

Cosmologia moderna tra luce e ombra



MATTEO VIEL

INAF – Osservatorio Astronomico Trieste

GREGORIANUM 8 Maggio 2012

PIANO

Cosa e' la Cosmologia

Prove indirette delle strutture cosmiche: usare la luce per studiare l'ombra del cosmo

ESEMPI: ammassi di galassie
lenti gravitazionali
distribuzione delle galassie
fondo cosmico di microonde
supernovae
mezzo intergalattico

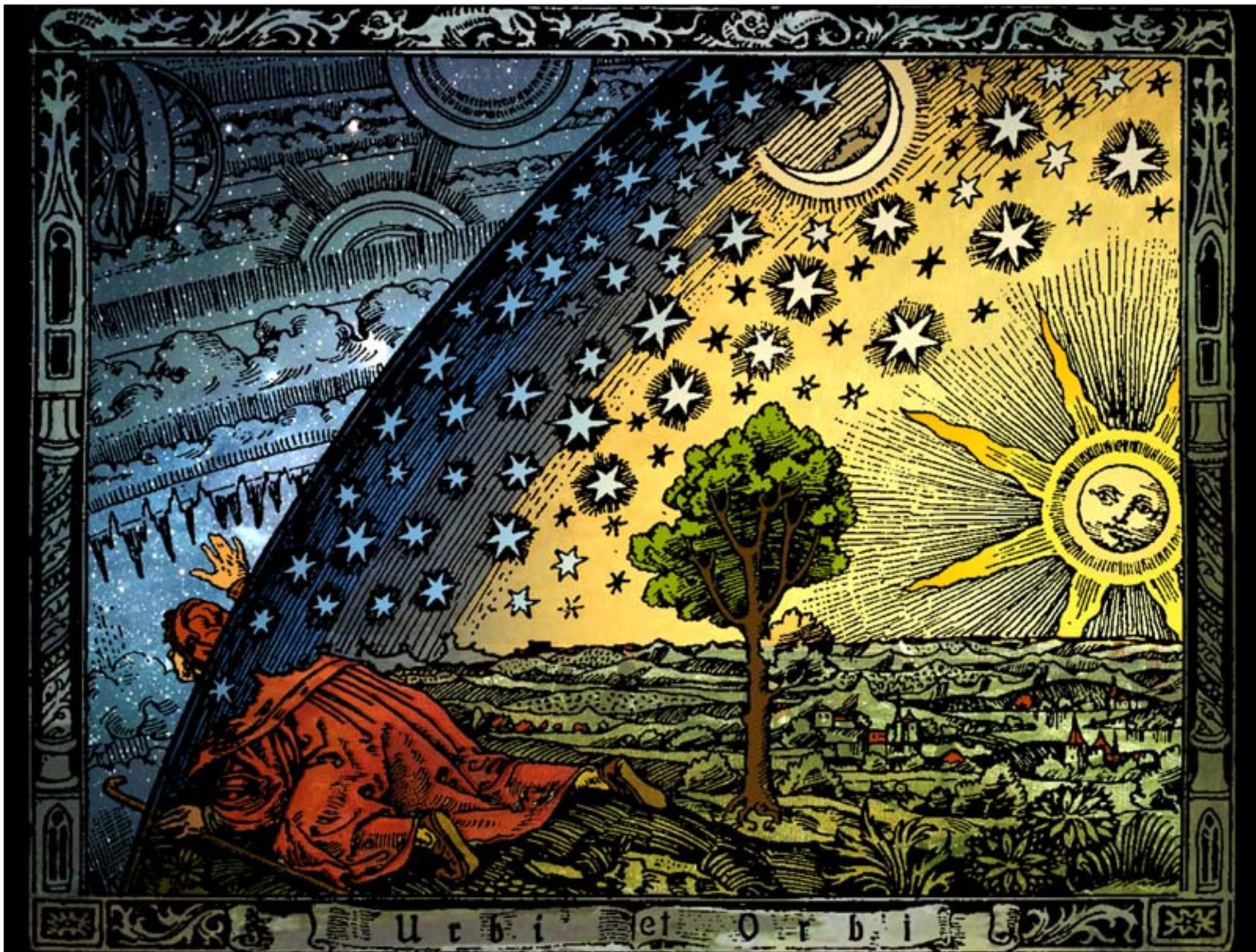
STRUMENTI DI INDAGINE: computer
campagne osservative in varie bande spettrali

Conclusioni

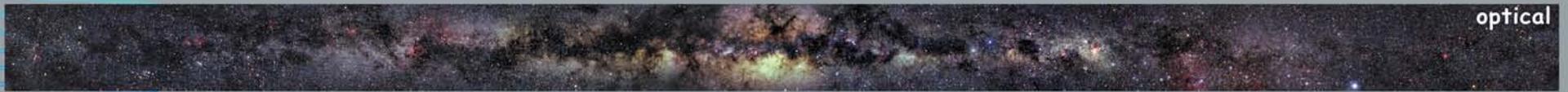
Cosmologia: **scienza** che studia l'Universo nel suo insieme e mira a spiegarne origine ed evoluzione. E' una scienza fisica interdisciplinare che interessa astronomia, astrofisica, relativita' generale, fisica delle particelle, etc.

Cosmologia: e' un aspetto del **sapere filosofico** e scientifico che studia la struttura materiale e le leggi che regolano l'universo concepito come sistema ordinato. In senso stretto la cosmologia si interessa dell'universo in riferimento allo spazio, al tempo e alla materia ed esclude dalla sua indagine le domande relative all'origine e al fine ultimo del cosmo (cosmogonia)

κόσμος *kósmos* - "ordine" + λόγος *lógos*, "discorso"

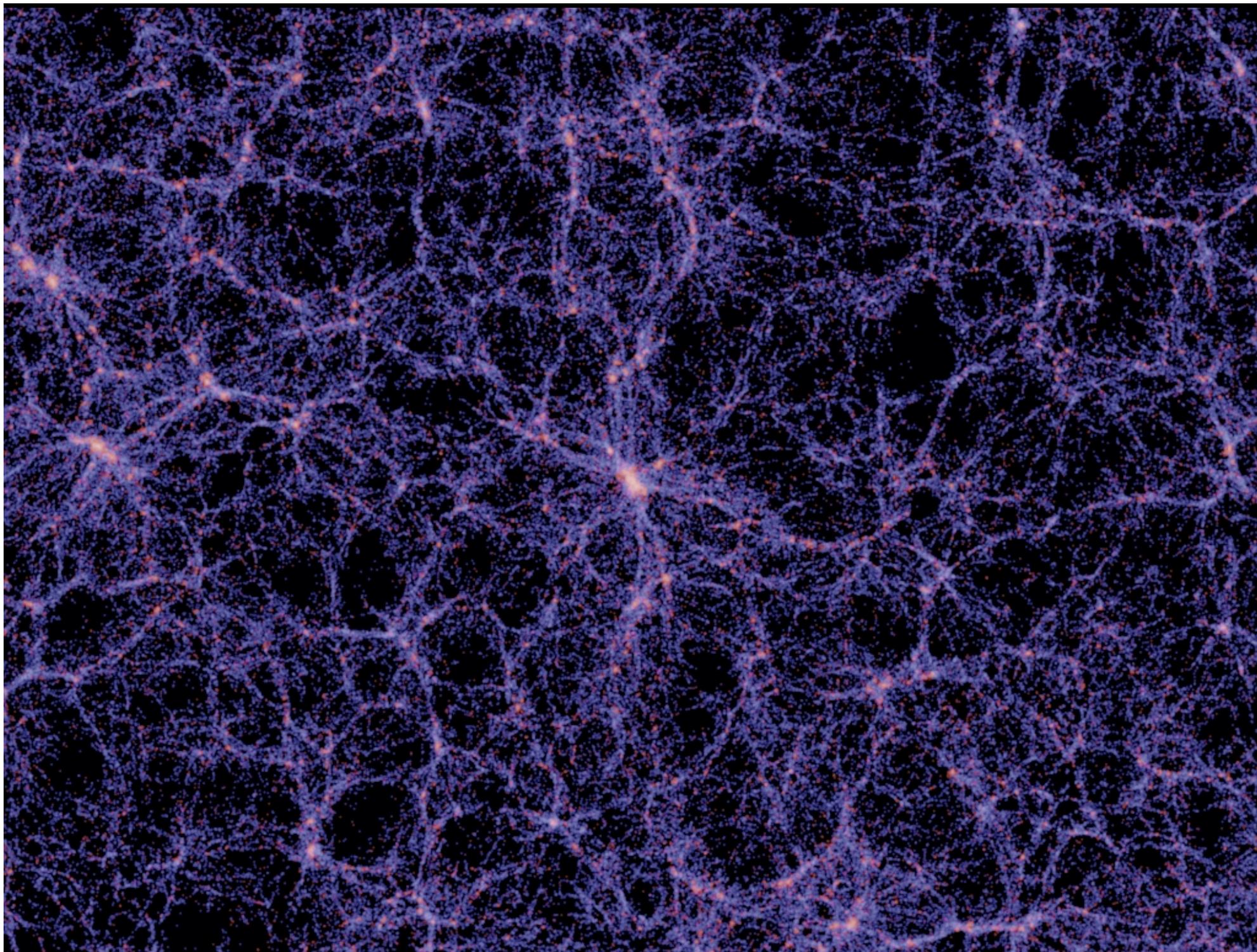


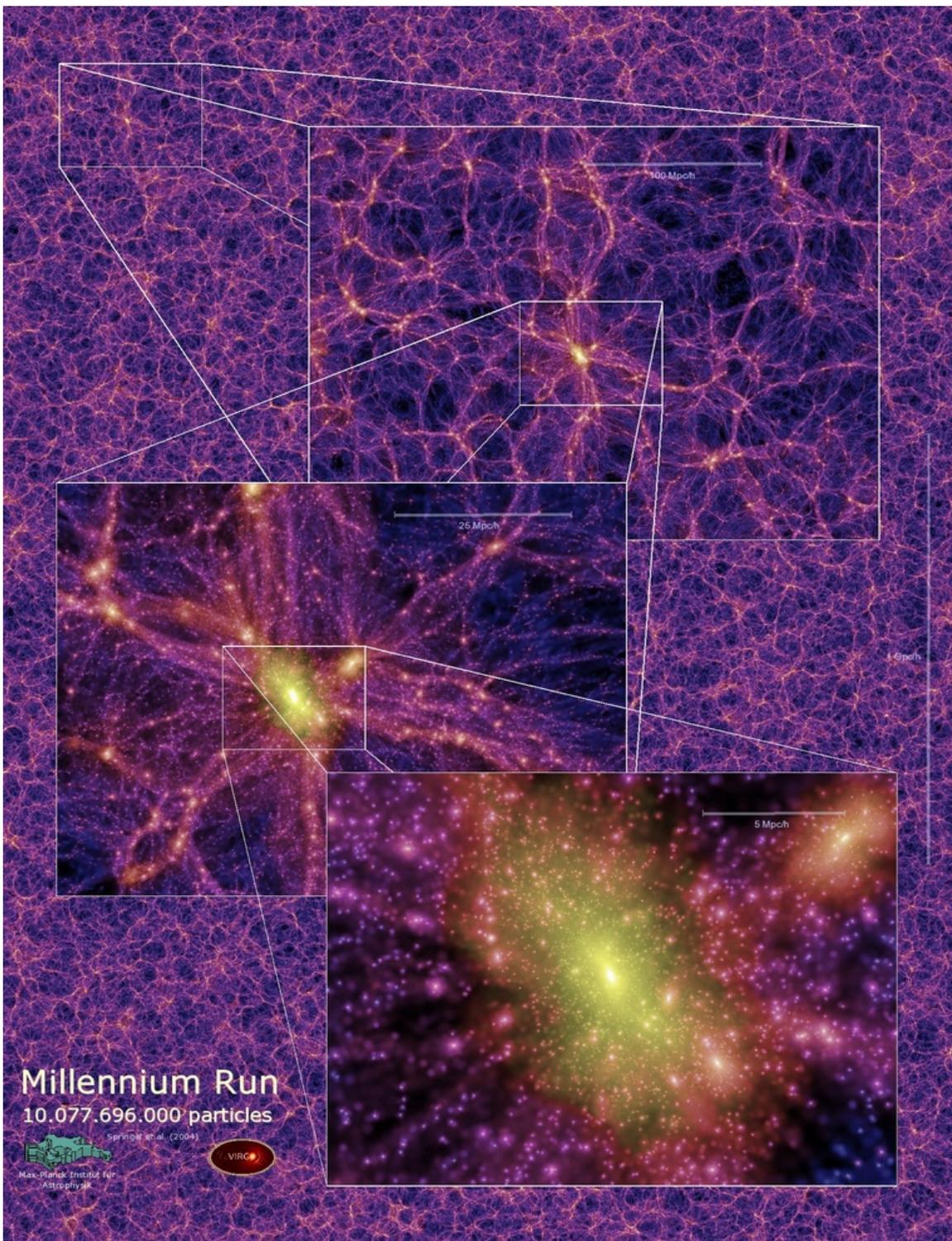
Urbis et Orbis



optical

111

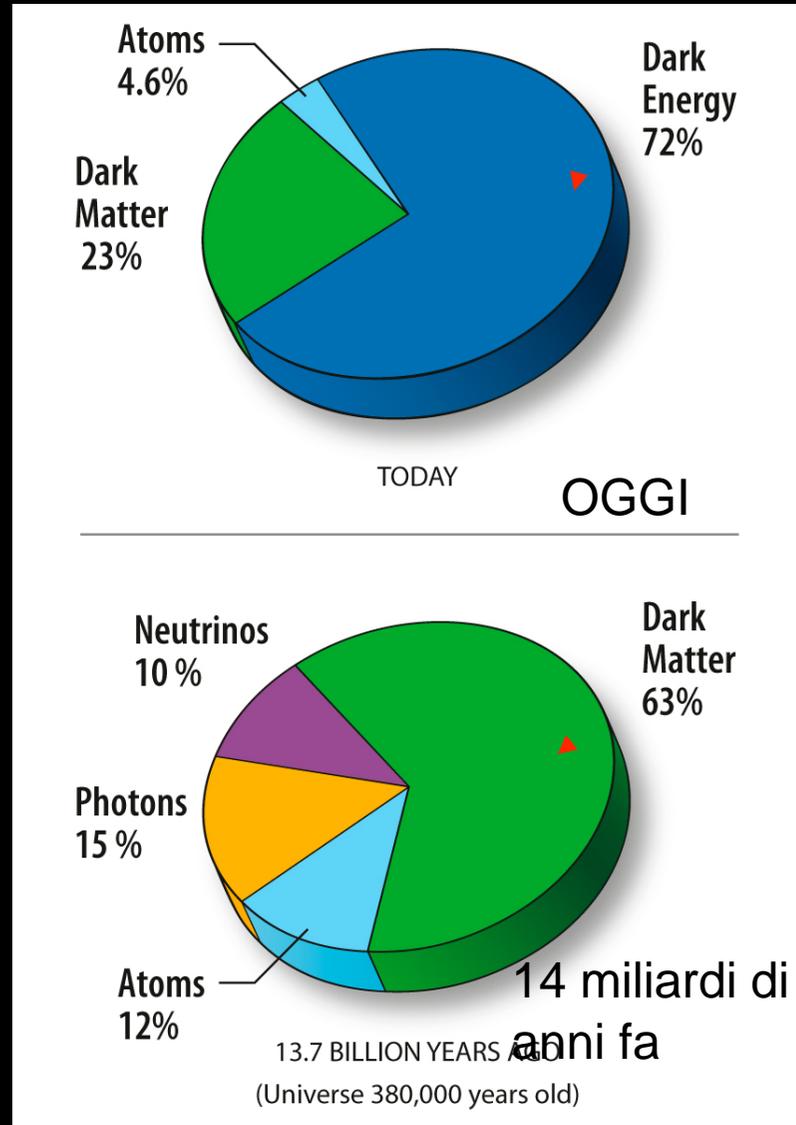




La materia oscura riempie l'Universo ...ma sfortunatamente è oscura cioè interagisce solo gravitazionalmente

