

Gian Francesco Giudice

# **Odissea nello zeptospatio**

Un viaggio nella fisica dell'LHC

 Springer

# Indice

<b>1</b>	<b>Prologo</b>	1
	<i>Parte prima</i> Materia e particelle	
<b>2</b>	<b>La dissezione della materia</b>	11
<b>3</b>	<b>Forze della natura</b>	37
<b>4</b>	<b>Meraviglia Sublime</b>	65
	<i>Parte seconda</i> L'astronave dello zeptospatio	
<b>5</b>	<b>Stairway to Heaven</b>	99
<b>6</b>	<b>Il signore degli anelli</b>	121
<b>7</b>	<b>Telescopi per lo zeptospatio</b>	151
	<i>Parte terza</i> Missioni nello zeptospatio	
<b>8</b>	<b>Simmetrie infrante</b>	183
<b>9</b>	<b>Una questione di naturalezza</b>	223
<b>10</b>	<b>Supersimmetria</b>	235
<b>11</b>	<b>Dimensioni extra e nuove forze</b>	255
<b>12</b>	<b>Esplorare l'universo con un microscopio</b>	273
<b>13</b>	<b>Epilogo</b>	303
	<b>Ringraziamenti</b>	309
	<b>Glossario</b>	311
	<b>Indice analitico</b>	319

## Prologo

Non smetteremo di esplorare  
e al termine di tutte le nostre esplorazioni  
giungeremo nel luogo da cui siamo partiti  
e lo conosceremo per la prima volta

Thomas Stearns Eliot<sup>1</sup>

Il centro di controllo del Large Hadron Collider (LHC) è affollatissimo. Tutti gli occhi sono puntati sullo schermo appeso alla parete, che per ora mostra solo uno sfondo grigio. L'ultimo blocco di assorbimento è stato rimosso e adesso i protoni non incontrano più alcun ostacolo nella loro traiettoria circolare lungo i 27 chilometri del tunnel sotterraneo. Sono le 10.28 del mattino del 10 settembre 2008. Siamo al CERN, il laboratorio europeo per la ricerca sulla fisica delle particelle, nei pressi di Ginevra, al confine tra Francia e Svizzera.

Come un prestigiatore sul punto di eseguire il suo numero più strabiliante, Lyn Evans, direttore del progetto LHC, recita in francese, pur con la sua cantilenante cadenza gallese, la formula magica: "Trois, deux, un... faisceau!" In quel preciso istante il prodigio si compie: sullo schermo appaiono per un attimo due macchie bianche. Esplode un applauso generale. Le immagini della sala di controllo sono trasmesse in diretta nel grande auditorium dove si sono radunati i fisici del CERN, che prorompono immediatamente in un applauso spontaneo carico di soddisfazione ed emozione. L'avventura, tanto a lungo preparata e attesa, è davvero iniziata.

I primi studi ufficiali per l'LHC, l'acceleratore di particelle più potente del mondo, risalgono all'inizio degli anni Ottanta, ma il pro-

<sup>1</sup> T.S. Eliot, *Four Quartets*, Harcourt, Brace and Company, New York 1943.



**Figura 1.1** Il centro di controllo dell'LHC il 10 settembre 2008 (Fonte: CERN)

getto fu definitivamente approvato solo nel 1994. Quattordici anni dopo quelle due macchie bianche sullo schermo hanno decretato la fine della fase di costruzione e l'avvio del programma di esperimenti di fisica delle particelle. Quelle due macchie, infatti, rappresentano le immagini lasciate su un sottile strato fluorescente dal fascio di protoni: una nell'istante in cui il fascio è stato iniettato nell'LHC, l'altra nell'istante in cui è tornato allo stesso punto dopo aver percorso l'intero anello, coprendo 27 chilometri in soli 90 milionesimi di secondo. È vero che l'energia del fascio di protoni è solo meno di un quindicesimo di quella che sarà impiegata quando l'acceleratore funzionerà a piena potenza; e anche la densità dei protoni circolanti è estremamente bassa. Eppure il sincero applauso dei fisici riuniti per l'evento è del tutto giustificato, poiché si è avuta la prova decisiva che la tecnologia alla base dell'LHC funziona veramente.

