

# L'Universo visto da Planck

Carlo Baccigalupi

SISSA, settore di Astrofisica



# Contenuti

- Lontano nello spazio, indietro nel tempo
- L'eco del Big Bang
- L'Universo neonato fotografato dai satelliti COBE, WMAP, Planck
- Nuove conoscenze, nuovi enigmi
- Trieste, il Big Bang, e Planck

Lontano nell spazio,  
indietro nel tempo...



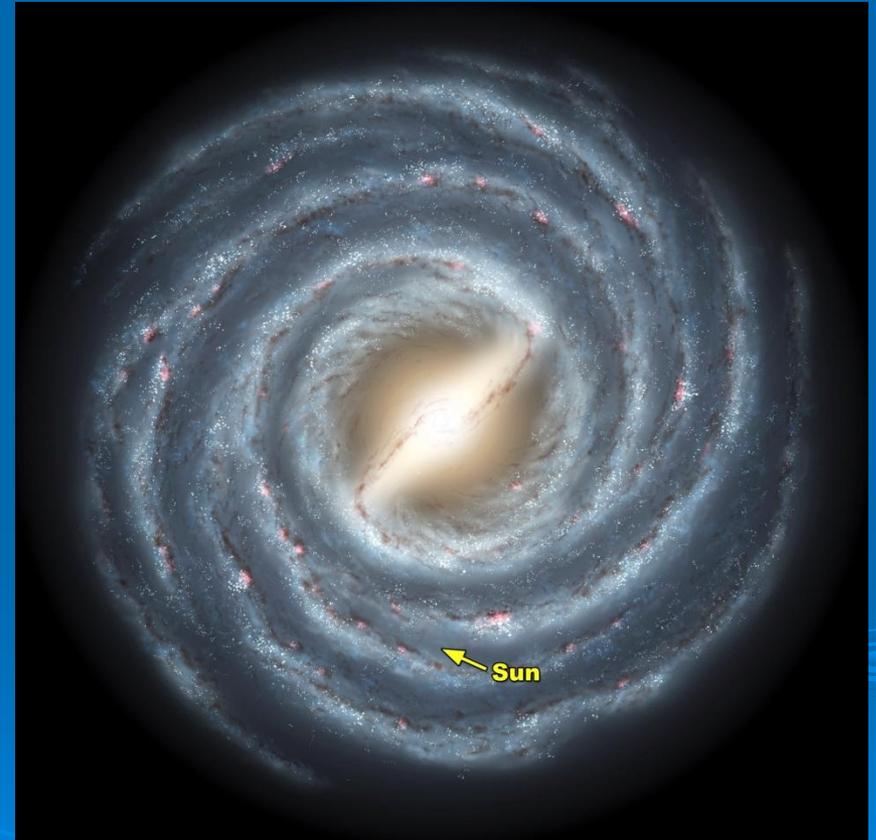
# Distanze nel Sistema Solare

- La luce viaggia a 300000 km al secondo
- La luna dista circa 400,000 km, la sua immagine impiega piu' di un secondo per giungere a noi
- Il sole si trova a 8 minuti luce, ovvero la luce solare impiega 8 minuti per arrivare a noi



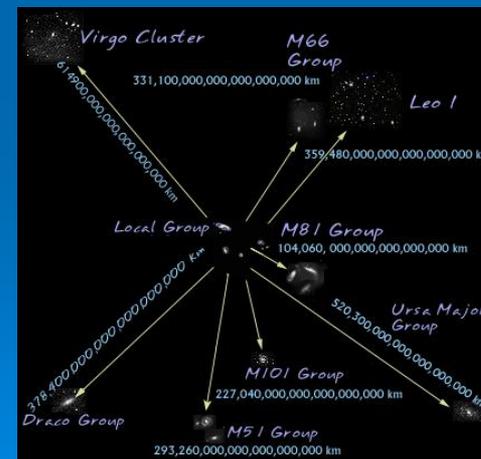
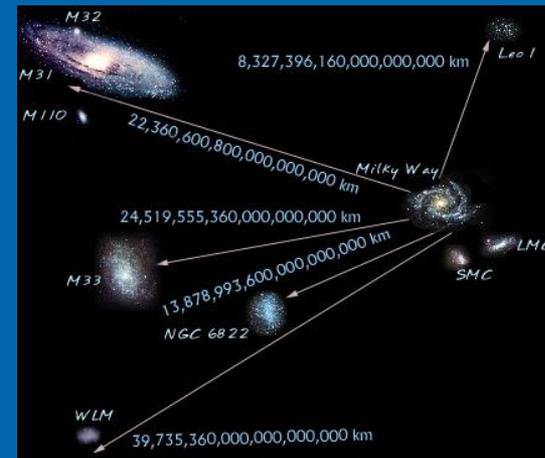
# La Via Lattea...migliaia di anni fa

- Il sistema solare è situato nella periferia di una normale galassia spirale, la Via Lattea
- Essa contiene circa 400 miliardi di stelle
- In lunghezza, essa è circa 100 milioni di volte il sistema solare
- La luce impiega circa 30000 anni per attraversarla



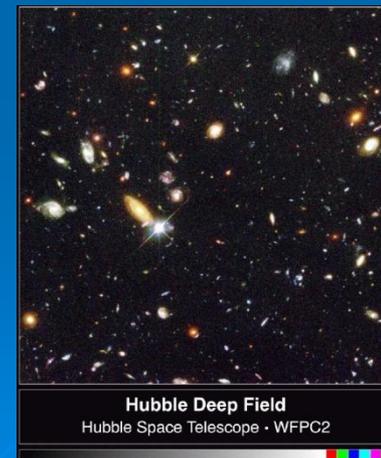
# Il gruppo "locale" di galassie

- Le galassie piu' vicine si trovano a milioni di anni luce, ovvero le vediamo come erano milioni di anni fa
- Il gruppo locale di galassie sta cadendo sul grande attrattore, l'ammasso Virgo, che si trova ad alcune decine di milioni di anni luce di distanza



# Oltre...milioni di galassie...dietro una moneta...miliardi di anni luce

- Grazie ai telescopi piu' moderni, come l'Hubble Space Telescope, conosciamo oggi miliardi di galassie, ognuna contenente mezzo trilione di stelle
- Le piu' lontane distano miliardi di anni luce
- E oltre...? Riceviamo qualcosa da piu' lontano?