Possiamo studiarne le proprietà tramite l'influenza che ha su strutture visibili

Causa l'espansione dell'Universo – Energia oscura DARK ENERGY

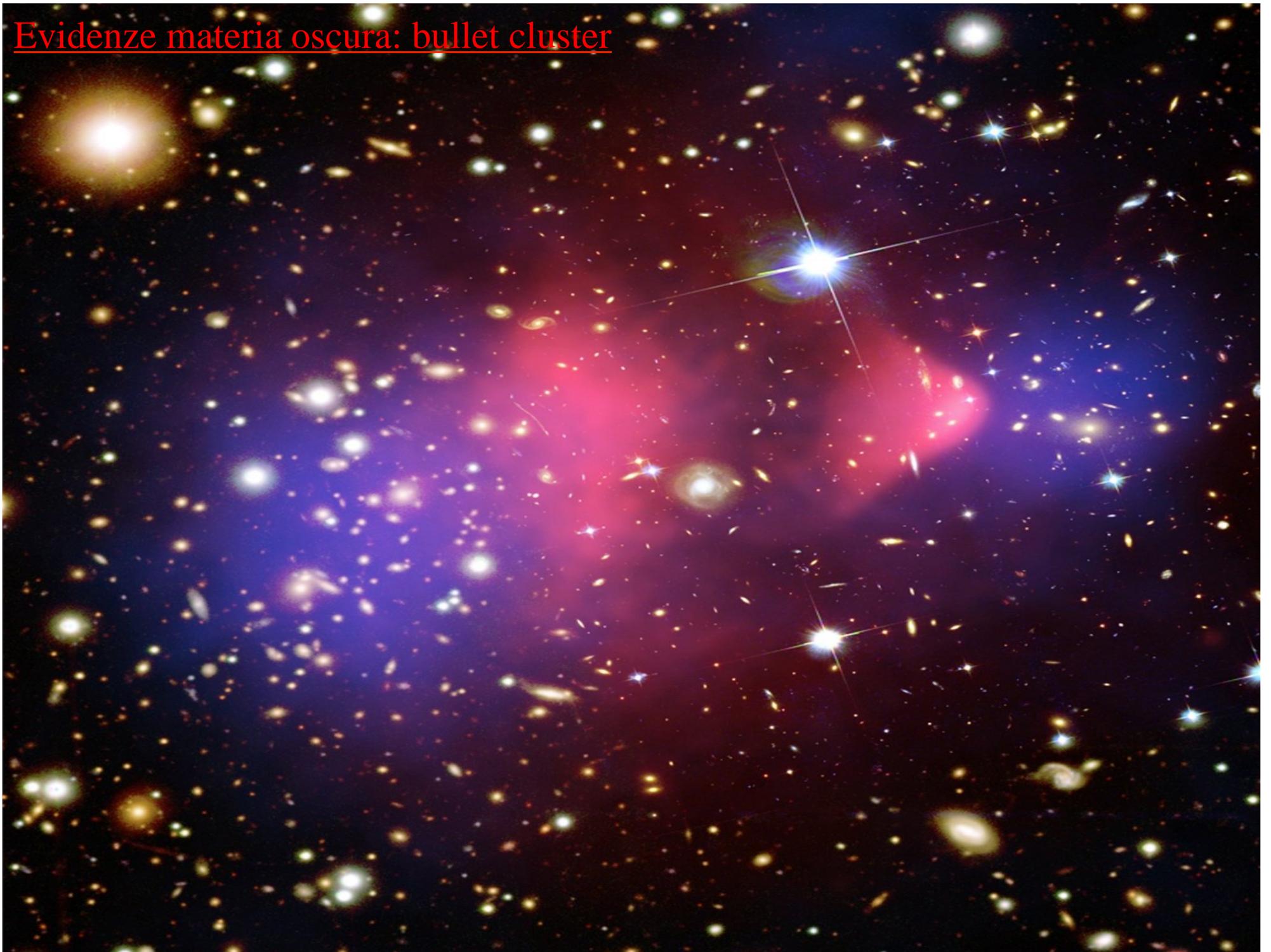


Causa la formazione delle strutture
Materia oscura
DARK MATTER

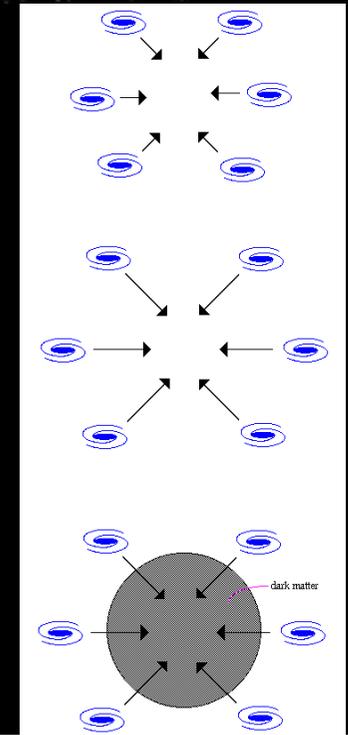
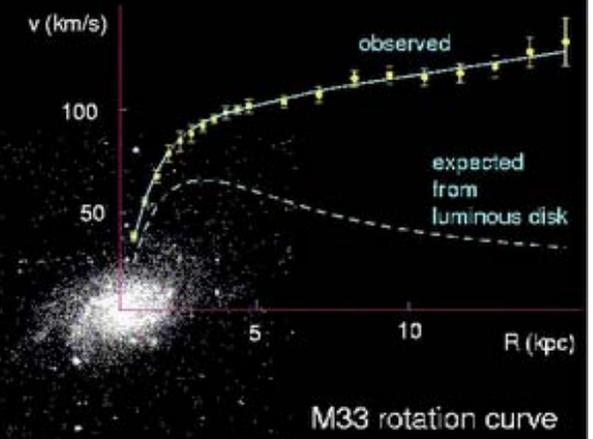
Solo questa è materia che brilla....
Galassie, ammassi di galassie, stelle, polvere
idrogeno, elio, carbonio, ossigeno, pianeti,
materiale intergalattico diffuso...

LE STRUTTURE COSMICHE

Evidenze materia oscura: bullet cluster



Evidenze materia oscura : velocità delle galassie



Evidenze materia oscura: il fondo cosmico di microonde



The Nobel Prize in Physics 2006

"for their discovery of the blackbody form and anisotropy of the cosmic microwave background radiation"



Photo: P. Izzo

John C. Mather

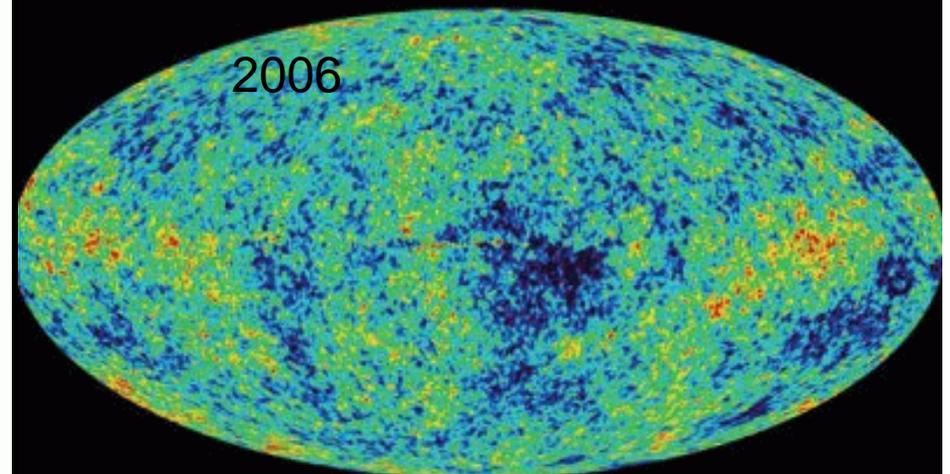
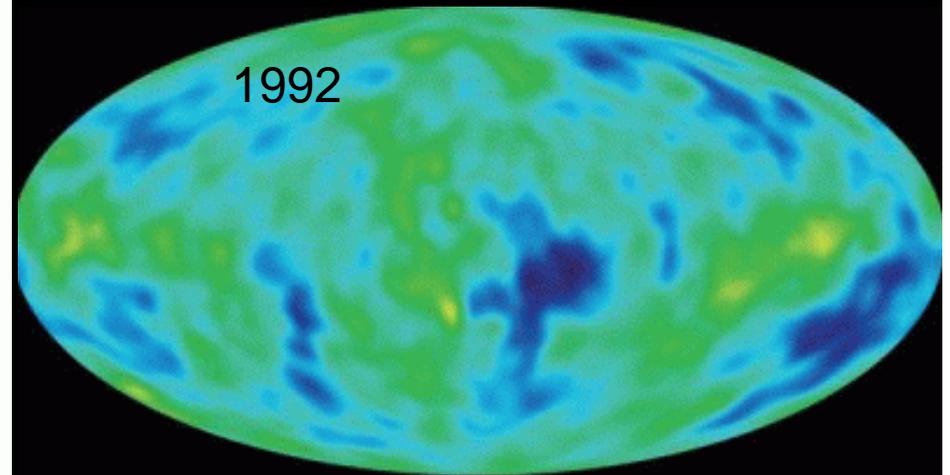
🕒 1/2 of the prize



Photo: J. Bauer

George F. Smoot

🕒 1/2 of the prize



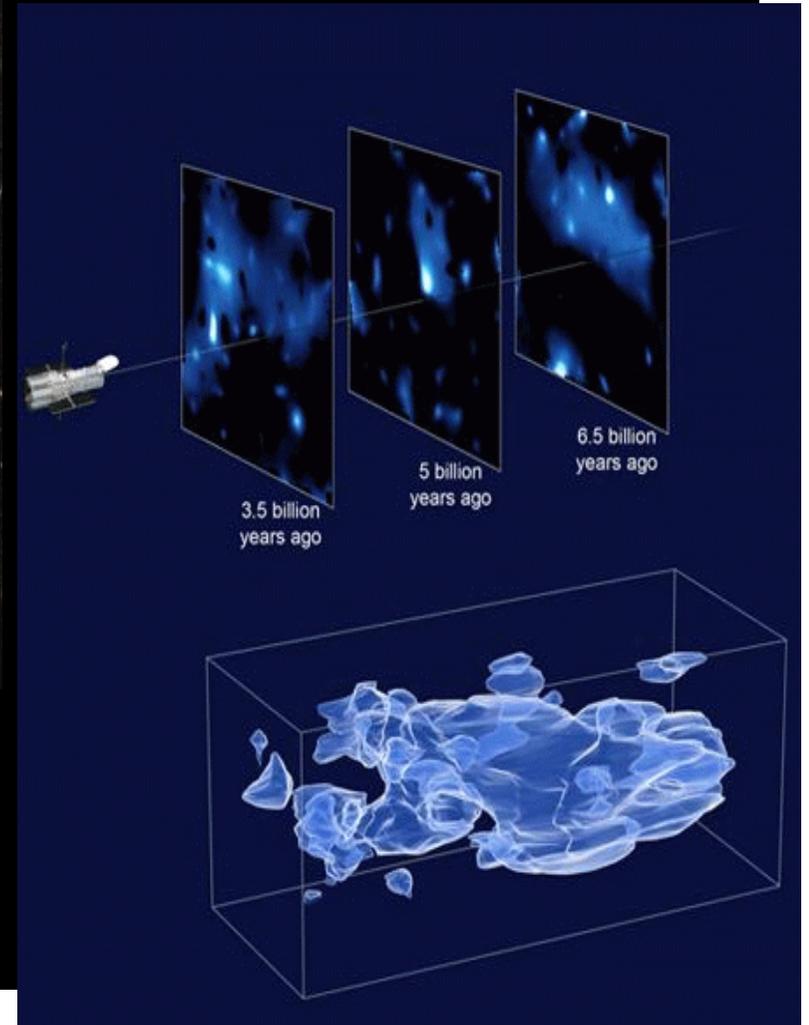
Evidenze materia oscura: il mezzo intergalattico

15.67

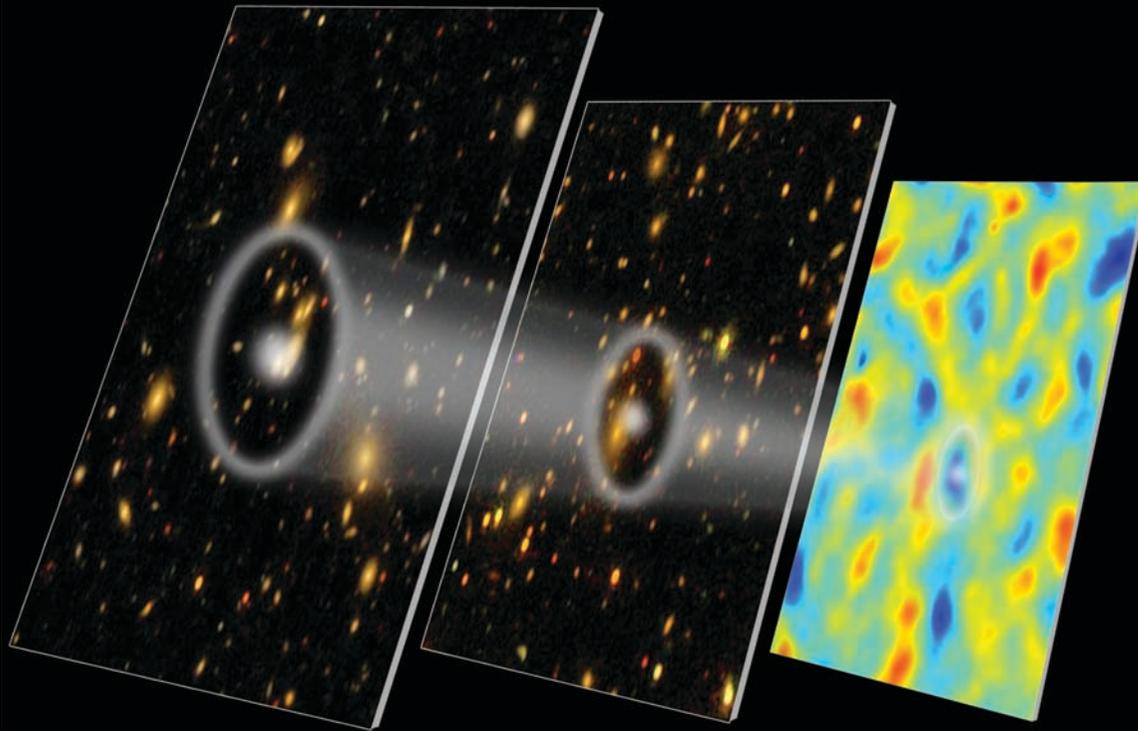
TRAGITTO DEI FOTONI



Evidenze materia oscura: lenti gravitazionali



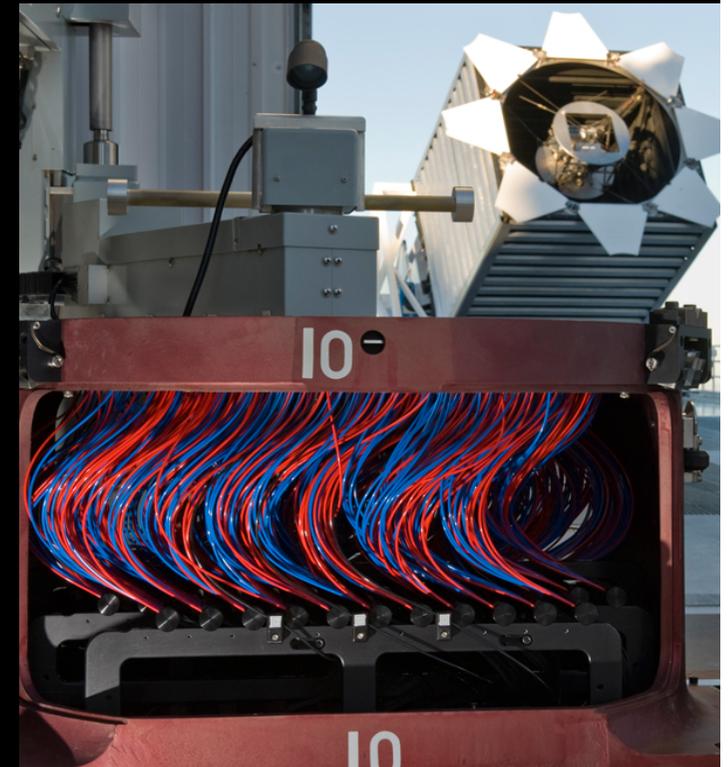
Evidenze materia/energia oscura: distribuzione galassie



Galaxy map 3.8 billion years ago

Galaxy map 5.5 billion years ago

CMB 13.7 billion years ago

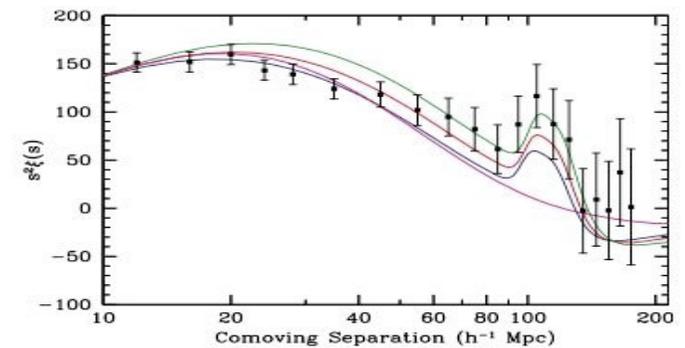


Evidenze materia/energia oscura: distribuzione galassie

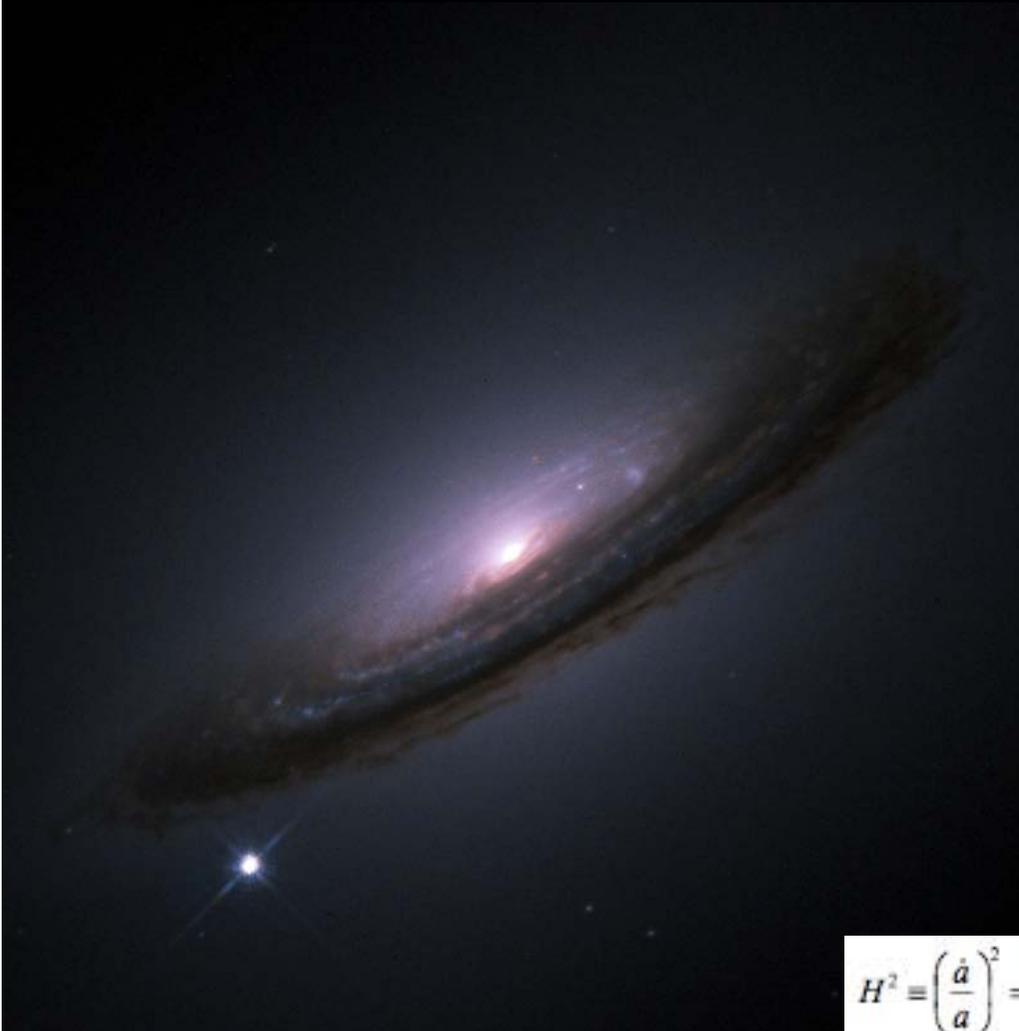
2.5-degree thick wedge of the redshift distribution of galaxies
MAIN galaxy sample has median redshift $z = 0.1$

$$dP = n[1 + \xi(\mathbf{r})]dV$$

$$\xi_F(\mathbf{x}) = \langle \delta_F(\mathbf{r}) \delta_F(\mathbf{r} + \mathbf{x}) \rangle = \int \frac{d^3\mathbf{k}}{(2\pi)^3} P_F(\mathbf{k}) \exp(-i\mathbf{k} \cdot \mathbf{x})$$



