

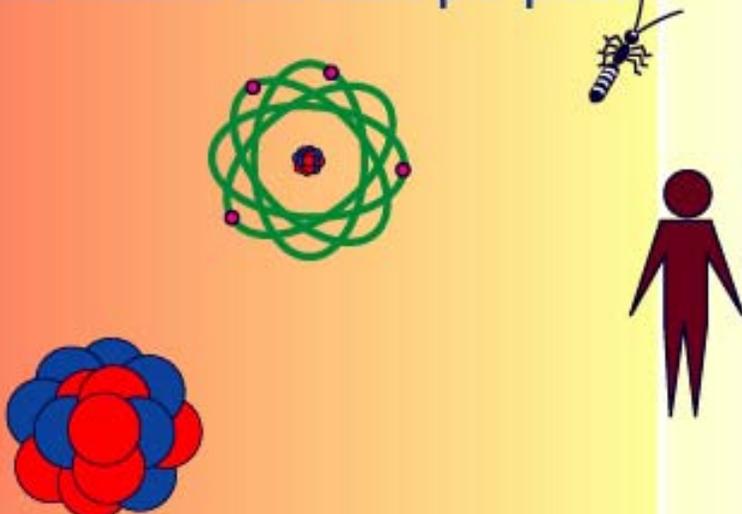


# Tutti i colori dell' Universo

Roberto Battiston  
INFN e Università' di Perugia  
Laboratori di Frascati  
6 ottobre 2004

La Fisica delle Particelle guarda alla materia alle scale piu' piccole

L'Astrofisica guarda alla materia alle scale piu' estese



Acceleratori  
e  
Rivelatori

Microscopi  
Occhio nudo

Cannocchiale

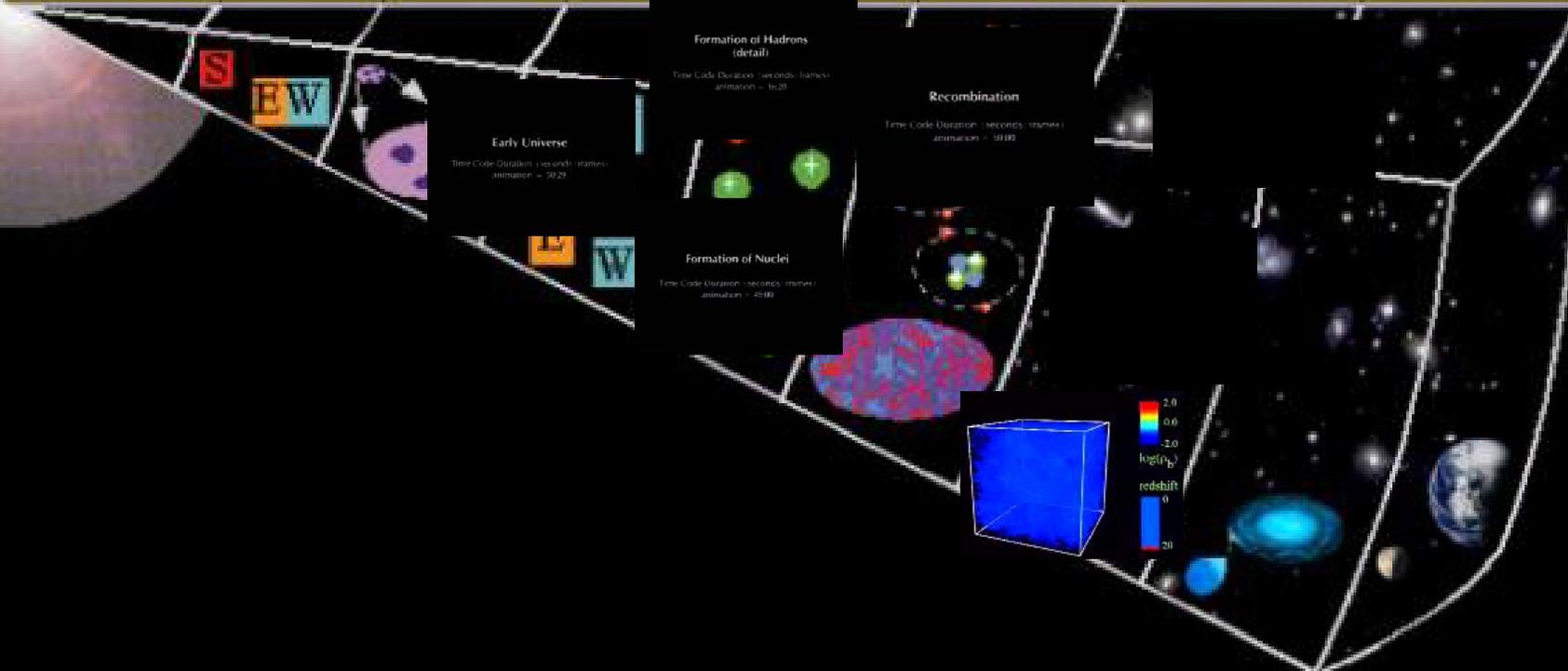
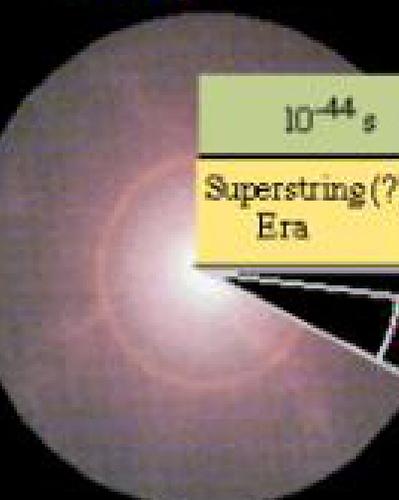
Telescopi ottici e radio

Le due frontiere della Fisica

# Big Bang

Time  $\longrightarrow$

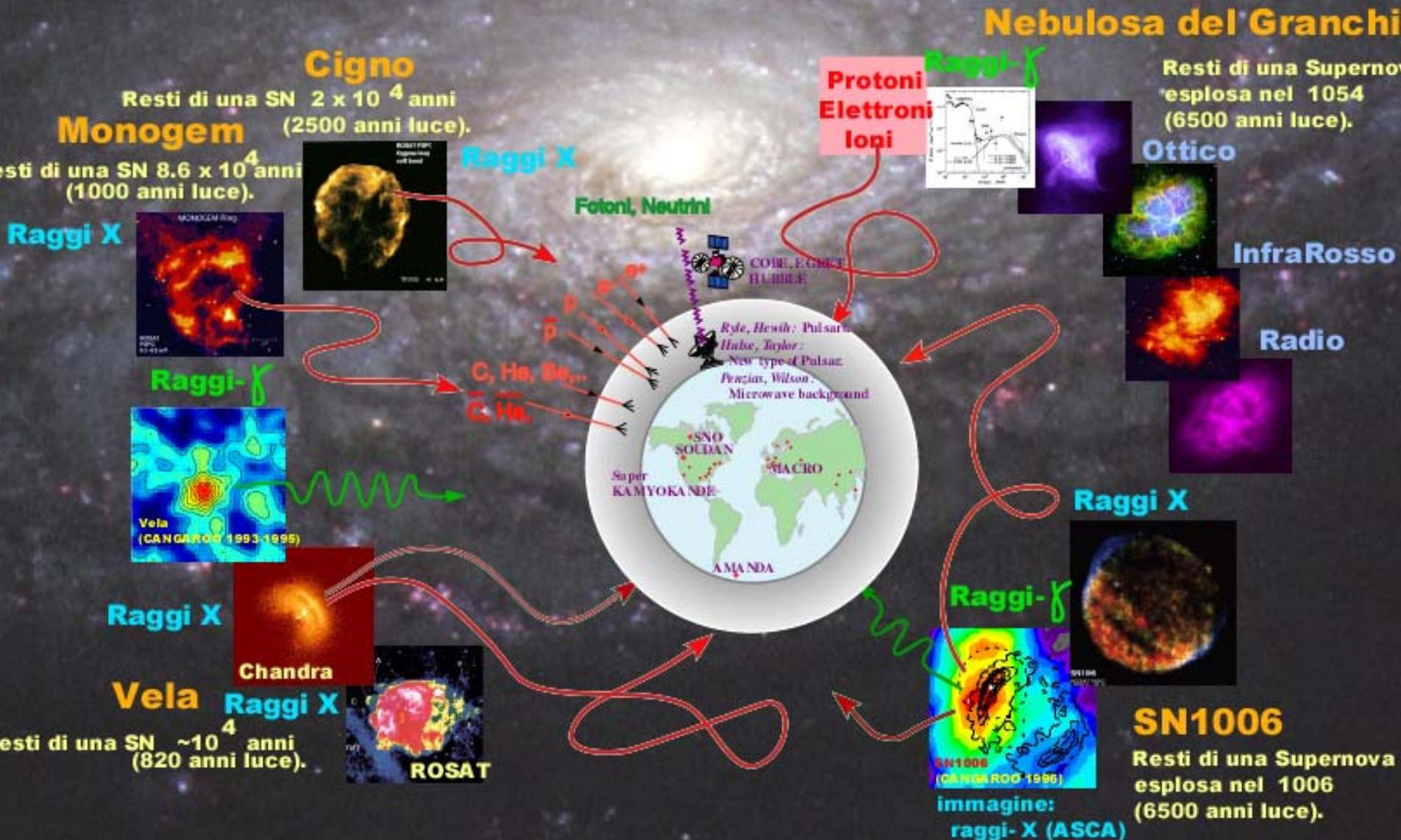
$10^{-44} s$	$10^{-35} s$	$10^{-32} s$	$10^{-10} s$	300 s	$3 \times 10^5$ yr	$1 \times 10^9$ yr	$15 \times 10^9$ yr
Superstring(?) Era	GUT Era	Inflation Era	Electro-weak Era	Particle Era	Recombination Era	Galaxy and Star Formation	Present Era



**L'universo si studia  
“osservando”**

**le informazioni = particelle  
che esso ci invia**

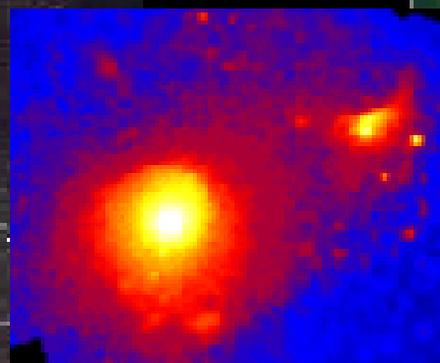
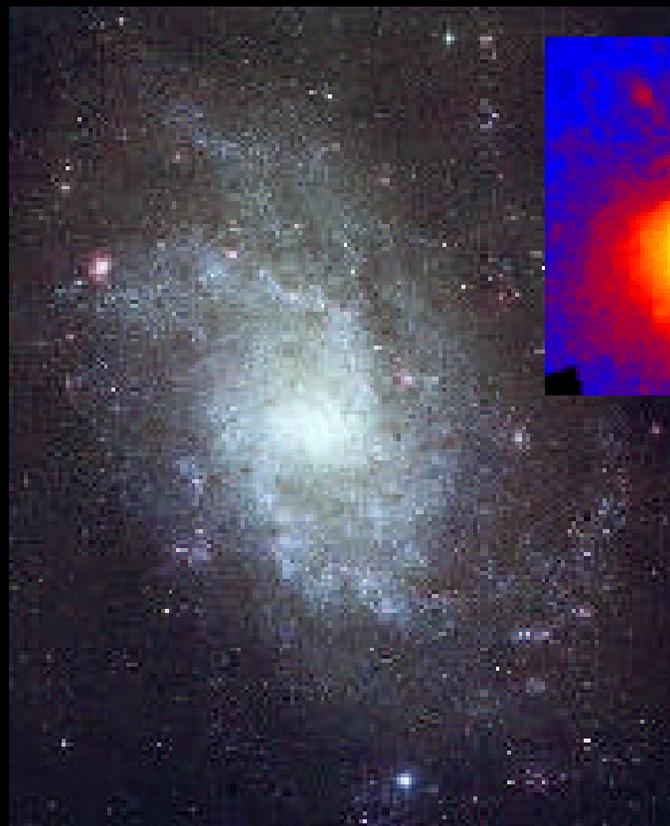
# Raggi Cosmici di Alta Energia nell'Universo



- Se si tratta di particelle neutre (**radiazione=luce = onde elettromagnetiche** oppure **neutrini**, oppure **onde gravitazionali** ) possiamo ricostruire l'immagine della sorgente oltre che a studiare lo spettro della luce

# Di che cosa e' fatto l'universo ?

Noi *vediamo* le stelle, il gas e la polvere interstellare. Le stelle sono raggruppate in galassie che sono raggruppate in gruppi di galassie. Gas caldi riempiono il volume di questi gruppi di stelle. Tutta questa *Materia Luminosa* e' solo circa il 5% della massa stimata dell'Universo



HST - W

HSS © IAC/BCO/Hellin  
Photo from Isaac Newton Telescope Plates  
by David Hellin

TRES 18

- Se si tratta di particelle cariche (**p**, **e-....**)  
l'immagine della sorgente non può essere  
ricostruita e ci limitiamo a studiare la composizione  
e lo spettro di energia delle particelle

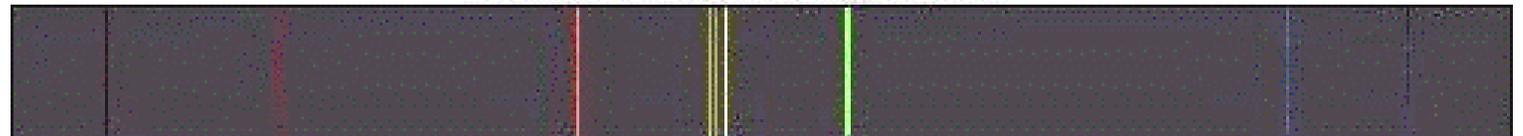
**Ma che cos'è la luce?**

# EMISSION SPECTRA

**CONTINUOUS SPECTRUM** (Incandescent solids or liquids and incandescent gases under high pressure give continuous spectra) **INCANDESCENT LAMP**



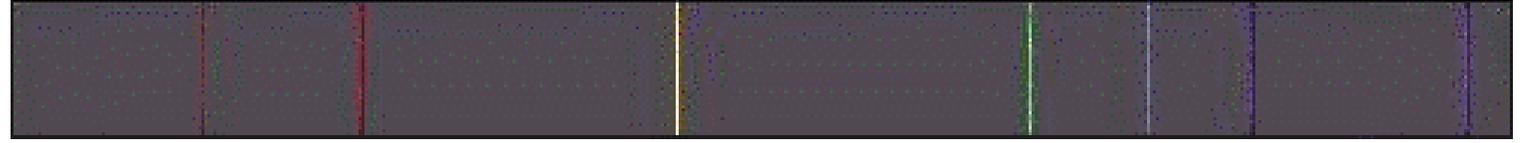
**BRIGHT LINE SPECTRA** (Incandescent or electrically excited gases under low pressure give bright line spectra) **MERCURY**



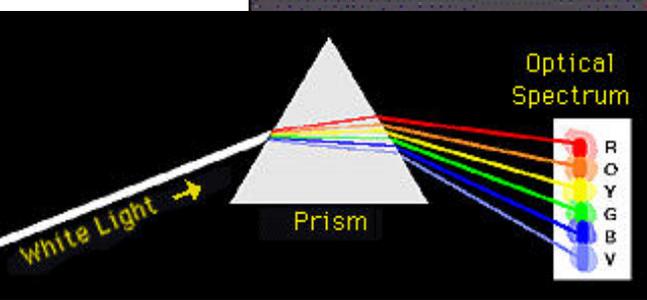
**SODIUM**



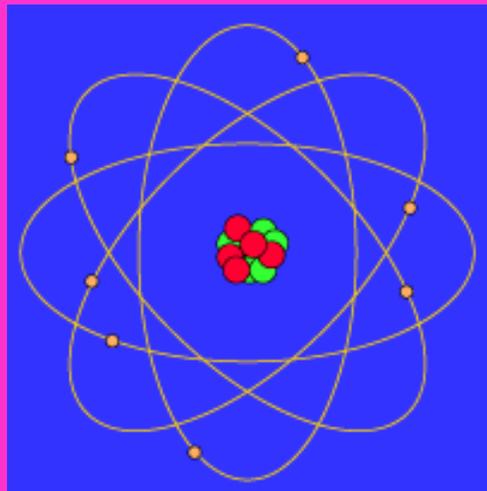
**HELIUM**



**HYDROGEN**



**Partendo dalla descrizione della  
meccanica di Newton l'atomo  
potrebbe essere descritto come  
un sistema solare di piccolissime  
dimensioni**