# L'eco del Big Bang



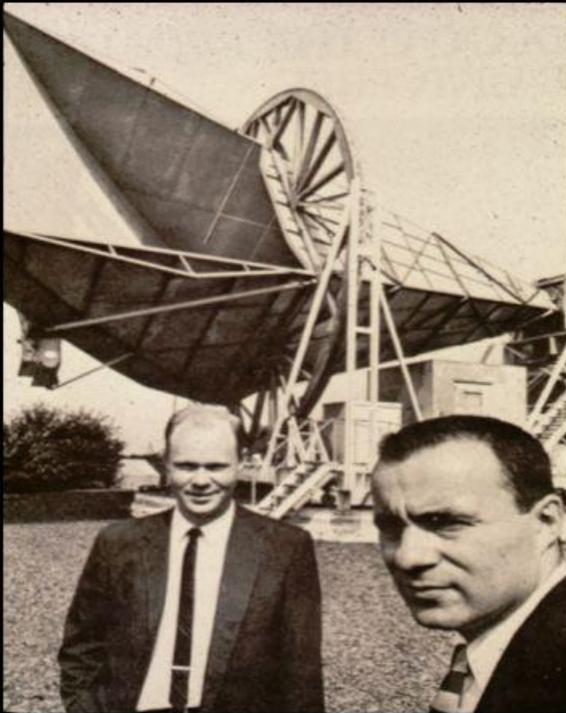
# Riceviamo segnali dalle regioni oltre le galassie piú lontane?

- L'Universo si espande, e nel passato era compresso, e quindi caldo, tanto da innescare esplosioni termonucleari
- Ralf Alpher, Hans Bethe, George Gamow, nel 1948, predissero che la radiazione derivante da tali esplosioni dovrebbe essere rilevabile oggi, molto rarefatta e quindi fredda, caratterizzata da una temperatura di pochi gradi sopra lo zero assoluto
- Tale radiazione e' nota come Cosmic Microwave Background, la radiazione cosmica di fondo, paragonabile ad un "rombo elettromagnetico" dell'esplosione che diede origine all'universo, circa 14 miliardi di anni fa



# La scoperta della radiazione di fondo

## Arno Penzias and Robert Wilson

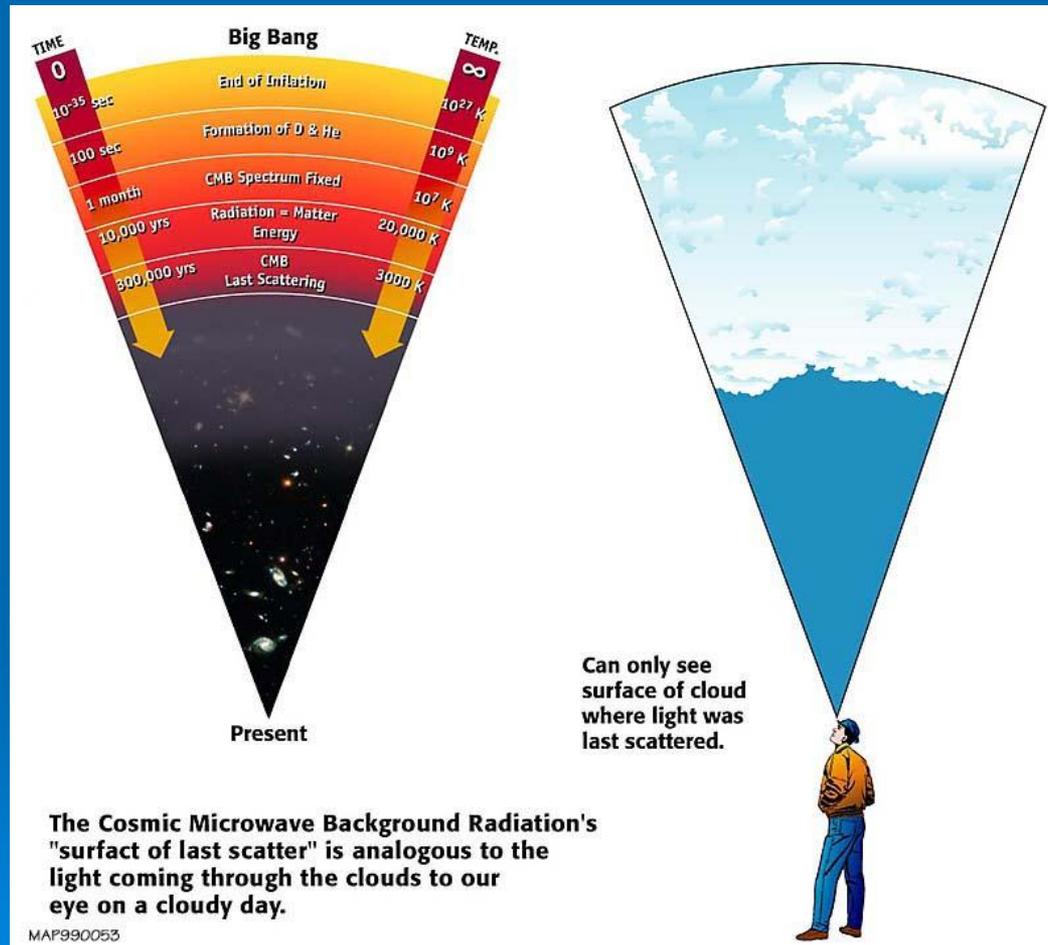


Early 1960s - Penzias and Wilson are hired by Bell Labs to evaluate the performance of the new radio telescope to be used in trans-Atlantic telephone communications.

They find a small, unexplained signal regardless of the direction the telescope is pointed. It is not enough to be a problem, but they are curious.

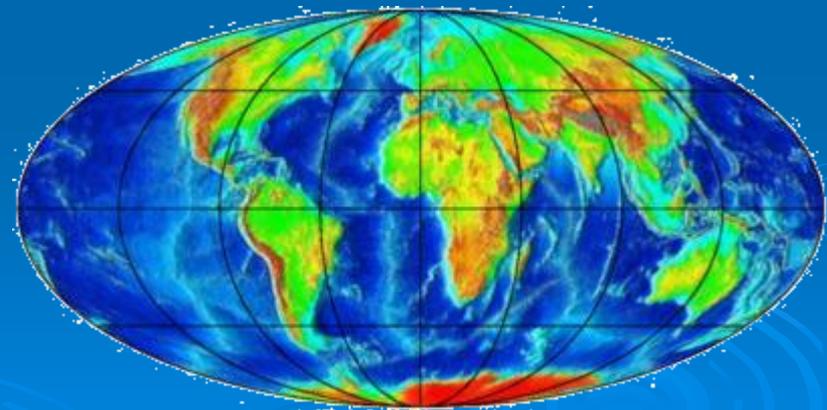
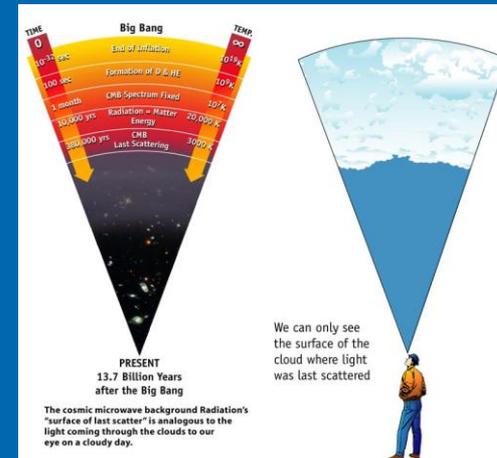
1964 - They become aware that the noise in their telescope is the cosmic background radiation predicted by the Big Bang theory.

