

a.



# Lampi dal passato

Una straordinaria geologia della luce per esplorare la storia dell'Universo.

di Paolo de Bernardis e Silvia Masi

Nel 1964 Arno Penzias e Robert Wilson iniziarono a modificare una grande antenna per comunicazioni satellitari, allo scopo di utilizzarla come radiotelescopio per captare microonde. Non erano mai state eseguite osservazioni del cielo nelle microonde, e i due volevano osservare l'emissione di questo tipo di fotoni nella nostra galassia. Ma, come spesso succede quando si applica una tecnologia nuova in un settore in cui non è stata mai utilizzata, Penzias e Wilson scoprirono qualcosa di importante e inaspettato. Dovunque puntassero la loro antenna, ricevevano dal cielo la stessa piccola quantità di microonde. Penzias e Wilson osservarono così per la prima volta i fotoni del *fondo cosmico a microonde*, che furono prodotti nei primi attimi dopo il Big Bang, circa 13,5 miliardi di anni fa. Quando l'Universo, 380.000 anni dopo, espandendosi, si raffreddò abbastanza da consentire la formazione dei primi atomi, questi fotoni riuscirono a "svincolarsi" dal plasma incandescente di cui era formato

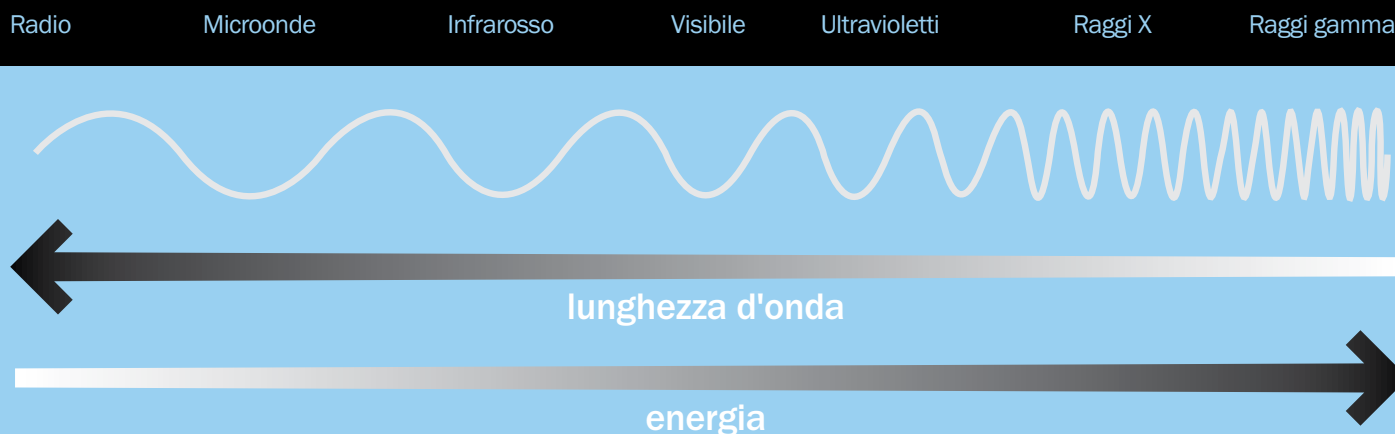
l'Universo fino ad allora e a viaggiare fino al radiotelescopio dei due scienziati. Prima che si formassero gli atomi, infatti, l'Universo era un plasma di elettroni e protoni liberi. In queste condizioni i fotoni viaggiavano solo per brevi tratti, perché venivano continuamente deviati dalle interazioni con le particelle cariche. Esattamente la stessa cosa succede all'interno del Sole, dove i fotoni generati nella zona centrale potrebbero uscire dopo pochi secondi se viaggiassero indisturbati, ma impiegano decine di migliaia di anni per uscire in superficie, a causa delle continue interazioni con gli elettroni e i protoni all'interno del plasma incandescente che lo costituisce. Quando riescono a "svincolarsi", essi viaggiano nello Spazio fino ad arrivare alla Terra dopo soli otto minuti, trasportando a noi l'immagine della superficie del Sole e non del plasma incandescente al suo interno.

