



la Bussola



KONRAD KLEINKNECHT

**EINSTEIN  
E HEISENBERG**  
LA CONTROVERSIA  
SULLA FISICA QUANTISTICA

*Traduzione di*

MARTINA DIUCCIO



la Bussola



la Bussola

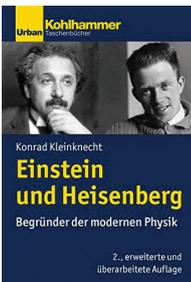
©

ISBN

979-12-5474-091-0

PRIMA EDIZIONE

ROMA 19 MAGGIO 2022



Opera originale:  
Konrad Kleinknecht  
*Einstein und Heisenberg*  
*Begründer der Modernen Physik*  
ISBN 978-3-17-037426-3  
Kohlhammer, Stuttgart 2019.

<https://shop.kohlhammer.de/einstein-und-heisenberg-37426.html>

## INDICE

- 9     *Prefazione*
- 13    Capitolo I  
      La giovinezza di Einstein  
      1.1. Il cimitero di Buchau, 13 – 1.2. La famiglia ad  
      Ulma e a Monaco, 15 – 1.3. Studente del liceo Luitpold-  
      Gymnasium, Monaco, 20 – 1.4. Einstein ad Aarau e  
      Zurigo, 25 – 1.5. Esperto all'ufficio brevetti di Berna, 29
- 37    Capitolo II  
      La giovinezza di Heisenberg  
      2.1. Le origini di Heisenberg, 37 – 2.2. Giorni di scuola  
      a Würzburg e Monaco, 40 – 2.3. Il movimento giovanile,  
      46 – 2.4. Gli studi con Sommerfeld, 47 – 2.5. Heisenberg  
      a Gottinga e a Copenhagen, 54

63 Capitolo III

Gli Anni Prodigiosi

3.1. La calma prima della tempesta d'idee, 53 – 3.2. *L'Annus Mirabilis* di Einstein, 67 – 3.3. L'effetto fotoelettrico, 68 – 3.4. La tesi di dottorato e il movimento di molecole Browniano, 71 – 3.5. La nuova visione dello spazio e del tempo, 73 – 3.6. La teoria della relatività ristretta di Einstein, 77 – 3.7. La massa e l'energia, 81 – 3.8. Le reazioni agli scritti rivoluzionari, 83 – 3.9. Professore a Zurigo, a Praga e di nuovo a Zurigo, 84 – 3.10. La teoria generale della relatività e Berlino, 92 – 3.11. Conseguenze della teoria generale della relatività, 105 – 3.12. La svolta di Heisenberg per la meccanica quantistica, 107 – 3.13. La conservazione dell'energia e l'effetto Compton, 109 – 3.14. Scoppio di creatività su Helgoland, 110 – 3.15. Conclusione a Gottinga, 114 – 3.16. Discussione con Einstein, 117 – 3.17. Il completamento della nuova teoria quantistica, 121 – 3.18. L'equazione di Schrödinger, 122 – 3.19. Schrödinger a Copenhagen, 125 – 3.20. L'interpretazione probabilistica di Born, 126 – 3.21. Il principio d'incertezza, 127 – 3.22. La reazione di Einstein, 133

137 Capitolo IV

L'Impatto delle Scoperte

4.1. Il quinto congresso Solvay, 1927, 137 – 4.2. L'impatto della teoria generale della relatività, 143 – 4.3. L'evoluzione dell'universo e il Big Bang, 146 – 4.4. La materia oscura, 148 – 4.5. Buchi neri e Supernove, 150 – 4.6. Onde gravitazionali, 152 – 4.7. Heisenberg a Lipsia, 158 – 4.8. "La fisica tedesca", 164 – 4.9. Einstein da insegnante, 166 – 4.10. L'impatto della meccanica quantistica, 167 – 4.11. Conseguenze filosofiche, 170 – 4.11. Le applicazioni della meccanica quantistica, 172 – 4.12. Magnetismo, 173 – 4.13. Semiconduttori, circuiti integrati e computer, 174

– 4.14. Il computer quantistico, la crittografia quantistica, 175 – 4.15. Il laser, 175 – 4.16. Superconduttori, 176 – 4.17. La risonanza magnetica, 177

179 Capitolo V

L'Espulsione e gli Anni della Guerra

5.1. Einstein e la Germania, 179 – 5.2. Il pacifismo di Einstein, la bomba e il rapporto Franck, 187 – 5.3. Heisenberg, gli anni della guerra e il Club dell'Uranio, 205 – 5.4. Il reattore ad uranio, 218