Evidenze materia/energia oscura: le Supernovae



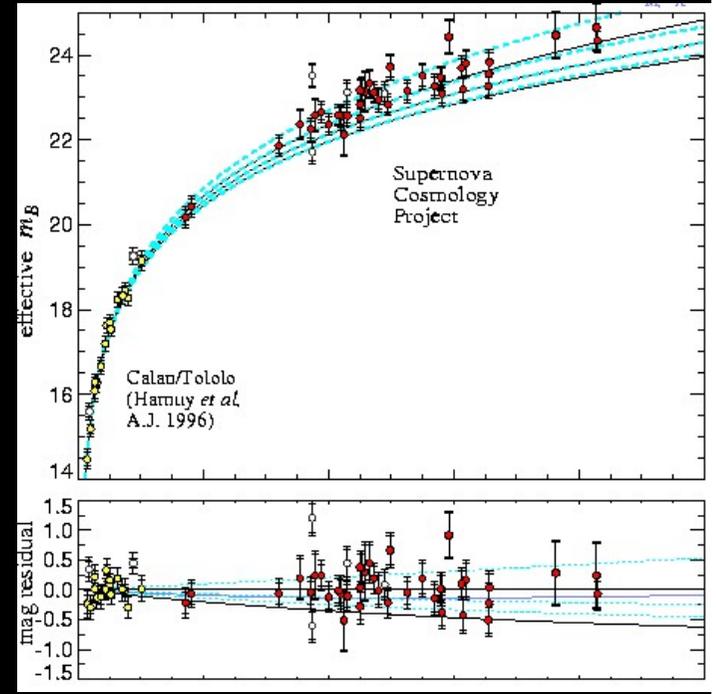
$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3}$$

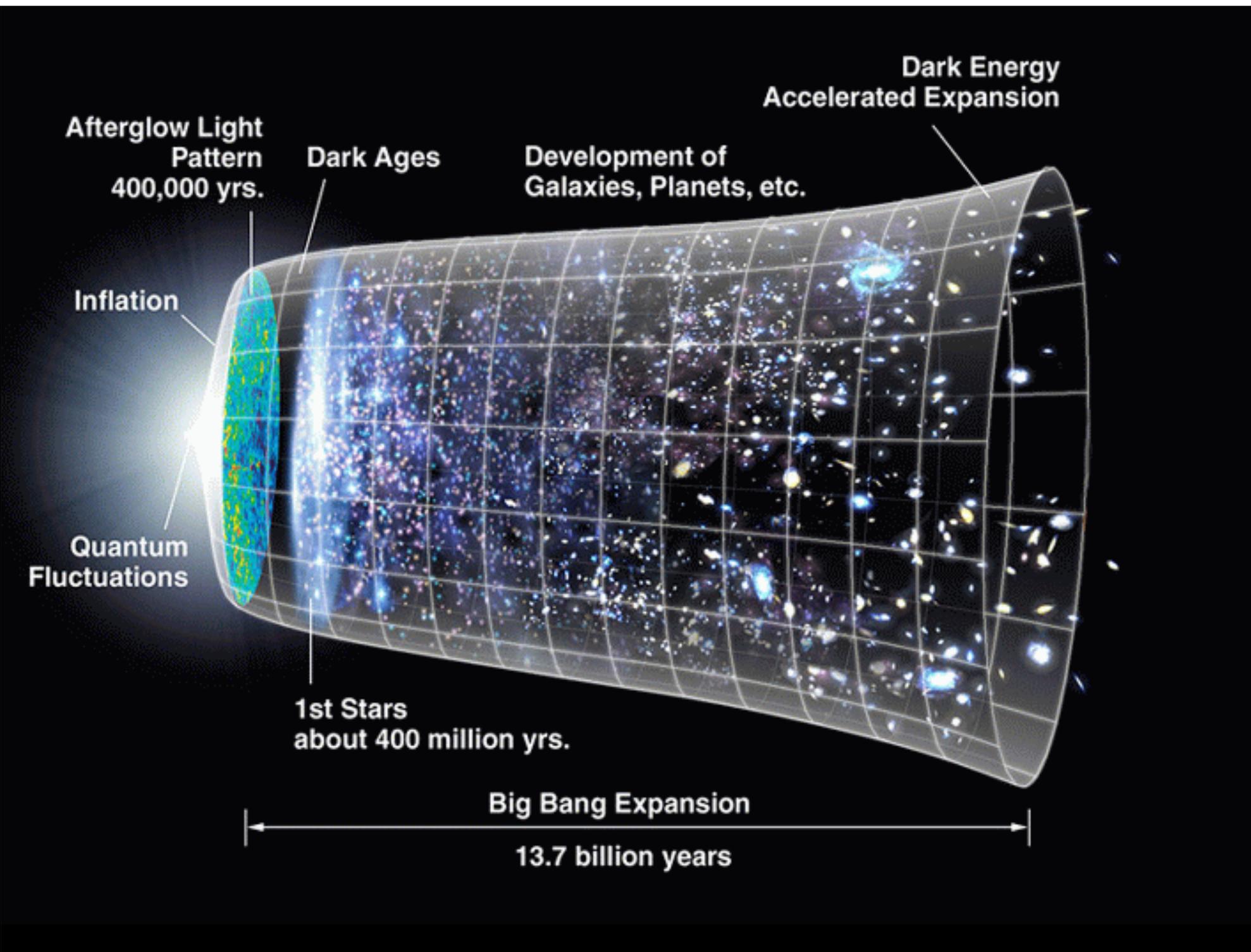
The Nobel Prize in Physics 2011
Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt, Adam G. Riess

The Nobel Prize in Physics 2011
Nobel Prize Award Ceremony
Saul Perlmutter
Brian P. Schmidt
Adam G. Riess

Photo: U. Mortan Photo: U. Mortan Photo: U. Mortan
Saul Perlmutter Brian P. Schmidt Adam G. Riess



L'UNIVERSO NELLA SUA GLOBALITÀ



L'UNIVERSO E LE SUE COMPONENTI

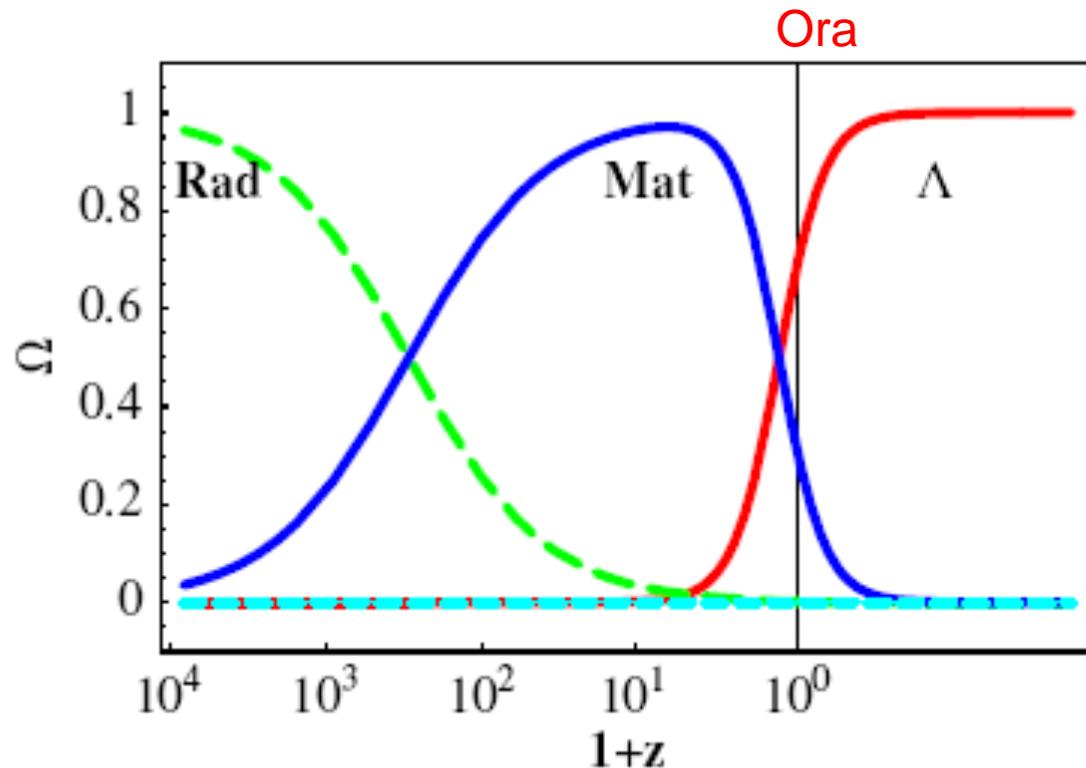
BARIONI (MATERIA ORDINARIA): FLUIDO CON PRESSIONE $P > 0$

DARK MATTER (MATERIA OSCURA): FLUIDO CON PRESSIONE $P = 0$
particelle non ancora scoperta (o piu' d'una?) che interagisce gravitazionalmente e la cui densita' diminuisce nel tempo a causa dell'espansione cosmica

DARK ENERGY (ENERGIA OSCURA): FLUIDO CON PRESSIONE $P < 0$
non interagisce con la materia, e' uniforme e costante nel tempo, non e' fatta di particelle ma e' una proprieta' dello spazio-tempo. Non e' una forza repulsiva o anti gravitazionale

Dinamica dell'Universo

3 ingredienti fondamentali sono radiazione, materia e costante cosmologica



Le varie componenti si Modellano come fluidi
Assumendo una relazione Pressione densita' e L'isotropia e omogeneita' Dell'Universo

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - K\frac{c^2}{a^2}$$

$$3\frac{\ddot{a}}{a} = -4\pi G\left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right)$$

$$\Omega \equiv \frac{\rho}{\rho_c} = \frac{8\pi G}{3H^2}\rho$$

a : e' la misura dell'universo

ρ : e' la densita' in energia della componente (fluido)

p : e' la pressione (negativa per l'energia oscura, positiva per la materia ordinaria, nulla per la materia oscura)

K : e' il termine di curvatura che descrive la geometria globale dell'universo

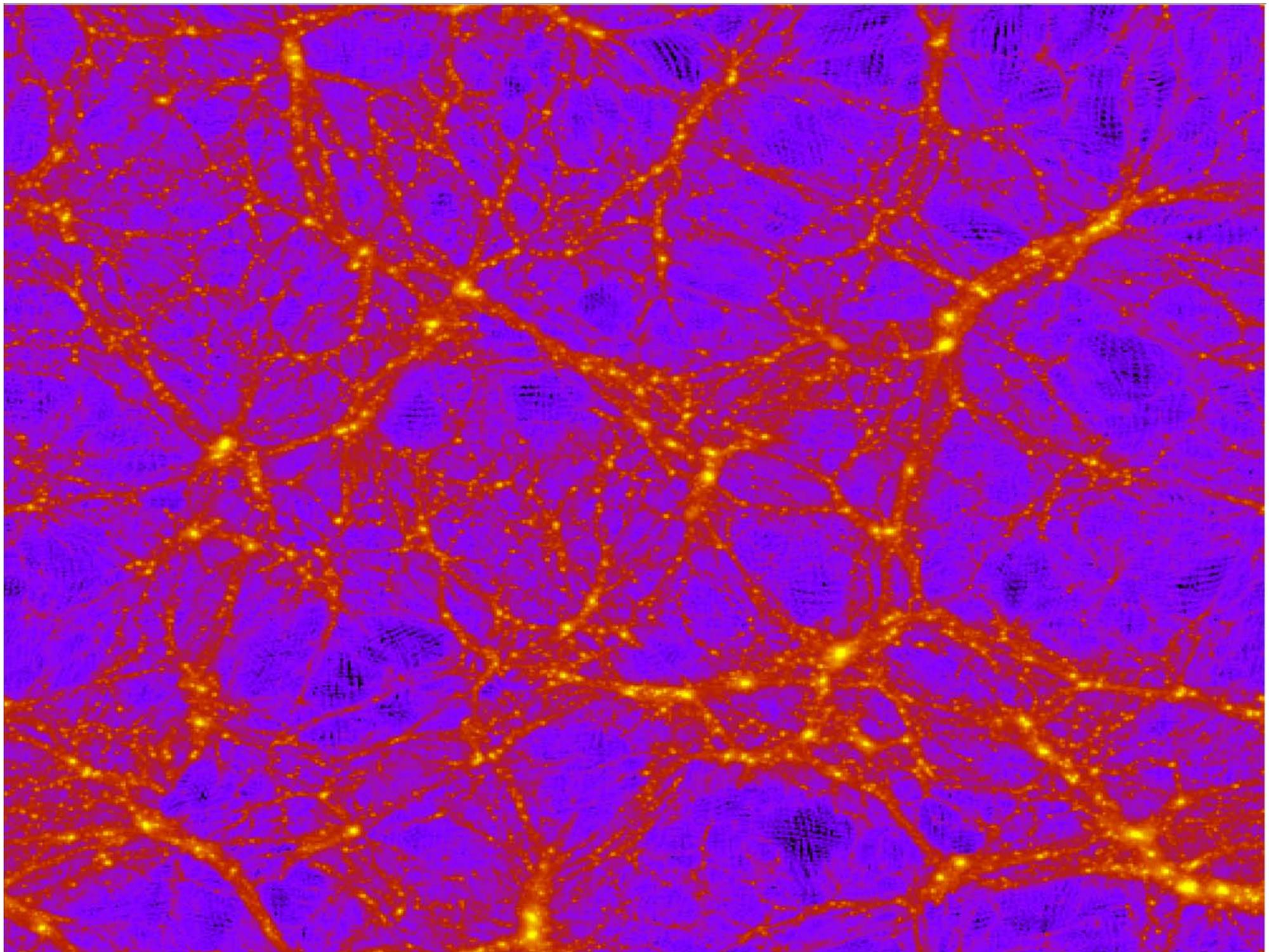
Z : redshift o coordinate temporale, $z=0$ significa

