

My website:

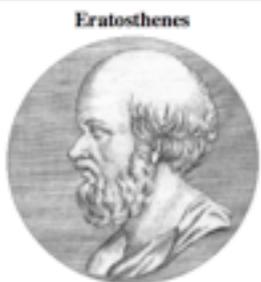
<http://www.roma1.infn.it/people/maiani/index.html>



*Esplorando il Cosmo con gli occhi
di un fisico delle particelle
30 lezioni di Luciano Maiani*

My website:

<http://www.roma1.infn.it/people/maiani/index.html>



Eratosthenes

Portrait of Eratosthenes

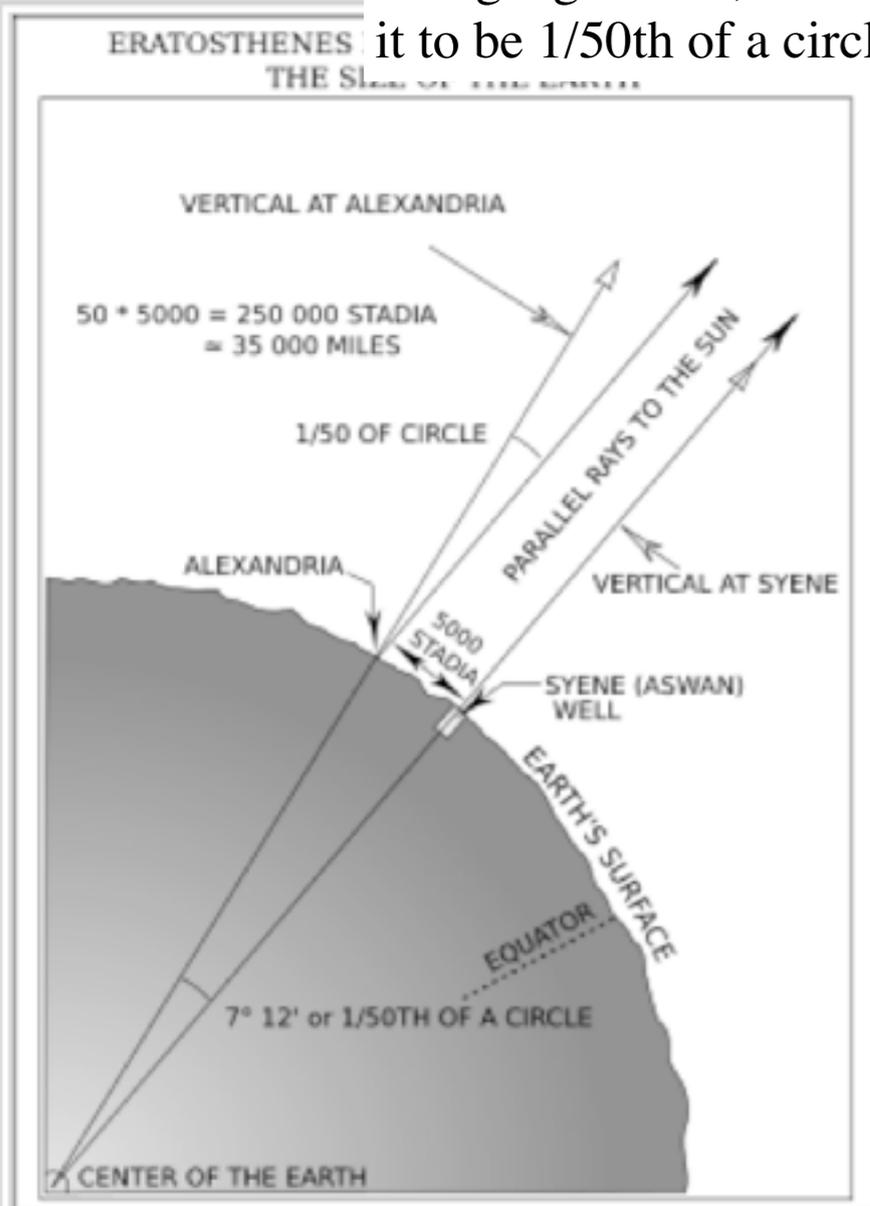
Born 276 BC
Cyrene
Died 194 BC
Alexandria
Ethnicity Greek
Occupation Scholar, librarian, poet, and inventor

1. Eratostene misura il raggio della Terra

At local noon on the summer solstice in the Ancient Egyptian city of Swenet (Aswan) on the Tropic of Cancer, the Sun would appear at the zenith, directly overhead.

(Someone looking down a deep well in Swenet would block the reflection of the Sun at noon off the water at the bottom of the well.)