Nel centro di controllo sono presenti gli ultimi cinque direttori generali del CERN, che hanno guidato il laboratorio durante le diverse fasi della progettazione e della costruzione dell'LHC: Herwig Schopper, Carlo Rubbia, Christopher Llewellyn Smith, Luciano Maiani e, infine, Robert Aymar che, ormai al termine del suo mandato, sarà sostituito nel 2009 da Rolf Heuer. "Ne sono presenti solo cinque perché gli altri sono già morti!" commenta Lyn Evans con una

gioviale risata, anche se alcuni dei direttori più anziani non sembrano condividere l'ilarità. Tuttavia, visibilmente soddisfatti, gli ingiacchettati direttori si avvicinano a Evans, in tenuta più tradizionale per i fisici del CERN – jeans e scarpe da ginnastica – per felicitarsi con lui e i suoi colleghi. Da tutto il mondo giungono al CERN messaggi di congratulazioni dei principali laboratori impegnati nella ricerca sulla fisica delle particelle. Il più originale è quello di Nigel Lockyer, direttore del laboratorio canadese TRIUMF, che scrive, parafrasando le parole di Neil Armstrong quando posò il piede per la prima volta sulla Luna: “Un breve viaggio per un protone, ma un balzo gigantesco per l'umanità!”

L'LHC rappresenta davvero una straordinaria avventura per l'umanità. È un'avventura ingegneristica eccezionale, che ha richiesto opere come lo scavo a 100 metri di profondità di una caverna artificiale di quasi 80 000 metri cubi, vasta come una volta e mezza il Pantheon di Roma. È un'avventura all'avanguardia della tecnologia, con lo sviluppo di strumentazioni innovative, che ha dovuto confrontarsi continuamente con requisiti estremi, come mantenere per anni 37 000 tonnellate di materiale distribuito lungo 27 chilometri a  $-271$  gradi centigradi (una temperatura inferiore a quella dello spazio vuoto cosmico). È un'avventura senza precedenti nel campo dell'informatica, con un flusso di dati di circa 1 milione di gigabytes al secondo, equivalente a circa dieci comunicazioni telefoniche effettuate simultaneamente attraverso lo stesso operatore da ciascun abitante del pianeta. Ma è soprattutto una fantastica avventura intellettuale, poiché l'LHC esplorerà spazi nei quali nessun precedente esperimento è mai riuscito ad addentrarsi. L'LHC è un viaggio all'interno della più profonda struttura della materia, alla scoperta delle leggi fondamentali che determinano il comportamento della natura. La posta in gioco è la comprensione dei principi primi che governano l'universo, del come e, soprattutto, del perché la natura funziona nel modo che conosciamo.

Il viaggio verso l'ignoto è l'aspetto più affascinante dell'LHC. Questo acceleratore opera come un gigantesco microscopio in grado di scrutare dimensioni inferiori a circa 100 zeptometri. Lo *zeptometro* è un'unità di misura impiegata di rado, che corrisponde a un milionesimo di miliardesimo di millimetro. Il termine è stato coniato nel 1991 dal Bureau International de Poids et Mesures con questa motivazione: “Il prefisso ‘zepto’ deriva da septo, che

evoca il numero 7 (la settima potenza di 1000), e la lettera 'z' è stata sostituita alla 's' per evitare duplicazioni nell'uso della lettera 's' come simbolo.<sup>2</sup> È sicuramente una definizione molto bizzarra per una bizzarra unità di misura. Tutto ciò che è associato alla parola zepto è così insolito che la considero particolarmente appropriata per descrivere lo sconosciuto e strano spazio delle dimensioni estremamente piccole. Questo spazio quasi infinitesimale, non più grande di poche centinaia di zeptometri, è stato finora accessibile soltanto per particelle elementari e per la fervida immaginazione dei fisici teorici. Ma l'LHC sarà il primo strumento destinato all'esplorazione diretta dello zeptospatio.