Allo stesso modo non possiamo osservare immagini provenienti dai primi 380.000 anni dopo il Big Bang, nei quali l'Universo era un gas incandescente. I fotoni, infatti, sono delle particelle che interagiscono molto meno con gli atomi che con gli elettroni e i protoni liberi. Dopo la formazione degli atomi, le interazioni dei fotoni con la materia divennero talmente rare che essi hanno potuto viaggiare praticamente indisturbati

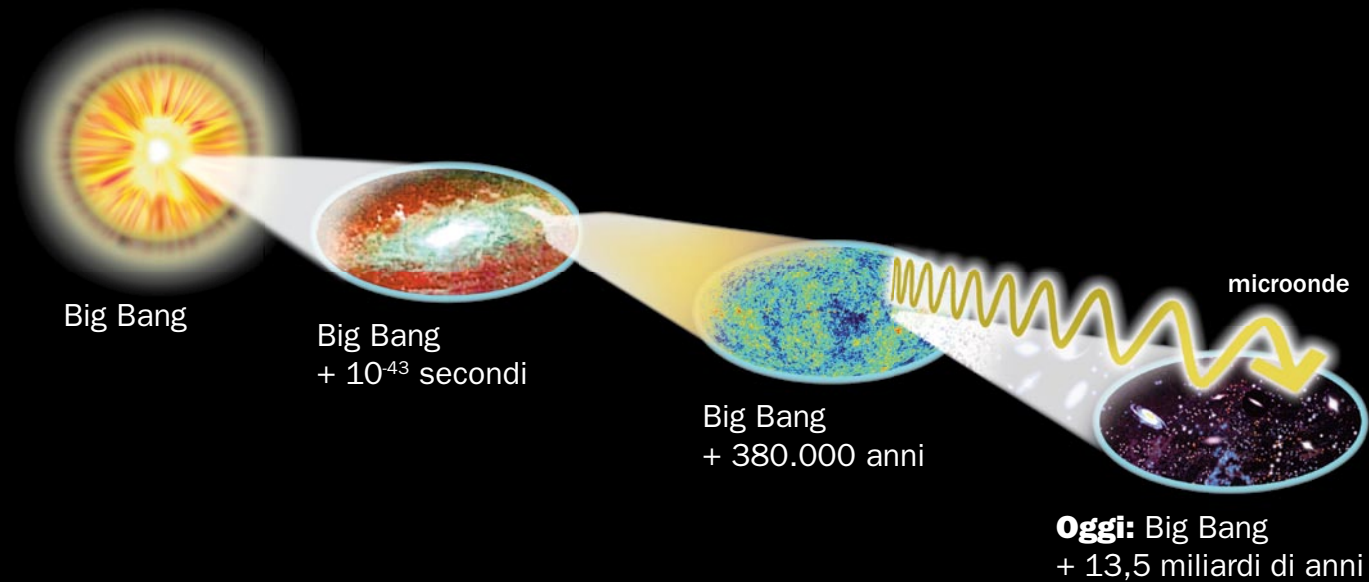
fino ai nostri telescopi, attraversando, in 13,5 miliardi di anni, tutto l'Universo osservabile. E quindi trasportano una immagine fedele di come era l'Universo all'epoca della loro ultima interazione. È l'immagine dell'Universo più antica e remota che possiamo osservare. Talmente antica che l'Universo si è espanso circa mille volte nel frattempo, trasformando la luce abbagliante di allora in flebili microonde, quelle rivelate dal radiotelescopio di Penzias e Wilson. Successivamente, per studiare meglio questa immagine dei primi istanti dell'Universo è stato necessario sviluppare dei telescopi speciali e portarli al di fuori dell'atmosfera terrestre (la nostra atmosfera ostruisce infatti il passaggio delle microonde). Il primo è stato Cobe (*COsmic Background Explorer*) nel 1989, che è valso il premio Nobel a George F. Smoot e John C. Mather nel 2006. Però solo dopo l'anno 2000 esperimenti come Boomerang (*Balloon Observation Of Millimetric Extragalactic Radiation ANd Geophysics*), Maxima (*Millimeter Anisotropy eXperiment Imaging Array*) e Wmap (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*) hanno realizzato mappe dettagliate della radiazione del fondo cosmico a microonde. Ci sono voluti dunque 35 anni per sviluppare degli apparati sperimentali migliori di quello di Penzias e Wilson. Ma ne è valsa la pena.

a. Lancio della navicella Boomerang dall'Antartide nel 2003. Misurando il fondo cosmico a microonde nel 1997, 1998 e 2003 questo esperimento ha permesso di stabilire le percentuali di materia "normale" e materia oscura presenti nell'Universo.

## Spettro della radiazione elettromagnetica



La radiazione elettromagnetica consiste di onde che possono essere interpretate come particelle dotate di energia: i fotoni. All'aumentare della lunghezza d'onda dei fotoni, la loro energia decresce. La luce per noi visibile è solo una piccola parte dello spettro della radiazione elettromagnetica.



