

Salvatore Califano

ESTETICA E CREATIVITÀ DEI LINGUAGGI SCIENTIFICI

I linguaggi naturali non hanno limitazioni per le loro funzioni semantiche e possono esprimere qualsiasi concetto o osservazione, ma proprio per questa loro generalità sono inevitabilmente vaghi e imprecisi. I linguaggi della scienza sono invece nati per descrivere con precisione e concisione sia oggetti naturali sia teorie. Per soddisfare queste esigenze hanno sviluppato due vocabolari tecnici, uno *osservazionale*, che classifica gli oggetti naturali e uno *teorico* che definisce grandezze non direttamente osservabili come spin, funzione d'onda, potenziale, ecc.

Fondamentale per assicurare concisione e precisione ai linguaggi scientifici è stato l'uso della matematica. La diffusione della matematica nelle discipline scientifiche è iniziata alla fine del XVII secolo in un periodo in cui logica e linguistica erano caratterizzate da un atteggiamento critico verso i linguaggi correnti, considerati pieni di irregolarità, di ridondanze e di ambiguità piuttosto che fonti di conoscenza, mentre cresceva l'interesse per la semiotica, per la crittografia, per la stenografia così come per gli ideogrammi dei cinesi e i geroglifici egiziani. In questa atmosfera culturale si sviluppò l'idea di linguaggi universali.

Già prima però, Francis Bacon (1561-1626) si era interessato a un linguaggio scientifico ideale. Nella ricerca di una chiave universale per la comprensione della natura, Il grande Lord Cancelliere affrontò nell'*Advancement of Learning* del 1605 e nel *Novum Organum* del 1620, il problema del linguaggio, mostrando come il discorso scientifico necessitasse di precisione e di concisione e come fosse indispensabile

eliminare *all ornaments of speech, similitudes, treasury of eloquence, and such like emptinesses*.

Le idee di Bacone influenzarono il pensiero di Cartesio (1596-1650), portandolo a sviluppare strutture linguistiche che giocheranno in seguito un ruolo importante nello sviluppo di sistemi fonetici artificiali.

In una lettera del 1629 all'abate Marin Mersenne (1588-1648), descrisse le sue idee di un linguaggio perfetto:

Il faudra que l'humanité crée une langue internationale; sa grammaire sera si simple qu'on pourra l'apprendre en quelques heures; il y aura une seule déclinaison et une seule conjugaison; il n'y aura point d'exceptions ni irrégularités et les mots dériveront les uns des autres au moyen d'affixes.

Tuttavia Cartesio non sognava una lingua primitiva, fatta per uomini incolti, ma una lingua “filosofica”, in grado di organizzare il pensiero, mettere in ordine i concetti, distinguendo quelli semplici da quelli complessi. Egli vedeva una analogia tra numeri e idee e pensava che le idee semplici combinate fra di loro producessero quelle complesse, così come numeri semplici producono numeri a più cifre con operazioni aritmetiche.

Cartesio sviluppò l'idea della *mathesis universale*, un progetto di matematizzazione della scienza che aveva le sue radici nel pensiero di Platone, di Aristotele e nel neoplatonismo di St. Agostino, che nel *De Musica* aveva sostenuto la perfezione matematica del creato:

Omnia in numero et pondere et mensura disposuisti

L'idea della *mathesis* era in realtà già presente in artefici del Rinascimento italiano del XV e XVI secolo, da Nicola Cusano (1401-1464), che sosteneva nella *Dotta ignoranza* una conoscenza modellata sulla matematica, a Marsilio Ficino (1433-1499) autore della *Theologia Platonica* che vedeva il perfetto ordine divino dell'universo riflesso nella

intuizione matematica, a Leonardo da Vinci (1452-1519) che pensava che *nissuna umana investigazione si può dimandare vera scienza, s'essa non passa per le matematiche dimostrazioni*, e a Giordano Bruno (1548-1600) che addirittura chiamava mathesis il collegamento tra la matematica e il mondo fisico.