# Universo in espansione, dal piccolo al grande, dal caldo al freddo



# Le singole note nell'eco del Big Bang

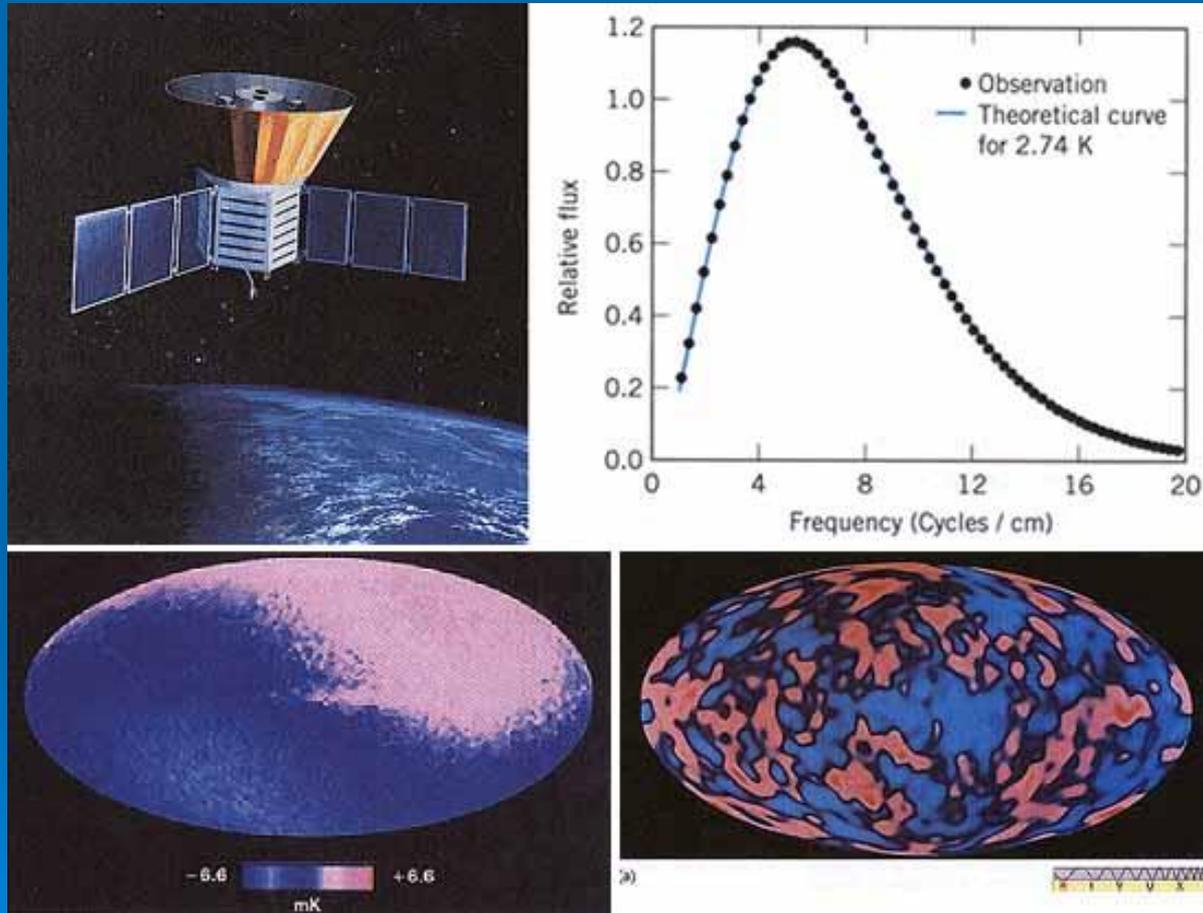
- Semplici leggi fisiche predicono che le regioni più o meno dense emettono radiazione più o meno calda...
- Dunque, l'immagine della radiazione di fondo è una fotografia delle strutture create dal Big Bang! Proprio l'immagine della Terra ci fa vedere le sue strutture!
- Subito dopo la scoperta, parte la ricerca delle disomogeneità nella radiazione di fondo, la ricostruzione dell'immagine del cosmo in fasce, appena 300,000 anni dopo il Big Bang



