

IL NUCLEARE

8

Direttore

Ettore GADIOLI

Università degli Studi di Milano

Piero Caldirola International Centre for the Promotion of Science

Comitato scientifico

Ignazio LICATA

Institute for Scientific Methodology

Elio SINDONI

Università degli Studi di Milano–Bicocca

Comitato redazionale

Francesca BALLARINI

Università degli Studi di Pavia

Francesco CERUTTI

European Organization for Nuclear Research CERN

Comitato editoriale

Giuseppe BATTISTONI

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Laszlo SAJO BOHUS

Universidad Simón Bolívar

Elio SINDONI

Università degli Studi di Milano–Bicocca

Ignazio LICATA

Institute for Scientific Methodology

IL NUCLEARE

La Fisica Nucleare ha portato a scoperte fondamentali ed è tuttora un campo di indagine alle frontiere della ricerca che permette in modo peculiare ed esclusivo lo studio della materia elementare in condizioni estreme.

Non meno importante è il suo utilizzo in ricerche e applicazioni tecnologiche di immediato interesse per la Società, tra cui oggi sono di particolare importanza la produzione controllata e sicura di energia e le applicazioni mediche per la diagnosi e la terapia di tumori.

Conclusioni analoghe si raggiungono se si considerano le ricerche sulla radioattività: accanto a studi di carattere fondamentale, le applicazioni di tipo medico ed industriale, per il controllo ambientale, la sicurezza, la datazione di reperti sono innumerevoli.

Questa collana si propone la pubblicazione di testi volti a descrivere questa variegata moltitudine di argomenti e a rappresentare una fonte di informazioni obiettive e documentate.

Lanfranco Belloni
Lino Miramonti
Vito Antonelli
Guido Parravicini

Il calore della Terra e del Sole

Dalle dispute tra Kelvin e Darwin ai neutrini





Aracne editrice

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

Copyright © MMXVII
Giacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

www.giacchinoonoratieditore.it
info@giacchinoonoratieditore.it

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

ISBN 978-88-255-0165-0

*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: marzo 2017

Indice

- 9 *Introduzione*
- 11 *Capitolo I*
La Disputa Kelvin–Darwin
- 39 *Capitolo II*
Elio nel Sole
- 87 *Capitolo III*
Bruno Pontecorvo
- 103 *Capitolo IV*
I Neutrini solari
- 135 *Capitolo V*
Viaggio al centro della Terra
- 157 *Capitolo VI*
I Geoneutrini
- 183 *Bibliografia*
- 191 *Ringraziamenti*

Introduzione

Il problema dell'età del Sole e della Terra e del loro calore interno è stato ampiamente dibattuto nell'Ottocento, sulla base delle teorie allora note, come quella della gravitazione e come la termodinamica. La discussione molto accesa, che ha coinvolto fin da subito personaggi di chiara fama in ambito scientifico, tra cui in particolare Kelvin, non riguardava la sola fisica, perché valutazioni e stime diverse si basavano anche su dati geologici e sulla teoria evuzionistica di Darwin e furono usate per confutare o sostenere questa teoria.

Agli inizi del Novecento, le prospettive per la soluzione di questi problemi subirono un cambiamento decisivo con la scoperta della radioattività, che portò a interpretare il problema dell'età della Terra in termini di fisica nucleare. In breve tempo, il paradigma nucleare si rivelava necessario anche per affrontare la questione della struttura e del funzionamento del Sole.

Negli ultimi decenni le stesse questioni sono state affrontate con le tecniche della fisica delle particelle, sviluppate per catturare i neutrini provenienti dal Sole e quelli emessi dalla Terra, denominati geoneutrini. Ciò ha fatto segnare un ulteriore sviluppo, contrassegnato, come quelli che l'hanno preceduto, da scetticismi iniziali dovuti a limiti tecnologici in partenza ritenuti insuperabili.

A scandire i tempi è sempre stato il continuo aprirsi di finestre sull'ignoto, grazie a scoperte di carattere sperimentale (ottenute con tecnologie sempre più spinte) e intuizioni teoriche, che hanno successivamente portato all'abbandono di idee consolidate e di schemi interpretativi diventati obsoleti.

Quanto segue è anche un esercizio di esplorazione di questi meccanismi di sviluppo della conoscenza, in relazione al problema della struttura interna della Terra, tuttora non completamente risolto. La questione del funzionamento della fornace solare, che storicamente è stata collegata a quella dell'origine del calore terrestre, si ritiene sia ormai impostata in termini definitivi e corretti, almeno nelle sue linee generali.

Seguendo l'evoluzione delle conoscenze e delle discussioni su questi temi, ci si accorge (come ben sa chi opera nel campo della ricerca) che le "storie di scienza" sono spesso anche "storie di scienziati" e che il dibattito scientifico, dalle dispute accese tra Kelvin e Darwin alle moderne interpretazioni dei dati sui geoneutrini e del loro impatto sui modelli geologici, è influenzato anche dalle personalità e dalle visioni del mondo degli scienziati che partecipano a questo dibattito. Per questo motivo, ci è sembrato interessante soffermarci brevemente anche su questi aspetti, provando a conoscere più da vicino gli attori della nostra vicenda anche da un punto di vista umano.