# Problemi con il modello atomico planetario:

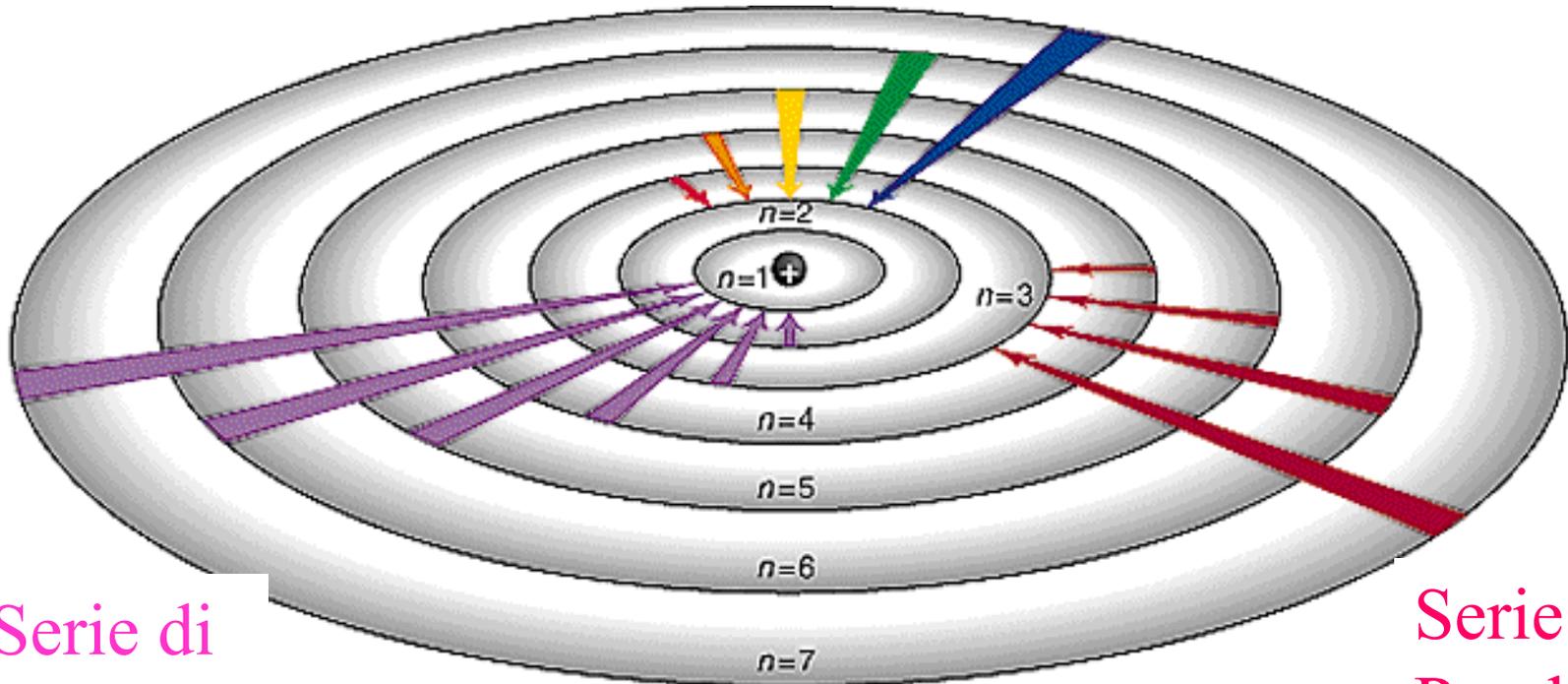
Perche' gli atomi emettono e assorbono solo luce di colore (energia) ben precisa?



# Emissione ed assorbimento di luce da parte dell'atomo di idrogeno

## Modello di Bohr

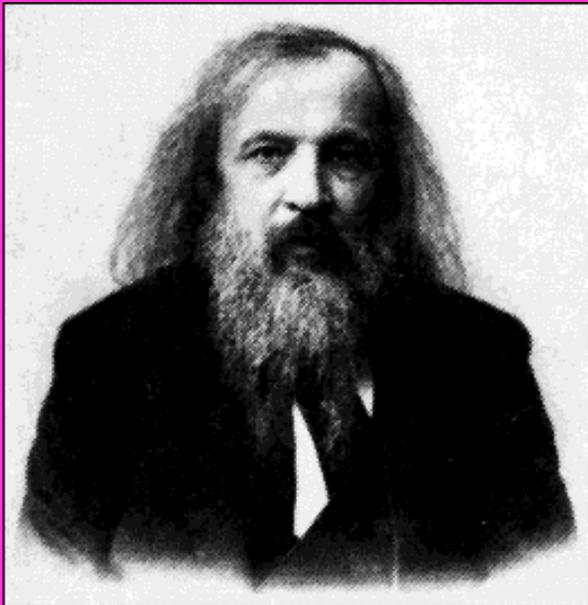
Serie di  
Balmer  
*visibile*



Serie di  
Lyman  
*ultravioletto*

Serie di  
Paschen  
*infrarosso*

# Tavola Periodica degli Elementi



Dmitrii Ivanovich Mendeleev

1870

**Grazie alla meccanica quantistica siamo  
in grado di spiegare come la creazione  
e assorbimento della luce corrisponda a  
dei salti energetici degli elettroni negli  
atomi**

**A questi salti corrisponde l'emissione o  
l'assorbimento di quanti luminosi,**

**i fotoni**

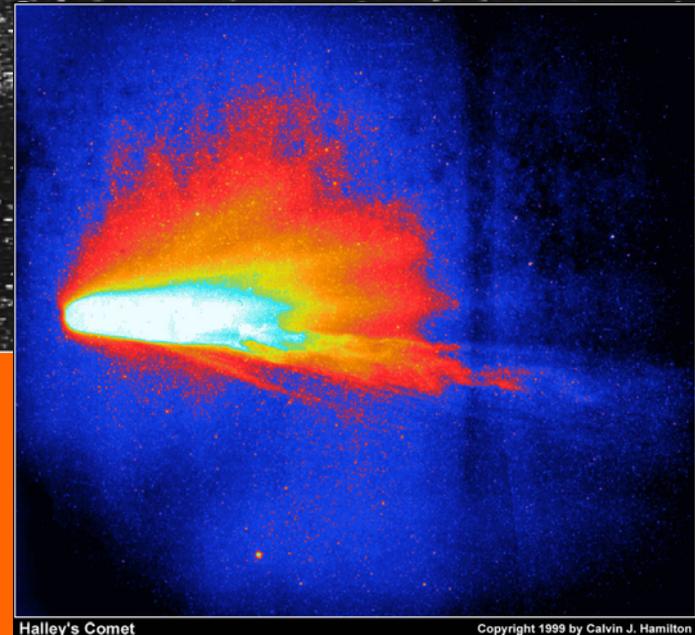
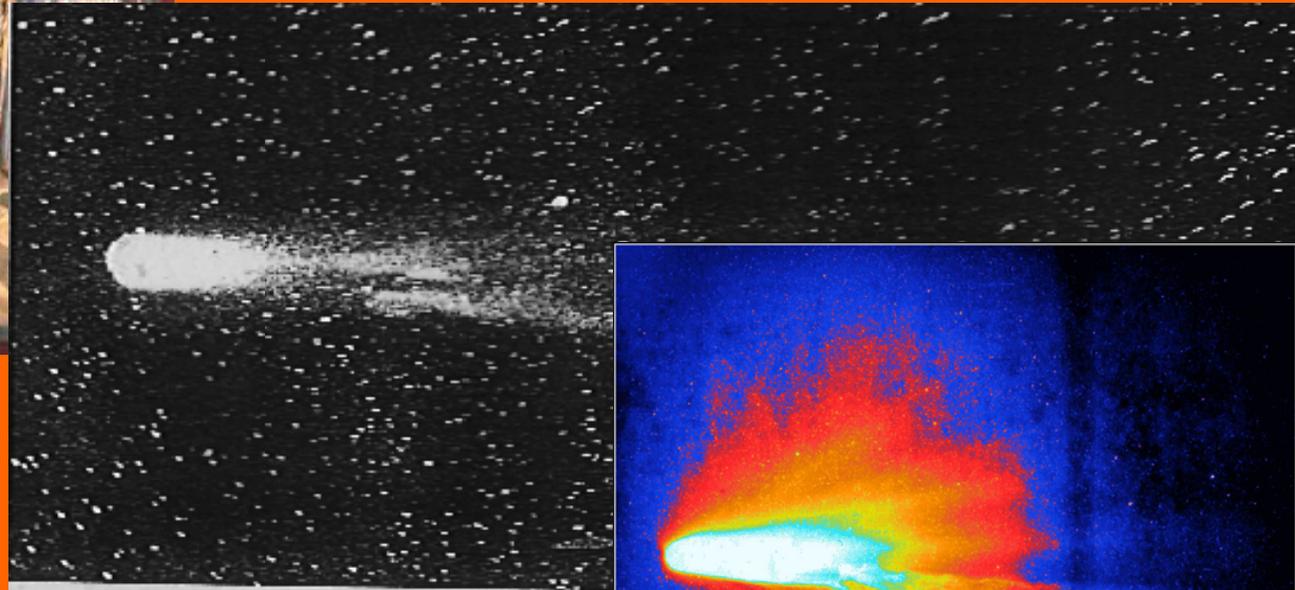
- **Faremo due esempi di come sia possibile analizzare il tipo di informazione che riceviamo dalle profondità' dell' Universo, "i suoi colori" per capire la sua struttura e la sua storia**
- **Buona parte di questi esempi riguardano degli esperimenti a terra e nello spazio in cui e' coinvolta l'Italia con l' ASI e l' INFN**





**1304-1308:**

**Giotto dipinge la Cappella degli Scrovegni e riproduce una cometa apparsa nel cielo**



Halley's Comet

Copyright 1999 by Calvin J. Hamilton

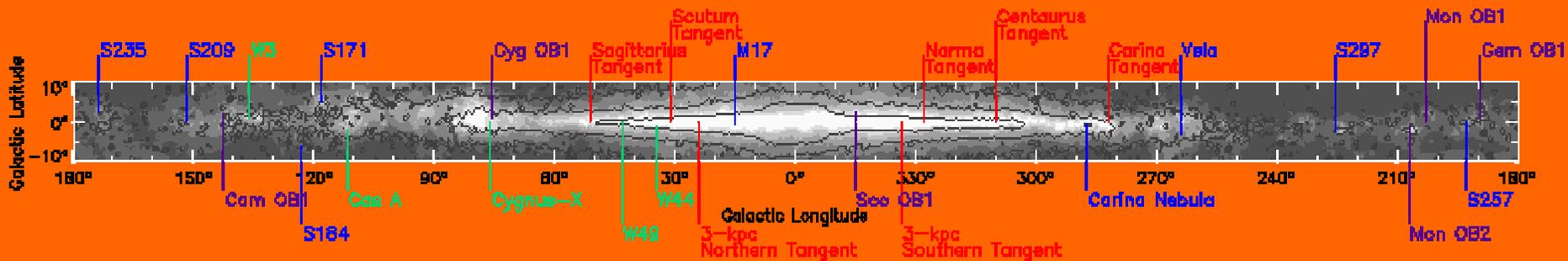
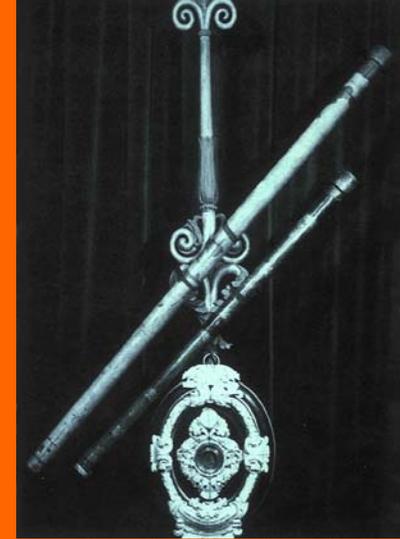
**1910: prime fotografie della cometa di Halley**

**1986: la Sonda Giotto raggiunge la cometa di Halley**



# Fino al 1945 .... Banda Ottica EMISSIONE TERMICA

~ 300 – 800 nm  
T ~ 3000 - 10000 K



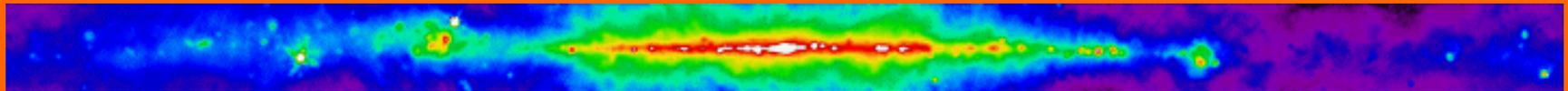
# Dopo il 1945 ... Banda Radio

## Radiazione di Sincrotrone

$$\lambda \sim 73 \text{ cm}$$

$$\nu \sim 408 \text{ MHz}$$

Onde Lunghe

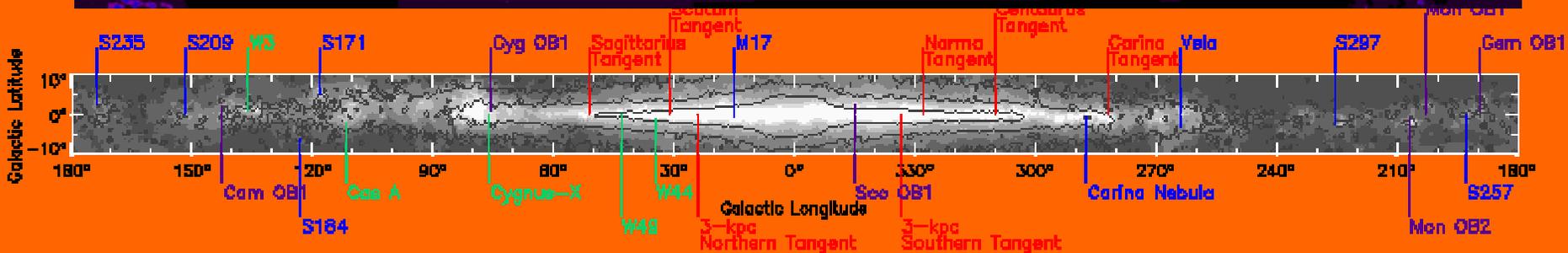
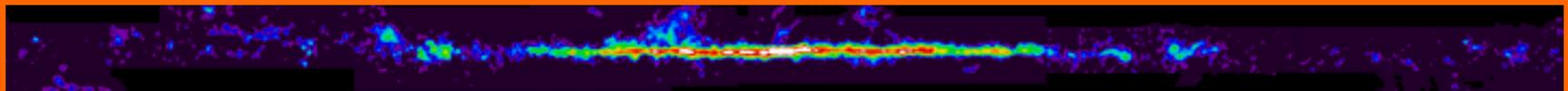


