

Dal macro al micro cosmo

Giuliana Fiorillo

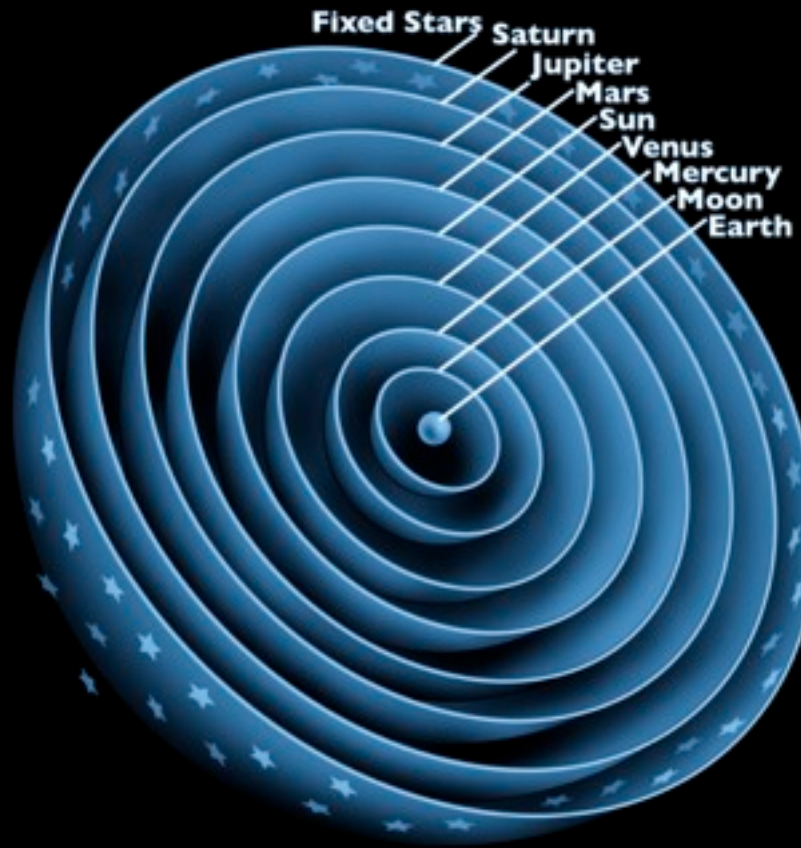
Università di Napoli “Federico II” & INFN

- Paradigma

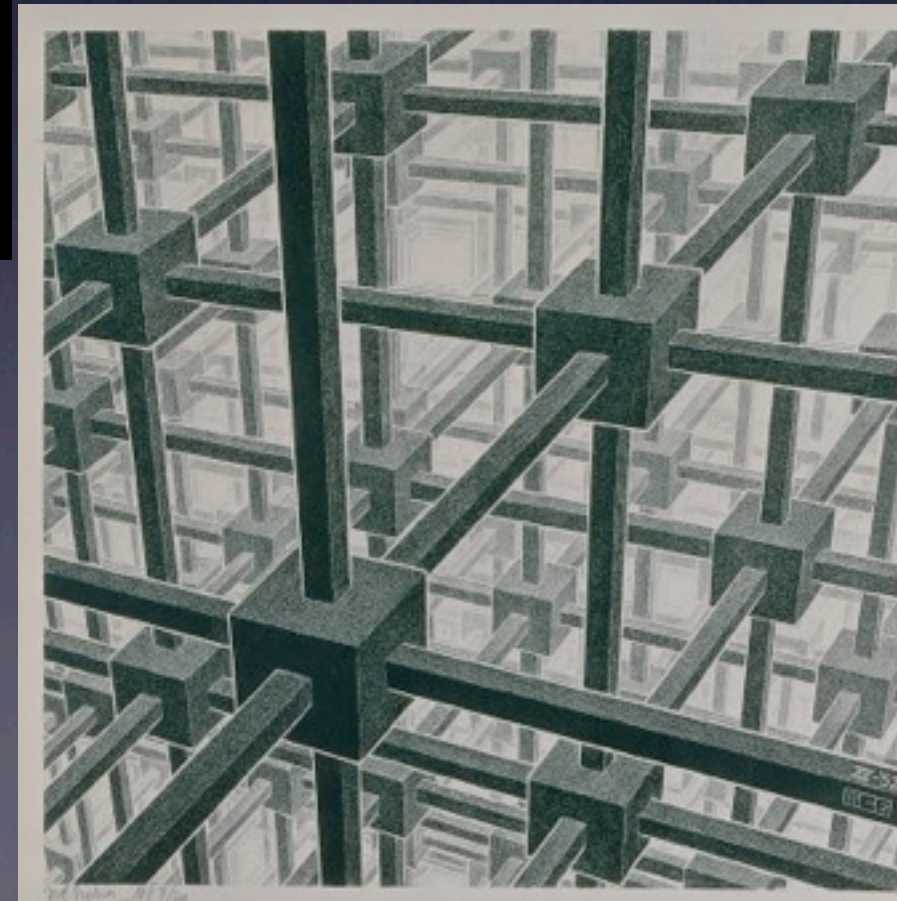
Cosmologia



greco-tolemaica

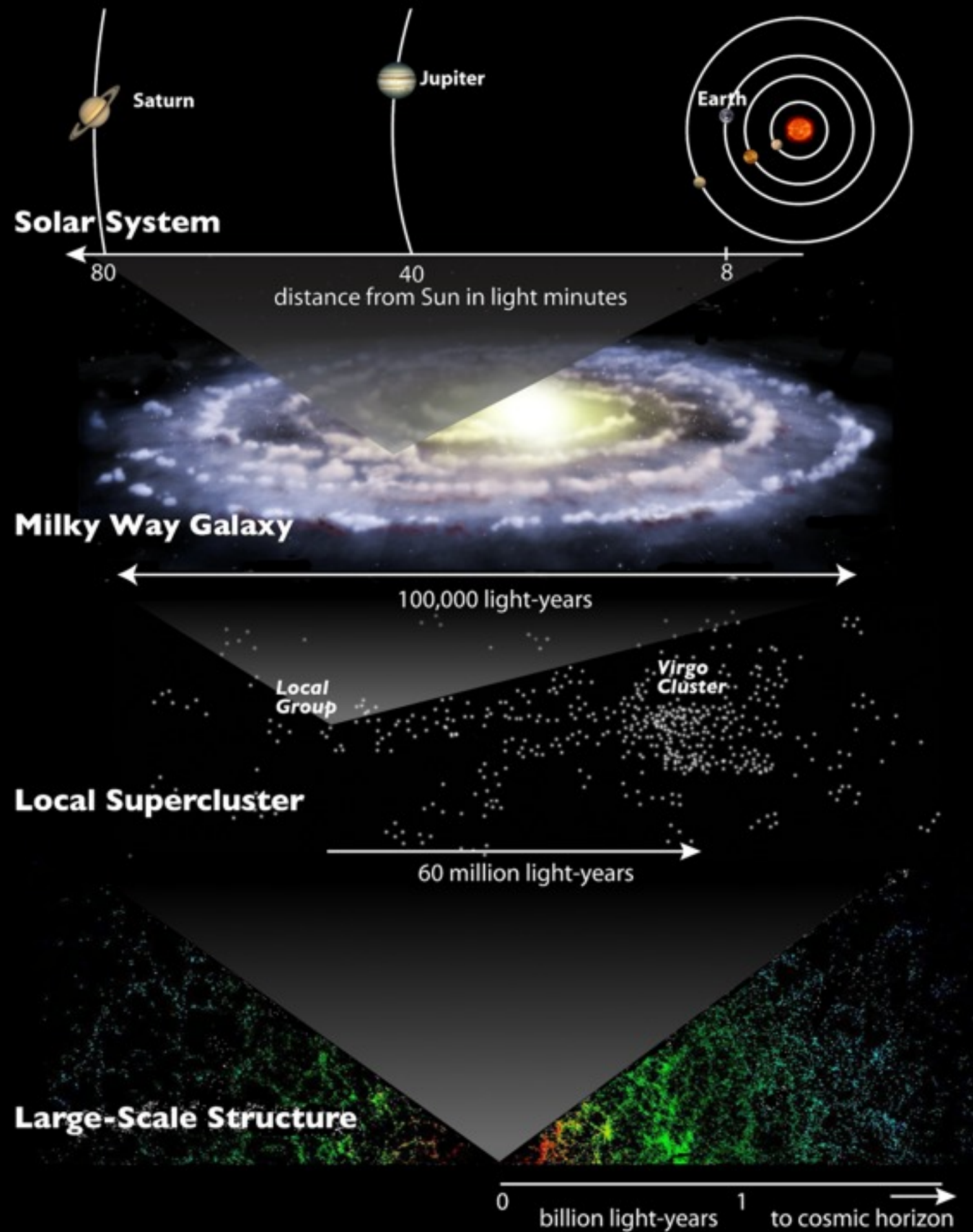


copernico-newtoniana



rivoluzione scientifica:
un totale cambio di paradigma che, oltre
a spiegare nuovi dati, accoglie quelli
vecchi in un unico quadro coerente,
diverso dal precedente.

Il nostro indirizzo “cosmico”



Vi è più di una “misura” nell’Universo

dalle galassie

alle persone e
gli alberi

ai batteri

agli atomi
e oltre...



Il grafico della realtà materiale

Relatività Generale

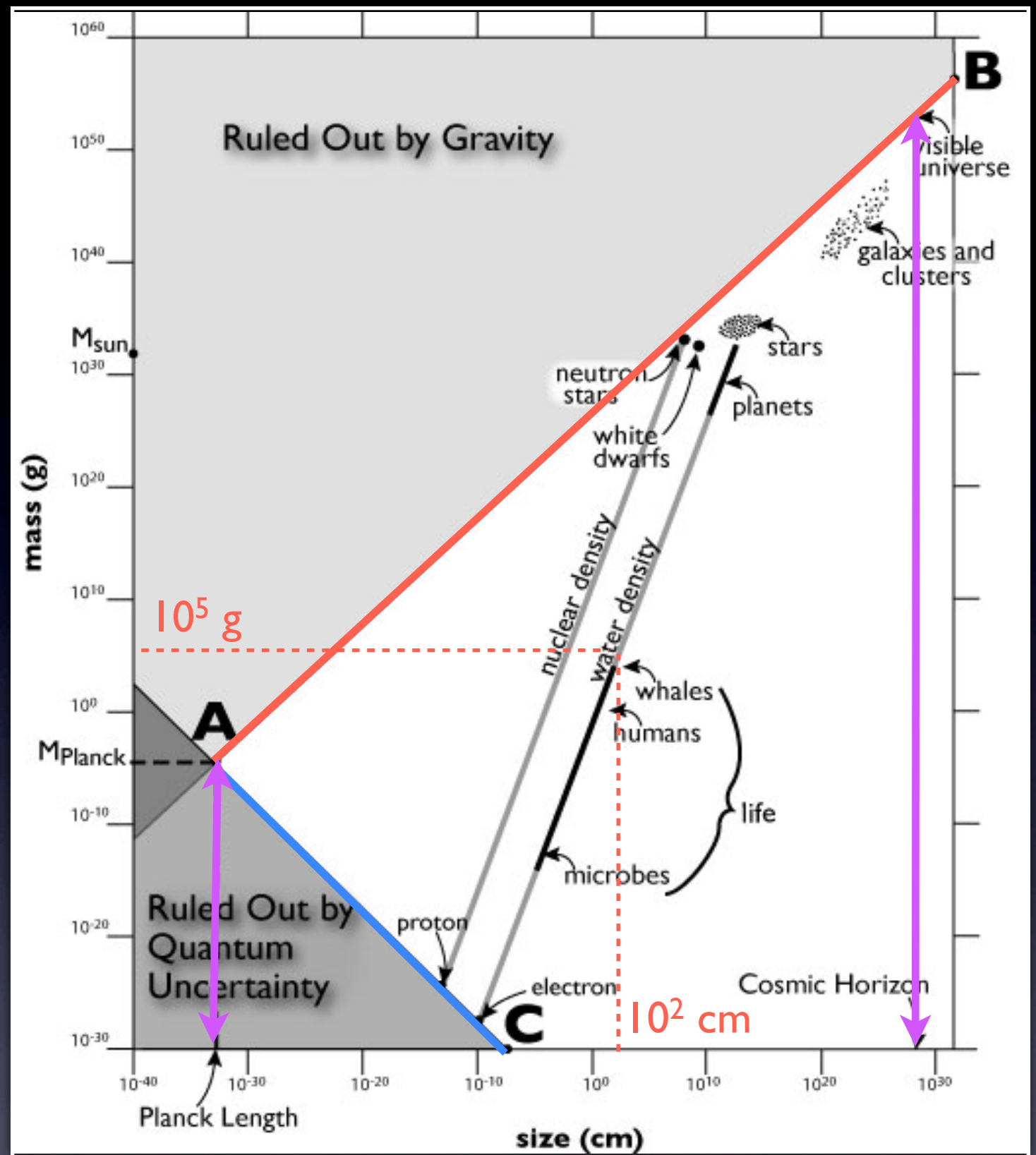
+ Meccanica Quantistica



la misura più piccola:
Lunghezza di Planck

$1,6 \times 10^{-33} \text{ cm}$

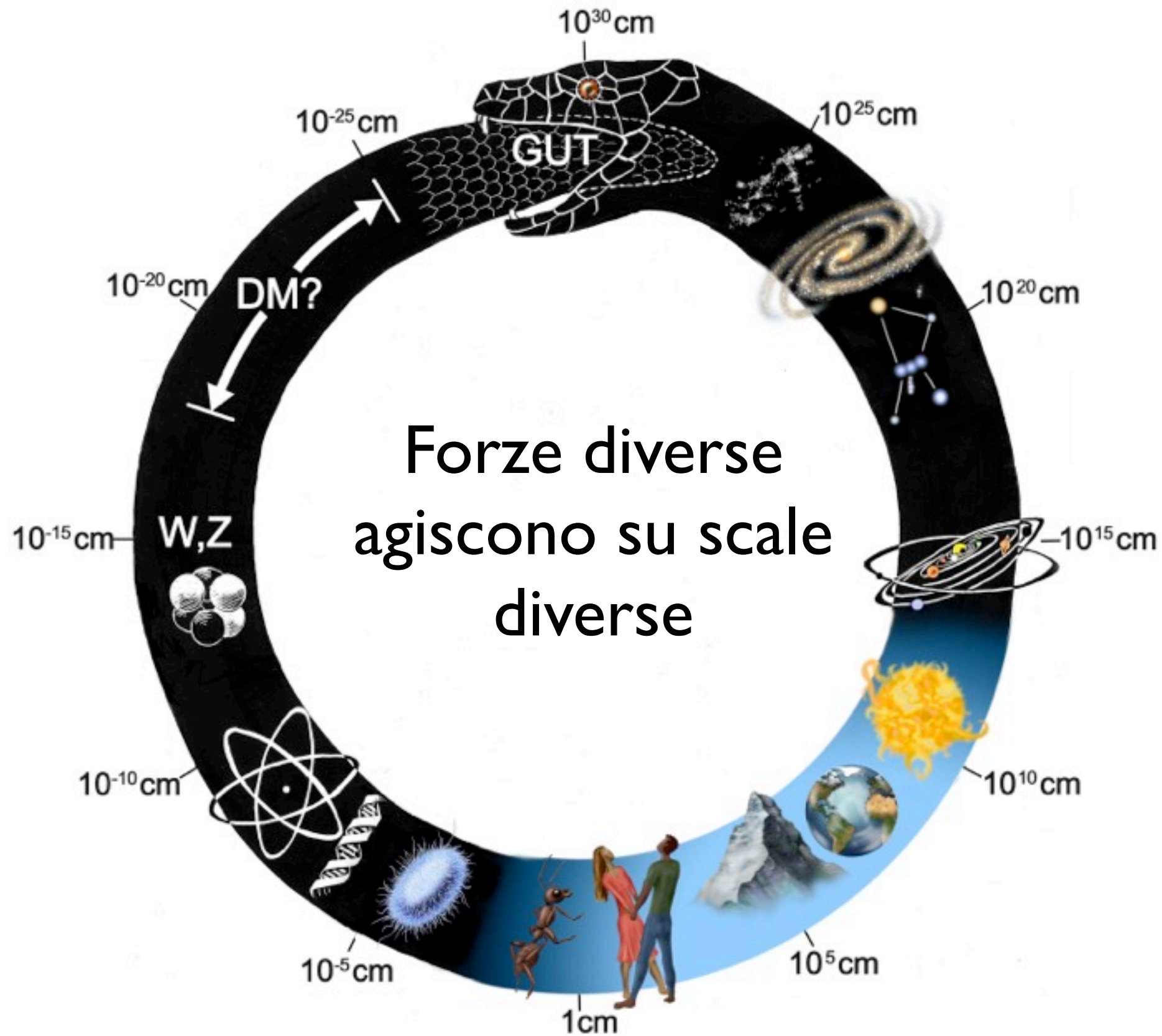
Il serpente
rappresenta tutte le
possibili scale
dell'universo



la misura più grande che possiamo
osservare: Orizzonte Cosmico
(circa 10^{28} cm)

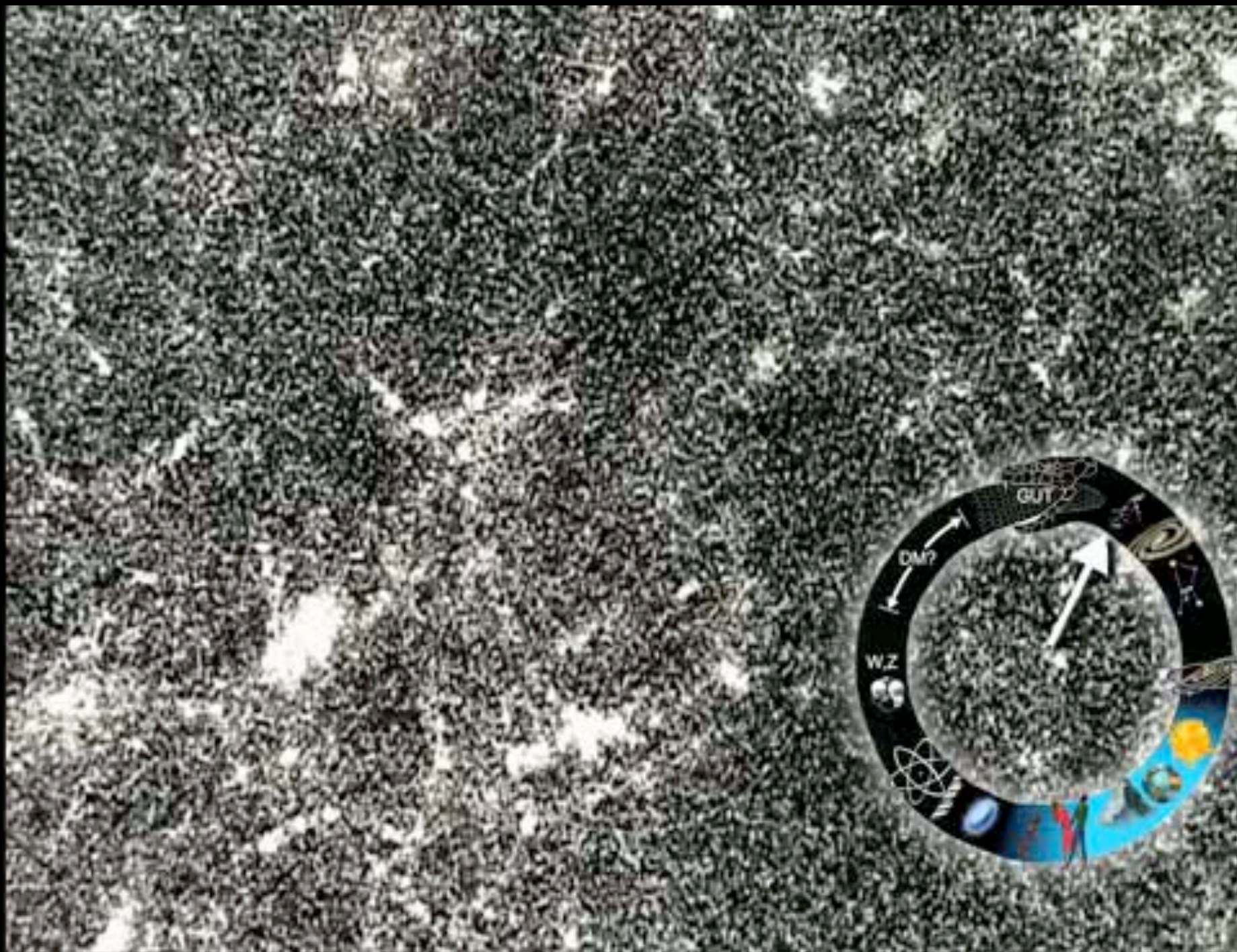
L'Uroboro cosmico

debole/
forte



Gravità

elettromagnetica



Un viaggio dal macro al micro cosmo

- Macrocosmo



Una bella immagine che però è fuorviante: il 99,5% dell'Universo è invisibile.

