



Frank Close

# Teorie del tutto

Scienze



Bollati Boringhieri

Saggi  
Scienze

Frank Close

# Teorie del tutto

Traduzione di Francesca Pe'



Bollati Boringhieri



[www.bollatiboringhieri.it](http://www.bollatiboringhieri.it)



[facebook.com/BollatiBoringhieri](https://facebook.com/BollatiBoringhieri)

**IL LIBRAIO**

[www.illibraio.it](http://www.illibraio.it)

© 2017 Frank Close

Titolo originale *Theories of Everything*

© 2018 Bollati Boringhieri editore  
Torino, corso Vittorio Emanuele II, 86  
Gruppo editoriale Mauri Spagnol  
ISBN 978-88-339-3059-6

Illustrazione di copertina: © Mehau Kulyk / Science Photo Library

Prima edizione digitale: marzo 2018

Quest'opera è protetta dalla Legge sul diritto d'autore.  
È vietata ogni duplicazione, anche parziale, non autorizzata

## Indice

### Teorie del tutto

- 9 1. La presunzione di Lord Kelvin
- 12 2. Cos'è una teoria del tutto, e cos'è «il tutto»?
- 17 3. La teoria newtoniana delle tartarughe inanimate  
È risolvibile?, 18 L'universo di Newton, 23 Il moto perpetuo, 26  
La freccia del tempo, 31 Sia fatta la luce!, 34 Spazio, tempo  
e spazio-tempo, 39
- 44 4. Teorie quantistiche delle cose piccole  
Elettrodinamica quantistica, 51 Il cuore della materia, 55 *Quantum  
flavourdynamics*, 58 Cromodinamica quantistica, 61 Il bosone di Higgs:  
il coronamento della teoria unificata, 65
- 70 5. Questioni pesanti  
Un universo di energia, 70 Gravità in quarantena, 75 La gravità oltre  
Newton, 78 La gravità alla scala di Planck, 86 La costante cosmologica  
e l'energia oscura, 87
- 91 6. Le nubi della gravità quantistica  
La nube cosmologica, 94 La nube gerarchica, 96 Dimensioni  
quantistiche dello spazio e del tempo, 97 Superstringhe, 100  
Il multiverso, 103 Tutto o niente?, 105 La teoria quantistica del tutto, 110
- 116 7. Ritorno al futuro

123 Bibliografia consigliata

129 Ringraziamenti

131 Indice analitico

Teorie del tutto

I.

## La presunzione di Lord Kelvin

Nel 1980 Stephen Hawking ipotizzò che la fine della fisica teorica fosse vicina, e che in cambio sarebbe presto comparsa una teoria del tutto. Stava forse inconsciamente riecheggiando lo scienziato americano Albert Michelson, che nel 1894 affermò che «i grandi principi di base sono stati saldamente stabiliti. Ulteriori verità della fisica vanno ricercate nella sesta posizione decimale»,<sup>1</sup> o Lord Kelvin, che nel 1900 proclamò che «ormai non c'è più niente di nuovo da scoprire nel campo della fisica. Non rimangono altro che misurazioni sempre più precise»<sup>2</sup> Probabilmente no.

Solo la natura sa cosa si estende oltre l'orizzonte della nostra visione attuale, e mette ripetutamente a nudo i limiti della nostra immaginazione. Pochi anni dopo le dichiarazioni di Lord Kelvin, la scoperta dell'atomo nucleare e l'avvento della meccanica quantistica e della relatività fecero apparire ingenua l'esuberanza di quei giganti della scienza del XIX secolo. Tuttavia la verità è più sfumata, e di conseguenza le implicazioni sono parecchio diverse. Le parole di Lord Kelvin (senza alcun dubbio) e quelle di Albert Michelson (fino a un certo punto) sono state estrapolate dal loro contesto e spesso citate a sproposito. Se interpretate con atten-

<sup>1</sup> Discorso tenuto alla cerimonia di inaugurazione del Ryerson Laboratory dell'Università di Chicago, 1894. Citato nel registro annuale dell'ateneo, 1896, p. 159.

<sup>2</sup> La leggenda attribuisce queste parole a Lord Kelvin, ma sembra che non ci siano prove del fatto che le abbia davvero pronunciate nel 1900. Nel suo discorso delle «due nubi» di quell'anno non ce n'è traccia. Potrebbe averle dette prima, ispirando Albert Michelson: cfr. per esempio Steven Weinberg, *Il sogno dell'unità dell'universo*, trad. it. di Gianni Rigamonti, Mondadori, Milano 1993, p. 17; e anche [en.wikiquote.org/wiki/William\\_Thomson](https://en.wikiquote.org/wiki/William_Thomson).



zione, invece, racchiudono un messaggio profondo per chi è alla ricerca della teoria del tutto.