## Radiazione di frenamento e Radiazione di fondo

$$\lambda \sim 5.7 \text{ mm}$$

$$\nu \sim 53 \text{ GHz}$$

Microonde

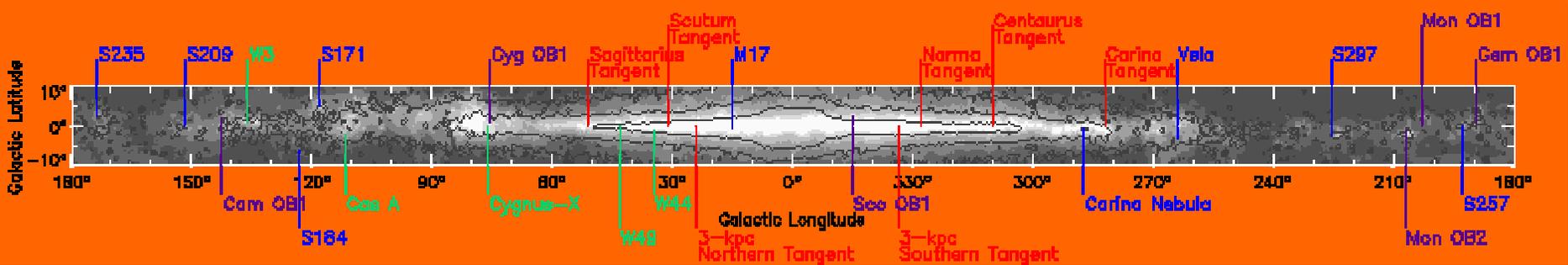


# Raggi X..... dal 1962

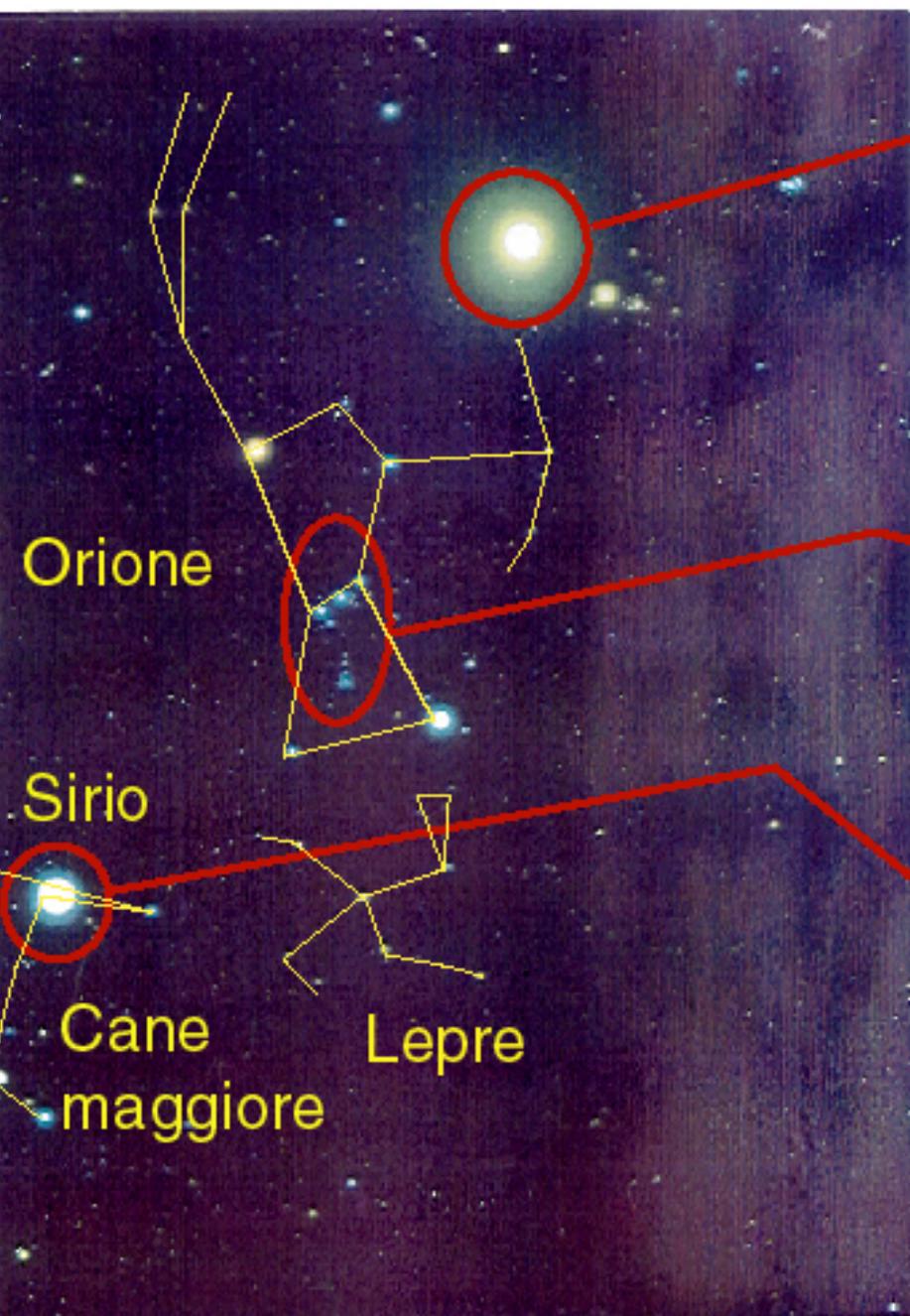
ROSAT

$$\lambda \sim 10-0.01 \text{ nm}$$

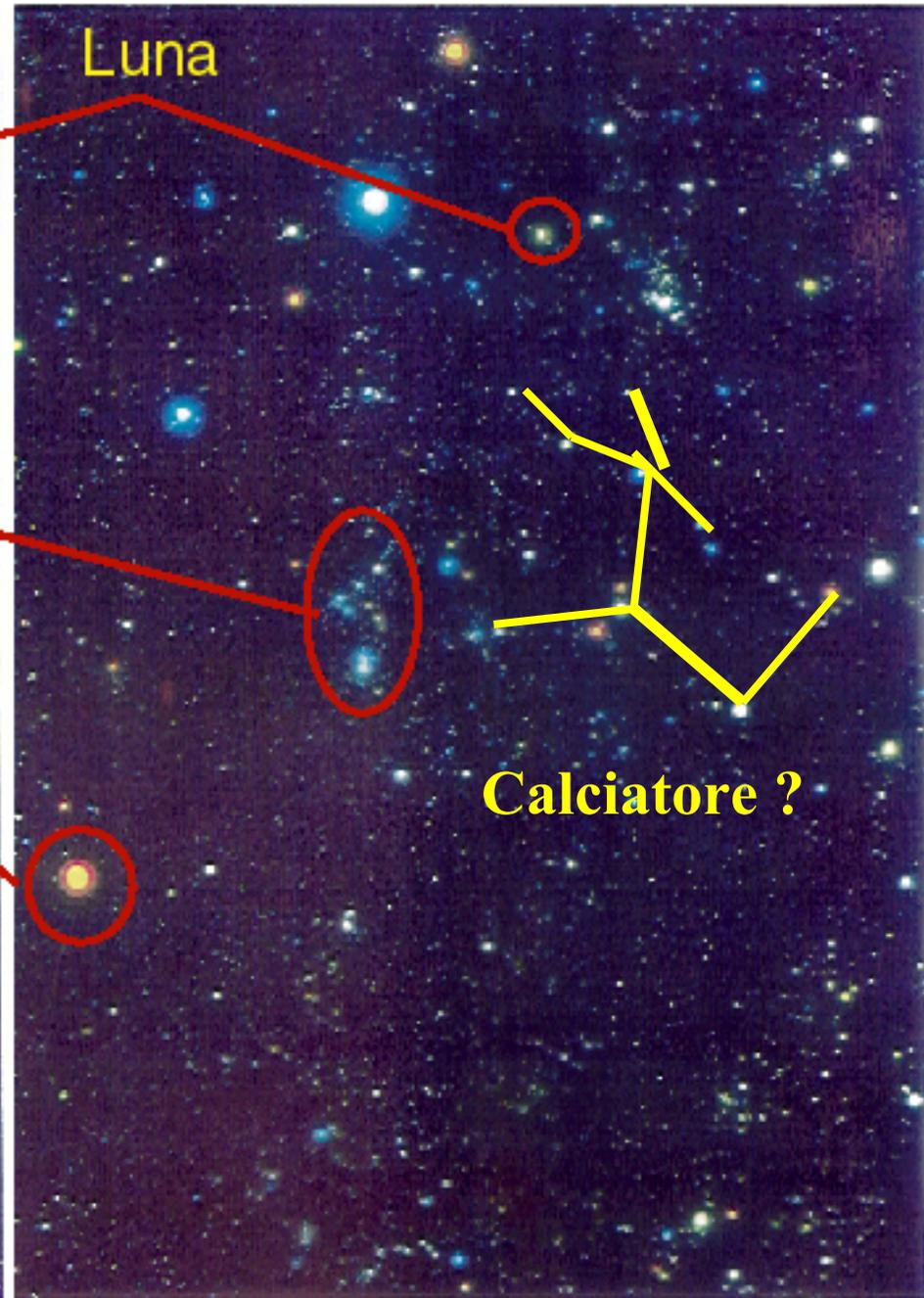
$$0.1 < E < \text{KeV}$$



Cielo nel visibile ("stelle fisse")



Cielo nella banda X (>1962)

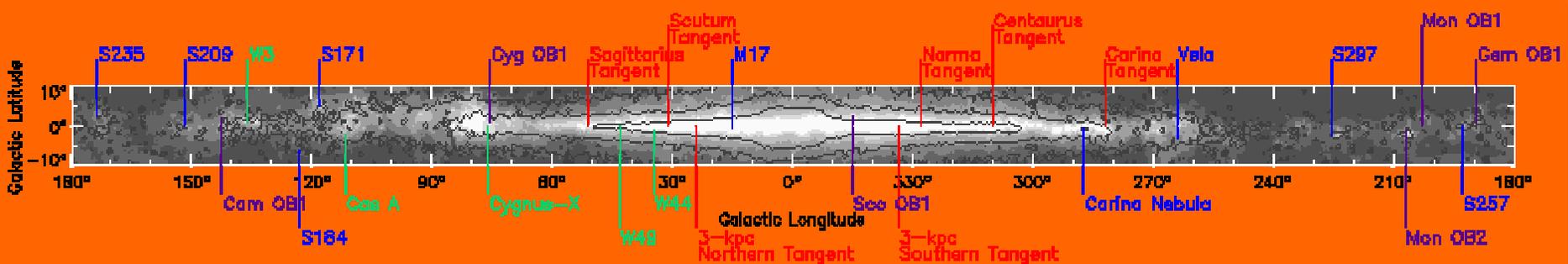
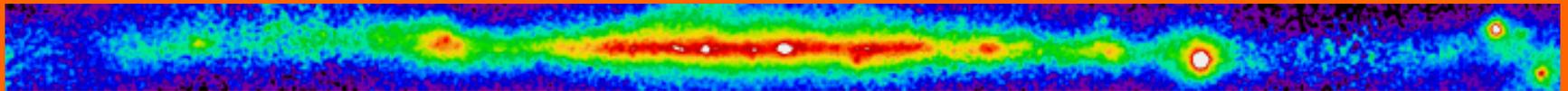


# Raggi $\gamma$

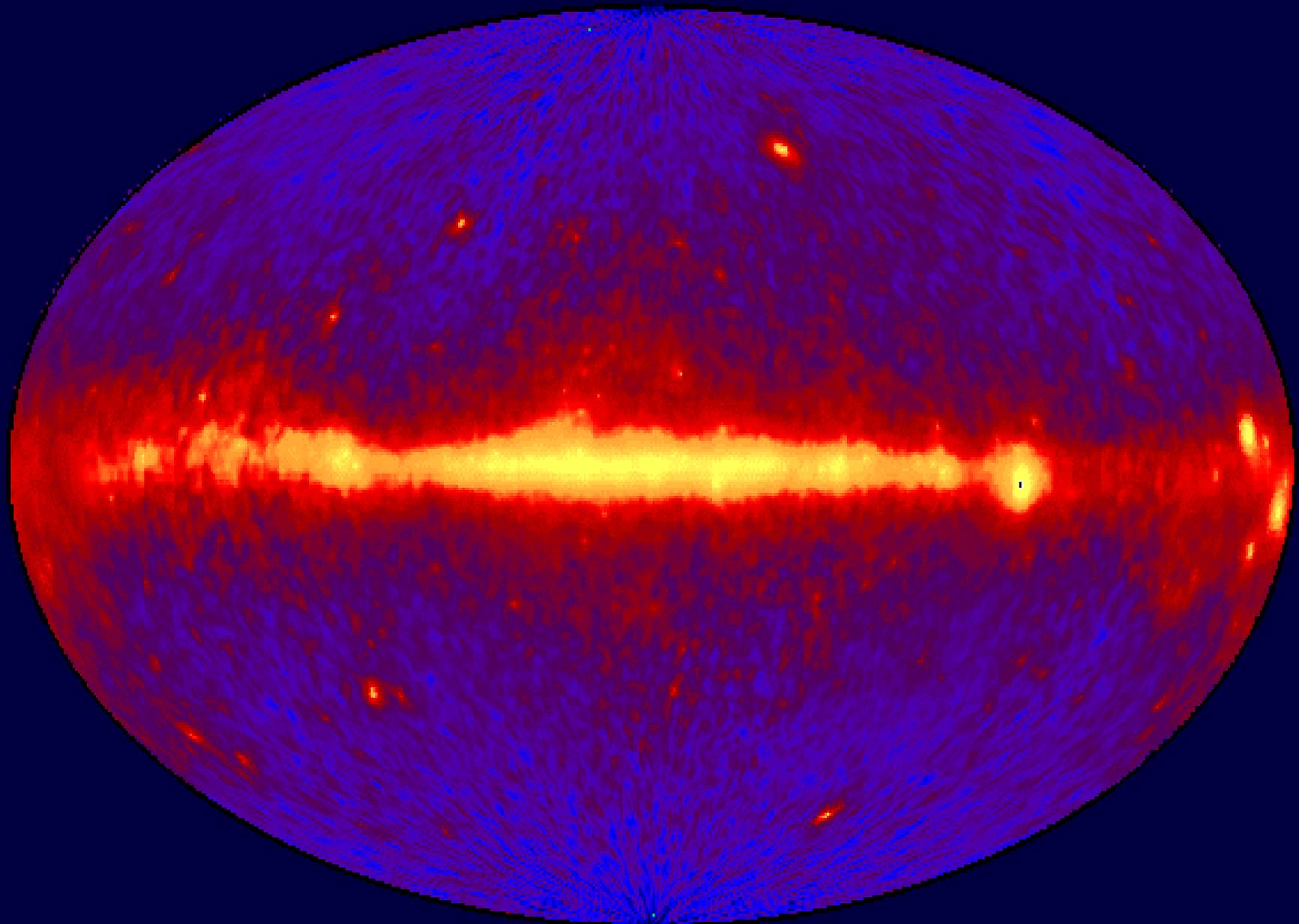
EGRET  
1995-2000

$\lambda \sim 10^{-0.01}$  nm

$100 \text{ KeV} < E$



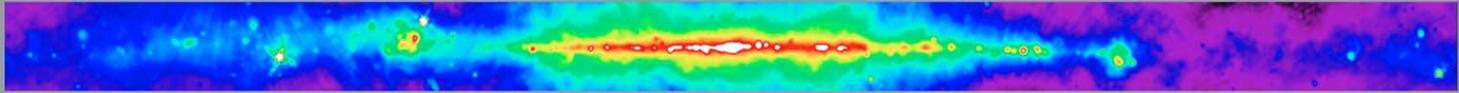
# EGRET All-Sky Gamma Ray Survey Above 100 MeV



# Multiwavelength Milky Way

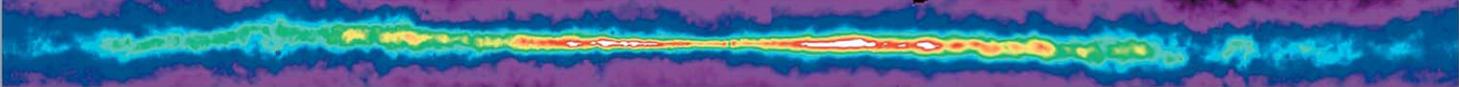
Radio Continuum

408 MHz Bonn, Jodrell Banks, & Parkes



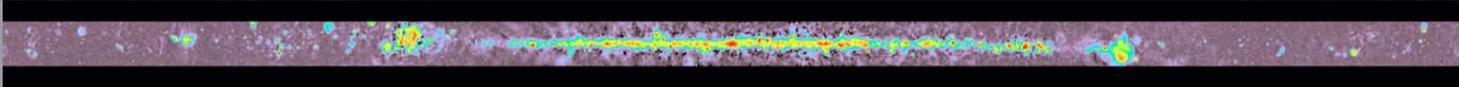
Atomic Hydrogen

21 cm Leiden-Dwingeloo, Maryland-Parkes



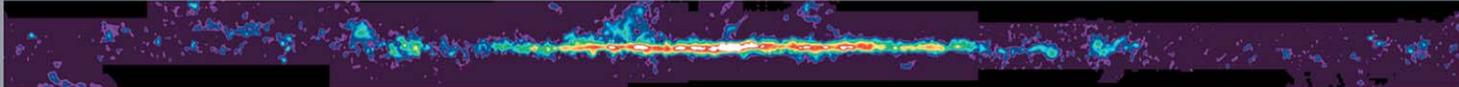
Radio Continuum

2.4-2.7 GHz Bonn & Parkes



Molecular Hydrogen

115 GHz Columbia-GISS



Infrared

12, 60, 100  $\mu\text{m}$  IRAS



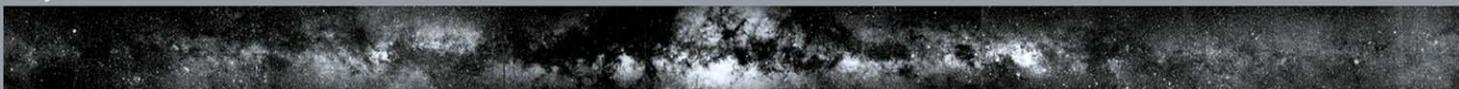
Near Infrared

1.25, 2.2, 3.5  $\mu\text{m}$  COBE/DIRBE



Optical

Laustsen et al. Photomosaic



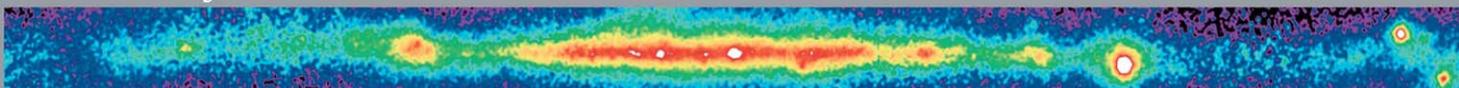
X-Ray

0.25, 0.75, 1.5 keV ROSAT/PSPC



Gamma Ray

>100 MeV CGRO/EGRET



Big Bang?

