

OTTAVIO SERRA

## Obiettivi e metodi della scienza

*LE VIE DELLA CERTEZZA IN FISICA (Enrico Persico)*

### Introduzione

Il **metodo scientifico** è la modalità tipica con cui la scienza procede per raggiungere una conoscenza della realtà che sia *oggettiva, affidabile, verificabile e condivisibile*. Esso consiste, da una parte, nella raccolta di evidenze empiriche attraverso l'osservazione e l'esperimento; dall'altra, nella formulazione di ipotesi e teorie da sottoporre al vaglio dell'esperimento per testarne l'efficacia. Nel dibattito epistemologico si assiste in proposito alla contrapposizione tra i sostenitori del metodo induttivo e quelli del metodo deduttivo.

L'espressione *metodo scientifico*, in realtà, può essere usata per riferirsi a concetti sensibilmente diversi. In particolare è possibile distinguere essenzialmente due significati principali, anche se esistono molte sfumature e non è possibile trovare una vera e propria separazione fra i due concetti.

Da una parte si può intendere il metodo scientifico in un senso astratto, come l'insieme dei criteri (teorici e operativi) sulla base dei quali un risultato, teorico o sperimentale, può essere considerato effettivamente scientifico. In particolare si tratterebbe di quei criteri che permettono di distinguere un discorso scientifico da un discorso metafisico, religioso o pseudoscientifico: si tratta della questione nota come **problema della demarcazione**.

Dall'altra il metodo scientifico può riferirsi più squisitamente alla pratica quotidiana e concreta dello scienziato, o almeno alla pratica adottata dalla comunità scientifica nel suo complesso, nella sua attività di ricerca.

Come si diceva, i due significati non sono completamente indipendenti l'uno dall'altro. Si potrebbe sostenere, ad esempio, che se esistono dei criteri di metodo che caratterizzano il discorso scientifico (*primo significato*) questi dovrebbero per forza essere gli stessi adottati concretamente dagli scienziati nella loro attività quotidiana (*secondo significato*). D'altra parte è anche vero che il modo di procedere del singolo scienziato può anche essere più o meno fuori da ogni schema (si pensi alle molteplici figure in qualche modo geniali che hanno caratterizzato la storia della scienza e al loro modo di procedere per intuizione e senza alcun metodo sistematico), e che a caratterizzare come scientifici i suoi risultati sono dunque criteri in qualche modo indipendenti dalla sua attività di scoperta e ricerca.

In realtà non c'è un accordo universale sulle regole che possano essere applicate in tutti i contesti e in tutte le discipline per avere garanzia di scientificità. Secondo alcuni esisterebbero comunque delle differenze peculiari tra il metodo scientifico ed altri metodi per raggiungere la conoscenza della **verità** (?). Si possono elencare più metodi, variamente usati, per acquisire la conoscenza:

**Metodo della tenacia**: si sa che una cosa è vera perché su di essa si fonda la nostra vita e perché si continua a dire che è vera.

**Metodo dell'autorità**: una cosa è vera perché stabilita da una fonte autorevole (Aristotele, la Bibbia, un grande scienziato).

**Metodo dell'intuizione o a priori**: una cosa è vera se è in accordo con la ragione, che per *inclinazione naturale* tende alla verità.

**Metodo della Scienza**: la nostra conoscenza è garantita non da qualche fattore umano, ma da una **realtà esterna** (?) permanente e *non influenzata* dal nostro pensiero.

Però un aspetto fondamentale da discutere è proprio ciò che si vorrebbe assumere come punto di partenza: esiste sul piano ontologico ciò che chiamiamo "***realtà oggettiva***"? O è un costrutto del pensiero umano, uno delle più ***solide*** impalcature mentali che abbiamo creato per inquadrare i fenomeni? (Vedi il dramma di Einstein, il paradosso **EPR** e la *non località quantistica*).

Ma ora vediamo come nasce la scienza dal mito e dalla magia, da cui continua a possedere i caratteri del racconto e della volontà di potenza, volontà di dominare i fenomeni.

**a) "Principio di tutte le cose è l'acqua"** (Talete, VI° secolo a.C. e anche gli altri filosofi ioni Anassimene e Anassimandro). Dal racconto mitico di Esiodo, la *Teogonia*, al primo tentativo di un

discorso razionale sulla natura. Viene posto addirittura il problema che sostiene e guida la scienza moderna, l'unicità del principio.

(Dalla molteplicità delle apparenze all'unificazione dei principi, per *salvare i fenomeni*).

