

Un'eco lontana

Nuovi studi sulla radiazione cosmica di fondo

di Massimiliano Lattanzi



a.
Ispezione del satellite Planck prima del suo lancio dallo spaziorporto europeo di Kourou in Guyana francese nel 2009.

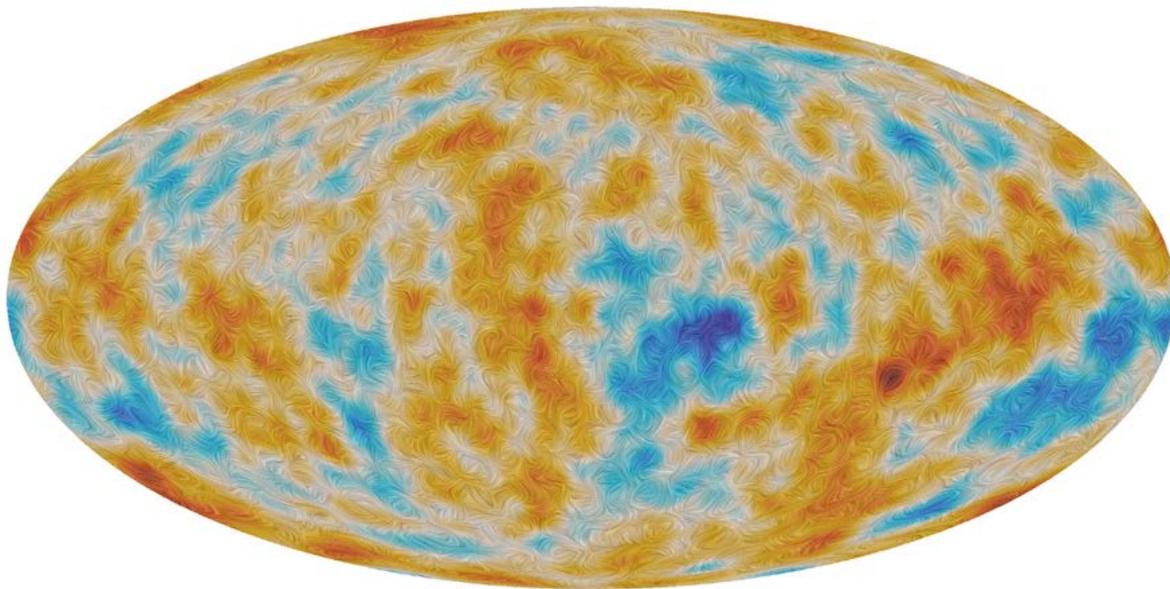
Sin dalla sua inattesa scoperta nel 1964, che valse il premio Nobel ad Arno Penzias e Robert Wilson, la radiazione cosmica di fondo è stata una fonte apparentemente inesauribile di informazioni sull'universo in cui viviamo. Nota con l'acronimo CMB – dall'inglese Cosmic Microwave Background –, questa radiazione elettromagnetica, parzialmente polarizzata, si trova attualmente a una temperatura di 2,7 K, corrispondente alla regione delle microonde dello spettro elettromagnetico. Essa permea l'intero universo ed è il residuo della fase primordiale, estremamente densa e calda, della sua evoluzione: in particolare, è un'istantanea dell'universo nel momento in cui esso divenne trasparente alla radiazione, a un'età di "soli" 400.000 anni.

La CMB è estremamente isotropa, ovvero ci appare la stessa in ogni direzione; tuttavia, a un esame più attento, ci si accorge che questo uniforme mare di radiazione presenta delle increspature, delle fluttuazioni di temperatura. Pur essendo molto piccole – solo qualche decina di milionesimo di grado in media –, queste contengono preziose informazioni sul cosmo. Studiandole, possiamo infatti conoscerne, per esempio, la composizione, la geometria e la velocità di espansione; e perfino

sondare le primissime fasi della sua storia, quando, durante una fase di espansione accelerata chiamata inflazione, sono state generate le fluttuazioni di densità primordiali – i semi da cui poi avranno origine le galassie –, come afferma il modello cosmologico più accreditato.