223 Capitolo VI

Affinità Sociali

6.1. Le donne di Einstein, 223 – 6.2. La famiglia di Heisenberg, 237 – 6.3. La religione di Einstein, 239 – 6.4. La filosofia religiosa di Heisenberg, 244 – 6.5. Altre informazioni sul ruolo della musica, 246 – 6.6. Gli ultimi anni di Einstein: un saggio mondiale a Princeton e la sua “teoria di campo unificato”, 250 – 6.7. Heisenberg: consulente governativo a Gottinga e Monaco, la ricostruzione, la teoria del tutto, 254 – 6.8. L'Incontro finale, 1954, 259

263 *Glossario*

273 *Bibliografia*

277 *Indice degli Autori*

283 *Indice dei Soggetti*

285 *Crediti per le fotografie*



## PREFAZIONE

La fisica del ventesimo secolo si poggia su due pilastri fondamentali. All'inizio del secolo, il nostro posto nell'universo, l'origine e l'evoluzione del cosmo, il significato dello spazio e del tempo furono consolidati da Albert Einstein in una nuova e rivoluzionaria immagine in una teoria della relatività, descritta matematicamente. Grazie ad essa, Einstein predisse molti fenomeni cosmici, sconosciuti prima d'ora, che, con il passare del tempo, sono stati scoperti empiricamente: la deviazione della luce in un campo gravitazionale, i buchi neri, la dilatazione del tempo negli oggetti ad alta velocità, le onde gravitazionali, ed altri ancora. Poco dopo, sottoponendo similmente la fisica classica ad una trasformazione rivoluzionaria, Werner Heisenberg riuscì a spiegare il comportamento dei più piccoli mattoni della materia. Con la sua meccanica quantistica, egli ci ha aperto il mondo delle componenti submicroscopiche della materia, degli atomi, dei nuclei atomici e delle particelle elementari; questa meccanica ha anche permesso di descrivere

gli attributi fisici delle molecole, dei legami chimici, dei cristalli, dello stato solido e dei semiconduttori e, per questi motivi, è la base della tecnologia dei computer moderni. La scoperta di Heisenberg del principio d'incertezza ha conseguenze di ampia portata per la filosofia della natura e dell'epistemologia.

Entrambi questi due grandi studiosi crebbero a Monaco, frequentarono la scuola lì ed erano amanti della musica. Assieme ai loro aspetti in comune, però, ci sono anche notevoli differenze nei loro modi di pensare: Einstein riteneva che una teoria fisica dovesse predire gli eventi con precisione, in base alle regole della causalità; al contrario, Heisenberg concluse che, a partire dai fenomeni nel dominio atomico, una teoria potesse descrivere solo i processi e le loro probabilità.

Einstein non ci ha lasciato nessuna autobiografia, in quanto riteneva che libri del genere fossero il prodotto di narcisismo o un'espressione di ostilità nei confronti dei suoi simili, perciò dobbiamo limitarci a comprendere la sua vita attraverso le sue lettere e le biografie. A questo proposito, sono particolarmente autentiche le descrizioni del suo amico Philipp Frank, scritte in tedesco tra il 1939 e il 1941, negli Stati Uniti. Dal momento che lo stesso Einstein ha contribuito con un'introduzione a questo libro nel 1942, può essere considerata un'autorizzazione. Il patrimonio degli Einstein è conservato all'università ebraica a Gerusalemme e, a partire dal 1987, i suoi lavori, collezionati in molteplici volumi, sono stati pubblicati dalla stampa universitaria di Princeton.

Heisenberg, d'altro canto, ci ha donato un racconto interessante sulla sua vita nel suo libro *Fisica e oltre*, nel quale descrive anche le sue scoperte scientifiche. In aggiunta

ad esso, sono stati pubblicati due volumi contenenti le sue lettere ai genitori e a sua moglie. Per opera della Società Heisenberg, il resto dei suoi elaborati è stato trasferito nell'archivio della Società Max Planck a Berlino e la corrispondenza scientifica con il suo amico Wolfgang Pauli è conservata nell'archivio Pauli a Ginevra. I suoi documenti scientifici, assieme ai suoi scritti più generalmente accessibili, sono disponibili nel libro *I lavori completi*, pubblicato da Springer e Piper.

Desidero ringraziare la Sig.ra Barbara Blum–Heisenberg per aver fornito le illustrazioni pertinenti a Werner Heisenberg e per le conversazioni sul suo rapporto con la musica. Il professor Hans A. Kastrup ha attirato la mia attenzione sulla lettera che Albert Einstein scrisse al filosofo e scrittore Eric Gutkind sulla religione.

Per la traduzione in italiano del libro, sono grato a Martina Diuccio.