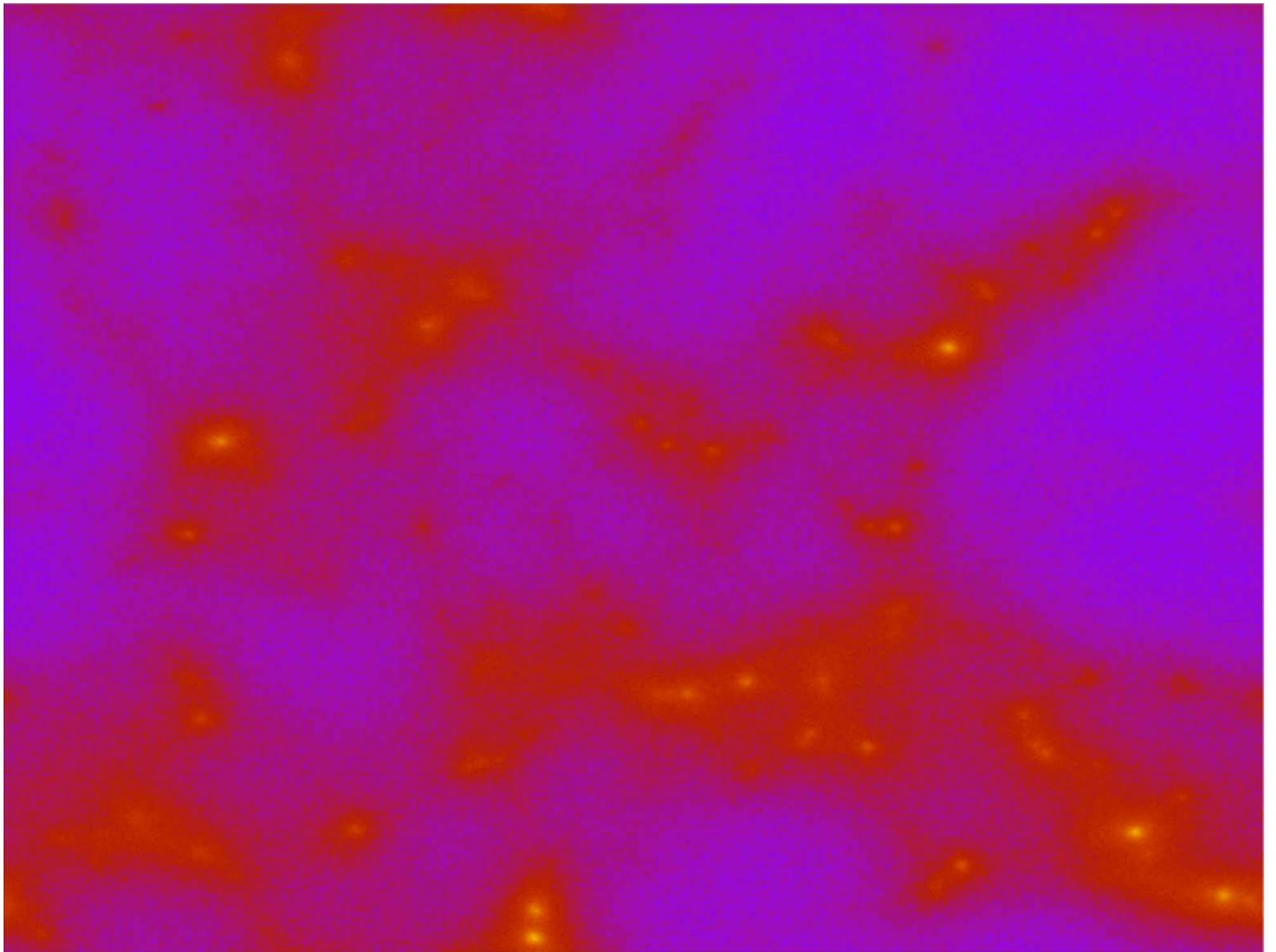
STRUMENTI DI INDAGINE

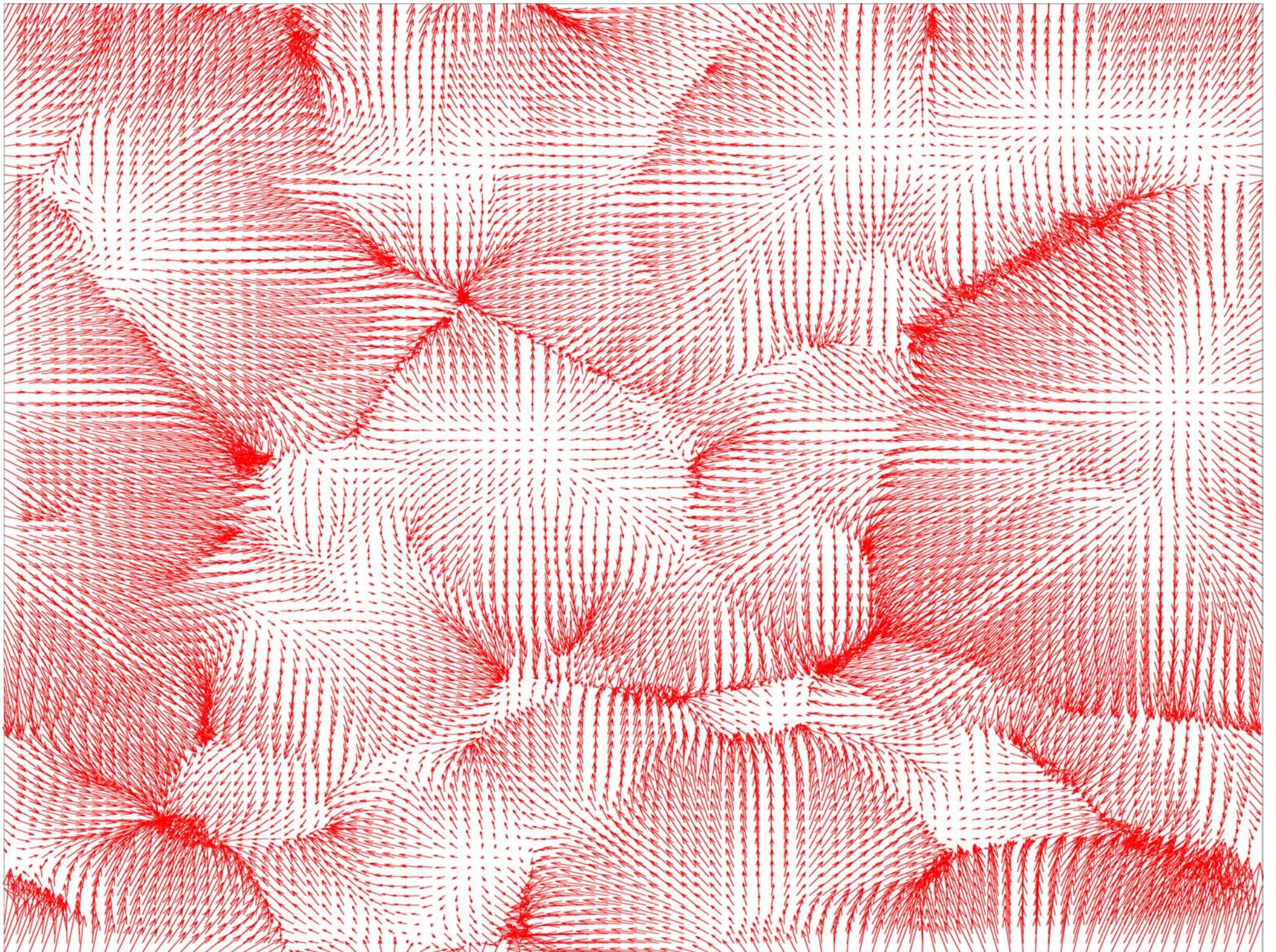
Simulazioni Cosmologiche su supercomputer paralleli

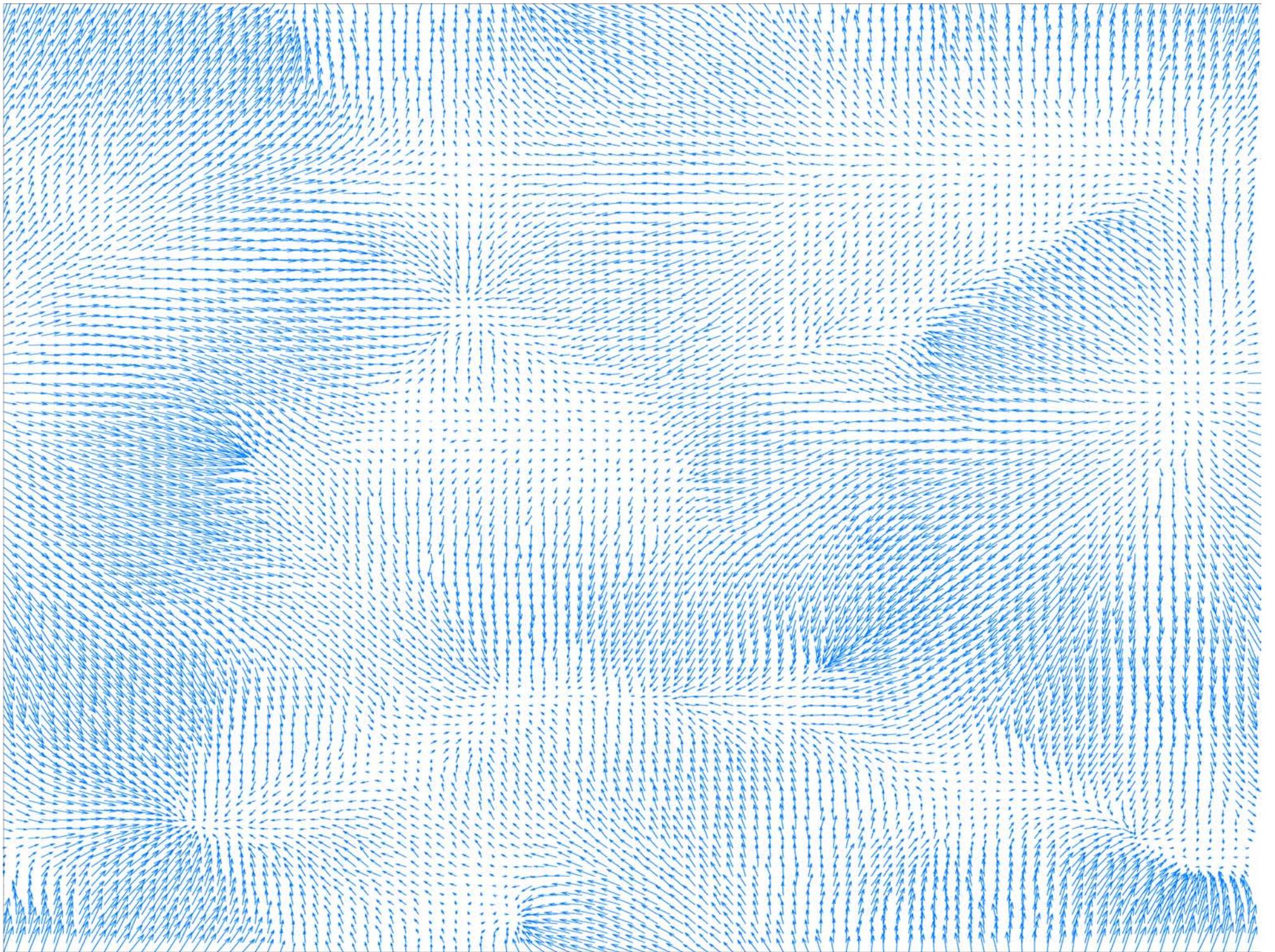


NEUTRINI

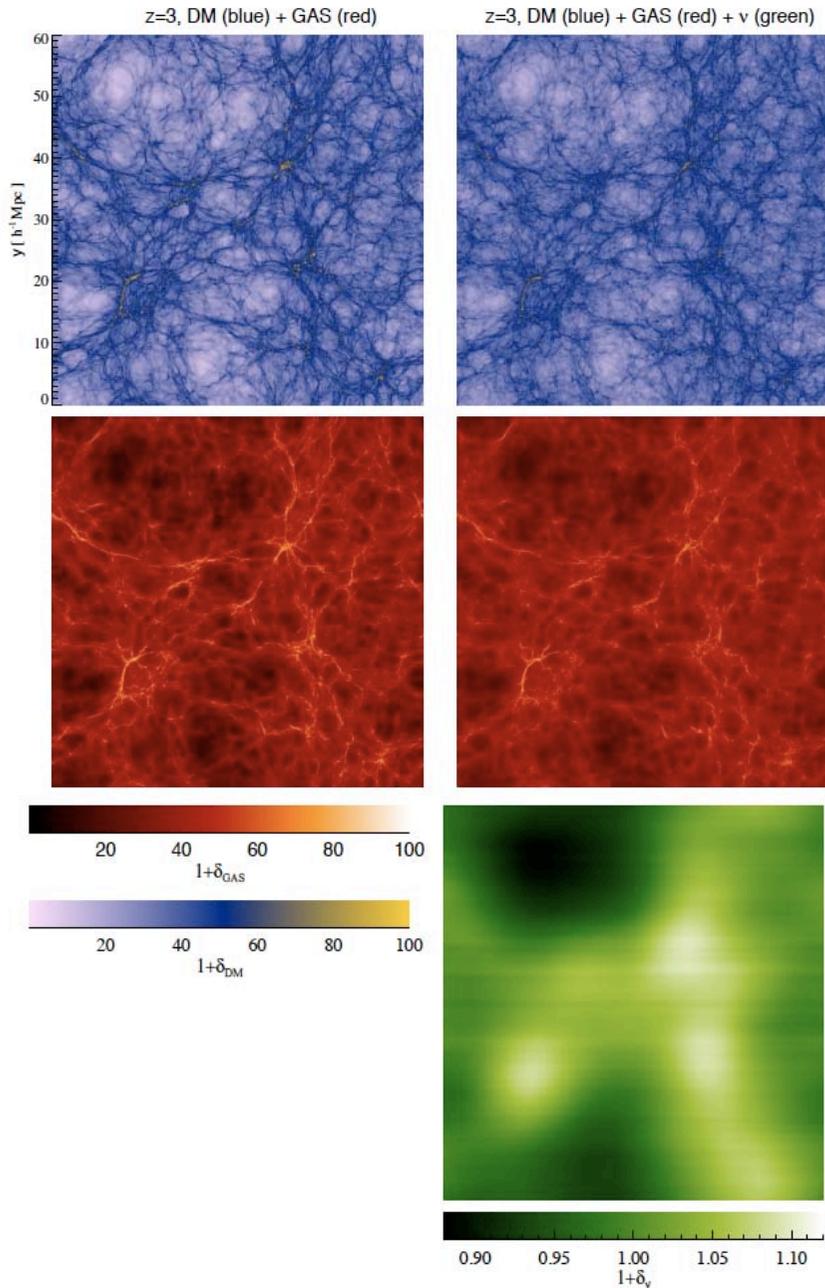








NEUTRINI nel mezzo intergalattico (IGM)



$$\bar{n}_\nu(z) = \int_0^\infty n_\nu(p, z) dp \cong 113(1+z)^3 \frac{v}{\text{cm}^3}$$

$$\bar{V}_\nu(z) = \frac{1}{n_\nu(z)} \frac{1}{m_\nu} \int_0^\infty n_\nu(p, z) p dp \cong 160(1+z) \left(\frac{eV}{m_\nu} \right) \text{km/s}$$

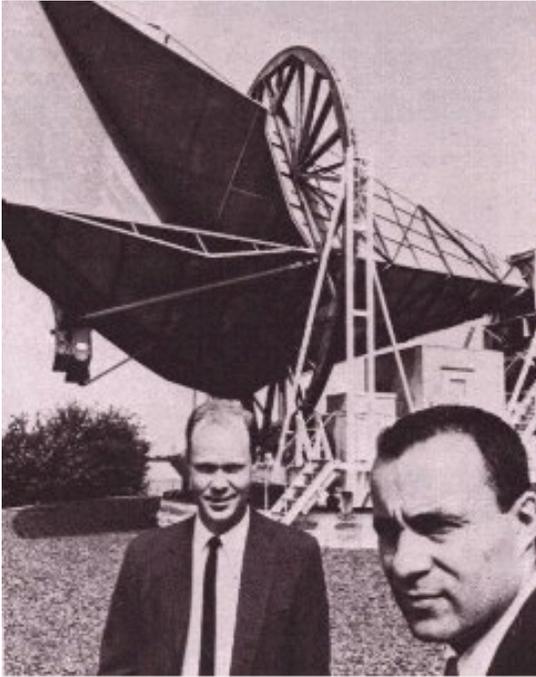
$$M_\nu < 0.9-1 \text{ eV } (2\sigma)$$

FONDO COSMICO DI MICROONDE

Il fondo cosmico di microonde: radiazione uniforme



The Nobel Prize in Physics 1978

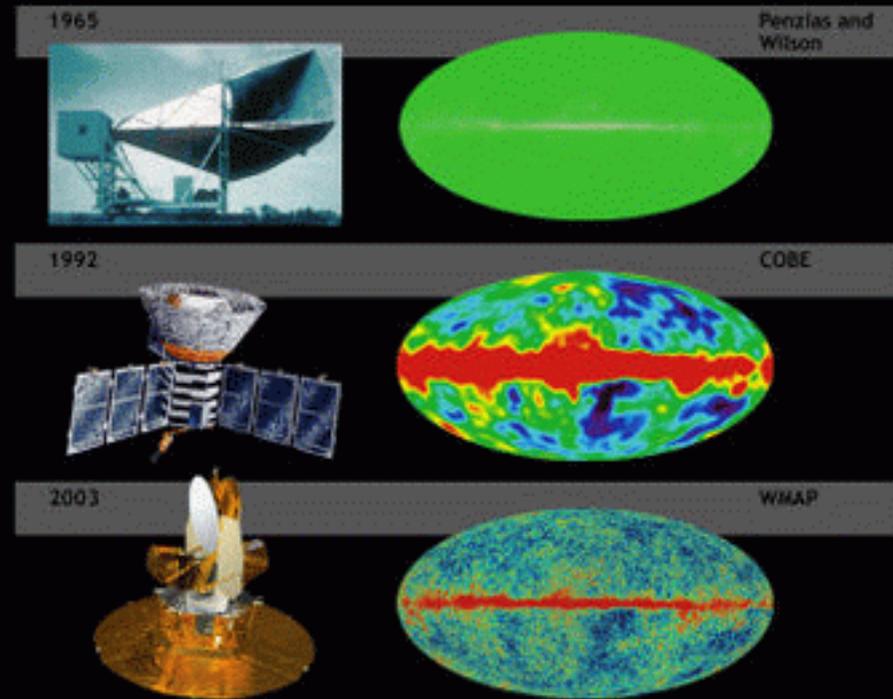
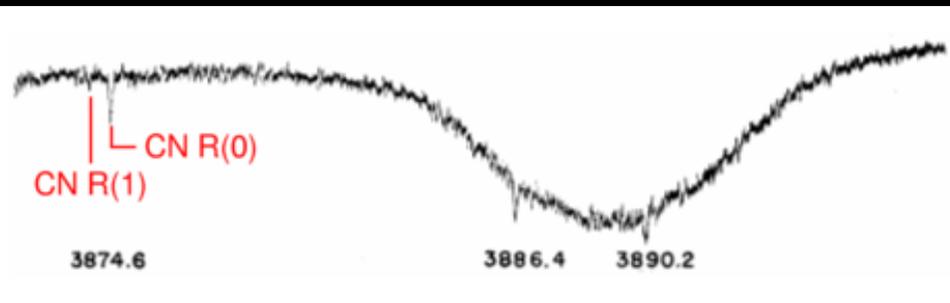


La piu' grande scoperta serendipita della storia della Fisica che indica come l'Universo fosse estremamente caldo 300.000 anni dopo la sua nascita (big bang?).

Incidentalmente scoperta da McKellar nel 1941 che misuro' L'eccitazione della molecola CN.