**b) "Il Sole è più grande del Peloponneso, le stelle sono pietre infocate"** (Anassagora, V° secolo a.C.).

(Dal mito alla scienza. Gli astri non sono più divinità, che incutono timore e alle quali offrire sacrifici, ma corpi come la Terra. Per la prima volta *Cielo e Terra sono unificati*. Poi, dopo il passo indietro di Platone e Aristotele, bisognerà aspettare due mila anni l'arrivo di Galilei e Newton).

Per queste sue affermazioni Anassagora fu accusato di empietà e rischiò la cicuta, come Socrate. Si salvò per intervento di Pericle.

#### **Brevissimi cenni storici.**

Partiamo dai Greci. Che cosa sono le sfere di Eudosso e di Aristotele? I deferenti ed epicicli di Tolomeo? Sono modelli geometrici immaginati per "*salvare*" i fenomeni astronomici, cioè per spiegare i moti irregolari dei pianeti, non più invocando la capricciosa e insondabile volontà degli dei (*vuolsi così colà dove si puote ciò che si vuole, e più non dimandare*), ma combinando opportunamente moti circolari uniformi; ma nessuno dei pensatori greci credeva che fossero **VERI**, realmente esistenti. Solo nel Medio Evo le sfere di Aristotele saranno dotate di esistenza reale. Copernico pubblicò il "*De revolutionibus orbium celestium*" nel 1542. Il nuovo modello è ancora rozzo e spiega meno bene del modello tolemaico i particolari più fini dei moti planetari. Come mai finì per imporsi, nonostante l'ostilità della Chiesa e l'opposizione della maggior parte degli astronomi del tempo?

Fu l'osservazione strumentale. Fu Galilei che col cannocchiale scoprì i satelliti di Giove e "*vide*" che esistevano altri centri, oltre la Terra di Tolomeo o il Sole di Copernico, intorno ai quali ruotavano dei corpi celesti. Questo fu il primo indizio sperimentale che la Terra poteva **non essere** il centro dell'Universo, che forse il centro era il Sole, come sosteneva Copernico e come aveva anticipato nell'antichità Aristarco. Ma Galilei fu il primo che puntò un artefatto al cielo e *vide sotto l'etereo padiglione ruotarsi più mondi e il Sole irradiarli immoto*. Naturalmente l'universo era ancora piccolo e limitato, non più esteso del cosmo greco. Ancora Newton pensava che il Sole fosse effettivamente fermo al centro di una sfera celeste sulla quale le stelle erano veramente fisse. Ora sappiamo che la fissità delle stelle è un'illusione prodotta dall'enormità delle distanze, per cui vediamo le "*vaghe stelle dell'Orsa*" nella stessa configurazione che appariva ai pastori caldei tre mila anni fa.

Dopo Newton si pensò che la scienza fosse un metodo per avvicinarci gradualmente alla **verità** e il criterio fosse l'osservazione **oggettiva** dei fatti dai quali risalire alla verità teorica con metodo induttivo. Dalla teoria si deducevano poi, per mezzo della matematica, delle conseguenze da sottoporre a verifica sperimentale, che, se positiva, avrebbe **confermato** la teoria.

Ma il fatto è che senza una teoria preliminare non si saprebbe quali fatti osservare e quali esperimenti allestire.

Fra i critici dell'induzione vi fu Bertrand Russell (1872-1970) il quale osservò, con classico *humour* inglese, che pure il tacchino americano, che il contadino nutre con regolarità tutti i giorni, se adotta un metodo induttivo può arrivare a prevedere che anche domani sarà nutrito... ma "domani" è il giorno del Ringraziamento e l'unico che mangerà sarà l'allevatore (a spese del tacchino)!

Una problematica analoga venne sollevata da Karl Popper, il quale osservò che nella scienza non basta "osservare": bisogna saper anche *cosa* osservare. L'osservazione non è mai neutrale, ma è sempre intrisa di teoria, di quella teoria che appunto si vorrebbe mettere alla prova. Secondo Popper, la teoria precede sempre l'osservazione: anche in ogni approccio presunto "empirico" e "induttivo", la mente umana tende inconsciamente a sovrapporre i propri schemi mentali alla realtà osservata. Quella che spesso viene spacciata come «induzione» è in realtà una deduzione, perché costruita sempre *a priori*; l'induzione è soltanto il suo limite negativo, e serve non a **confermare** ma a **confutare**.

Max Plank nelle sue memorie osserva che la gente non si rende conto di quanta teoria c'è sotto operazioni anche molto semplici, come una doppia pesata.

