

L'Universo di Planck

Stefano Spagocci

GACB





Il Satellite Planck

- Lanciato dall'ESA nel 2009, dedicato allo studio della radiazione cosmica di fondo.
- Max Planck studiò la radiazione di corpo nero (radiazione cosmica di fondo = corpo nero a 2.7 K).
- Ha operato per 4.5 anni circa, ripetendo per 5 volte una scansione completa del cielo.
- Era situato nel punto lagrangiano L2 del sistema Terra/Sole (quindi fisso rispetto alla Terra).
- I risultati scientifici della missione occupano già circa 2000 pagine!



La Collaborazione Planck

- Satellite europeo (ESA), con un sostanziale contributo della NASA.
- 100 istituti scientifici europei e nordamericani, 1500 ricercatori!
- Gestito da due consorzi scientifici: LFI, guidato dall'Italia e HFI, guidato dalla Francia.
- Italia e Francia hanno contribuito per il 40%, il resto del contributo è stato suddiviso tra ESA (principalmente) e NASA.



La Radiazione di Fondo

- Scoperta da Penzias e Wilson nel 1965, permea tutto l'Universo e corrisponde alla radiazione emessa da un corpo nero (un corpo “incandescente”) a circa 2.7 K (corrispondente a circa -270 C).
- Si originò 380 mila anni dopo il Big Bang: elettroni e protoni si combinarono a formare atomi ed i fotoni divennero liberi, non dovendo più interagire con gli elettroni.
- Rappresenta l'istante più vicino al Big Bang che possiamo osservare ed è stata “stirata” in lunghezza d'onda di un fattore 1000. Prima l'Universo era avvolto da una nebbia impenetrabile!

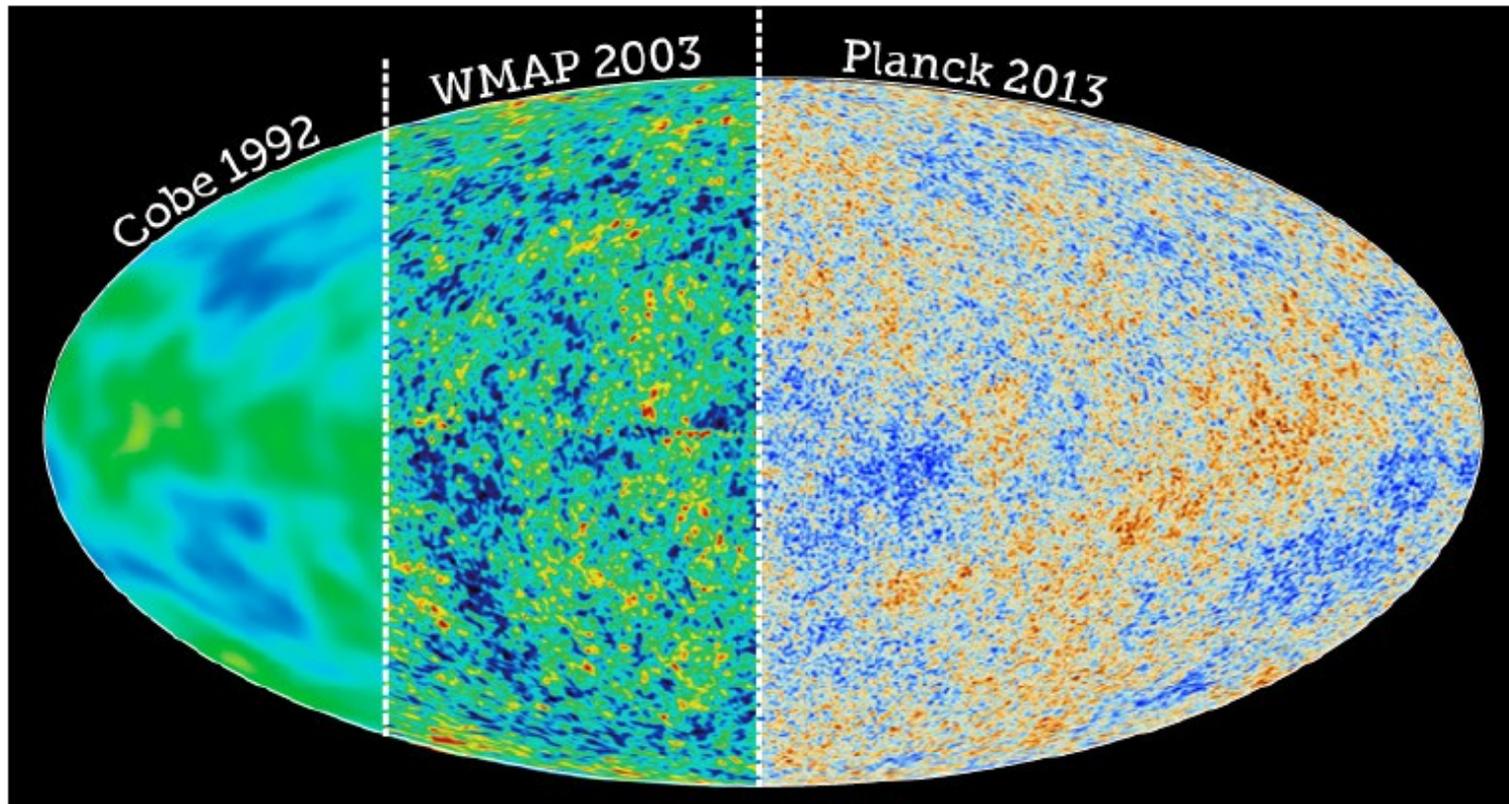


La Radiazione di Fondo

- Porta impressi i segni delle piccole fluttuazioni di densità (un centomillesimo della media!) che poi diedero origine a stelle e galassie.
- Il suo studio di dettaglio è iniziato con gli esperimenti su pallone BOOMERANG e MAXIMA ed è proseguito con i satelliti COBE e WMAP (NASA).
- E' nata così la cosmologia di precisione.
- Planck ha rappresentato un sostanziale miglioramento rispetto alle precedenti missioni, in termini di risoluzione e copertura temporale.