Herzberg nel 1950 commenta: "l'eccitazione del CN ha un interesse fisico molto ristretto"

$T=2.73$ K segnale radio – 7 cm lunghezza d'onda



II satellite Planck

2000 Kg
1600 W consumption
2 instruments - HFI & LFI
21 months nominal mission



Telescope with a 1.5 m diameter primary mirror

HFI focal plane with cooled instruments

Platform:

- Avionic (attitude control, data handling)
- Electrical power
- Telecommunications and electronic instruments

Solar panel and service module



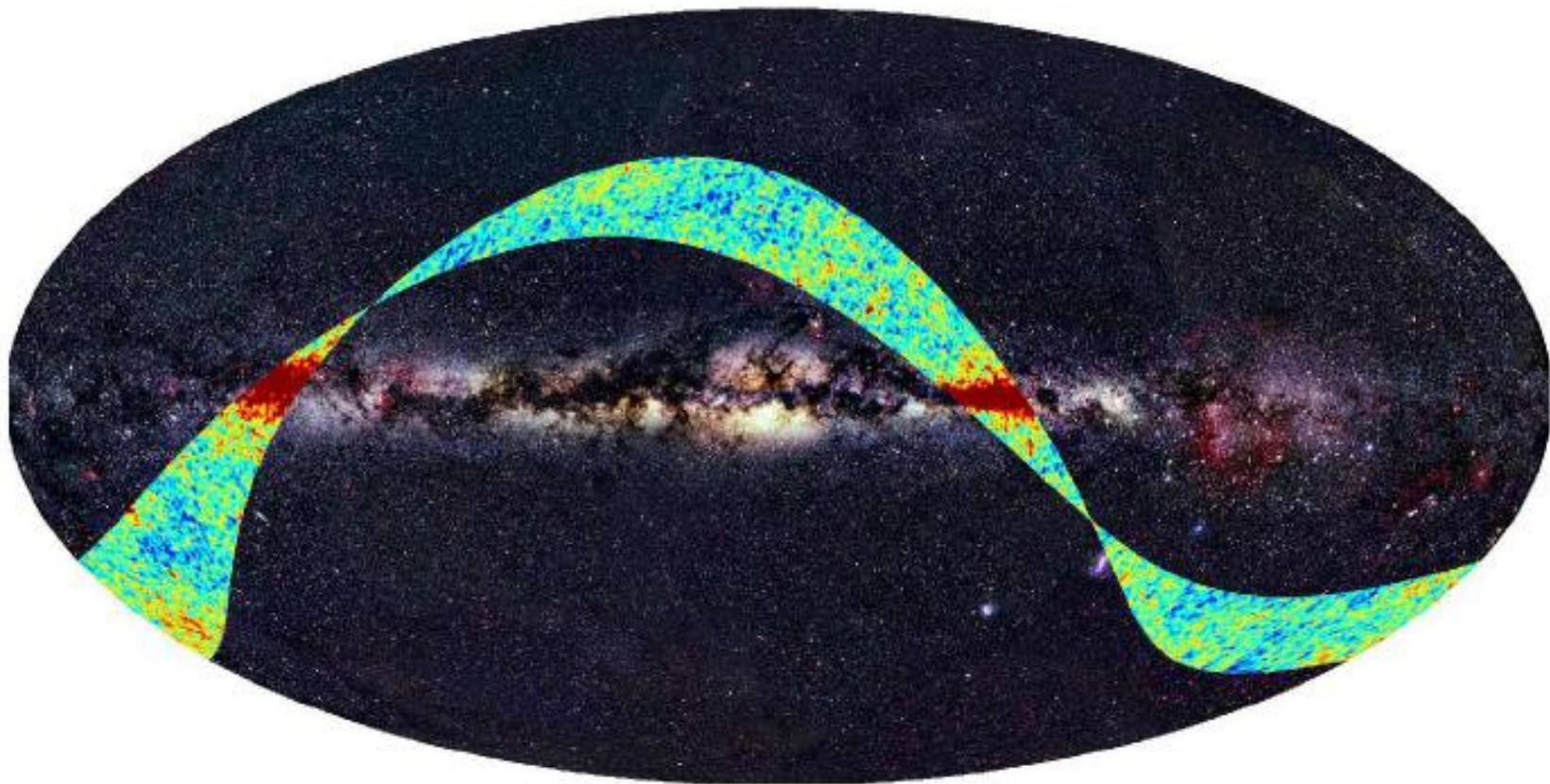
4,2 m

50 000 electronic components
36 000 | ^4He
12 000 | ^3He
11 400 documents
20 years between the first project and first results (2013)

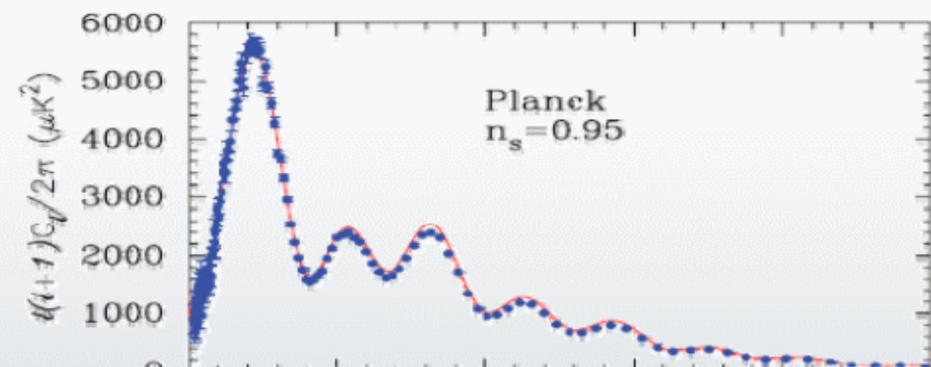
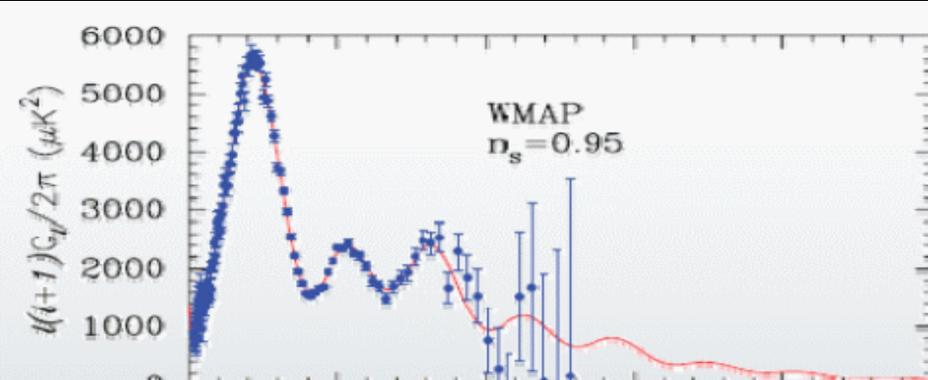
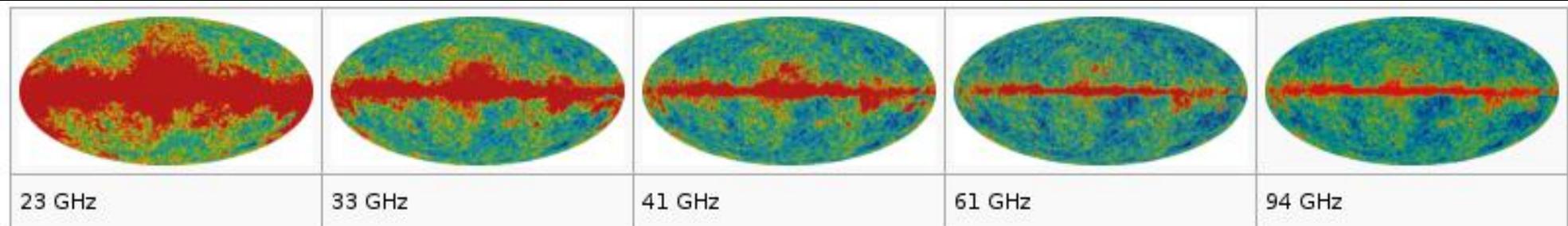
5c per European per year
16 countries
400 researchers among 1000



4,2 m

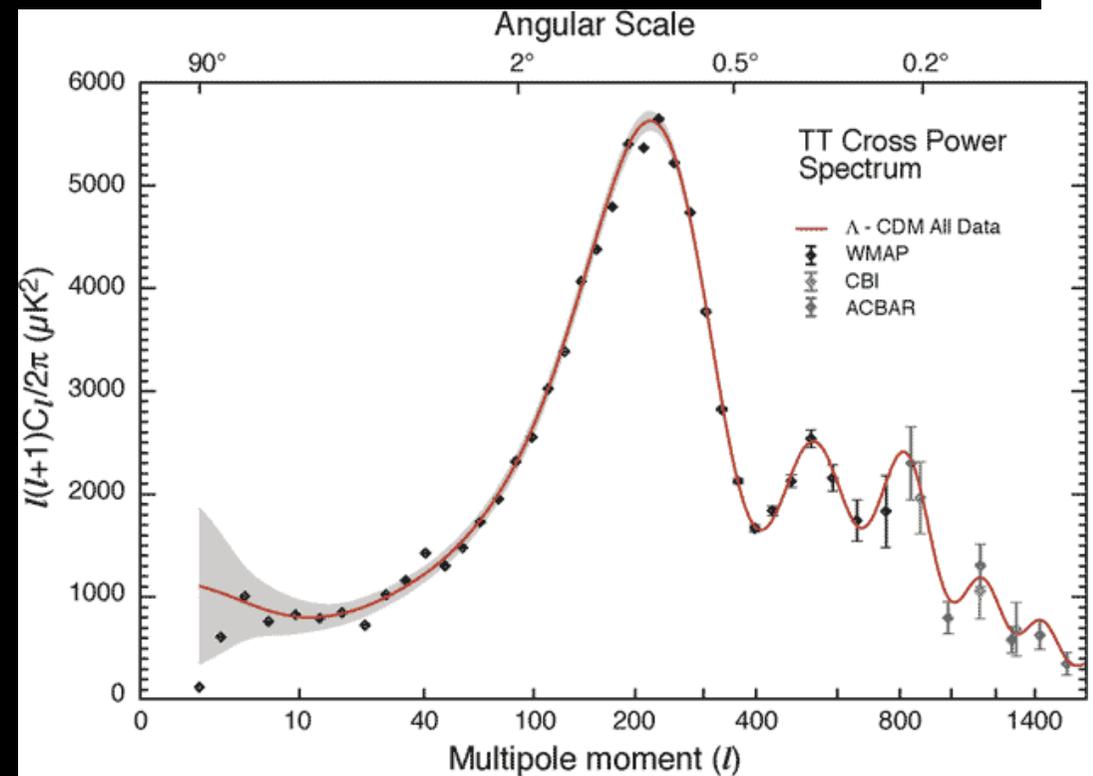
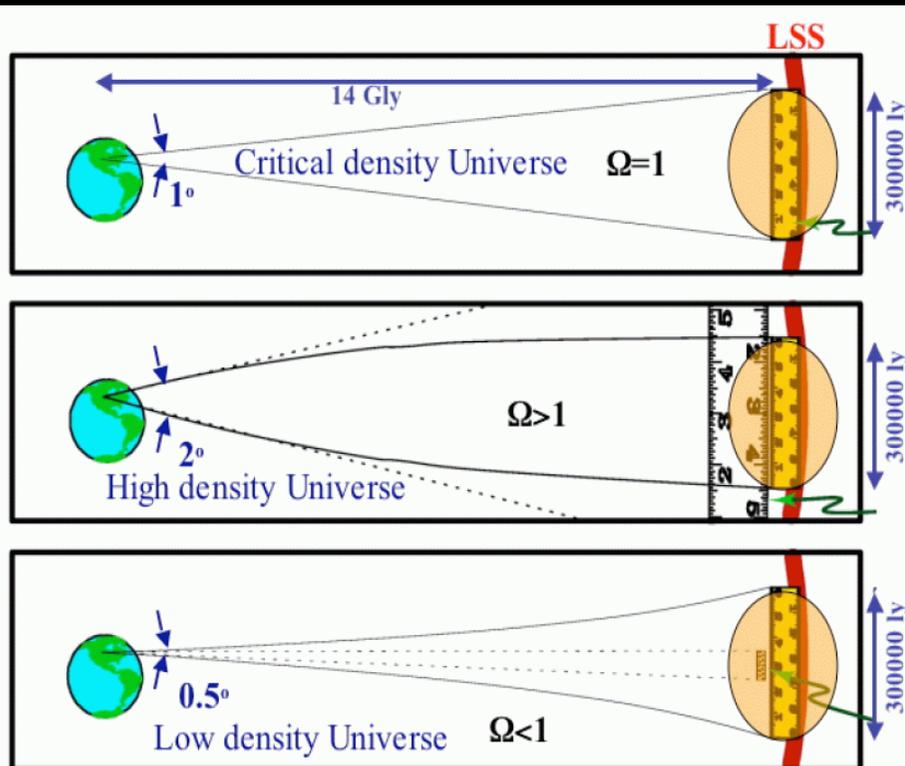
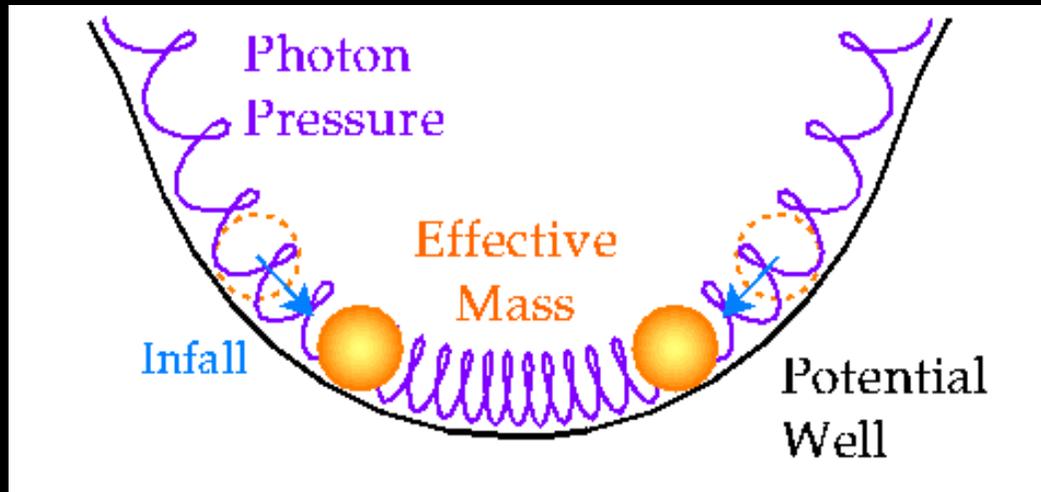


Data Processing Center dell'Osservatorio Astronomico di Trieste e della SISSA



- Planck has ~
- 25 × the sensitivity of WMAP
 - 3 × the angular resolution

Il fondo cosmico di microonde



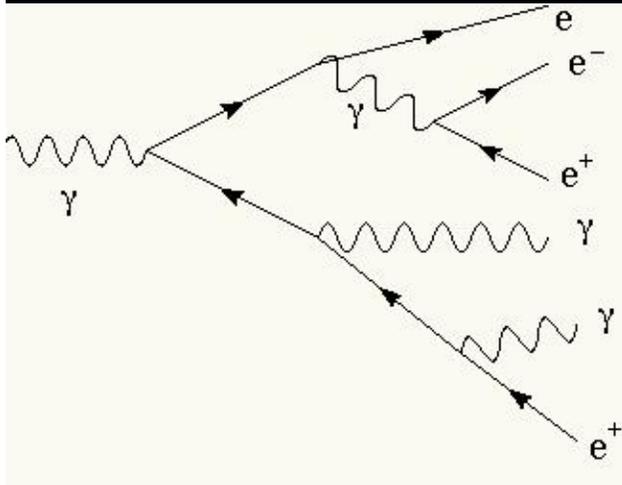
I RAGGI GAMMA

Il telescopio MAGIC



Il telescopio MAGIC

rilevazione della doccia elettromagnetica effetto cherenkov



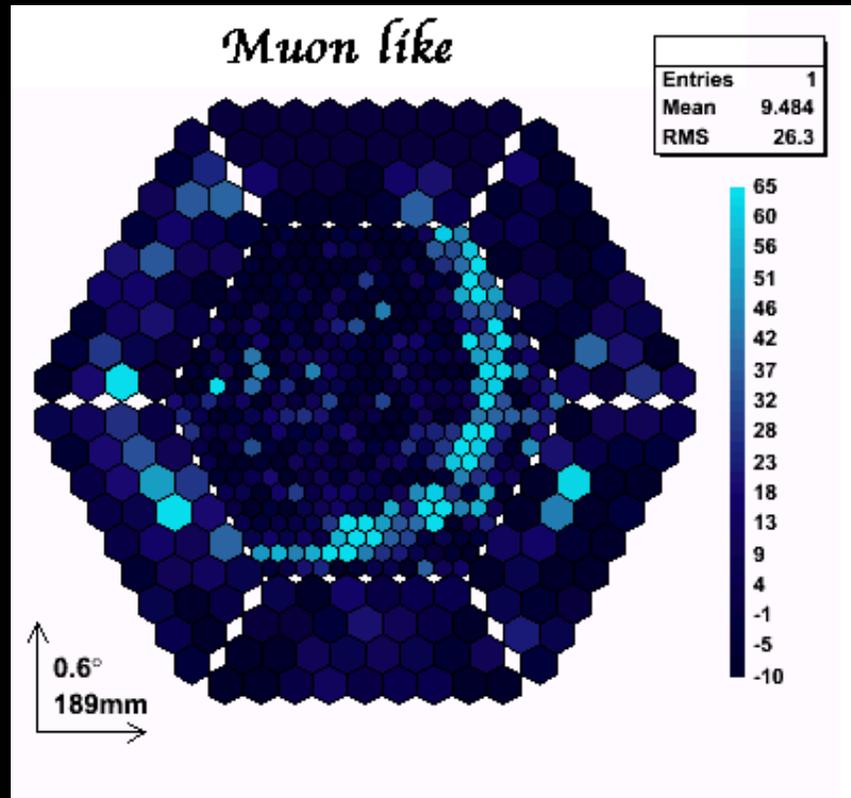
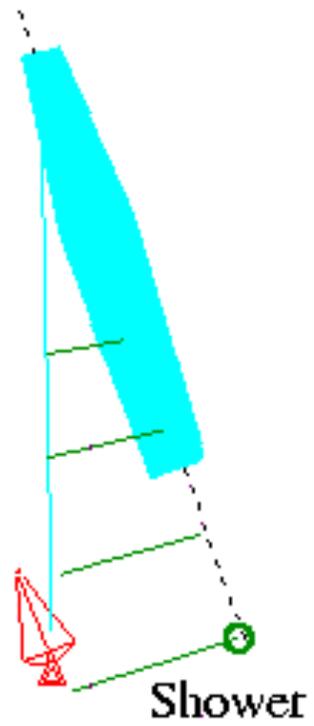
 The Nobel Prize in Physics 1958

"for the discovery and the interpretation of the Cherenkov effect"

Pavel Alekseyevich Cherenkov
1/3 of the prize
USSR

Il'ja Mikhailovich Frank
1/3 of the prize
USSR

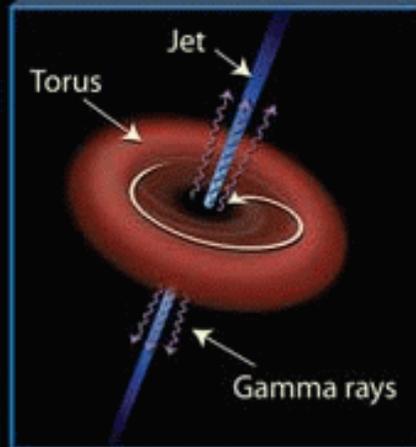
Igor Yevgenyevich Tamm
1/3 of the prize
USSR