# Fotografie dell'Universo neonato

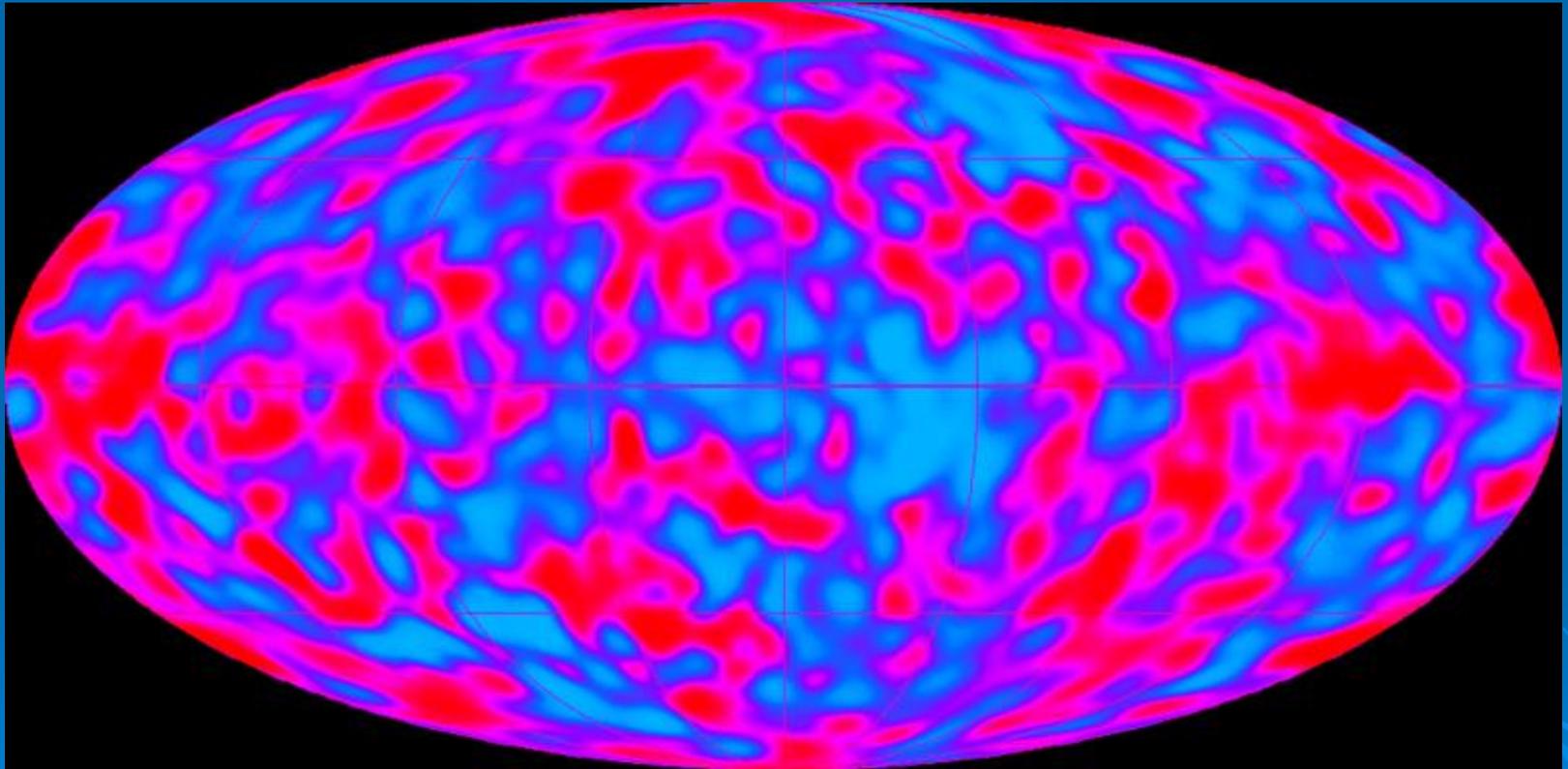


# COsmic Background Explorer (COBE)

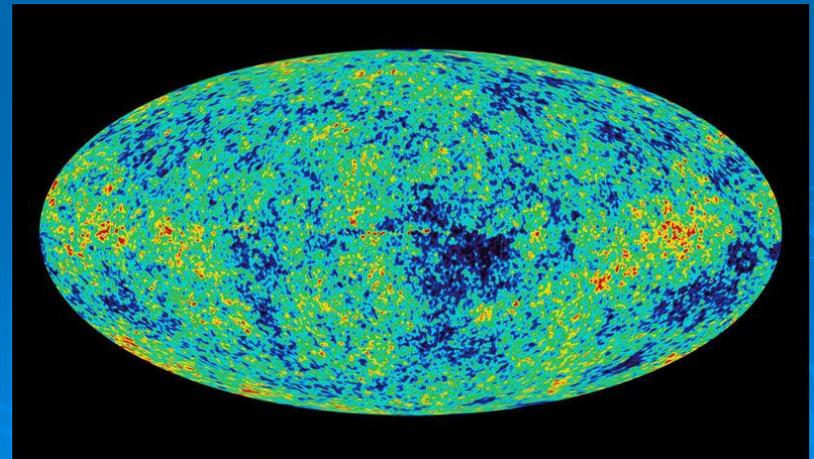
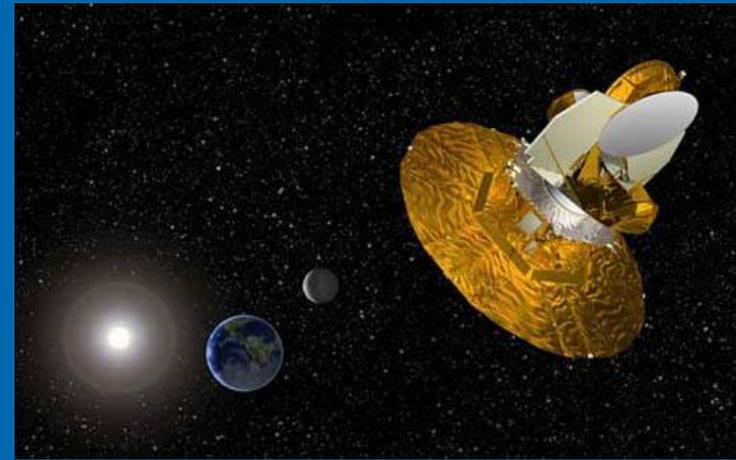
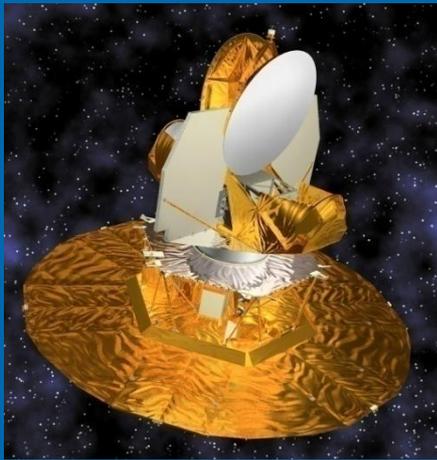