## [as] Dal Big Bang alle microonde

La figura ricostruisce le principali tappe della formazione del fondo cosmico a microonde. A causa dell'espansione successiva al Big Bang, l'Universo iniziò a raffreddarsi fino a raggiungere, 380.000 anni dopo, una temperatura così bassa da consentire la combinazione di nuclei ed elettroni in atomi. A questo punto la lunghezza d'onda tipica dei fotoni si aggirava intorno al micron (millesimo di millimetro), si trattava dunque di fotoni "micrometrici" (mentre le microonde hanno lunghezze d'onda millimetriche). Da qui in poi

i fotoni presero a muoversi liberamente sotto l'azione della sola spinta espansiva dell'Universo, diminuendo la loro energia ovvero aumentando proporzionalmente la loro lunghezza d'onda. Oggi, dopo che l'Universo ha aumentato di un fattore 1000 le sue dimensioni, la lunghezza d'onda di questi fotoni risulta essere dell'ordine del millimetro e sono quindi rivelati dai nostri telescopi come flebili microonde, ma si tratta esattamente degli stessi fotoni presenti nel periodo di formazione degli atomi. [c. p.]

L'estrema omogeneità dei fotoni delle microonde, che si vede nell'immagine dell'Universo primordiale, ci fornisce una prima prova dell'esistenza della materia oscura. Nei primi 380.000 anni dopo il Big Bang, durante la fase incandescente dell'Universo, la materia "normale" (i protoni e gli elettroni liberi) non si sarebbe potuta aggregare per formare strutture come le galassie e gli ammassi di galassie: glielo avrebbero impedito gli urti con l'enorme numero di fotoni presente. Inoltre, partendo da una situazione di quasi completa omogeneità, come quella che si vede nell'immagine del fondo cosmico a microonde (che fotografa la situazione 380.000 anni dopo il Big Bang), il processo di aggregazione delle particelle sarebbe estremamente lento. Con calcoli quantitativi si conclude che, se l'Universo fosse formato solo da materia "normale", non ci sarebbe stato abbastanza tempo per formare le strutture che oggi vi si trovano. Gli ammassi di galassie, le galassie, le stelle oggi non esisterebbero. Noi non esisteremmo.

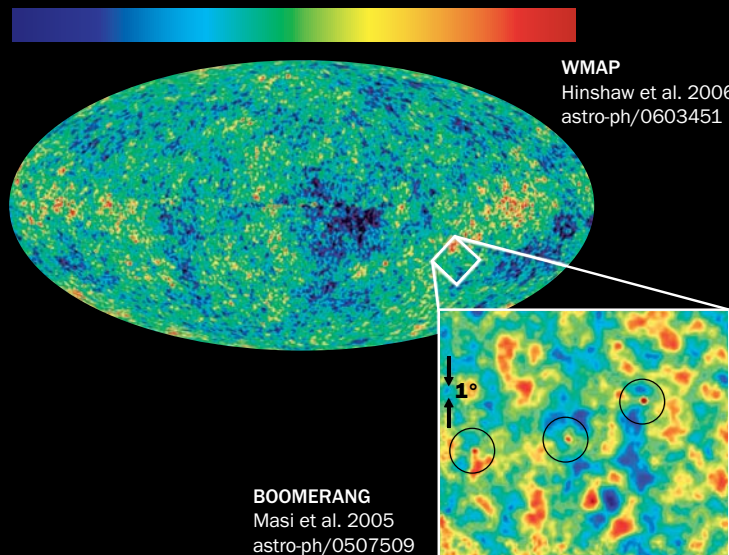
A meno che, già alla fine della fase incandescente, non ci fossero delle aggregazioni di materia che ha massa, ma non interagisce con i fotoni: la materia oscura. Non subendo l'effetto della pressione dei fotoni, questa ha potuto iniziare ad aggregarsi in strutture anche durante la fase incandescente. Alla fine di questa fase, materia "normale" e materia oscura si sono attratte gravitazionalmente e questo ha dato origine a grumi di massa che hanno poi fatto in modo che le strutture che oggi vediamo nell'Universo si potessero formare in tempo utile. Strutture di materia normale immerse in nubi di materia oscura, proprio come osservato a suo tempo da Fritz Zwicky e da Vera Rubin. In realtà, uno studio dettagliato dell'immagine del fondo cosmico ci fornisce anche informazioni sulla quantità di materia oscura presente nell'Universo. Studiando il livello di disomogeneità della luce (i fotoni) nell'Universo primordiale, osserviamo direttamente le condizioni iniziali del lento processo di formazione delle strutture cosmiche. E confrontando queste con la distribuzione attuale delle galassie a grande scala, capiamo che tipo di caratteristiche di aggregazione deve avere la materia





b.