Mentre la missione umana verso la Luna aveva un obiettivo concreto, visibile da tutti nelle notti serene, il viaggio intrapreso dall'LHC è un'odissea verso spazi ignoti, e nessuno può predire con esattezza che cosa incontreremo e dove arriveremo. Si tratta di una ricerca di mondi sconosciuti, condotta grazie a complesse tecnologie d'avanguardia e guidata da congetture teoriche la cui comprensione richiede conoscenze avanzate di fisica e matematica. Sono proprio questi gli aspetti che hanno avvolto il lavoro dei fisici in una nube di esoterico mistero, scoraggiando l'interesse dei profani. Ma questo libro si propone di mostrare come i temi sollevati dai risultati dell'LHC siano affascinanti e interessanti per chiunque ritenga che valga la pena porsi domande fondamentali sulla natura dell'universo in cui viviamo.

Evidentemente anche i governi dei 20 Stati europei membri del CERN ritengono che valga la pena di porsi queste domande, poiché hanno investito nell'impresa significative risorse. La realizzazione dell'LHC è costata circa 3 miliardi di euro, tenendo conto della costruzione della macchina e del contributo del CERN per il sistema di elaborazione dei dati appositamente creato e per i rivelatori, ma senza considerare i costi del personale del CERN. Questo enorme impegno finanziario non sarebbe stato possibile senza ingenti contributi da parte di molti Paesi che non sono membri del CERN, tra i quali Canada, Giappone, India, Russia e Stati Uniti. Il progetto, la costruzione e il collaudo della strumentazione sono stati realizzati con la partecipazione di fisici di 53 Paesi e 5 continenti

<sup>2</sup> Bureau International des Poids et Mesures, *Résolution 4 de la 19e Réunion de la Conférence générale des poids et mesures* (1991), 1992, 97.

(purtroppo nessun fisico o pinguino dell'Antartide ha potuto prendere parte all'impresa). L'LHC è uno stupendo esempio di collaborazione internazionale in nome della scienza; essendo stato costruito grazie al contributo intellettuale, produttivo e finanziario di tanti Paesi, i suoi risultati sono un patrimonio comune di tutti. I risultati ottenuti non vanno a beneficio solo di una ristretta cerchia di fisici e la loro natura tecnica e specialistica non deve offuscare la portata del loro messaggio intellettuale per l'intera umanità.

L'LHC è il più complesso e ambizioso progetto scientifico mai realizzato dall'umanità e ciascuno dei problemi incontrati nella sua progettazione e nella sua costruzione ha richiesto progressi delle frontiere della tecnologia. È quindi ragionevole prevedere che la ricerca che ha condotto all'LHC avrà ricadute e applicazioni pratiche al di là del puro ambito scientifico. Non è un caso, infatti, che il World Wide Web sia stato inventato al CERN. Nato nel 1989 per consentire ai fisici di scambiare dati e informazioni tra laboratori situati in diverse parti del pianeta, il sistema è stato reso di dominio pubblico quattro anni dopo dal CERN, che ha così offerto al mondo uno strumento ormai divenuto insostituibile nella nostra vita quotidiana. Quasi immancabilmente la ricerca pura genera applicazioni inaspettate. Alla metà del XIX secolo William Gladstone, Cancelliere dello Scacchiere britannico, chiese al fisico Michael Faraday, impegnato in ricerche sull'elettromagnetismo, quale potesse essere l'utilità delle sue scoperte. "Non so, signore," rispose Faraday, "ma un giorno riuscirete a tassarle."

Ma per i fisici lo scopo ultimo dell'LHC è solo la pura conoscenza. L'arricchimento offerto alla società dalla scienza va ben oltre le sue applicazioni tecnologiche. Nel 1969 Robert Wilson, direttore di un importante laboratorio statunitense di fisica delle particelle, fu chiamato a testimoniare davanti al Congresso, durante il dibattito sulle possibili motivazioni di un finanziamento di 200 milioni di dollari per un progetto di ricerca sulla fisica delle particelle. Il senatore John Pastore, del Congressional Joint Committee on Atomic Energy, interrogò Wilson, che nelle sue risposte espresse efficacemente il significato della ricerca pura.