Premio nobel per la fisica a John Mather e George Smoot, 2006

# L'Universo neonato

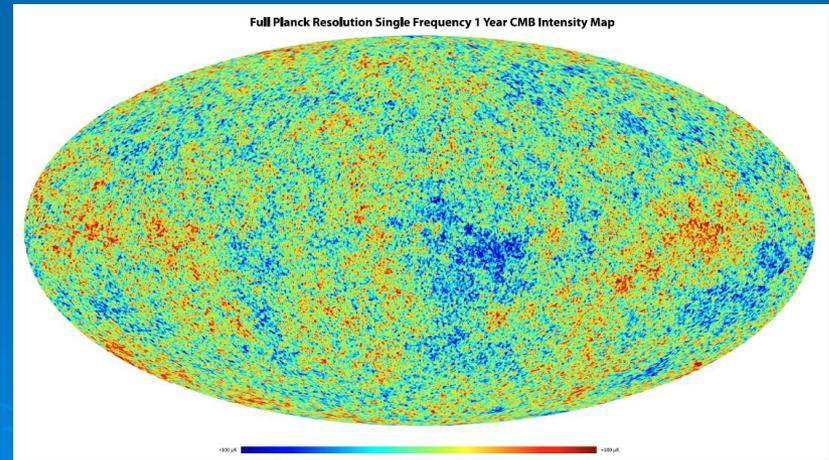
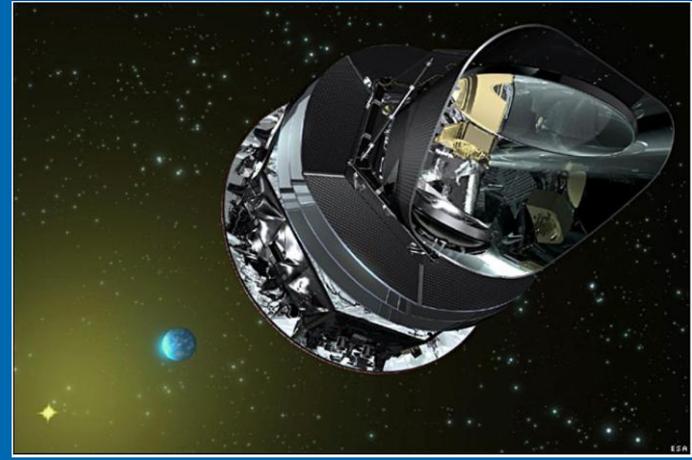
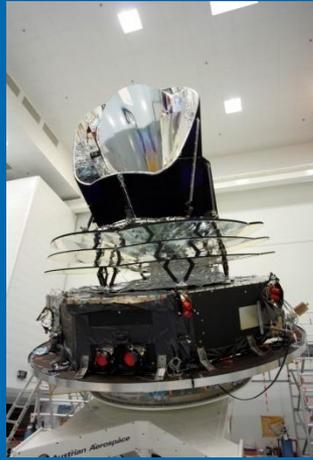


# Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP, in volo ed osservazione ora)



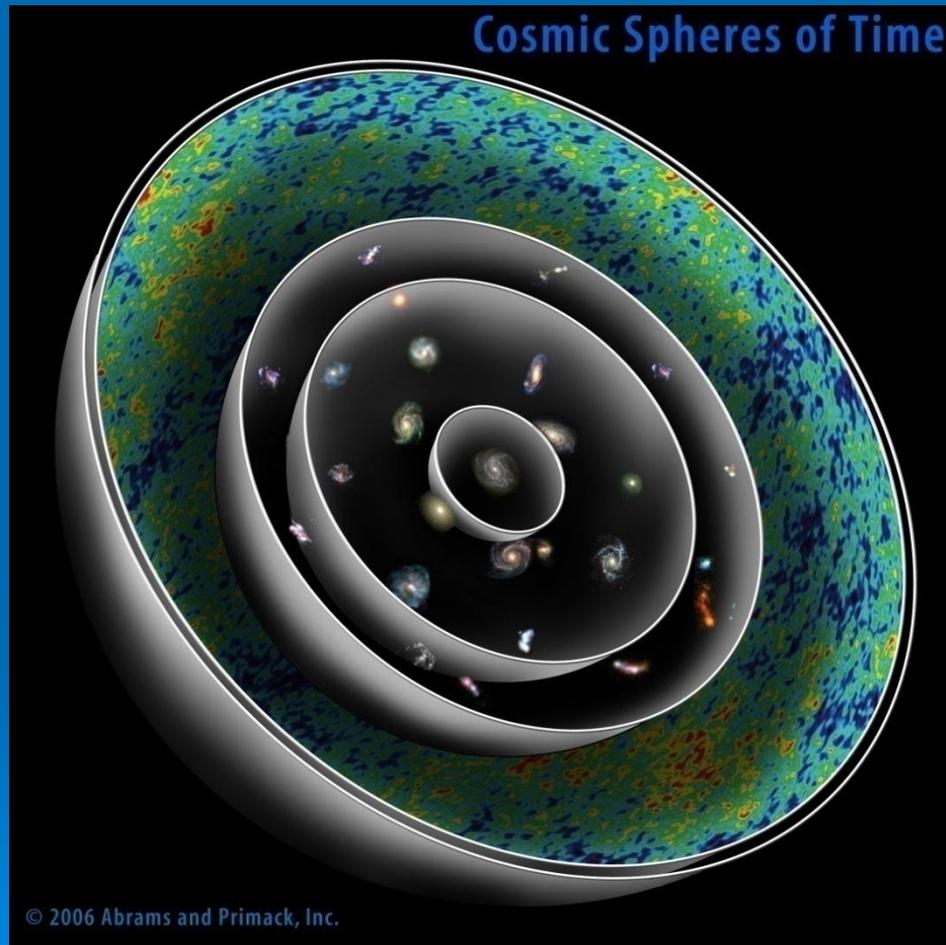
Courtesy of the NASA WMAP team

# Planck, lancio previsto 31 ottobre 2008



...and more, see [lambda.gsfc.gov](http://lambda.gsfc.gov)

# L'Universo, Maggio 2009

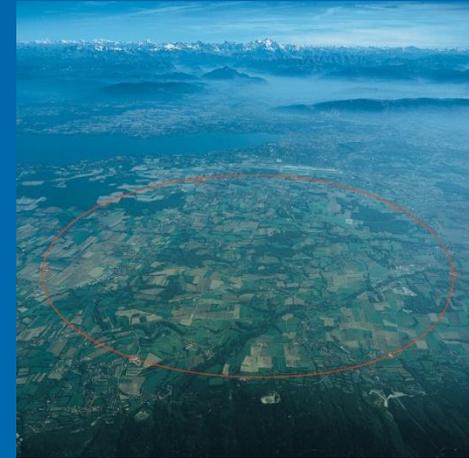


Nuove conoscenze,  
nuovi enigmi



# FONDAMENTALE Astrofisica

- I limiti tecnologici ed economici ci impediscono di realizzare esperimenti di altissima energia qui sulla Terra
- Un esempio: per un esperimento che studi la fisica dell'unificazione di tutte le forze occorrerebbe un acceleratore di particelle grande quanto il sistema solare!
- L'universo rappresenta un laboratorio ideale, anche se solo osservabile, che contiene tutti i fenomeni interessanti, dal Big Bang