Credit: credit: NASA, ESA, G. Illingworth, D. Magee, and P. Oesch (University of California, Santa Cruz), R. Bouwens (Leiden University), and the HUDF09 Team



Pilastri della creazione: Nebulosa della Carena
(luce visibile)

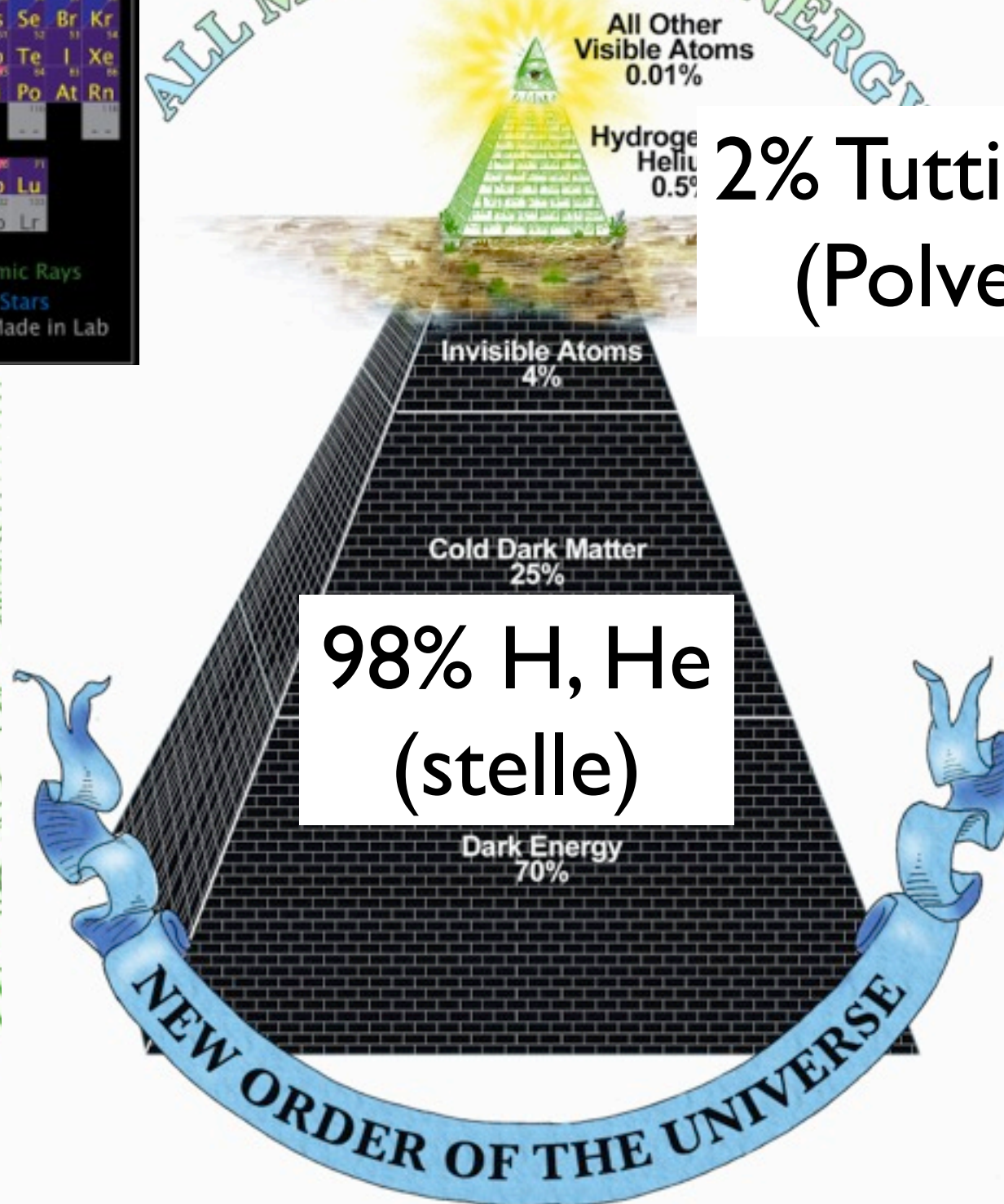


Pilastri della creazione: Nebulosa della Carena (luce infrarossa)

Periodic Table of Elements

Light blue - Big Bang
Pink - Small Stars
Purple - Supernovae
Green - Cosmic Rays
Blue - Large Stars
Dull gray - Made in Lab

ALL MATTER AND ENERGY



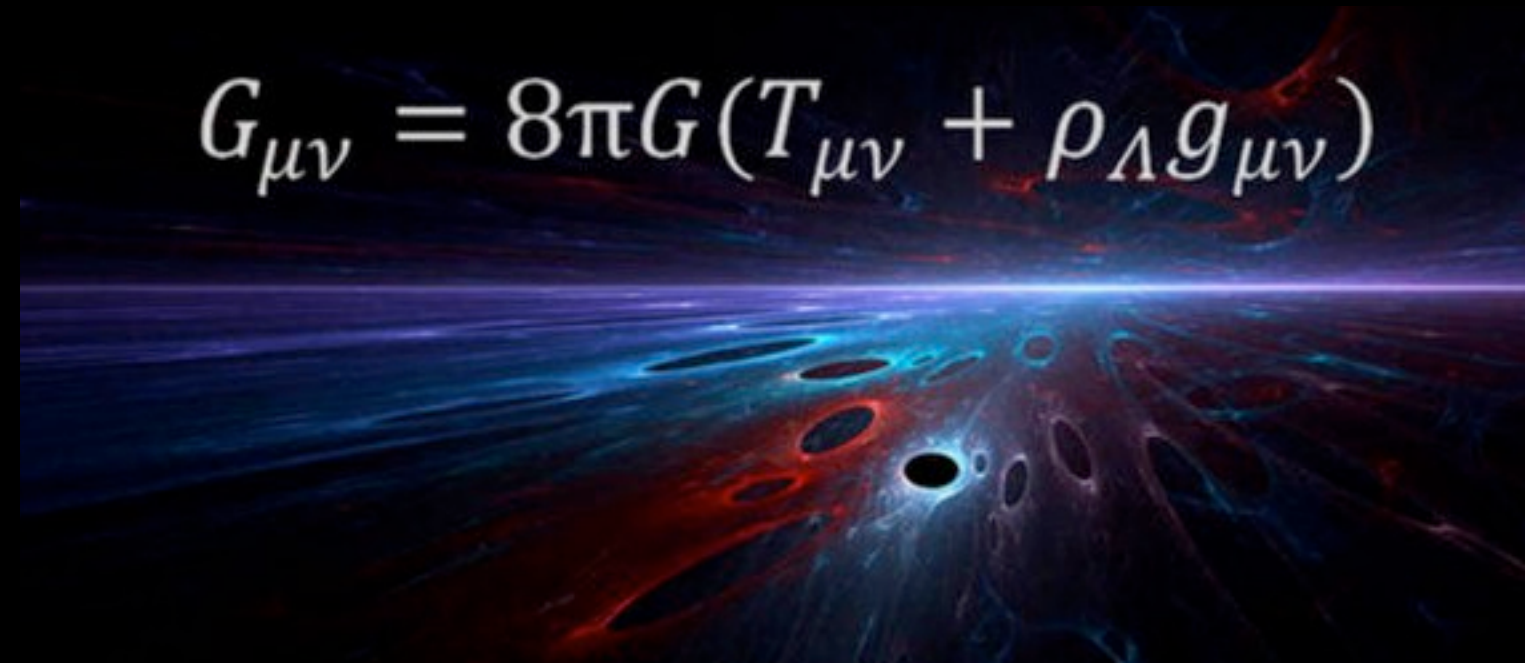
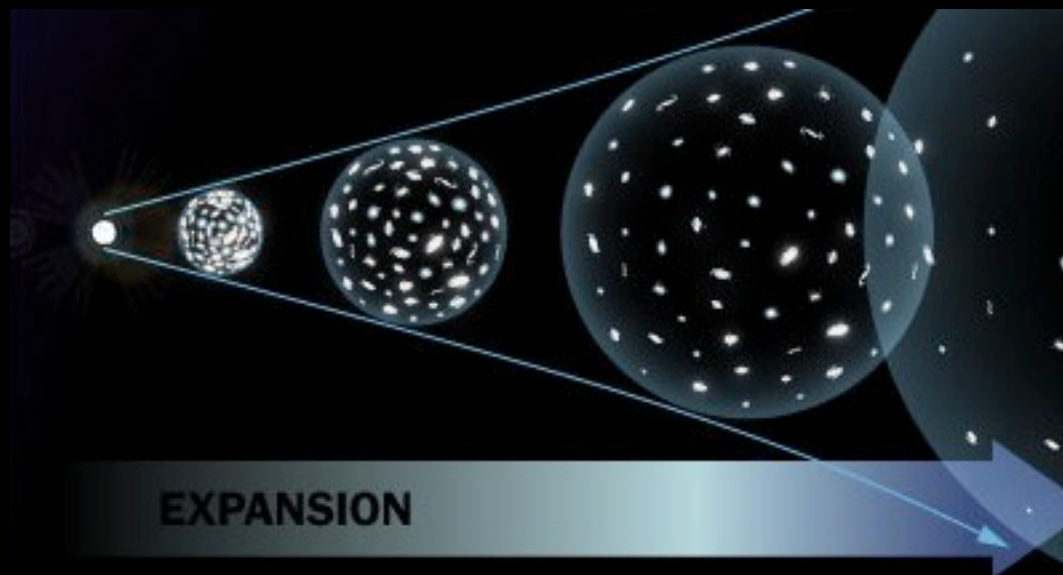
**Atomi
visibili**

2% Tutti gli altri atomi
(Polvere di stelle)

**Atomi
invisibili
4%**

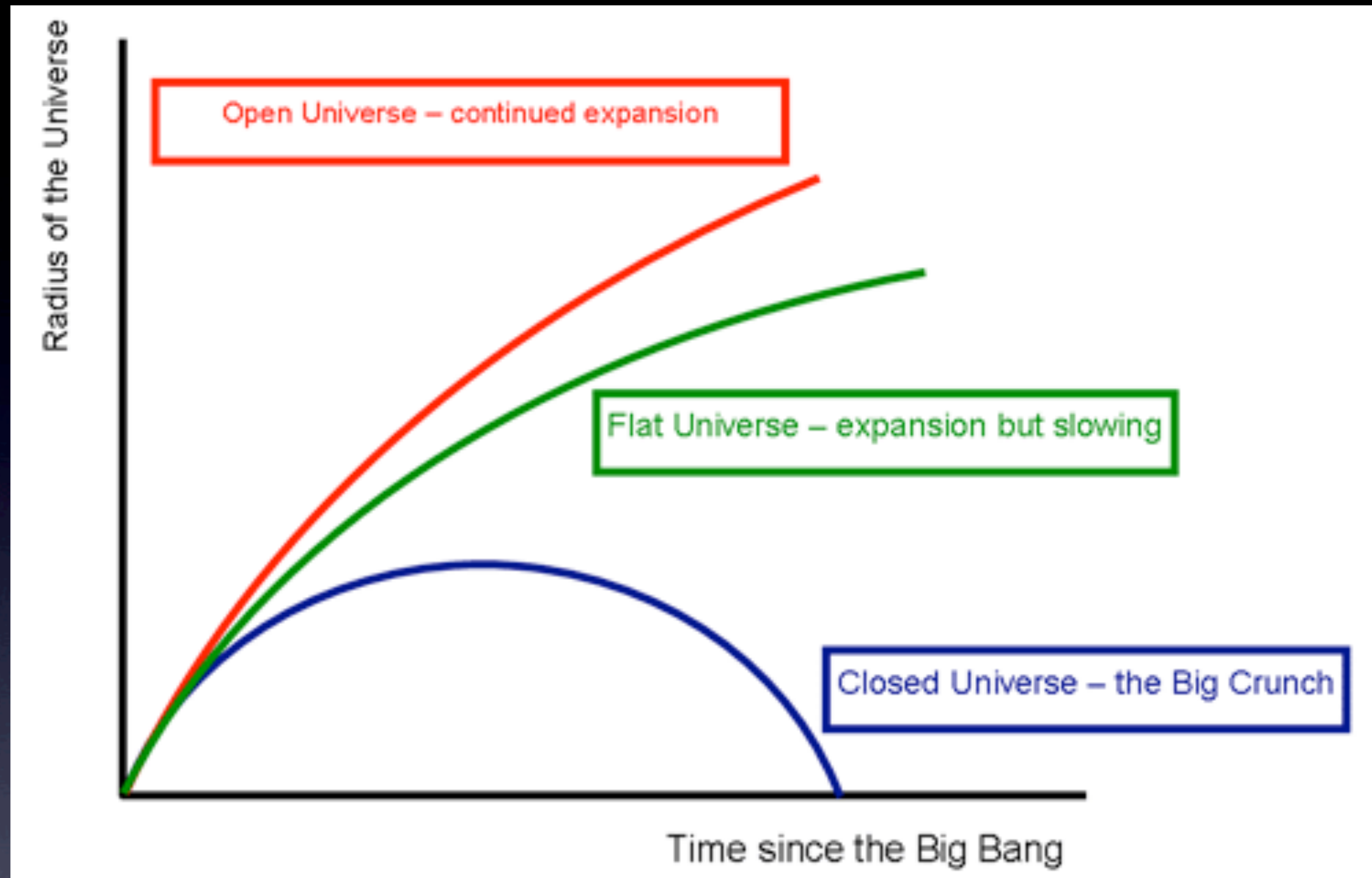
**Energia e
materia
oscura
95%**

- L'Universo visibile:
 - su larga scala ci appare omogeneo ed isotropo
 - le galassie lontane mostrano una velocità di recessione direttamente proporzionale alla distanza (legge di Hubble)
 - radiazione di fondo nella banda delle microonde isotropa (Cosmic Microwave Background, CMB)
 - contiene più ^4He di quanto possa essere stato prodotto all'interno delle stelle per processi di fusione nucleare

