

LO SCRIGNO DI PROMETEO

COLLANA DI DIDATTICA, DIVULGAZIONE E STORIA DELLA FISICA

Direttore

Ettore GADIOLI
Università degli Studi di Milano

Comitato scientifico

Sigfrido BOFFI
Università degli Studi di Pavia

Giovanni FIORENTINI
Università degli Studi di Ferrara

Marco Alessandro Luigi GILIBERTI
Università degli Studi di Milano

LO SCRIGNO DI PROMETEO

COLLANA DI DIDATTICA, DIVULGAZIONE E STORIA DELLA FISICA



La conoscenza completa delle leggi fisiche è la meta più alta a cui possa aspirare un fisico, sia che essa abbia uno scopo puramente utilitario... sia che egli vi cerchi la soddisfazione di un profondo bisogno di sapere e la solida base per la sua intuizione della natura.

Max PLANCK

La Fisica ha come scopo capire il rapporto tra l'uomo e la natura, non solo da un punto di vista scientifico, ma anche filosofico, e ha cambiato in modo irreversibile la nostra vita tramite le sue ricadute tecnologiche.

La spiegazione e la divulgazione dei concetti che stanno alla sua base, dati quasi per scontati, ma lungi dall'essere noti o compresi da molti, e l'evoluzione delle tecniche sperimentali, che hanno permesso di scoprire le leggi che regolano i fenomeni naturali e delle teorie via via elaborate, sono perciò argomenti di studio e riflessione di rilevanza primaria.

Questa collana si rivolge a chi abbia desiderio di approfondire o discutere questi temi ed è aperta a chi voglia collaborarvi con contributi originali.

Vai al contenuto multimediale



Francesco Primiceri

Il dubbio nei fondamenti scientifici

Prefazione di
Renato Potenza





Aracne editrice

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

Copyright © MMXIX
Gioacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

www.gioacchinoonoratieditore.it
info@gioacchinoonoratieditore.it

via Vittorio Veneto, 20
00020 Canterano (RM)
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-1934-1

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: aprile 2019

Dedicato ai miei figli Giulia e Simone, mio domani

13 *Prefazione*
di Renato Potenza

15 *Prologo. La scienza tra dubbi e conferme*

19 **Capitolo I**
La crisi dei fondamenti in geometria

1.1. L'idea di dimostrazione e di verità, 19 – 1.2. Il metodo assiomatico-deduttivo della scienza classica, 20 – 1.3. La geometria di Euclide, 21 – 1.4. Perché è così problematico il postulato delle parallele?, 24 – 1.5. Tentativi di dimostrazione del V postulato. L'opera di Gerolamo Saccheri, 26 – 1.6. Il bisogno di un nuovo metodo assiomatico, 30 – 1.7. Fondamenti metateorici della nuova assiomatica, 31 – 1.8. Il sistema formale, 34 – 1.9. I principali protagonisti delle geometrie non euclidee, 36 – 1.10. La geometria iperbolica, 39 – 1.11. I modelli della geometria iperbolica, 43 – 1.12. La geometria non euclidea di Riemann, 46.

57 **Capitolo II**
La crisi dei fondamenti nella logica matematica

2.1. Che cos'è la logica?, 57 – 2.2. Il pensiero logico prima di Aristotele: Parmenide e la scuola eleatica, 58 – 2.3. Il pensiero logico prima di Aristotele: Platone, 59 – 2.4. Il pensiero logico in Aristotele, 61 – 2.5. La logica di Aristotele, 62 – 2.6. Crisippo di Soli e la logica stoica, 65 – 2.7. La logica nel Medioevo: la scolastica, 67 – 2.8. La logica moderna: Leibniz, 71 – 2.9. La logica moderna: Immanuel Kant, 72 – 2.10. L'interpretazione algebrica della logica: George Boole, 76 – 2.11. La nascita della logica contemporanea: Gottlob Frege, 77 – 2.12. L'antinomia di Russell, 82 – 2.13. Gödel e il teorema di completezza, 84 – 2.14. Gödel e i teoremi di incompletezza, 86 – 2.15. Alfred Tarski e il concetto di verità, 90.

97 Capitolo III

La crisi dei fondamenti in fisica: la relatività

3.1. I fondamenti della fisica classica, 97 – 3.2. Alla ricerca di un riferimento assoluto: l'etere, 99 – 3.3. Albert Einstein e la relatività dello spazio e del tempo, 101 – 3.4. La relatività ristretta, 105 – 3.5. La relatività generale, 107 – 3.6. Lo spazio-tempo curvo: verifiche sperimentali, 110.

