«NECESSARIE DIMOSTRAZIONI». LEGGI E TEORIE NELLA RAZIONALITÀ SCIENTIFICA



A characteristic aspect of modern scientific rationality is the "mathematization" of experience. In this essay an overview is presented of the role of mathematical language, with its rigorous logic and in own internal rules, applied to our understanding of natural phenomena through the discovery of scientific laws and the construction of theories. Modern science with its successes has demonstrated how such a language fits exceedingly well with how the natural world actually is, with its being and ways of working. Even after four centuries, there is no natural phenomenon that cannot be described from a scientific point of view precisely because science's view of the world, according to its multiple and distinct approaches, is nothing other than a specifically mathematical description. The power of mathematics is a subject that never ceases to amaze scientists, for generation after generation.

di
SERGIO RONDINARA

Nella lettera a Madama Cristina di Lorena, stesa nel 1615 per difendersi dalle accuse rivoltegli dal partito anticopernicano fiorentino di andare contro la sacra Scrittura, e che nella sua eleganza linguistica rappresenta uno dei momenti di maggior consapevolezza in cui si è svelata la novità della razionalità scientifica moderna e la sua irriducibilità alle forme conoscitive del passato, Galileo Galilei (1564-1642) scrive così: «mi par che nelle dispute di problemi naturali non si dovrebbe cominciare dalle autorità di luoghi delle Scritture, ma dalle sensate esperienze e dalle dimostrazioni necessarie»[1]. E ancora:

> «pare che quello degli effetti naturali che o la sensata esperienza ci pone dinanzi a gli occhi o le necessarie dimostrazioni ci concludono, non debba in conto alcuno esser revocato in dubbio, non che condennato, per luoghi della Scrittura che avessero nelle parole diverso sembiante»[2].

È qui presente una duplice proposta per definire, da un lato, un ambito autonomo per il nuovo sapere nascente, e dall'altro, nuovi assetti delle *auctoritates* intellettuali in una cultura sostanzialmente cristiana.

In queste due brevi ma pregnanti frasi è racchiusa, insieme alla sintesi galileiana riguardo il discorso sul metodo, anche il nucleo centrale del nuovo *metodo* della scienza nascente. La scienza – per Galilei – è conoscenza oggettiva proprio perché procede secondo un metodo fondato sulle *sensate esperienze* e le *necessarie dimostrazioni*. Osservazione empirica e matematizzazione dell'esperienza sono pertanto le due colonne portanti del metodo galileiano. Affronteremo qui l'importanza e il ruolo che hanno le «necessarie dimostrazioni» nella costituzione della razionalità scientifica moderna.

Le necessarie – a volte Galilei usa anche il termine *certe* – dimostrazioni, sono quelle argomentazioni in cui, partendo da un'ipotesi iniziale, vengono dedotte con rigore logico-matematico quelle conseguenze che si dovrebbero poi ritrovare nella realtà osservata o sperimentata.

Sia pur all'interno della tendenza alla critica dell'aristotelismo del tempo, Galilei riconosce il valore del rigore logico che Aristotele ha insegnato per secoli attraverso le sue opere. Galilei ravvisa, inoltre, quanto lo stagirita abbia voluto insegnare, nei suoi scritti di logica, l'essere vigilanti e attenti ad evitare gli errori del discorso, indirizzando il lettore a sillogizzare e a dedurre correttamente dalle premesse le necessarie conclusioni, e nel *Dialogo sui massimi sistemi del mondo* mette in bocca a Salviati: «la logica […] è l'organo col quale si filosofa»[3].

Galilei, quindi, sottolinea sì il richiamo all'osservazione, ai fatti, alle sensate esperienze, ma allo stesso tempo mette in evidenza l'importante ruolo che hanno le ipotesi matematiche e la forza della logica nella ricerca della verità scientifica.

Uno strumento privilegiato dell'indagine scientifica è dunque, per Galilei, la matematizzazione dell'esperienza. In essa, da un lato, si attribuisce un valore alle

1) G. Galilei, *Lettera a Madama Cristina di Lorena*, in Id., *Le opere di Galileo Galilei*, Edizione nazionale a cura di A. Favaro, Barbèra Editore, Firenze 1932, vol. V, p. 316.
2) *Ibid.*, pp. 316-317.
3) Id., *Dialogo sui massimi sistemi*, in Id., *Le opere di Galileo Galilei*, cit., vol. VII, p. 59.

proprietà geometriche dei fenomeni osservati (la traiettoria lineare di un corpo in caduta libera o quella parabolica di un proiettile), lasciando temporaneamente in disparte le qualità sensibili. Dall'altro, si selezionano tra i molti parametri osservabili quelli ritenuti fondamentali per farne uno specifico oggetto di osservazione e misurazione. Ad esempio, i caratteri essenziali della caduta dei gravi vengono individuati da Galilei nel *tempo* di caduta e nello *spazio* percorso. Successivamente, tali grandezze fisiche che determinano il moto, verranno misurate attraverso degli strumenti, e quindi quantificate, riportate in numeri.