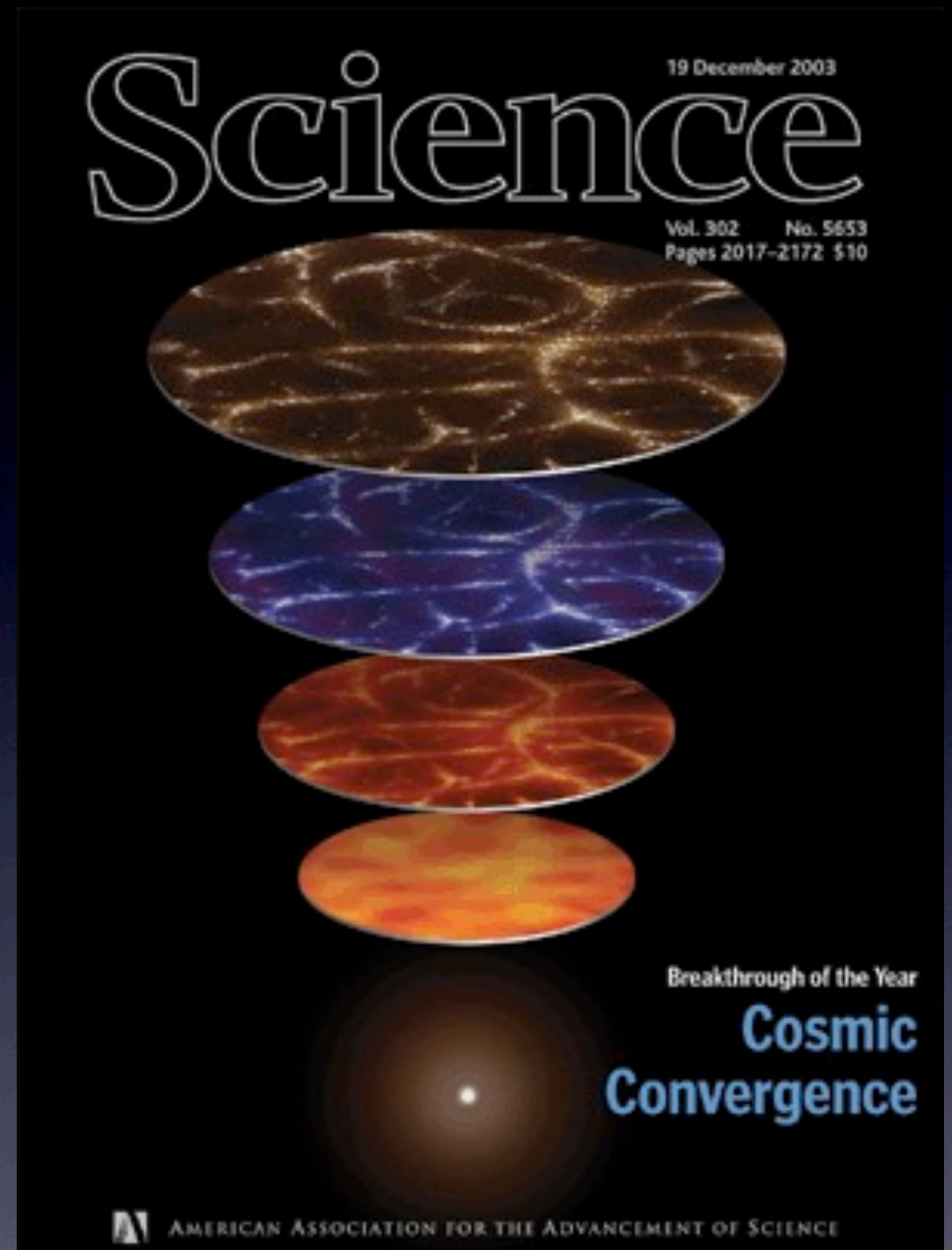


dalla relatività generale

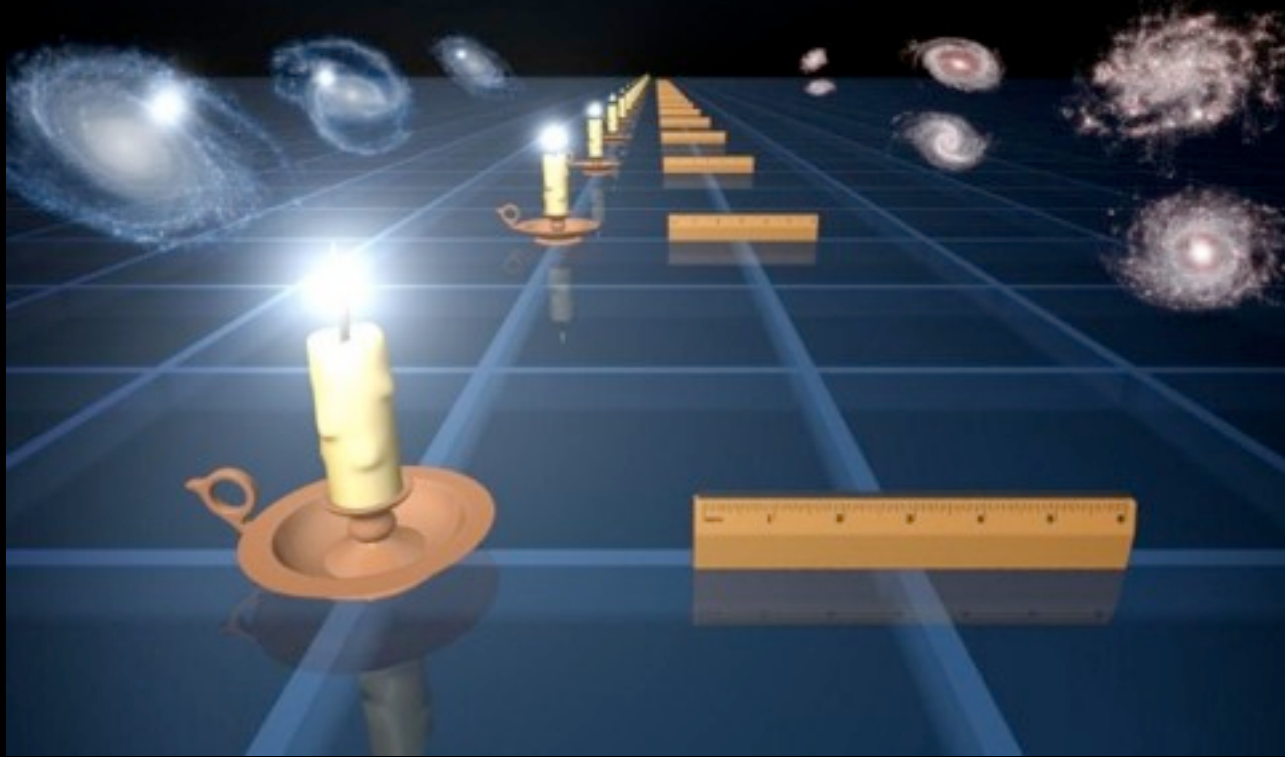




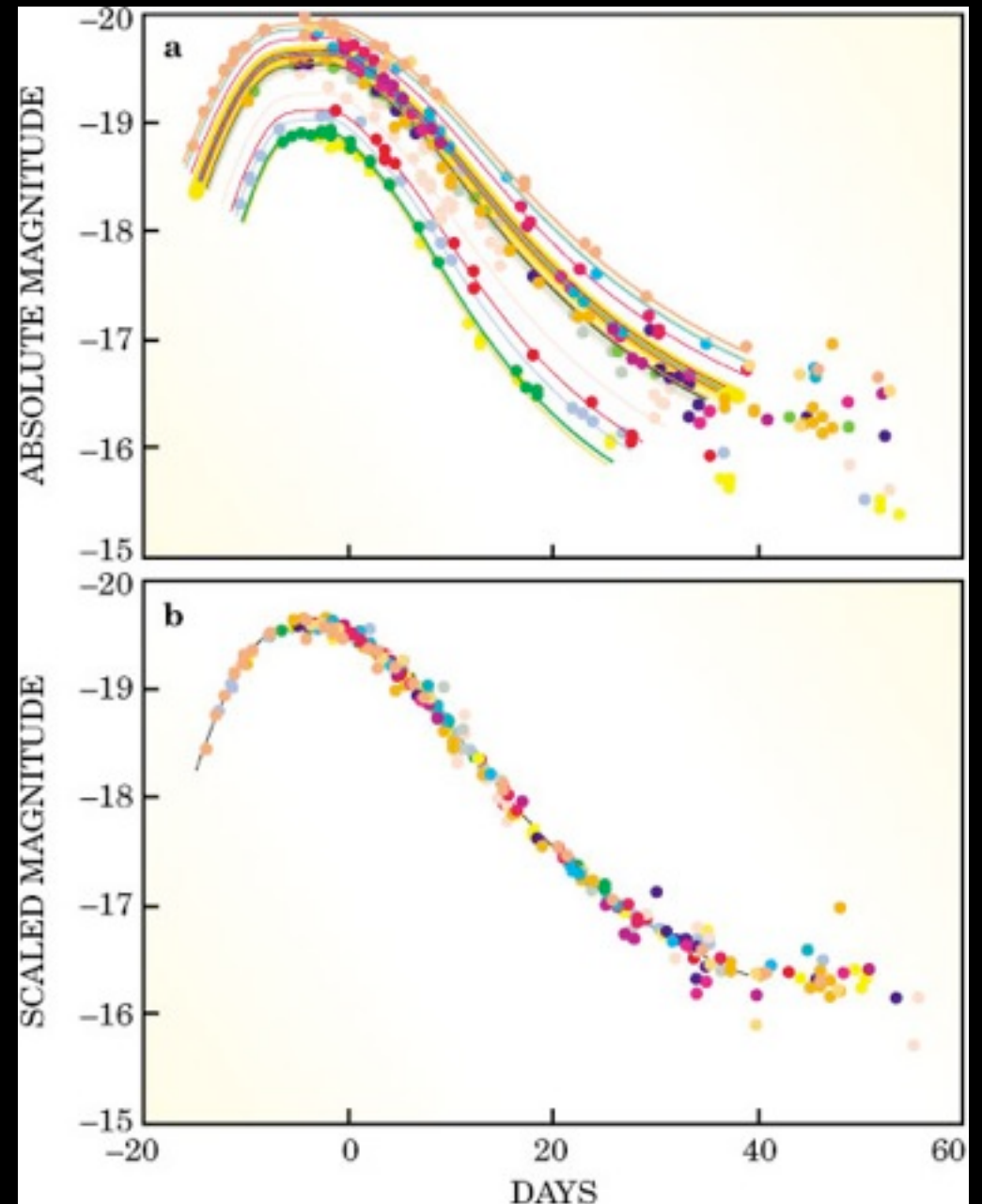
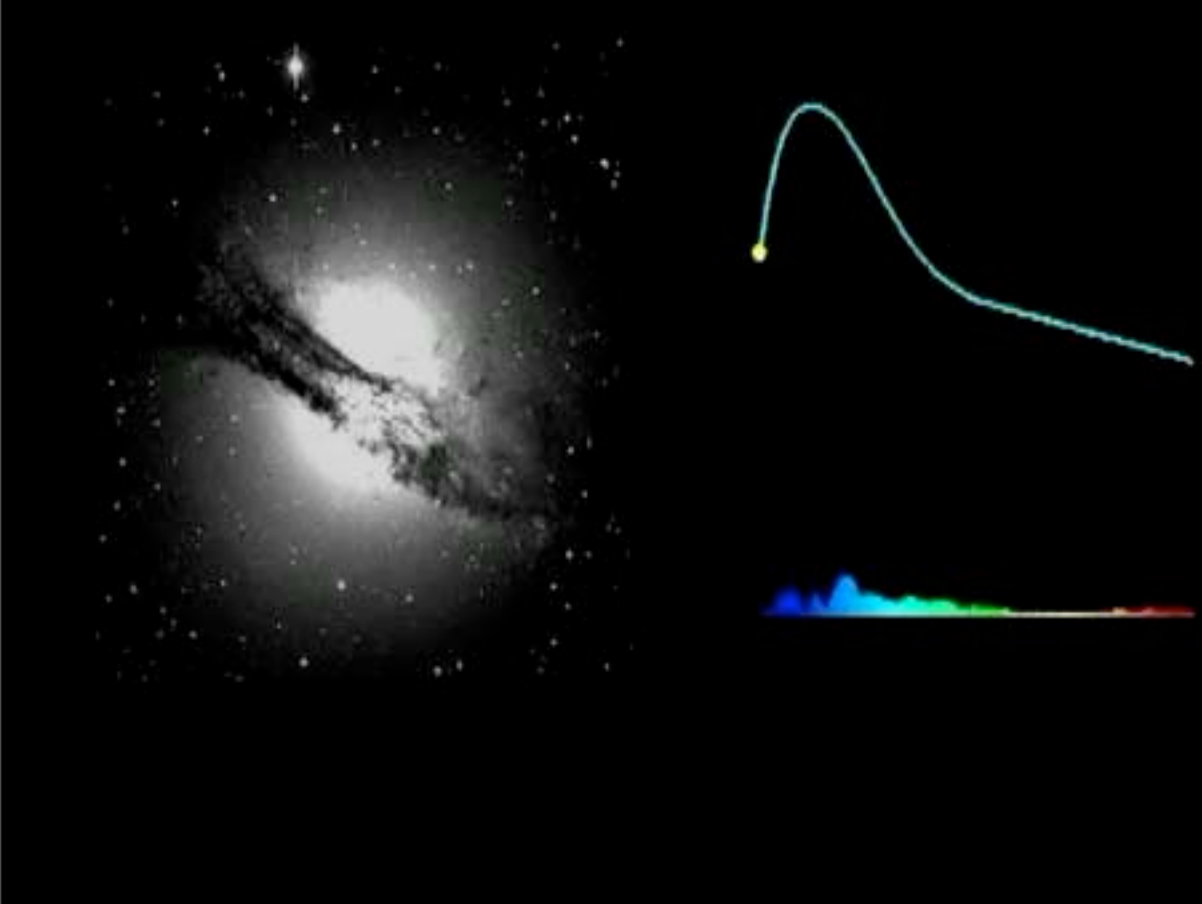
il destino dell'Universo



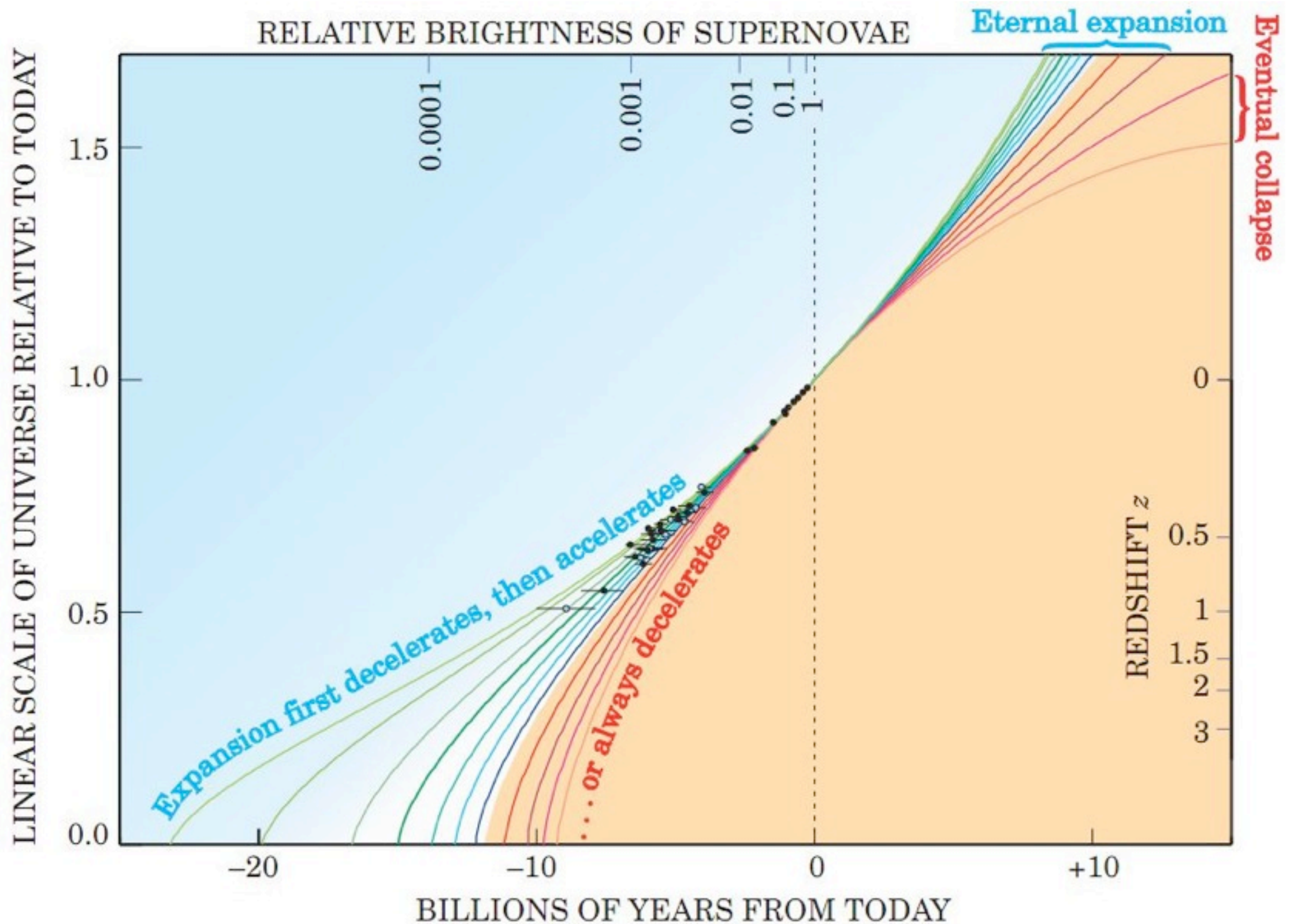
1998 NOTIZIA DELL'ANNO 2003



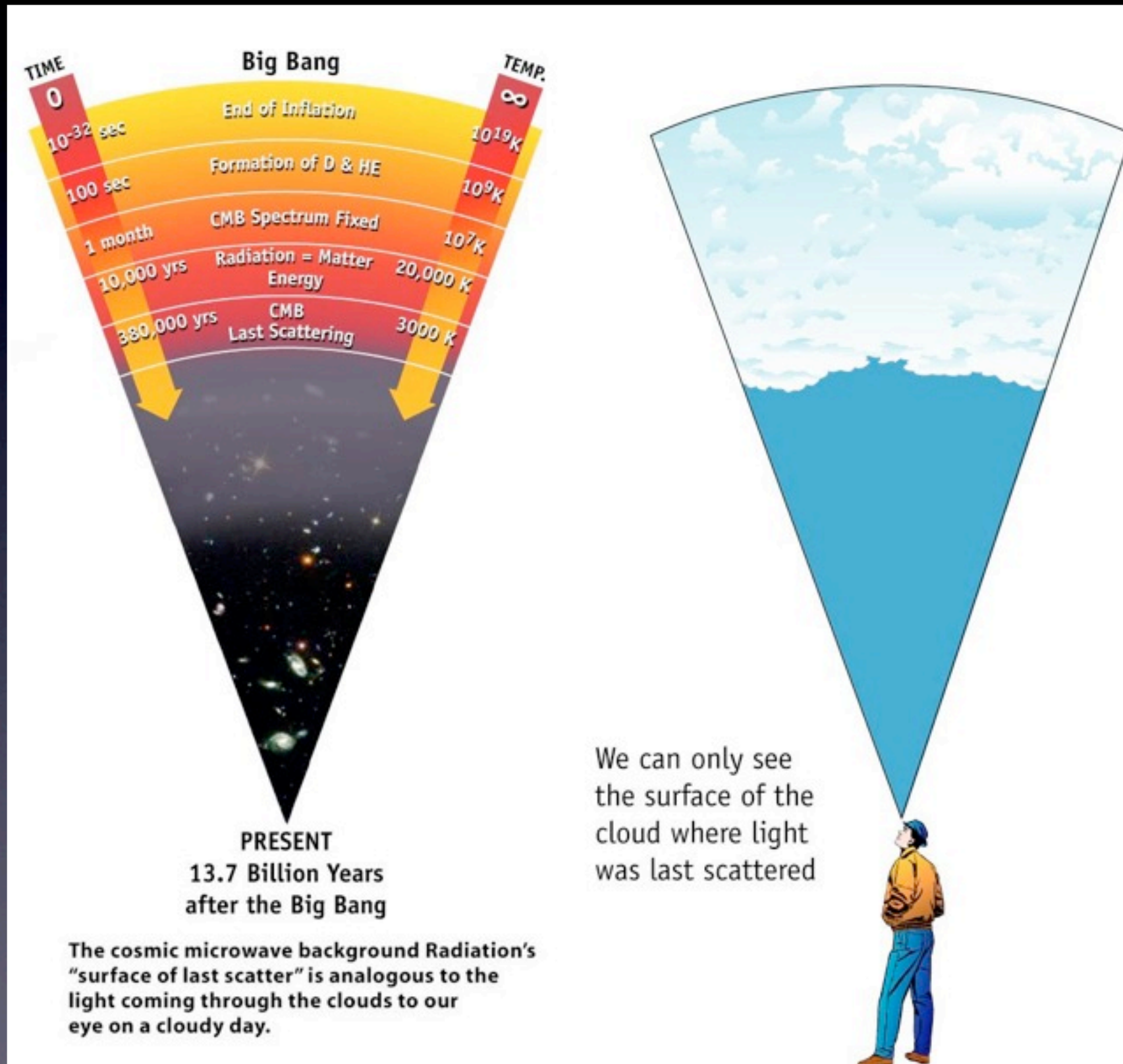
Supernovae come candele standard



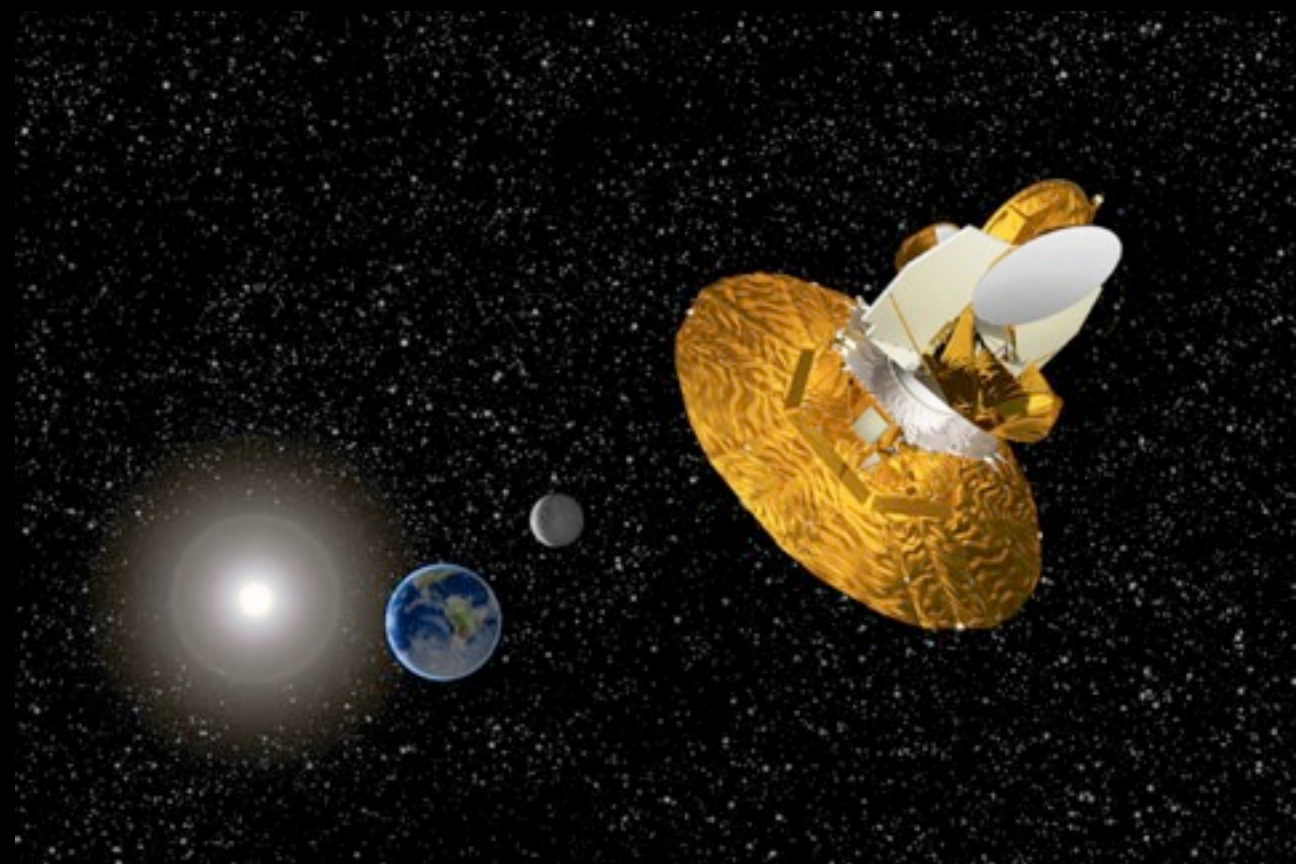
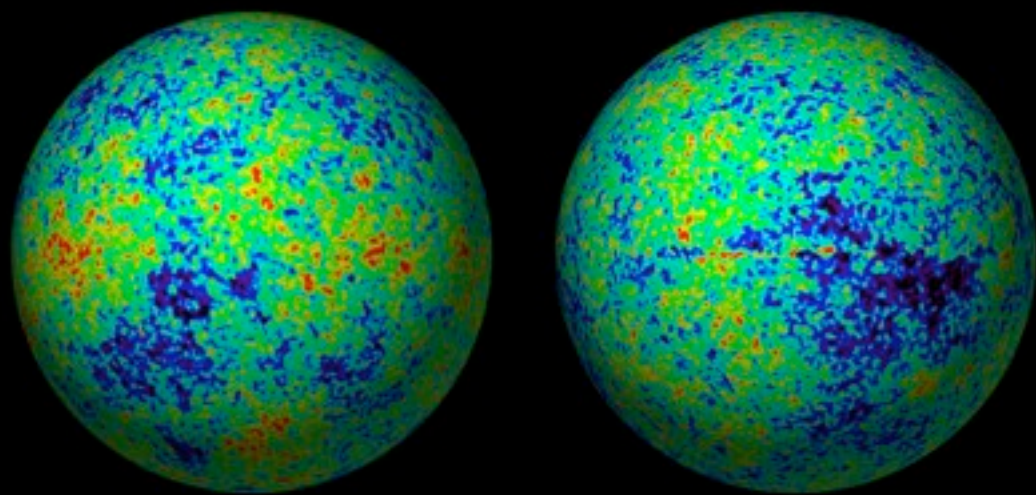
La misura contemporanea di velocità e distanza, per galassie a distanze diverse molto lontane nel passato, permette di misurare il tasso di accelerazione dell'Universo, e di predirne l'evoluzione futura!



