια*, ossia la riflessione atta a trarre una morale dal mito. Il tema è dunque la favola più la morale della favola». (Melandri 1969, vii-viii) La domanda che porremo alle metafore scientifiche, perciò, suonerà sempre così: qual è la morale della favola? Le risposte, idealmente, saranno due, così come due saranno le forze che si contrapporranno nel definire la *διάνοια* della metafora: una a prevalenza razionalizzante, l'altra volta alla formulazione dell'oggettività in termini di alterità radicale. Qualora una metafora propenda a identificarsi in termini simbolici, pretenda l'autonomia e riduca un campo fenomenico in funzione della propria rappresentabilità, quasi certamente avrà «per tema non la conoscenza, ma una certa volontà, progetto o iniziativa di dominio del mondo: il cui carattere è da ultimo politico e non scientifico». (Melandri 2004, 564) Circostanziare il caso contrario è più difficile; possiamo farlo indirettamente, ribadendo che

la scienza non è semplicemente la capacità di previsione: altrimenti le nostre aspettative si trasformerebbero in norme; ma è la capacità di previsione più la costante aspettativa dell'abnorme, o meglio dell'anomico. L'oggettività scientifica è sintesi di prevedibilità e di anomia. Solo a queste condizioni l'oggettività diventa il modo attraverso cui possiamo renderci intrinseco l'alieno. (Melandri 2004, 463)

Il che, sfortunatamente, non ci conduce ad alcun criterio analogo a quelli formulati da Boyd. Data la natura essenzialmente non-calcolabile delle induzioni analogiche, la componente razionalizzante può sussumere, in linea di principio, qualsiasi metafora. Idealmente, l'omogeneizzazione a tenore simbolico può procedere all'infinito (come nel caso, per esempio, della nozione di computazione universale formulata da Wolfram 2013). In generale, non esiste un modo per evitare alle metafore di morire, di ridursi a simboli, di venire asservite a progetti tecnici o politici. In fondo, però, il conflitto tra razionalizzazione e oggettività si gioca nel campo dell'immaginario e sarà solo sostituendo, o meglio, creando nuove metafore che rispondano al nostro bisogno di senso, di spiegazione, e non di previsione, che potremo conoscere qualche aspetto del mondo a noi alieno.

## Bibliografia

- Bazerman, C. (1988). *Shaping Written Knowledge: The Genre and Activity of the Experimental Article in Science*. Madison: The University of Wisconsin Press.
- Black, M. (1983). *Modelli archetipi metafore*. Trad. it. di A. Almansi, E. Paradisi. Parma: Pratiche Editrice.
- Boyd, R. & Kuhn T. S. (1983). *La metafora nella scienza*. Trad. it. L. Sosio. Milano: Feltrinelli.
- Contini, A. (2016). La forza cognitiva della metafora: convergenze e divergenze nel dibattito novecentesco. *I castelli di Yale online*, 4(1), 14-28.
- Cremschi, S. (1988). *Metafore, modelli, linguaggio scientifico: il dibattito postempirista*. In V. Melchiorre (a cura di) (1988). *Simbolo e conoscenza* (31-102). Milano: Vita e Pensiero.
- Eco, U. (1980) Metafora, in *Enciclopedia Einaudi*, IX. Torino: Einaudi, 191-236.
- Foucault, M. (1978). *Le parole e le cose*. Trad. it. E. Panaitescu. Milano: BUR.
- Fox-Keller, E. (1996). *Vita scienza e cyberscienza*. Trad. it. di S. Coyaud. Milano: Garzanti.
- Frezza, G. & Gagliasso, E. (2014). Fare metafore e fare scienza. *Aisthesis. Pratiche, Linguaggi e Saperi dell'estetico*, 7(2), 25-42.
- Frye, N. (1993). *La duplice visione*. Trad. it. di F. Valente, C. Pezzini Plevano. Venezia: Marsilio Editori.
- Galilei, G. (1966). *Il Saggiatore* (1623). In *Opere*. Ed. Nazionale a cura di A. Favaro. Firenze: Giunti-Barbera.
- Gastel, B. & Day, R. A. (2016). *How to Write and Publish a Scientific Paper*. Santa Barbara, California: Greenwood.
- Gilbert, W. (1990). *A Vision of the Grail*. In Kevles D. J. & Hood, L. (eds) (1990). *The Code of Codes: Scientific and Social Issues in the Human Genome Project* (83-97). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Griffiths, P. E. (2001). A Metaphor in Search of a Theory. *Philosophy of Science*, 68(3), 394-412.
- Kupiec, J.-J. & Sonigo, P. (2009). *Né Dio né genoma. Per una nuova teoria dell'ereditarietà*. Trad. it. di C. Milani. Milano: Elèuthera.
- Melandri, E. (1969). *Per una filosofia della metafora*. Introduzione a Blumenberg, H. (1969). *Paradigmi per una metaforologia*. Trad. it. di M. V. Serra Hansberg. Bologna: Il Mulino.
- Melandri, E. (2004). *La linea e il circolo. Studio logico-filosofico sull'analogia*. Macerata: Quodlibet.
- Nijhout, H. F. (1990). Metaphors and the Role of Genes in Development. *Bioessays* 12(9), 441-446.
- Noble, D. (2009). *La musica della vita. La biologia oltre la genetica*. Trad. it. di S. Ravaoli. Torino: Bollati Boringhieri.
- Pap, A. (1967). *Introduzione alla filosofia della scienza*. A cura di E. Melandri. Bologna: Il Mulino.
- Richards, I. A. (1967). *La filosofia della retorica*. Trad. it. di B. Placido. Milano: Feltrinelli.
- Schrödinger, E. (1995). *Che cos'è la vita? La cellula vivente dal punto di vista fisico*. Trad. it. di M. Ageno. Milano: Adelphi.
- Soto, A. M., Longo, G., Noble, et al. (2016). From the Century of the Genome to the Century of the Organism: New Theoretical Approaches. *Progress in Biophysics and Molecular Biology, Special Issue* 122 (1), 1-82.
- Watson, J. D. & Crick, F. (1953). Genetical Implications of the Structure of Deoxyribonucleic Acid. *Nature*, 171, 964-967.
- Wheelwright, P. E. (1962). *Metaphor and Reality*. Bloomington-London: Indiana University Press.
- Wolfram, S (2013). The Importance of Universal Computation. In Cooper, S. B. & van Leeuwen, J. (2013). *Alan Turing: His Work and Impact* (44-48). Waltham MA; Kidlington, Oxford: Elsevier.