Non stupisce dunque sapere che grandi sforzi sono stati dedicati, negli ultimi decenni, all'osservazione della CMB. Le misure da terra o da pallone stratosferico forniscono, ora come in passato, contributi importanti, ma sono complicate da effetti sistematici legati alla presenza dell'atmosfera terrestre. Al contrario, le osservazioni da satellite, a fronte di un maggiore sforzo e dei più lunghi tempi di progettazione associati a una missione spaziale, non risentono di tale limitazione. La possibilità di osservare un intervallo di frequenze ampio, che includa non solo le microonde ma anche le regioni vicine del radio e dell'infrarosso, è particolarmente importante in quanto permette di caratterizzare e rimuovere le emissioni galattiche che oscurano il segnale della CMB. Le osservazioni spaziali hanno inoltre accesso alla sfera celeste nella sua interezza, permettendo di misurare le fluttuazioni anche alle scale angolari più grandi.

Le osservazioni del satellite COBE della NASA nei primi anni '90



b.
L'immagine della polarizzazione della radiazione cosmica di fondo vista dall'osservatorio spaziale Planck.

segnarono la prima pietra miliare in questo campo, confermando che l'emissione della CMB è quella caratteristica di un corpo nero a una temperatura di 2,7 K, e stabilendo l'esistenza delle anisotropie in temperatura. Le due scoperte valsero il premio Nobel ai responsabili scientifici dell'esperimento John C. Mather e George F. Smoot. Nel decennio successivo, le anisotropie vennero ulteriormente caratterizzate dagli esperimenti su pallone BOOMERanG e MAXIMA, e da un altro satellite della NASA, WMAP. Infine, negli anni '10 appena trascorsi, il satellite dell'ESA Planck ha mappato in maniera esaustiva le anisotropie in temperatura, di fatto raggiungendo il limite di precisione per cui, anche aumentando la sensibilità dei nostri strumenti, ci scontriamo con il fatto di avere un solo universo da osservare.

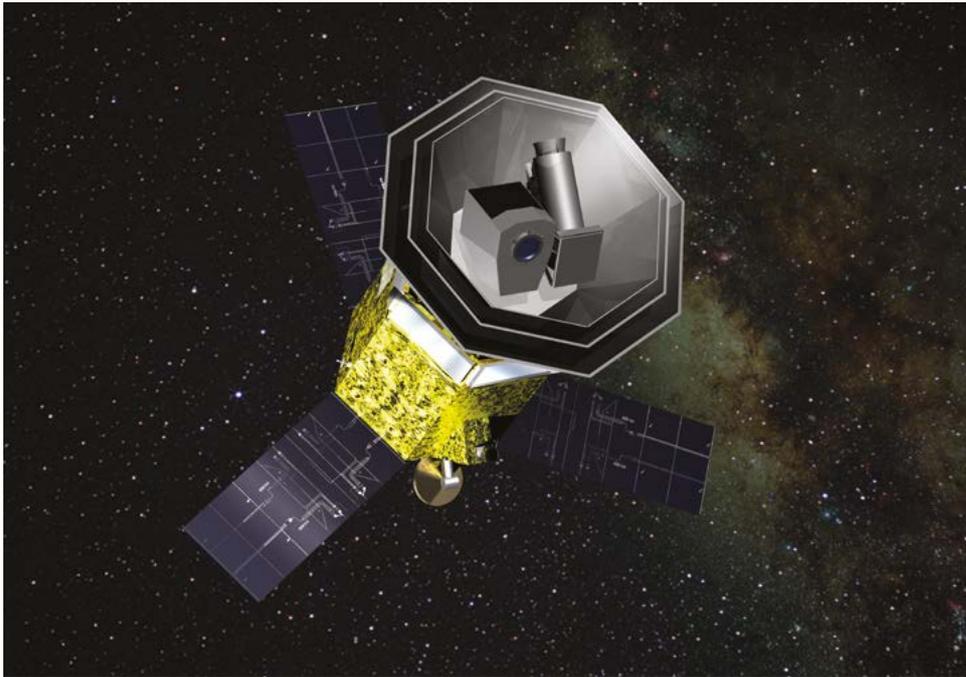
Cosa ci riserva il futuro? Per quanto l'eredità di Planck, i cui dati sono stati rilasciati nel 2018, rappresenti la misura definitiva delle anisotropie in temperatura, il forziere della CMB nasconde ancora molti tesori. In particolare, le anisotropie della polarizzazione potranno aiutarci ad approfondire la nostra comprensione del modello cosmologico standard, e forse segnalare la necessità di modificarlo. La polarizzazione della CMB può essere scomposta in due componenti distinte (modi), chiamate E e B. I modi E sono stati già osservati, ma non ancora caratterizzati con precisione. I modi B sono particolarmente interessanti in quanto possono essere generati nell'universo primordiale solo dalla presenza di onde gravitazionali, le quali sono a loro volta una conseguenza inevitabile del meccanismo inflazionario menzionato sopra. Ad oggi non sono stati ancora osservati modi B di origine primordiale;