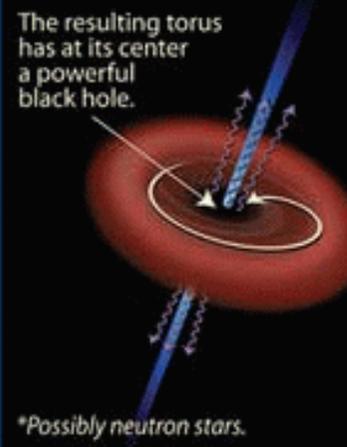
Il telescopio MAGIC

Gamma-Ray Bursts (GRBs): The Long and Short of It

Long gamma-ray burst (>2 seconds' duration)



Short gamma-ray burst (<2 seconds' duration)



RIVELARE LA MATERIA OSCURA

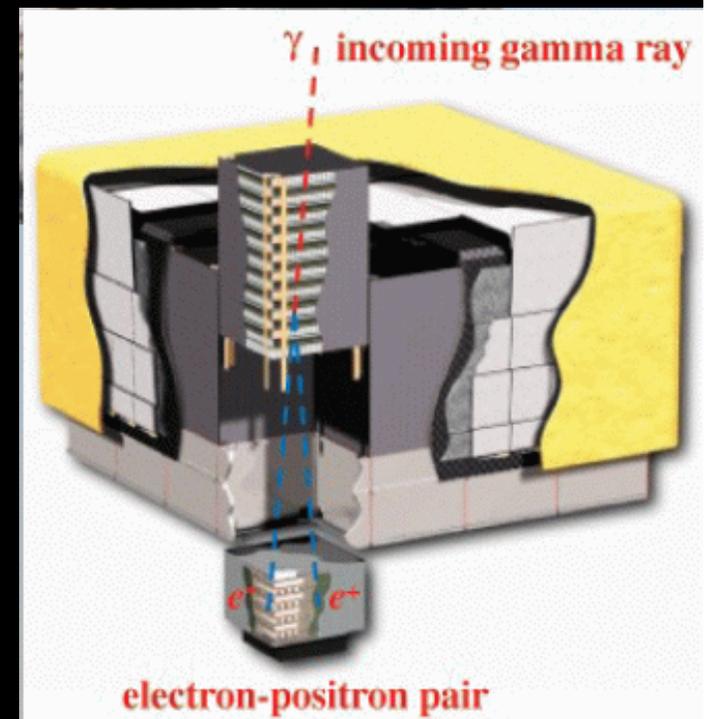
La materia oscura interagisce solo gravitazionalmente (o tramite forza nucleare debole): non emette luce ma può annichilarsi o decadere:

Nel primo caso: $DM + DM \rightarrow$ fotoni gamma

Nel secondo caso: $DM \rightarrow$ particelle piú leggera + fotoni X

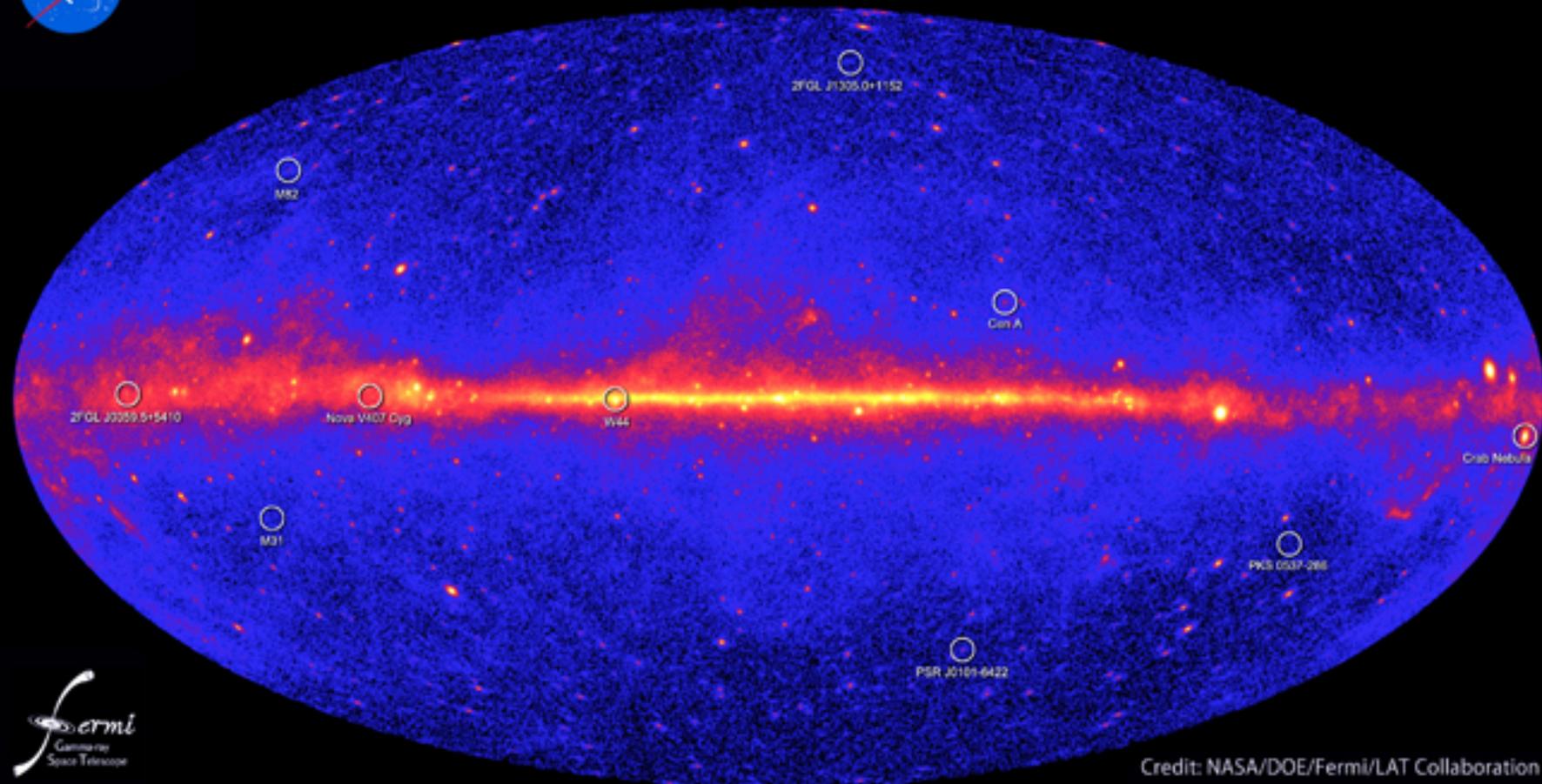
Pertanto può essere osservata in modo indiretto con osservazioni in varie bande spettrali

TELESCOPIO GLAST (Fermi): una finestra sui raggi γ

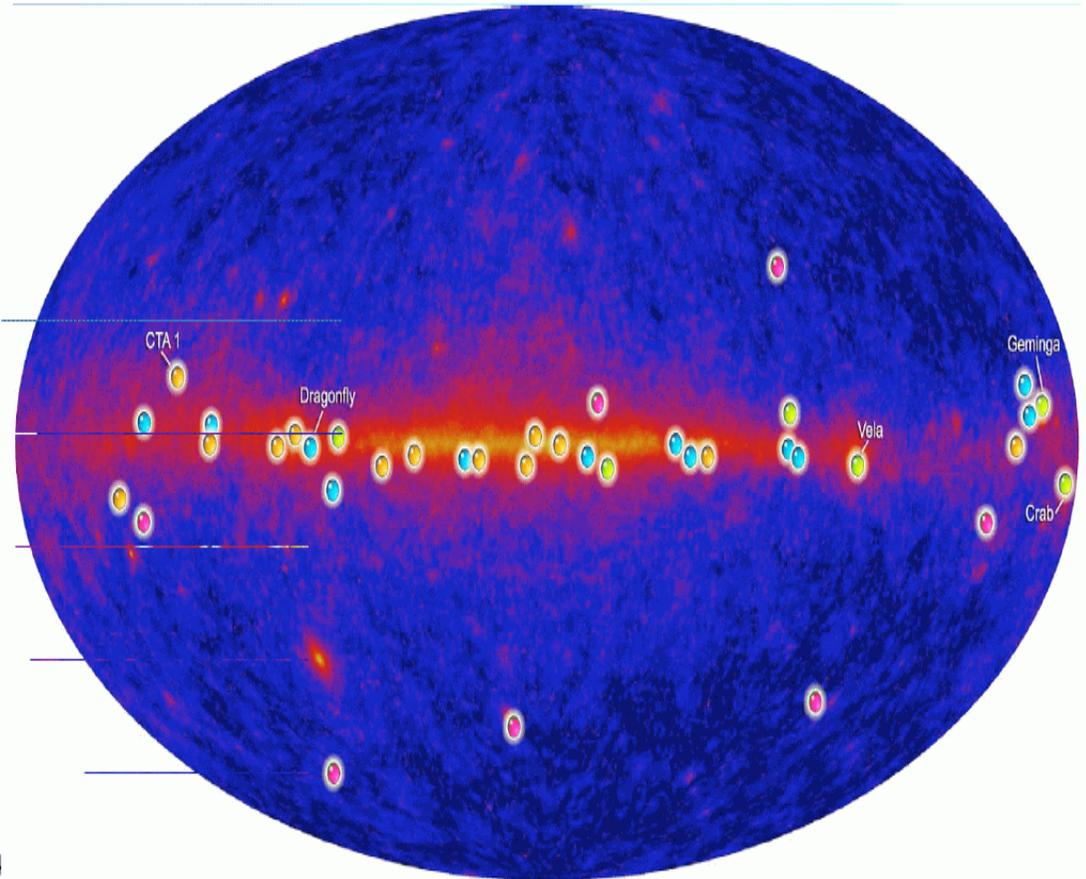
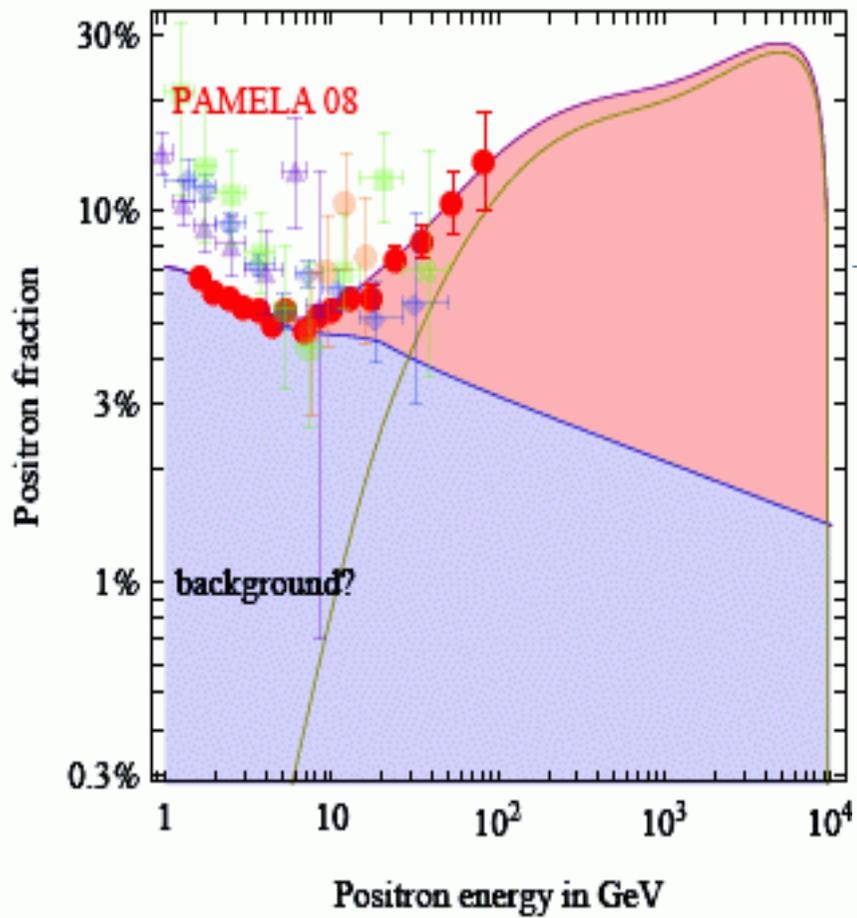




Fermi two-year all-sky map



Credit: NASA/DOE/Fermi/LAT Collaboration



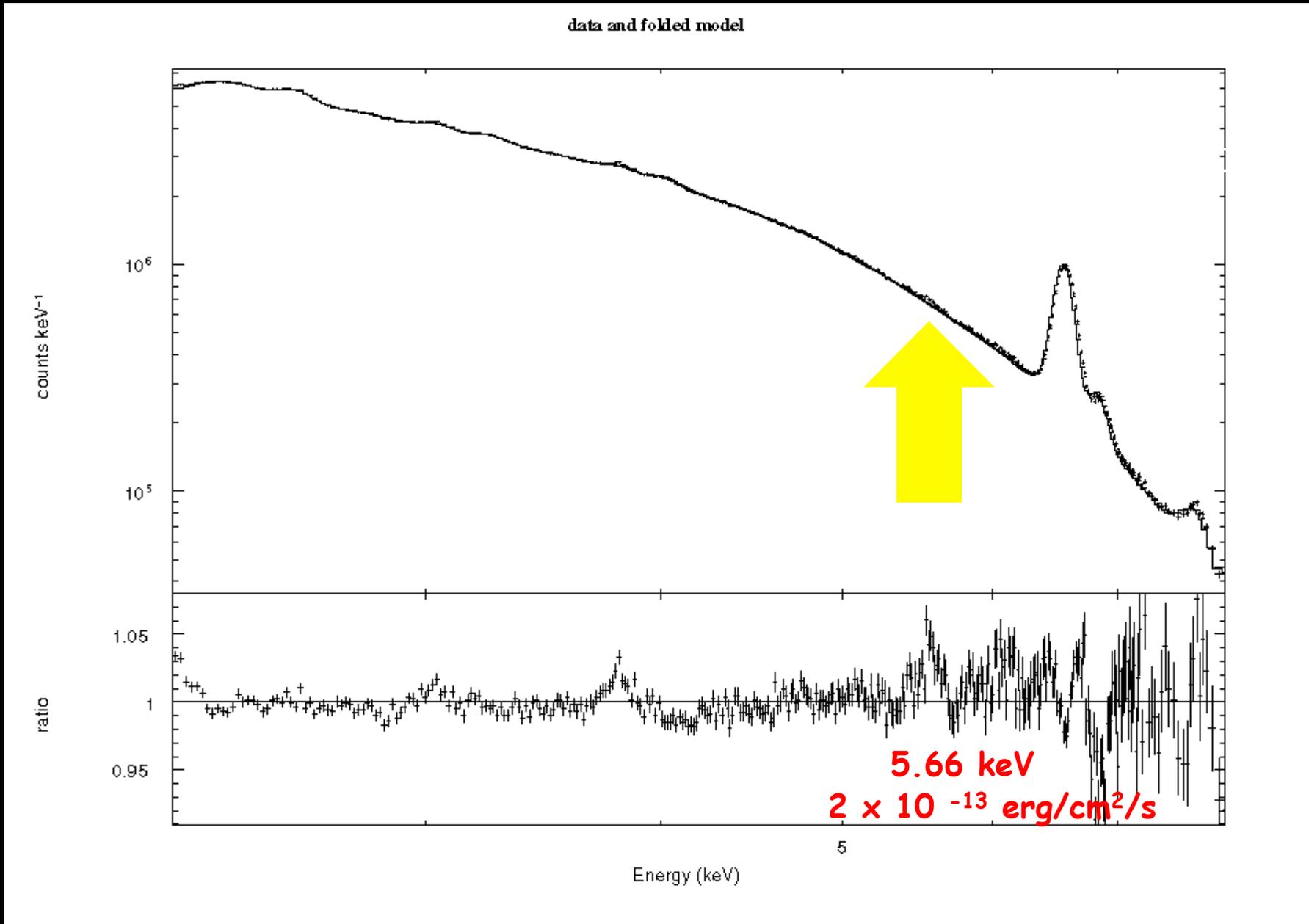
Fermi Pulsar Detections

- 12 ● New pulsars discovered in a blind search
- 7 ● Millisecond radio pulsars
- 13 ● Young radio pulsars (pulsing in Gamma-rays alone)
- 6 ● Pulsars seen by Compton Observatory EGRET instrument

X-ray image from the CHANDRA telescope



Decade in fotoni e neutrini producendo energia nella banda X $E=m_{dm}/2$



Line flux $\sim 5 \times 10^{-18} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} (D_L/1\text{Mpc})^{-2} (M_{DM}/10^{11} M_{\text{sun}}) (\sin^2 2\theta/10^{-10}) (m_s/1\text{keV})^5$

LHC

Large Hadron Collider: ACCELERATORE DI PARTICELLE

Collisione di protoni alla velocità della luce
11000 giri di anello (27 km) al secondo