improvements with time & technology



Planck sensitivity in 1yr ~ 1000 years of WMAP

Spettro di Planck a 2.7 K

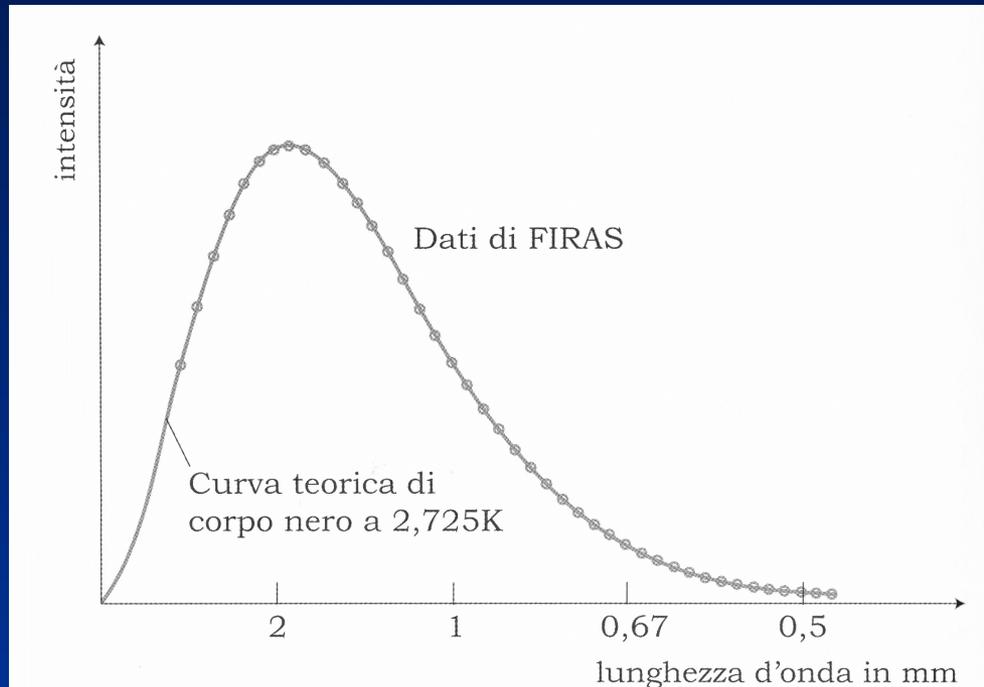
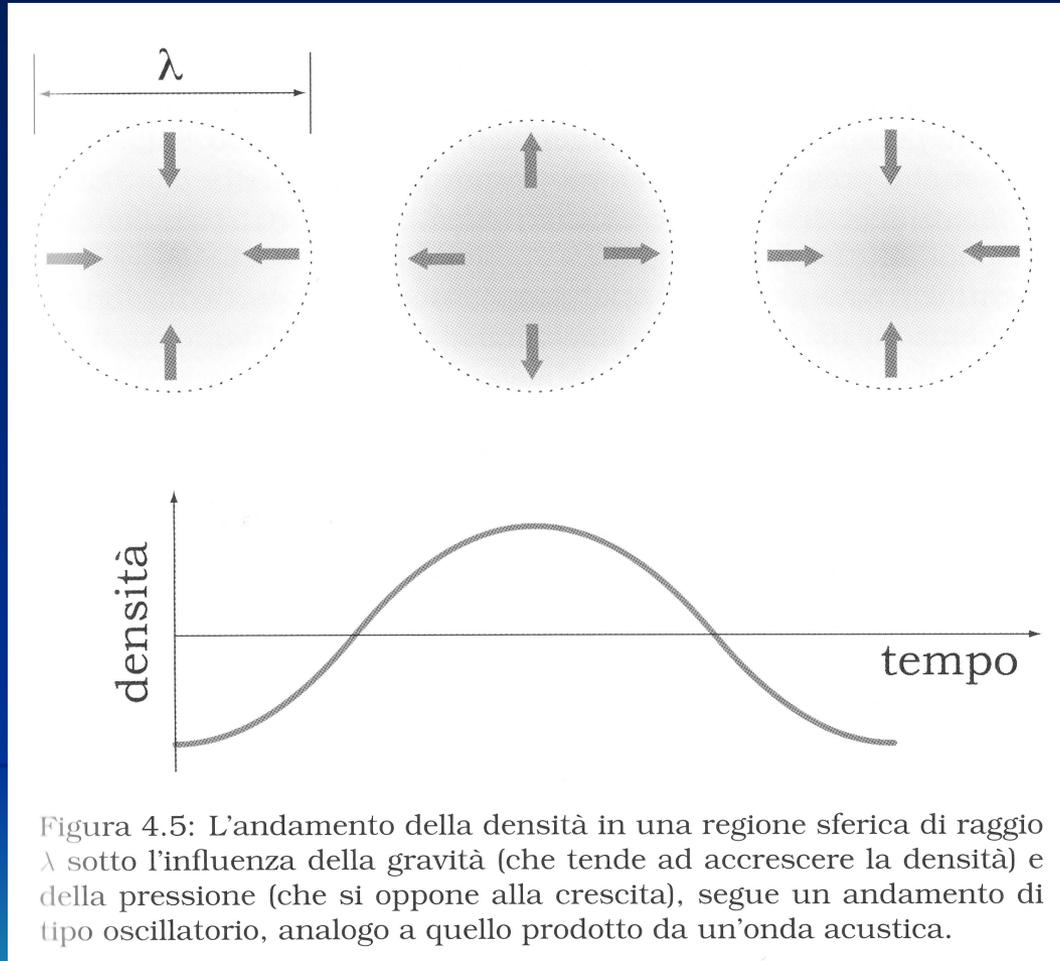


Figura 3.6: La distribuzione energetica della radiazione cosmica di fondo misurata dallo strumento FIRAS a bordo del satellite COBE. Le misure (punti) si sovrappongono perfettamente alla curva teorica corrispondente a un corpo nero a una temperatura di 2,725 K. La misura di FIRAS è talmente accurata che gli errori sperimentali non sono visibili alla scala di questo grafico. (Figura adattata da un articolo del 1996 di D. Fixsen e collaboratori)

Onde Acustiche nell'Universo



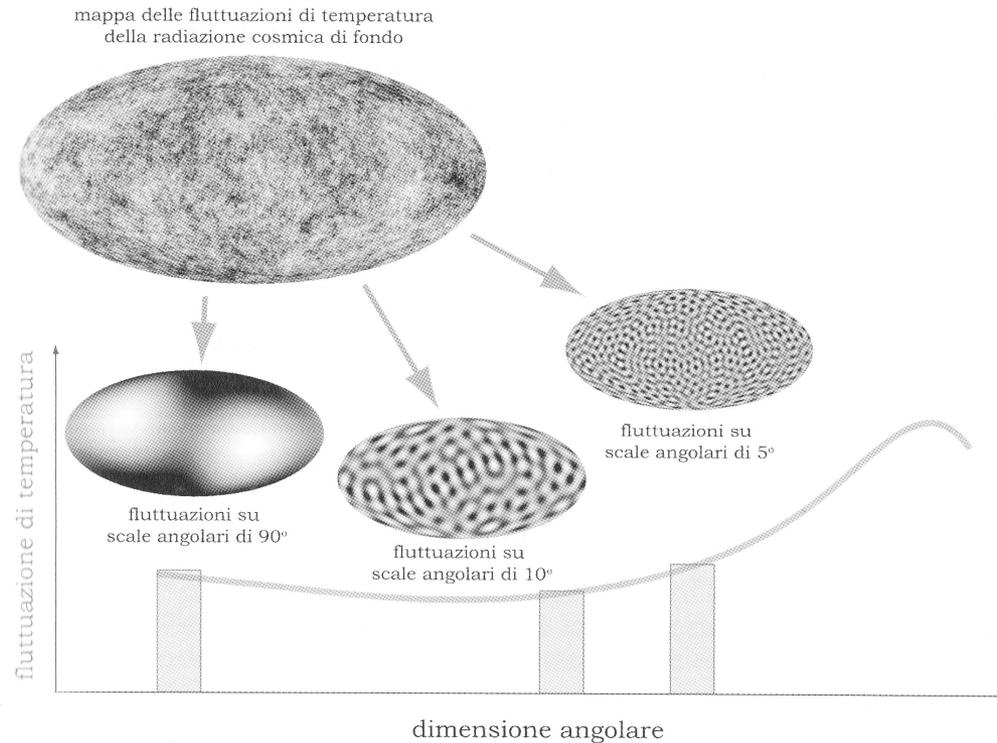


Figura 4.6: Per ricostruire lo spettro delle oscillazioni acustiche presenti nel plasma primordiale, i cosmologi analizzano un'immagine della radiazione cosmica di fondo, isolando i contributi provenienti da fluttuazioni di temperatura di diversa dimensione angolare (nella figura è mostrato il contributo delle fluttuazioni per tre scale angolari scelte a puro titolo esemplificativo). L'intensità media delle fluttuazioni (indipendentemente dal segno), in funzione della dimensione angolare, viene messa in un grafico: lo spettro ottenuto permette di ricostruire l'ampiezza che onde di diversa frequenza avevano al momento della ricombinazione.