una loro misura costituirebbe una ulteriore, forte indicazione a favore dell'inflazione, e permetterebbe di esplorare scale di energia superiori di molti ordini di grandezza a quelle sondate da acceleratori di particelle come LHC.

La misura delle anisotropie in polarizzazione e, in particolare, la ricerca del segnale delle onde gravitazionali inflazionarie costituiscono il principale obiettivo scientifico degli esperimenti cosmologici di prossima generazione.

I programmi di osservazione dal suolo si affidano alla collocazione in ambienti estremamente secchi: è il caso del dimostratore dell'esperimento QUBIC, finanziato dall'INFN, che si trova in un sito desertico in alta quota sulle Ande argentine. Nel futuro, i programmi Simons Observatory (SO, situato nel deserto di Atacama in Cile, in partenza nell'estate 2023) e CMB-S4 (che osserverà da Atacama e dall'Antartide, previsto per il 2029), grazie alla possibilità di impiegare un numero molto elevato di rivelatori, raggiungeranno una sensibilità al segnale inflazionario rispettivamente 10 e 30 volte migliore di quella degli esperimenti attuali.

L'imminente programma LSPE, finanziato da ASI e INFN, impiega invece una strategia ibrida nella sua caccia ai modi B. Esso è infatti composto da due strumenti: un telescopio situato a Tenerife, che osserverà il cielo alle frequenze più basse, sotto i 100 GHz, per cui la presenza dell'atmosfera è meno problematica; e un pallone stratosferico indirizzato alla misura delle frequenze sopra i 100 GHz. La loro combinazione permetterà di migliorare la sensibilità alle onde gravitazionali inflazionarie circa di un fattore tre rispetto al presente.



c.
Vista del criostato di QUBIC, all'interno del quale è contenuta l'ottica del rivelatore.

Infine, il satellite LiteBIRD dell'agenzia spaziale giapponese JAXA osserverà, a partire dal 2029, la polarizzazione della CMB su tutta la volta celeste tramite tre telescopi in 15 bande di frequenza tra 40 e 450 GHz, con una sensibilità che è 30 volte quella di Planck. Questo permetterà di raggiungere una sensibilità al segnale delle onde gravitazionali inflazionarie quasi 20 volte maggiore di quella degli esperimenti attuali. Diversi modelli inflazionari predicono un segnale sufficientemente forte da essere chiaramente visibile da LiteBIRD. Nel caso in cui i modi B non dovessero essere invece rivelati, sarebbe comunque possibile escludere una vasta classe di modelli inflazionari. Inoltre, potendo osservare tutto il cielo, LiteBIRD fornirà una misura precisa dei modi E alle grandi scale angolari. Questo migliorerà

la nostra comprensione dei meccanismi che hanno portato all'accensione delle prime stelle, e potrebbe condurre, in combinazione con altre osservazioni, a una misura cosmologica delle masse dei neutrini, le uniche particelle elementari note di cui ignoriamo la massa. La collaborazione LiteBIRD comprende ricercatori e istituzioni in Giappone, Nord America ed Europa, incluso l'INFN, coinvolto sia nello sviluppo strumentale che nell'analisi dati. A quasi 60 anni dalla sua scoperta – parafrasando Italo Calvino a proposito dei classici della letteratura – la radiazione cosmica di fondo non ha ancora finito di dire quel che ha da dire; e noi, tramite gli esperimenti di prossima generazione, siamo sicuramente pronti ad ascoltare con attenzione!

Biografia

Massimiliano Lattanzi è ricercatore presso la sezione di Ferrara dell'INFN. Si occupa dei vincoli alla fisica fondamentale da osservazioni del fondo cosmico di microonde e delle strutture cosmologiche a grande scala. Ha fatto parte della collaborazione Planck ed è attualmente membro delle collaborazioni LiteBIRD, LSPE, Simons Observatory ed Euclid. È coordinatore nazionale del progetto InDark dell'INFN.