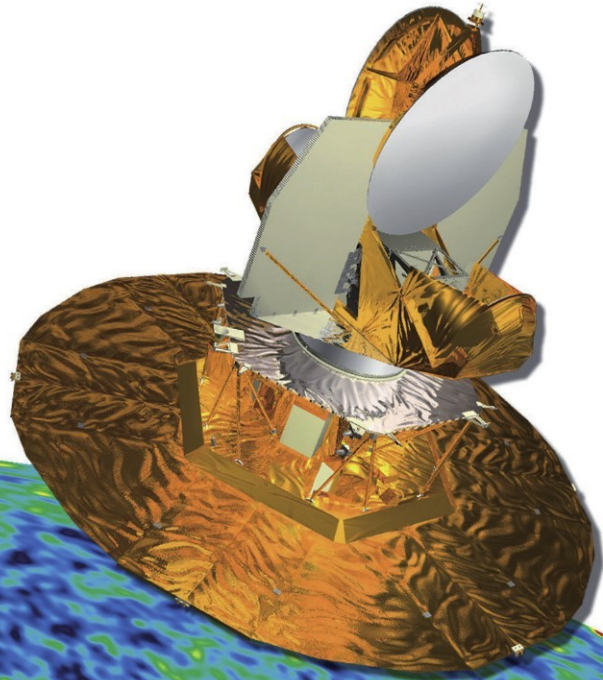


Pietro Fré

# Il fascino oscuro dell'inflazione

Alla scoperta della storia dell'Universo

*i*blu



 Springer

*ibu* pagine di scienza

Pietro Fré

# **Il fascino oscuro dell'inflazione**

Alla scoperta della storia  
dell'Universo

 Springer

PIETRO FRÉ  
Università degli Studi di Torino e  
Ambasciata d'Italia a Mosca

ISBN 978-88-470-1153-3

e-ISBN 978-88-470-1154-0

Springer fa parte di Springer Science+Business Media  
springer.com

© Springer-Verlag Italia, Milano 2009

Quest'opera è protetta dalla legge sul diritto d'autore, e la sua riproduzione è ammessa solo ed esclusivamente nei limiti stabiliti dalla stessa. Le fotocopie per uso personale possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto. Le riproduzioni per uso non personale e/o oltre il limite del 15% potranno avvenire solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da AIDRO, Via Corso di Porta Romana n. 108, Milano 20122, e-mail [segreteria@aidro.org](mailto:segreteria@aidro.org) e sito web [www.aidro.org](http://www.aidro.org). Tutti i diritti, in particolare quelli relativi alla traduzione, alla ristampa, all'utilizzo di illustrazioni e tabelle, alla citazione orale, alla trasmissione radiofonica o televisiva, alla registrazione su microfilm o in database, o alla riproduzione in qualsiasi altra forma (stampata o elettronica) rimangono riservati anche nel caso di utilizzo parziale. La violazione delle norme comporta le sanzioni previste dalla legge.

Collana ideata e curata da: Marina Forlizzi

Redazione: Barbara Amorese

Impaginazione: le-tex publishing services oHG, Leipzig

Copertina: progetto grafico di Simona Colombo, Milano

Immagine di copertina: courtesy of nasa.org

Stampa: Grafiche Porpora, Segrate, Milano

*Stampato in Italia*

Springer-Verlag Italia S.r.l., via Decembrio 28, I-20137 Milano

Quest'operetta è dedicata  
al mio ottimo amico Piero Bianucci

## Prefazione

È dalla più remota antichità che l'uomo si interroga sulla struttura dell'Universo Fisico in cui vive e sulle leggi che governano il suo essere, ovvero il suo divenire. Il progresso sulla strada di tale comprensione compiuto nel XX secolo è strabiliante e non ha paragone rispetto ai progressi realizzati in tutti i secoli precedenti. Con un po' di presunzione si può ipotizzare che probabilmente esso rimarrà straordinario anche rispetto ai progressi realizzati nei secoli successivi.

È soltanto dagli anni tra il 1920 e il 1930 che si conoscono le reali dimensioni dell'Universo visibile e la sua costante espansione. La Relatività Generale, che è la teoria della gravità, indispensabile per inquadrare tutti i fenomeni cosmici e astrofisici sia a grande scala che a piccole distanze, fu formulata da Einstein nel 1915. Essa, però, non sarebbe nemmeno immaginabile al di fuori degli straordinari progressi della matematica e soprattutto della geometria, realizzati nel secolo XIX e fino all'alba del XX, a opera di giganti del pensiero umano come Gauss, Riemann, Lobachevskij, Poincaré e gli italiani Ricci Curbastro, Bianchi e Levi Civita. Per giungere a questi, fu anche necessario superare pregiudizi filosofici vecchi di duemila anni sulla evidenza a priori della geometria euclidea inclusi da Kant nei presupposti del pensiero critico.