Microwave background

Dark Age of the Universe  
about 12 billion years ago

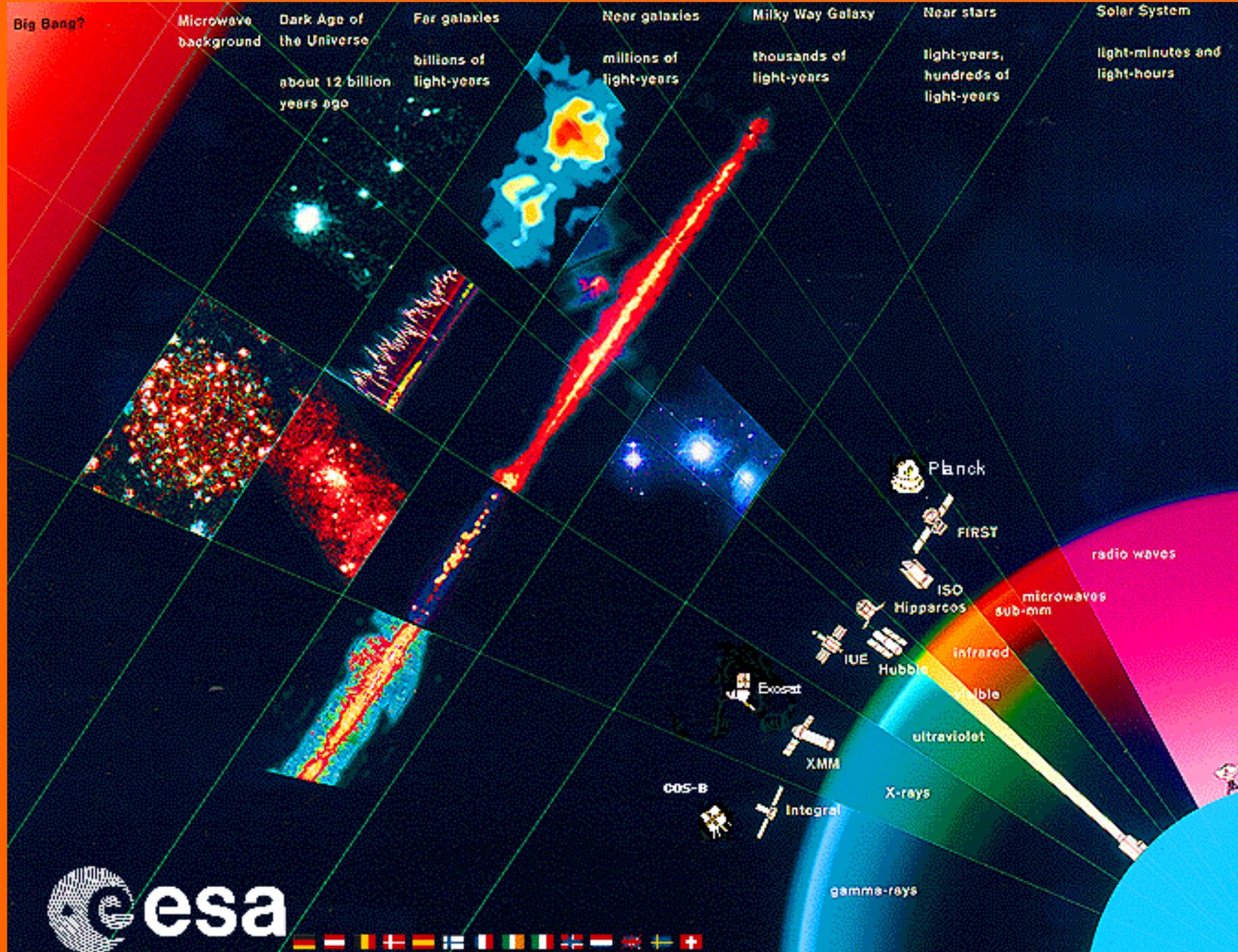
Far galaxies  
billions of light-years

Near galaxies  
millions of light-years

Milky Way Galaxy  
thousands of light-years

Near stars  
light-years, hundreds of light-years

Solar System  
light-minutes and light-hours



radio waves  
microwaves  
sub-mm  
infrared  
visible  
ultraviolet  
X-rays  
gamma-rays

Planck

FIRST

ISO  
Hipparcos

IUE  
Hubble

Exosat

XMM

COS-B

Integral

# Primo esempio

**Utilizzo delle onde elettromagnetiche  
per lo studio dei leggi fisiche nei  
primissimi istanti dopo il Big Bang**

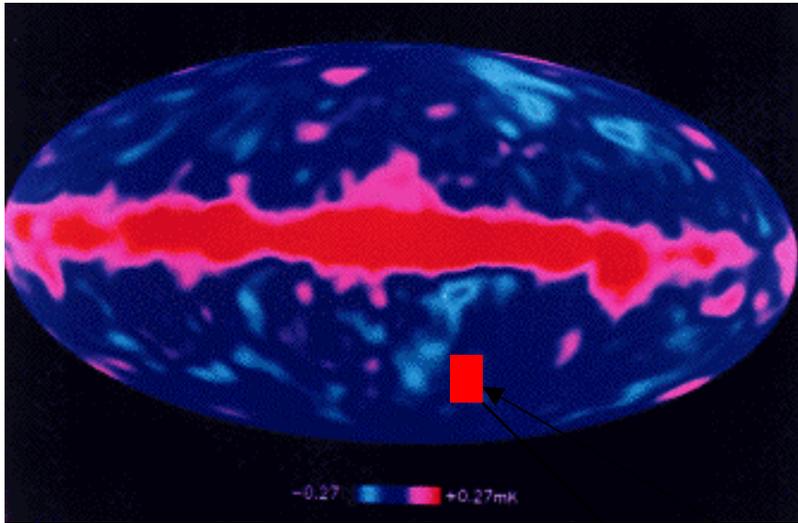


Pallone stratosferico BOOMERANG 2000

Satellite NASA WMAP 2002

Satellite ESA: Planck 2005/6

COBE '80



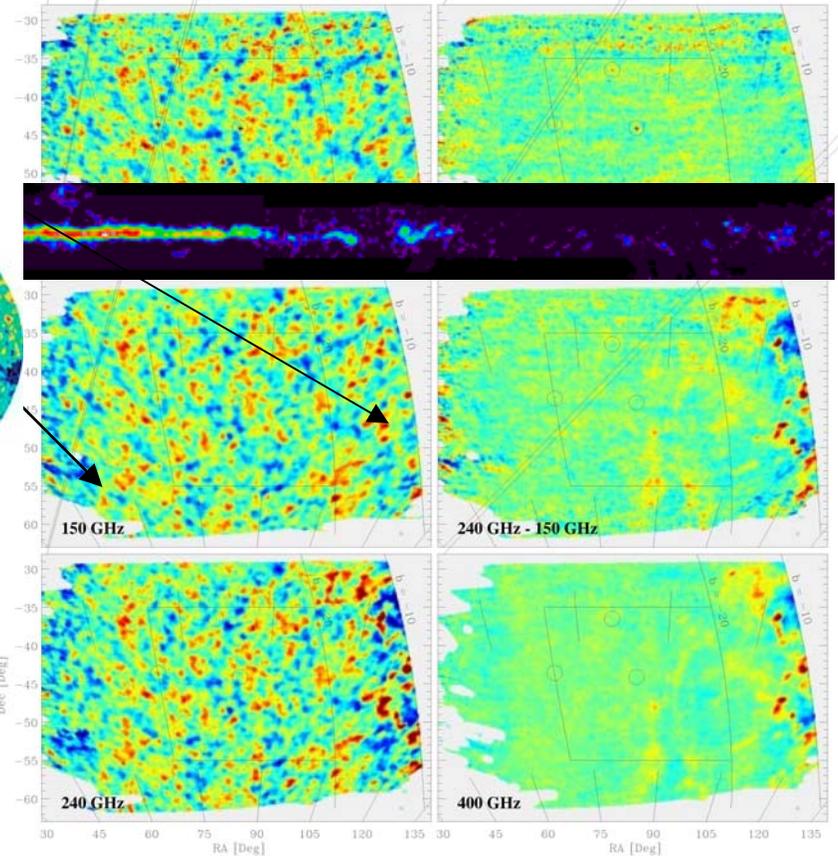
Radiazione di fondo  
dell'Universo

$\lambda \sim 5.7 - 0.7 \text{ mm}$

March 17, 2000

$\nu \sim 50-400 \text{ GHz}$

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



MAP 2002

*Planck 2005*

# Una notte di stelle vista da

1°



**Van Gogh**

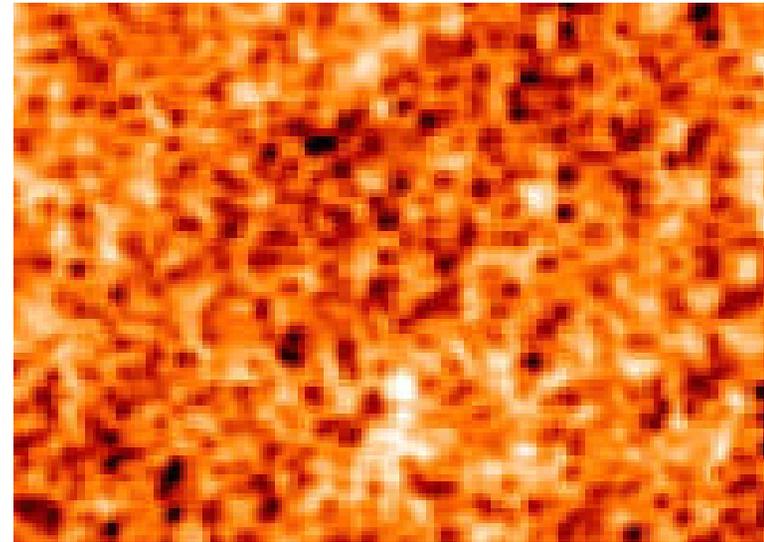


**BOOMERanG** (12° resolution)



**COBE** (10° resolution)

Immagine della granulazione solare



Plasma alla superficie  
del sole (5500 K)

8 minuti luce



Qui, ora

Immagine dell'anisotropia della radiazione cosmica di fondo



Plasma al momento  
della ricombinazione  
(3000 K)

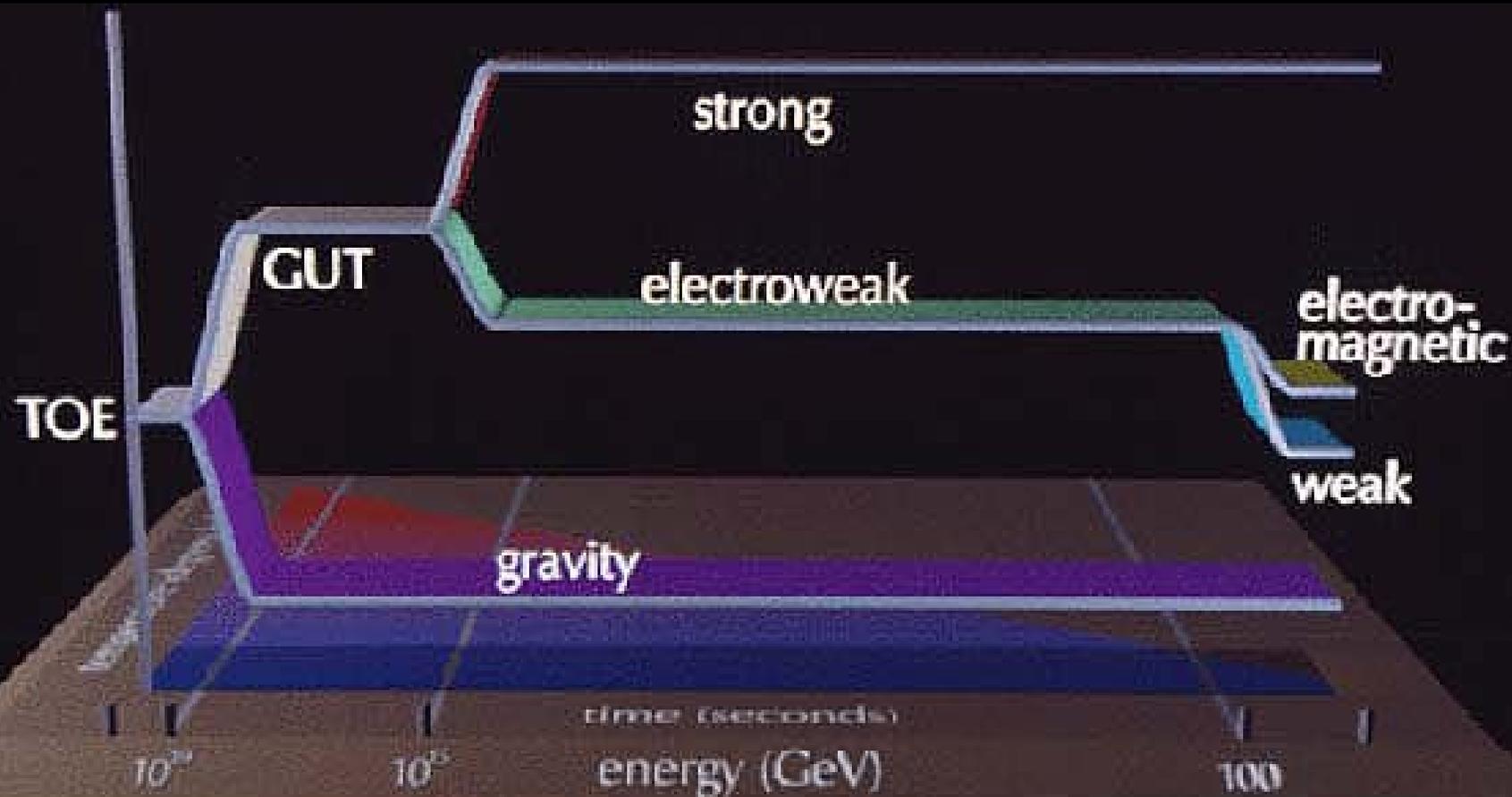
14 miliardi di anni luce



Qui, ora

**Geometria a grande  
scala dell'Universo**

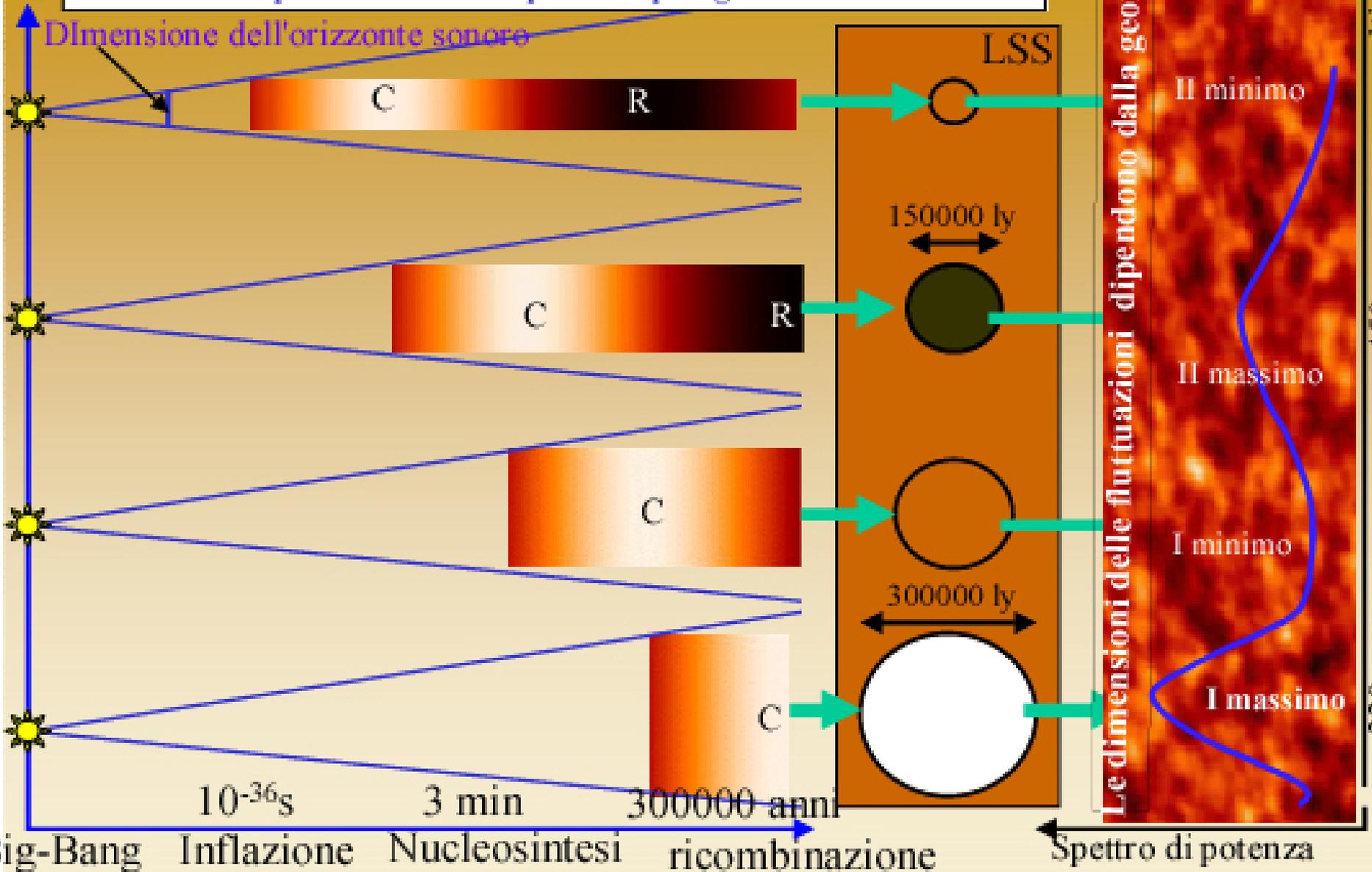
Esperimento BOOMERANG



$10^{-44}$ s	$10^{-35}$ s	$10^{-32}$ s	$10^{-10}$ s	300 s
Superstring (?) Era	GUT Era	Inflation Era	Electro-weak Era	Particle Era