1. La matematizzazione dell'esperienza

La nostra abilità di svelare i vari enigmi del mondo naturale che ci circonda e di cui siamo parte integrante, consiste nell'aver appreso il codice, la lingua nella quale il "Libro della Natura" sembra esser scritto. Tale linguaggio, come sostenne già Galilei ne *Il Saggiatore*, è quello della matematica:

> «la filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'universo), […]. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile intenderne umanamente parola»[4].

Parlando dell'immagine galileiana della matematica, come linguaggio sulla natura, non possiamo non notare come esso sia insolito per la cultura del Seicento, influenzata ancora dall'analisi metafisica del naturalismo rinascimentale, e si distacchi nettamente da ogni altro linguaggio umano conosciuto.

Normalmente possiamo usare nel nostro comunicare una qualsiasi lingua in modo approssimato, e se anche infrangiamo qualche regola grammaticale o sintattica possiamo riuscire ugualmente a farci capire dal nostro interlocutore. Anzi, a volte, figure retoriche come l'anacoluto, detto anche tema sospeso, in cui non viene deliberatamente rispettata la coesione fra le varie componenti della frase, e quindi si provoca volontariamente una frattura della regolarità sintattica, vengono usate per motivi estetici o pragmatici come quando, in un dato momento del discorso, si vuole attirare l'attenzione del lettore.

Diversamente per il linguaggio matematico, se in esso non rispettiamo fino nel più minuto dettaglio le sue regole, o se inseriamo nel suo procedere un elemento illogico, di colpo tutto perde consistenza, chiarezza e valore, poiché ciò potrebbe condurre anche a dimostrare il carattere veritativo di proposizioni tra loro contrarie se non addirittura contraddittorie. Questo perché il linguaggio matematico incorpora in sé una logica stringente, che non ammette la minima deviazione dal suo rigore.

Altro singolare carattere del linguaggio matematico è la sua affascinante autonomia, la capacità cioè di esprimere su di un proprio oggetto un pensiero auto-

4) Id., *Il Saggiatore*, in Id., *Le opere di Galileo Galilei,* cit., vol. VI, p. 232.

nomo al punto da presentarsi come un pensiero solitario. Ogni qual volta usiamo un procedimento matematico, non dobbiamo preoccuparci che alcuni presupposti siano soddisfatti, ma possiamo nutrire una fiducia certa che anche le operazioni più complesse siano risolte in piena autonomia, verrebbe da dire automaticamente. La matematica tende a presentarsi come un'estensione delle nostre capacità mentali, come il procedere di un pensiero formale autonomo.

L'azione quantificante della matematica rimanda inevitabilmente all'uso del numero che, nel percorso storico della cultura umana, si è sviluppato a partire dal numerologico per approdare al numerico. La numerologia, in quanto studio a livello religioso o esoterico di una relazione tra i numeri da un lato e gli oggetti del mondo o gli esseri viventi dall'altro, è stata – e per alcuni lo è ancora oggi – una rappresentazione simbolica dell'universo in cui i numeri hanno un proprio valore e significato, che possono essere svelati soltanto a partire da una loro corretta interpretazione. Alcuni numeri rimandano ad un significato religioso, altri alla fortuna o alla sfortuna. Ma il carattere numerico dell'uso dei numeri in matematica differisce alquanto dalla prospettiva numerologica, poiché non attribuisce un significato particolare ai vari numeri in quanto tali, ma alle loro relazioni.

Lo slittamento dell'interesse culturale dal numerologico al numerico ha segnato innegabilmente il superamento dall'antica rappresentazione del mondo data dall'ermetismo, secondo cui l'universo veniva interpretato come un insieme di misteriosi segni da decodificare, alla visione moderna del mondo per la quale il significato degli oggetti si trova esaminando il rapporto di questi con altri oggetti all'interno di un ordinato e preciso quadro concettuale.

Questi sviluppi non furono repentini e, come mostrano recenti e approfonditi lavori di storia della scienza[5], durante il periodo della rivoluzione scientifica la tradizione ermetica era presente e operava in modo non trascurabile insieme alla tradizione magica, all'alchimia e all'astrologia. Certamente nel Seicento ci sono stati filosofi, come Francis Bacon (1561-1626), che hanno criticato con forza sia la magia che l'alchimia, ma è ormai chiaro agli storici come magia, alchimia e astrologia siano ingredienti riscontrabili un po' ovunque nelle varie fasi della rivoluzione scientifica. Così come lo è stata la tradizione ermetica che, rifacendosi ad Ermete Trismegisto, aveva come principi fondamentali il parallelismo tra macrocosmo e microcosmo, la simpatia cosmica, e la concezione di un universo inteso come un essere vivente.