La cosmologia, fino a pochi anni fa espressione entusiasmante, ma soprattutto speculativa del pensiero fisico, ha fatto un salto di qualità estremamente significativo tra la fine del XX e l'inizio del XXI secolo. Una nuova ricca serie di dati osservativi ha accreditato su solida base sperimentale tre dati di fatto che prima del 1999 erano soltanto scenari ipotetici:

1. L'Universo è spazialmente piatto ed è tale a seguito della inflazione cosmica che, in frazioni di secondo dopo il Big Bang, ne ha gonfiato le dimensioni per un fattore di decine o centinaia di miliardi di volte.
2. Il contenuto dell'Universo è costituito per circa il 70% da energia oscura, per circa il 24% da materia oscura, e la materia visi-

bile, cioè le galassie e i loro ammassi contribuiscono a non più del 6% del totale.

3. Al tempo attuale l'espansione dell'Universo è in una fase di nuova accelerazione.

La spiegazione di tale struttura a grandissima scala del nostro universo non è ancora stabilita, ma è certo che essa richiede la "nuova fisica" alle piccolissime distanze che LHC, il più grande acceleratore di particelle mai costruito dall'uomo, sta per cominciare a esplorare proprio nello scorcio finale di questo anno 2008, al CERN di Ginevra. In particolare le teorie supersimmetriche, la supergravità e le superstringhe possono dare la risposta.

In questo libro l'autore, utilizzando un linguaggio il più possibilmente elementare e accessibile a tutti, intende ripercorrere storicamente la grande avventura del pensiero umano che dalla visione aristotelica di un universo statico, eterno e in realtà piccolissimo, ci ha portato all'attuale consapevolezza di un Universo dinamico, enormemente grande, in espansione accelerata e dominato dall'energia oscura.

Gli enigmi posti dalla cosmologia si saldano con quelli della fisica delle particelle al di là del modello standard delle interazioni fondamentali e potrebbero trovare tutti la propria coerente spiegazione all'interno della teoria delle superstringhe.

La scienza è una grande avventura umana costruita da uomini dotati di personalità diversissime e appartenenti a nazioni e culture diverse. Lo scopo dell'autore in questo libricolo è stato sia spiegare, per quanto ciò sia possibile, che raccontare. La dimensione umana della scienza riveste infatti un interesse notevole e aiuta anche la comprensione dell'evoluzione storica delle idee scientifiche. Per questo motivo aneddoti e ricordi personali sono stati inseriti in molti punti dell'esposizione, che si spera possa acquistare la qualità di una narrazione.

Torino, dicembre 2008

*Pietro Fré*

# Indice

<b>Prefazione</b>	<b>VII</b>
<b>1 L'Universo, la gravità e la materia</b>	<b>1</b>
<b>2 Che cos'è la gravità?</b>	<b>3</b>
<b>3 L'Universo è un sistema dinamico</b>	<b>43</b>
<b>4 Superstringhe e Brane danno la risposta?</b>	<b>97</b>
<b>Letture ulteriori</b>	<b>143</b>



## L'Universo, la gravità e la materia

Solo recentemente, a partire dagli anni Venti del XX secolo, l'Umanità ha svelato la natura complessa e dinamica dell'Universo in cui viviamo ed è soltanto all'alba del XXI secolo che dati osservativi precisi ci hanno fornito un'immagine attendibile del cielo primordiale, consistente nel cosiddetto paradigma inflazionario. Che cosa si intende con ciò? Secondo questo paradigma nel volgere di qualche frazione di secondo dopo il Big Bang l'Universo si sarebbe espanso di un fattore  $10^{26}$  volte, che l'ha reso così grande, omogeneo, isotropo e spazialmente piatto come esso ci appare. Due domande sorgono immediatamente spontanee in relazione a tale scenario:

1. Qual è la rilevanza di questa improvvisa inflazione dello spazio-tempo?
2. Qual è la forza repulsiva che ha avuto la capacità di realizzarla?