Nel plasma primordiale le fluttuazioni di densita' iniziano ad oscillare solo quando la loro ampiezza e' piu' grande dell' orizzonte

Dimensione dell'orizzonte sonoro



Big-Bang Inflazione Nucleosintesi ricombinazione

Spettro di potenza

# COSMOLOGIA DI PRECISIONE $\Leftrightarrow$ FISICA FONDAMENTALE

## Risultati di MAP:

1- Eta' dell' universo  $13.7 \pm 1$  (1%) miliardi di anni

2- 4% Materia visibile

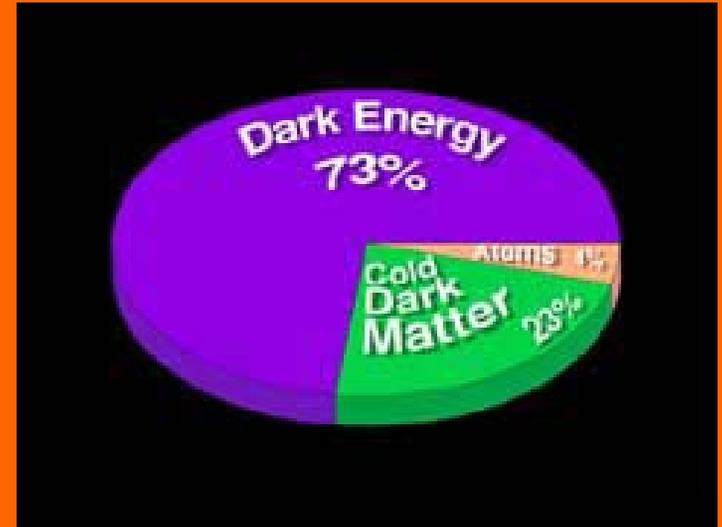
23% Materia oscura

73% Energia oscura

3- Universo e' piatto e si  
espandera' per sempre

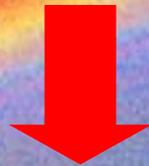
4- Costante di Hubble

$71 \pm 4$  km/sec/Mpc (5%)



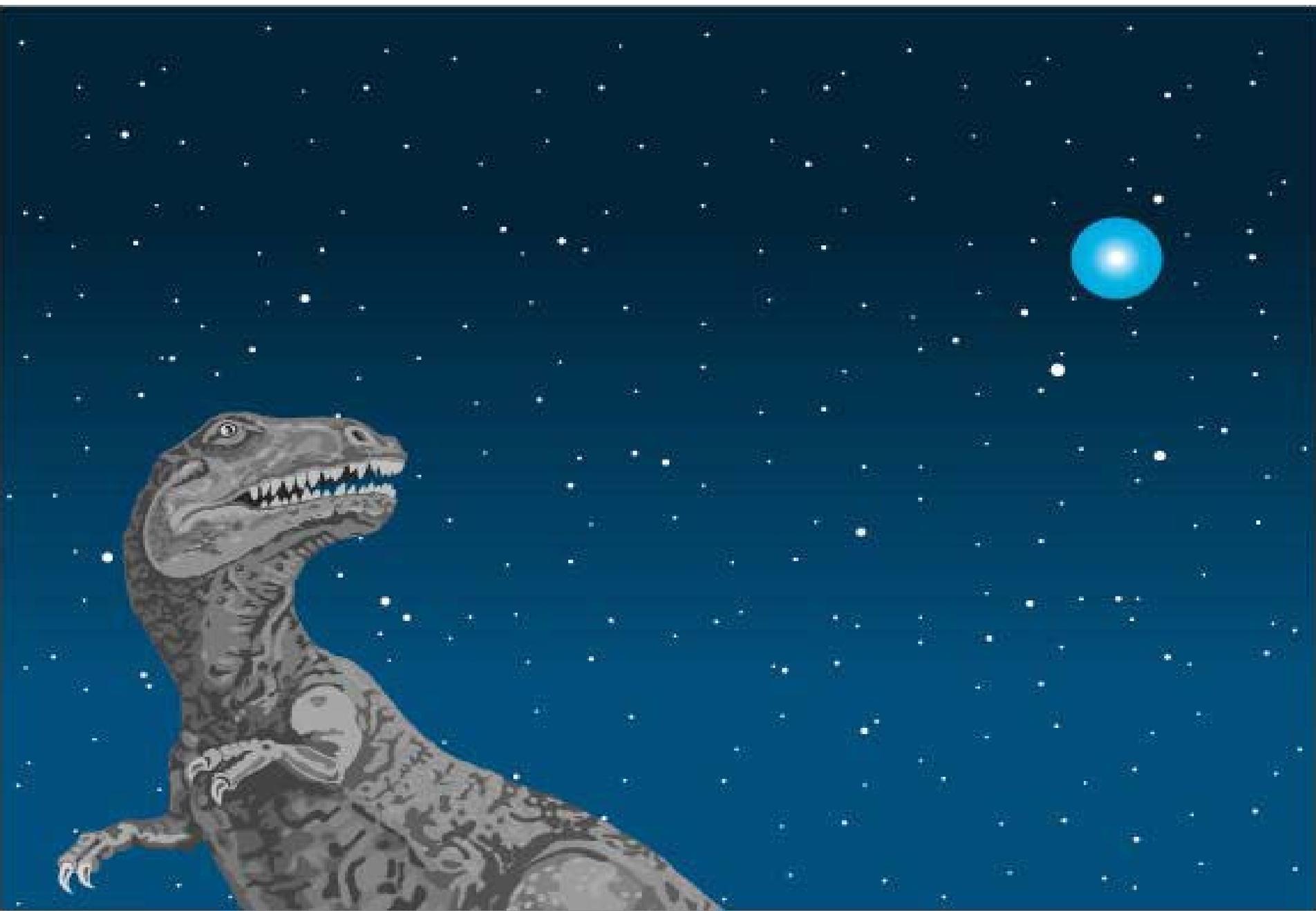
# Secondo esempio

**Utilizzo dei raggi gamma  
per lo studio dei lampi gamma**



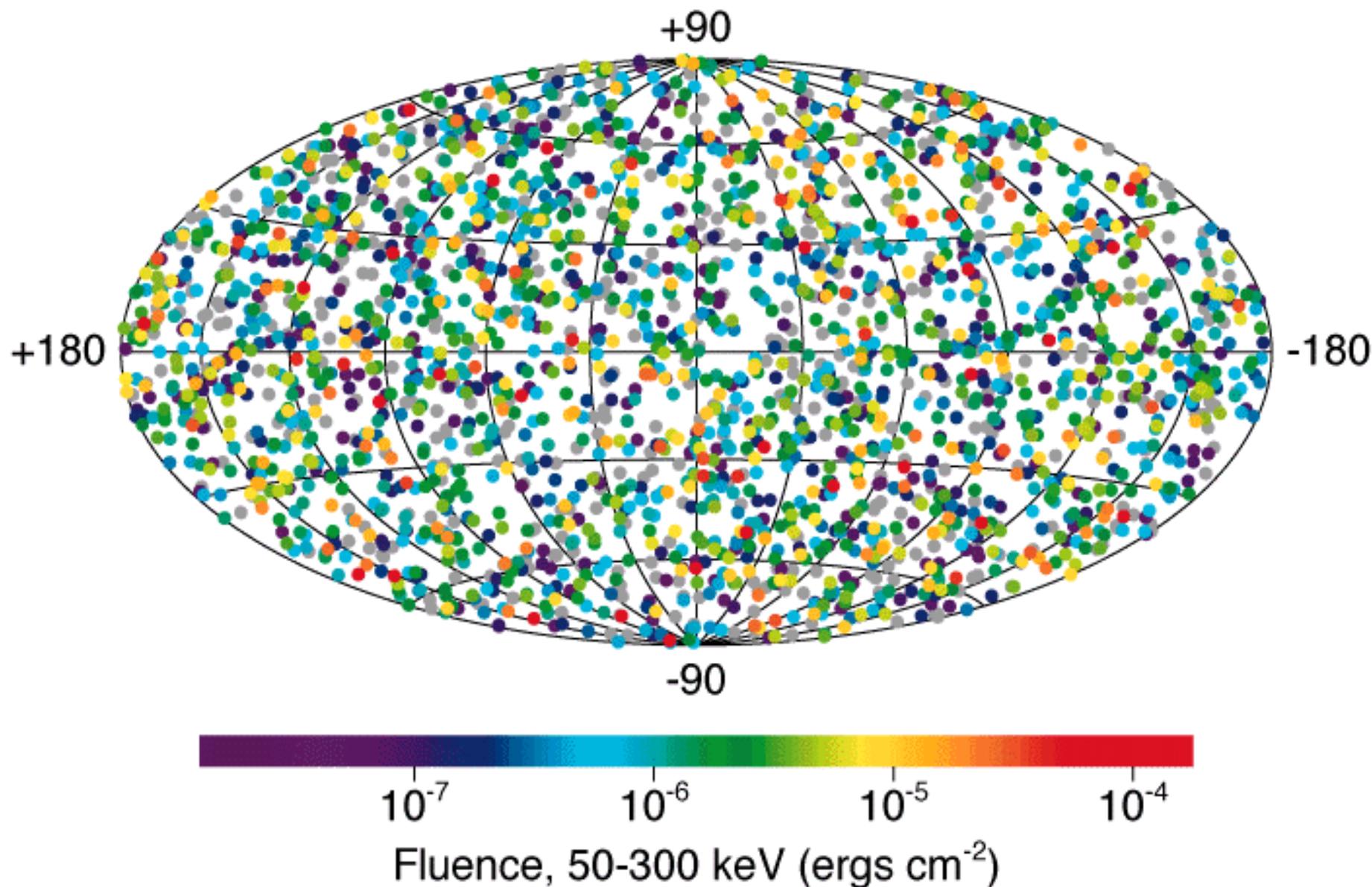
**Satellite EGRET (1995-2000)**

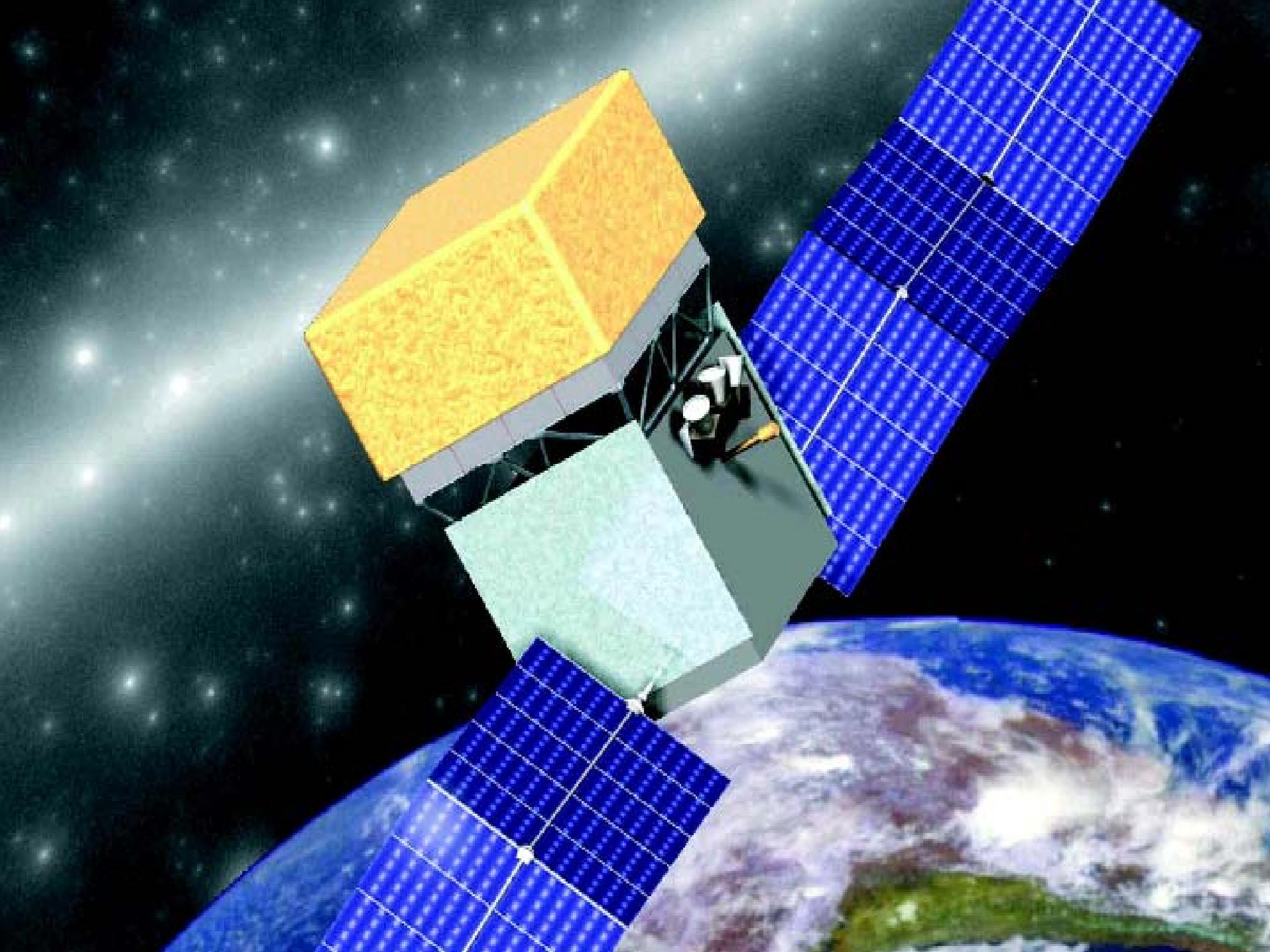
**Satellite NASA : GLAST 2007**



La prima osservazione di un lampo gamma?