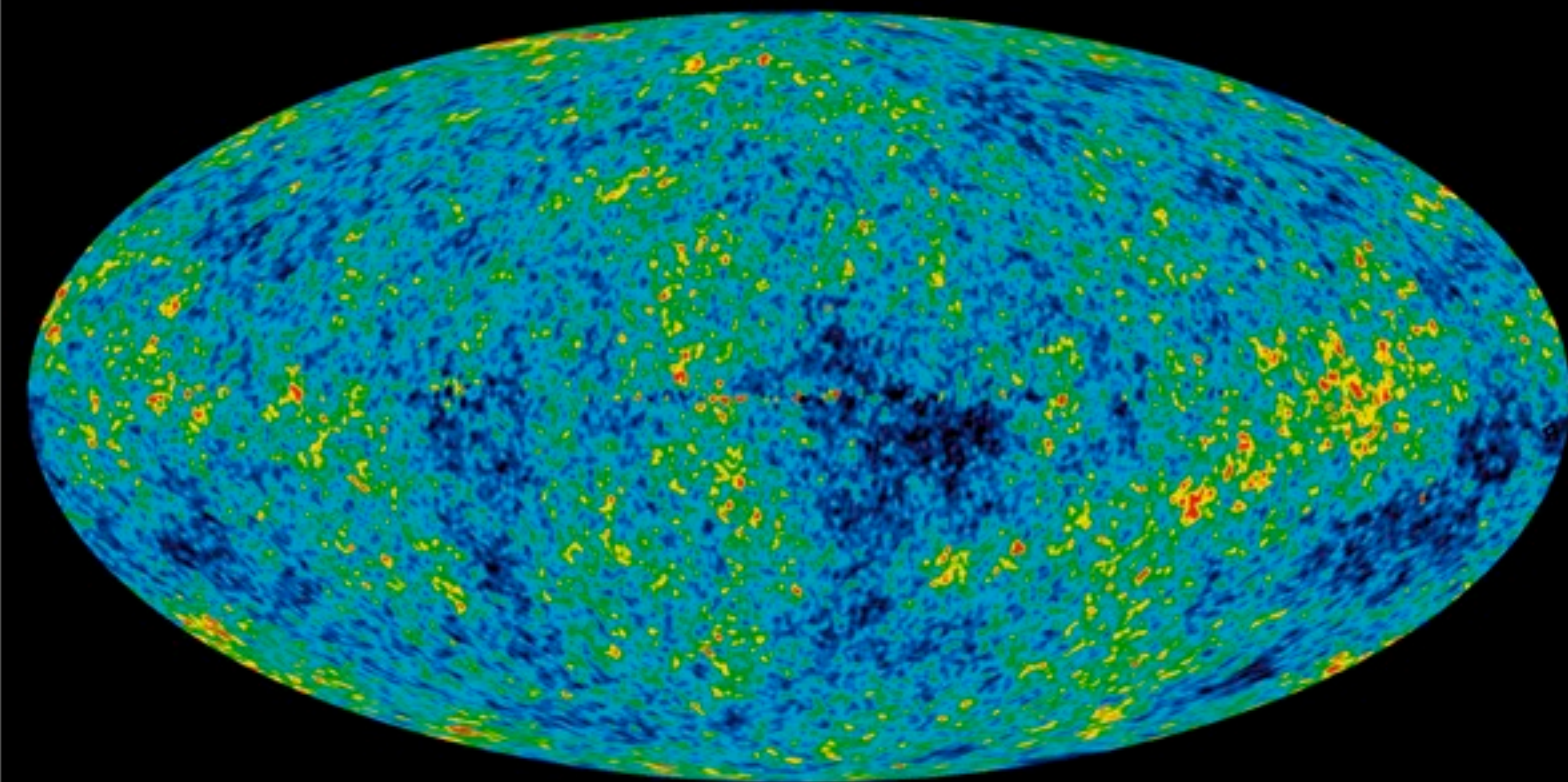
Un'altra finestra sull'Universo primordiale: la radiazione cosmica di fondo



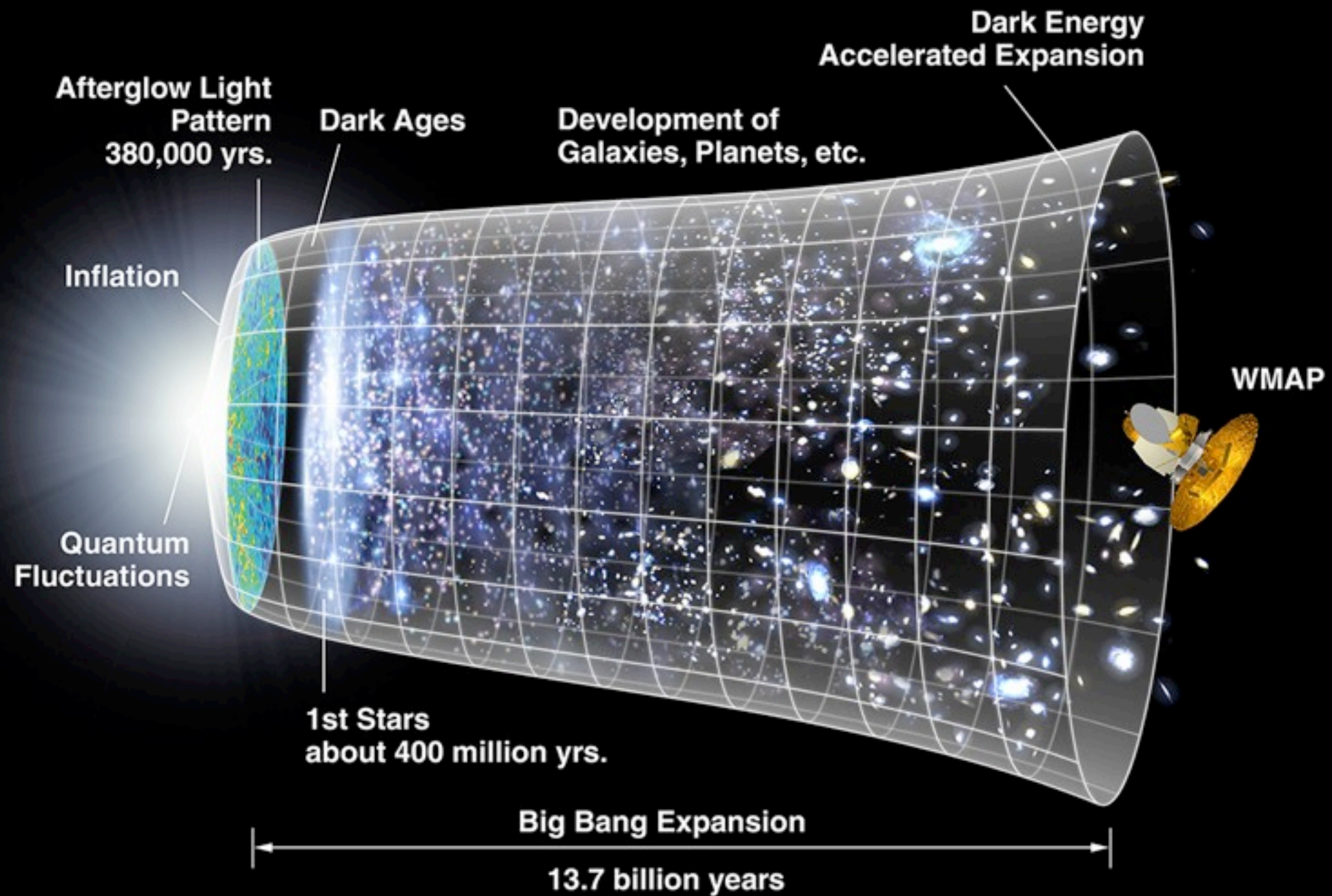
Fossile delle
fluttuazioni
quantistiche 10^{-34}
secondi dopo il Big
Bang, congelate dopo
l'inflazione e manifeste
nelle fluttuazioni di
temperatura
nell'Universo



la mappa della radiazione cosmica di fondo



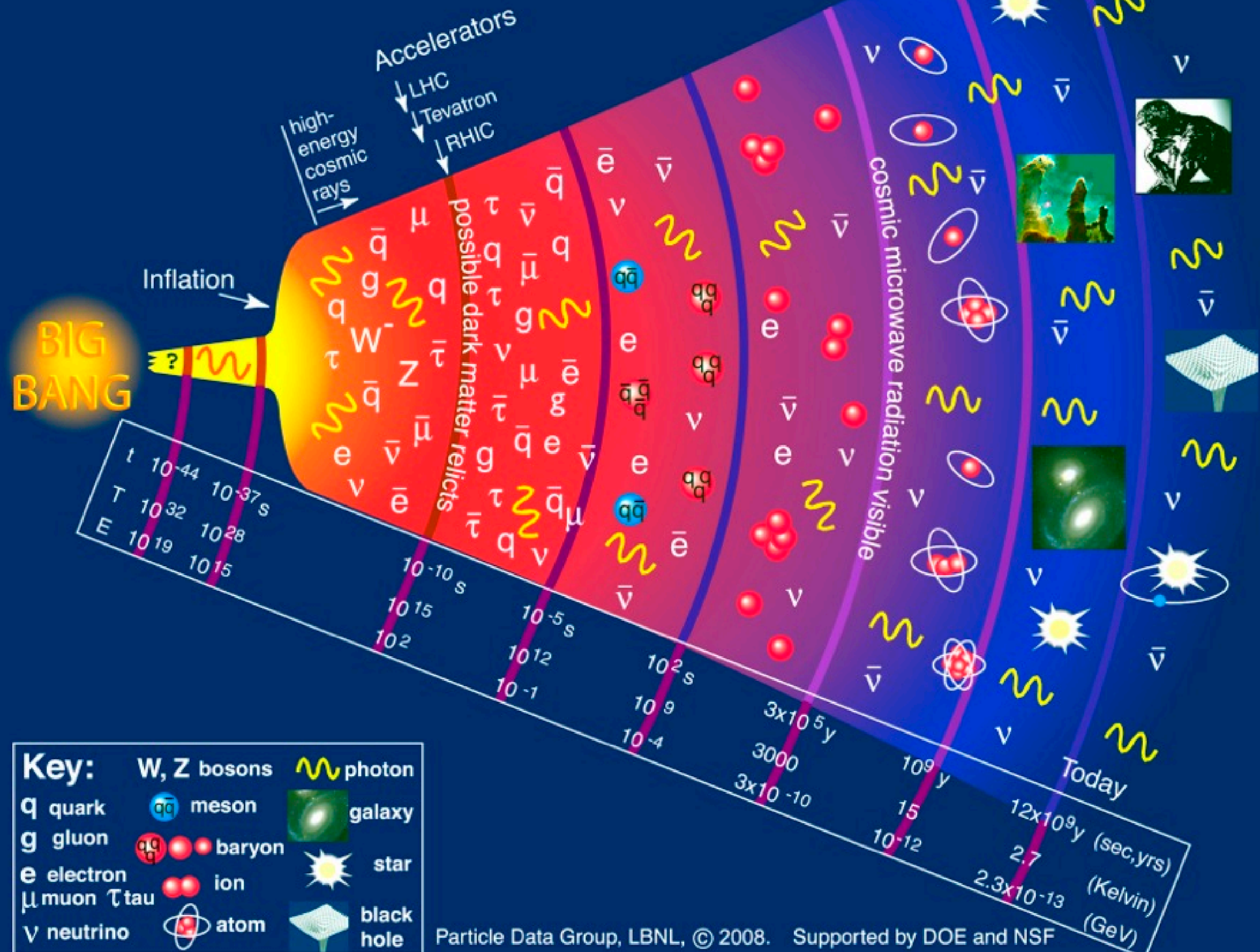
WMAP



Storia dell'Universo

NASA/WMAP Science Team

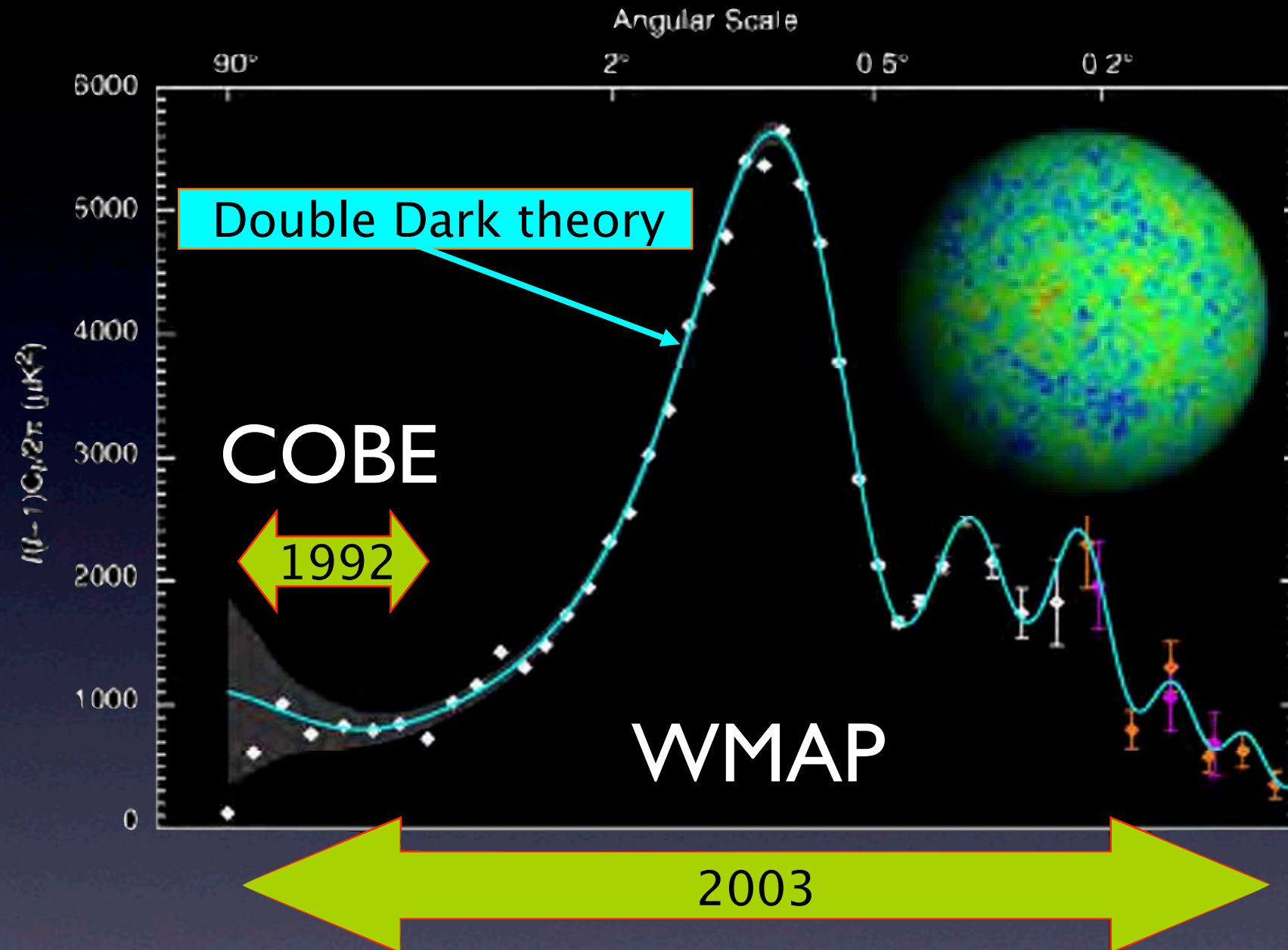
History of the Universe



Dark Matter + Dark Energy = Double Dark Theory

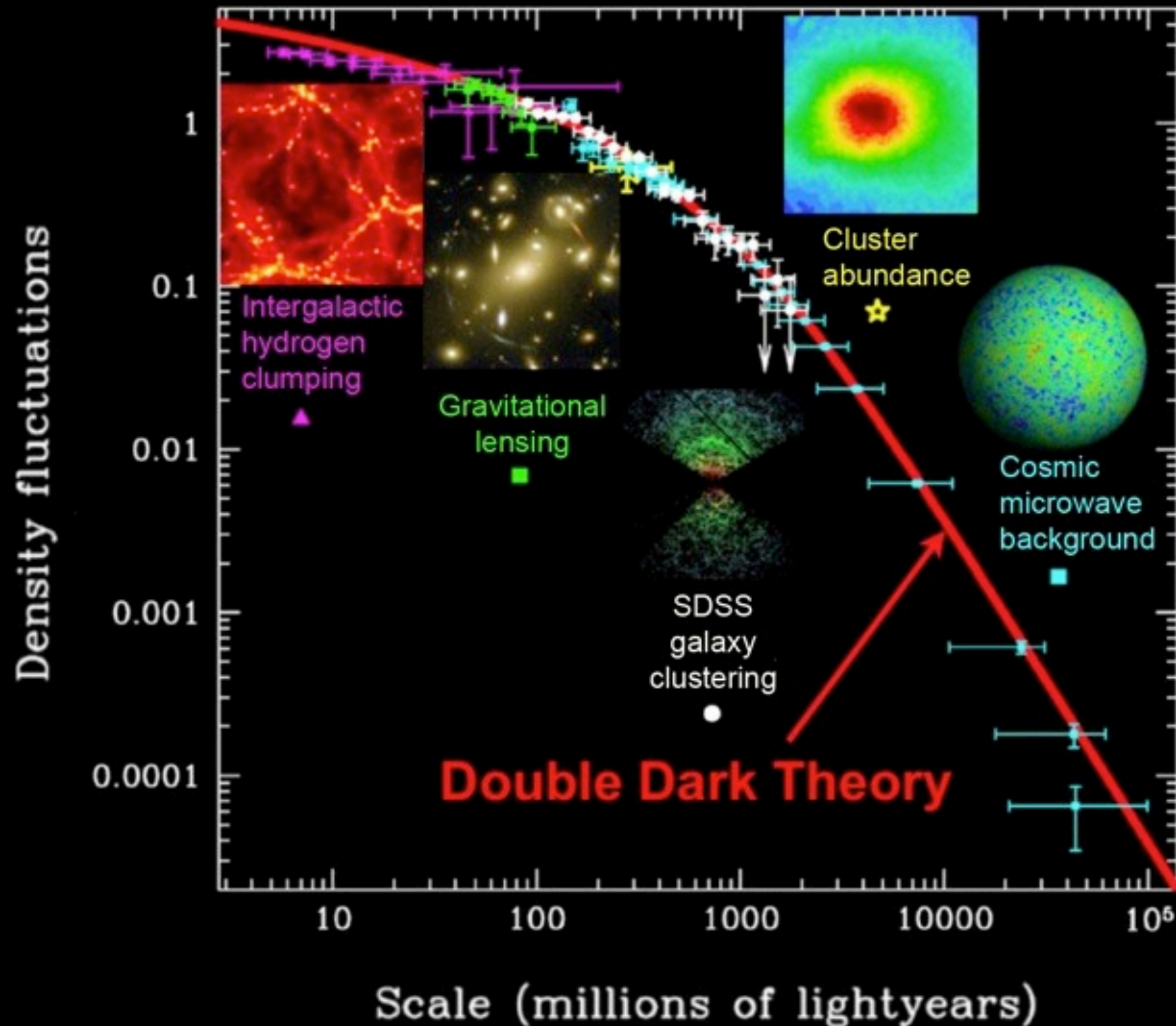
(Il modello standard della cosmologia)

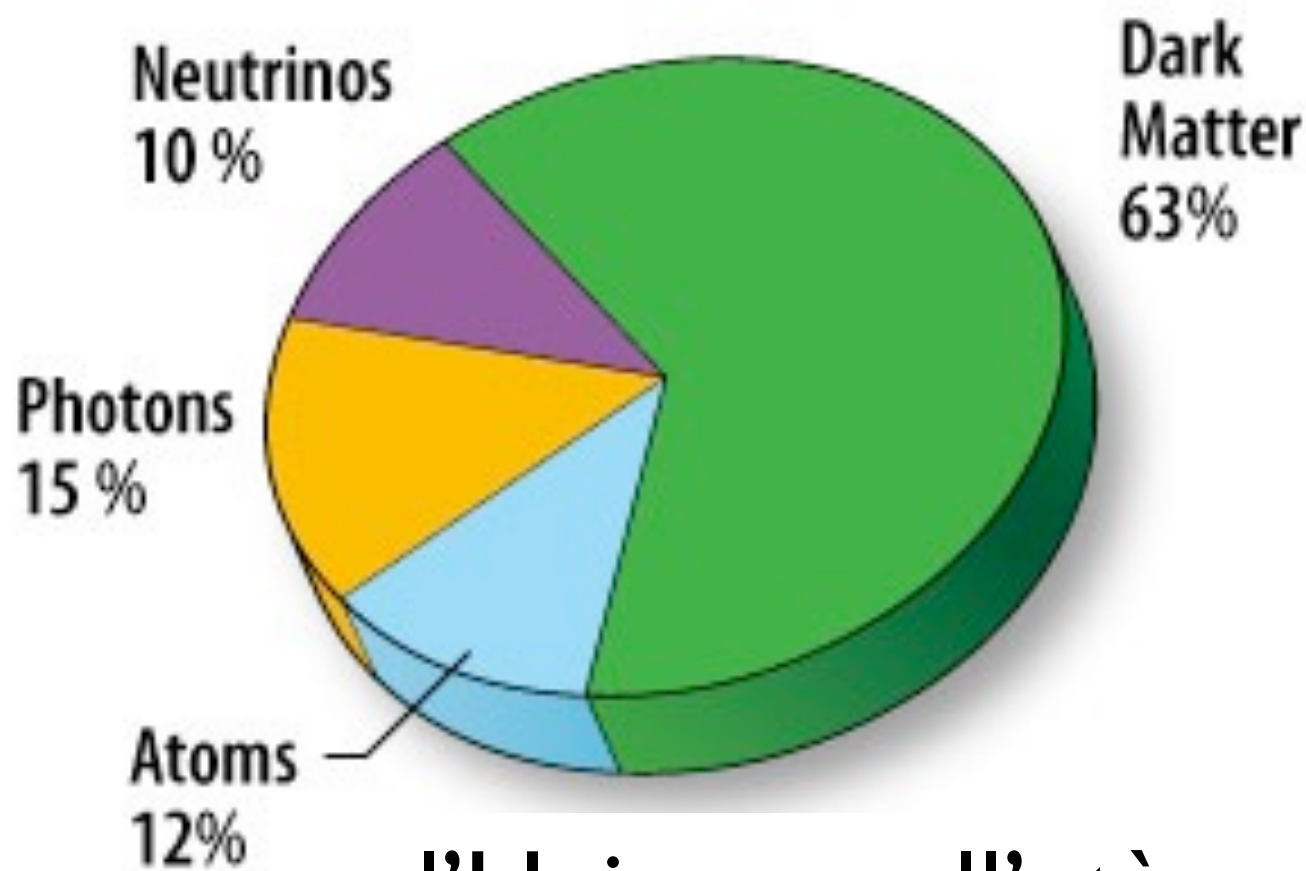
Big Bang Data Agrees with Double Dark Theory!



