

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.

Classificazione Decimale Dewey:

530.1201 (23.) MECCANICA QUANTISTICA (TEORIA DEI QUANTI). Filosofia e teoria

GRAZIANO CAVALLINI

**IDEE SULLA FISICA
QUANTISTICA E OLTRE
PRESUPPOSTI PER NON TRAVISARLA**





ISBN
979-12-218-0846-9

PRIMA EDIZIONE
ROMA 28 LUGLIO 2023

INDICE

- 17 *Avvertenza*
- 25 Capitolo I
Difficoltà a capirla
- 31 Capitolo II
L'oggetto del contendere
- 41 Capitolo III
Il nuovo mondo scoperto con la fisica
- 49 Capitolo IV
Determinismo e indeterminismo
- 59 Capitolo V
Realtà e teorie
- 65 Capitolo VI
Un trauma storico
- 73 Capitolo VII
Teorie e loro uso

- 89 Capitolo VIII
Sistemi fisici unitari
- 101 Capitolo IX
Differenza tra nominare e sapere
- 111 Capitolo X
Avvisaglie storiche
- 119 Capitolo XI
Tra fisica classica e quantistica
- 129 Capitolo XII
Reinterpretare particelle e onde
- 137 Capitolo XIII
Sistemi concettuali
- 149 Capitolo XIV
Esigenza di modificazioni profonde
- 157 Capitolo XV
Continuo e discreto
- 165 Capitolo XVI
Eventi singoli e loro insiemi
- 173 Capitolo XVII
Un'alternativa alle contraddizioni
- 183 Capitolo XVIII
Un salto di mentalità
- 195 Capitolo XIX
Esigenza di coerenza

- 201 Capitolo XX
Prospettive alternative
- 207 Capitolo XXI
Inganni dei linguaggi
- 217 Capitolo XXII
Significati matematici
- 223 Capitolo XXIII
Ideazioni e realtà
- 231 Capitolo XXIV
Mondo fisico e mondo conosciuto
- 241 Capitolo XXV
Oggetti o procedimenti?
- 251 Capitolo XXVI
Modelli macroscopici e realtà subatomica
- 259 Capitolo XXVII
Sassi e quanti
- 269 Capitolo XXVIII
Né onde né particelle: impossibili possibili
- 281 Capitolo XXIX
La soluzione degli enigmi
- 289 Capitolo XXX
Dalla realtà assoluta alle transazioni
- 299 Capitolo XXXI
Conoscenza e realtà

- 309 Capitolo XXXII
Corrispondenza relativa, non identità
- 319 Capitolo XXXIII
Conoscenza e percezione
- 325 Capitolo XXXIV
Esistono i quanti?
- 331 Capitolo XXXV
Travisamenti e amnesie
- 341 Capitolo XXXVI
Una realtà tutta da scoprire e ideare
- 347 Capitolo XXXVII
Isomorfismi strutturali
- 355 Capitolo XXXVIII
Riepilogando
- 369 Capitolo XXXIX
Presupposti per non travisare
- 379 Capitolo XL
Oltre la fisica

APPENDICI

- 401 1. Significati
- 407 2. Strutturalità e probabilità
- 421 3. Comprendere l'incomprensibile, o rendere incomprensibile il comprensibile

437	4. Fotoni e particelle in genere
451	5. I “molti mondi”: matematiche e realtà
469	6. Anatomia dell’equazione di Schrödinger
491	7. Valore degli esperimenti
503	8. Un riferimento fondamentale
521	9. Chiavi di lettura
543	<i>Bibliografia</i>
557	<i>Ulteriori letture</i>

Ringrazio Marco Giliberti e Ettore Gadioli, entrambi del Dipartimento di Fisica dell'Università Statale di Milano, per aver discusso con me alcuni dei temi trattati nel testo, e per avermi fornito conoscenze e indicazioni bibliografiche su esperimenti significativi che non conoscevo. Ringrazio anche il fisico Giancarlo Bernacchi per avermi segnalato i libri di Greene, di Carroll, di Smolin e di Rovelli; e per essersi letto il testo, correggendone errori e imprecisioni tecniche. Altrettanto sono grato a Sigfrido Boffi, del Dipartimento di Fisica dell'Università di Pavia, e Ludovico Lanz, del Dipartimento di Fisica dell'Università Statale di Milano, per avere letto anch'essi il testo e averlo approvato.

L'errore è stato quello di attribuire le caratteristiche delle costruzioni mentali umane (come la logica e la matematica) [...] al mondo [...]

Edelman 1995, p. 354.

L'essenziale è qui, come sempre nella scienza, di sbarazzarci da pregiudizi profondamente radicati e spesso invocati senza previa disamina.

Einstein e Infeld 1976, p. 187.