# 2512 BATSE Gamma-Ray Bursts

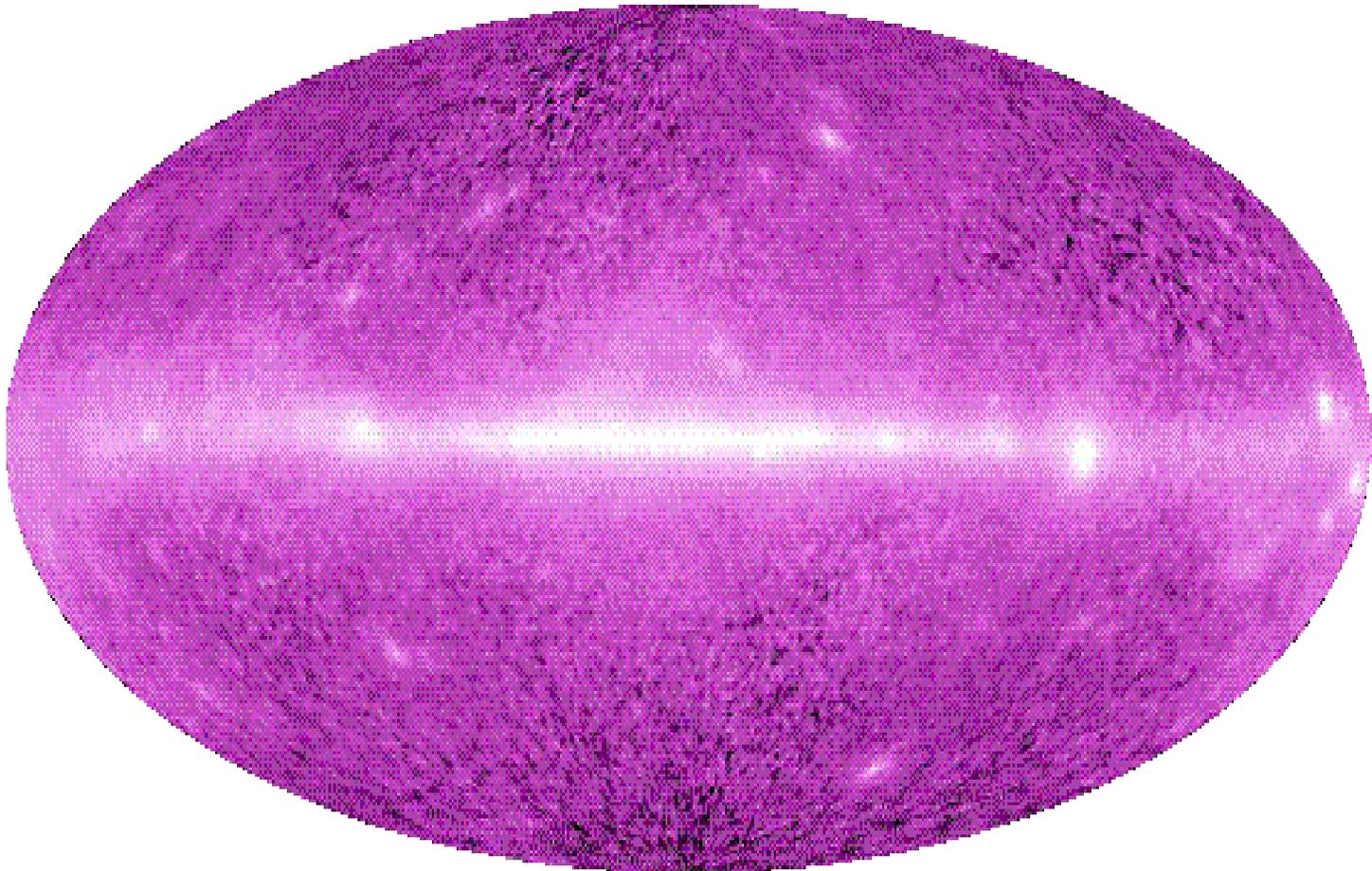




# Simulazione del cielo visto da GLAST nella banda gamma

---

Mappa di intensita' in 5 anni di presa dati



# Terzo esempio

## Misura delle onde gravitazionali nello spazio



Interferometro VIRGO (2002 → .....a terra)

Gruppo di satelliti NASA/ESA : LISA (2012)



**Le Onde Gravitazionali  
sono alterazioni della  
geometria dello spazio-  
tempo prodotti da  
corpi massivi accelerati**

**Dopo centinaia di milioni di anni improvvisamente  
una galassia come la nostra si accende .....**

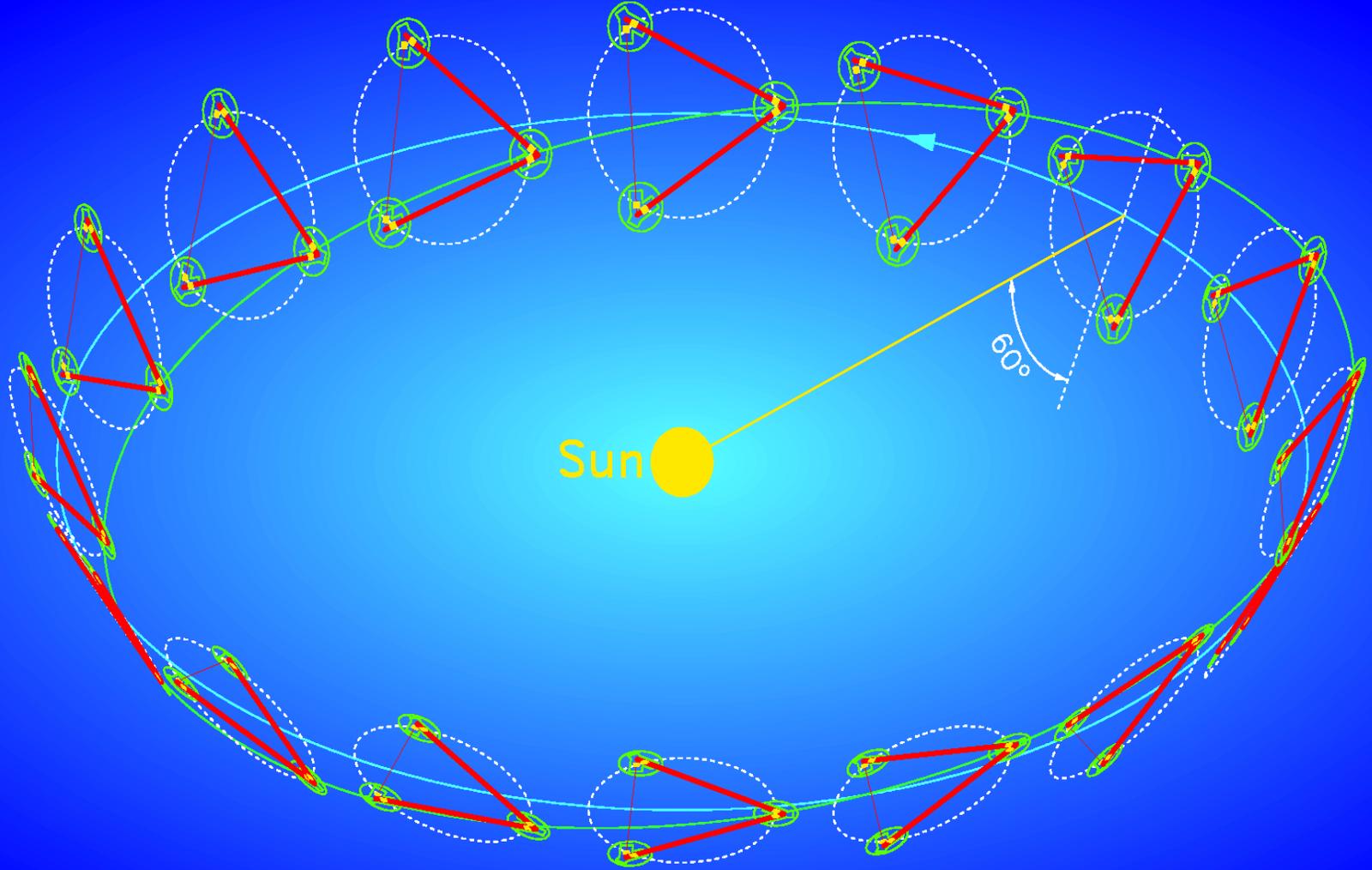


**.... perche' al suo interno e' esplosa una Supernova  
creando una stella a neutroni in rapidissima rotazione**





# LISA : l'orbita intelligente



**Mantenendo i tre satelliti in formazione si esplora il cielo**

# La Sensibilita' dei Rivelatori di Onde Gravitazionali

Ampiezza dell'onda gravitazionale



1 all' ora

frequenze sonore

# LISA rivelazione di onde gravitazionali

“...ascolto della sinfonia dell’Universo...”

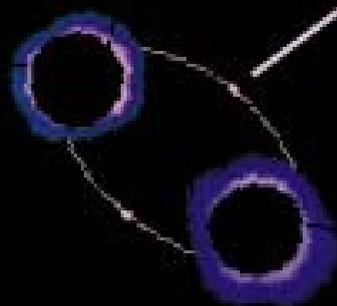
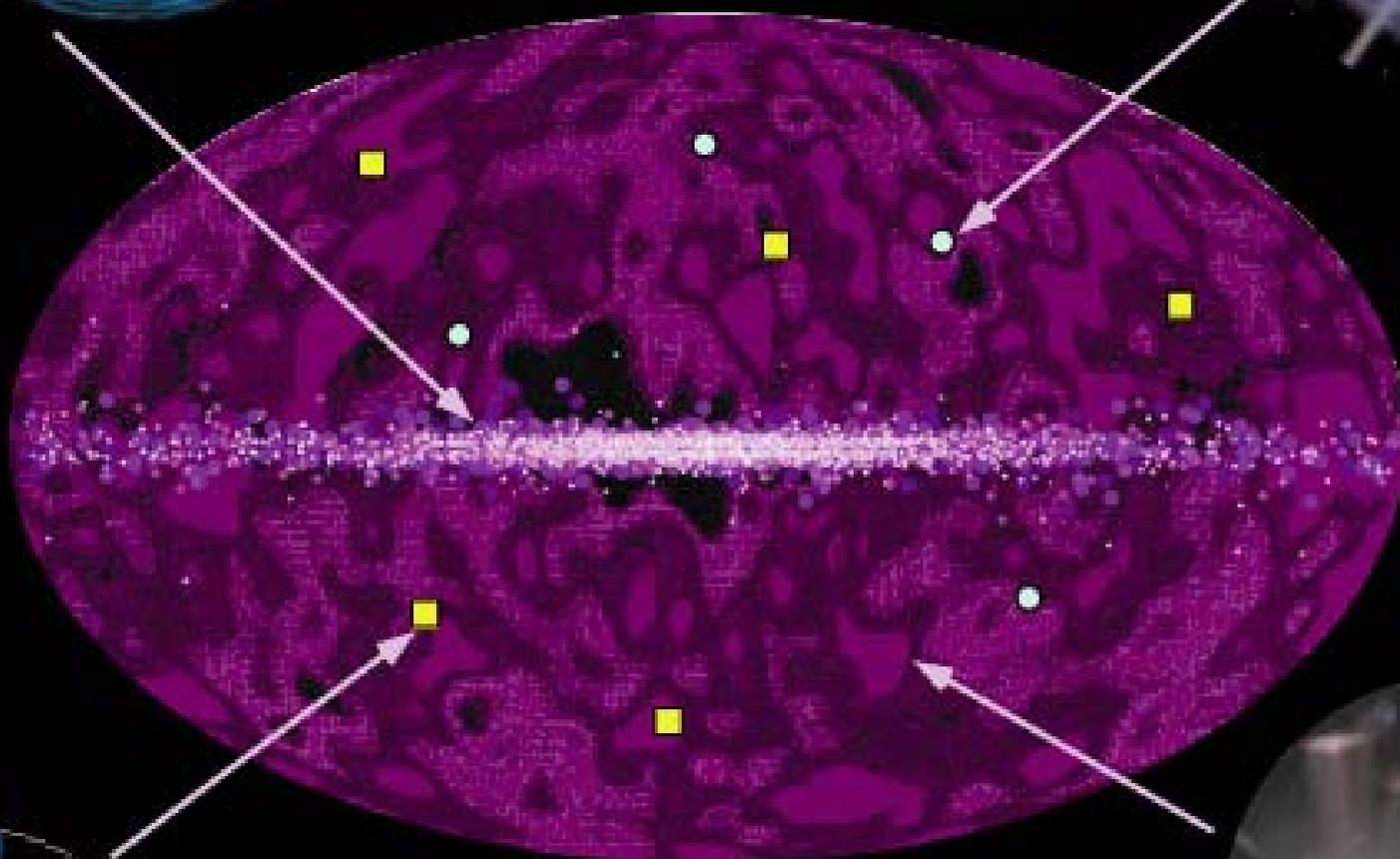


# Il Cielo nelle Onde Gravitazionali (A.D. 2020?)



Binarie Galattiche  
incluse future  
supernovae di Tipo II

Oggetti compatti orbitanti  
attorno a Buchi Neri Massicci  
verifiche di precisione  
dei campi gravitazionali forti



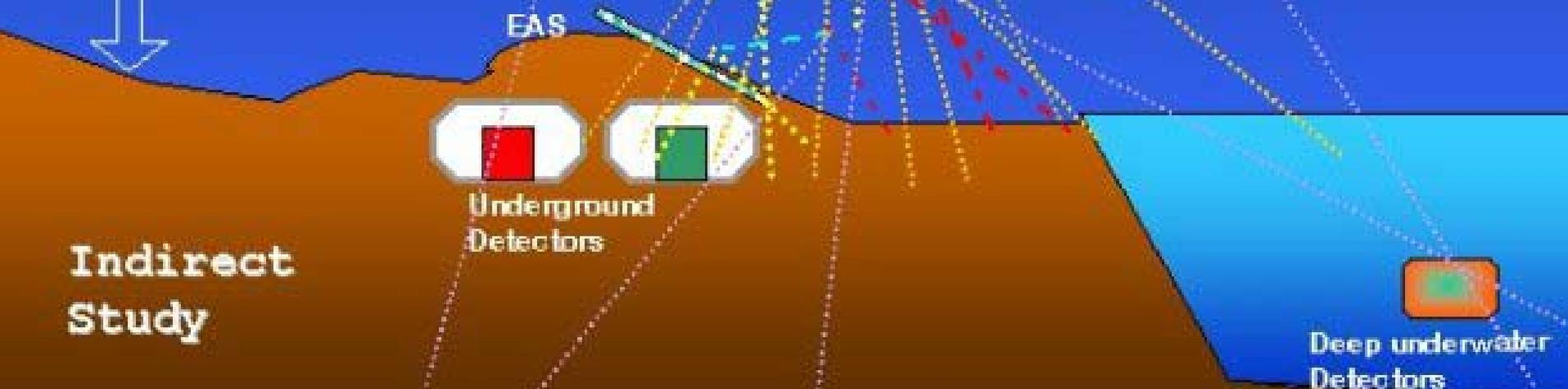
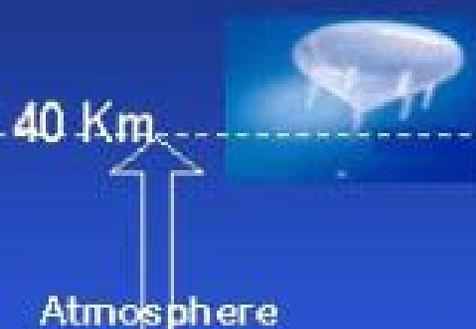
Formazione di  
Buchi Neri Massicci  
nuclei di Galassie Attive,  
formatisi prima delle stelle

Fluttuazioni nell'  
Universo Primordiale,  
prima che la ricombinazione  
formasse il fondo a 3°K