La risposta alla prima domanda è che soltanto questo stiramento subitaneo può spiegare in maniera naturale le caratteristiche osservate del nostro Universo che, senza il meccanismo inflazionario capace di produrle, sarebbero decisamente innaturali e improbabili.

La risposta alla seconda domanda è probabilmente sorprendente per la maggior parte dei lettori: la forza repulsiva che ha gonfiato esponenzialmente l'Universo è nient'altro che la gravità.

Come? La gravità non è per sua natura sempre e in ogni caso attrattiva? La gravità newtoniana indubbiamente sì, ma la legge di Newton non è l'ultima parola. Essa è una descrizione accurata dei fenomeni gravitazionali fino a che le masse, le energie e le velocità in gioco non siano troppo elevate. La teoria del campo gravitazionale che supera tali limiti è la Relatività Generale di Einstein, la cui

struttura è enormemente più complessa e può contemplare situazioni del tutto differenti. A piccola scala l'attrazione gravitazionale predetta dalla teoria di Einstein è enormemente più forte di quella prevista dalla legge di Newton e ciò conduce alla formazione dei buchi neri e alle loro intriganti proprietà.

A grandissima scala l'attrazione gravitazionale implicata dalla Relatività Generale dipende dalla qualità delle forme energetiche che riempiono il cosmo e per alcune di esse l'attrazione può addirittura cambiarsi in repulsione: è questo il caso dell'energia oscura responsabile sia per l'inflazione primordiale che per l'attuale espansione accelerata dell'Universo in cui viviamo.

La struttura del cosmo e la sua evoluzione sono dominate dalla interazione gravitazionale e dalla sua complessa dinamica che è descritta dalle equazioni di Einstein. Come Einstein intuì e alla fine, dopo dieci anni di durissimo lavoro critico, riuscì a dimostrare in maniera del tutto generale, i fenomeni gravitazionali non sono altro che uno specchio attraverso il quale si rivela la geometria dello spazio-tempo, a sua volta, determinata dal contenuto di massa e energia di quest'ultimo.

Dunque è solo nell'ambito della Relatività Generale di Einstein che la cosmologia moderna ha potuto comprendere la natura evolutiva dell'Universo fisico. D'altra parte cosmologia e fisica delle particelle sono intrinsecamente legate, poiché l'evoluzione dell'Universo dipende dalla quantità e dalla struttura della materia-energia che lo riempie.

Nel prossimo capitolo il cammino storico che terminò con l'identificazione operata da Einstein tra il campo gravitazionale e la geometria dello spazio-tempo verrà delineato nei suoi snodi essenziali. Lo scopo del prossimo capitolo è rispondere alla domanda: *che cos'è la gravità?*

# 2

## Che cos'è la gravità?

Ognuno di noi conosce la gravità fin dai primi giorni della propria vita. I bambini che ancora non parlano, ma già stanno seduti sul seggiolone e sputacchiano, ridendo, la pappa che la mamma infila loro in bocca, sono già sperimentatori gravitazionali: afferrano con le manine tutti gli oggetti a loro disposizione e li lasciano cadere sul pavimento. Il loro ilare compiacimento nel vedere le cose muoversi da sole e scendere a terra manifesta l'entusiasmo per una scoperta fondamentale: la scoperta di una legge che regola tutta la realtà in cui siamo immersi e a cui, piano piano, ci abituiamo, finendo per non pensarci più. Il campo gravitazionale terrestre in cui siamo immersi e che è pressoché costante su tutta la superficie del pianeta è ciò che determina la struttura dell'ambiente in cui hanno avuto origine tutte le forme di vita che conosciamo, in cui si è sviluppata l'umanità e il suo pensiero intelligente. Il campo gravitazionale costante e il suo risultato, l'accelerazione gravitazionale di circa 9,8 metri al secondo per secondo, è quindi, benché pochi se ne rendano immediatamente conto, ciò che definisce l'ambiente umano naturale e ha avuto almeno un milione di anni di tempo e un numero da capogiro di mitosi e meiosi cellulari per formare dei cervelli, in cui il pensiero e l'argomentazione logica includono questo dato come un presupposto assiomatico a priori. I concetti di "alto" e di "basso", con tutte le loro applicazioni nella vita quotidiana, nonché le loro traslazioni metaforiche, che abbracciano ogni aspetto della vita sociale e spirituale, fino anche a introdurre l'idea di Cielo, come sede di uno o più "enti supremi" o "divinità", hanno origine e senso soltanto in un ambiente governato da un campo gravitazionale pressoché costante e di intensità non troppo dissimile da quella che si avverte sulla superficie della Terra. Sempre accade che la rilevanza e il ruolo di qualunque cosa diventino manifesti soltanto quando si faccia esperienza della