Einstein, in una lettera a Max Born del 4 dicembre 1926, scrive: « Nessuna mole di esperimenti potrà dimostrare che ho ragione; un unico esperimento potrà dimostrare che ho sbagliato. »

**Però anche questa affermazione di Einstein è criticabile. Una teoria, contraddetta da un esperimento, può essere salvata con opportuni aggiustamenti, fino a quando la mole delle osservazioni ed esperimenti che la invalidano è tale da costringere a cambiare il paradigma (Kuhn).**

La scienza ha come obiettivo di spiegare il maggior numero possibile di fenomeni con pochi principi (al limite uno solo: **grande unificazione**, ideale che i pensatori ionici si posero con Talete agli albori delle speculazioni sulla natura); perciò *costruisce modelli interpretativi*. Nella fisica si è affermato in modo preminente, il modello matematico (Vedi Galilei: “Il Saggiatore”).

**La teoria è un insieme di modelli coerente, capace di interpretare tutti i fenomeni conosciuti e prevederne di nuovi.**

La teoria della gravitazione di Newton spiegò le leggi di Keplero e fu in grado di mostrare che queste sono soltanto approssimate (**massa ridotta ecc. per cui fu possibile calcolare la massa della Luna, massa che ora è determinabile con grande precisione, misurando i parametri dei satelliti artificiali che le orbitano intorno**). Dalle anomalie del pianeta Urano la teoria di Newton prevede l'esistenza di Nettuno (Adams in Inghilterra e Le Verrier in Francia; l'astronomo berlinese Galle all'osservatorio di Posdam scoprì nel 1846 il nuovo pianeta a un grado di distanza angolare da quanto previsto col calcolo da Le Verrier). Fu un grande trionfo per il paradigma newtoniano, completato dall'opera di Gibbs, Boltzmann e Maxwell, che ridussero alla meccanica la fisica del calore e, introducendo per la prima volta il calcolo delle probabilità nella scienza, unificarono nello schema della meccanica anche l'irreversibilità dei fenomeni termici. Intanto Maxwell, con la sua grandiosa sintesi dei lavori di Ampère, Oersted, Faraday, unificava elettricità e magnetismo, ci regalava la teoria elettromagnetica della luce e apriva la strada ad Hertz e Marconi. Le forze fondamentali da tre: gravitazionale, elettrica, magnetica, si riducono a due: forza di gravità e forza elettromagnetica. Si va verso il sogno di Talete.

Ci sono, è vero, delle anomalie: lo spostamento del perielio di Mercurio, anche dopo aver tenuto conto delle perturbazioni provocate da tutti gli altri pianeti, presenta ancora un residuo inspiegabile di 42" d'arco per secolo (è piccolo, però ...). Si ipotizzò che il disturbo fosse provocato da un piccolo pianeta battezzato Vulcano, posto tra Mercurio e il Sole, così come Le Verrier aveva spiegato l'anomalia di Urano ipotizzando l'esistenza di Nettuno, ma la ricerca di Vulcano fu negativa. Si pensò di salvare il paradigma newtoniano, ipotizzando che la legge del quadrato inverso fosse solo approssimata, e si modificò “*ad hoc*” l'esponente 2 per far tornare i conti<sup>1</sup> (io ho scritto un software che simula questa situazione), ma è chiaro che gli aggiustamenti ad hoc lasciano l'amaro in bocca. Inoltre la legge del quadrato della distanza è coerente con la tridimensionalità dello spazio (ne è conseguenza nell'ipotesi che lo spazio fisico tridimensionale, vuoto di materia, sia omogeneo, isotropo ed euclideo e di questa ipotesi nessuno dubitò fino al 1916). I tempi erano maturi per una rivoluzione scientifica alla Kuhn. La teoria della relatività generale di Einstein (1915) è anche una teoria della gravitazione, spiega lo spostamento del perielio di Mercurio e in più prevede la deflessione della luce (osservazioni astronomiche organizzate da Eddington già nel 1919 in occasione di un'eclissi di Sole) e il **red shift gravitazionale**, che dovette però aspettare la metà del '900 (Pound e Rebka, 1959 e 1965) per essere osservato. Oramai il paradigma è quello einsteiniano (innumerevoli prove astronomiche: lenti gravitazionali, rotazione del perielio delle pulsar binarie, buchi neri, e applicazioni tecnologiche come i sistemi di posizionamento globale **GPS**); la relatività generale contiene in sé come caso limite di prima approssimazione, per campi deboli (piccole masse gravitazionali), la teoria di Newton. Ma allora non si pone un problema di “verità” per le teorie scientifiche, bensì di adeguatezza nello spiegare i fenomeni e *prevederne di nuovi*. Perciò l'affermarsi di un nuovo paradigma non significa il fallimento della scienza, non significa che la scienza precedente è da buttar via. Ciò sarebbe vero se alla scienza si applicassero i concetti di verità e di falsità. Ma non è così, perché la nuova teoria non ripudia la vecchia, ma la ingloba come caso limite. Sulla Luna ci