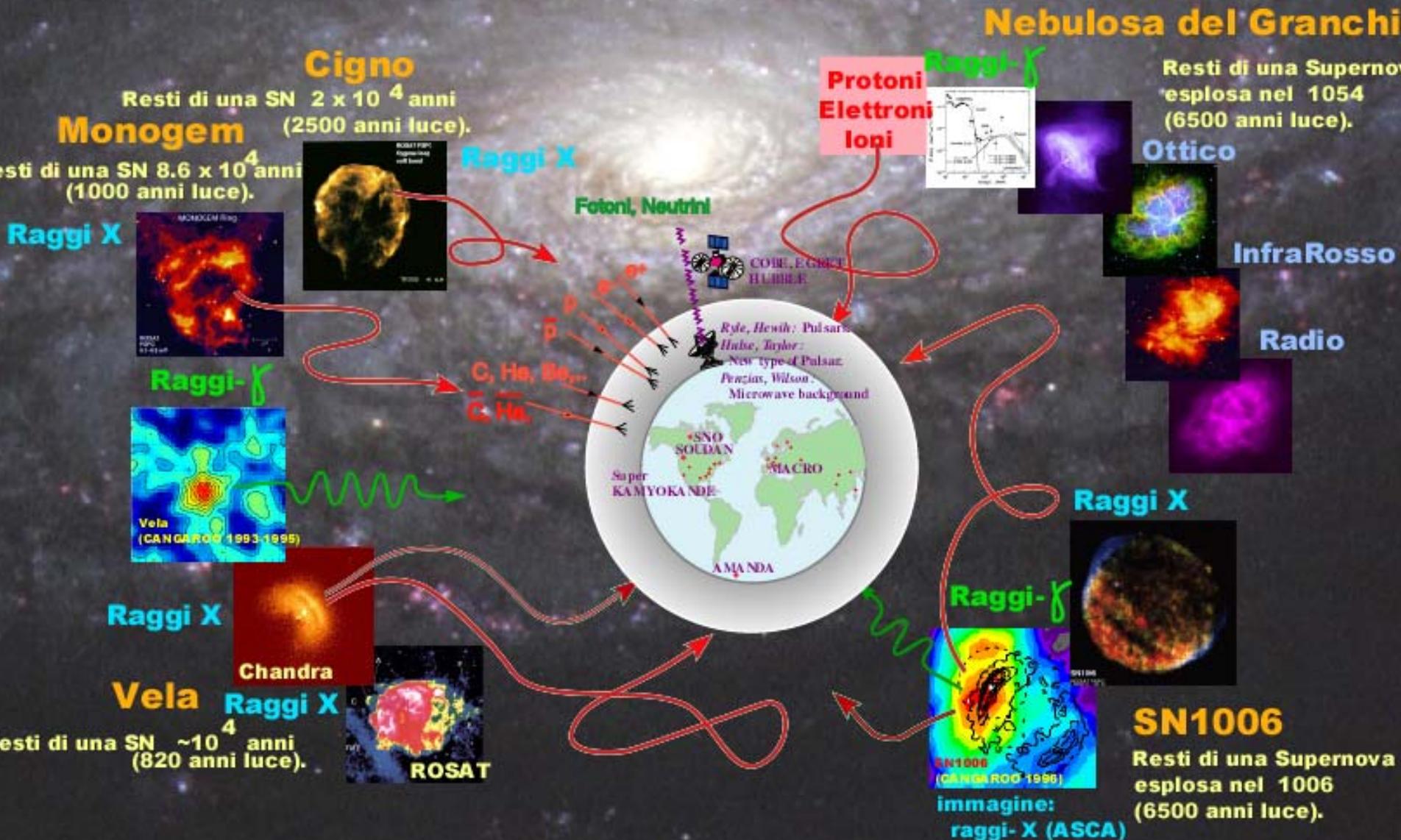


**l'universo e' anche pieno di particelle  
la terra e' bombardata continuamente  
dai raggi cosmici**

# PARTICLE ASTROPHYSICS



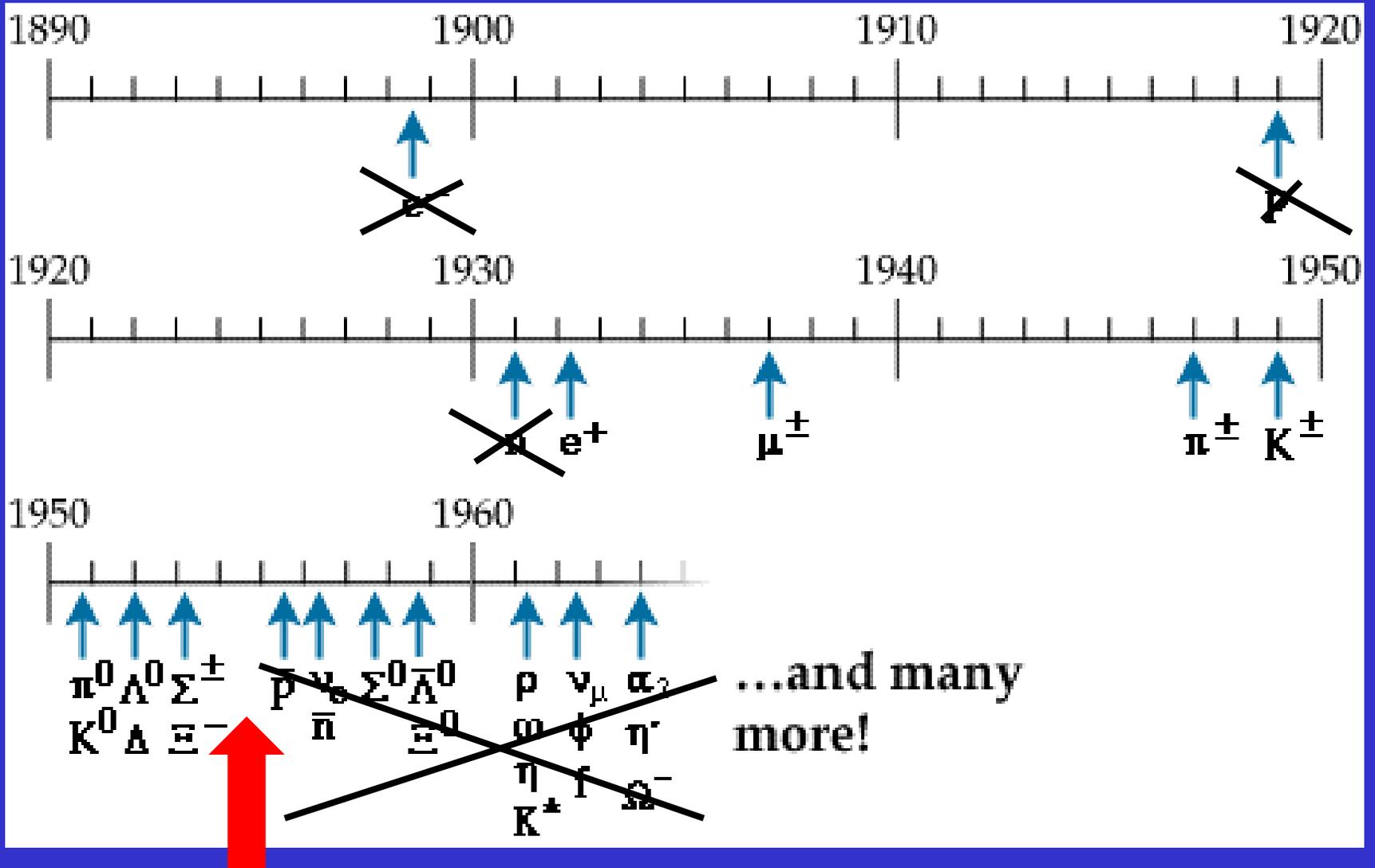
# Raggi Cosmici di Alta Energia nell'Universo



Dalla loro scoperta con Hesse, i raggi cosmici hanno contribuito in modo determinante alla scoperta di nuove particelle elementari

Wulf, Wilson, Anderson, Bothe, Kohlorster, Millikan, Blackett, Skobeltsyn, Rochester, Butler, Rossi, Pancini, Conversi, Powell, Blackett, Occhialini .....

$e^+$ ,  $\mu^+$ ,  $\mu^-$ ,  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ , K,  $\Lambda$ ,  $\Sigma$ ,  $\Xi^-$  ...



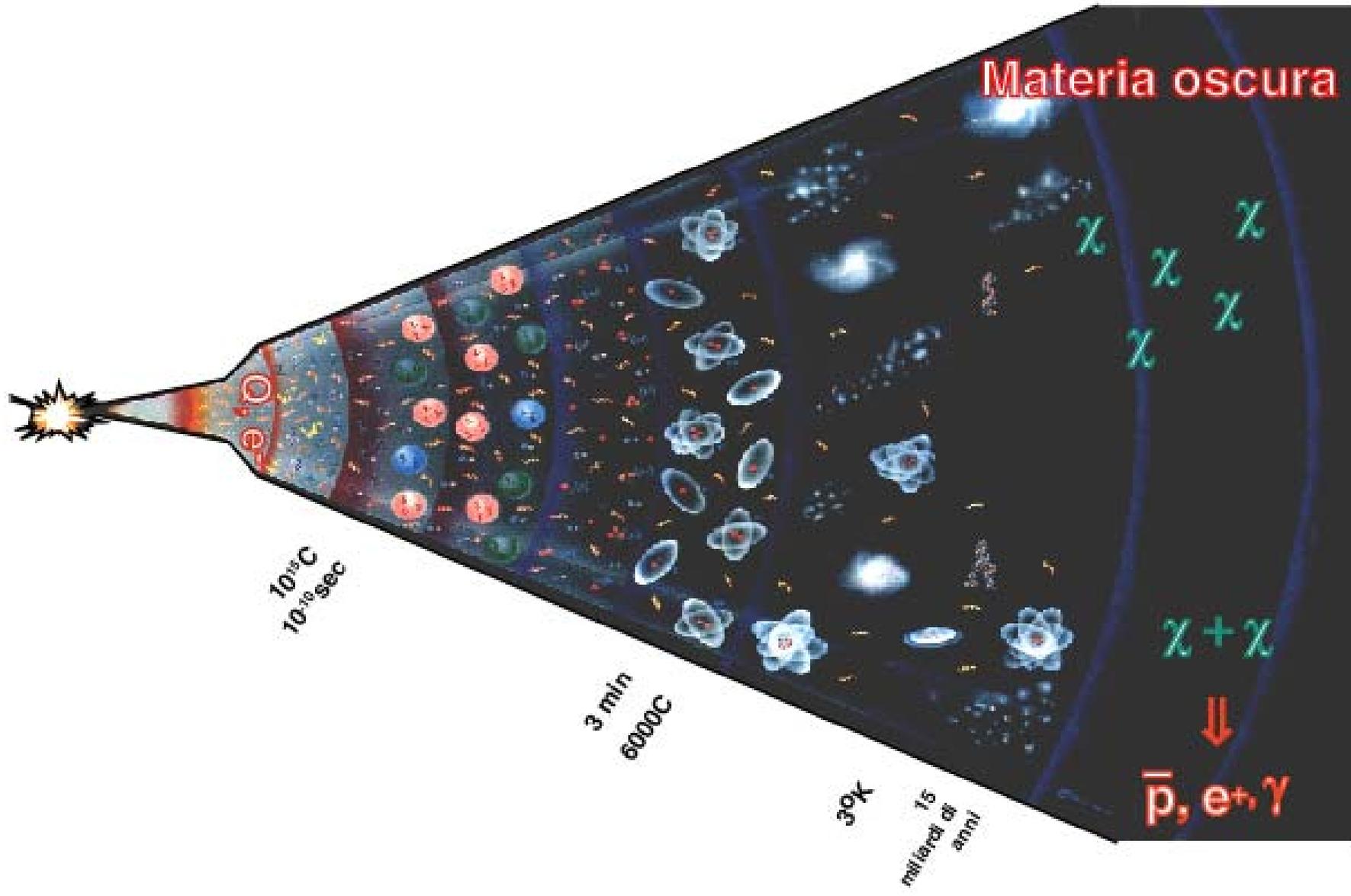
# Secondo esempio

**Studio Raggi Cosmici per la ricerca della  
materia oscura**

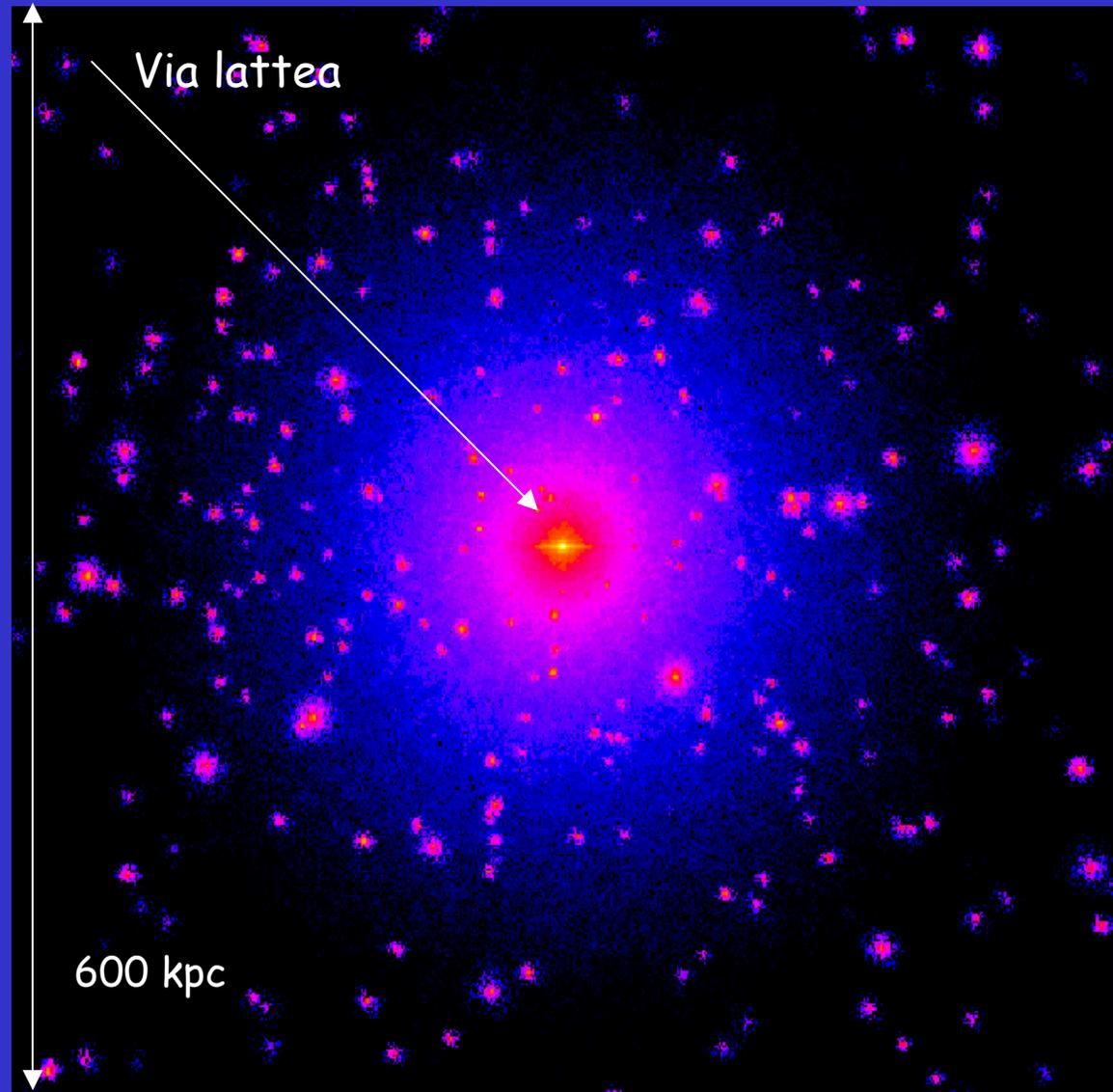
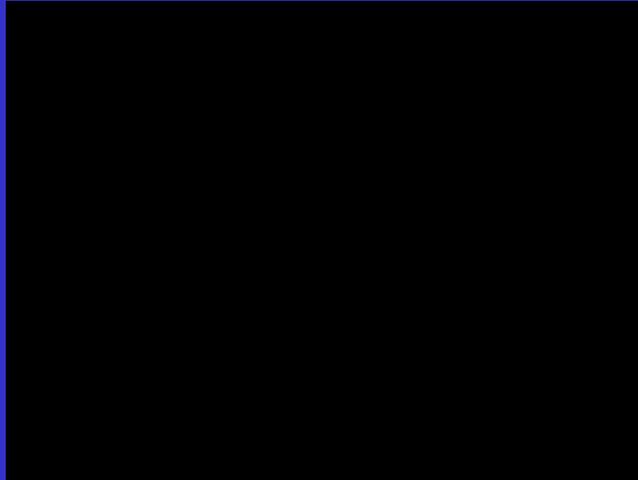
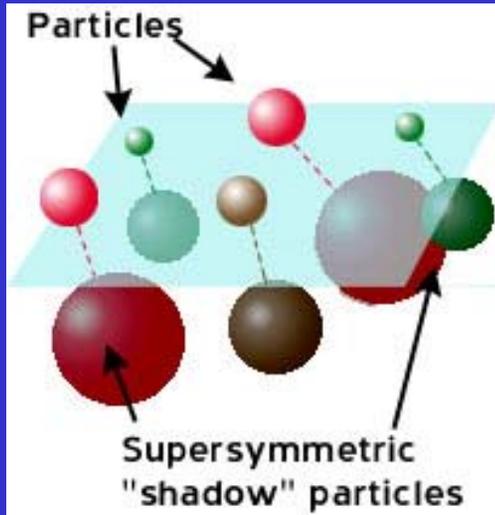
Esperimento DAMA al Gran Sasso (1995 → ....)