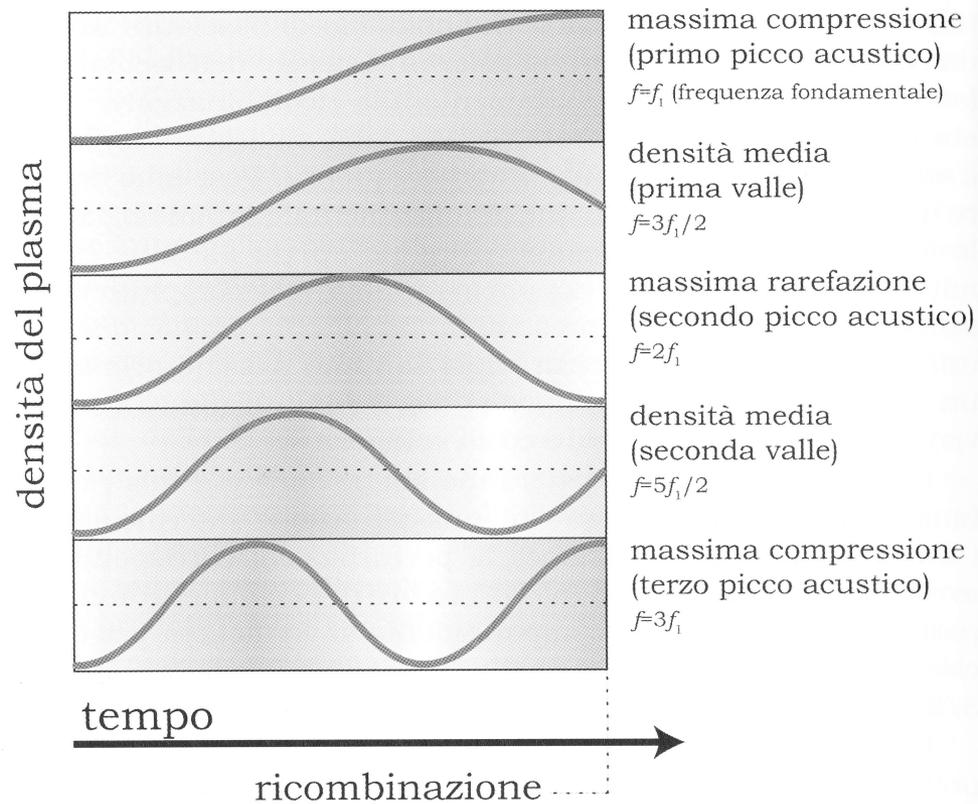


Figura 4.7: Onde acustiche di diversa frequenza arrivano alla ricombinazione in fasi diverse dell'oscillazione: l'onda che arriva per prima alla massima compressione è quella che corrisponde alla frequenza fondamentale. Questa produrrà un picco nello spettro delle fluttuazioni della radiazione cosmica di fondo. L'onda che giunge in una fase intermedia corrisponderà a una valle nello spettro. L'onda che si trova nella fase di massima rarefazione è quella corrispondente alla seconda armonica, e produce il secondo picco nello spettro, e così via.

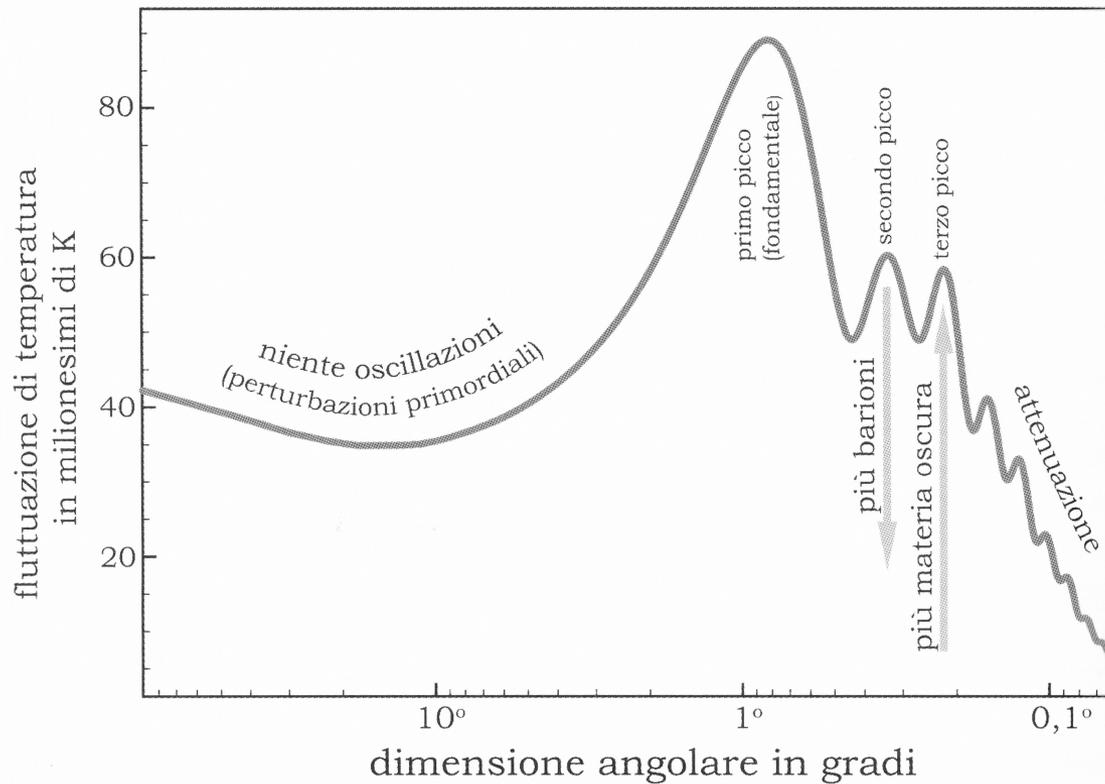


Figura 4.9: I calcoli teorici prevedono uno spettro delle fluttuazioni di temperatura della radiazione cosmica di fondo in cui sono evidenti picchi a frequenze armoniche di una frequenza fondamentale. La forma dei picchi dipende dal valore preciso dei parametri cosmologici (come la quantità di barioni o di materia oscura).

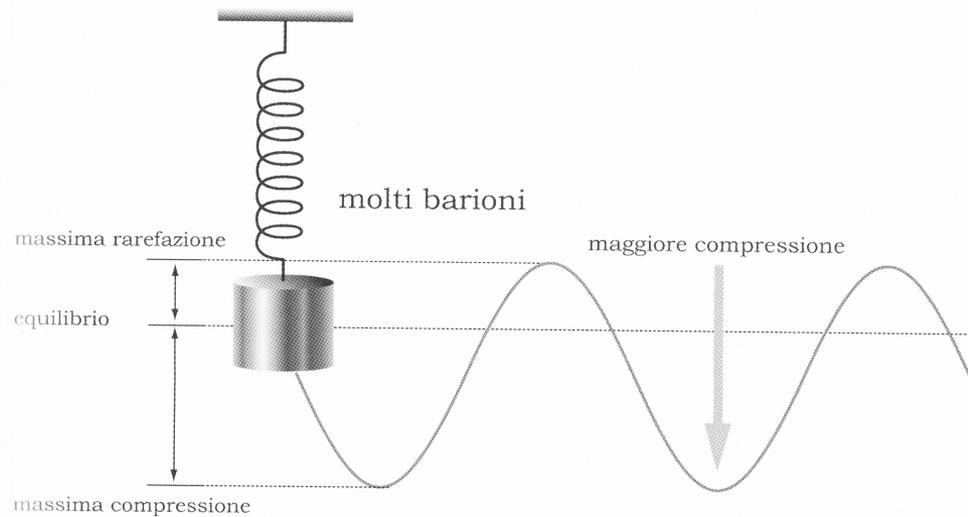
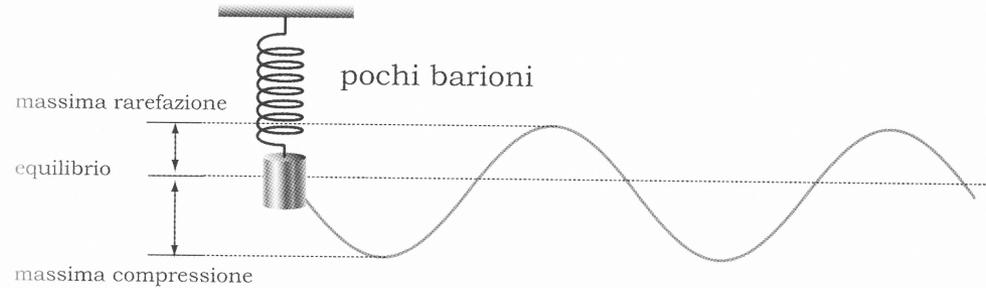


Figura 4.8: La quantità di barioni presenti nel plasma influenza l'ampiezza delle oscillazioni acustiche, proprio come quando si aumenta la massa sospesa a una molla. Se sono presenti più barioni, la fase di compressione (sospinta dalla gravità) sarà agevolata rispetto a quella di rarefazione. Questo aumenta il divario tra l'ampiezza dei picchi pari e dispari nello spettro.