<sup>1</sup> Vedi, ad esempio, l'articolo di Giuseppe Armellini in “Cinquant'anni di Relatività”, Giunti Editore 1955.

si va con la vecchia buona fisica classica di Newton, visto che i missili e le astronavi sono lentissimi (rispetto alla velocità della luce). La nuova fisica, relativistica e quantistica, è concettualmente diversa in modo abissale da quella classica, ma a questa si approssima nel cosiddetto “*limite classico*”: velocità e particelle piccole, campi gravitazionali deboli. (Piccole, deboli: rispetto a che cosa?). Naturalmente, alcune conoscenze sono acquisite in modo definitivo: Numero di Avogadro, carica e massa dell’elettrone, costante di Plank, velocità della luce, livelli energetici discreti degli atomi, eccetera.

Dopo Galilei ci sono dei punti fermi nella conoscenza scientifica dai quali non si torna indietro.

Ma quali sono le vie delle certezze scientifiche?

**Mi chiedo, per esempio:** in quanti modi si può determinare il numero di Avogadro?

- (a) Lamine di trioleina (metodo impreciso ma facilmente comprensibile).
- (b) Moto browniano teorizzato da Einstein e realizzazione sperimentale di J. Perrin.
- (c) Esperimento di Millikan (carica dell’elettrone) e legge di Faraday dell’elettrolisi.
- (d) Legge dell’irraggiamento di Plank e determinazione combinata di  $h$  e  $k=R/N_A$ .
- (e) Diffrazione dei raggi X nei cristalli (monometrici), nota la  $\lambda_X$  di un fascio monocromatico ottenuta per diffrazione su un reticolo in luce radente; metodo di alta precisione.
- (f) Opalescenza critica (Van der Waals), metodo elegante anche se impreciso;
- (g) Intensità della luce azzurra diffusa dal cielo (Lord Rayleigh); *poetico, no?*
- (h) Legge dell’effetto fotoelettrico di Einstein e misura di  $h$ . Sembra che non c’entri?
- (i) Teoria di Bohr e determinazione della costante di Rydberg che dipende da carica e massa dell’elettrone, dalla costante  $h$  di Plank e dalla costante di Boltzmann  $k = R/N_A$ .

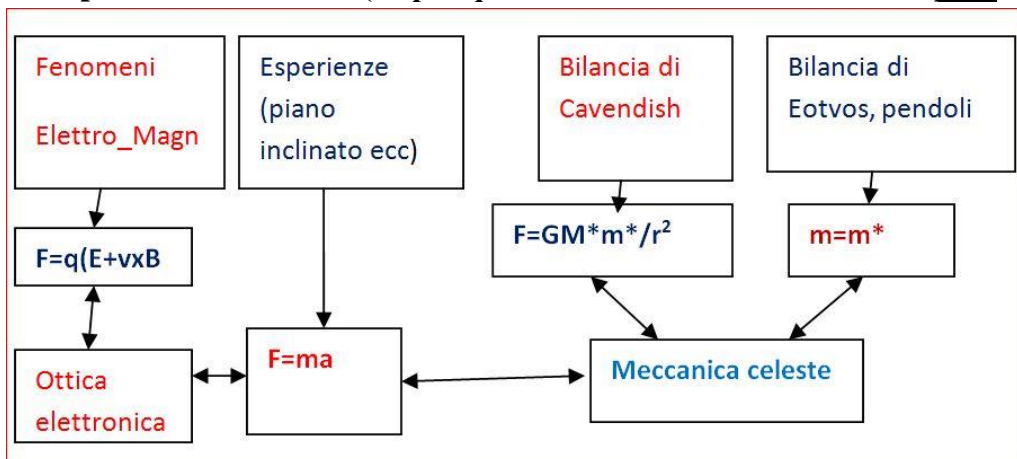
Come si vede, le costanti fondamentali della fisica son interdipendenti e le misure si convalidano a vicenda.

Una rete di relazioni garantisce, nei limiti degli errori sperimentali, la certezza delle misure delle varie grandezze fisiche. Campagne sistematiche, in particolare quelle periodiche dell’ANSI (American National Standard Institute), rendono sempre più piccoli gli errori di misura.