Di fatto, durante la rivoluzione scientifica, alcune idee ermetiche furono rese funzionali al processo della genesi della conoscenza scientifica. Ad esempio, Copernico si rifece all'autorità di Ermete Trismegisto – insieme alla filosofia neoplatonica – per legittimare il suo eliostaticismo.

Questa rivoluzione si sviluppò tra un mare di idee. Fra queste, non tutte furono funzionali alla nascita della scienza moderna, ma alcune di quelle che lo furono vennero eliminate man mano che la conoscenza scientifica s'affermava nel suo carattere veritativo, perché ritenute un sapere spurio.

Sin dagli inizi, in ogni aspetto del mondo naturale che essa ha preso in considerazione, la scienza moderna ha mostrato come il linguaggio matematico calzi a

5) Cf. ad esempio P. Rossi, *Il tempo dei maghi. Rinascimento e modernità*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2006.

meraviglia al modo d'essere del mondo naturale e al suo funzionamento. Ancora oggi, infatti, a quattro secoli di distanza non c'è fenomeno naturale che sfugga al suo potere descrittivo.

In realtà il potere euristico della matematica può essere colto ed espresso in due modalità diverse, ma cooperanti nell'impresa scientifica, quali la capacità di spiegare e quella di fare predizioni.

Riguardo alla prima capacità può accadere agli scienziati di trovarsi senza adeguati strumenti nel cercare di dare una spiegazione ai problemi di una data fenomenologia; allora essi costruiscono con la loro creatività e ingegno dei veri e propri metodi per fare un'analisi quantificatrice del fenomeno naturale. L'esempio più noto e interessante è quello della formazione del calcolo infinitesimale realizzato da Isaac Newton (1642-1727) per descrivere le traiettorie dei corpi in movimento, e dello spazio in genere, scomponendo in una successione di eventi infinitamente piccoli, *infinitesimi*, che portò il fisico inglese alla formulazione dei tre princìpi della dinamica e alla legge della gravitazione universale. In pratica tutto ciò che poi avrebbe costituito il nucleo centrale del programma di ricerca della meccanica classica, la cui capacità euristica e precisione lo ha tenuto in vita per quasi due secoli e mezzo.

Ma la cosa più sorprendente e stupefacente è che spesso nel corso della storia, matematici e geometri hanno sviluppato nuovi campi di studio a partire dai loro interessi speculativi senza alcun riferimento o intenzione ad una più o meno immediata applicazione pratica, e poi dopo qualche anno – o decenni – i fisici scoprono che proprio quegli studi matematici sono i più adatti al loro lavoro poiché riescono a spiegare in maniera sensata le loro osservazioni o esperimenti sul mondo reale. La storia della scienza è ricca di tali esempi: dagli studi sulle sezioni coniche fatte dal matematico greco Apollonio di Perge (262-190 a.C.) nel terzo secolo a. C., all'utilizzo che ne fece nel 1609, nella sua *Astronomia nova*, Johannes Kepler (1571-1630), per descrivere l'effettiva orbita dei pianeti intorno al Sole; dai lavori del matematico francese Évariste Galois (1811-1832) sulla teoria dei gruppi all'inizio dell'Ottocento, all'utilizzo di un particolare gruppo (SU[3]) da parte di Murray Gell-Mann (1929) e Yuval Ne'eman (1925-2006) negli anni sessanta del Novecento per spiegare il comportamento degli adroni nella fisica delle particelle, spiegazione che è alla base dell'attuale teoria sulla coesione dei nuclei atomici.

Riguardo al carattere predittivo, pensiamo a quelle appropriate conclusioni fatte mediante attente analisi sulle equazioni matematiche, utilizzate in un dato sapere. Ad esempio, nel 1928, partendo dai lavori di Wolfgang Pauli sui sistemi non relativistici con spin, il fisico-matematico inglese Paul Dirac (1902-1984), in una serie di articoli, derivò – quale soluzione della versione relativistica dell'equazione di Schrödinger – l'equazione che poi prese il suo nome e che descriveva con eleganza formale l'elettrone da un punto di vista relativistico. Le conclusioni di Dirac sull'equazione che esprimeva i risultati relativistici dei fenomeni quantici, lo portarono a prevedere l'esistenza dell'antimateria, e quindi di una nuova e più ricca concezione della realtà materiale fino ad allora inedita anche per i fisici stessi. La prima forma di antimateria fu poi trovata sperimentalmente quattro anni dopo da Carl David Anderson (1905-1991) con la scoperta del positrone.

Un altro esempio a riguardo è l'elegantissima, quanto sintetica compagine delle quattro equazioni di James Clerk Maxwell (1831-1879), stilate agli inizi della

seconda metà dell'ottocento e che nella loro formalità racchiudevano non solo la descrizione di ogni fenomeno elettromagnetico allora conosciuto, ma predicevano l'esistenza delle onde radio che il fisico Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) scoprì con un apparato di sua costruzione soltanto due decenni dopo.