Le idee di Cartesio furono riprese dallo scozzese George Dalgarno (1626–1687) che sostenne nella *Ars Signorum* del 1661 l'importanza di un “linguaggio filosofico” e di una enciclopedia universale con segni coerenti con le immagini mentali degli oggetti. Altrettanto interessato a un linguaggio universale fu il vescovo John Wilkins (1614-1672), uno dei fondatori della Royal Society, che nel saggio *An Essay towards a Real Character and a Philosophical Language* del 1668 propose tra l'altro un suo sistema metrico e la creazione di un linguaggio con il quale filosofi e scienziati avrebbero dovuto comunicare.

Il programma della mathesis universale influenzò molti filosofi e logici del Settecento da Leibniz (1646-1716) al Marchese di Condorcet (1743-1794) che formulò perfino un programma di matematizzazione dei fenomeni sociali. Anche Leibniz utilizzava il termine *Mathesis* per designare la sua *Ars combinatoria*, una simbolizzazione dei concetti con cui operare calcoli logico-matematici. L'*ars combinatoria* era vicina all'*Ars Magna* di Raimondo Lullo (1235-1315) di cui Giordano Bruno era stato il maggiore interprete, e faceva parte della *characteristica universalis* di Leibniz (che egli chiamava leziosamente in francese *spécieuse générale*), un linguaggio formale fatto per costruire nuove proposizioni derivando gli enunciati relativi agli eventi complessi da quelli semplici.

Il sogno di Leibnitz di un linguaggio ideale non fu certo condiviso da molti suoi contemporanei, soprattutto dai letterati che vedevano nella rigida

applicazione di principi logici una forte limitazione per l'intuizione e lo spontaneismo creativo. Per esempio sia Jonathan Swift nei *viaggi di Gulliver*, sia Voltaire nel *Candide* presero sarcasticamente in giro il linguaggio universale e la visione di Leibnitz del *meilleur des mondes possibles*. Nell'*Optimiste* Voltaire inventò addirittura il ridicolo personaggio di Pangloss che cercava di indottrinare il povero Candide con argomenti leibnitziani. Anche Goethe si divertì bonariamente a parodiare la matematizzazione dei linguaggi formali:

Die Mathematiker sind eine Art Franzosen: Redet man zu ihnen, so übersetzen sie es in ihre Sprache, und dann ist es alsobald ganz etwas anders.*

Consideriamo innanzitutto il linguaggio delle scienze naturali che caratterizza lo sforzo di classificare in una struttura ordinata milioni di piante, animali e minerali. Il *Sistema Naturae* di Carlo Linneo del 1735 ha fornito alla scienza uno strumento che a livelli successivi d'informazione, specie, famiglia ordine, classe, regno ecc. permette di mettere ordine nell'eterogeneità della natura, condensando nei nomi il massimo possibile d'informazione. Esso non rappresenta però solo la semplice attribuzione di nomi a singoli oggetti. Investe invece le basi profonde dell'organizzazione della natura e assegna alla sistematica naturalistica la ricerca di connessioni nascoste tra oggetti diversi, nell'ambizioso tentativo di identificare le strutture elementari di un ordine naturale superiore. La classificazione della varietà naturale è oggi complicata dagli sviluppi della teoria dell'evoluzione e della genomica, e tutto lascia pensare che una revisione

* *I matematici sono come i francesi. Se uno parla con loro, immediatamente lo traducono nella loro lingua e diventa un'altra cosa.*

dei paradigmi della classificazione della natura possa prima o poi portare a una loro ristrutturazione.

Concentrerò ora l'attenzione sulle strutture teoriche di quelle che si chiamano normalmente "scienze dure", matematica, fisica e chimica e sullo sviluppo dei loro linguaggi, in particolare sulla matematizzazione della fisica e della chimica e sull'influenza che questo processo ha avuto sullo sviluppo di queste discipline.

La matematica è per sua natura una struttura teorica che, arricchita nei secoli di simboli e teoremi, si è articolata in branche divenendo il sostegno teorico delle scienze sperimentali. L'applicazione della matematica al mondo fisico pone però un interrogativo che da sempre impegna filosofi della scienza e matematici: per quale ragione la matematica spiega correttamente il mondo fisico e perché si adatta così perfettamente a rappresentarlo?