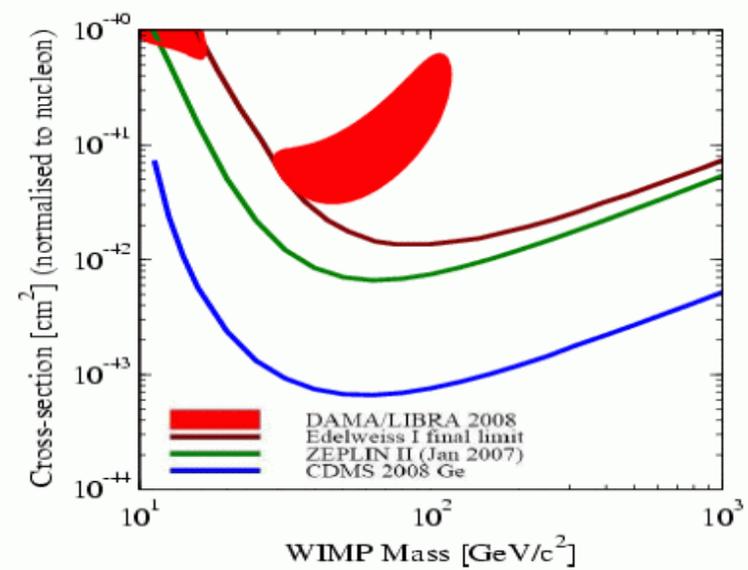
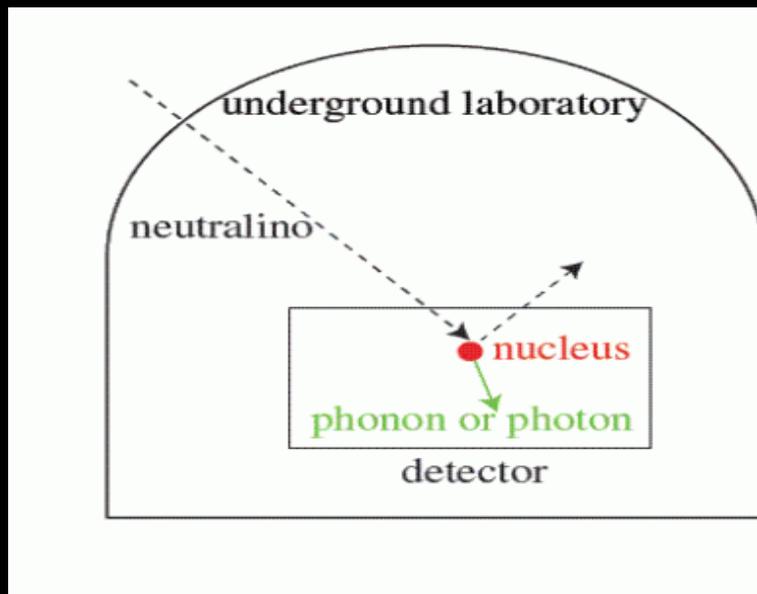
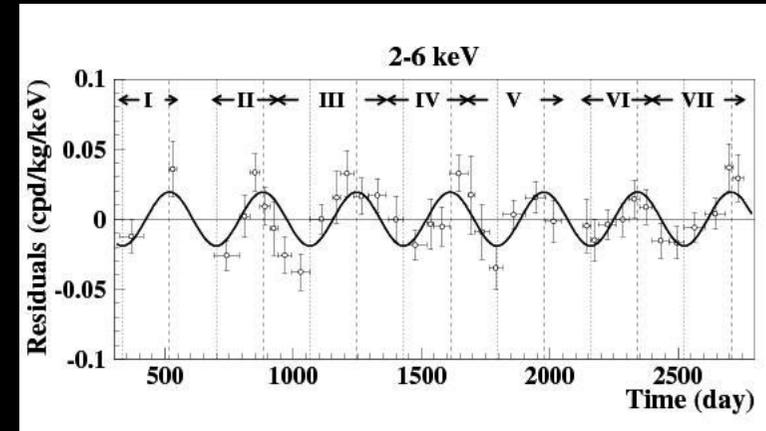
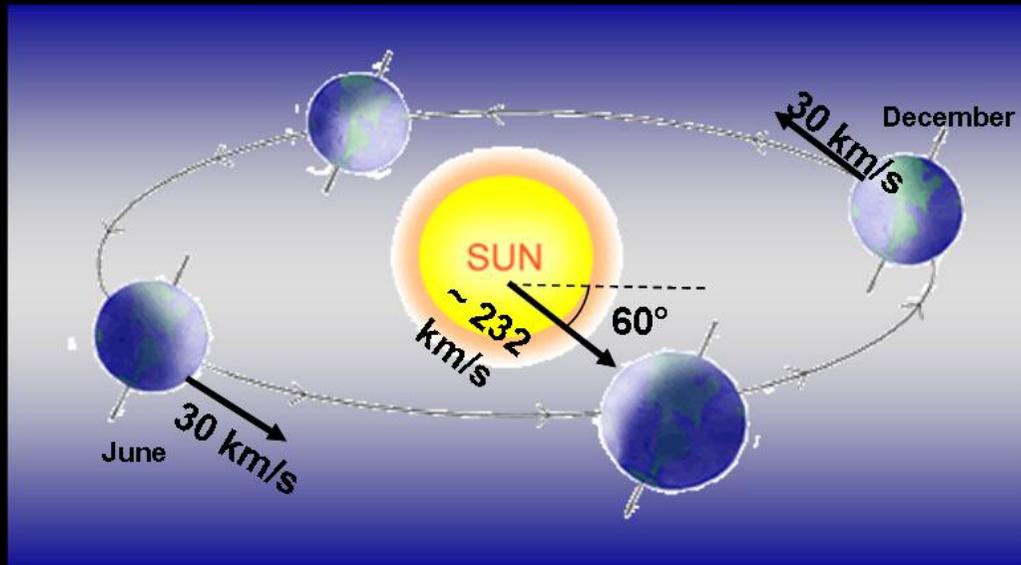
Energia LHC: 10^{12} eV $\sim 10^{-7}$ J
Energia fascio: 10^8 J
(energia di una subaru a 1800 km/h)

Hiroshima: 10^{14} J
Esplosione Supernova: 10^{44} J
Esplosioni Raggi Gamma: 10^{47} J

Dovrà trovare superparticelle: che portino
a dimostrare l'unificazione sopra 10^{14} GeV
di forza elettromagnetica, nucleare debole
e nucleare forte. TEORIE



Cercando la materia oscura nei laboratori



DALL' INFINITAMENTE GRANDE ALL' INFINITAMENTE PICCOLO

10^{-12}

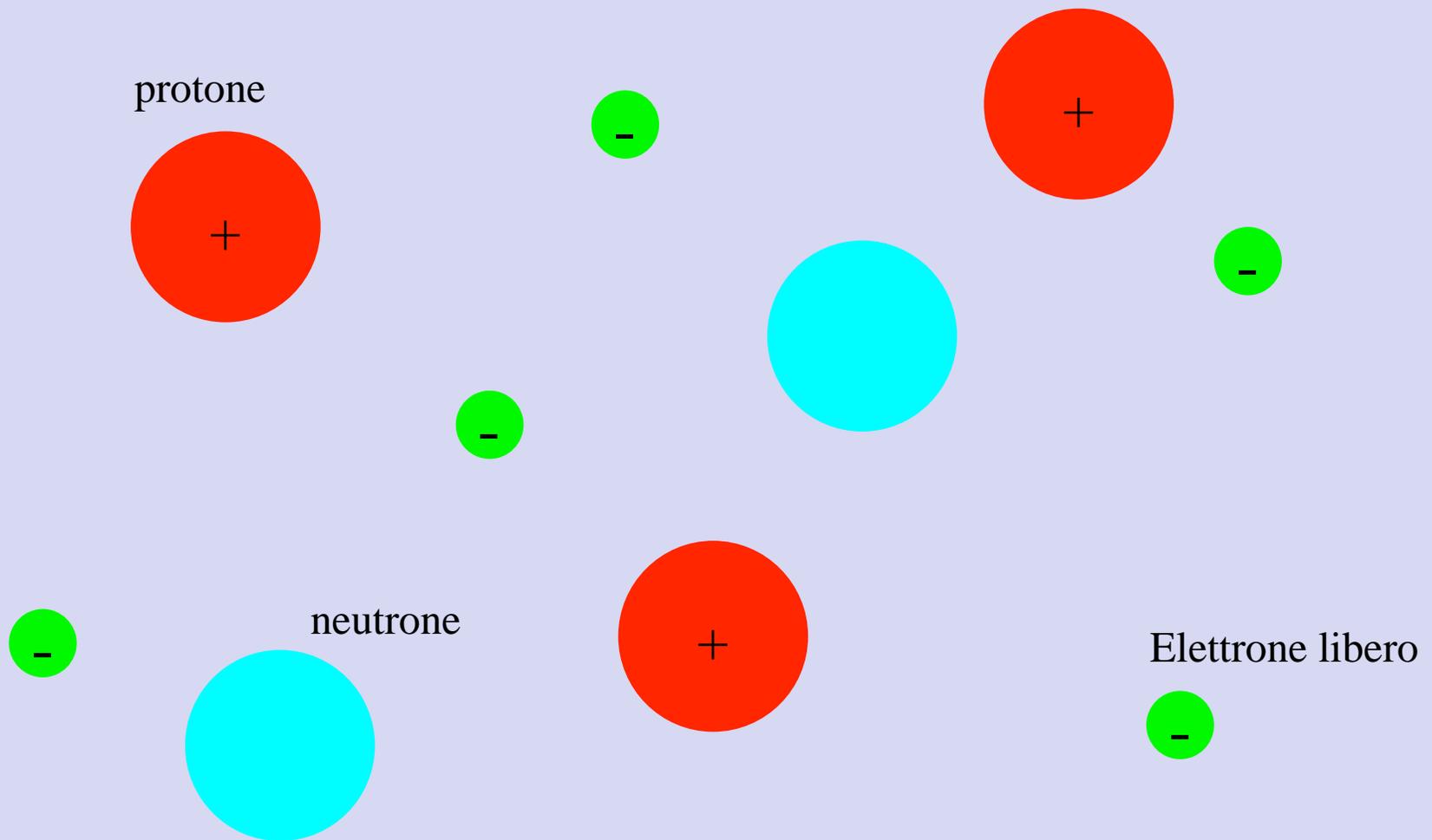
metri

10^{+25}

metri

DAGLI ATOMI ALLE..... STRUTTURE COSMICHE

L'Universo primordiale

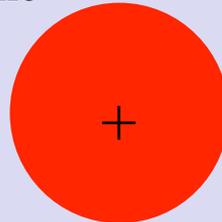


La temperatura e' troppo alta per formare atomi ma se scende sotto 1000 K ...

Si formano atomi di idrogeno

Circa il 76% della massa visibile nell'Universo e' idrogeno...

protone



Elettrone legato

Atomo neutro

I fotoni (luce) emessi da sorgenti brillanti interagiscono con l'atomo di idrogeno.....

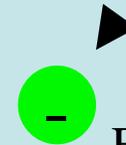
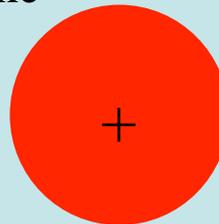
Fiat Lux!

Stella calda e brillante



Luce ultravioletta

protone



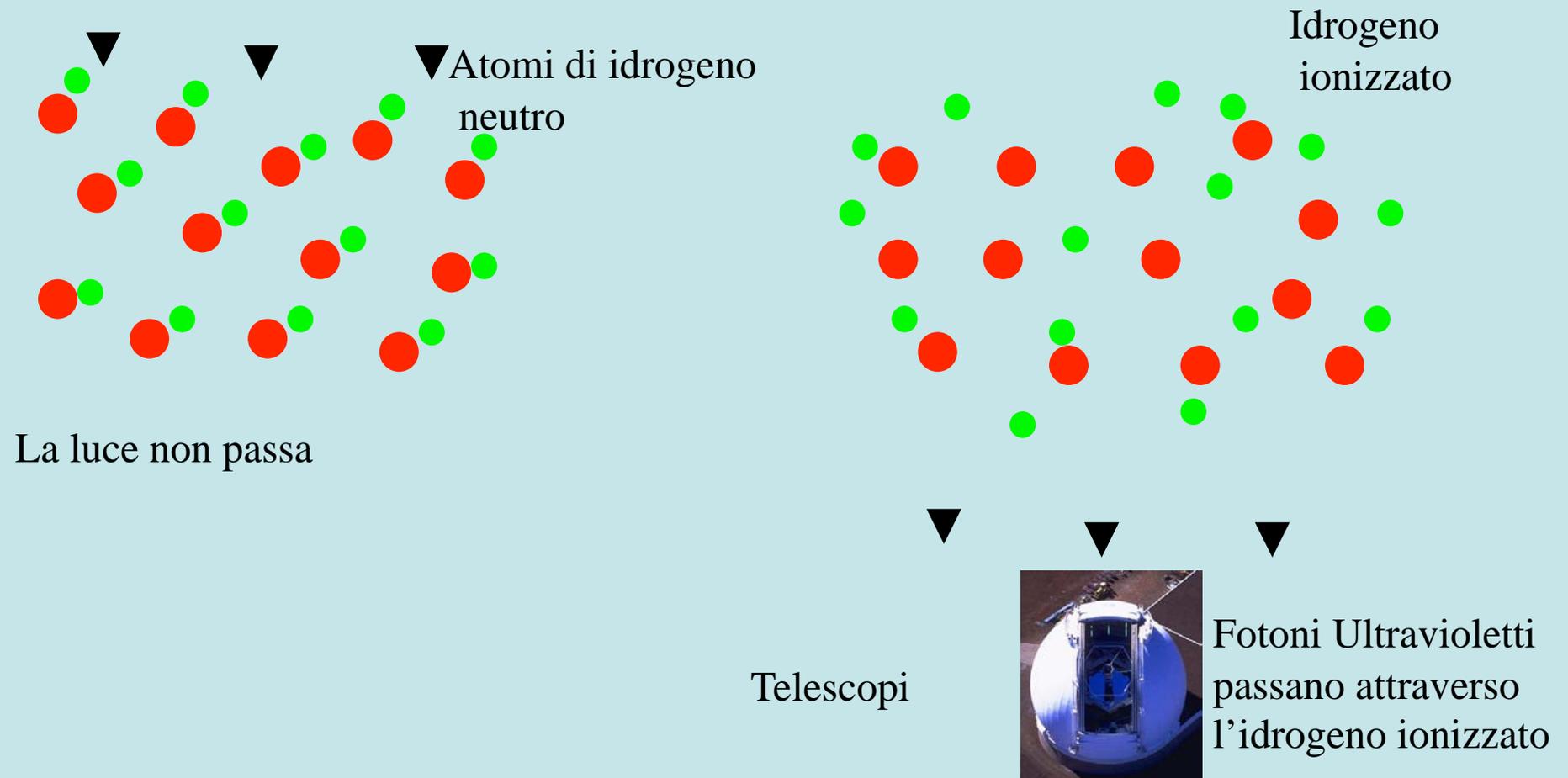
Elettrone legato

Luce ultravioletta energetica e' prodotta in grandi quantita' da stelle calde e luminose

L'idrogeno intergalattico

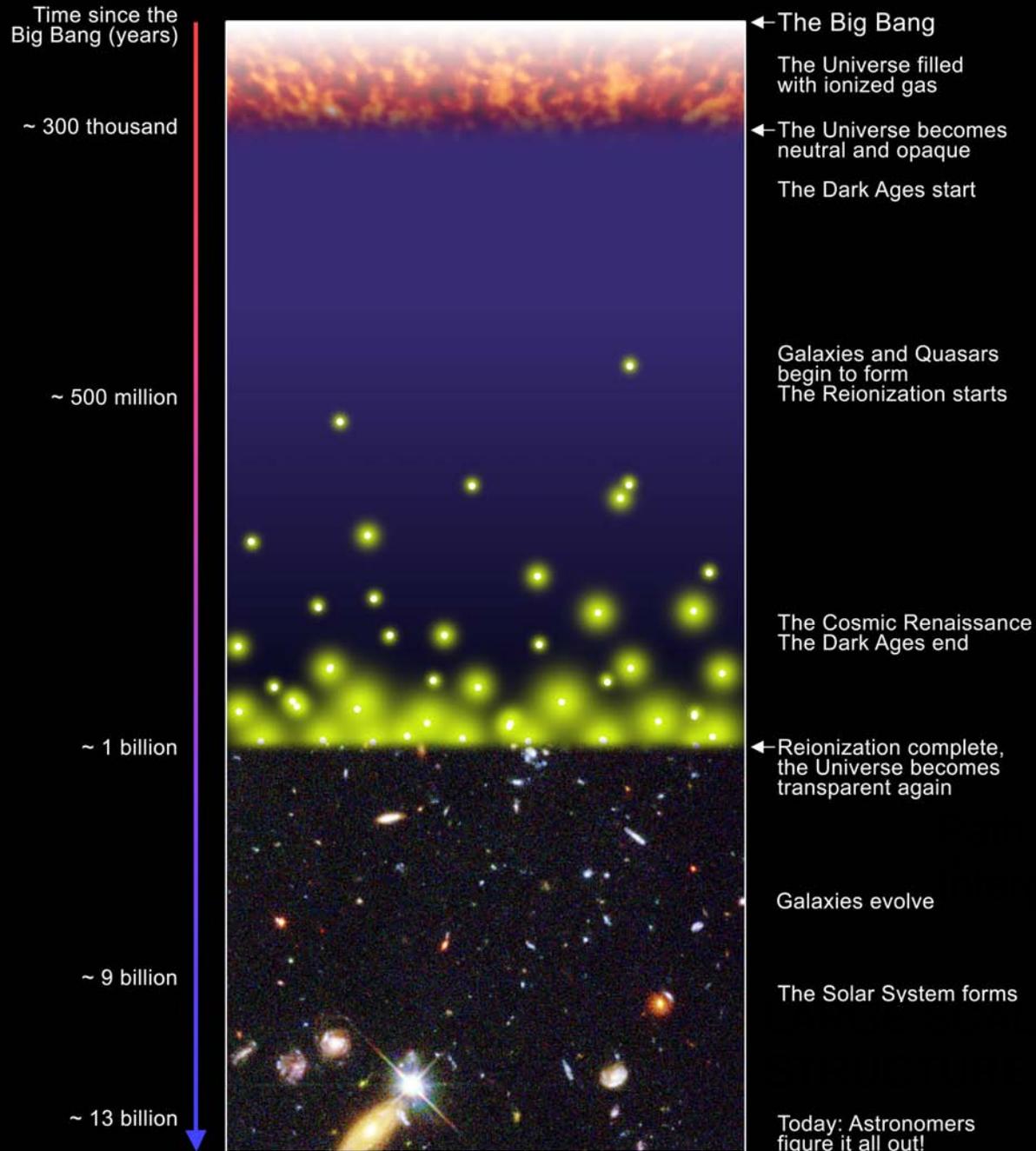
La luce ultravioletta e' bloccata dall'idrogeno neutro. Guardando alla luce proveniente da galassie attive distanti (buchi neri massicci al centro delle galassie) gli astronomi riescono ad osservare tale effetto

Luce ultravioletta

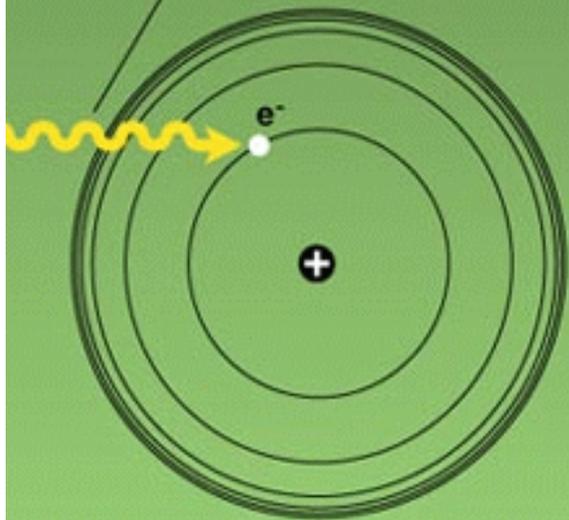


What is the Reionization Era?