L'efficacia della matematica sul mondo reale è un fatto che ha caratterizzato la razionalità scientifica sin dai suoi inizi, fino ad identificarsi con essa. Oggi giorno, ormai, la descrizione scientifica del mondo, secondo le sue ancor molteplici e distinte fenomenologie, non è altro che una sua descrizione matematica. Non è difficile constatare nel corso della storia delle scienze naturali che, mentre le descrizioni scientifiche si allontanano sempre più dalla conoscenza comune, gli strumenti matematici che vengono adoperati per svelarne la complessità sono sempre più astratti e precisi, sempre più accurati. Se poi guardiamo al rapporto tra matematica e fisica scopriamo che si tratta di un vero e proprio rapporto simbiotico.

Molto spesso però in ambito scientifico si tende a dare per scontato tale intelligibilità matematica del mondo, e molto raramente ci si ferma a riflettere su un tale presupposto epistemologico dell'attività scientifica.

L'efficacia della matematica nel descrivere il nostro mondo naturale è un argomento che non finisce mai di stupire gli scienziati, generazione dopo generazione. Da un lato abbiamo il mondo naturale con i suoi oggetti e la sua complessità sempre attiva che tende a nascondere i propri segreti, dall'altro abbiamo l'ambito delle strutture matematiche con i propri simboli, operatori e algoritmi. Ma dato che riusciamo a descrivere gli oggetti del mondo reale mediante l'astrazione delle operazioni matematiche non possiamo non chiederci: quali legami esistono tra questi due sfere? Questi due mondi sono veramente distinti? Vi è qualcosa nel mondo reale che non possa essere astratto in quello matematico? E viceversa: qualcosa che esiste nel dominio matematico potrebbe non avere alcuna applicazione nel mondo del nostro universo fisico? Perché ha esito positivo, e che esito, la lettura matematica dei fenomeni naturali? Perché la matematica e la geometria descrivono così accuratamente su piccola e vasta scala il modo d'essere della realtà naturale?

Tentare di rispondere a tali quesiti richiederebbe un'ampia trattazione riguardo la complessa questione su quale sia la natura della matematica, su che cosa essa sia e su quale fondamento si costituisca, ma non possiamo addentrarci in tali questioni pena l'uscita dal tema. Vale però la pena spendere alcune parole sul fatto che il difficile problema su quale sia la natura della matematica non trova soluzione ispirandosi alle diverse riflessioni filosofiche oggi accreditate poiché nessuna di esse riesce a dare una spiegazione esaustiva ed esente da fondate obiezioni critiche.

Infatti, se pensiamo la matematica come una creazione dell'intelletto umano che costituisce e mette in relazione tra loro enti matematici prodotti – *costruttivismo* –, dovremmo fornire le ragioni sul perché tali creazioni hanno la capacità di spiegare e scoprire proprietà dei corpi e dei fenomeni del mondo naturale esterno e totalmente estraneo alle astrazioni del nostro mondo intellettivo.

D'altra parte se consideriamo la matematica nella sua concezione platonica – *platonismo* –, cioè come il frutto della scoperta umana di relazioni e oggetti astratti esistenti indipendentemente da noi e di cui non sappiamo ipotizzarne e collocarne l'origine, dovremmo allora spiegare non solo l'efficacia della matematica, ma anche come siamo entrati in contatto con un tale dominio di astrazioni.

Entrambe le interpretazioni non rispondono alla nostra questione e dobbiamo pertanto accontentarci del fatto che, nella nostra descrizione del mondo naturale, ci troviamo dinanzi ad una "irragionevole quanto affascinante efficacia della matematica" come ebbe a definirla il fisico, premio Nobel, Eugene Wigner (1902-1995).

2. Regole e leggi

Ma come si applica la matematica ai fenomeni naturali?

Tutto prende avvio dalla parametrizzazione e dalla misurazione; sono queste tra le più importanti fasi dell'attività scientifica. Attività nella quale le osservazioni e gli esperimenti sono dei singoli avvenimenti particolari che lo scienziato utilizza per giungere a formulare una proposizione universale che chiamerà regola. In questa operazione, accade nel discorso scientifico il passaggio da un evento particolare (osservazione/esperimento) ad una proposizione universale (regola). C'è qui un duplice passaggio, dal particolare all'universale, ma anche da evento a proposizione. Un esperimento è sempre molto complesso, e per descriverlo in maniera adeguata occorre formulare numerose proposizioni particolari; il problema consiste proprio nel come scegliere la proposizione particolare adatta ad essere generalizzata e a racchiudere tutto il contenuto dell'evento.

Trovare le proposizioni particolari da generalizzare significa individuare quali sono i fattori – detti anche parametri – che hanno un'influenza reale sul fenomeno osservato o sull'esperimento, fattori che debbono essere resi misurabili.