L'interpretazione di quella che Eugene Wigner chiamava *l'irragionevole potenza della matematica* può essere presentata sulla base di due ipotesi alternative che definiscono lo stato ontologico del problema.

La prima è che il mondo della natura abbia una struttura matematica e le nostre teorie non facciano altro che metterla in evidenza: questa posizione ha dominato l'interpretazione del mondo fisico soprattutto nel XVII secolo e ha trovato in Galileo, Keplero, Newton e Cartesio i suoi più famosi rappresentanti. Galileo scriveva nel Saggiatore che la natura è *scritta in lingua matematica* e Keplero era convinto che Dio avesse creato l'universo secondo un preciso schema matematico, modellando la sua cosmologia sull'armonia dei solidi platonici.

L'altra interpretazione è che noi vediamo il mondo fisico attraverso il funzionamento delle reti di neuroni e sinapsi che trasformano

l'informazione in pensiero matematico. Recenti ricerche di neurofisiologia mostrano che i processi creativi avvengono nei lobi frontali del cervello e dipendono dalle interazioni tra neuroni e sinapsi che creano nuove connessioni tra processi fino allora scollegati tra di loro. In altre parole il nostro cervello matematizzerebbe il mondo comportandosi come un calcolatore elettronico auto programmabile, capace cioè di inventare nuovi pezzi di programma che diventano poi nuovi sistemi di pensiero.

La matematizzazione delle scienze sperimentali non è sfuggita all'inizio del Novecento alla discussione sui fondamenti della matematica. Negli anni venti David Hilbert (1862-1943), uno dei più grandi matematici del secolo, propose di trasformare la matematica in una teoria puramente assiomatica con certezze assolute e capace di dimostrare sempre se una dimostrazione è corretta. Nel 1931 e nel 1936 due importanti eventi fecero però tremare il magnifico edificio razionale di Hilbert. Nel 1931 Kurt Gödel (1906-1978) pubblicò due teoremi di incompletezza, secondo i quali esistono asserzioni matematiche che sono vere ma la cui verità non è dimostrabile sulla base degli assiomi di partenza e nel 1936 Alan Turing provò con il teorema di arresto (halting theorem) che ci sono molte cose in matematica che possono essere definite ma non calcolate, dimostrando quindi l'esistenza di problemi non decidibili, incapaci cioè di fornire risposte in un tempo finito.

I problemi sollevati dai teoremi di Gödel e di Turing sono certamente di grandissima importanza filosofica e concettuale, ma non hanno creato troppe difficoltà alle applicazioni di formalismi matematici alle scienze sperimentali. Di fatto alla fine della seconda guerra mondiale la generazione di matematici e logici interessati a considerare la crisi dei fondamenti come un ostacolo insormontabile al progresso della formalizzazione delle teorie è andato progressivamente riducendosi. Pian

piano si è creata l'opinione che, anche se esistono limiti a quello che può essere dimostrato usando teorie assiomatiche, in pratica questi limiti non riducono la potenza di predizione delle strutture teoriche. In realtà la fisica ha il vantaggio rispetto alla matematica pura di non dover dimostrare l'auto-evidenza dei postulati delle sue teorie; Le equazioni di Maxwell e Schrödinger non sono auto-evidenti ma sono di grande aiuto nell'unificare un gran numero di dati sperimentali. In altre parole: se si calcolano l'apertura alare e il peso del corpo di un calabrone si conclude che non può volare. Lui però non lo sa e vola lo stesso.