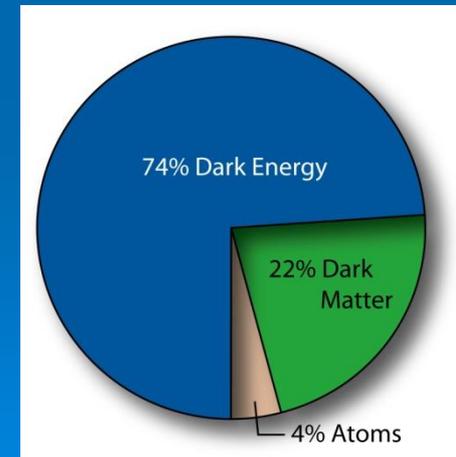
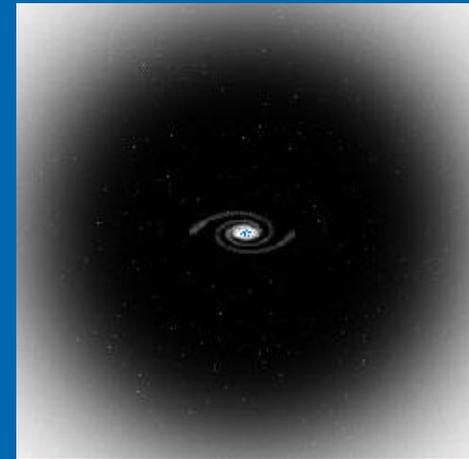
# Nuove conoscenze: Big Bang ed Inflazione cosmica

- La gravita' e' attrattiva, ma le distanze cosmiche sono enormi, perche'?
- La teoria dell'Inflazione cosmica ipotizza una fase di espansione accelerata subito dopo il Big Bang ( $10^{-35}$  secondi dopo), guidata dall'energia delle particelle prima della loro formazione
- I dati sulla radiazione di fondo sono consistenti con questa ipotesi, ed indicano che in questa fase l'universo di sarebbe espanso di circa  $10^{30}$  volte



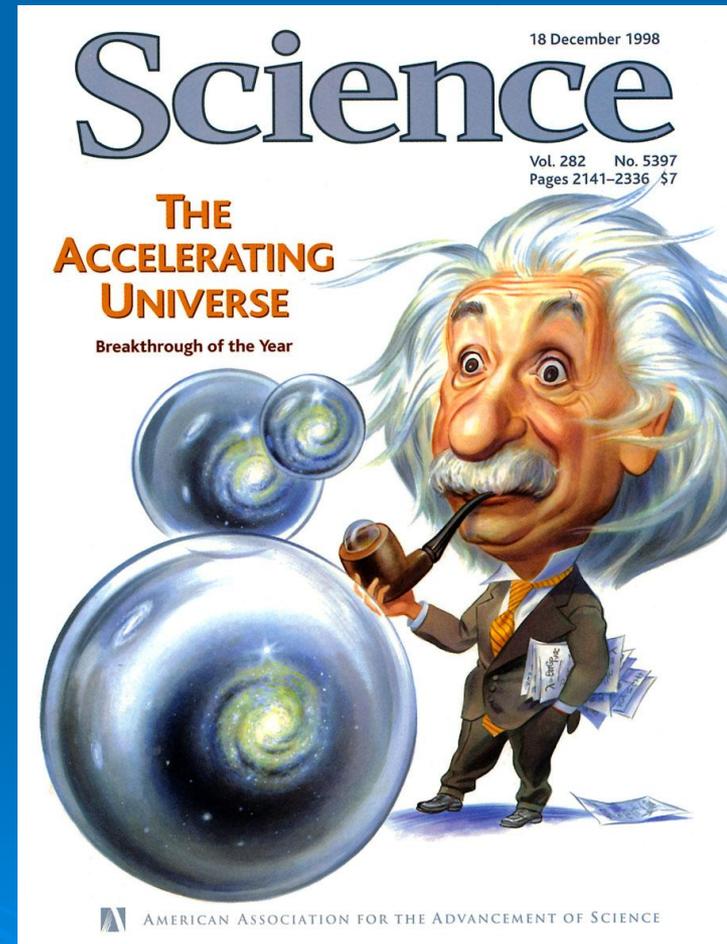
# Nuove conoscenze: la composizione del cosmo

- Le strutture visibili, pianeti, stelle, rappresentano una minima parte della materia cosmica
- 7 volte tanto e' in forma di materia oscura, ovvero non interagente con la materia ordinaria, che costituisce aloni attorno alle galassie
- La materia totale, oscura e non, costituisce solo il 25% dell'intera energia cosmica...



# Nuove conoscenze: l'espansione accelera!

- Le osservazioni indicano che l'Universo sta accelerando la sua espansione
- L'accelerazione sarebbe iniziata alcuni miliardi di anni fa
- Questo processo può essere ricondotto ad una forma di energia nello spazio vuoto simile a quella che generò l'Inflazione cosmica, dibattuta da Einstein ed i maggiori fisici teorici nel corso dell'intero ultimo secolo



# Enigmi in cosmologia

FISICA FONDAMENTALE

- Non sappiamo...
- quali processi hanno preceduto l'Inflazione, e se essi sono descritti da una trattazione unificata della gravità e le altre tre forze conosciute
- che cosa ha generato l'Inflazione cosmica
- che cosa è la materia oscura
- cosa sta facendo accelerare l'espansione cosmica oggi
- ...

# Osservare per sapere

- Nei prossimi anni, alcuni enigmi potrebbero essere svelati dai prossimi esperimenti, grazie al progresso tecnologico negli ultimi decenni
- Osservazioni della radiazione di fondo ad altissima risoluzione, il tentativo di vedervi l'impronta di oscillazioni spaziotemporali impresse al Big Bang
- Miliardi di galassie in mappe 3D dell'universo
- Esplosioni di supernove e raggi gamma per ricostruire la storia dell'espansione cosmica
- "Cugini" della materia oscura nel Large Hadron Collider
- ...

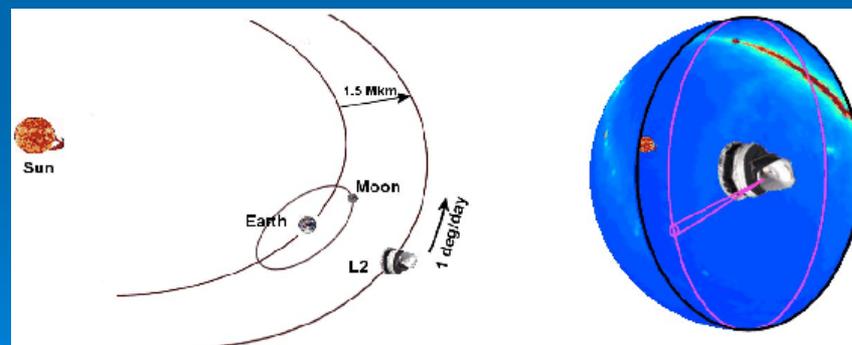
# Le attese scientifiche dal satellite Planck

Dal programma scientifico di Planck:  
[www.rssd.esa.int/Planck](http://www.rssd.esa.int/Planck)



# Planck

- Missione di osservazione del fondo cosmico di terza generazione, ESA con partecipazione NASA
- 400 scienziati in Europa e Stati Uniti
- Lancio 14 Maggio 2009!!!
- Due centri di analisi dati: Parigi + Cambridge (IaP + IoA), Trieste (OAT + SISSA)