La scienza è un modo di pensare che consiste nell'essere capaci di cambiare idea sulla realtà; nel non fidarsi delle idee acquisite; nel rimettere in discussione continuamente i propri schemi. La scienza di base, prima di essere un'esplorazione del mondo, è un'esplorazione del pensiero stesso. È un'esplorazione di possibili modi di pensare.

Rovelli 2014, p. 55.

Ritengo che certi sviluppi erronei nella teoria delle particelle elementari [...] dipendano dal fatto che i loro autori sostengono di non volere occuparsi di filosofia, mentre in realtà partono inconsapevolmente da una scadente filosofia e quindi, a causa di pregiudizi, cadono in domande prive di significato.

Heisenberg 1982, p. 85.

Il fatto stesso che una teoria debba rispettare [...] determinate leggi] ci permette di imporre delle significative restrizioni a priori sulle proprietà che essa può avere, anche senza capire in dettaglio quale sia la sua struttura.

Greene 2015, p. 154

AVVERTENZA

Questo libro non è un trattato di Fisica, ma indica temi che possono aiutare a capirla. L'intento è di suggerire a studenti di Fisica e a persone interessate a essa come accostarla con una veduta più ampia di quella generalmente adottata nei corsi formali volti a trasmetterne aspetti tecnici consolidati, e del taglio circoscritto a temi specialistici di solito adottato anche nelle esposizioni divulgative.

Soprattutto, si tratta di una riflessione sui pregiudizi e sui limiti di comprensione tradizionalmente diffusi, dei quali liberarsi per evitare di fraintendere quella parte fondamentale della Fisica attuale che è la Fisica Quantistica: riflessione personale, tuttavia formata con pluriennali scambi di idee in gruppi di ricerca in didattica della Fisica, e su una vasta letteratura, che dovrebbero farne un'espressione collettiva. In esso utilizzo concetti di fisica, ma a un livello qualitativo, informale e non tecnico. Mi ci riferisco con due prospettive: esaminandoli dal punto di vista logico generale, e per le difficoltà di comprensione che presentano.

Anticipo subito alcune premesse senza argomentarle per ora, ma che saranno dettagliate e giustificate nel testo.

I concetti fondamentali che costituiscono il motivo portante di qualunque analisi scientifica sono rispettivamente quelli di realtà, di teoria, e della relazione tra realtà e teoria. Idee chiare al riguardo sono indispensabili per potere eventualmente capire qualsiasi fenomeno e per dare una spiegazione scientifica dell'esperienza empirica.

Definisco la realtà accreditata a livello sociale il risultato delle interpretazioni dei fenomeni le quali sintetizzano il pensiero e le realizzazioni sperimentali degli individui ritenuti più competenti, vale a dire degli scienziati. A livello comune vi corrispondono le interpretazioni concepite dai singoli con elaborazioni personali informali che però riprendono delle idee sociali sia, poco o tanto, scientifiche, sia, assai più, di giustificazione più incerta, spesso superficiali e ingenui.

Nemmeno gli scienziati sono immuni da quest'ultimo limite: ed è una ragione per cui anche uno sguardo dall'esterno della loro scienza potrebbe rivelarne qualcosa che a loro sfugge.

Le teorie sono concezioni formali della realtà.

La validità di una teoria consiste nel grado della sua corrispondenza con la realtà. Tale corrispondenza viene ritenuta provata, e perciò accreditata, quando risulta combaciare con le esperienze empiriche e logiche pertinenti. Essa può essere verificata solo nei limiti degli strumenti intellettuali e materiali posseduti, che condizionano gli ambiti di esperienza conosciuti o accessibili. Al di fuori di queste condizioni, si possono fare solo speculazioni prive di possibilità di verifica sia concettuale sia empirica: e cioè né scientifiche né giustificate razionalmente e sensatamente.

Le difficoltà di comprensione della fisica, in specifico di quella quantistica, sono originate dal vizio di rifarsi all'idea di realtà indipendente da una teoria su di essa. Ma concepire qualsiasi realtà è già formularne una concezione informale nel senso comune e una teoria formale nel pensiero scientifico.

Sono vane le pretese di stabilire che cos'è la realtà esterna alle concezioni informali e alle teorie (Kant 1963). Altrettanto vano è pretendere di ottenere teorie di valore assoluto, perfettamente corrispondenti con la presunta realtà assoluta, e cioè quella ipoteticamente indipendente dalla nostra esperienza empirica e mentale. Vedremo che lo pretendeva Einstein (Einstein e al. 1988). Per riuscirci, si dovrebbe conoscere preliminarmente che cos'è la realtà che si crede di prendere quale metro di giudizio: il che crea un circolo vizioso tra realtà e teoria, con l'una che rimanda all'altra all'infinito.