Monaco, Germania  
Aprile 2022



## CAPITOLO I

# LA GIOVINEZZA DI EINSTEIN

### 1.1. Il cimitero di Buchau

Il cimitero ebreo dell'antica città imperiale di Buchau, nel ducato di Württemberg, è situato tra alti, vecchi alberi e lì, a partire dal 1659, gli Ebrei della città e delle comunità circostanti della Svevia Superiore hanno seppellito i loro morti. Vi si possono trovare più di ottocento lapidi, o *mazewot*. L'iscrizione sulla lapide più antica è erosa dal tempo, mentre quelle dal diciottesimo secolo in poi sono abbastanza leggibili e la sepoltura più recente risale al 2003.

Assieme alla città confinante di Laupheim, Buchau fu una delle poche città imperiali libere in cui, dal diciassettesimo secolo in poi, gli Ebrei poterono vivere e, dato che era una città socialmente liberale, molti Ebrei delle zone circostanti vi si trasferirono. Fino al 1760 la comunità non aveva una sinagoga, ma nel 1828 gli Ebrei ottennero la cittadinanza di Württemberg e con essa, i diritti e doveri che comportava. Nel 1838 arrivarono a rappresentare un terzo della

popolazione di 2000 persone di Buchau, rendendo la città la seconda più grande comunità ebraica di Württemberg.

Nel 1838, grazie all'assistenza finanziaria del re Guglielmo di Württemberg e del principe Maximilian von Thurn und Taxis, fu costruita una nuova sinagoga, che divenne famosa in tutta la Germania per la sua unicità, in quanto possedeva un campanile con uno schema architettonico simile alle chiese barocche confinanti, come la chiesa cattolica di pellegrinaggio di Steinhausen.

Il primo cittadino di Buchau con il cognome di Einstein fu Baruch Moses Ainstein, che arrivò in città nel 1665; nel cimitero, dozzine di incisioni sulle lapidi commemorano i 99 membri della famiglia Einstein seppelliti lì.



**Figura 1.1.** Lapidi nel cimitero ebraico di Buchau, © Konrad Kleinknecht

Perfino il secondo sindaco dopo il 1946, Siegbert Einstein, un pronipote di Albert Einstein, è seppellito in questo luogo.

Il padre di Einstein, Hermann, nacque a Buchau dai genitori Abraham and Helene Einstein e fu uno di sette fratelli. Dopo aver completato gli studi nel 1869, si trasferì ad Ulma assieme ai suoi fratelli, dove si occupò di imbottiture di materassi e più avanti continuò la professione assieme ai suoi partner, Israel e Levi. Nell'agosto del 1876, in Cannstatt, sposò la moglie Pauline, figlia di Julius Koch, un mercante di grano e fornitore reale della corte di Württemberg. In seguito al loro matrimonio, la coppia si trasferì a Bahnhofstraße, sempre ad Ulma.

## **1.2. La famiglia ad Ulma e a Monaco**

Albert Einstein nacque a Bahnhofstraße, in Ulma, il 14 marzo 1879. Alla sua nascita, sua madre notò con angoscia la forma allargata e spigolosa del retro del suo cranio. Per i primi due anni e mezzo della sua vita, inoltre, non accennò a parlare, cosa che, in un asilo nido d'oggi, verrebbe considerata alquanto strana. Trentatré anni dopo la sua reticenza si sarebbe trasformata nel suo opposto; infatti il fisico Max von Laue, prima che il suo collega incontrasse Einstein per la prima volta, lo avvertì con testuali parole: «Attento che Einstein non ti uccida a forza di chiacchiere. Gli piace molto farlo».

Suo padre Hermann era un uomo dalla natura contemplativa, un uomo di buon cuore che non riusciva a rifiutare nessuna richiesta, ma non molto competente in affari. Sua madre, Pauline (née Koch), proveniente da una famiglia

benestante in Cannstatt, vicino Stoccarda, era sagace, musicale ed un'eccezionale pianista.



**Figura 1.2** Hermann e Pauline Einstein

Nel novembre 1881, due anni e mezzo dopo la nascita di Albert, nacque sua sorella Maria (soprannominata Maja), con cui ebbe un rapporto molto affettuoso, che durò una vita intera. Più tardi, in una sua biografia, Maria descrisse alcune esperienze della sua infanzia in cui, in particolare, notava l'inesauribile pazienza con cui suo fratello lavorava solitariamente ai suoi "progetti".

Costruiva palazzi e castelli con le sue costruzioni ad incastro, ritagliava con la sua sega figure dal compensato e costruiva alti, precari palazzi con le carte da gioco. In futuro, trapanare attraverso assi molto spesse sarebbe diventato uno dei suoi marchi distintivi nella fisica.