Davies

Berkeley

Pasadena

Minneapolis

Cambridge

Toulouse

Santander

Oviedo

Brighton

Paris

Milan

Bologna

Oxford

Bucarest

Trieste

Padua

Rome

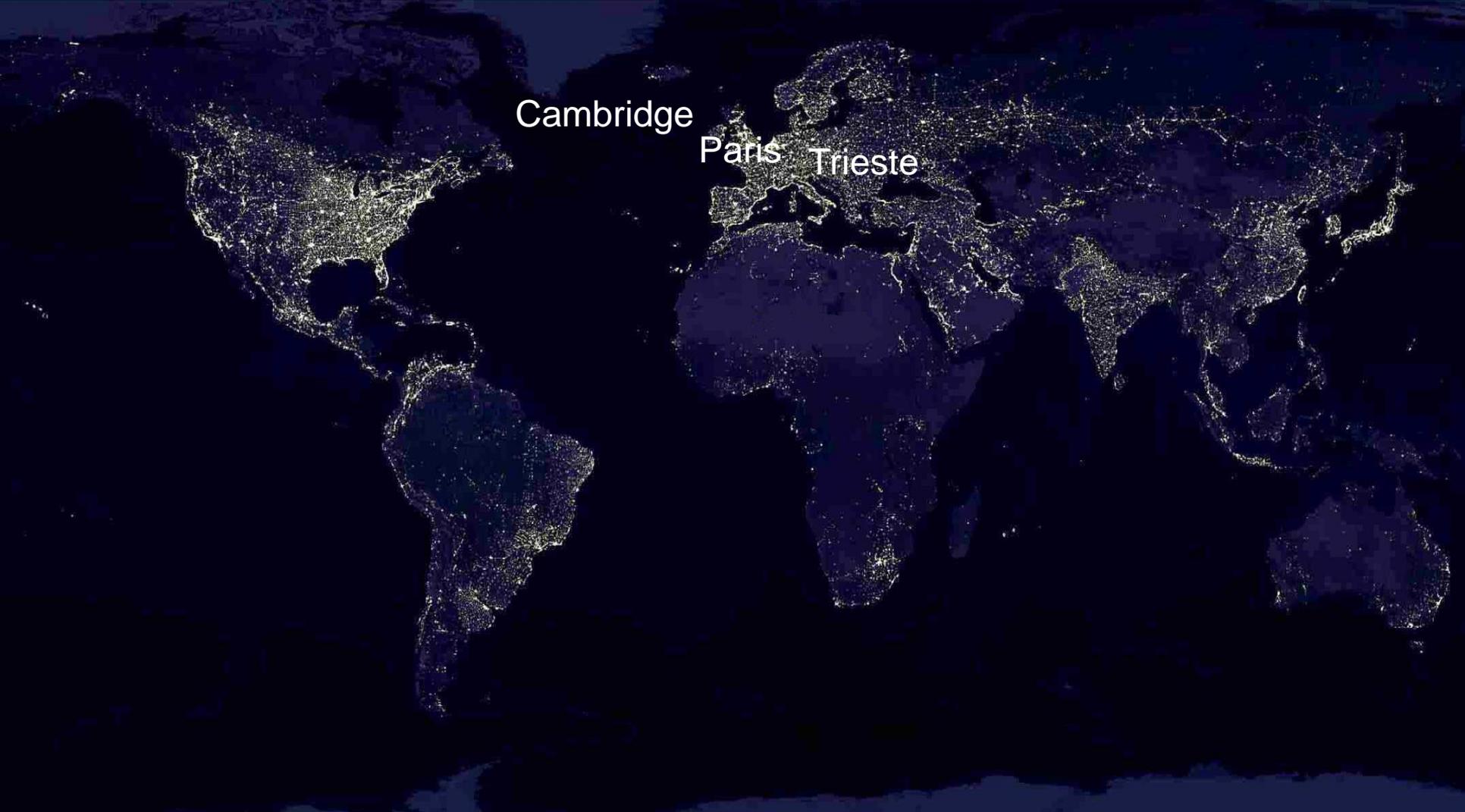
Helsinki

Copenhagen

Munich

Heidelberg

# La collaborazione Planck



Cambridge

Paris

Trieste

# Centri di analisi dati di Planck

# Planck ed il DPC

- Lancio, Giovedì
- Due mesi per giungere nel punto di osservazione oltre la Luna, 1.5 milioni di km dalla Terra
- Un anno di osservazioni, estendibile sulla base del funzionamento strumentale
- Due anni di studio dei dati
- Prime pubblicazioni dei risultati previste per fine 2011, inizio 2012
- Scienziati della SISSA e dell'Osservatorio Astronomico di Trieste costituiscono il DPC, dotato di due macchine parallele (ENT, OAT, analisi dati ufficiale, 256 CUPs, HG1, SISSA, simulazioni ed analisi specializzate, 160 CPUs, decine di Gb RAM, Tb spazio disco)
- Le simulazioni sono in atto da anni, ci stiamo ora preparando all'analisi dei dati reali



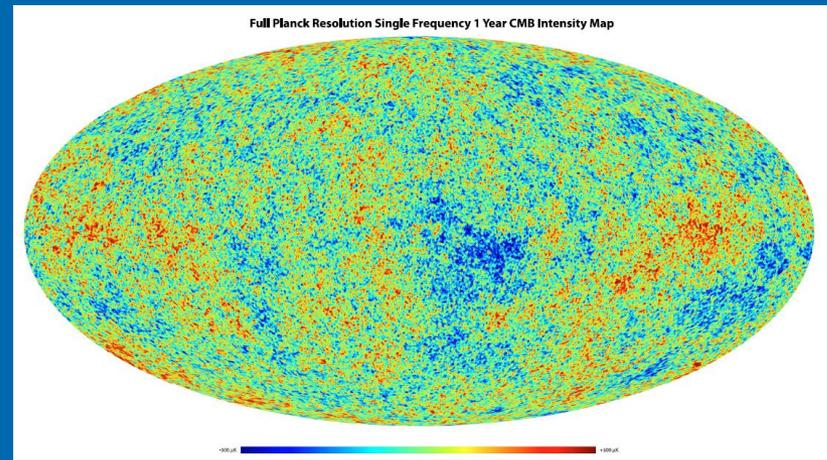
# L'analisi dati, una gigantesca compressione, sfida alla tecnologia

- Il satellite registra la radiazione cosmica con 47 rivelatori, una volta ogni centesimo di secondo, per un anno
- Le mappe del cielo sono costituite da decine di milioni di pixels
- Le quantità misurabili che descrivono l'Universo sono meno di 10