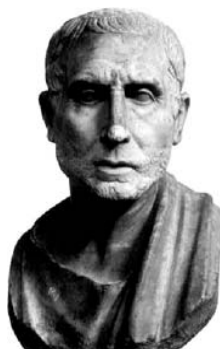
sua assenza. Così è stato anche per la gravità terrestre. L'esperienza diretta della vita in assenza di gravità, fatta dai cosmonauti delle navicelle spaziali, e quella virtuale della stessa cosa fatta dai telespettatori di tutto il mondo, che ne hanno visto le immagini trasmesse sugli schermi della propria TV, hanno destato nell'umanità del XX e XXI secolo una maggiore consapevolezza dell'importanza di  $g = 9,8 \text{ m/sec}^2$  nel definire l'ambiente umano e soprattutto ciò che noi percepiamo come realtà. Tuttavia, benché maggiormente coscienti dei loro antenati di questa dipendenza dall'esistenza e dal valore di  $g$ , gli uomini contemporanei continuano a ragionare, sentire e comportarsi all'interno di un sistema logico, culturale e emozionale, formatosi in questo particolare ambiente, le cui condizioni sono implicitamente assunte come attributi necessari del Reale.

## Il pregiudizio geometrico

Un altro dato dell'ambiente umano che viene inconsapevolmente assunto a priori come attributo necessario del *reale* è la validità degli assiomi della geometria euclidea. Quest'ultima è stata la codificazione assiomatica delle proprietà di una superficie piana, priva di curvatura, così come lo è approssimativamente una porzione di superficie terrestre su scala umana. Quanta influenza le particolari condizioni dell'ambiente in cui viviamo abbiano avuto sulla formazione del nostro sistema logico e del nostro pensiero filosofico è testimoniato dai quasi bimillenni sforzi, dispiegati da matematici e filosofi, per dimostrare il quinto postulato di Euclide delle rette parallele:

In un piano, per un punto fuori di una retta data, si può condurre una e una sola parallela a tale retta: due rette si diranno parallele, quando non si incontrano.

Il primo tentativo di questa dimostrazione risale al filosofo, storico, matematico e astronomo Posidonio di Rodi, vissuto all'epoca di Mario, Silla, Pompeo e Cesare. Nato ad Apamea intorno al 135 avanti Cristo, morì probabilmente a Roma verso il 50 avanti Cristo. Studioso enciclopedico e autore di moltissime opere di vario genere, Posidonio è responsabile per la sua riduttiva stima della circonferenza terrestre (28.000 chilometri), inferiore



**Fig. 1.** Posidonio di Rodi

alla più realistica e precedente di Eratostene (39.700 chilometri). Fu sulla base di questo antico errore che Cristoforo Colombo, quindici secoli più tardi, osò aprire la via delle Indie a Occidente e scoprì le Americhe. Posidonio aveva tentato di dimostrare il quinto postulato di Euclide modificando la definizione di rette parallele, ma il suo procedimento si dimostrò inconcludente. Innumerevoli tentativi di dimostrazione seguirono nei secoli e furono tutti ugualmente inconcludenti, visto che, come oggi noi ben sappiamo, il quinto postulato è veramente indipendente e costituisce di fatto la definizione della geometria euclidea.

Il più interessante e geniale tra questi sforzi è quello del gesuita italiano Giovanni Girolamo Saccheri, nato a Sanremo nel 1667 e morto a Milano nel 1733. Il Saccheri tentò una dimostrazione per assurdo del quinto postulato provando a negarlo. Dalla sua negazione, con grande abilità matematica, egli ricavò tutta una serie di conseguenze che costituiscono dei teoremi nelle geometrie non euclidee, come quella ellittica di Riemann o quella iperbolica di Lobachevskij. L'incrollabile fede nella necessità della geometria euclidea, condusse tuttavia il Saccheri a considerare i nuovi teoremi, che egli aveva di fatto dimostrato, come degli assurdi che provavano la validità del postulato.