A Schematic Outline of the Cosmic History

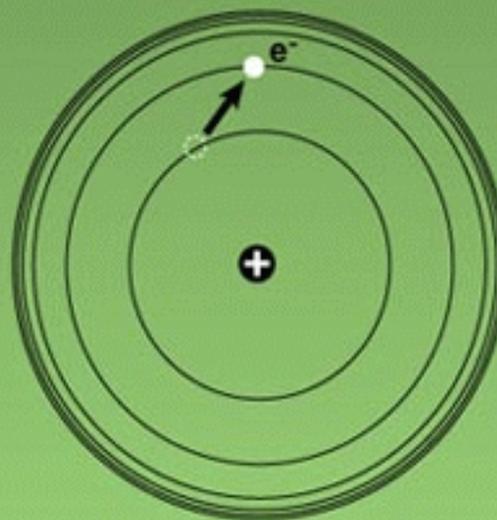


quasar photon
($\lambda = 121.6$ nanometers)



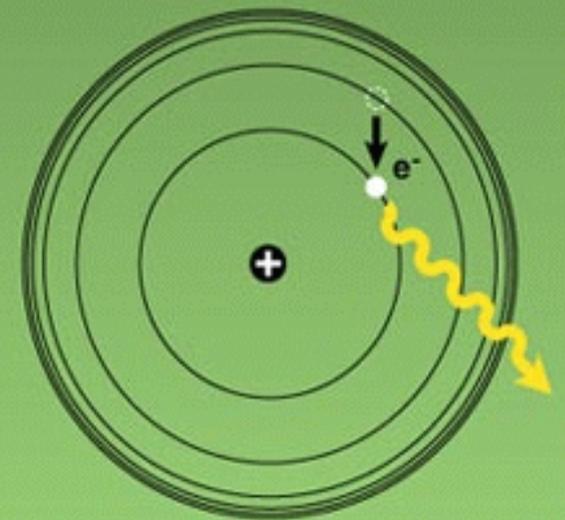
hydrogen atom intercepts photon

electron leaves ground state
for higher-energy orbit

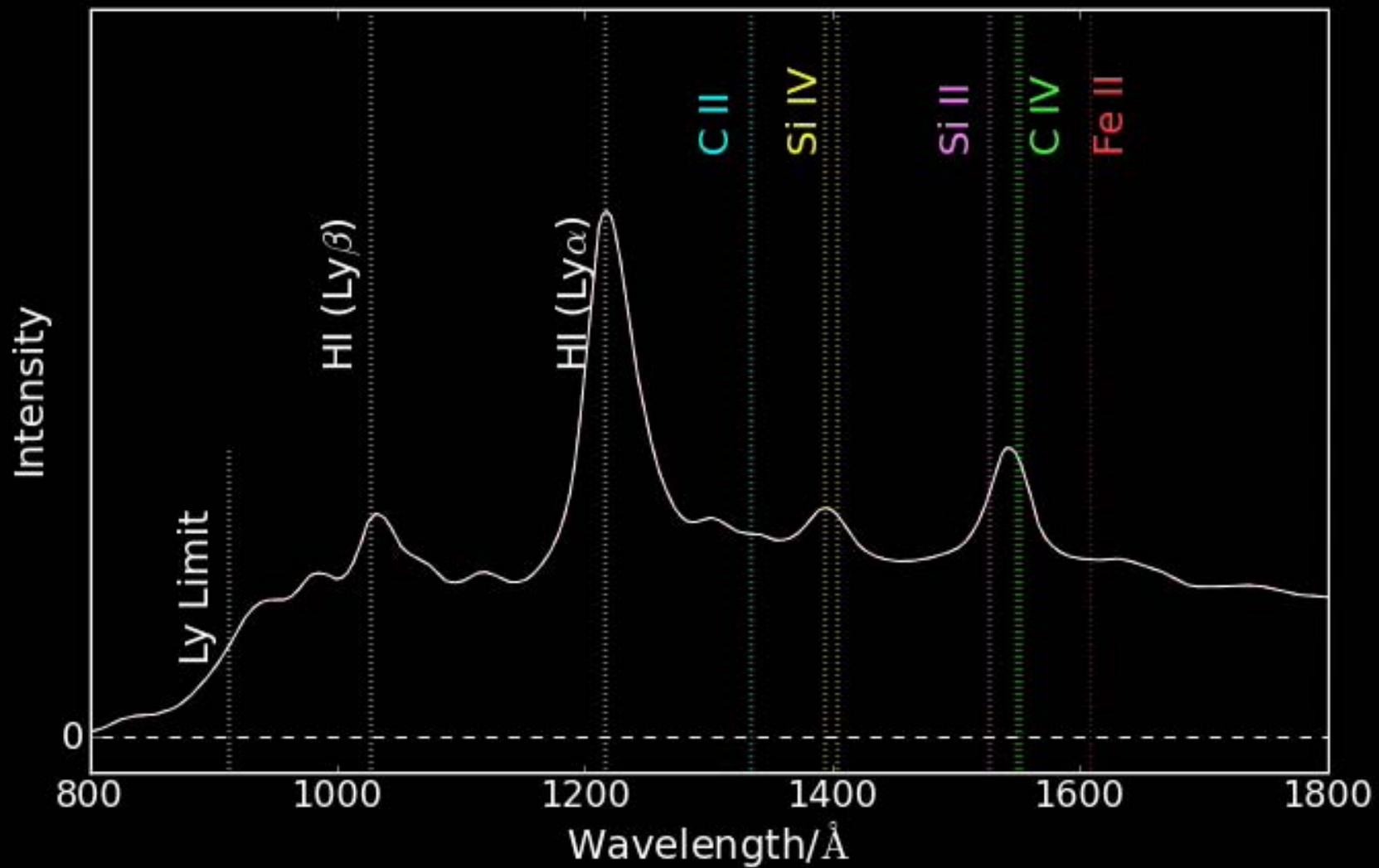


photon is absorbed

electron decays
to ground state



photon emitted in different direction



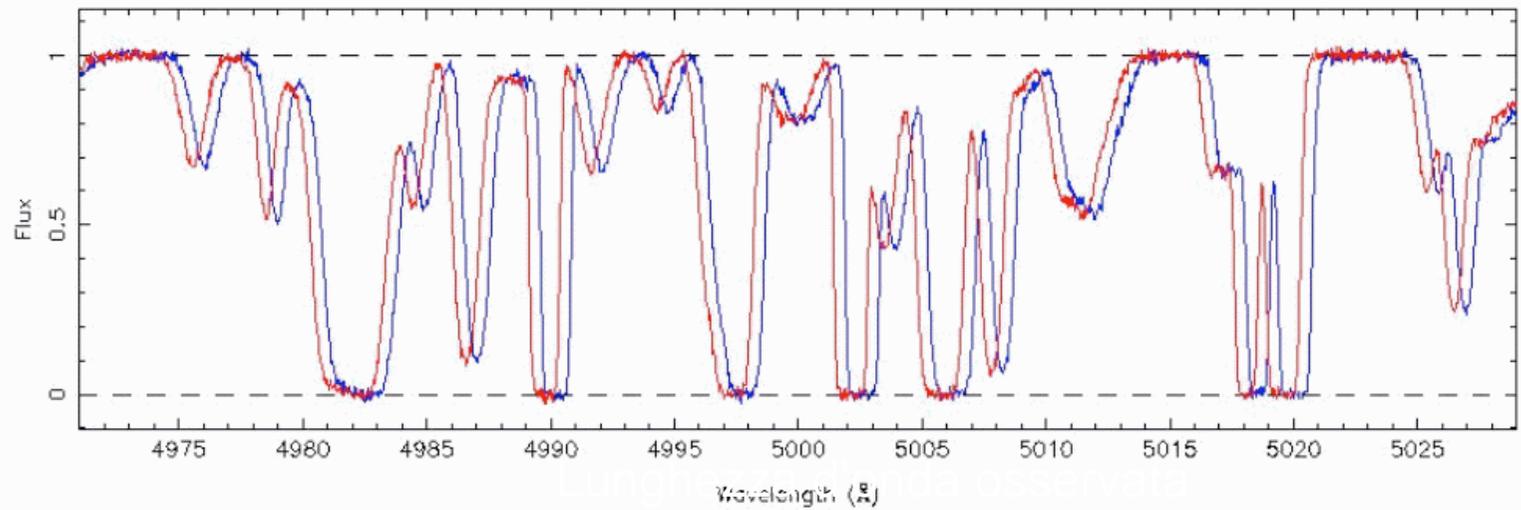
Epoca 1



Epoca 2



Flusso (fotoni)
raccolto al
telescopio



CONCLUSIONI

Grossi sforzi della comunità scientifica per svelare i misteri del cosmo

Cosmologia e' una scienza nella sua eta' matura

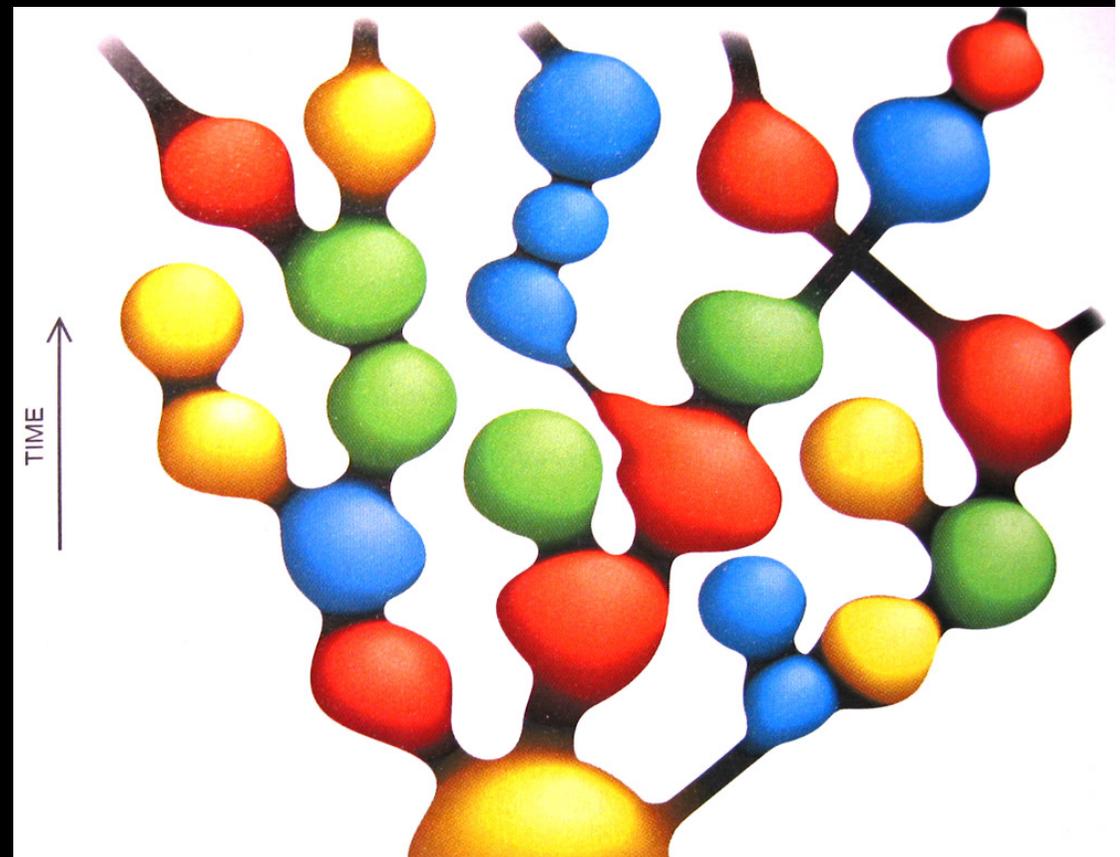
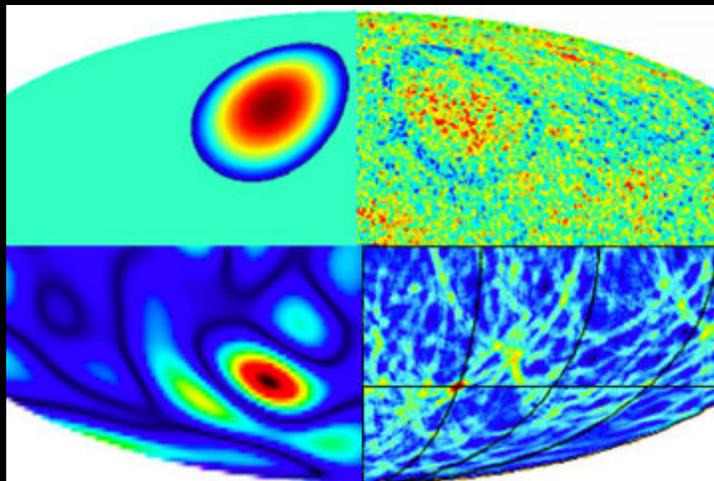
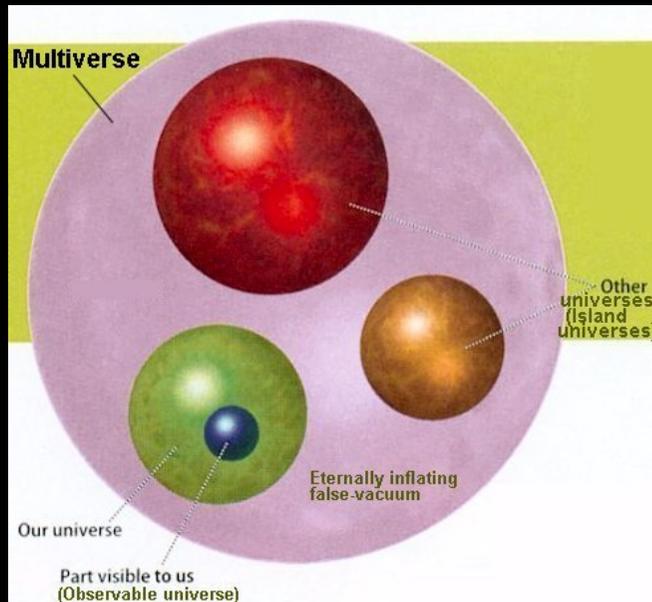
Vi sono idee importanti sia sulla materia oscura sia (meno) sull'energia oscura

Esperimenti attrezzati per rivelare la natura della materia oscura entro i prossimi 5 anni

Se non venisse rivelata sarebbe una grossa sorpresa!!!!!!

È importante comunque ricordare che prima dell'Hubble Space Telescope un'osservazione di cielo profonda restituiva questa immagine....

UNA POSSIBILITA' INTRIGANTE....



SELF-REPRODUCING COSMOS appears as an extended branching of inflationary bubbles. Changes in color represent “mutations” in the laws of physics from parent universes. The properties of space in each bubble do not depend on the time when the bubble formed. In this sense, the universe as a whole may be stationary, even though the interior of each bubble is described by the big bang theory.

Hubble Ultra Deep Field
Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys

NASA, ESA, S. Beckwith (STScI) and the HUDF Team

STScI-PRC04-07a



Hubble Ultra Deep Field
Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys

NASA, ESA, S. Beckwith (STScI) and the HUDF Team

STScI-PRC04-07a



Websites

viel@oats.inaf.it

<http://adlibitum.oats.inaf.it/viel>

CODEX document: L.Pasquini et al. 2005

www.eso.org

SOME SCIENCE: Matteo Viel

<http://adlibitum.oat.ts.astro.it/viel/>

Nobel web site:

<http://nobelprize.org>

Cube of matter from Ben Moore website:

<http://www-theorie.physik.unizh.ch/~moore/>

QUASAR SPECTRA:

<http://www.ast.cam.ac.uk/~rtnigm/luqas.html>

ASTRONOMY PICTURE OF THE DAY

<http://apod.nasa.gov/apod/>

MILLENNIUM movies:

www.mpa-garching.mpg.de/~springel

LHC webpage:

<http://lhc.web.cern.ch/lhc>

GLAST webpage:

<http://glast.gsfc.nasa.gov/ssc/>

Simulations made at:

www.damtp.cam.ac.uk/cosmos

<http://www.hpc.cam.ac.uk/>

Weak lensing maps:

<http://www.astro.caltech.edu/~rjm/publicity/>

Hubble space telescope (COSMOS survey)

SUPPORT FROM ERC GRANT:

<http://erc.europa.eu/>

Una favola dalla Persia....

“Peregrinaggio di tre figliuoli del re di Serendippo”
pubblicata da Michele Tramezzino a Venezia
nel 1557



SERENDIPITY = SERENDIPITÀ

Parola coniata da
Horace Walpole nel 1754

*“Tempo fa lessi una sciocca favola che arrivava dalla Persia che si chiamava I Tre Principi di Serendippo: mentre i tre principi camminavano facevano continuamente scoperte sia per caso sia grazie all’ingegno di cose che non stavano cercando: per esempio, uno di loro scoprì che un cammello cieco nell’occhio destro doveva aver attraversato la stessa strada quel giorno perchè l’erba era strappata sul lato sinistro ma non su quello destro – ora capisci cosa intendo per **serendipità**?”*

SERENDIPITÀ :non consiste solamente in un evento fortuito ma può e deve essere intesa come “accidental sagacity”: che riunisce il CASO e l'INTELLIGENZA

Esempio di illustri scoperte serendipite:

GEOGRAFIA: scoperta dell'America da parte di Cristoforo Colombo

MEDICINA: Penicillina da parte di A. Fleming

FISICA: Radioattività (Becquerel) e raggi-X (Roentgen)

ASTRONOMIA: pianeta Urano (Herschel) e raggi-gamma (Satellite Vela)

COSMOLOGIA: fondo cosmico di microonde (Penzias & Wilson)

Altre scoperte meno importanti ma \$\$\$\$\$\$:

Corn Flakes (scoperta dai fratelli Kelloggs)

Pneumatici (Charles Goodyear)

Forno a microonde (Percy Spencer)

Viagra (Ian Osterloh)

In the field of observation, chance favours only the prepared mind."

"Nelle scienze osservative, il caso aiuta solo le menti preparate"

Louis Pasteur