Di fatto, le osservazioni di Michelson si ispiravano proprio alla ferma e duratura convinzione di Lord Kelvin che lo scopo principale della fisica fosse misurare grandezze note con un elevato grado di precisione. Lord Kelvin era influenzato sia dalla teoria della radiazione elettromagnetica di Maxwell sia dalla termodinamica, una descrizione del calore basata sulla meccanica di cui lo stesso Kelvin era uno dei maggiori artefici. Secondo lui sarebbe stato possibile comprendere il concetto di energia in termini di moto delle particelle, dal momento che i principi generali sottostanti sembravano a portata di mano.

Il 27 aprile 1900, un venerdì, Kelvin tenne una conferenza a proposito di questa idea alla Royal Institution di Londra, il luogo dove Michael Faraday aveva compiuto le scoperte negli ambiti dell'elettricità e del magnetismo su cui si reggeva la nuova fisica. Anziché dichiarare in maniera acritica che la sintesi di luce, calore e meccanica significava che la fine della fisica era imminente, Kelvin esordì con queste parole: «La limpida bellezza della teoria dinamica, secondo cui il calore e la luce sono modalità del moto, è al momento oscurata da due nubi».<sup>3</sup> Fu così che la conferenza passò alla storia come il discorso delle «due nubi».

La leggenda narra che Lord Kelvin stesse annunciando con arroganza la fine della fisica, ma in effetti stava richiamando l'attenzione su due enigmi irrisolti. Se si sbagliava, era nella speranza che le «due nubi» fossero piccole nuvolette in un cielo altrimenti limpido e azzurro. In realtà erano un presagio di tempesta. Per eliminarle sarebbe stato necessario costruire i due grandi pilastri della fisica del xx secolo: la teoria della relatività di Einstein, da un lato, e la teoria quantistica, dall'altro.

Insomma, Lord Kelvin si sbagliava nei dettagli, senza dubbio, ma era comunque ben consapevole dei limiti della fisica di fine XIX secolo. Di fatto, quando tenne la conferenza, gli indizi delle

<sup>3</sup> Lord Kelvin, *Nineteenth Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light*, in «Notes and Proceedings of the Royal Institution», XVI, 1902, p. 363. Il discorso fu pronunciato il 27 aprile 1900.

incombenti rivoluzioni nella fisica del xx secolo erano già, con il senno di poi, perfettamente evidenti. Sarà il caso di tenerlo a mente quando esamineremo le proclamazioni moderne secondo cui la fine della fisica è di nuovo vicina.

2.

Cos'è una teoria del tutto, e cos'è «il tutto»?

Le teorie del tutto si definiscono in generale come teorie che si basano sugli studi in ogni campo rilevante del sapere attuale – fisica, astronomia, matematica eccetera – per cercare di spiegare tutto ciò che sappiamo a oggi dell'universo. Da ciò si evince facilmente che una teoria del tutto è una realtà mutevole. Una spiegazione dell'universo conosciuto può regnare sovrana per decenni, addirittura per secoli. In quell'arco di tempo può fungere da base per numerosi progressi scientifici e tecnologici. Poi, magari come risultato diretto o indiretto di quei progressi, viene compiuta una nuova scoperta che accresce il «tutto» già noto e che la teoria accettata non può spiegare senza entrare in contraddizione con se stessa. A quel punto serve una nuova teoria del nuovo «tutto». E il ciclo continua.

Le due nubi di Lord Kelvin preannunciarono cambiamenti paradigmatici nel nostro modo di comprendere sia lo spazio e il tempo sia la struttura microscopica della materia. Dato che la fisica nucleare e la fisica quantistica sono caratterizzate da una ricchezza e una vastità straordinarie, e dato che la teoria della relatività di Albert Einstein assorbì il grande lavoro di Isaac Newton sulla meccanica e la gravitazione, come è possibile che la scienza del XIX secolo sia stata così cieca? Se questi pilastri fondamentali del sapere rimasero nascosti tanto a lungo mentre Isaac Newton, James Clerk Maxwell e Lord Kelvin elaboravano teorie del tutto relative alle conoscenze dell'epoca, la spiegazione ha a che fare con proprietà profonde del nostro universo, e probabilmente con la nostra capacità di decifrarne con successo le leggi.

Una teoria del tutto (o TOE, dall'inglese *theory of everything*) dovrebbe descrivere la natura a qualsiasi livello di distanza, tempo ed energia. La nostra esperienza è limitata a una piccola porzione di queste ampie distese, anche se nel corso dei secoli si è ingrandita. Nella pratica, la natura non offre una copertura omogenea dello spettro, pertanto possiamo formulare teorie di sottoinsiemi di fenomeni nel momento in cui l'ignoranza in un ambito non impedisce i progressi in un altro.