*Pastore:* Vi è qualcosa di connesso alle speranze riposte in questo acceleratore che interessi in qualche modo la sicurezza di questo Paese?

*Wilson:* No, signore. Non credo.

*Pastore:* Assolutamente nulla?

*Wilson:* Assolutamente nulla.

*Pastore:* Non ha alcun valore rispetto a questo?

*Wilson:* Ha a che fare soltanto con il rispetto che abbiamo l'uno per l'altro, con la dignità dell'uomo, con il nostro amore per la cultura [...] Non ha niente a che fare direttamente con la difesa del nostro Paese, salvo nel renderlo degno di essere difeso.<sup>3</sup>

Questo libro parla del viaggio dell'LHC: perché lo abbiamo intrapreso e che cosa si vuole imparare da esso. L'argomento è necessariamente vasto, complicato e altamente tecnico, ma lo scopo del libro è più limitato. Non affronterò sistematicamente tutti gli aspetti, nè mi propongo di fornire un resoconto completo della storia dell'LHC. Il mio intento è offrire una panoramica delle questioni in gioco dal punto di vista di un fisico, sottolineando l'ampiezza e la profondità intellettuali degli interrogativi ai quali si cerca di rispondere attraverso l'LHC. Spero di aiutare il lettore a comprendere il significato di questo viaggio e i motivi per i quali l'intera comunità scientifica dei fisici delle particelle è così eccitata e in febbrile attesa dei suoi risultati.

La prima parte del libro tratta del mondo delle particelle e di come i fisici sono giunti a comprenderlo. I risultati dell'LHC non possono essere apprezzati senza qualche nozione almeno sommaria sul mondo delle particelle. Come osservò una volta il fisico teorico Richard Feynman, non si capisce "perché i giornalisti e tante persone vogliano conoscere le ultime scoperte della fisica anche quando non sanno nulla delle scoperte precedenti, che danno un senso alle nuove scoperte."<sup>4</sup>

<sup>3</sup> La trascrizione dell'audizione di Robert R. Wilson si trova in *Hearings before the Joint Committee on Atomic Energy. Congress of the United States. First session on general, physical research program, space nuclear program, and plowshare*. April 17 and 18, 1969 – Part 1. U.S. Government Printing Office. Washington, D.C. 1969, pp. 69-83, 112-118. Il testo completo può essere consultato all'indirizzo <http://collections.stanford.edu/atomicenergy/bin/detail?fileID=569870540>.

<sup>4</sup> R.P. Feynman, citato in S. Weinberg, *The Discovery of Subatomic Particles*, Cambridge University Press, Cambridge 2003.

---

L'LHC è una macchina di superlativi, nella quale la complessità tecnologica è spinta all'estremo: la seconda parte del libro descrive l'acceleratore e il suo funzionamento. Le innovazioni tecnologiche richieste per costruire l'LHC non sono l'ultimo dei numerosi stupefacenti aspetti di questa avventura scientifica. Incontreremo anche i rivelatori impiegati per lo studio delle particelle create dalla collisione tra protoni nell'LHC; questi strumenti sono moderni prodigi che combinano microtecnologie estreme con dimensioni gigantesche.

L'LHC è un progetto ideato principalmente per l'esplorazione dell'ignoto: pertanto il culmine della trattazione è dedicato agli obiettivi degli esperimenti e alle relative aspettative scientifiche. La terza parte del libro presenta alcuni dei principali interrogativi concernenti gli scopi dell'LHC. Come immaginano lo zeptospatio i fisici? Perché dovrebbe esistere il misterioso bosone di Higgs? Lo spazio nasconde una supersimmetria o si estende in ulteriori dimensioni? Come possono le collisioni tra protoni nell'LHC svelare i segreti delle origini del nostro universo? È possibile produrre materia oscura nell'LHC?