117 Capitolo IV

La crisi dei fondamenti in fisica: la meccanica quantistica

4.1. Il bisogno di un nuovo approccio conoscitivo alla realtà, 117 – 4.2. Breve approfondimento dei fenomeni la cui analisi ha portato allo sviluppo della meccanica quantistica, 118 – 4.3. La quantizzazione dell'atomo: il modello di Bohr, 124 – 4.4. Il comportamento ondulatorio della materia: le onde di de Broglie, 125 – 4.5. La meccanica ondulatoria di Schrödinger, 127 – 4.6. L'esperienza della doppia fenditura, 131 – 4.7. Principio di indeterminazione di Heisenberg, 134 – 4.8. Il gatto di Schrödinger, 136 – 4.9. Il dibattito Einstein-Bohr: contrasto tra determinismo e casualità, 138 – 4.10. La disputa continua, 142 – 4.11. Che cosa sostiene l'articolo EPR?, 143 – 4.12. La magia quantistica, 147.

149 Capitolo V

La crisi dei fondamenti in fisica: il caos deterministico

5.1. Il determinismo di Laplace, 149 – 5.2. Cenni sulla teoria del caos deterministico, 150 – 5.3. Rappresentazione geometrica nello spazio delle fasi del comportamento imprevedibile dei sistemi dinamici caotici, 153 – 5.4. Cenni sulla teoria della complessità, 155 – 5.5. Processi di auto-organizzazione nei sistemi lontani dall'equilibrio, 159 – 5.6. La complessità biologica, 161.

167 Capitolo VI

Qual è il metodo della scienza?

6.1. Dibattito sul metodo della scienza, 167 – 6.2. Popper: la svolta falsificazionista, 169 – 6.3. Il dibattito post-popperiano, 171.

175 Capitolo VII

Pensiero scientifico ed esistenza

7.1. Una nuova sfida raccolta dal pensiero scientifico, 175 – 7.2. Le diversità culturali nei due "magisteri", 177 – 7.3. Evoluzionismo e emergentismo, 179 – 7.4. I margini della libertà umana, 182 – 7.5. Coscienza e libero

arbitrio, 184 – 7.6. Le basi biologiche del soprannaturale: l'evoluzione ha creato dio?, 187 – 7.7. Natura umana e morale, 193 – 7.8. La fine di un paradigma: l'uni-linearità dell'evoluzione umana, 198 – 7.9. Il bipedismo nella Rift Valley, 200 – 7.10. Un nuovo modo di "essere umani": la prima diaspora, 201 – 7.11. La seconda diaspora: l'*Homo heidelbergensis*, 202 – 7.12. I primi *Homo sapiens*: sulle tracce di Adamo e di Eva, 203 – 7.13. Le umanità "alternative" coeve dei *sapiens*, 204 – 7.14. Spostiamo all'indietro le lancette del tempo, 207 – 7.15. La fauna di Burgess, 210 – 7.16. La contingenza, ovvero la possibilità esplorata, 212 – 7.17. Il creazionismo celato, 214 – 7.18. Il nulla: il fascino di un pensiero potenzialmente destabilizzante, 217 – 7.19. Dal nulla il tutto, 219 – 7.20. Il principio antropico, 224 – 7.21. Quale futuro per l'Universo?, 229 – 7.22. L'origine contingente dell'Universo, 234.

237 *Epilogo. Dubbio e mistero*

241 *Bibliografia*

Prefazione

RENATO POTENZA*

Il dubbio nella ricerca scientifica: sarebbero bastate poche pagine per un esauriente commento al falsificazionismo di Karl Popper, il teorico del dubbio nella scienza.

Ma l'autore non vuol fermarsi lì, vuole anche dare una panoramica sullo stato della scienza oggi. E allora: dopo il brillante inizio in cui dà conto della nascita delle geometrie non-euclidee, forse la prima delle grandi falsificazioni popperiane, geometrie che stanno oggi alla base della descrizione del nostro universo, l'autore si addentra nei meandri della logica moderna e dei terribili paradossi che nel secolo scorso hanno scosso dalle fondamenta non solo tutto l'edificio della matematica, ma anche la riflessione filosofica sul concetto di "verità".