In questa operazione di parametrizzazione[6] del fenomeno vige un principio metodologico che consiste nel separare i vari fattori e trovare i loro rispettivi influssi sul fenomeno. Ad esempio, la proposizione "l'acqua bolle a 100 °C" è generalmente vera. Dico "generalmente", perché non è sempre valida. Infatti in montagna l'acqua bolle ad una temperatura inferiore, e in una pentola in pressione bolle a una temperatura più elevata.

Ora, supponiamo che abbiamo imparato dalla semplice osservazione quotidiana che l'acqua bolle a 100 °C e vogliamo sapere se questa regola sia sempre valida. Scegliamo la pressione atmosferica come un parametro da esaminare e ipotizziamo che la pressione atmosferica abbia influsso sull'ebollizione. L'ipotesi sta ad indicare che non siamo certi che la nostra proposizione universale "l'acqua bolle a 100 °C" sia vera o falsa. Con questa ipotesi andiamo in montagna e osserviamo che il punto di ebollizione si è abbassato; l'ipotesi è dunque controllata empiricamente. La proposizione: "il punto di ebollizione dell'acqua varia in funzione della pressione atmosferica", ci dice che abbiamo portato alla luce una verità, una regola empirica che, ripetendo più volte l'esperimento con valori diversi della pressione, mi permette di trovare la regola di come varia la temperatura di ebollizione dell'acqua al variare

6) Ad esempio, fino al 1774 negli esperimenti chimici si usava comunemente, come parametro per valutare quantitativamente la materia dei reagenti, il *volume*. Da quell'anno, con la possibilità di misurare la massa di un corpo, Lavoisier mutò parametro di riferimento, e passò dal volume al *peso* della materia, introducendo in questo modo l'uso della bilancia nei laboratori chimici.

della pressione atmosferica. Se invece l'ipotesi fosse stata contraddetta dall'esperimento, avremmo allora avuto una sua confutazione. Mentre il risultato della confutazione è categorico, il risultato della verifica è soltanto un indice di probabilità. Quando una regola ipotizzata viene più volte verificata acquista una probabilità tale da avvicinarsi alla certezza, e a questo punto la regola empirica diventa legge scientifica, diventa una proposizione universale che mi dice, mediante una formalizzazione matematica, come varia un dato parametro fisico in funzione di un'altro.

Chiediamoci ora, da un punto di vista matematico, quali sono gli elementi necessari per la corretta determinazione di una legge scientifica. Sono essenzialmente tre e corrispondono ai tre elementi caratterizzanti una equazione differenziale:

- la *struttura algoritmica* che ci rappresenta secondo la formalità matematica la legge stessa. In altre parole si tratta della stessa formula matematica dell'equazione differenziale. Tale struttura ha la capacità logica di legare tra loro i valori delle condizioni iniziali e quelli delle previsioni, che non sono poi altro che il risultato del calcolo mediante l'algoritmo stesso;

- le *condizioni iniziali*, o al *contorno*, da applicare all'algoritmo onde declinare la sua universalità a uno specifico caso in esame. Questi sono i dati numerici che esprimono lo stato del sistema in esame al momento ritenuto iniziale, e che vanno inseriti nella formulazione matematica della legge stessa;

- le *costanti di natura* presenti nella struttura algoritmica insieme ai parametri ritenuti variabili, che in quanto valori numerici universali indicano l'ancoraggio numerico della struttura algoritmica alla realtà. Queste costanti con i loro valori numerici ci dicono l'intensità del tipo di relazione fra variabili che stabilisce l'algoritmo stesso. Con i loro valori, esse indicano quantitativamente per un dato fenomeno lo specifico modo in cui i vari elementi della natura si relazionano tra loro: sono l'espressione quantitativa di una qualità caratterizzante la fenomenologia in esame.

C'è da precisare che se usciamo dagli ambiti della fisica, ovviamente, le tre componenti di una legge scientifica appena esaminate potrebbero non essere obiettivamente riscontrate. Nonostante ciò, il focalizzare l'attenzione soltanto sulle leggi fisiche è più che giustificabile, per il fatto che la fisica è la scienza empirica in cui la nozione di legge ha un ruolo molto importante, più rilevante che in altre scienze, oltre al fatto che la matematizzazione in fisica è in una fase molto avanzata rispetto alle altre scienze della natura. Questo giustifica l'operazione secondo cui ciò che riusciamo a dire significativamente, dal punto di vista filosofico, riguardo alle leggi della fisica, possa estendersi anche alle leggi formulate nelle altre scienze.