La nascita della struttura teorica della fisica, iniziata con Aristotele con l'introduzione delle definizioni e delle categorie e con l'idea della "quantità della qualità" da cui deriverà l'aspetto quantitativo della scienza moderna, continuò nel Medioevo soprattutto grazie a un gruppo di pensatori inglesi, (Thomas Bradwardine, William Heytesbury, Richard Swineshead e John Dumbleton), noti come i "calcolatori" del Merton College di Oxford, che nella prima metà del XIV secolo sostituirono le quantità aristoteliche con grandezze numeriche, stabilirono le basi della cinematica e discussero il moto di un corpo in caduta libera, problema la cui soluzione è attribuita a Galileo ma che era stato studiato oltre 200 anni prima anche dal francescano Giovanni di Casale, professore a Bologna. Quasi contemporaneamente si sviluppava con Jean Buridan e con il francescano Nicole Oresme una equivalente scuola francese di cinematica su basi geometriche alla quale si deve, molto prima di Cartesio, un sistema di coordinate geometriche. La geometrizzazione dello spazio ricevette un notevole impulso anche dallo sviluppo della prospettiva, realizzato dagli artisti italiani del Rinascimento e fece il suo ingresso nella matematica con

la geometria analitica di Cartesio e con la rappresentazione della posizione dei corpi con terne di coordinate nello spazio Euclideo.

Con la rivoluzione scientifica l'interesse si spostò sulla rappresentazione matematica delle proprietà fisiche. Nel 1623, Galileo introdusse nel *Saggiatore* la distinzione tra qualità "primarie" che definiscono la struttura geometrico-matematica del mondo e qualità "secondarie" che rientrano nell'ambito dei sensi. La distinzione galileiana divenne rapidamente un paradigma della fisica meccanicistica.

Il personaggio centrale della formalizzazione della fisica fu però Isaac Newton sostenitore dello spazio e del tempo assoluto, che formulò le leggi fondamentali della dinamica e costruì gli strumenti matematici per affrontare questo compito, sviluppando il metodo delle flussioni poi sorpassato dal più potente calcolo infinitesimale di Leibnitz che inventò anche la notazione di derivata e di integrale. Le leggi del moto furono poi riformulate in forma analitica da Lagrange nel suo testo di *Mécanique analytique*, usando il calcolo delle variazioni e il principio di minima azione. La formalizzazione della meccanica, cui contribuì anche Maxwell con la classificazione delle grandezze fisiche in base alle sole proprietà matematiche, fu sviluppata poi da William Hamilton nel 1827 e definitivamente completata dalla teoria della relatività generale di Einstein. La formalizzazione di Hamilton si è rivelata preziosa per lo sviluppo del formalismo della meccanica quantistica. Il trionfo della formalizzazione della meccanica quantistica, avvenne con il massiccio uso della tecnica degli operatori proposti da Oliver Heaviside (1850–1925) e adottati nel 1926 da Born, Jordan e Heisenberg utilizzando la tecnica delle matrici e poi da Paul Adrien Dirac con la definitiva formulazione nel 1928 della meccanica quantistica relativistica, uno dei prodigi della fisica del XX

secolo. Il formalismo di Dirac che introduceva operatori di creazione e di distruzione di fotoni, rivelò subito la sua grande potenza creatrice prevedendo l'esistenza del positrone, l'elettone positivo e derivando da primi principi lo spin dell'elettrone. Le equazioni di Einstein e di Dirac non sono però solo importanti per la fisica. Sono anche di una grande eleganza formale, eleganza che lo stesso Dirac sottolineò più volte, sostenendo che una teoria matematicamente bella ha più probabilità di essere giusta e corretta di una sgradevole anche se confermata dai dati sperimentali. Questa idea della bellezza formale delle teorie è stata poi ripresa da molti autori. Einstein scrisse per esempio che **la matematica pura è la poesia della logica** e Roger Penrose ha sostenuto che è misterioso come mai un discorso che attragga esteticamente abbia maggiori probabilità di essere corretto di uno poco elegante. A mio avviso la coscienza dell'universalità della conoscenza scientifica, associata all'apprezzamento dell'eleganza dell'uso delle simmetrie negli sviluppi teorici, alla alta densità concettuale delle equazioni matematiche e al piacere legato alla scoperta di nuovi orizzonti culturali, realizza un importante parallelismo con il godimento estetico che usa categorie mentali simili per apprezzare la bellezza. Jules Henry Poincaré paragonò con un gioco di parole matematica e poesia:

Faire des mathématiques, c'est donner le même nom à des choses différentes. Faire de la poésie c'est donner des noms différentes à la même chose.