È poi la volta delle grandi rivoluzioni e falsificazioni nella più antica tra le scienze sperimentali: la fisica, la regina delle scienze. Attraverso la relatività di Einstein, che sfrutta appieno le geometrie non-euclidee per la descrizione del cosmo, la meccanica quantistica con i grandi contributi di Planck, Heisenberg e Dirac, la teoria dei grandi sistemi, tra cui il nostro cervello, e del caos deterministico l'autore guida il lettore alla scoperta della poesia nascosta dietro l'avventura della conoscenza.

Ed ecco finalmente il posto per quella che oggi ha superato la fisica nei finanziamenti e negli interessi del mondo scientifico: la biologia, con il grande scenario della vita, delle sue origini e del suo sviluppo prevedibile e con lo studio del sistema cervello nell'uomo per arrivare alle origini del pensiero.

E qui l'autore affronta quelle che sono chiamate da filosofi e teologi le grandi questioni dell'esistenza umana, le tre fatidiche domande:

* Ricercatore emerito al CERN di Ginevra, co-scopritore del Bosone di Higgs, già professore ordinario di Fisica generale e Fisica delle particelle elementari presso l'Università degli Studi di Catania.

“Chi siamo? Da dove veniamo? Dove andiamo?” alle quali dà una brillante risposta rigorosamente basata sullo stato odierno delle conoscenze scientifiche. Il piacere di conoscerla va lasciata interamente al lettore come la lettura delle conclusioni dell'autore sulla mancanza della certezza assoluta nella conoscenza scientifica e sul ruolo che il dubbio ha nel progresso della ricerca.

Francesco Primiceri ha creato con questo libro non solo un testo divulgativo per gli appassionati, ma anche, con le numerose note e rinvii bibliografici, un testo di consultazione per chi voglia rendersi conto dello stato attuale della conoscenza scientifica sulla vita e sul cosmo.

Addì 15 febbraio 2018

Prologo

La scienza tra dubbi e conferme

In che modo la conoscenza scientifica si differenzia da altri tipi di conoscenza o di credenza? Com'è possibile giustificare un'ipotesi scientifica, oppure mostrarne l'infondatezza? Qual è l'uso migliore da fare della conoscenza scientifica per spiegare i fenomeni già noti e prevederne di altri? La scienza fornisce solo un'adeguata rappresentazione degli eventi osservabili o individua anche strutture profonde ed inosservabili della realtà? Nel passaggio dalle vecchie alle nuove teorie si raggiunge, oppure no, una verità incontrovertibile (*episteme*)?

In un articolo del celebre epistemologo Karl Popper del 1956 dal titolo *Tre concezioni della conoscenza umana*, ripreso poi nel suo famoso volume *Congetture e confutazioni*, troviamo scritto:

Tutto quello che lo scienziato può fare, ritengo, è controllare le proprie teorie ed eliminare quelle che non superano i controlli più severi da lui concepiti. Egli, tuttavia, non può mai essere del tutto certo che nuovi controlli o anche un nuovo dibattito non lo conducano a modificare o ad abbandonare la propria teoria. In questo senso tutte le teorie sono e restano delle ipotesi, sono congettura, *doxa* contrapposta alla conoscenza indubitabile (*episteme*).¹

Questa affermazione di Popper non può lasciarci indifferenti, anzi, suscita sentimenti di meraviglia e di sconcerto: com'è possibile che le leggi conosciute della natura, pilastri su cui poggiano le società moderne attraverso l'uso della tecnologia nella moltitudine dei settori dell'agire umano, possano essere solo delle congetture e non invece delle certezze? Tutto ciò che finora noi abbiamo chiamato scienza non lo è più? Non lo è mai stata? Nell'affermazione di Popper non possiamo non cogliere la caduta dell'ultimo antico dio della nostra civiltà, cioè

1. K.R. POPPER, *Congetture e confutazioni*, tr.it, il Mulino, Bologna 1972, p. 180.

quello che faceva del sapere lo strumento del pieno dominio sulla natura.

Sebbene il termine episteme stia a indicare scienza o conoscenza, con questo termine i filosofi greci non intendevano qualsiasi tipo di conoscenza, ma una in particolare: quella che aveva come oggetto la “verità”, cioè la “legge immutabile del tutto” che domina sulle altre conoscenze, in quanto non può essere negata e si afferma con ragione. Al contrario di quella dei filosofi greci, quella che noi oggi chiamiamo scienza ha rinunciato alla pretesa di conoscere questa “verità” e si è dedicata piuttosto a riconoscere alcune sue proprietà, o relazioni tra gli “enti”, definiti nel linguaggio della matematica come “grandezze”.