Esperimento AMS sulla ISS (2007 → )

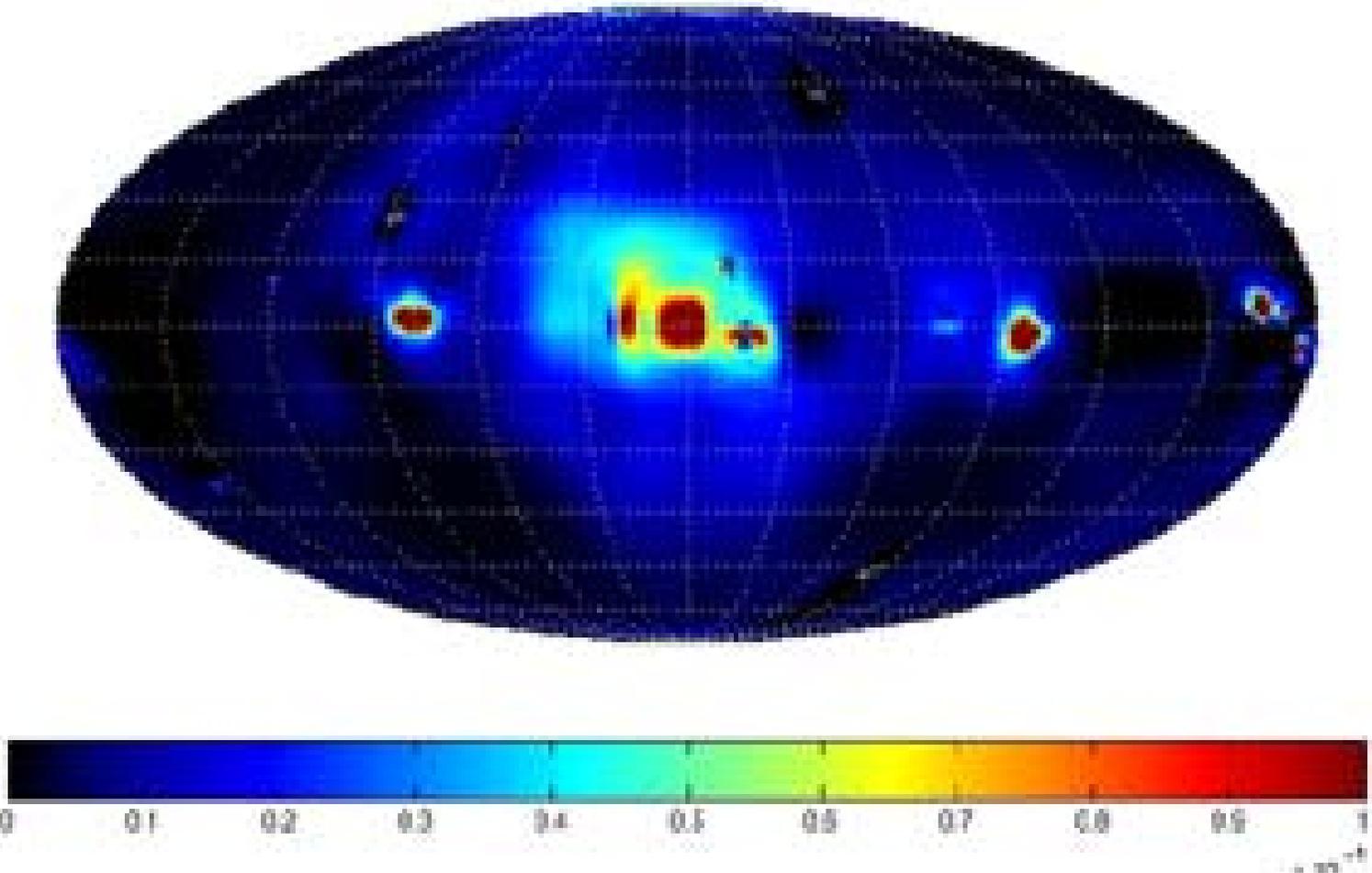




# Alone di materia oscura



# Ricerca della natura della materia oscura

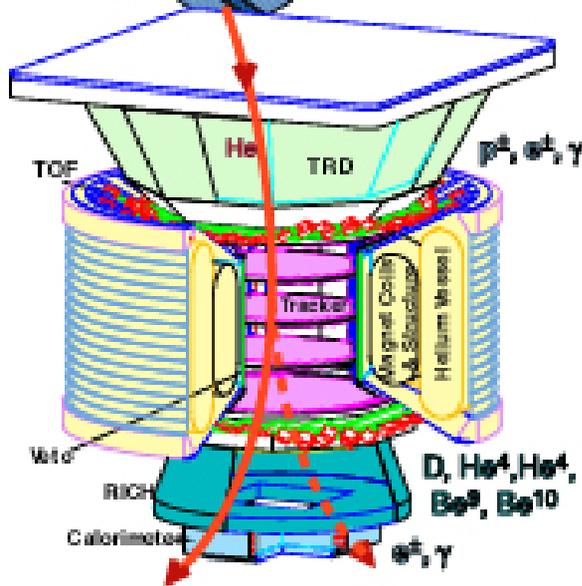
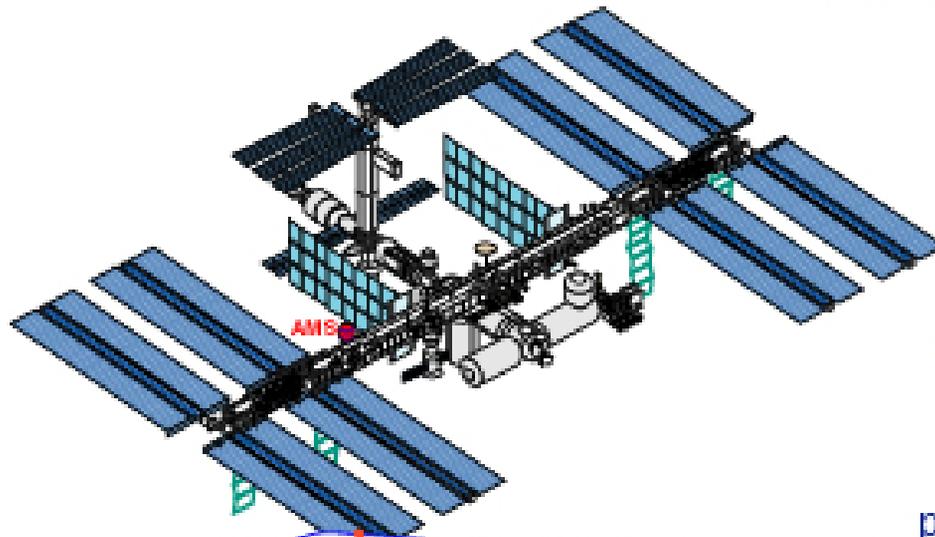


Flusso residuo di fotoni di alta energia osservato da EGRET possibile evidenza di materia oscura di tipo supersimmetrico

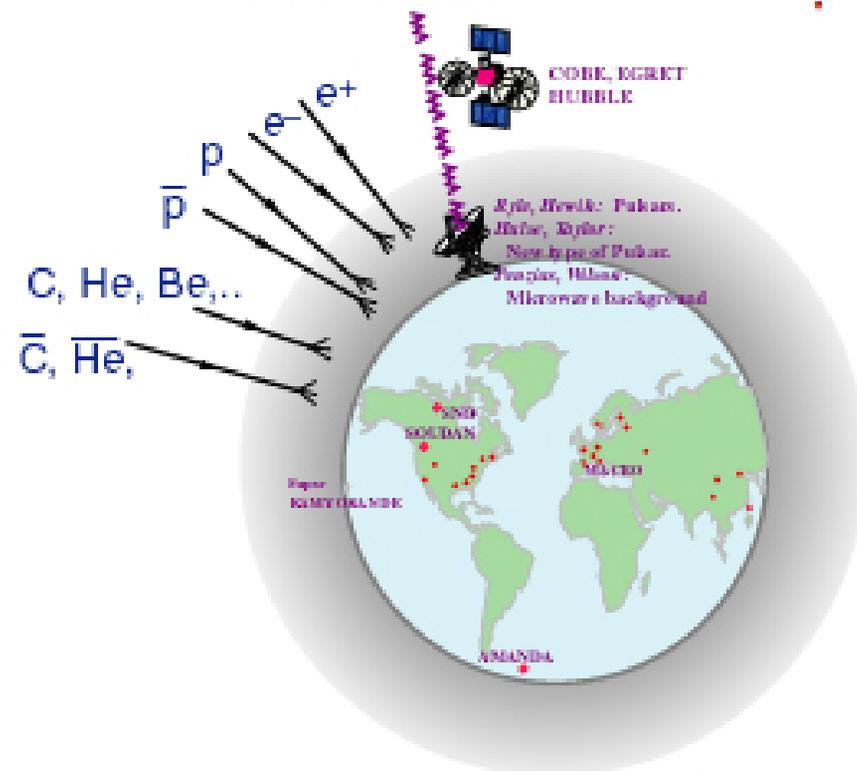
# AMS-02 sulla Stazione Spaziale Internazionale

Un rivelatore di particelle nello spazio

SUSY (Super Symmetry)  
Teorie Gran Unificate  
Violazione del numero Barionico  
Violazione di CP



Fotoni, Neutrini









EXIT

TON

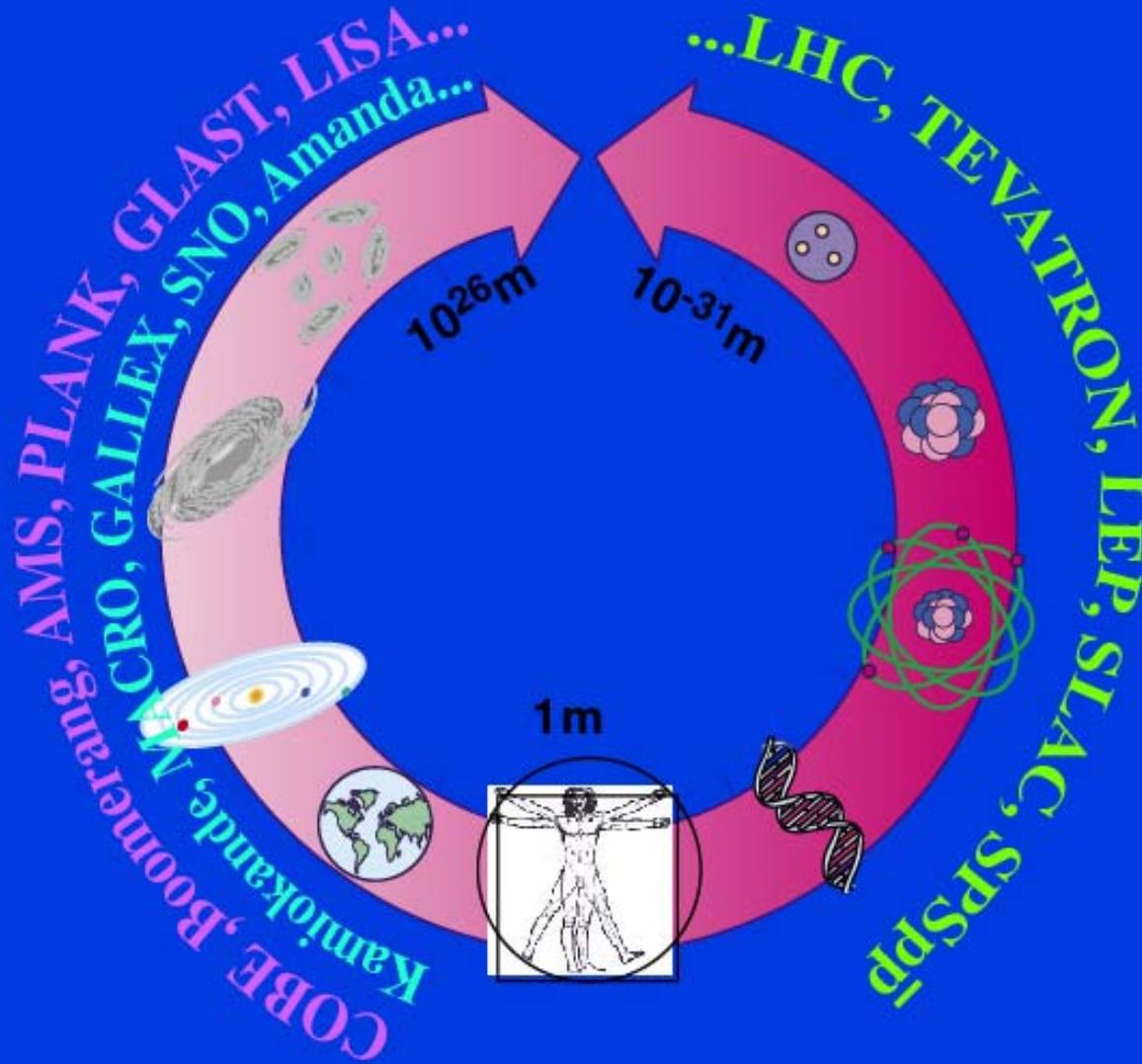
ONBOARD

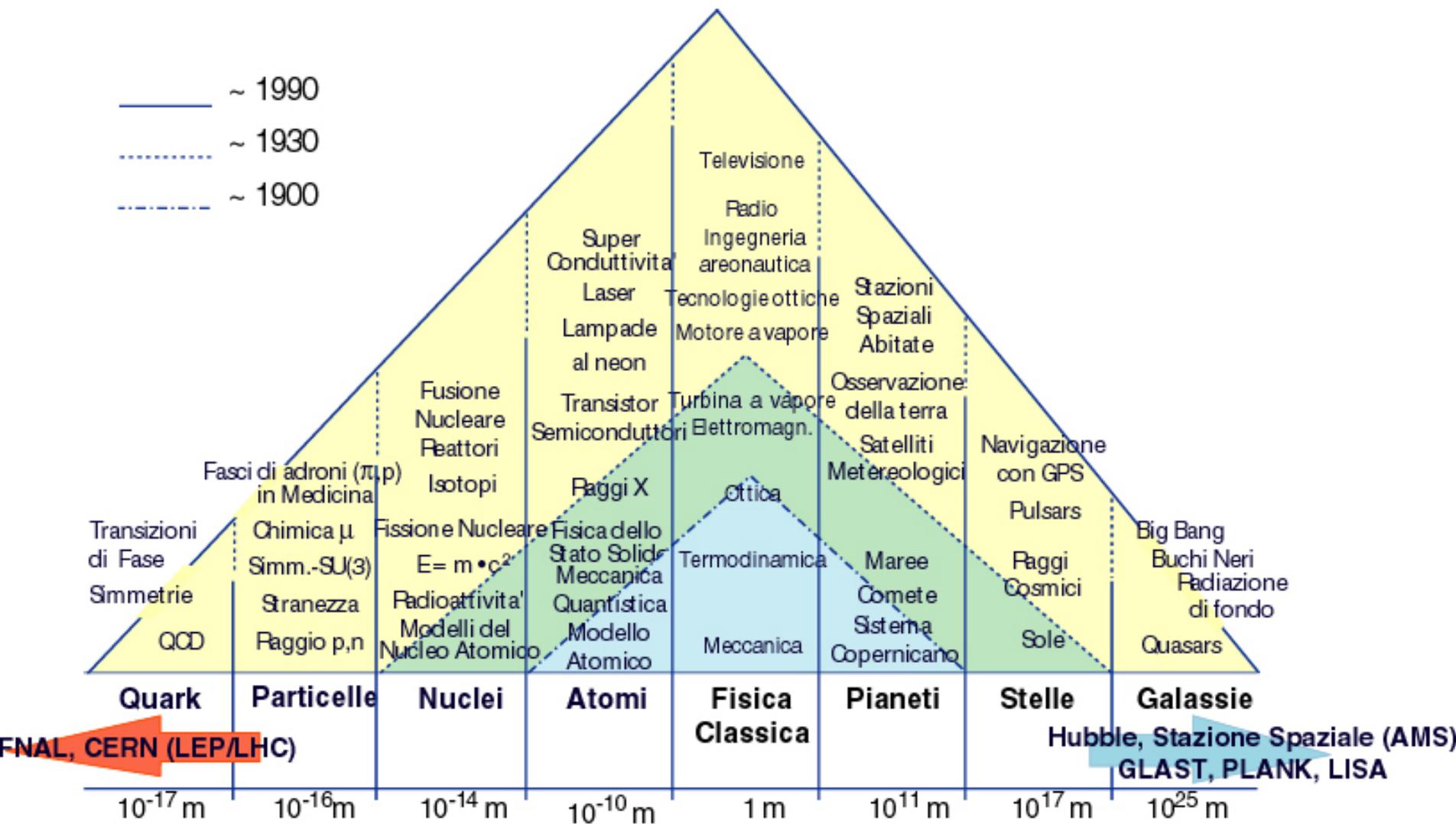
To FCB

# CONCLUSIONI

- C'è un crescente interesse per lo studio della Fisica Fondamentale nello Spazio e l'Italia con l'INFN e l'ASI è all'avanguardia nella sperimentazione in questo campo
- L'Universo è il Grande Laboratorio dove si possono studiare condizioni sperimentali spesso non ottenibili sulla terra

# Astro Particle Physics







# Tutti i colori dell' Universo

Roberto Battiston  
INFN e Università di Perugia  
Potenza  
2 maggio 2003