Using a gnomon, E. measured the Sun's angle of elevation at noon on the solstice in Alexandria, and found it to be 1/50th of a circle ($7^{\circ}12'$) south of the zenith.



Assuming that the Earth was spherical (360°), and that Alexandria was due north of Syene, E. concluded that the meridian arc distance from Alexandria to Syene must therefore be 1/50th of a circle's circumference, or $7^{\circ}12'/360^{\circ}$.

Pharaonic bookkeepers gave a distance between Swenet and Alexandria of 5,000 stadia.

He rounded the result to a final value of 700 stadia per degree, which implies a circumference of 252,000 stadia.

85 meter Attic stade is the most commonly accepted value for the length of the stade, which imply a circumference of **46,620 km**, an error of 16.3%.

If we repeat Eratosthenes' calculation with more accurate data, the result is **40,074 km**, which is 66 km different (0.16%) from the currently accepted circumference of the Earth.

La stima di Claudio Tolomeo e Cristoforo Colombo



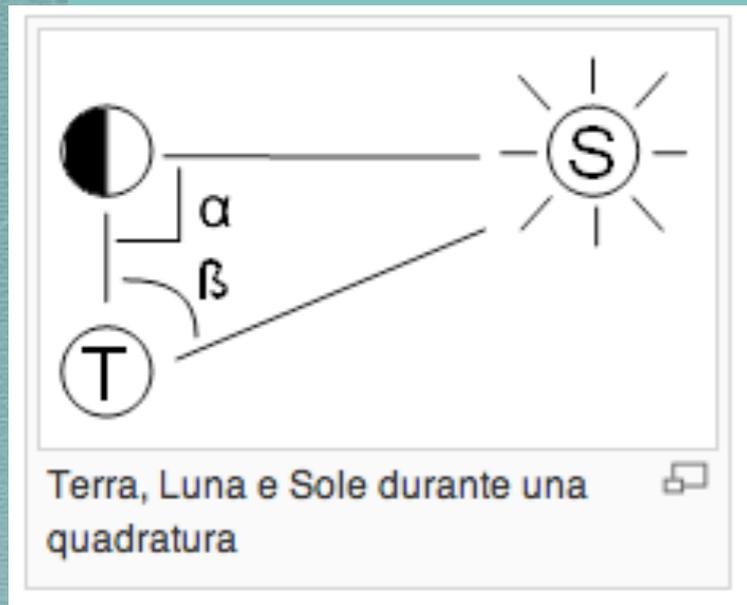
Early Baroque artist's rendition

Born	c. AD 90 Egypt, Roman Empire
Died	c. AD 168 (aged 77–78) Alexandria, Egypt, Roman Empire

Il mondo abitato (Oikoumene) secondo Claudio Tolomeo

- la stima di Eratostene della lunghezza di 1° di longitudine fu ridotta da **Marino di Tiro** (seconda metà del I sec. d. C. – prima metà del II sec. d. C.) da 700 a 500 stadi
- di conseguenza la stima della circonferenza della Terra si ridusse del 30% e questa fu la dimensione assunta da **Claudio Tolomeo** nella sua Geografia delle terre abitate (Oikoumene)
- la geografia di Tolomeo era alla base della stima fatta da Cristoforo Colombo per pensare che sarebbe arrivato in Giappone partendo da Lisbona
- i saggi di Salamanca sapevano che la Terra è rotonda, ma non accettavano (giustamente!) la stima di Marino di Tiro e **bocciarono l'esperimento di Colombo**
- per fortuna di Colombo, tra Europa e Giappone c'era un altro continente e l'esperimento riuscì lo stesso, nonostante le false premesse.