**Figura 1.3** Albert Einstein con sua sorella Maria (Maja), 1885

Volendo cercare tra i parenti di Einstein qualcuno con un dono particolare per la matematica o per la fisica, suo zio Jakob (1850–1912) si distingue dal resto. Il fratello minore di Hermann Einstein aveva studiato ingegneria elettronica all’Istituto Politecnico di Stoccarda, dove aveva imparato le “equazioni di Maxwell”, da poco elaborate da James Maxwell e formulate nella loro forma completa nel 1864. Jakob servì come ingegnere militare nella guerra del 1870 e, alla fine di questa, decise di utilizzare la sua competenza per fondare una compagnia a Monaco per la produzione di generatori di corrente diretta e motori elettrici. Egli stesso disegnò le macchine e le fece costruire nella sua officina.

Jakob suggerì al fratello Hermann di unirsi alla compagnia e assumere la posizione di commerciante esecutivo. Hermann accettò la proposta e si trasferì a Monaco nel 1880, inizialmente a Müllerstraße 3, dove Jakob aveva il suo appartamento ed il suo negozio. La fabbrica elettrotecnica J. Einstein & Co. offriva la “costruzione di impianti di trasmissione di energia elettrica”, così come “la costruzione di sistemi di luce elettrica, di generatori per la luce, di trasmissione di elettricità ed elettrolisi” ed aveva un gran successo. La Mostra Internazionale dell’Elettricità, organizzata nel 1882 nel Palazzo di Vetro di Monaco da Oskar von Miller, futuro fondatore del Museo Tecnico Tedesco (detto “Deutsches Museum”), portò la nuova tecnologia sotto i riflettori e l’azienda Einstein & Co. vi esibì i propri generatori ed anche un centralino telefonico.

Nel 1885 gli Einstein trasferirono la loro compagnia a Lindwurmstraße. L’indirizzo precedente, che al giorno d’oggi mostra una targa commemorativa, era Adlzreiterstraße 14, ed era il luogo in cui viveva l’intera famiglia: al secondo piano abitavano Hermann e Pauline, con i loro figli Albert e Maria, mentre al piano terra vivevano lo zio Jakob, sua moglie Ida e il padre di Pauline, Julius Koch. I due uomini ed Ida cenavano abitualmente con la famiglia di Albert e lo zio Jakob era solito parlare dell’elettrodinamica e delle sue applicazioni; Albert, perciò, era probabilmente l’unico studente quindicenne in tutta la Germania per cui le equazioni di Maxwell erano argomento di conversazione a tavola. In queste equazioni la comparsa della lettera  $c$ , in riferimento alla velocità della luce, deve avergli lasciato il segno persino allora.

L’interesse principale di Albert, però, era la matematica, in cui è possibile dimostrare autonomamente la correttezza di un’affermazione: aveva un piccolo opuscolo, a lui sacro,

contenente gli assiomi della geometria euclidea. Un'altra esperienza critica nella sua formazione fu la dimostrazione, da parte del padre, del funzionamento di una bussola: Albert rimase affascinato dalla forza che muoveva l'ago verso nord e desiderava comprendere questo misterioso fenomeno.

Inizialmente, nel 1885, Albert frequentò la scuola elementare cattolica di San Pietro, dove regnava un regime particolarmente severo. Eppure non era particolarmente soddisfatto dagli esercizi, in quanto preferiva riflettere da solo sulle cose e non apprezzava il dover rispondere alle domande a memoria. Nonostante ciò, era il primo della classe e la sua intelligenza gli fece guadagnare rispetto.

Dal momento che era l'unico studente ebreo, dovette partecipare ad un corso di religione cattolica, dove imparò le storie della Bibbia del Vecchio e del Nuovo Testamento.



**Figura 1.4** Dimora della famiglia Einstein ad Adlzreiterstraße, Monaco, © Konrad Kleinknecht

### 1.3. Studente del liceo Luitpold–Gymnasium, Monaco

Nell'ottobre del 1888, Albert iniziò il liceo Luitpold–Gymnasium.

Tra i suoi compagni di classe vi furono Robert Kaulbach, un membro della famosa famiglia di pittori, e Paul Marc. Quest'ultimo era il fratello maggiore di Franz Marc, fondatore, assieme a Wassily Kandinsky, del movimento del Cavaliere Azzurro, grazie al quale divenne un rivoluzionario nella pittura così come Einstein lo fu per la fisica.

Albert era uno studente straordinario del liceo umanistico di Luitpold, eccellente soprattutto in matematica, ma tutte le autorità erano per lui una maledizione.



**Figura 1.5** Lo studente liceale Albert Einstein, all'età di 14 anni, a Monaco