Il potere magico del formalismo matematico rende i modelli teorici del mondo fisico estremamente potenti in quanto, fornendo una struttura chiara e trasparente del problema, rivela subito cosa manca e chiarisce quali altri fatti, fino a quel punto scollegati, possono essere associati. La creatività di un formalismo è quindi legata al fatto che l'insieme delle proposizioni iniziali e la loro combinazione secondo regole insite nel formalismo stesso,

contiene molti più aspetti della realtà di quanti non siano stati utilizzati per stabilirne all'inizio la struttura.

Il numero di fenomeni fisici previsti dalle teorie e poi scoperti sperimentalmente è altissimo e non avrebbe senso citarli tutti per giustificarne la creatività. Basterà ricordare la previsione della relatività generale di Einstein della curvatura dello spazio fisico verificata da Eddington nel 1919, la scoperta del neutrino predetto da Wolfgang Pauli, dell'entanglement quantistico concepito da Schrödinger in base al paradosso di Einstein-Podolsky-Rosen, dei buchi neri, dell'effetto transistor, della superconduttività predetta dalla teoria di Ginsburg-Landau, per rendersi conto di come le teorie riescano spesso ad anticipare i risultati sperimentali con veri e propri processi creativi.

Anche la chimica ha vissuto nel XVIII secolo la sua matematizzazione grazie al tedesco Jeremias Richter (1762–1807), laureato con Kant a Königsberg con una tesi sulle applicazioni della matematica alla chimica. Il sogno di Richter di formalizzare la chimica lo spinse a cercare impossibili relazioni matematiche tra dati che non avevano nessuna regolarità. Convinto che la chimica fosse una branca della matematica applicata e che progressioni aritmetiche e geometriche fossero “*date da Dio*”, cercava le stesse relazioni tra i dati dell'analisi chimica. Queste idee, anche se sbagliate, crearono le basi per lo studio della stechiometria, una delle strutture portanti della chimica. Dalle idee di Richter è nata la grande chimica sintetica del Novecento.

Caratteristiche fondamentali del linguaggio scientifico sono l'uso di metafore di grande potenza euristica e di simboli. Parole cariche di significati metaforici come “**antimateria, big bang, vento solare, campo magnetico, buco nero, linee di forza, ecc**” offrono una visione immediata

e globale dei problemi di grandissima potenza rappresentativa, sostituendo con immagini visive lunghe e complesse spiegazioni. Le metafore hanno sempre avuto un ruolo importante nei linguaggi, ma nel caso dei linguaggi scientifici hanno trovato un terreno particolarmente fertile per la loro capacità di sintetizzare in una breve espressione il significato profondo di un problema senza necessariamente utilizzare tutto l'apparato teorico per trasmettere l'informazione. Ancora più importante e decisivo è stato il ricorso ai simboli che ha giocato un ruolo decisivo nello sviluppo della matematica. Simboli come quelli di derivata, integrale, variabile, funzione ecc. riescono a comprimere in una sola riga di scrittura operazioni che richiederebbero pagine intere se espresse nel linguaggio comune, come brillantemente espresso da Poincaré in *La Science et L'Hypothèse*

...l'esprit a la faculté de créer des symboles...Sa puissance n'est limitée que par la nécessité d'éviter toute contradiction.

L'uso dei simboli ha avuto un ruolo determinante nello sviluppo della discipline scientifiche, ma nel caso della chimica ha dimostrato una capacità creativa di particolare potenza, dando origine nello spazio di due secoli a un mondo artificiale che ha completamente trasformato la società umana. La crescita della struttura industriale delle società moderne e le profonde trasformazioni sociali che ne sono derivate, sono infatti strettamente collegate con lo sviluppo della chimica e ne riflettono l'evoluzione storica, con tutte le sue contraddizioni, ma anche con i suoi costanti arricchimenti e le sue straordinarie realizzazioni.