Se siamo riusciti ad avanzare nel nostro modo di comprendere le cose senza possedere una vera teoria del tutto, è perché i fenomeni naturali possono essere raggruppati in regimi discreti: essi formano ciò che definisco una «cipolla cosmica» costituita da strati collegati tra loro i cui contenuti sono però, con un'ottima approssimazione, indipendenti l'uno dall'altro. Una «teoria del tutto per un singolo strato» funziona perché la natura mette efficacemente in quarantena le manifestazioni degli altri strati. Isolate in maniera opportuna, queste non hanno alcun peso effettivo nella descrizione dei fenomeni al livello di nostro interesse.

In questo libro intendo illustrare la compartimentazione dell'universo materiale in scale dimensionali discrete, e quantificare le diverse scale di energia, temperatura o risoluzione spaziale che dobbiamo studiare per svelarne le dinamiche. Prima del xx secolo, per esempio, la fisica si limitava ai fenomeni che non superavano la temperatura degli altiforni: i milioni di gradi a cui subentra la fisica nucleare erano fuori portata, per non parlare dei milioni di miliardi a cui diventa visibile il bosone di Higgs.

Possiamo dunque formulare una teoria del tutto dove *tutto* significa «all'interno di un livello di energia specifico e limitato». È così che la scienza si è evoluta nel corso della storia. Ci sono voluti secoli per raggiungere le condizioni rivelate dal Large Hadron Collider del Cern, ma nel frattempo gli scienziati hanno sviluppato una serie di teorie applicabili ai vari livelli dell'energia.

Alla scala umana, per esempio, una teoria del genere esiste già. Le relazioni matematiche che spiegano tutto ciò che è più grande di un nucleo atomico nascono dal lavoro del fisico austriaco Erwin Schrödinger, del fisico tedesco Werner Heisenberg e del matematico di Cambridge Paul Dirac, e le conosciamo da novant'anni. Le loro equazioni descrivono il comportamento di elettroni e atomi e

vengono insegnate agli studenti. Eppure sono di una semplicità fuorviante, dato che, salvo pochi casi, sono difficili da manipolare e impossibili da risolvere. È stato solo negli ultimi anni, con la comparsa di computer potenti, che la gamma dei problemi risolvibili si è ampliata. Da tali equazioni nessuno ha dedotto le proprietà degli amminoacidi semplici, né tantomeno il funzionamento del DNA, ma questo non ha certo ostacolato l'incredibile sviluppo della biologia moderna. Allo stesso modo, partendo dalla «teoria del tutto per ciò che è grande e si muove» di Isaac Newton, possiamo prevedere con certezza le eclissi solari e lunari, ma non il tempo atmosferico.

Così, quando la teoria del tutto di Dirac viene applicata al comportamento degli elettroni alla periferia degli atomi, è possibile isolare e ignorare le complessità del nucleo. La «teoria del tutto per sequenziare il codice genetico» può derivare dai simboli A, C, G e T, che rappresentano l'adenina, la citosina, la guanina e la timina (le unità degli acidi nucleici che, collegate tra loro, formano un filamento di DNA). Se il nostro interesse primario è la manipolazione delle catene di amminoacidi codificate in A, C, G e T, possiamo mettere in quarantena la teoria fondamentale della fisica e della chimica atomica di Dirac, che spiega l'esistenza e la struttura delle molecole complesse.

Ancora oggi alcuni ambiti dell'energia sono privi di teorie esplicative, e la ricerca moderna di vere teorie del tutto richiede di coprire l'intera scala dell'energia. Il progresso della scienza non è stato frenato dalla mancanza di una teoria onnicomprensiva del tutto, né dalla nostra incapacità di risolvere le equazioni delle «teorie del qualcosa» che di fatto sono state formulate. Tra i vari temi affrontati, questo libro si chiede se la ricerca di una «vera» teoria del tutto sia un obiettivo realistico, e dimostra che in pratica la scienza è largamente indipendente da tale ricerca.

La struttura del libro vuole illustrare il modo in cui il dono della natura che permette alla scienza di mettere in quarantena le sfere del «tutto» abbia favorito l'avanzamento della fisica teorica nei secoli. Il terzo e il quarto capitolo ripercorrono questa storia fino ai giorni nostri, cominciando con la meccanica newtoniana nel XVII secolo e la sua applicazione alla termodinamica nel diciannovesimo. Sempre nel XIX secolo la teoria di Maxwell descrisse l'elet-