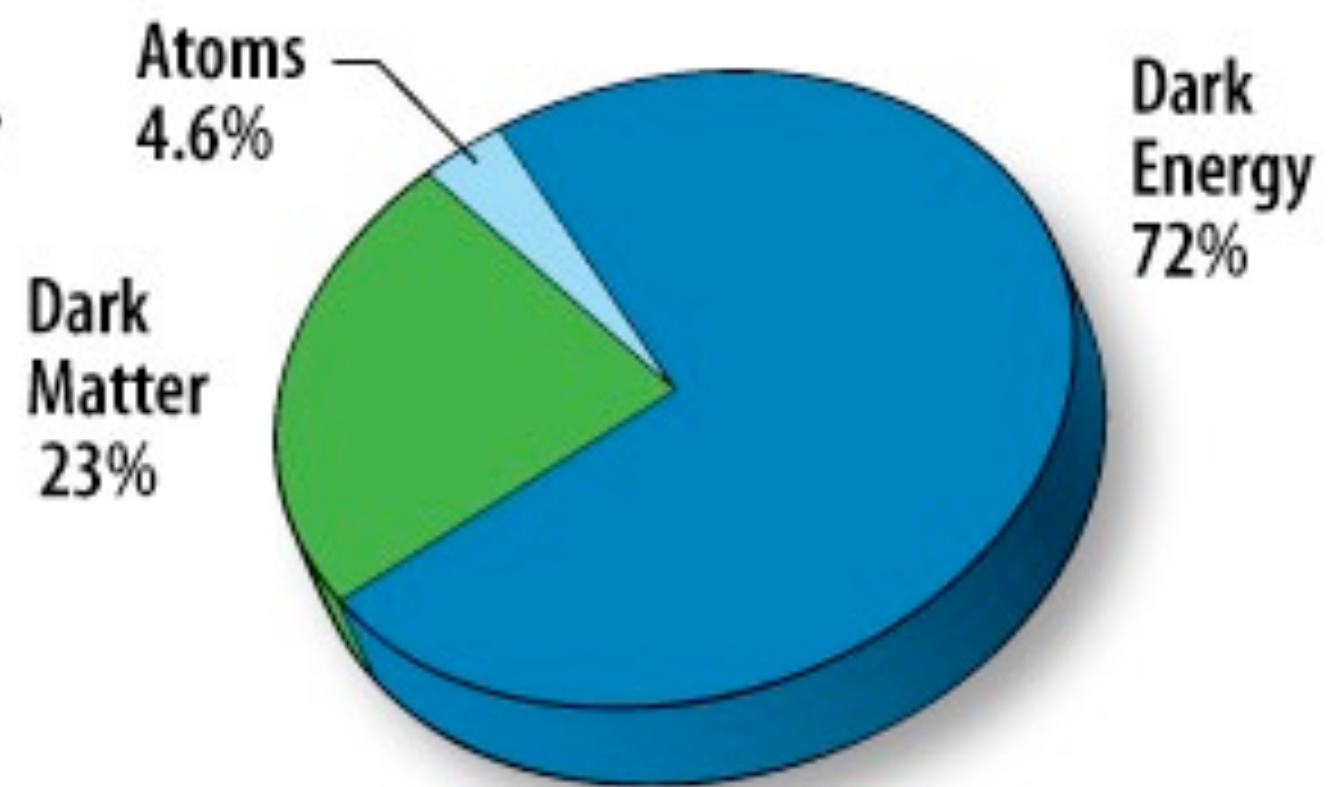
Il modello standard della cosmologia
 Λ CDM: Double Dark Theory

La distribuzione della Materia **conferma la teoria Λ CDM** a tutte le scale





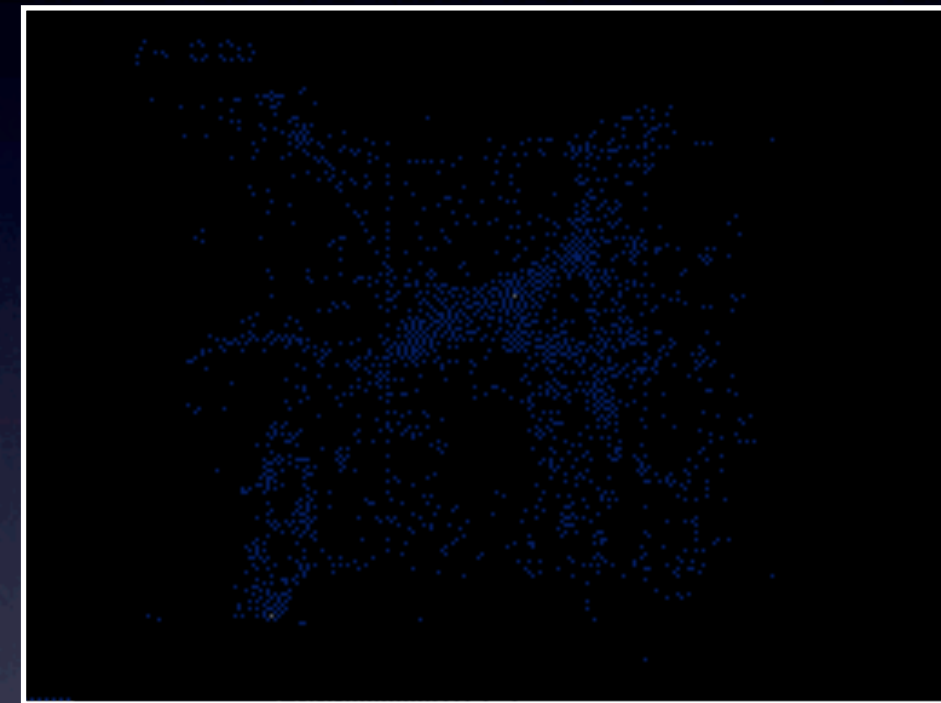
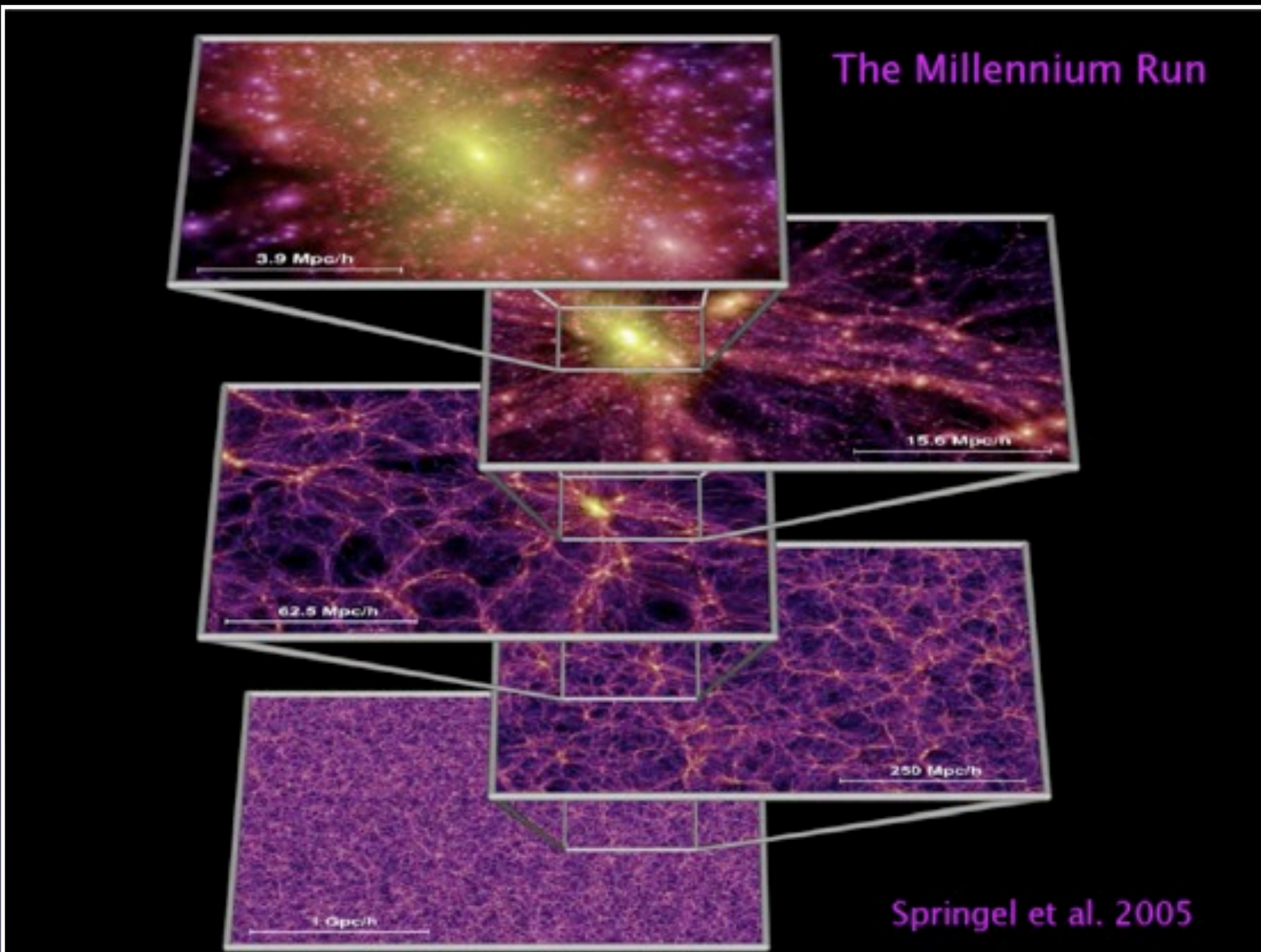
**l'Universo all'età
di 380000 anni**



**l'Universo
oggi**

Il contenuto dell'Universo

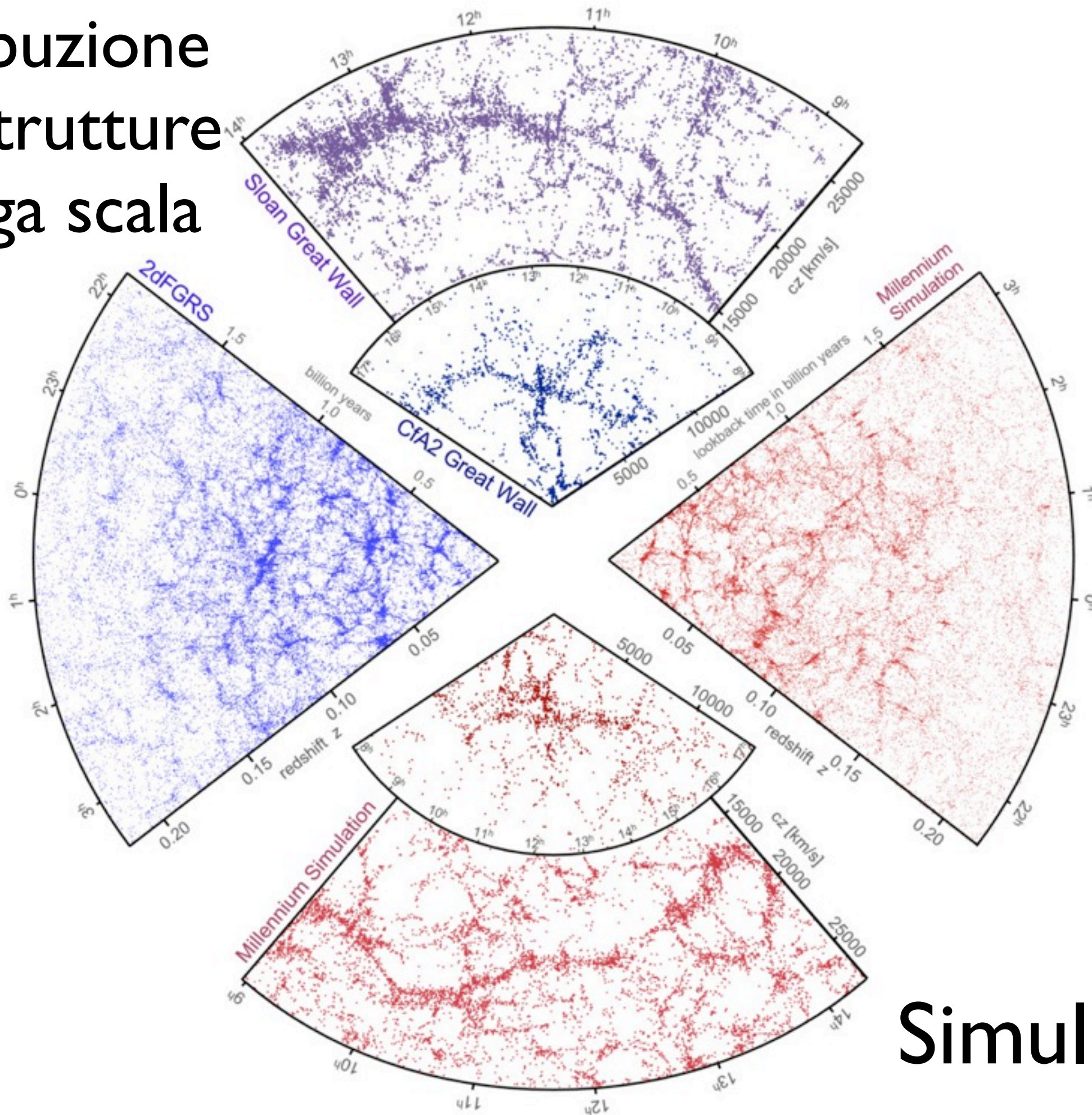
Formazione delle strutture: simulazioni N-body



simulations performed at the National Center for Supercomputer Applications by Andrey Kravtsov (The University of Chicago) and Anatoly Klypin (New Mexico State University). Visualizations by Andrey Kravtsov.

Evoluzione delle perturbazioni assumendo un universo piatto in cui il 30% della densità è dovuto alla materia e il 70% all'energia del vuoto. La maggior parte della materia si suppone nella forma di CDM - particelle massive non interagenti e "fredde" (ossia non-relativistiche). Vi sono circa due miliardi di particelle nella scatola (140 milioni di anni luce). Il filmato mostra l'evoluzione in coordinate comoventi.

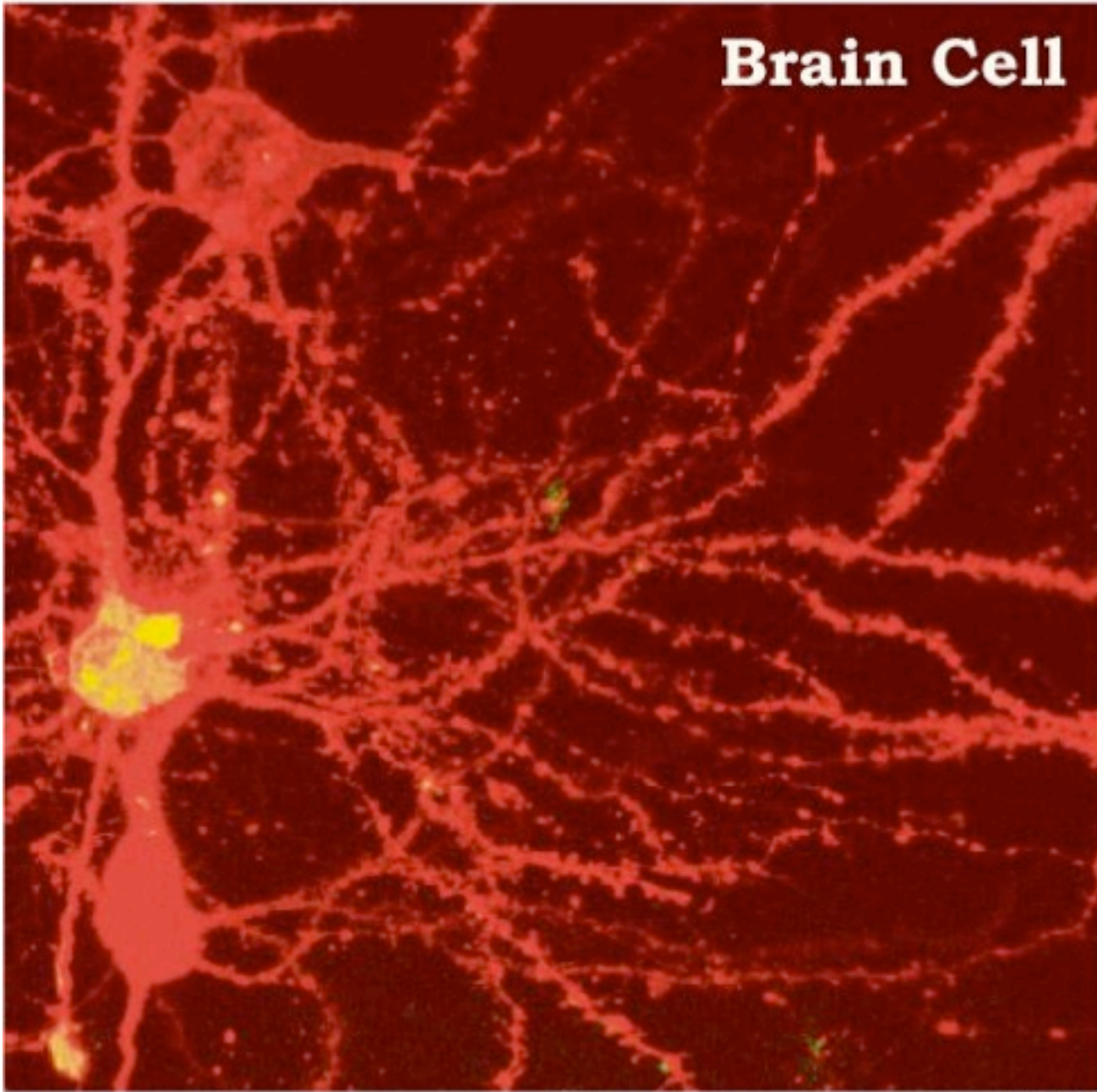
Distribuzione delle strutture su larga scala



Simulazioni

One is only micrometers wide. The other is billions of light-years across. One shows neurons in a mouse brain. The other is a simulated image of the universe. Together they suggest the surprisingly similar patterns found in vastly different natural phenomena. *DAVID CONSTANTINE*

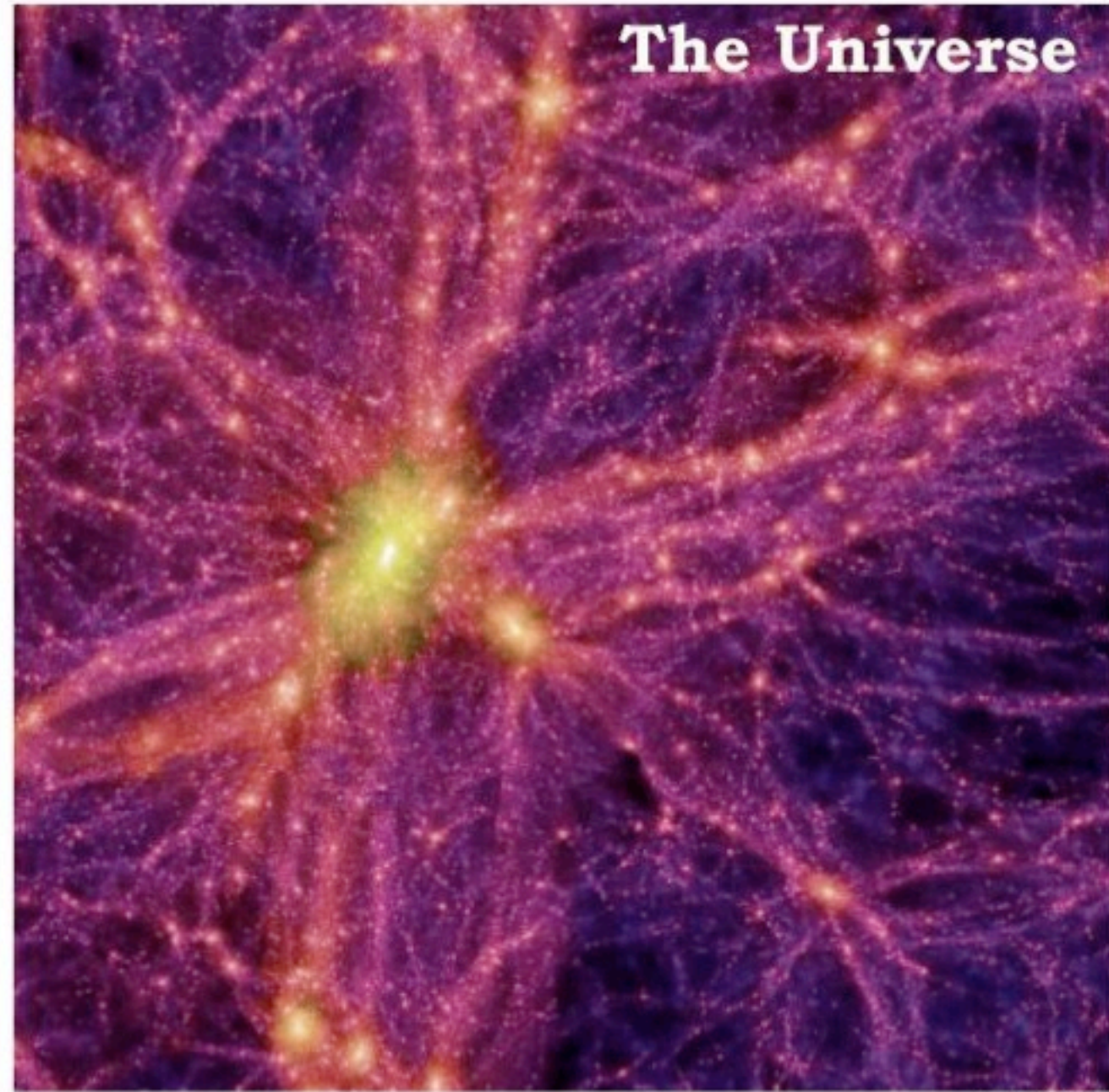
Brain Cell



Mark Miller

Mark Miller, a doctoral student at Brandeis University, is researching how particular types of neurons in the brain are connected to one another. By staining thin slices of a mouse's brain, he can identify the connections visually. The image above shows three neuron cells on the left (two red and one yellow) and their connections.

The Universe



Virgo Consortium

An international group of astrophysicists used a computer simulation last year to recreate how the universe grew and evolved. The simulation image above is a snapshot of the present universe that features a large cluster of galaxies (bright yellow) surrounded by thousands of stars, galaxies and dark matter (web).