Tuttavia, dopo vario tempo dalla sua formulazione non è escluso che la legge venga confutata: ciò è accaduto spesso nella storia della scienza, e una nuova legge permetterà di scoprire i limiti del campo d'azione della precedente. Così la legge della conservazione della massa, una delle tre leggi ponderali della chimica, formulata da Antoine Lavoisier (1743-1794) nel 1774, è stata sostituita dalla legge di conservazione di massa-energia ad opera di Albert Einstein (1879-1955) nel 1905. Questa nuova legge ci permette di determinare i limiti di validità della precedente. Quando i limiti sono conosciuti non si parla più della vecchia legge, anche se nella pratica (entro i limiti di validità), nel linguaggio si continua a parlare di legge di conservazione della massa.

La formulazione di una legge scientifica ha in sé un carattere rivelativo riguardante il profilo ontologico del reale; ci mostra che nel mondo fisico gli oggetti esistono come membri di una specie, e si comportano sempre, più o meno, tutti allo stesso modo. In altre parole ci mostra l'esistenza di una regolarità presente nella natura.

Dalle aleatorie particelle elementari del microcosmo sino alle ancora misteriose strutture biologiche della vita e alla complessa architettura dell'universo intero, il grande e variegato spettacolo della natura mostra un sottostante carattere comune, manifesta una certa regolarità dei fenomeni naturali. Tale regolarità presente nella natura è un fatto, un dato costante della nostra comune esperienza quotidiana. Osserviamo infatti il succedersi del giorno e della notte, il movimento della Luna e dei pianeti, il mutare delle stagioni, la nascita e la morte degli individui animali e delle persone umane. Ma la stessa esperienza quotidiana c'insegna che non tutto è regolare nella natura: c'è in essa anche un aspetto imprevedibile, caotico. Osserviamo infatti avvenimenti imprevisti o imprevedibili come le eruzioni vulcaniche, i terremoti, e le sorprese dovute alla spontaneità degli animali e dell'uomo. C'è dunque una regolarità nella natura, ma non tutto è regolare. Se volessimo esprimere questa convinzione fornitaci dai fatti in una proposizione potremmo affermare: *le stesse cose, nelle stesse circostanze, si comportano sempre più o meno nella stessa maniera.*

La regolarità nella natura non è soltanto un dato della nostra esperienza, essa è anche un presupposto della scienza. Fare scienza – secondo il carattere galileiano delle "necessarie, o certe, dimostrazioni" – vuol dire ricercare una spiegazione dei fenomeni naturali mediante un'analisi quantitativa di tale regolarità per enucleare delle leggi scientifiche, le quali non sono altro che l'espressione sul piano epistemico di quella regolarità nella natura presente sul piano ontologico. Senza la regolarità nella natura lo scienziato non avrebbe motivo per fare ricerca, poiché la sua motivazione a cercare regole e leggi scientifiche sul mondo naturale dipende appunto dalla regolarità di quest'ultimo.

La regolarità presente nella natura è anche un presupposto della vita umana e del linguaggio. Infatti, se ci fosse un cambiamento significante di tale regolarità, ad esempio a livello elettromagnetico, potremmo avere tali cambiamenti a livello biochimico da far venir meno nel corpo umano quei processi vitali che lo caratterizzano e lo tengono in vita. Riguardo al linguaggio, se la natura non fosse regolare nella relazionalità dei suoi elementi non si avrebbe la permanenza degli oggetti del mondo, quegli stessi oggetti di cui il linguaggio parla, e quindi del loro significato. Parlando confermiamo l'esistenza di una regolarità nella natura.

La regolarità nella natura è quindi un presupposto dell'attività scientifica oltre che un presupposto già esistente nel vivere e nel parlare di ciascuno. Siamo in presenza di una proprietà generale del mondo.

Chiediamoci ora quale rapporto intercorra tra una legge scientifica e la nozione filosofica di causalità. Aristotele (384-322 a.C.), nel presentare con chiarezza la sua concezione dell'*epistème*, afferma: «scienza si ha quando conosciamo la causa per la quale una cosa è e che proprio di tal cosa è causa e che non può essere altrimenti»[7]. Da questo testo scaturisce la tradizionale definizione di scienza:

7) Aristotele, *Analitici Posteriori*, I, 2, 71b 9-12.

conoscenza delle essenze delle cose a motivo della loro causa; dove il termine "causa" deve essere inteso, in tutta la sua portata, come causalità estrinseca, efficiente e finale, e come causalità intrinseca, formale e materiale. Per questo motivo nell'antichità classica la scienza in senso stretto è scienza dimostrativa. È quel sapere, cioè, che una volta formulati alcuni princìpi, assiomi e postulati, ne deduce le conseguenze logiche, e conseguentemente spiega che cosa sono gli oggetti e i fenomeni, rispettivamente, secondo la conoscenza di essenze e di cause.

In epoca moderna con l'emergere della scienza nascente assistiamo ad un cambiamento radicale e abbiamo la sostituzione della conoscenza delle cause con la ricerca delle leggi. Ma in che senso una legge fisica o chimica può essere considerata una causa?