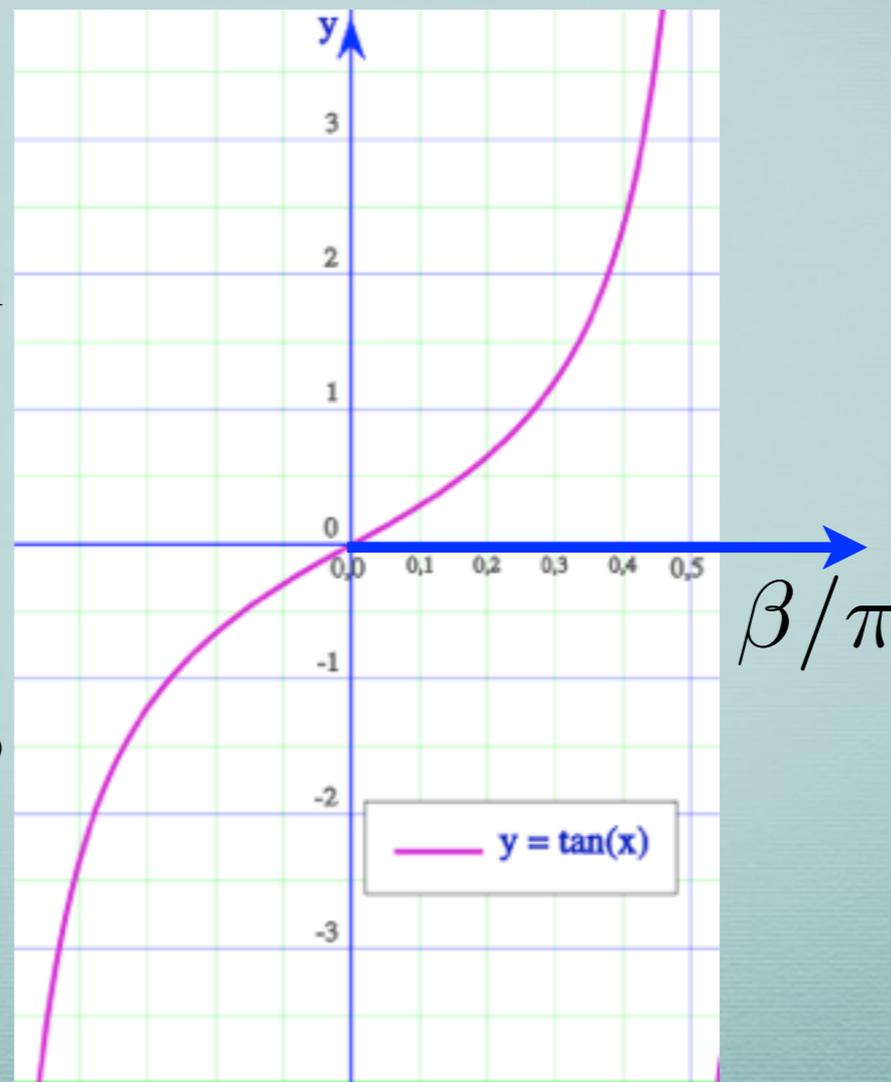
2. Aristarco di Samo scopre il sistema Eliocentrico



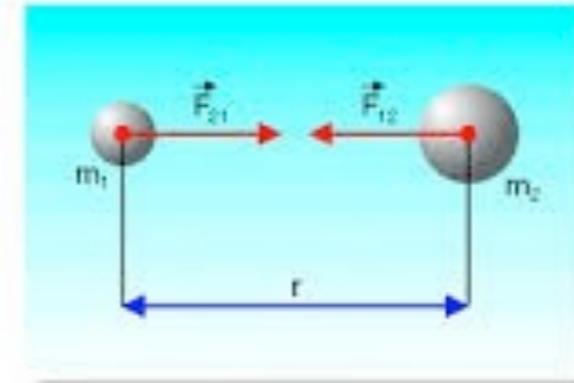
- l'angolo alfa è retto, misurando beta si determina il rapporto tra i cateti, ovvero il rapporto delle distanze Terra-Luna e Luna Sole ~ Terra-Sole

- Aristarco stimò il rapporto tra le distanze del Sole e della Luna come compreso tra 18 e 20, mentre il rapporto tra le distanze medie è in realtà circa 400. Le stime di Aristarco sono correttamente dedotte dal valore da lui assunto per l'angolo Sole-Terra-Luna all'atto della quadratura, ma l'angolo era stato misurato con scarsa precisione.

Aristarco di Samo (Samo, 310 a.C. circa – 230 a.C. circa)



3. Isaac Newton e la legge della Gravitazione Universale



$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$



$$F = \text{massa} \times \text{Accel}$$

$$\text{Accel}_{\text{mela}} = G \frac{M_T}{R_T^2} = g = 9.79 \text{ cm/s}^2 \quad (R_T \sim 6400 \text{ km})$$

$$\text{Accel}_{\text{Luna}} = G \frac{M_T}{R^2} = \text{Accel centrifuga} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R \quad (T \sim 27,3 \text{ giorni})$$

- assumo moto circolare della Luna
- dalla prima equazione si ricava il valore numerico di GM_T
- la seconda equazione da' la 3^a legge di Keplero, valida per i corpi orbitanti intorno alla Terra:

$$\frac{R^3}{T^2} = G \frac{M_T}{(2\pi)^2} = \frac{gR_T^2}{(2\pi)^2}$$

- sostituendo i valori numerici di g , R_T e del mese lunare, si trova la distanza Terra-Luna: $R \approx 383.000 \text{ km}$