La Disputa Kelvin–Darwin

Che sotto la Terra dovesse esserci un grande fuoco, era idea diffusa fin dall'antichità, al punto che Dante vi collocò l'Inferno, anche se in fondo all'imbuto infernale pose il Cocito, lago gelato in cui stava conficcato Lucifero. I fuochi sotterranei e i loro effetti furono oggetto di riflessioni e di analisi da parte del filosofo stoico romano Seneca e di Plinio il Vecchio, un personaggio che spinse la sua curiosità in materia fino a esiti fatali, in occasione dell'eruzione del Vesuvio che distrusse Pompei. Entrambi volevano esaminare i fenomeni e cercare di spiegarli senza fare ricorso al dio Vulcano, ovvero andando oltre lo stadio del pensiero mitologico.

Il grande studioso enciclopedico Gottfried Wilhelm von Leibniz fece notare, nel 1693, che molte rocce trovate sulla superficie della Terra, sembravano originate e formate dall'azione di fuochi, che ancora potevano bruciare all'interno del pianeta.

Sullo sviluppo delle idee o delle supposizioni in materia di storia geologica della Terra esiste una vastissima letteratura. Importante il contributo del geologo, nonché ultra-prolifico *science writer*, G. Brent Dalrymple, che ha ricostruito nei dettagli una vicenda plurisecolare in un volume enciclopedico ormai diventato un classico (vedi bibliografia).

Venendo all'epoca della rivoluzione scientifica seicentesca, i primi inizi di una meditazione sul soggetto del calore terrestre risalgono a Newton e ai Principia del 1687, là dove viene affrontato il problema delle traiettorie delle comete, con particolare riferimento alla cometa, poi detta di Halley, del 1680. Così si esprime Newton nel suo tipico linguaggio aulico e arcaico:

A colui che considererà l'orbita ora descritta, e a colui che ripenserà alle altre cose di questa cometa, non difficilmente risulterà che i corpi delle comete sono solidi, compatti, fissi e durevoli a somiglianza dei corpi dei pianeti. Se infatti non fossero altro che vapori o esalazioni della Terra, del Sole e dei

pianeti, questa cometa avrebbe dovuto, al suo passaggio nelle vicinanze del Sole, essere dispersa. Infatti, il calore del Sole sta come la densità dei raggi, ossia è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dei luoghi dal Sole. Perciò, poiché la distanza della cometa dal centro del Sole, l'8 dicembre, quando stava nel perielio, stava alla distanza della Terra dal centro del Sole come 6 a 1000 circa, il calore del Sole presso la cometa stava, in quel momento, al calore del nostro Sole estivo come 1000000 a 36, (o 28000 a 1). Ma il calore dell'acqua bollente è tre volte maggiore del calore che l'arida Terra riceve dal Sole estivo, come sperimentai; e il calore del ferro incandescente (se la mia congettura è esatta) è quasi di tre o quattro volte maggiore del calore dell'acqua bollente; perciò il calore che l'arida Terra della cometa, che stava nel perielio, doveva ricevere dai raggi del Sole, era di 2000 volte maggiore del calore del ferro incandescente. Ma dato un così grande calore, i vapori e le esalazioni, e ogni materia volatile dovrebbero essere immediatamente consumati e dispersi.

Dunque la cometa ha ricevuto nel proprio perielio un calore immenso dal Sole, e quel calore non può essersi conservato molto a lungo. Infatti una palla di ferro incandescente di un pollice di diametro, esposta all'aria, facilmente perderebbe tutto il proprio calore nello spazio di una sola ora. Ma una palla più grande conserverebbe più a lungo il calore in ragione del diametro, in quanto la superficie (che è la misura del raffreddamento mediante il contatto con l'aria circostante) sta in quella ragione minore rispetto alla quantità di materia calda che contiene. Perciò una palla di ferro incandescente uguale alla Terra, ossia più o meno con un diametro di 4000000 piedi, in altrettanti giorni, o all'incirca 50000 anni, verrebbe difficilmente raffreddata. Sospetto tuttavia, che la durata del calore, per cause nascoste, aumenti in una proporzione minore di quella del diametro; e avrei desiderato che la reale proporzione venisse indagata mediante esperimenti¹.

Il calore trattenuto nella sfera terrestre è proporzionale al volume, mentre il calore irraggiato è proporzionale alla superficie sferica. Di conseguenza il tempo di raffreddamento è proporzionale al diametro. Secondo lo storico e didatta della fisica Arthur Stinner, Newton avrebbe fatto un semplice calcolo. Una sferetta di ferro, del diametro di 1 pollice, o 2,54 centimetri, impiega circa un'ora per raffreddarsi dallo stato in cui è rossa e rovente, fino a raggiungere la temperatura ambiente; quindi una sfera del diametro di 12800 chilometri, che è il diametro della Terra, impiegherebbe circa 50000 anni (o poco più), come si ricava da una semplice proporzione.

1. I. NEWTON, *Principi Matematici della Filosofia naturale*, a cura di Alberto Pala, Collezione dei classici della scienza UTET, diretta da Ludovico Geymonat, Torino 1965, pp. 761-762.