Tuttavia, la scienza moderna ha espresso una pretesa epistemica. Essa è stata considerata come l’unica conoscenza certa poiché efficace, controllabile, condivisibile e in quanto tale affidabile ed indubitabile. Questa pretesa epistemica poggia sostanzialmente su due pilastri: il primo riguarda il ruolo centrale che ha avuto la matematica nella costruzione della scienza moderna grazie all’evidenza dei suoi principi, al rigore del linguaggio e dei metodi dimostrativi; il secondo pilastro riguarda la necessità dell’evidenza empirica che non troviamo solo nella fase di costruzione dell’ipotesi di partenza, ma sta anche nella fase finale della verifica, cioè nel controllo delle conseguenze che da queste ipotesi possano essere tratte.

Troviamo così un qualcosa che accomuna ciò che i filosofi greci classici indicavano come episteme e ciò che noi oggi chiamiamo scienza: la capacità di rendere ragione della propria conoscenza.

L’episteme, secondo la metodologia classica, doveva strutturarsi logicamente a partire da principi auto-evidenti che, in quanto tali, erano veri, e procedeva deduttivamente verso altre verità, ricavate da questi principi mediante passaggi semplici ed evidenti. Insomma, l’episteme era sapere per dimostrazione, e trovò il suo giusto posto nella geometria.

Nonostante l’episteme non sia riducibile alla geometria, quest’ultima ne costituì il suo modello; la stessa cosa avvenne anche per la scienza moderna.

Il modello assiomatico del sapere per dimostrazione, soprattutto ad opera di Newton, fu successivamente esteso alla fisica. Qui come in geometria si dovevano individuare per generalizzazione dall’esperienza (induzione) alcune verità elementari ed immediatamente evidenti

per poi derivare, tramite deduzioni, altre verità, che per l'evidenza dei passaggi erano anche loro evidenti.

A differenza della geometria, però, in fisica la validità delle verità rilevate doveva sottoporsi a verifica tramite esperimenti, in modo che potessero essere validate le verità iniziali (assiomi) a cui si era giunti attraverso procedimenti induttivi. Ed è proprio in forza dell'intreccio del metodo empirico e del metodo assiomatico che la fisica espresse una pretesa epistemica. Essa era, perciò, sapere per dimostrazione e per esperienza; insomma, si presentava come sapere certo e definitivo. Il successo della fisica, dati questi presupposti e la rigorosità del suo linguaggio, non tardò ad arrivare. Si afferma con prepotenza soprattutto nel Settecento e nell'Ottocento.

Ora, l'affermazione di Popper, presentata in precedenza, ci dice invece che anche in questa scienza sperimentale non è possibile riscontrare alcuna pretesa epistemica. Ciò impone nuove riflessioni. Cosa vogliamo intendere quando discutiamo del tramonto dell'episteme? Cosa tutto ciò può implicare? Quali sono le ricadute in altri ambiti della conoscenza?

È bene chiarire subito che il tramonto dell'episteme s'identifica soprattutto come trasformazione del modo con cui la scienza moderna intende sé stessa. È vero che essa rinuncia ad essere episteme e si propone come scienza ipotetica, revisionabile, fallibile, ma è anche vero che questo suo modo di procedere non vuol dire assolutamente rinuncia al dominio dell'universo; al contrario, proprio per rendere più radicale il proprio dominio sulle cose trasforma il proprio apparato concettuale: rinuncia ad essere verità definitiva e incontrovertibile per poter meglio comprendere e dominare fenomeni nuovi che la realtà le va continuamente presentando.

Quest'ultimo aspetto sarà particolarmente approfondito nel corso di questo lavoro. Presenteremo non solo il processo complesso di elaborazione dell'apparato concettuale di discipline come la fisica, la matematica e la geometria, ma vedremo anche come la scienza moderna, forte della sua posizione di dominio, supera un'antica opinione secondo la quale a lei spetta solo il compito di spiegare il "come" delle cose, mentre alla filosofia e alle religioni quello più ambizioso di spiegare il "perché", ovvero le grandi questioni dell'essere. Le grandi domande tradizionali: *chi siamo, da dove veniamo, dove andiamo*, hanno già trovato, come vedremo, adeguate risposte nella scienza, senza ricorrere al bisogno di postulare inutili enti.