Per Francis Bacon, Descartes e Newton la fisica non è altro che una ricerca delle cause dei fenomeni, ma queste vengono associate alla nozione di legge fisica. Ora, abbandonando l'aspetto storico e mettendo in rapporto le due concezioni notiamo che nel sistema aristotelico le leggi non sono certamente identificabili né con le cause efficienti, né con le cause finali, né con le cause materiali, ma – possiamo domandarci – possono essere dunque identificate con le cause formali?.

Dinanzi a tale questione non potremmo che formulare una risposta negativa poiché la forma, intesa in senso aristotelico, è un principio dell'essere e quindi un principio nell'ordine ontologico, mentre una legge scientifica è una proposizione sugli oggetti e sui fenomeni del mondo e non un principio nell'ordine ontologico, e quindi non è identificabile con la forma. Lo scienziato si interessa di leggi e non di principi ontologici che sono oggetto di una pura speculazione filosofica. D'altra parte però, lo scienziato cerca la verità sulle cose del mondo.

Ora, facendo riferimento alla dottrina ilemorfica di Aristotele, sappiamo che nella natura tutto ciò che è determinato – e tutto ha ricevuto una determinazione – è tale a motivo della forma. Le proposizioni universali che valgono per tutti i membri di una stessa specie, sono l'espressione dell'essenza della specie, e ciò che è determinato nell'essenza di un oggetto è la sua forma. E siccome la forma esprime le cause formali, le leggi scientifiche in quanto proposizioni universali esprimono le cause formali anche se non possono essere identificate con esse. Le leggi sono spiegazioni causali, spiegano le cause, cioè sono traduzioni di un principio metafisico nell'ordine fisico. Esse esprimono sul piano epistemologico quella causalità formale riscontrabile sul piano ontologico. Una legge fisica è dunque una spiegazione causale perché rappresenta la causa formale e quindi è più di una pura descrizione.

Le scienze della natura, attraverso le proprie leggi, esprimono le cause formali; quindi non solo descrivono, ma spiegano, poiché trovano l'espressione formale delle cause. La maggior parte delle leggi non esprimono però sul piano scientifico tutta la forma di una cosa (es. la legge di Gay-Lussac non esprime la forma per tutti i gas, ma solo per un gas perfetto), e per avere una spiegazione completa di una data fenomenologia ci vogliono più leggi messe insieme: ciò spinge e conduce alla costituzione di una teoria. Solo dopo aver espresso coerentemente una teoria completa avremo l'estensione completa della forma.

La legge scientifica è una proposizione generale, e una teoria è un insieme di proposizioni, o meglio può essere considerata una proposizione risultante dalla congiunzione logica delle singole proposizioni rappresentanti le leggi scientifiche che concorrono alla sua costituzione.

3. Teorie scientifiche

Una teoria è un sistema consistente di leggi o ipotesi che intende spiegare più o meno completamente un certo campo di fenomeni, cioè una data fenomenologia. "Consistente" vuol dire che il sistema è privo di contraddizioni logiche. Il "più o meno" vuole indicare che a volte qualche fenomeno può sfuggire alla spiegazione di una data teoria: sono le cosiddette anomalie.

Le teorie scientifiche sono dei costrutti logici che possiedono un duplice carattere derivante dalla matematizzazione: esplicativo e predittivo. All'interno di una data fenomenologia, il *carattere esplicativo* permette di dedurre da alcune ipotesi, ritenute più generali, le proposizioni riguardanti i fatti già noti entro un certo ambito di ricerca, mentre il *carattere predittivo* cerca di dedurre, dalle proposizioni riguardanti le stesse ipotesi generali – insieme alla conoscenza di alcuni fatti –, delle proposizioni riguardanti dei nuovi fatti osservabili.

In questo modo una teoria si configura come una costellazione di ipotesi disposte secondo un preciso ordine gerarchico. Al vertice abbiamo le ipotesi più generali, quelle cioè che in tutte le operazioni deduttive operate sulla teoria saranno presenti sempre come delle premesse. In basso troviamo invece quelle ipotesi che nell'operare deduttivo della teoria sono presenti come conclusioni. Esse generalmente sono delle proposizioni universali dal carattere di semplici generalizzazioni, come nel caso delle leggi empiriche. Fra questi due gruppi si trovano quelle ipotesi intermedie che risultano essere sia delle conseguenze delle ipotesi più generali, sia delle premesse per successive deduzioni.

Questo schema corrisponde a quello di qualunque teoria deduttiva che sia organizzata assiomaticamente, dove le ipotesi generali hanno il ruolo di assiomi mentre tutte le altre costituiscono i teoremi. Possiamo subito constatare da un tale schema che nessuna ipotesi di una teoria scientifica può mai risultare isolata. Essa è o un assioma, o una conseguenza logica di esso, o in alcuni casi una definizione. Questo è un dato epistemologico molto importante quando si affronta la questione della falsificazione di una ipotesi.