-300  $\mu\text{K}$  -200  $\mu\text{K}$  -100  $\mu\text{K}$  0 100  $\mu\text{K}$  200  $\mu\text{K}$  300  $\mu\text{K}_{\text{CMB}}$



c.

oscura. Le particelle di tipo “caldo”, leggere e veloci (come i neutrini), si aggregano diversamente da quelle di tipo “freddo”, lente e massive (come le Wimp). Il confronto favorisce le seconde. E permette di stabilire che la densità di materia oscura “fredda” nell’Universo è circa cinque volte più abbondante di tutta la materia “normale” che conosciamo. L’anno prossimo, le misure dell’esperimento Planck dell’Agenzia Spaziale Europea permetteranno di quantificare questa densità con grande accuratezza.

In futuro, altre osservazioni ancora più dettagliate del fondo cosmico a microonde forniranno l’entusiasmante opportunità di studiare altri aspetti della materia oscura. Si dovrà osservare il fondo a microonde nelle zone dove ce n’è di più, cioè negli ammassi di galassie. In strutture come il bullet cluster la materia oscura è separata da quella “normale”. Se fosse fatta di Wimp, come si suppone, le loro annichilazioni produrrebbero particelle cariche e queste interagirebbero con i fotoni del fondo cosmico che si trovano ad attraversare l’ammasso di galassie, cedendo loro un po’ di energia. Con strumenti ad alta risoluzione, come il prossimo South Pole Telescope e il telescopio sul pallone Olimpo (il successore dell’esperimento Boomerang), sarà possibile osservare questo effetto, e da questo stabilire la massa delle particelle responsabili della materia oscura.

Oltre a fornire entusiasmanti risultati scientifici, le misure del fondo cosmico hanno fornito, per l’industria italiana, l’occasione di formare eccellenti competenze nel campo dell’ottica (p. es. telescopi fuori asse di grande diametro), della criogenia, ossia la tecnologia delle bassissime temperature (p. es. criostati spaziali per l’elio liquido) e dell’elettronica (p. es. elettronica di prossimità per sensori, sistemi di data processing di bordo), coinvolte sia nei grandi progetti spaziali (come Planck), sia negli esperimenti su pallone (come Boomerang e Olimpo). È questa una ulteriore valenza, comune a tutta la fisica sperimentale, che in una nazione moderna deve essere incentivata e valorizzata.

b.

I rivelatori dell’esperimento Hfi (*High Frequency Instrument*) sul satellite Planck dell’Agenzia Spaziale Europea. Con questo strumento sarà possibile stabilire con grande precisione la densità di materia oscura nell’Universo.

c.

Mappe del fondo cosmico a microonde “fotografate” da Boomerang e Wmap. È l’immagine più antica che possiamo ottenere dell’Universo primordiale. Il contrasto dell’immagine è stato aumentato decine di migliaia di volte per rendere visibili le tenui strutture. Nelle immagini si vede come la materia “normale” sta iniziando a concentrarsi su preesistenti strutture di materia oscura. Solo grazie a questo processo è stato possibile, nei successivi miliardi di anni, che si formassero le strutture visibili nell’Universo di oggi: galassie, ammassi di galassie, stelle e noi stessi.

#### Biografie

**Paolo de Bernardis** è professore di Astrofisica all’Università di Roma La Sapienza. La sua ricerca è focalizzata sul fondo cosmico a microonde: ha coordinato l’esperimento Boomerang e ha contribuito all’esperimento Hfi a bordo del satellite Planck, che sarà lanciato nel 2008.

**Silvia Masi** è ricercatrice presso il Dipartimento di Fisica dell’Università di Roma La Sapienza. Ha sviluppato diversi sistemi criogenici per esperimenti su palloni stratosferici (tra i quali Boomerang). È coordinatrice dell’esperimento Olimpo, che volerà nel 2008, e ha sviluppato un esperimento operante dalla base antartica di Dome-C.

#### Link sul web

<http://oberon.roma1.infn.it/boomerang/b2k/>  
[http://it.wikipedia.org/wiki/Materia\\_oscura](http://it.wikipedia.org/wiki/Materia_oscura)