Source: Mark Miller, Brandeis University; Virgo Consortium for Cosmological Supercomputer Simulations; www.visualcomplexity.com

The New York Times

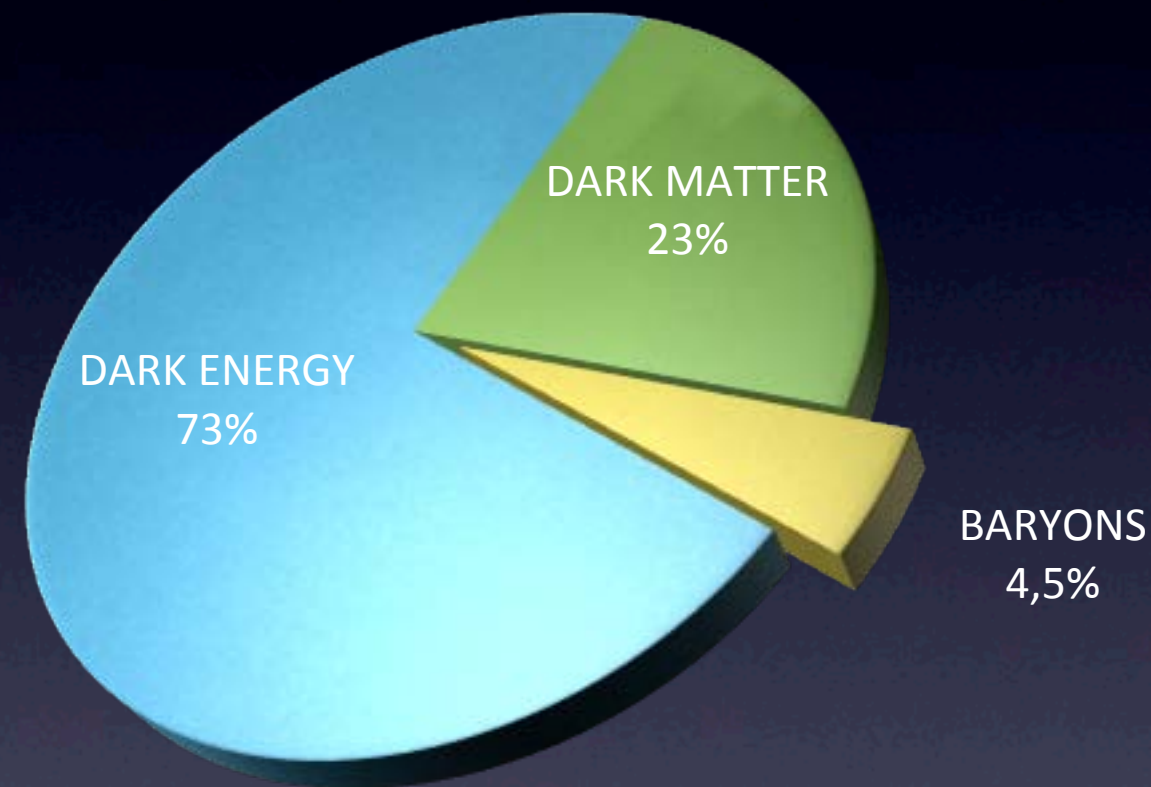
- Materia oscura

Materia oscura (DM)

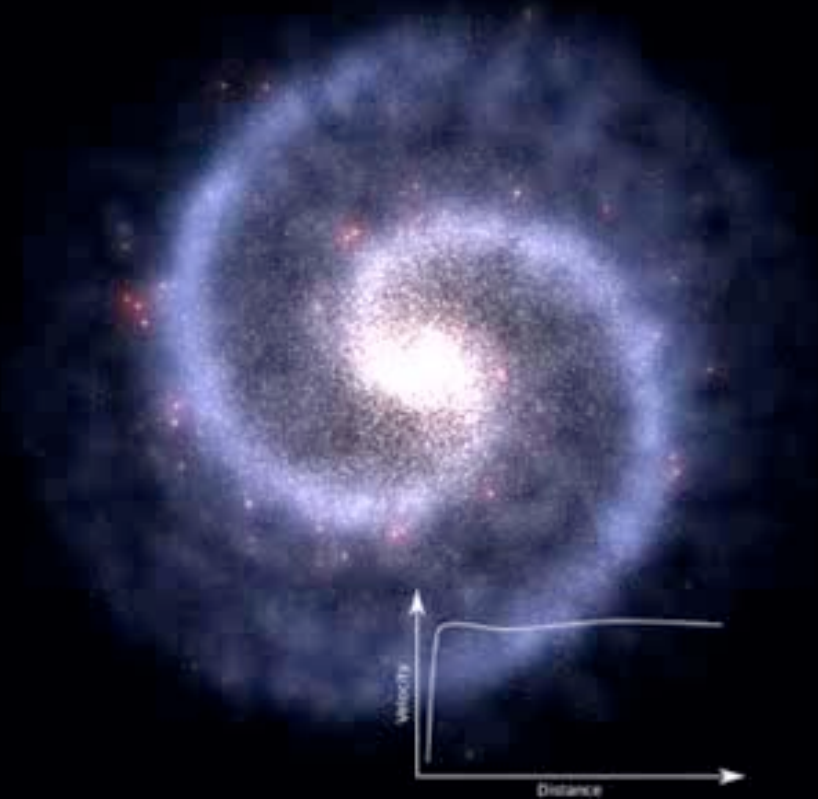
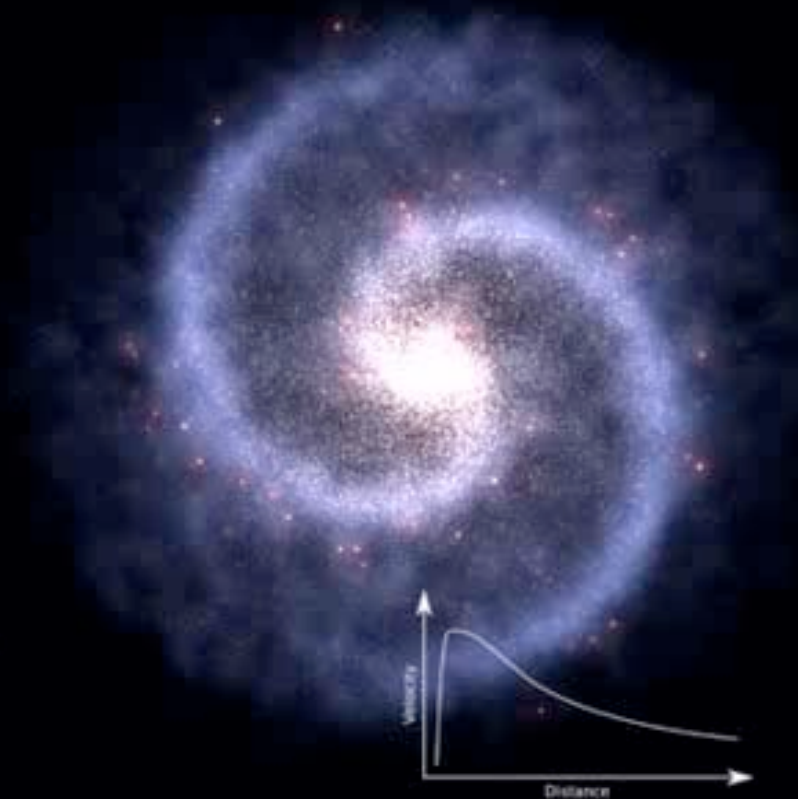
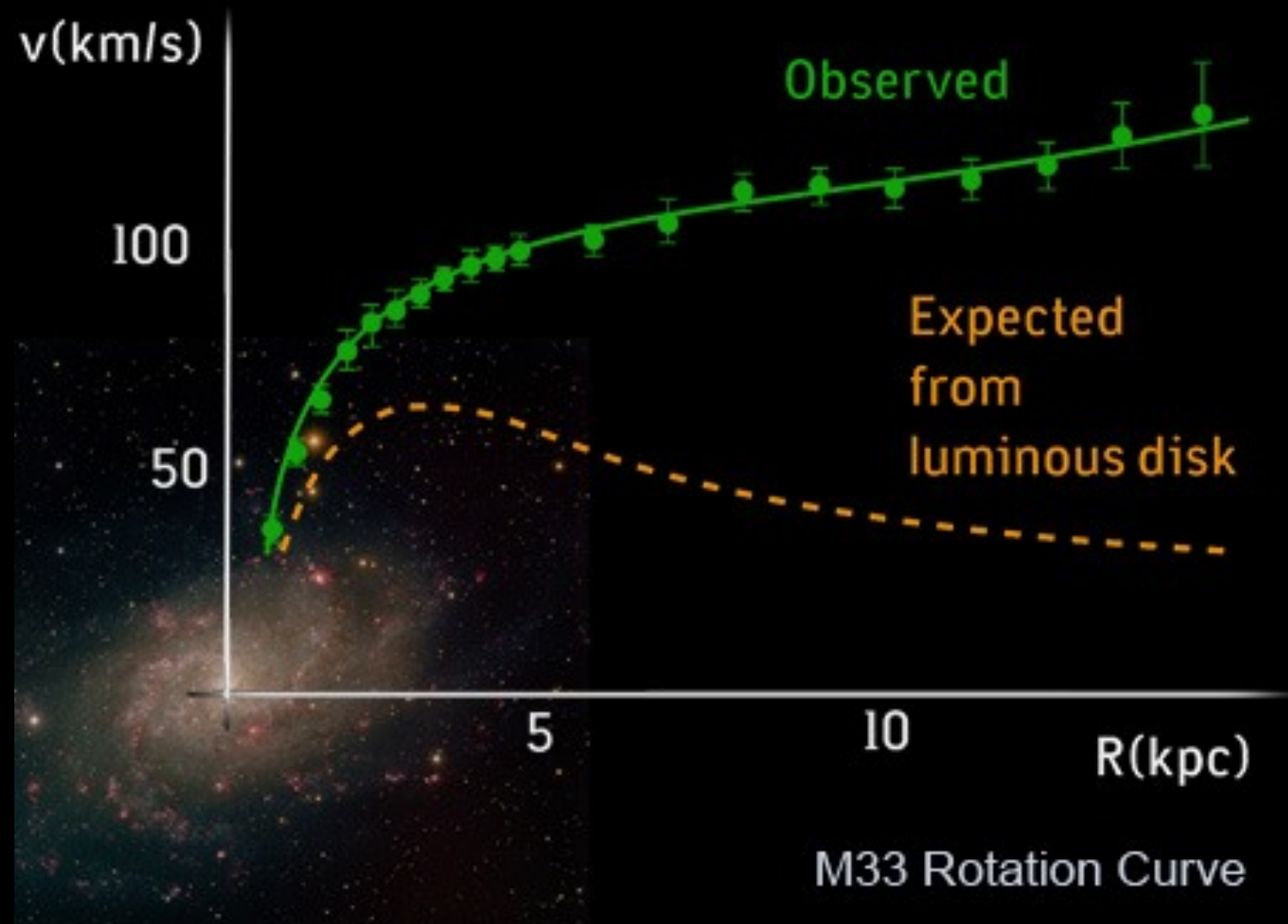
- deve essere non barionica
 - Il contenuto barionico dell'Universo può essere dedotto dalle abbondanze degli elementi leggeri: H, D, He, Li (Nucleosintesi primordiale)
 - $\Omega_b = 4.5\%$ da BBN e CMB
- deve essere “fredda” per produrre la crescita delle strutture
 - $\Omega_c = 23\%$ da CMB and BAO

→ $\Omega_b \sim 1/6$ vs $\Omega_c \sim 5/6$

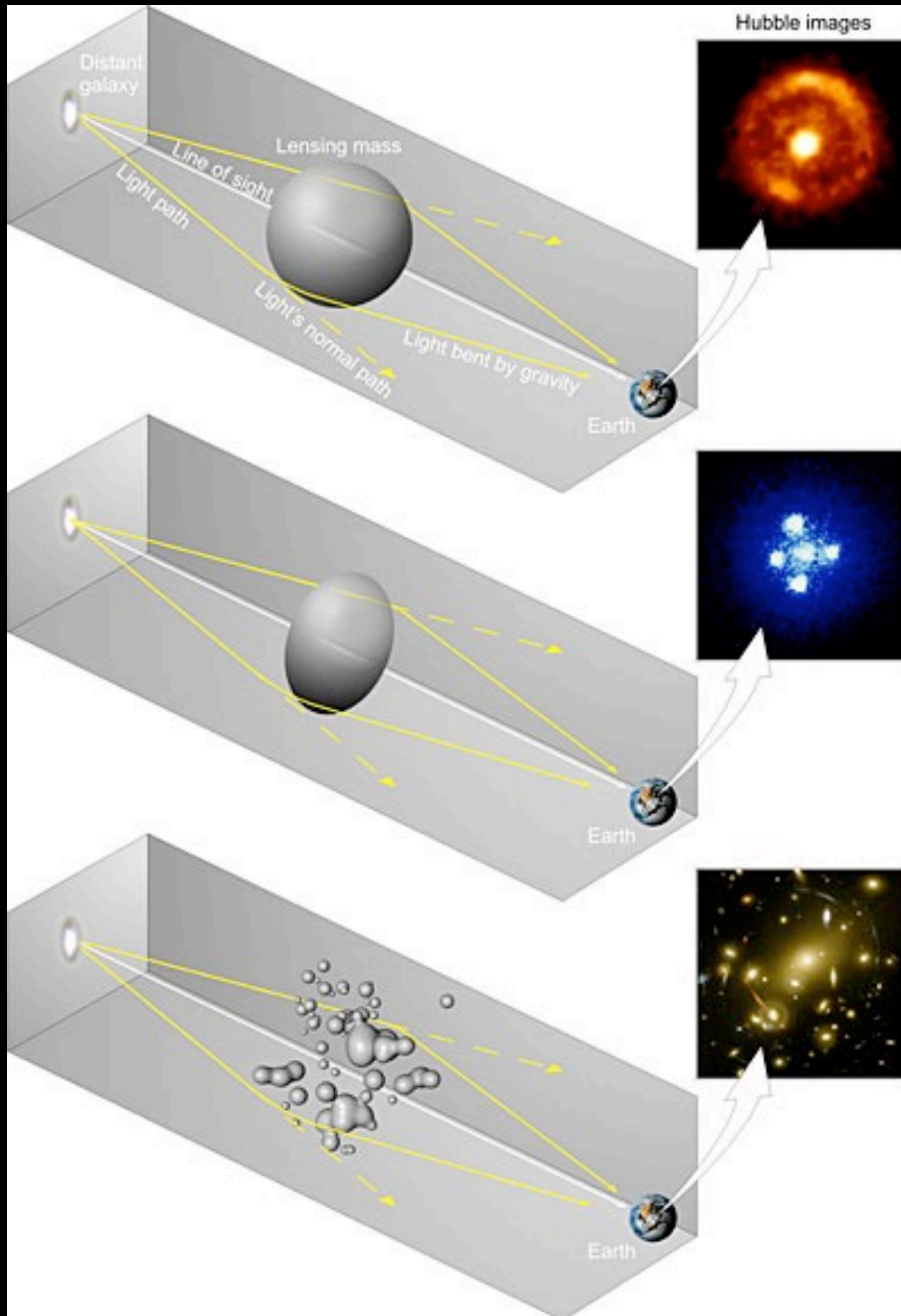
DM supera la materia ordinaria di 5 a 1



Evidenza astrofisica della DM: dinamica rotazionale delle galassie



Lensing gravitazionale



Lensing gravitazionale su cluster di galassie: bullet cluster

immagine ottica da
Magellan e HST
(arancio e bianco)

X-ray da
CHANDRA (rosa)

weak lensing (blu)



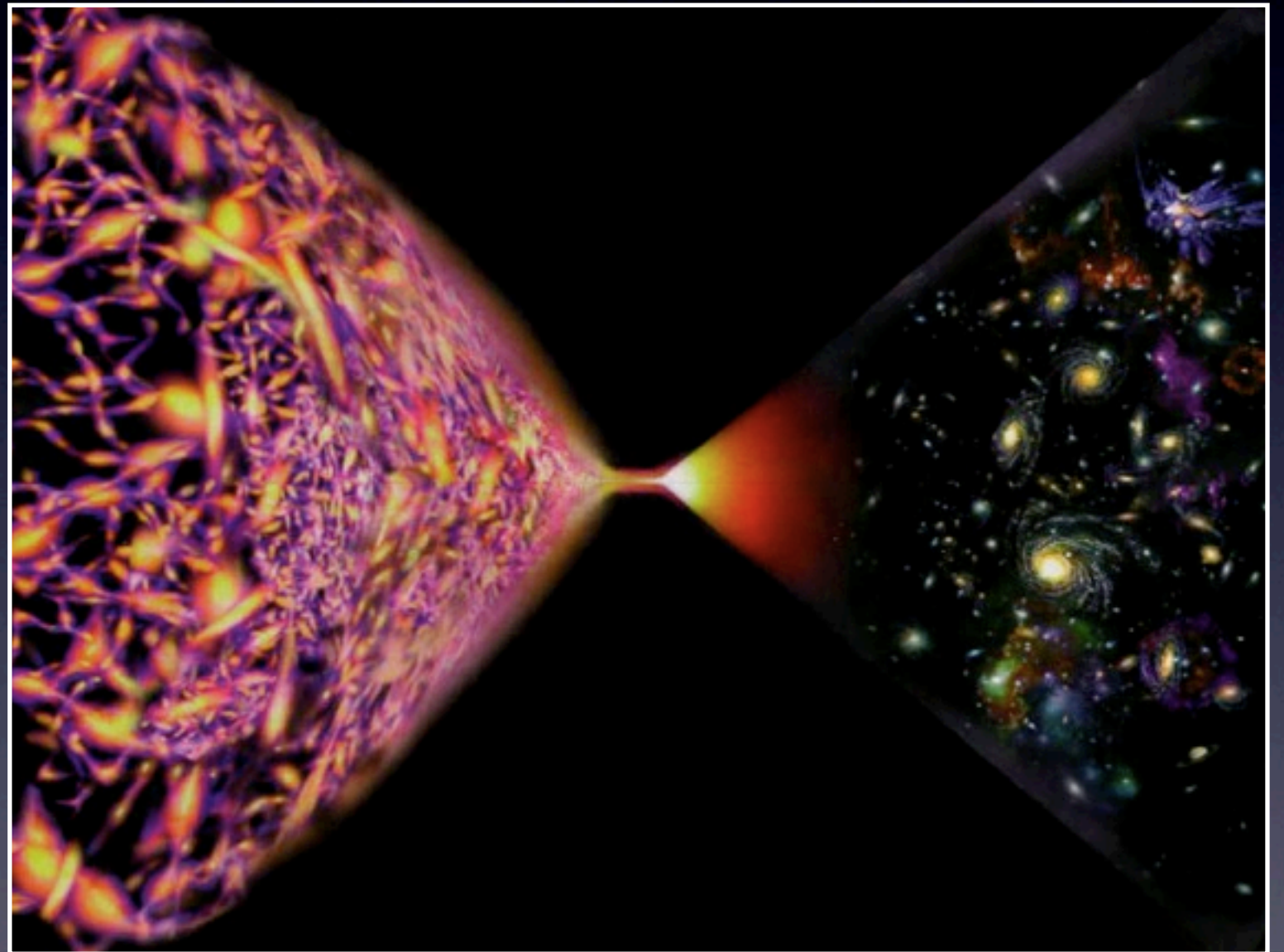
Cosa è la materia oscura?