Il carattere assiomatico di una teoria scientifica non deve però farci perdere il riferimento che essa deve inevitabilmente possedere riguardo al mondo naturale. Essa, pur essendo un costrutto logico, deve presentarsi sin dal suo stagliarsi come un sistema formale interpretato che faccia riferimento ad oggetti dell'esperienza empirica. In questo consiste la diversità tra i sistemi formali puri della matematica e quelli delle scienze naturali. Le teorie scientifiche debbono pertanto possedere sempre nel proprio interno delle stipulazioni semantiche che presentino quale significato attribuire ai loro termini.

È proprio su questo punto che nelle teorie della fisica si cristallizza una grossa difficoltà. Infatti mentre una buona teoria scientifica mostra chiaramente i legami tra termini in essa presenti, nessuna teoria in fisica riesce ad esprimere i nessi di attribuzione del significato fisico ai suoi termini teoretici. Mentre per i termini osservazionali non si presenta alcuna difficoltà d'interpretazione poiché essi hanno un significato immediato e preciso, per i termini teoretici abbiamo il grande problema di come assegnare loro un significato fisico.

Ad esempio è stato un argomento ampiamente dibattuto nella filosofia della scienza del Novecento la questione se gli atomi esistessero realmente. Il termine

"atomo" venne introdotto prima in chimica da John Dalton (1766-1844) e poi in fisica da Ernest Rutherford (1871-1937), come un termine teoretico per spiegare la deflessione di un fascio di particelle *alfa* su di un bersaglio di oro, ma già una generazione di fisici successiva a quella di Rutherford ritenne l'atomo un oggetto esistente realmente nel mondo fisico, senza giustificare razionalmente il passaggio di una tale attribuzione quando nessun atomo era stato mai osservato.

Spesso una legge descrive un solo fenomeno, mentre una teoria comprende e collega tra loro vari fenomeni. In questo modo si potrebbe parlare di una teoria come di una legge più generale, dalla quale, date le condizioni particolari, si possono dedurre leggi particolari che acquistano il carattere di conclusioni. Questo cammino dalla teoria alla legge particolare, è un cammino deduttivo in quanto, come nel sillogismo una conclusione segue a delle premesse, così la legge particolare acquista necessità logica in quanto deriva dalla legge generale o teoria. In questo modo la legge generale spiega la legge particolare. Tale spiegazione viene normalmente chiamata deduttivo-nomologica.

La storia della scienza e l'esperienza quotidiana ci mostrano che lo scienziato è alla continua ricerca di leggi e teorie unificanti, cioè sempre più generali, capaci di sintetizzare la molteplicità delle fenomenologie all'interno di un dato campo di ricerca. Nella fisica ciò è molto evidente; in ogni fase della sua storia c'è sempre stata in essa la tendenza all'unificazione delle sue più importanti teorie. Non sappiamo se tale processo ci condurrà un giorno alla costituzione di una teoria unificata di tutte le teorie esistenti e quindi di tutte le leggi particolari, ad una teoria unificata conclusiva, ma bisogna rilevare che la tendenza c'è, e se un giorno ciò si realizzasse significherebbe la fine della ricerca in fisica, la fine della fisica. Avremmo raggiunto un'esaustiva comprensione dei fenomeni naturali al punto da non avere più a disposizione campi d'indagine inesplorati.

La scienza desidera comprendere e spiegare tutti i fenomeni naturali e nel fare ciò tende a mostrare l'unità del mondo. Sotto la ricerca scientifica si cela sommessa la ricerca dell'unità del mondo. Mediante l'attività scientifica possiamo assumere una nuova forma di consapevolezza circa l'unità del mondo naturale. Stiamo così scoprendo un altro aspetto dello scopo conoscitivo della scienza. Il primo aspetto, come abbiamo già visto, è la regola empirica che ci da una comprensione non completa del fenomeno studiato in quanto non risponde alla domanda: "perché?". Allora siamo spinti a trovare risposte più generali, le leggi scientifiche che spieghino e contengano quelle particolari: questo è il secondo aspetto. Il fisico che ha controllato positivamente una legge scientifica, è in possesso di una spiegazione iniziale; tuttavia questa comprensione non è completa, è parziale e quindi c'è la necessità di trovare proposizioni più generali capaci di dare una spiegazione completa anche di quella legge particolare, la teoria. La tendenza, poi, delle teorie a convergere verso una loro unificazione ci mostra come l'attività scientifica tenda ad esprimere sul piano epistemico la forma del mondo naturale, la sua unità fisica. Ricercare la verità sul mondo significa anche ricercarne la sua unità. L'uno è vero.

SERGIO RONDINARA
Professore stabile di Epistemologia e cosmologia presso l'Istituto Universitario Sophia
Sergio.rondinara@iu-sophia.org