Luna (Terra I)

Satellite di Terra

Parametri orbitali (all'epoca J2000)

- Semiassse maggiore 384 400 km
- Perigeo 363 104 km
- Apogeo 405 696 km

Una digressione (ci servira' piu' avanti per la materia oscura)

- Introduciamo la velocita' con cui un corpo orbita intorno alla Terra

$$V = \frac{2\pi R}{T}$$

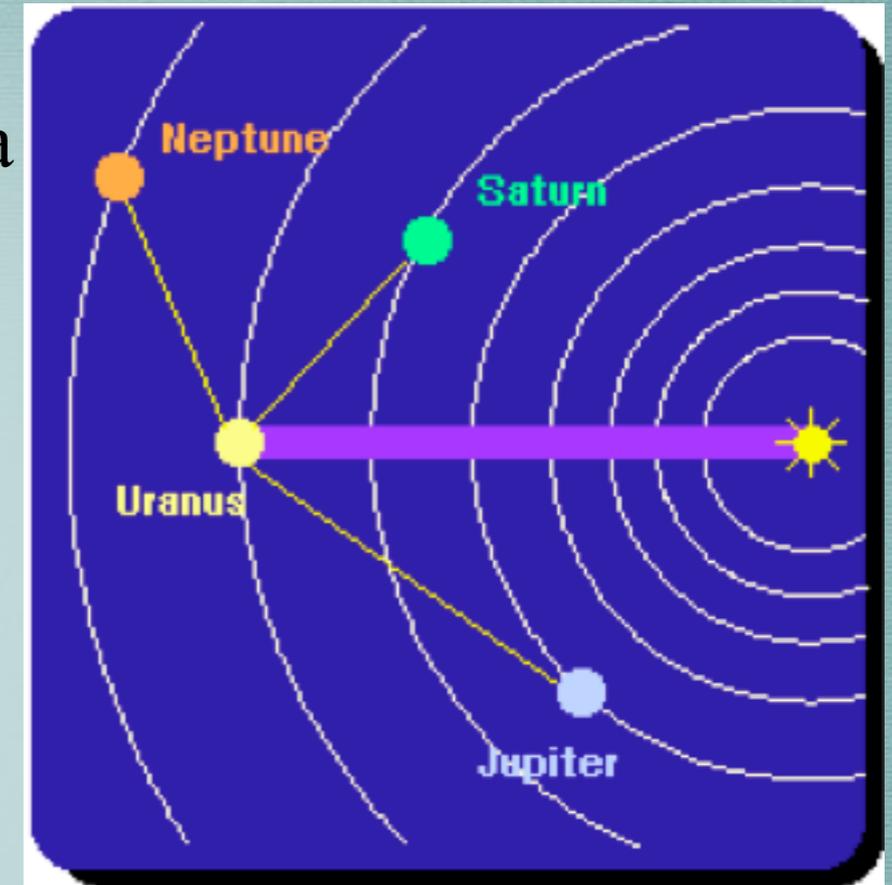
- la 3^a legge di Keplero si puo' riscrivere:

$$V = \sqrt{GM_T} \frac{1}{\sqrt{R}}$$

- questa legge ci da' la curva di velocita' dei satelliti: i satelliti piu' lontani vanno piu' lentamente;
- poiche', per vari motivi la Luna rallenta, allo stesso tempo si allontana;
- le misure del tempo di andata e ritorno della luce, ottenute con raggi laser riflessi sugli specchi piazzati nelle missioni lunari, danno un allontanamento di circa 3,8 cm/anno.

La scoperta del pianeta Nettuno

- Nello studio dell'orbita del settimo pianeta, Urano, furono messe in evidenza delle discrepanze rispetto a quanto previsto dalla Meccanica di Newton.
- Urban Le Verrier interpretò l'anomalia come un fallimento dell'ipotesi che ci fossero solo sette pianeti (ipotesi non richiesta dalla teoria newtoniana), e calcolò quali avrebbero dovuto essere le caratteristiche e l'orbita di un (allora) ipotetico ottavo pianeta.