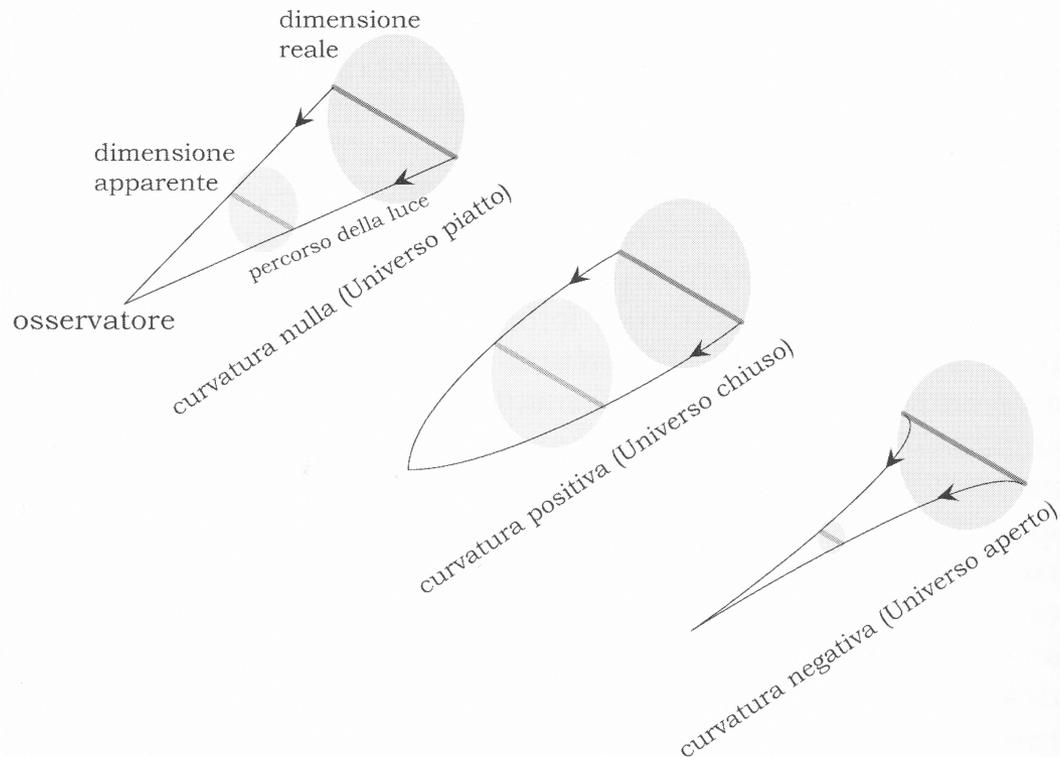
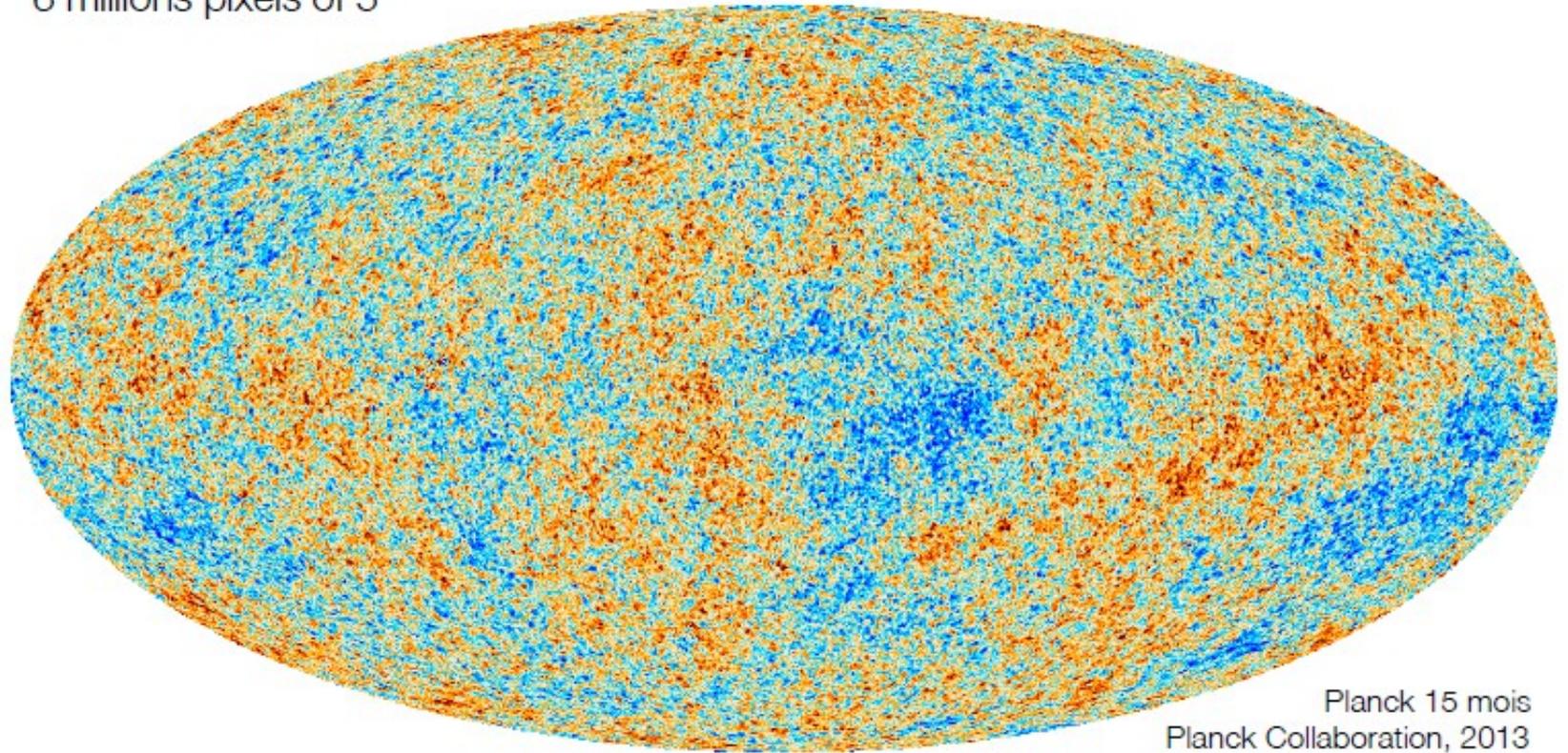


Figura 5.2: I raggi luminosi viaggiano lungo percorsi diversi a seconda della geometria dell'Universo. Quando un oggetto di una certa dimensione viene osservato da un punto molto distante (confrontabile con le dimensioni dell'Universo), la deviazione dei raggi luminosi fa apparire l'oggetto più grande in un Universo chiuso e più piccolo in un Universo aperto. Questo fatto può essere usato per misurare la geometria dell'Universo.