- Materia invisibile (DM) è necessaria per spiegare gli effetti gravitazionali
- DM costituisce il 23% della densità massa-energia dell'Universo
- DM è circa l'85% della materia totale nell'Universo
- deve essere:
 - **non-barionica** (cioè fatta di materia diversa da protoni e neutroni),
 - **neutra** (non emette né assorbe radiazione)
 - **non interagente** (ossia interagente con se stessa e con le altre particelle solo attraverso la gravità) e
 - **fredda** (cioè non-relativistica all'epoca dell'equivalenza radiazione-materia $T \sim 3\text{eV}$)

WIMPs

Particelle non-barioniche, relitti freddi del Big Bang sono candidati perfetti per DM

- le masse dovrebbero essere circa 10-1000 GeV e
- le interazioni alla scala elettrodebole



Weakly **I**nteracting **M**assive **P**articles

rivelazione delle WIMP

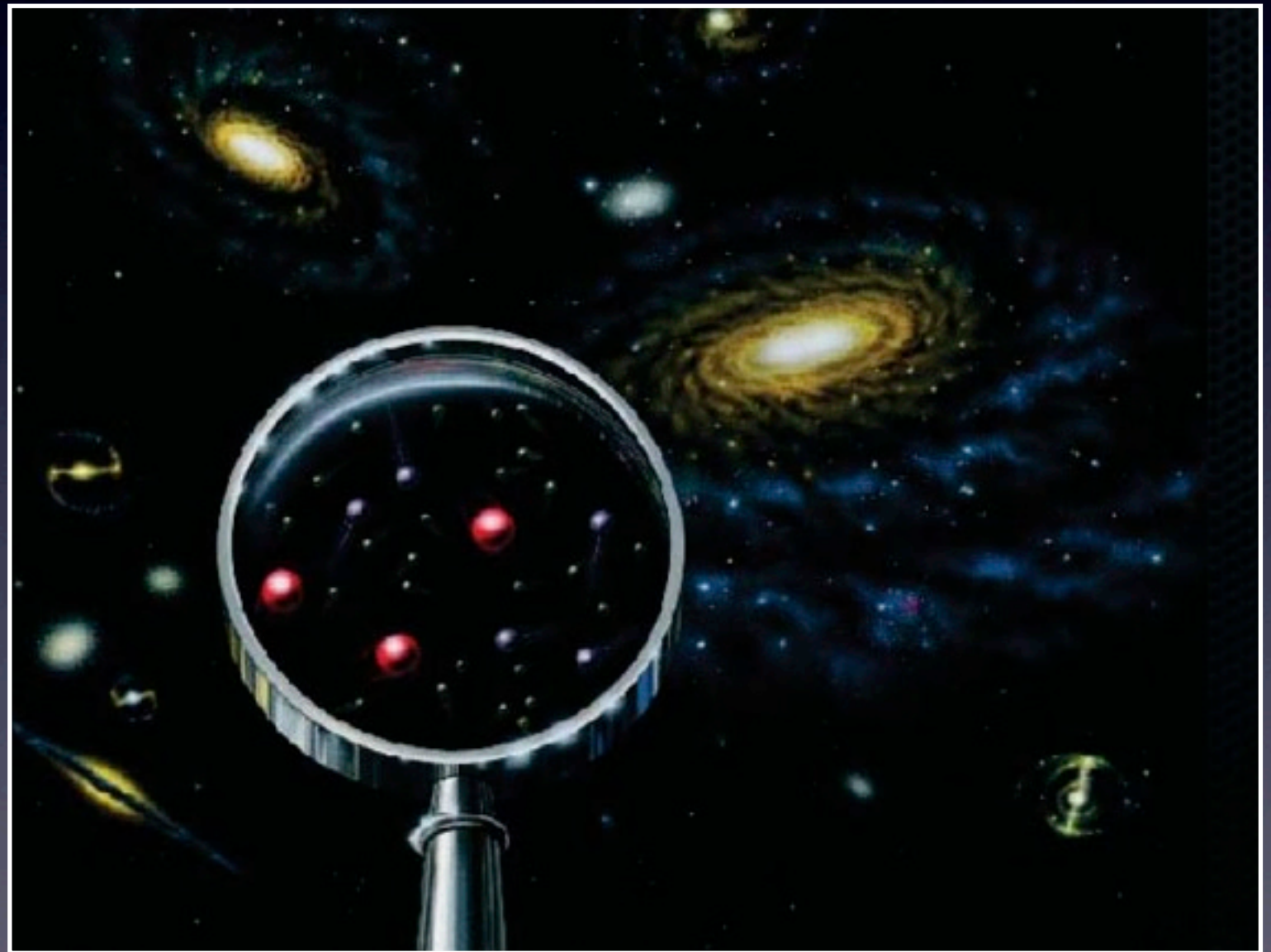
Un enorme sforzo mondiale,
metodi complementari

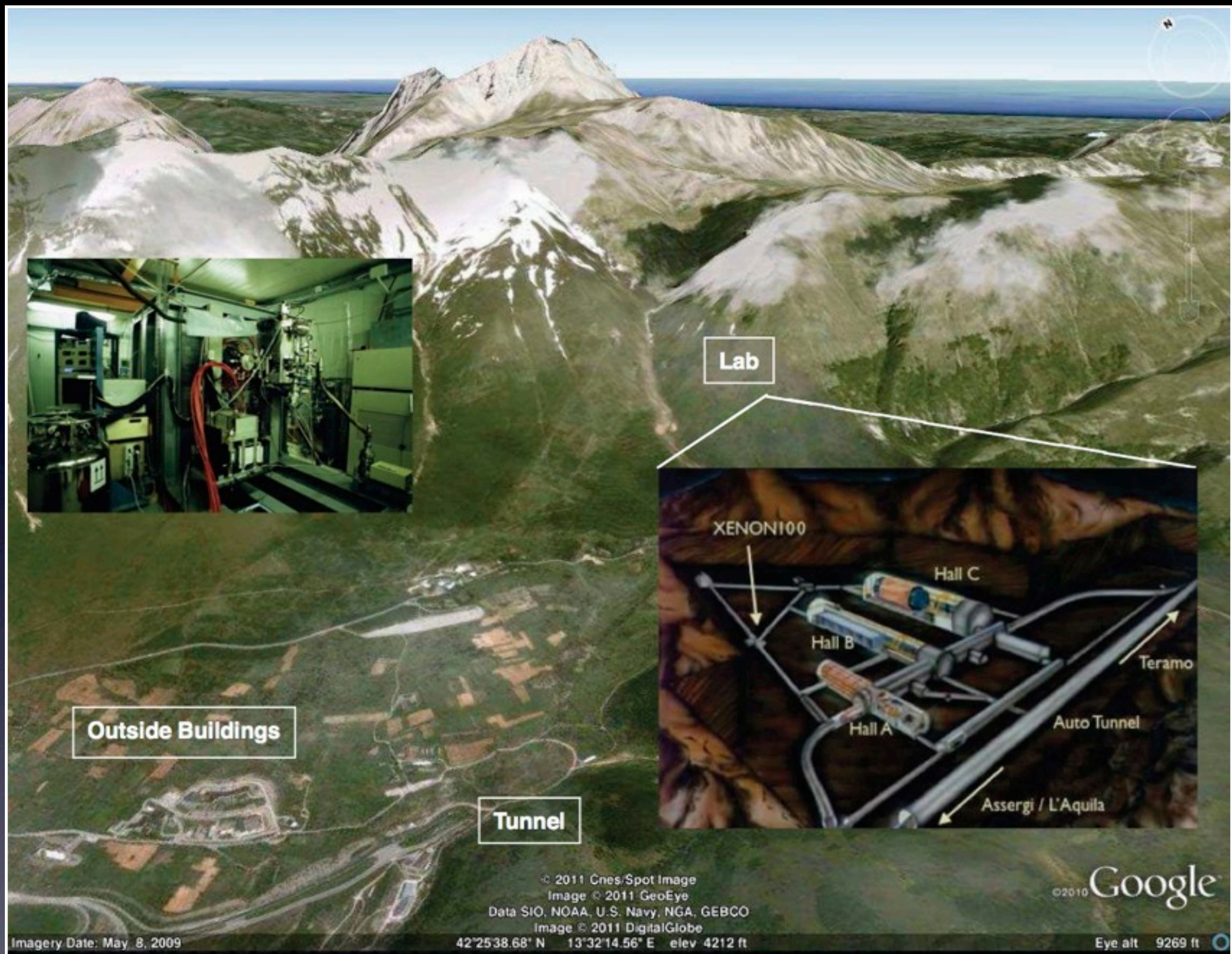
1. produrre le particelle SUSY
agli acceleratori
2. ricerche indirette attraverso
la rivelazione dei prodotti di
annichilazione dei neutralini
in oggetti astrofisici
3. ricerche dirette in laboratori
sotterranei



ricerca delle WIMP galattiche

- 10^5 al sec attraversano un pollice
- 10^{15} al giorno attraversano il corpo, solo 5 interagiscono
- come possiamo rivelarle?

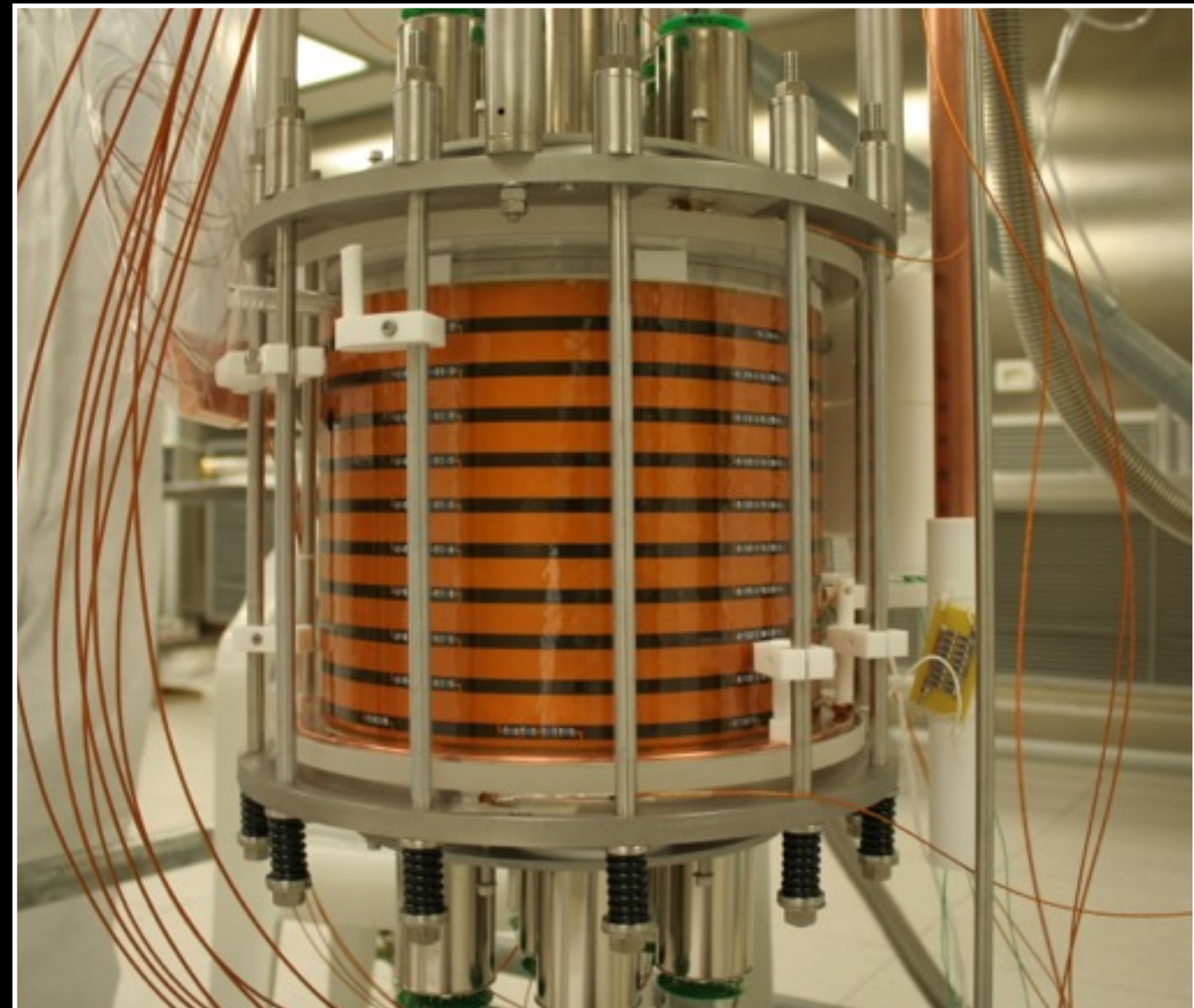




I Laboratori Nazionali del Gran Sasso

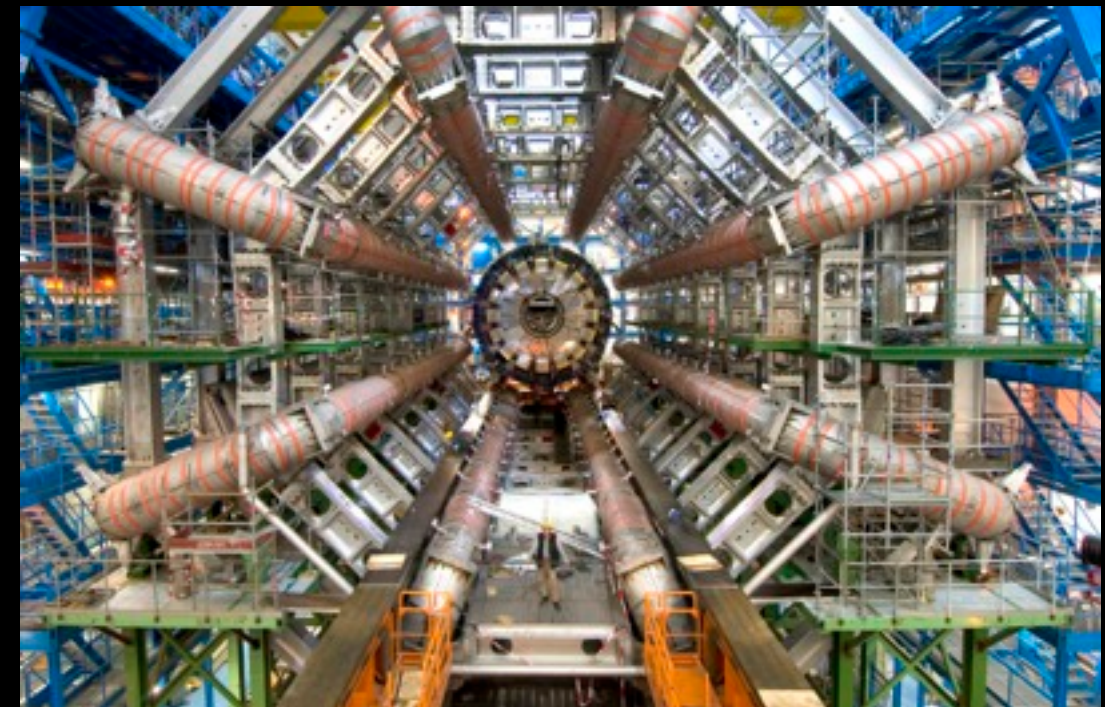
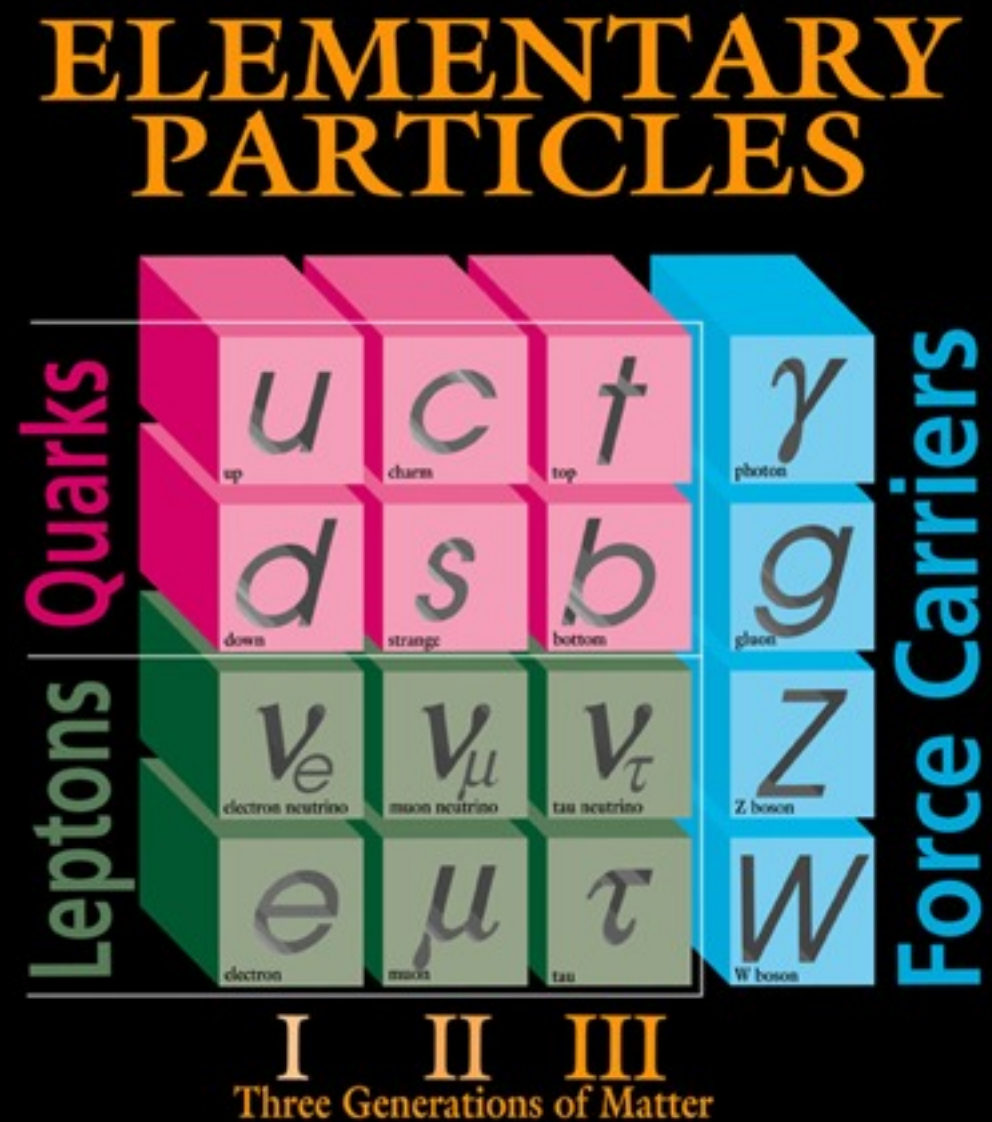
darkside

two-phase argon TPC for Dark Matter Direct Detection



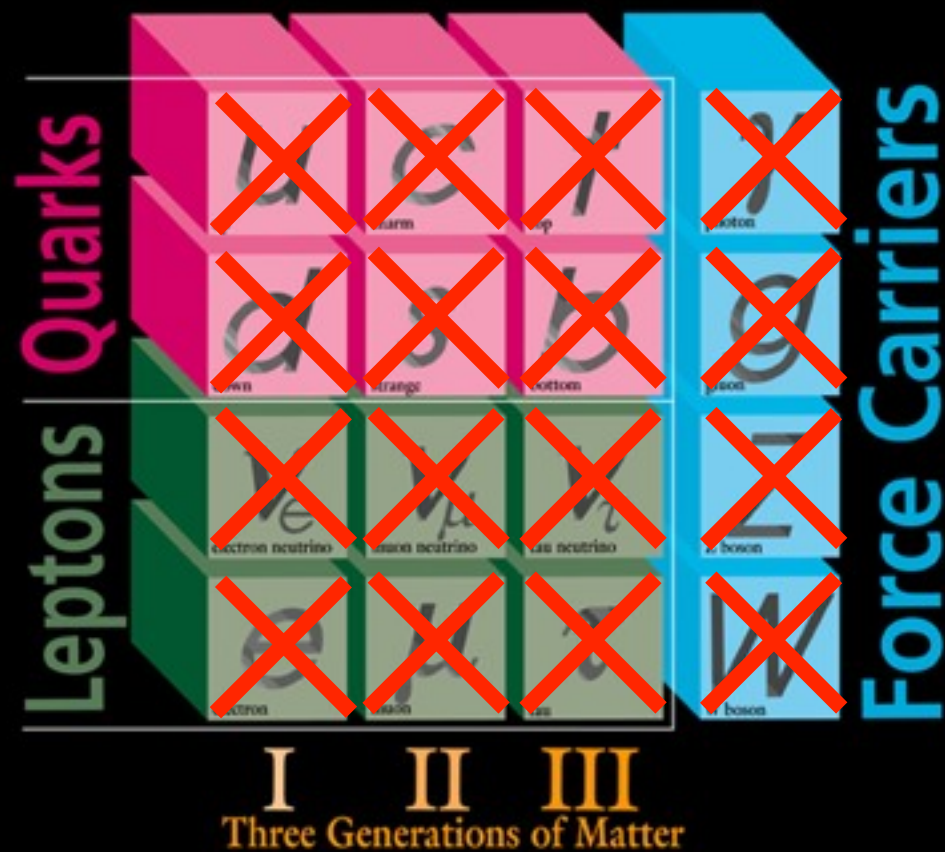
- Microcosmo

Il Modello Standard delle particelle elementari



Candidati WIMP

ELEMENTARY PARTICLES



Proprietà note della DM

- è stabile
- è neutra
- è non barionica
- è fredda

➡ Evidenza per nuove particelle

Oltre il Modello Standard

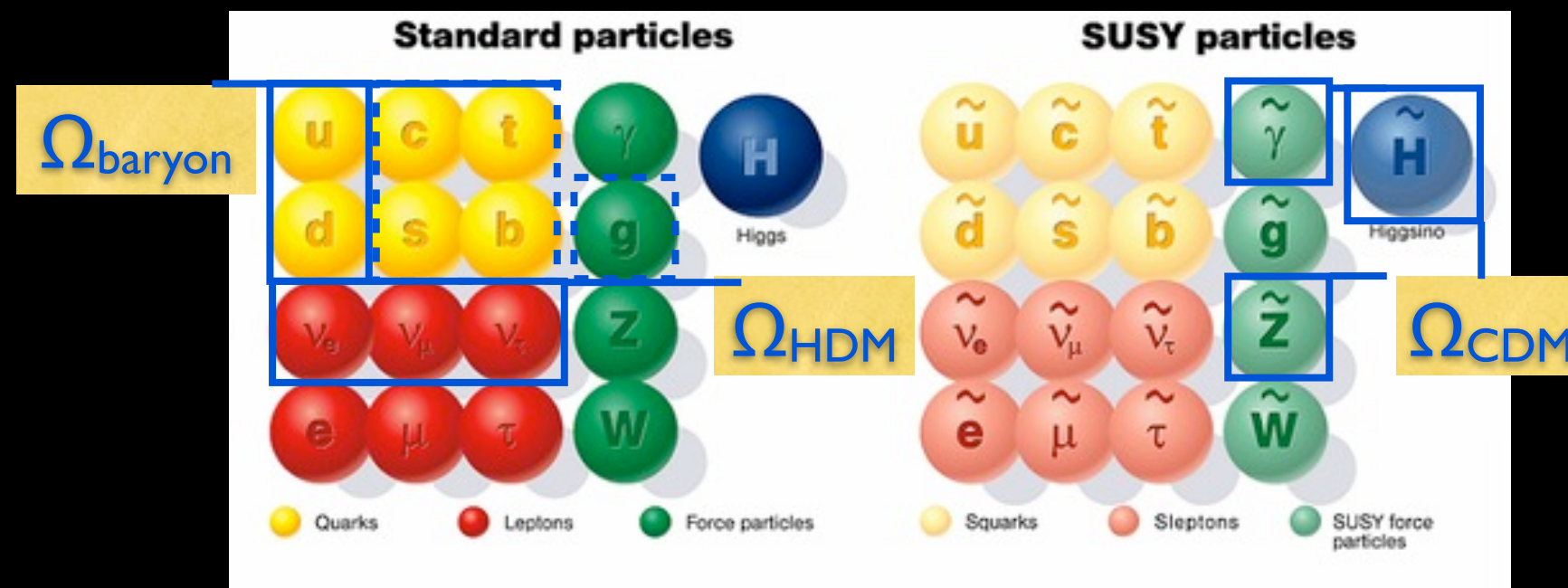
Il Modello Standard delle particelle elementari:

- Una teoria di successo, descrive tutte le osservazioni fino a ≈ 1 TeV
- Però è una teoria efficace alle basse energie, ci aspettiamo nuove particelle e fenomeni ad energie più alte
- Nessuna delle particelle del modello standard è un buon candidato per la materia oscura!