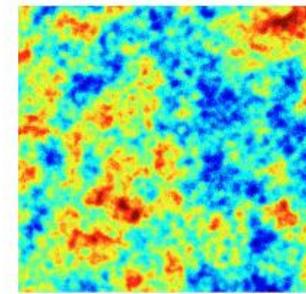
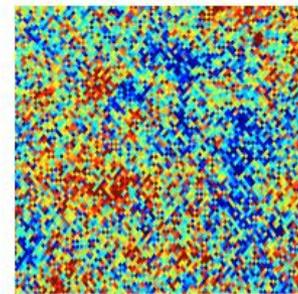


# Le promesse di Planck: la radiazione di fondo

- L'immagine "definitiva" della radiazione di fondo in intensità totale: una mappa senza precedenti dell'eco del Big Bang
- La scomposizione delle note dell'eco nelle armoniche più elementari, in particolare quelle attivate dalle onde gravitazionali indotte dallo stesso Big Bang, previste dalla teoria della Relatività di Einstein e mai rivelate
- Radiazione di fondo ed accelerazione dell'espansione cosmica: l'immagine è distorta dalla recente accelerazione in modo predicibile?

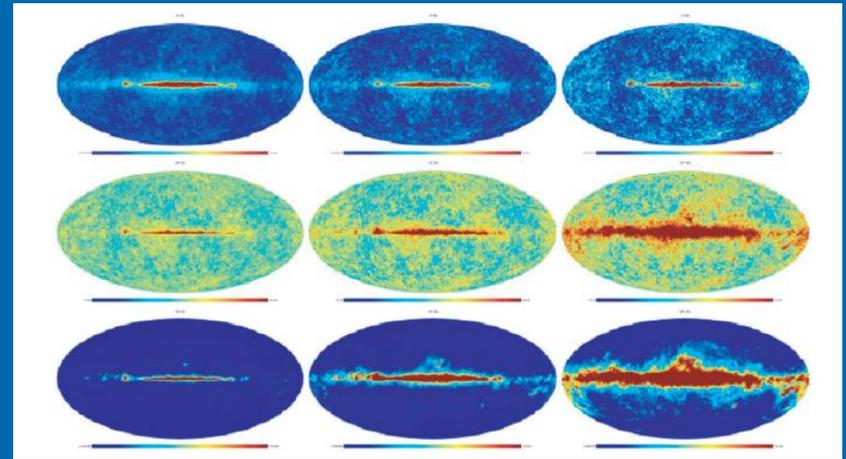


The Same 100 Square Degree Patch Cut From Each Full-Sky Map  
- WMAP -  
- Planck -



# Le promesse di Planck: astrofisica

- La copertura in frequenza, 9 canali da 30 ad 857 GHz, permetterà di riscrivere le nostre conoscenze sulla parte luminosa della materia cosmica,
- decine di migliaia di nuove galassie,
- migliaia di nuovi ammassi di galassie,
- mappe del gas diffuso nella Via Lattea



	FREQUENCY [GHz]				
	143	217	353	550	850
Confusion limit [mJy, $3\sigma$ ] .....	6.3	14.1	44.7	112	251
Planck All Sky Survey sensitivity [mJy, $3\sigma$ ] .....	26	37	75	180	300
Planck Deep Survey sensitivity [mJy, $3\sigma$ ] .....	10	18.4	49	170	280
Number of galaxies [all sky] .....	570	860	1700	4400	35000

# Conclusioni

- Viviamo nell'era della cosmologia di precisione
- Lo studio dell'Universo ha subito un progresso senza precedenti negli ultimi decenni, e rappresenta l'unica fonte sperimentale per studiare la fisica alle energie più alte concepibili
- Molti ancora sono i segreti che esso serba, e la comunità scientifica sta pianificando esperimenti su vasta scala per estrarli tutti, se possibile
- La comunità scientifica triestina gioca un ruolo fondamentale in uno di essi, Planck, destinato a realizzare la fotografia più precisa dell'Universo neonato, essendo, assieme a Parigi e Cambridge, l'unico centro al mondo con responsabilità di produzione dei risultati finali

# Ma che c'importa?

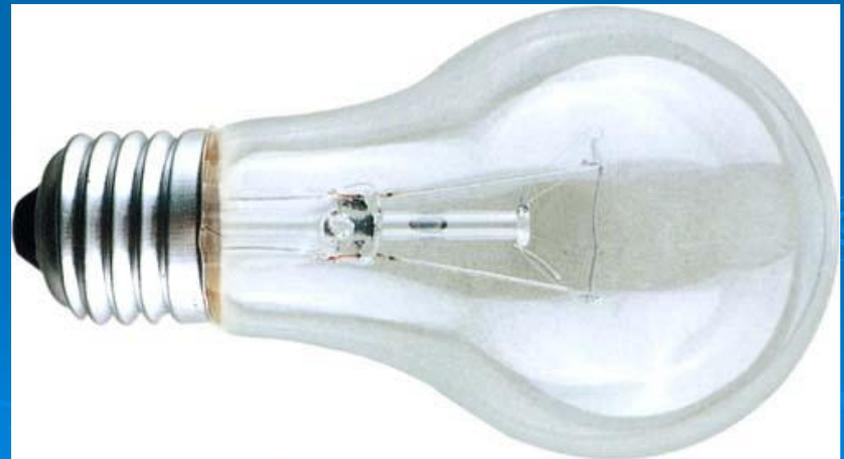
- Spendere la vita ed il denaro per pensare a questi misteri cosmici, costruire macchine complicatissime e costosissime per studiare fisica in condizioni estreme...
- Perché? Solo per la conoscenza? Piacere di pochi? C'è qualcosa per la comunità?



# Ma che c'importa?

- Spendere la vita ed il denaro per pensare a questi misteri cosmici, costruire macchine complicatissime e costosissime per studiare fisica in condizioni estreme...
- Perché? Solo per la conoscenza? Piacere di pochi? C'è qualcosa per la comunità?
- Risposta buona: accendete la luce a casa stasera

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= 4\pi\rho && \text{(Gauss)} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 && \text{(No Monopoles)} \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} && \text{(Faraday)} \\ \nabla \times \vec{B} &= \frac{4\pi}{c} \vec{J} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} && \text{(Ampere)} \\ &&& \text{displacement current}\end{aligned}$$



# Ma che ci importa?

- Spendere la nostra vita e soldi per pensare a queste cose, costruire strane e costose macchine per investigare la fisica in condizioni estreme...
- Perché? Solo per la conoscenza? Piacere per pochi? C'è qualcosa per il resto della comunità?
- Risposta cattiva: è nella più micidiale arma realizzata, finora