La scienza in generale, e in specifico la fisica, fornisce non la conoscenza sicura e assoluta della realtà, e tuttavia quella più estesa, profonda e organica possibile.

Ciò detto, con il testo tento di esaminare che cosa mi sembra di intendere, più o meno insieme ai tanti altri profani come me della disciplina, di ciò che i fisici dicono della fisica quantistica nelle loro esposizioni divulgative. Spero di non essere troppo presuntuoso anche solo con questo.

Della teoria e degli esperimenti quantistici mi limito a riassumere, escludendone il formalismo matematico con le sue equazioni, le difficoltà storiche e attuali di capire l'una e gli altri. Lo faccio richiamandomi a nozioni per lo più note al largo pubblico, che di solito ne resta sorpreso; e le quali, tuttavia, ho constatato con ricerche professionali, suscitano serie difficoltà anche a studenti universitari del corso di laurea in Fisica, a laureati in Fisica e a insegnanti di Fisica esperti, sia delle scuole preuniversitarie superiori sia universitari.

L'aver condotto le ricerche accennate in collaborazione con fisici universitari potrebbe, se non addirittura dovrebbe, come ho già detto, allargare la mia visione un po' oltre gli stretti limiti di una comprensione puramente personale, idiosincratice. Le mie idee si rifanno, comunque, ai dibattiti tra i grandi fisici che in positivo e in negativo vissero l'avventura della creazione della teoria, e a quanto ancora permane di essi nella letteratura corrente. Le relative fonti risultano dalle citazioni e dalla bibliografia.

Per indagare le ragioni delle diffuse difficoltà suscitate dalla fisica quantistica, e per suggerire dei presupposti che ritengo aiutino a evitare di fraintenderla, mi servo di nozioni sui problemi della conoscenza in generale attinenti alla mia formazione e alle mie ricerche di pedagogista. Ciò mi porta a cogliere come la fisica quantistica faccia prendere coscienza in generale dei limiti di qualunque forma di conoscenza, della natura di questa e della realtà.

Tutto è nato da ricerche in didattica della fisica che ho condotto per venticinque anni in collaborazione con docenti e ricercatori del Dipartimento di Fisica dell'Università Statale di Milano e con

l'insegnamento della Pedagogia svolto per la medesima durata nel relativo Corso di laurea in Fisica. Una parte essenziale di quell'esperienza è stata la partecipazione a continue discussioni su problemi della fisica tra e con fisici del massimo livello formale di preparazione nella disciplina. Per lo più li ho ascoltati e ho imparato da essi; ma via via sempre più sono anche riuscito a intervenire con contributi tratti dalla mia preparazione di base.

A quanto ho sempre constatato e mi hanno spesso dichiarato i colleghi fisici, essi li apprezzavano e li trovavano utili per la chiarificazione dei problemi fisici, didattici e comunicativi affrontati. Ovviamente, tale dichiarazione interessa come attestato non di mie qualità, bensì dell'utilità in fisica della cultura pedagogica nutrita dell'utilizzo di tutta la serie di nozioni di altre discipline che indico poco oltre e che sono richiamate dai rispettivi riferimenti nel testo. Ne risultano delle analisi sulla conoscenza in generale che possono aiutare a comprendere la fisica e la scienza; così come, reciprocamente, le analisi sulla fisica e sulla scienza possono aiutare a comprendere che cosa sono la conoscenza e la realtà in generale.

Collaborare con fisici mi ha anche portato a compiere le letture più numerose possibili di testi di fisici, sia su indicazioni dei colleghi sia seguendo il criterio da me adottato di leggere soprattutto scritti dei maggiori fisici: ad esempio di Einstein, di Bohr, di Born, di Heisenberg, di Planck, di Pauli, di Dirac, di Bridgman, di Feynman, di Rovelli; e, naturalmente, di molti altri, tra i quali quelli citati in bibliografia.

Tutto ciò non mi dà certamente l'illusione di aver acquisito una competenza in fisica. Perciò, tutte le affermazioni nel testo strettamente attinenti alla fisica vanno controllate consultando o opere adeguate, o fisici: particolarmente quelli che si occupano di fisica quantistica.

E, allora, come ho osato scrivere di fisica quantistica?

Ribadisco che, in realtà, non è di essa in quanto tale che ho inteso parlare e che ritengo di aver parlato; bensì delle condizioni culturali generali che inducono a fraintenderla, e di alcuni presupposti che vanno tenuti presenti per evitarlo. Certo, ho dovuto riferirmi agli aspetti più citati di essa. Per le idee che sono riuscito a farmene, mi sono attenuto a quello che dicono fisici di sicura competenza. Posso averli fraintesi,