La crisi dei fondamenti in geometria

1.1. L'idea di dimostrazione e di verità

Cosa significa dimostrare una proposizione? Una risposta intuitiva potrebbe essere questa: far vedere che essa è vera. Ad esempio, vogliamo misurare la lunghezza di una penna. Le indicazioni del costruttore dicono che essa è di 15 centimetri. Intuitivamente, saremmo portati a prendere un righello graduato, a misurarne la lunghezza e “far vedere” attraverso la misurazione se la proposizione enunciata dal costruttore è vera. Questa operazione non è, in senso proprio, una dimostrazione della proposizione. Se affermiamo, invece, che in ogni triangolo, su una superficie piana, un lato è sempre maggiore della differenza degli altri due, e se la verità della proposizione viene ricavata, mediante dei ragionamenti, da altre proposizioni già ammesse come vere, in questo caso possiamo dire che abbiamo a che fare con una vera e propria dimostrazione.

Qual è allora la differenza che passa tra verità e dimostrazione? Possiamo dire che la verità è un requisito di una proposizione: una volta stabilito l'ambito degli oggetti a cui si riferisce, si afferma se essa gode oppure no di quella prerogativa in modo autonomo indipendentemente dalla verità di altre proposizioni; la dimostrabilità, invece, ne dipende rigorosamente. La verità di una proposizione si può stabilire solo attraverso due modi: o per via immediata e diretta tramite un'operazione fisica, così come può avvenire nella misura della lunghezza della penna dell'esempio precedente; oppure tramite una mediazione che la collega alla verità di altre proposizioni, ad esempio la lunghezza di un lato di un triangolo.

Detto ciò, possiamo cogliere un elemento decisivo per la nostra discussione: la dimostrazione è lo strumento con il quale si può stabilire la verità di una proposizione per mediazione e, in quanto strumento,

essa non potrà mai essere detta “vera” o “falsa”, ma piuttosto “corretta” o “scorretta” nei procedimenti; la verità o falsità riguardano, invece, le proprietà delle proposizioni. Questi due aspetti non sono necessariamente correlati: una dimostrazione corretta può condurre a conclusioni false; così pure una dimostrazione scorretta può condurre per caso a conclusioni vere.

A questo punto sorge una domanda: se una proposizione, per essere dimostrata, ha bisogno di un'altra che sia a sua volta accettabile, fino a che punto questo procedimento a regresso senza fine dovrebbe continuare? È evidente che in un procedimento a regresso interminabile nessuna proposizione può essere dimostrata. Abbiamo una sola possibilità di accertarci se una proposizione è dimostrabile: ricavarla a partire da proposizioni indimostrabili in quanto immediatamente vere.

Su questa semplice constatazione (ovvero che il processo dimostrativo non può regredire all'infinito o riavvolgersi a circolo) si fonda l'idea centrale del metodo assiomatico.

1.2. Il metodo assiomatico–deduttivo della scienza classica

Il termine greco *epistème* abitualmente oggi viene tradotto con “scienza” ed è confinato nell'ambito ristretto delle discipline prettamente scientifiche. Nella filosofia greca, invece, *epistème* significava *sapere*, ma il termine era inteso nel senso più ampio, indipendentemente dai contenuti a cui tale *sapere* veniva applicato. Un secondo termine era molto in uso presso gli antichi filosofi greci: *aitia*. Usualmente viene tradotto con “causa”. Anche in questo caso, *aitia* ha un significato più ampio rispetto alla traduzione “causa” (intesa come un qualcosa che produce un qualcosa d'altro come suo effetto); in realtà, noi dovremmo tradurla con l'espressione “la ragione per cui”. Il motivo sta nel fatto che per la filosofia greca il *sapere* autentico è raggiungibile solo quando, dopo aver appurato una verità, si è in grado di darne anche la ragione, ossia il *perché*.

Per i greci “dare le ragioni” e “mostrare il perché” significavano cose ben precise. Si trattava, in sostanza, di offrire una rigorosa *dimostrazione*. Il sapere autentico era, dunque, per loro un sapere dimostrativo, cioè argomentato e fondato su ragionamenti corretti. È su questi presupposti che si radicalizza il *razionalismo* greco, rimasto poi egemone nello stile intellettuale dell'Occidente.