**La figura seguente<sup>2</sup> vuole rappresentare la rete di relazioni che condusse alla certezza che massa gravitazionale e massa inerziale, con immensa approssimazione, sono la stessa cosa, sono uguali (il loro rapporto è una costante  $k$  universale e quindi ...  $k$  uguale ad 1).**

**(In ciò consiste il principio di equivalenza di Einstein).**

**Addirittura la mente umana tende a identificare due grandezze anche quando la proporzionalità è soltanto approssimata, come la massa e il (modulo del) peso, se non ci allontaniamo troppo dalla superficie della Terra. (E’ per questo motivo che dal macellaio si pesa la massa).**



<sup>2</sup> Dalla lezione “Le vie della certezza in fisica” di Enrico Persico, nel volume “Conferenze di fisica”, Feltrinelli 1963

### **Unificazione delle interazioni: verso le teorie di *grande unificazione*.**

Le forze con cui abbiamo a che fare nella tecnica usuale e nella vita di tutti i giorni sono due: la gravità che ci fa cadere verso il basso e la forza elettromagnetica che ci provoca un bernoccolo se sbattiamo contro un muro ( e che, tra parentesi, ci impedisce di precipitare fino al centro della Terra: repulsione tra i nostri elettroni periferici e quelli del pavimento). Ma non abbiamo fatto i conti con le forze nucleari, che non percepiamo, dato che agiscono solo all'interno del piccolissimo nucleo atomico, piccolissimo rispetto alle dimensioni degli atomi. La forza nucleare “*debole*” che regola la radioattività e la forza nucleare “*forte*” che tiene insieme i nucleoni (protoni e neutroni) nel nucleo e i “*quark*” nei *nucleoni*. Quattro forze sembrano troppe; fortunatamente Abdus Salam, Sheldon e Weinberg sono riusciti a unificare forza elettromagnetica e forza nucleare debole nella cosiddetta interazione “*elettrodebole*”, meritando per questo il premio Nobel e facendolo meritare anche a Carlo Rubbia che nel 1983, al Cern, scoprì le particelle, i “bosoni W e Z”, che *mediano* questa interazione. Ora si spera di ottenere un'unificazione ancora più spinta, unendo interazione elettrodebole e interazione nucleare forte. Si richiedono però energie ancora più grandi di quelle che può fornire al momento LHC, nonché una **teoria** capace di fare previsioni *stringenti* come quelle della teoria formulata da Salam e colleghi per l'interazione elettrodebole.

Ci si può chiedere: come mai le unificazioni avvengono ad energie elevate? I fisici hanno inventato per questo un modello detto di **simmetria**; ad alta energia tutte le forze si unificano e hanno uguale intensità, *sono la stessa forza*. Quando l'energia diminuisce, come per esempio per effetto dell'espansione dell'Universo dopo il Big Bang, la simmetria subisce una “*rottura spontanea*” che produce la separazione delle interazioni, ognuna con intensità fortemente diversa dalle altre. Di questo modello non è lecito chiedere se è vero o falso, ma solo se è efficace o meno per spiegare i fenomeni conosciuti e per prevederne di nuovi. L'unica cosa certa è il rapporto delle intensità relative. Posta uguale a 1 l'intensità della forza nucleare forte, la forza elettromagnetica è 137 volte più debole, la forza nucleare debole è dieci mila miliardi di volte più debole e infine la forza di gravità è un miliardo di miliardi di miliardi di miliardi di volte più debole:  $10^{-36}$ .

### **Domanda: Come mai la gravità, che è incommensurabilmente più debole di tutte le altre forze, domina l'evoluzione dell'Universo?**

Un'altra non banale conseguenza del passaggio da una teoria a una più profonda e comprensiva è la riduzione delle grandezze fisiche indipendenti, il che accade quando due grandezze sono collegate tramite una costante universale.

Mentre in fisica classica sono indipendenti spazio e tempo, energia e massa, con la teoria della relatività ristretta spazio e tempo sono unificati nello spazio-tempo tramite la velocità della luce e perciò la distanza si può misurare in secondi o in anni (luce). Ma non c'è bisogno di essere degli scienziati per fare ciò; ricordo che i contadini del mio paese misuravano la distanza tra due località in ore o in giornate di cammino (naturalmente c'è una certa differenza: la velocità di spostamento dei contadini non è una costante universale, ma in prima e rozza approssimazione ci si accontenta). Analogamente, la massa si può misurare in unità di energia (il legame tra le due grandezze, come tra spazio e tempo, è ancora la velocità della luce). Così pure, la costante di Planck collega energia e tempo, energia e lunghezza.

Se vogliamo, tutte le grandezze fisiche si possono misurare in secondi (o in centimetri).