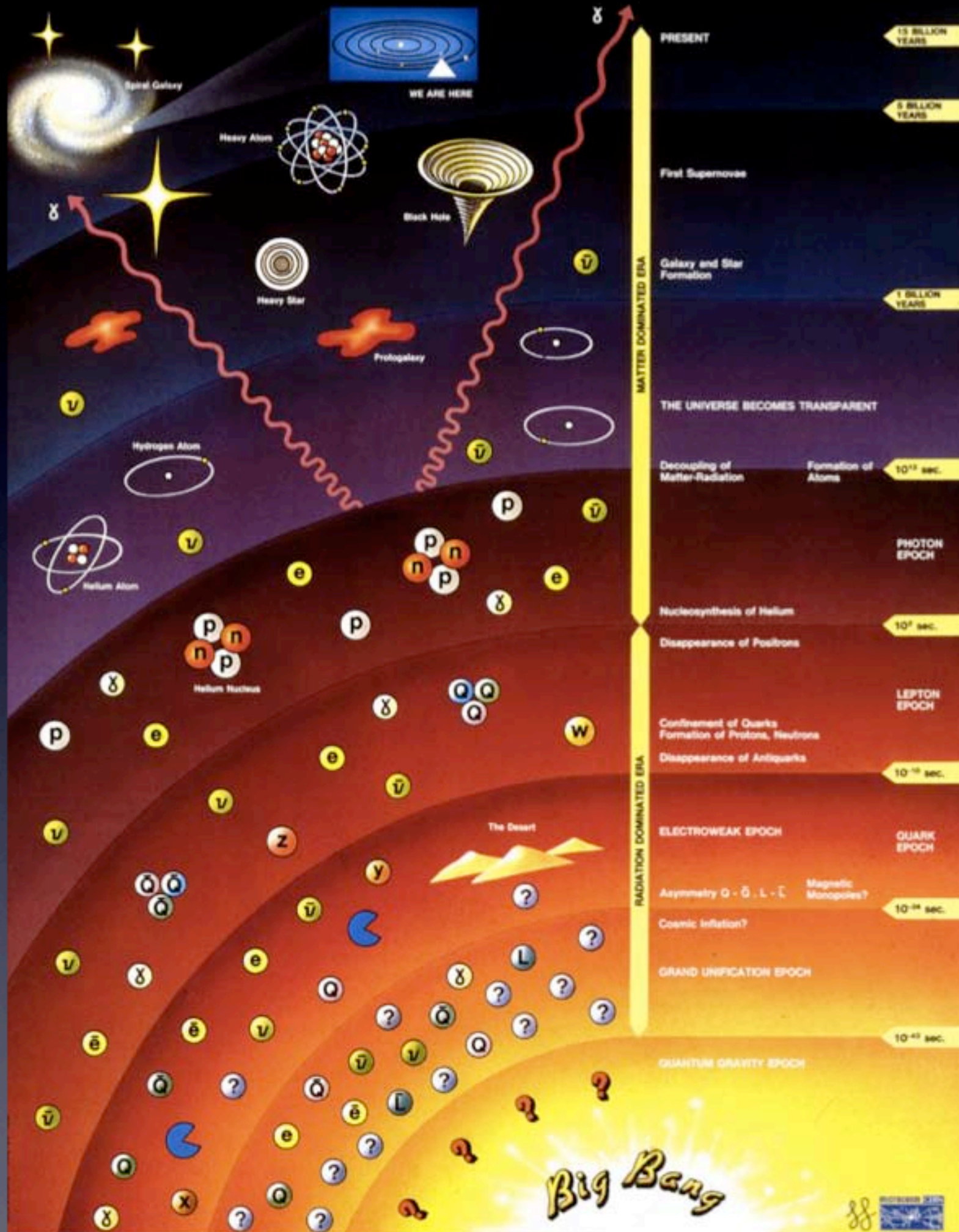
La Supersimmetria fornisce un candidato “naturale” per la DM:

LSP (lightest super-symmetric particle)

LSP creato al Big Bang ha circa la corretta abbondanza relic



SUSY in a nutshell



oggi, 13 miliardi di anni dopo il Big Bang

1 miliardo di anni, si formano le prime galassie

300,000 anni, la luce prodotta si propaga senza assorbimento

3 minuti: si formano i nuclei leggeri (D, He, Li, B)

1 sec: i quarks formano protoni e neutroni

10^{-10} sec: unificazione di forze elettromagnetiche e deboli

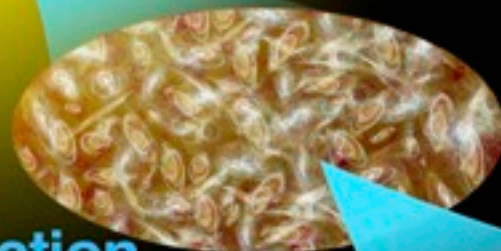
10^{-34} sec: unificazione di tutte le forze, inflazione(?)

10^{-43} sec: gravità quantistica

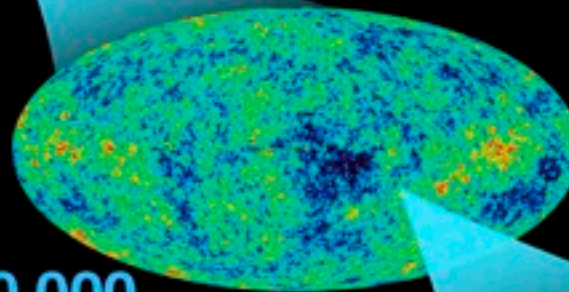
**DAWN
OF
TIME**



**tiny fraction
of a second**



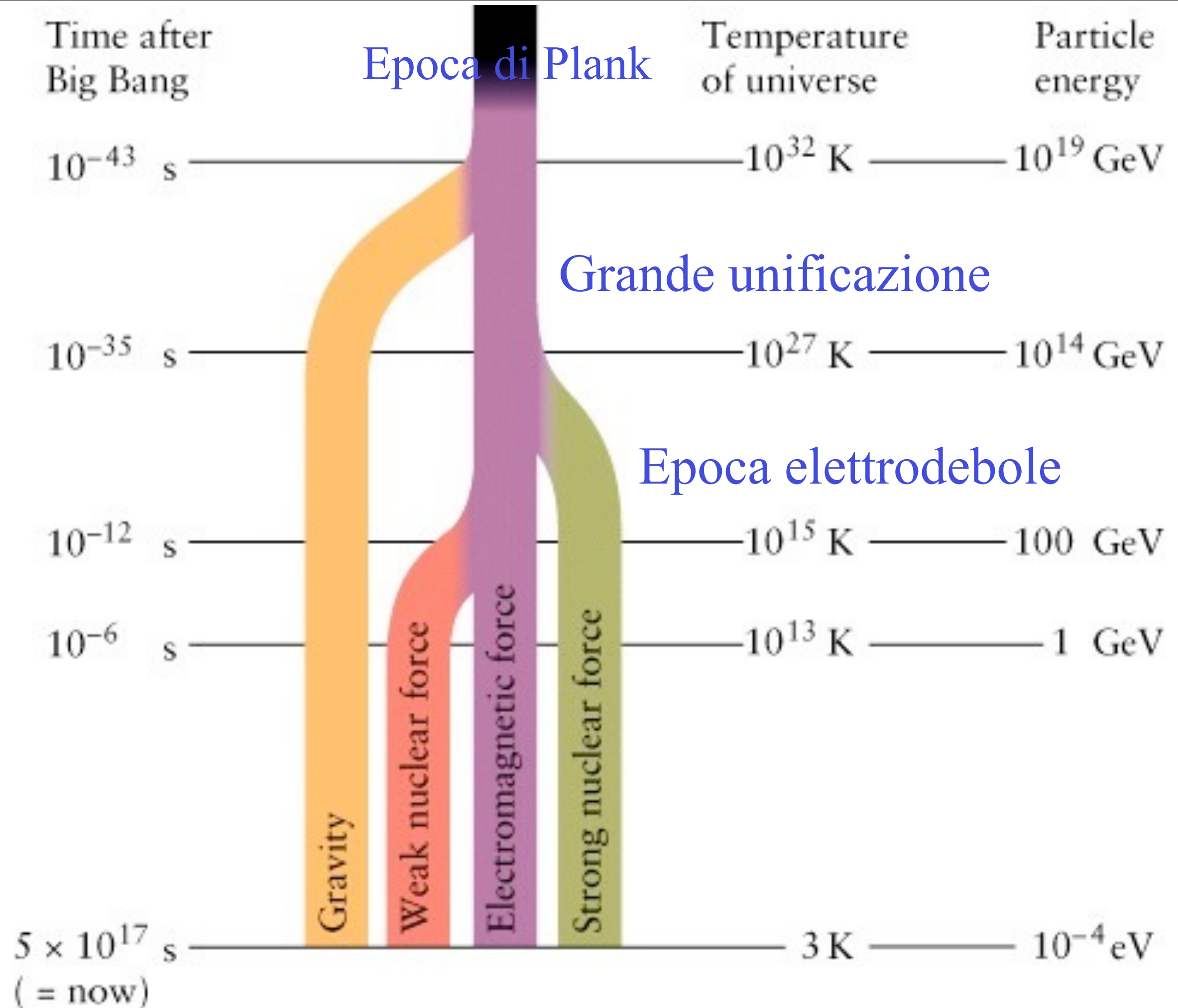
inflation



**380,000
years**

**13.7
billion
years**

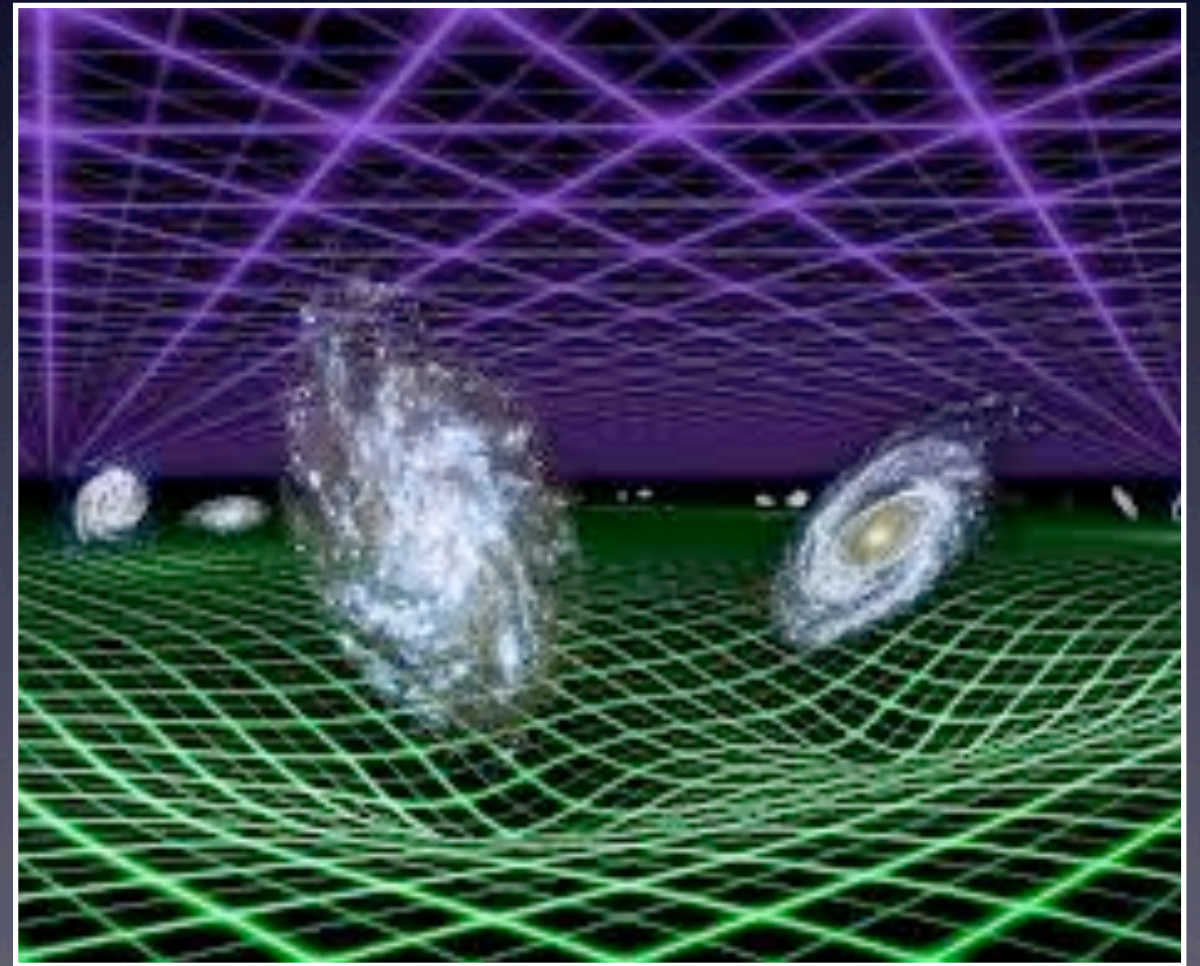
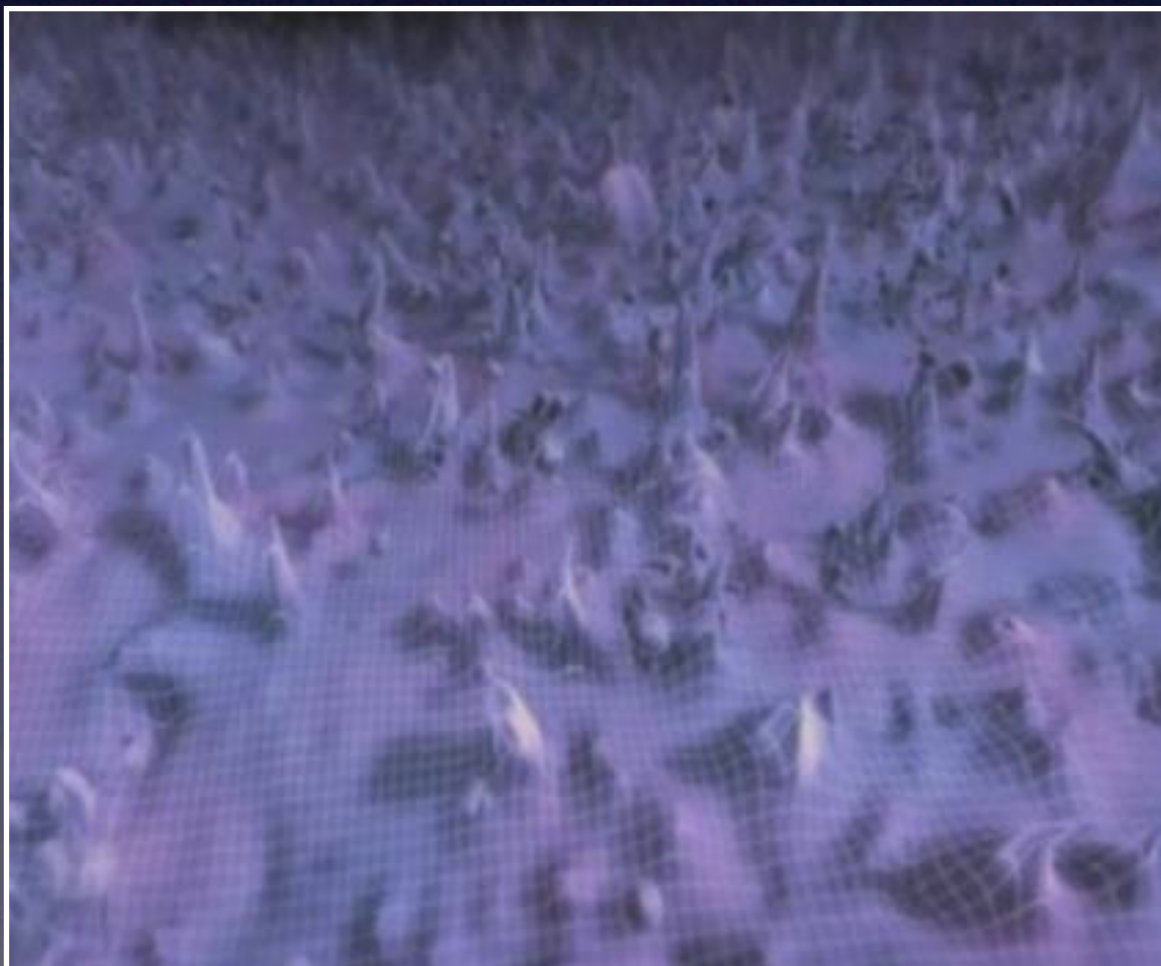




Gravità quantistica

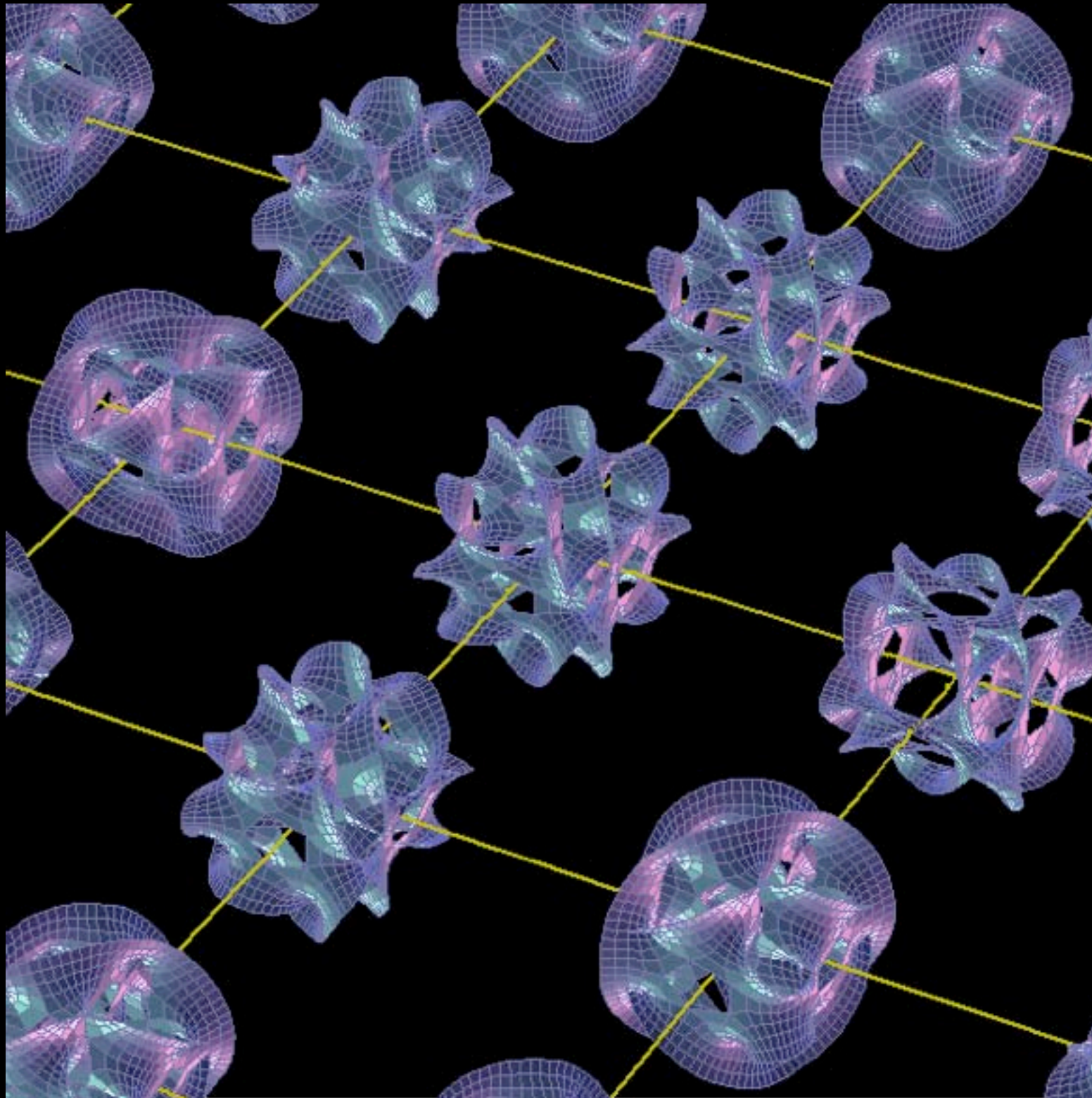
Meccanica Quantistica

Relatività Generale





La teoria del tutto?



Teoria M

Crediti

- ▶ molte illustrazioni ed il video “Cosmic Voyage Zoom-in”, sono tratti dal sito <http://new-universe.org/> di Nancy Ellen Abrams and Joel R. Primack