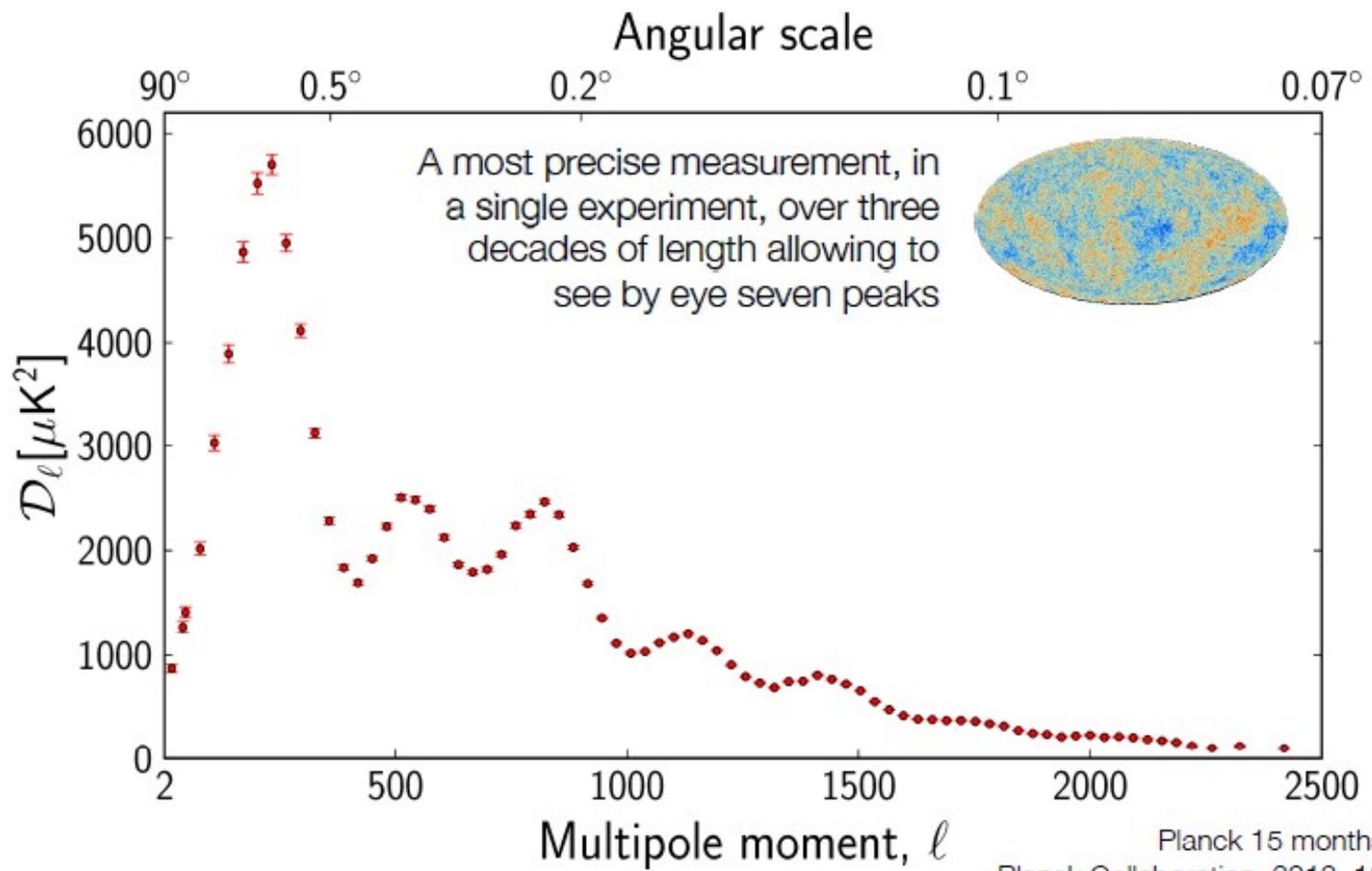
LE RAYONNEMENT FOSSILE par PLANCK

6 millions pixels of 5'

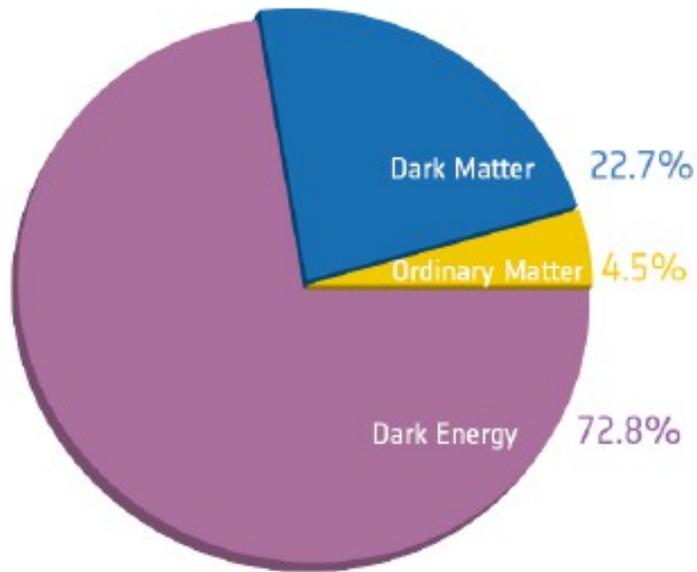


Planck 15 mois
Planck Collaboration, 2013

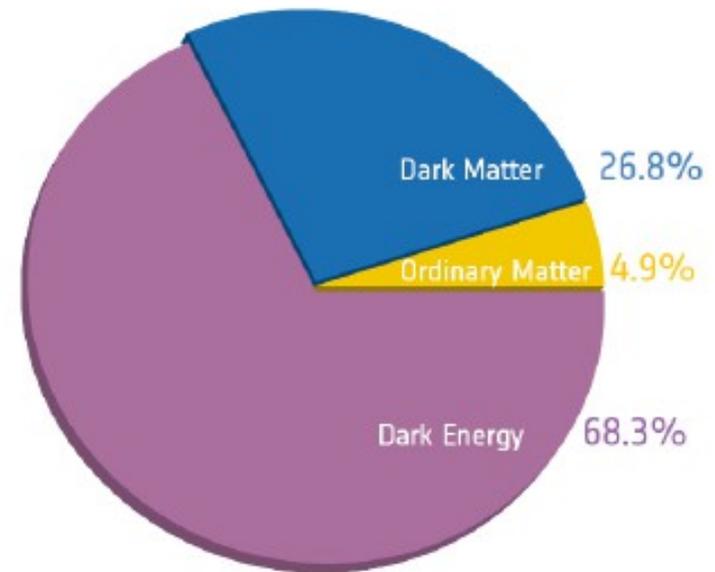




Nuova Ricetta per l'Universo



Before Planck



After Planck

Risultati e Anomalie

- L'Universo è stato “invecchiato” di cento milioni di anni: la sua età è di 13.8 miliardi di anni!
- La teoria dell'inflazione (rapidissima espansione iniziale dell'Universo) ne esce rafforzata.
- Esiste però una diversità (asimmetria) tra la temperatura media della radiazione dagli emisferi nord e sud, sospettata dai dati WMAP ma oggi confermata.
- Esiste anche una “macchia fredda” di estensione anomala, sospettata dai dati WMAP ma oggi confermata.



Risultati e Anomalie

- Gli scienziati sono (giustamente) molto prudenti nell'interpretazione di tali anomalie, che sono comunque indubitabili ed andranno in qualche modo interpretate.
- Le anomalie potrebbero essere spiegate rinunciando all'assoluta isotropia dell'Universo (Universo in media simile in tutte le direzioni).
- Potrebbe anche trattarsi della tracce della collisione con un altro Universo (ipotesi da prendere con molta prudenza)!