Per chi non ha una sufficiente educazione matematica l'argomentazione logica implicitamente contenuta nell'opera di Saccheri, dal titolo latino *Euclides ab omni naevo vindicatus*, può rias-

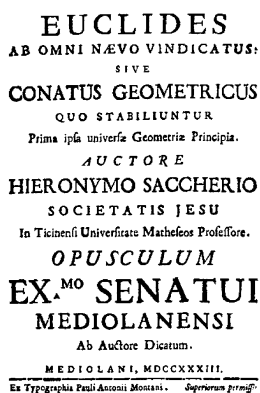


Fig. 2. Il frontespizio dell'opera di Saccheri

sumersi come segue. Supponiamo di voler dimostrare che tutte le donne del mondo hanno necessariamente i capelli o mori ovvero biondi. Procediamo allora a negare la verità di questa proposizione e ne concludiamo che in questo caso potrebbero esistere donne con i capelli rossi. Siccome ciò è per noi assurdo, allora ne segue che la proposizione iniziale deve essere vera. L'incontro per strada di un'avvenente bellezza dalla chioma fulva sarebbe ovviamente la migliore dimostrazione dell'indimostrabilità del postulato. Questo è quanto è avvenuto con la scoperta delle geometrie non euclidee.

Il primo a rendersi conto dell'esistenza di geometrie non euclidee, fondate su un insieme di postulati autoconsistenti, fu il *Principe dei matematici*, Karl Friedrich Gauss, che, seguendo una sua inveterata abitudine, inizialmente non pubblicò nulla dei propri risultati in questo settore. Nato in una famiglia poverissima e cresciuto in un ambiente culturale decisamente modesto, Gauss dette segni di una genialità assolutamente rara, già in giovanissima età, e fu grazie alla generosità del Duca di Brunswick, Carlo Guglielmo Ferdinando, che egli poté studiare, prima in un collegio della città di Brunswick e, poi, all'Università di Göttingen. I contributi alla matematica pubblicati da Gauss sono talmente estesi e fondamentali in quasi tutti i suoi settori, che il suo nome è associato a quasi la metà degli strumenti concettuali di cui la scienza moderna fa uso quotidiano.

Benché straordinari, i risultati ufficialmente pubblicati da Gauss sono probabilmente soltanto la metà dei teoremi che egli effettivamente dimostrò e delle idee rivoluzionarie che la sua incredibilmente riuscì a concepire. Ci sono molti indizi a sostegno di questa tesi. Il più probante di questi indizi è un quadernetto, denominato da Gauss *Notizenjournal*, in cui dal 1796 al 1814 egli annotò, giorno per giorno e in una forma molto sintetica, gli enunciati di ciò che era riuscito a dimostrare o capire. Si venne a conoscenza di questo taccuino soltanto nel 1898, quarantatré anni dopo la morte del grande matematico. Donato da un nipote di Gauss alla Società Reale di Göttingen, il giornalino contiene ben 146 enunciati e risultati di complessi calcoli. Soltanto alcune di queste scoperte furono pubblicate da Gauss, altre invece non videro mai la luce durante la sua vita. In più di un caso si tratta di sviluppi o conclusioni che furono riottenuti, parecchi anni dopo, da altri geni della matematica come Abel o Jacobi.

Tra questi risultati sepolti nel cassetto di Gauss vi era anche la prima versione di una geometria non euclidea, il cui fondamento è per altro implicito nei risultati, che Gauss invece pubblicò, sullo studio delle superfici a curvatura variabile.

Tipicamente, la motivazione di Gauss per differire o sospendere la pubblicazione dei propri risultati era il suo straordinario perfezionismo. Egli pubblicava soltanto opere perfette, in cui la dimostrazione delle proposizioni doveva essere completa, semplice e convincente, senza che restasse alcuna traccia del faticoso cammino attraverso il quale vi si era giunti. Nel caso della geometria non euclidea, tuttavia, la motivazione per differire la comunicazione del risultato fu un'altra. In una sua lettera di molti anni dopo, il *Principe dei matematici* confessò di non aver divulgato l'evidenza che il quinto postulato di Euclide fosse indipendente e che esistessero quindi altre geometrie perfettamente consistenti che lo violano, per non udire le *strida dei Beoti*. Con questa poco lusinghiera denominazione egli si riferiva ai filosofi kantiani e post-kantiani che dominavano il panorama accademico tedesco della sua epoca e per i quali valeva il dogma enunciato da Kant nella *Critica della Ragion Pura*:

Lo spazio non è un concetto empirico, ricavato da esperienze esterne [...]; esso è una necessaria rappresentazione a priori, la quale sta a fondamento di tutte le intuizioni esterne [...]