Nello sviluppo della chimica i primi simboli furono utilizzati dai filosofi ionici per indicare i quattro elementi: il fuoco, l'aria, l'acqua e la terra. Anche i nomi dei composti conservarono per molti secoli la loro natura esoterica, nascondendo le proprietà fisiche e chimiche dietro

fantasiosi termini esotici, come “*lana dei filosofi*” (ossido di zinco), “*zucchero di Saturno*”(acetato di piombo) o “*leone verde*” (solfato di ferro). Fu solo alla metà del XVIII secolo che, per la rapida crescita del numero di elementi e composti si pose il problema di una nomenclatura logica ed efficiente. Il problema fu affrontato da Antoine *Lavoisier* (1743–1794) che sviluppò su proposta di *Guyton de Morveau* una nuova nomenclatura chimica presentata nel 1787 nel famoso testo *Méthode de nomenclature chimique*. L'introduzione di Lavoisier al testo è un pezzo di rara bravura stilistica che con logica stringente descrive in maniera perfetta il rapporto inscindibile tra i fatti sperimentali, le teorie che ad essi si rifanno e il linguaggio che le esprime:

Nous aurons trois choses à distinguer dans toute science physique: la série des faits qui constitue la science; les idées qui rappellent les faits; les mots qui les expriment. Le mot doit faire naître l'idée; l'idée doit peindre le fait; ce sont trois empreintes d'un même cachet, et comme ce sont les mots qui conservent les idées et qui les transmettent, il en résulte qu'il serait impossible de perfectionner la science si on n'en perfectionnait le langage ...

La nomenclatura chimica di Lavoisier era innanzitutto una rivoluzione linguistica. Riformare il linguaggio della chimica corrispondeva a riformarne il metodo. Lavoisier vedeva un parallelismo stretto tra un linguaggio come il francese e la nuova lingua della chimica. I nomi degli elementi corrispondevano alle lettere; queste venivano associate per formare le parole cioè i nomi dei composti chimici. Le reazioni chimiche rappresentavano poi le frasi della *nuova lingua chimica*, la cui grammatica era l'algebra.

Un cambiamento epocale di paradigma avvenne con lo sviluppo della teoria atomica di Dalton (1766-1844). Mentre i simboli di Lavoisier erano semplici icone, nella nomenclatura di Dalton rappresentavano direttamente

gli atomi e quindi erano densi di significati teorici, oltre che della capacità di richiamare immediatamente il nome degli elementi. Il sistema di simboli di Dalton, modificato e integrato da Berzelius, aprì ai chimici un nuovo mondo, quello degli esperimenti mentali. Le formule di Dalton e Berzelius non erano solo un modo di rappresentare i composti chimici associando a piacimento i simboli degli atomi per rappresentare molecole complesse. Erano invece un potente strumento di predizione di nuovi composti, d'identificazione di singole unità come i radicali chimici e di progettazione di nuove molecole. I chimici ebbero così a disposizione un mondo di formule che simulavano perfettamente sulla carta il comportamento delle molecole reali, costituendo un vero e proprio strumento di ricerca che si correlava direttamente con gli esperimenti di laboratorio.

La formalizzazione delle teorie ha portato così a una eccezionale potenza predittiva e creativa. In effetti gli eventi naturali diventano fenomeni fisici solo quando una teoria se ne appropria e li interpreta. I fulmini smisero di essere i segni dell'ira di Giove solo quando la teoria li trasformò in fenomeni elettrici. Anche questa potenza creativa ha però i suoi limiti; nel caso di sistemi molto complessi, il formalismo matematico è infatti spesso troppo complicato per essere direttamente risolvibile. In questo caso la creatività diventa legata all'inventiva di ricercatori capaci di immaginare esperimenti che aprono nuove strade al pensiero e di sviluppare metodi di calcolo che permettono soluzioni approssimate che attraverso processi iterativi si avvicinino al massimo ai valori reali. Per concludere con Einstein:

Teoria è quando si sa tutto ma niente funziona. Pratica è quando tutto funziona e nessuno sa il perché. Mettendo insieme pratica e teoria niente funziona e nessuno sa il perché.