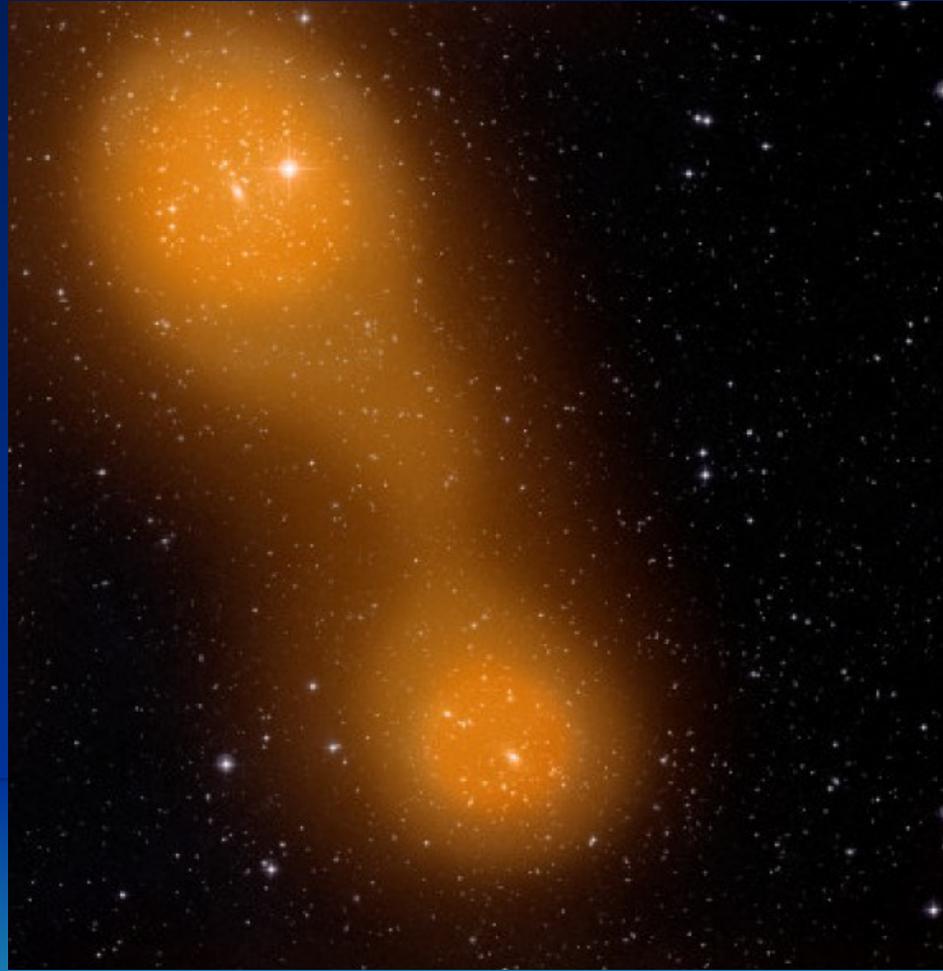


Risultati e Anomalie

- Manca del segnale alle dimensioni angolari più grandi (vi sono meno macchie angolari di grande dimensione, rispetto al previsto).
- Ciò potrebbe indicare che l'Universo, pur essendo piatto, ha forme “esotiche” come quella del tritoro.
- Tritoro = ciambella quadridimensionale dalla superficie tridimensionale (equivalentemente, un parallelepipedo in cui chi uscisse da un lato dell'Universo rientrerebbe dall'altro)!



Filamenti Extragalattici



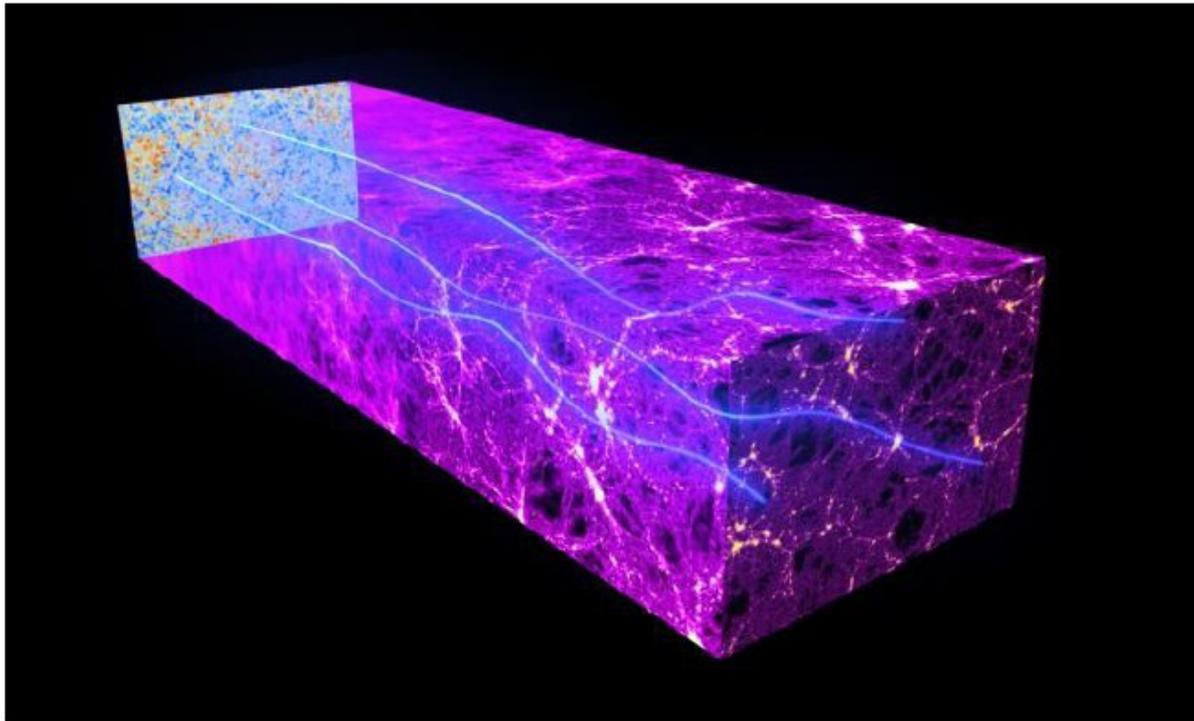
Filamenti Extragalattici

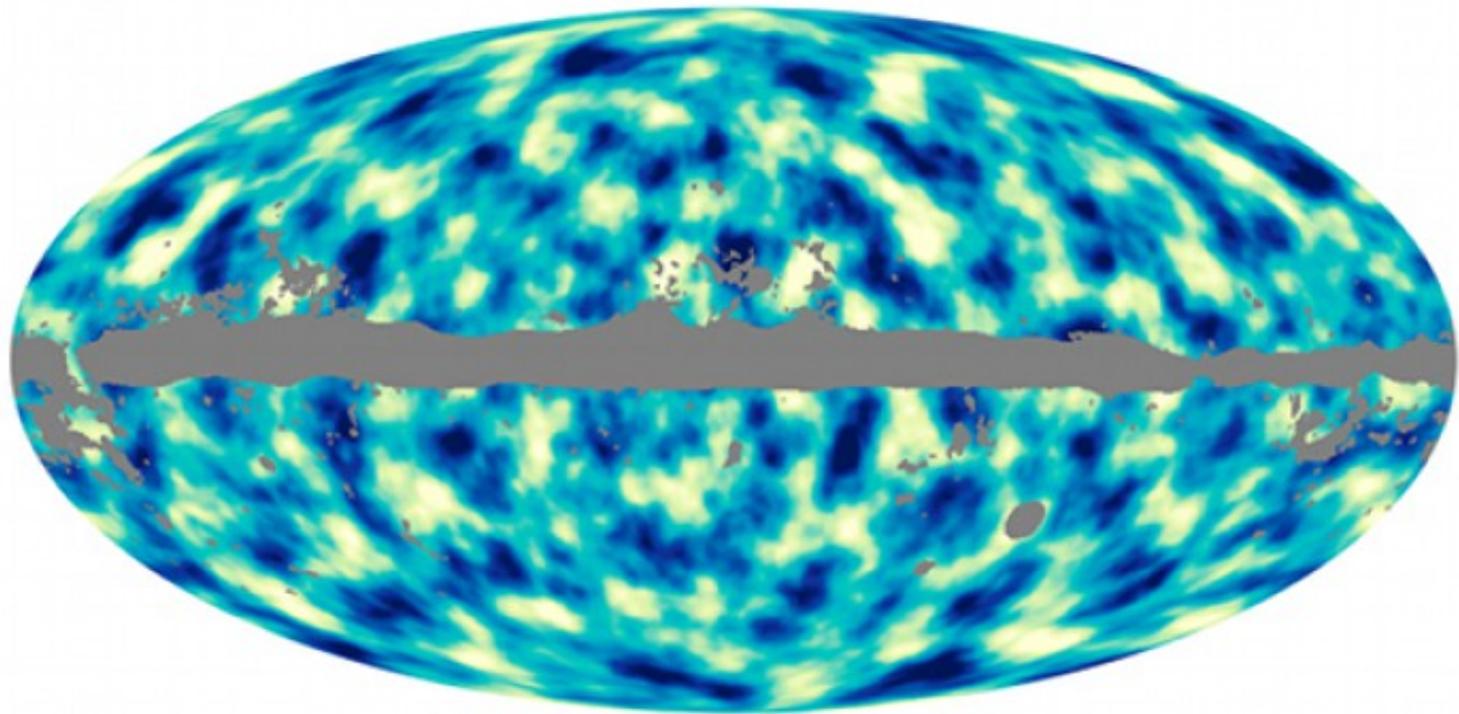
- Planck, collaborando col telescopio orbitante infrarosso Herschel, ha scoperto filamenti che congiungono ammassi di galassie.
- Si pensa che tali filamenti siano parte di una rete che avvolge tutti gli ammassi.
- Tale rete sarebbe il residuo della struttura filamentosa che, come mostrano le simulazioni al computer (Millenium Simulation), aveva l'Universo in formazione.



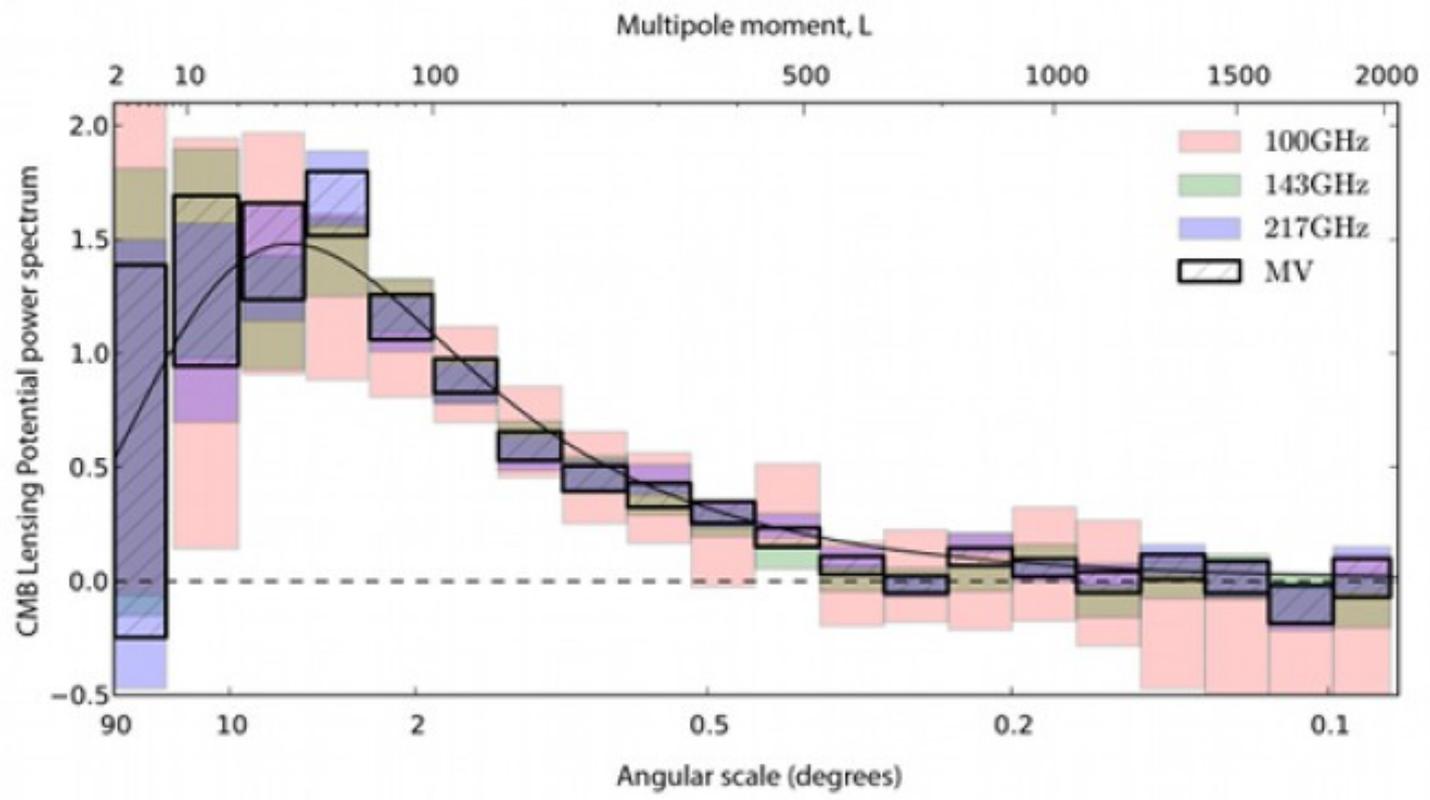
Gravitational Lensing

The gravitational effects of intervening matter bend the path of CMB light on its way from the early universe to the Planck telescope. This "gravitational lensing" distorts our image of the CMB





All-sky map of dark matter distribution in the Universe. *Credit: ESA and the Planck Collaboration.*

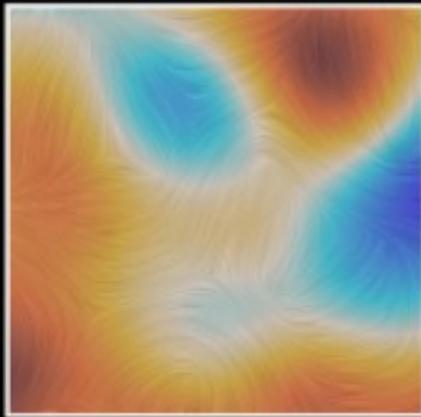


Luce Polarizzata

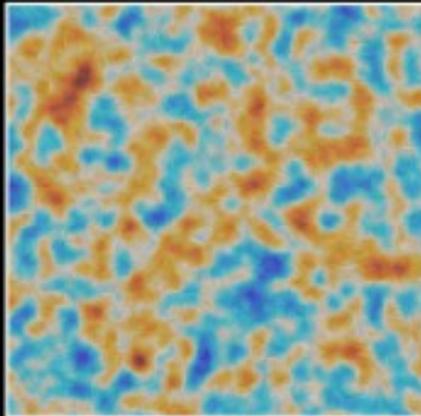
- La luce consiste in un campo elettrico ed un campo magnetico che vibrano in piani tra loro perpendicolari.
- Di solito, il piano in cui vibra la luce cambia in modo casuale da istante a istante.
- Se la luce vibra in un piano fisso, si parla di luce polarizzata (ad esempio, le lenti Polaroid lasciano passare solo luce polarizzata in un certo piano ed attenuano quindi fortemente la luce solare).



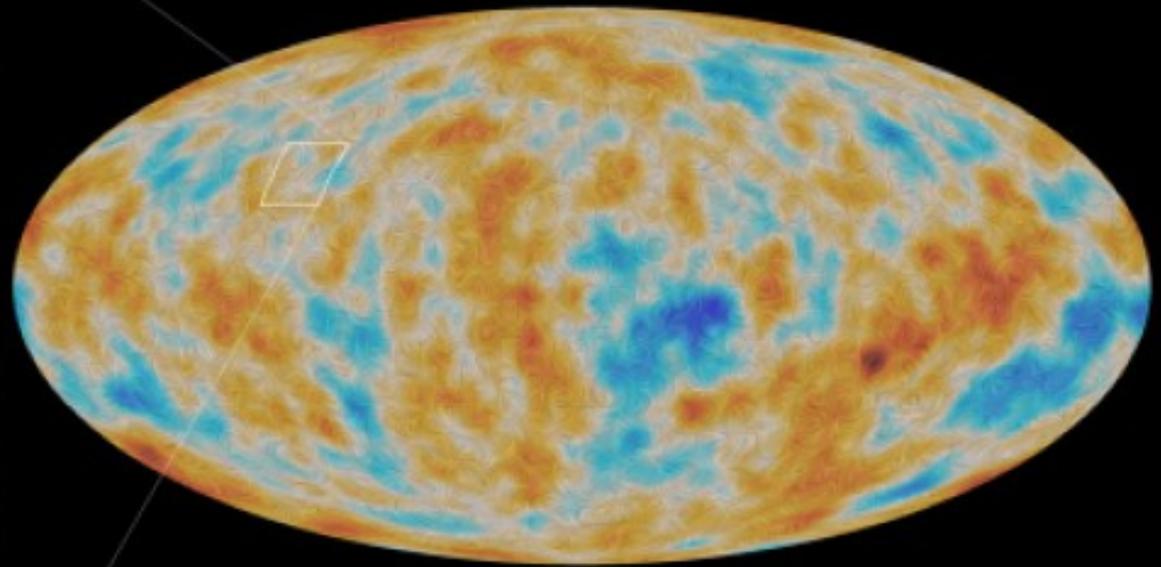
→ PLANCK'S POLARISATION OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND



Filtered at 5 degrees



Filtered at 20 arcminutes



Full sky map
Filtered at 5 degrees

Luce Polarizzata

- Lo spettro angolare polarizzato concorda bene con le previsioni teoriche della teoria dell'inflazione.
- Grazie all'interazione dei fotoni (polarizzati) della radiazione di fondo col campo magnetico galattico, è stato possibile misurarlo.
- Si è trovata una struttura regolare con irregolarità sovrapposte, dovute alle nubi galattiche.



La Reionizzazione

- Quando si formarono le prime stelle, queste cominciarono ad emettere radiazione che colpì le nubi galattiche e portò ad una certa percentuale di atomi reionizzati (quindi di nuovo scomposti in protoni ed elettroni).
- E' questa un'età oscura (dark age, dal periodo altomedievale delle invasioni barbariche) dell'Universo, di cui non conoscevamo quasi nulla.



La Reionizzazione

- Il fondo cosmico di radiazione polarizzata permette di studiare anche la “dark age” dell'Universo.
- WMAP aveva (dubitativamente) fornito una data per la reionizzazione: 450 milioni di anni dopo il Big Bang.
- Ma il telescopio Hubble ci ha insegnato che le prime stelle si formarono circa 350 milioni di anni dopo il Big Bang.



La Reionizzazione

- Ci sarebbero quindi stati “solo” 100 milioni di anni per giustificare il livello misurato di reionizzazione (un tempo troppo breve, secondo i calcoli teorici).
- Fortunatamente, Planck ha spostato l'epoca della reionizzazione a 550 milioni di anni dopo il Big Bang (un tempo sufficiente, secondo i calcoli teorici).
- Planck ha anche individuato probabili protoammassi di galassie.



Onde Gravitazionali

- Secondo la teoria dell'inflazione, l'Universo primordiale doveva essere percorso da onde gravitazionali (increspature dello spazio-tempo).
- Tali onde dovrebbero lasciare un segno nella radiazione cosmica di fondo polarizzata.
- Dopo un falso allarme, si è capito che Planck ci fa sospettare l'esistenza di tali onde ma non le ha scoperte.
- La traccia è quindi più debole del previsto ma la teoria dell'inflazione non ne esce smentita.



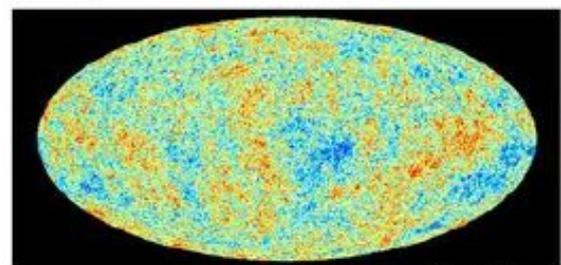
Conclusioni

- Il satellite Planck ha raggiunto livelli di precisione che i precedenti satelliti ed esperimenti da pallone non potevano nemmeno sognare.
- La cosmologia di precisione è dunque giunta ad un livello di dettaglio prima inimmaginabile.
- I risultati di Planck confermano il modello cosmologico standard ma vi sono delle anomalie che potrebbero aprire nuove prospettive alla cosmologia (studi sul Multiverso e sulla forma dello spazio).





Impressive impact on the international press (with the exception of the Italian one...)



The Census, Back in the Day
An image was first recorded by a European Space Agency satellite about a half century ago. It is now being scanned by the Big Boy Space A.C.

Once Few, Women Hold More Power in Senate
Brace Inspector, Secretly Taped, Suggests Race Is a Factor in Slays

By MICHAEL ROSENBERG
WASHINGTON — In the 1980s, women were a small presence in the U.S. Senate. Today, they hold more than 20 percent of the seats. In the first 100 days of the new Congress, the number of women in the Senate has risen to 20, up from 14 in the 100th Congress. The increase is the result of a combination of factors, including the election of a record number of women to the Senate in 2002.

Once rarity, women are U.S. Senate force
By MICHAEL ROSENBERG
WASHINGTON — In the 1980s, women were a small presence in the U.S. Senate. Today, they hold more than 20 percent of the seats. In the first 100 days of the new Congress, the number of women in the Senate has risen to 20, up from 14 in the 100th Congress. The increase is the result of a combination of factors, including the election of a record number of women to the Senate in 2002.



Fact-Growing Brokerage Firm Often Tangles With Regulators

Fact-Growing Brokerage Firm Often Tangles With Regulators
By MICHAEL ROSENBERG
WASHINGTON — The fact-growing brokerage firm, which has become a major force in the industry, has been the subject of a series of regulatory actions by the Securities and Exchange Commission.



Road Demos in Cyprus Ahead of Bailout Deal

Road Demos in Cyprus Ahead of Bailout Deal
By MICHAEL ROSENBERG
Nicosia, Cyprus — Protests erupted in Cyprus on Tuesday as the island's government sought to secure a bailout from the International Monetary Fund.

PRÉSIDENT URGES ISRAÏELS À POUSSER EFFORTS POUR LA PAIX
APPEL AIMÉ À YOUNG
En Israël, les États-Unis ont encouragé les dirigeants à poursuivre les efforts de paix.

PRÉSIDENT URGES ISRAÏELS À POUSSER EFFORTS POUR LA PAIX
APPEL AIMÉ À YOUNG
En Israël, les États-Unis ont encouragé les dirigeants à poursuivre les efforts de paix.

INTERNATIONAL AS A
Strongly Over-Done Program
The International Monetary Fund has warned that the program is overdone and may lead to a recession.

Kids Suck Teeth With Turkey
A study shows that children in Turkey are more likely to suck their teeth than in other countries.

No Progress on Border Talks
The border talks between the U.S. and Mexico have made no progress.

WEDNESDAY IS A
Phone Inquiry in Europe
A phone inquiry in Europe has revealed that the economy is slowing down.

Computers at New Level
Computers are now being used in a way that was previously unimaginable.

NEW LEGAL TALKS IN RUSSIA
New legal talks in Russia have been initiated between the U.S. and Russia.