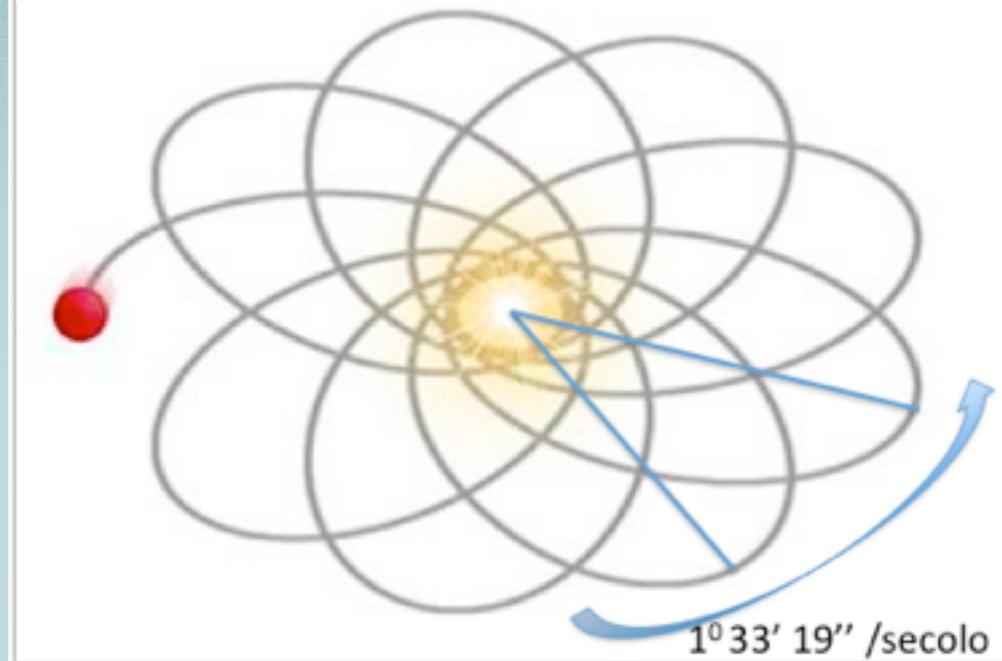


- Nel 1846, il pianeta Nettuno fu scoperto esattamente dove previsto dai calcoli di Le Verrier.

Il Perielio di Mercurio

- L'influenza degli altri pianeti sul moto di Mercurio induce, nella Meccanica di Newton, una lenta rotazione dell'asse dell'ellisse su cui il pianeta si muove per effetto dell'influenza dominante del Sole (precessione del perielio).
- Le Verrier trovò tuttavia che l'avanzamento del perielio di Mercurio è superiore a quanto previsto dalla Meccanica di Newton (anche se di soli 43 secondi d'arco per secolo!!!).
- Le Verrier cercò di attribuire di nuovo l'anomalia all'influenza di un nuovo pianeta (Vulcano) che però non fu mai osservato.
- Nel 1919 Einstein annunciava che la sua Teoria della Relatività Generale era in grado di dare conto, qualitativamente e quantitativamente, dell'avanzamento anomalo del perielio di Mercurio.
- Era nato un nuovo paradigma, oltre la Gravitazione Universale di Newton.

L'orbita di Mercurio



Precessione del perielio (fortemente esagerata).

4. Sistema Periodico, Spin e Principio di

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period 1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	57-71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89-103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo

all'inizio mancava l'elemento 2 !

periodo: 2

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Periodic Table Key

X Synthetic Elements	X Liquids or melt at close to room temp.	X Solids	X Gases	Akali Metals	Akali Earth Metals	Transition Metals	Other Metals	Metalloids	Other Non Metals	Halogens	Noble Gases	Lanthanides & Actinides
----------------------------	--	-------------	------------	--------------	-----------------------	----------------------	-----------------	------------	---------------------	----------	----------------	----------------------------

The Periodic Table

- **1869.** Dimitri Mendeleev scopre le periodicità nelle proprietà chimiche degli elementi
- elementi ordinati secondo il *peso atomico*, A , le colonne riportano elementi con la stessa *valenza chimica*: periodi di 2, 8, 18, 32
- c'erano lacune che si sono colmate nel tempo: previsione di nuovi elementi come il germanio e il gallio
- ci sono "errori": il peso atomico non è la buona variabile, es. $A(K)=39.1$, $A(Ar)=39.9$
- **1913.** Henry Mosely scopre il numero atomico, Z che caratterizza la carica elettrica del nucleo = $+Ze$: $Z(Ar)=18$, $Z(K)=19$!

breve storia della scoperta dell'Elio (secondo Wikipedia)

Storia

L'elio (dal greco [helios](#), [sole](#)) fu scoperto dal francese [Pierre Janssen](#) e dall'inglese [Norman Lockyer](#), indipendentemente l'uno dall'altro, nel [1868](#). Entrambi stavano studiando la luce solare durante un'eclissi e, analizzandone lo spettro trovarono la linea di emissione di un *elemento sconosciuto*. [Edward Frankland](#) confermò la scoperta di Janssen e propose che il nome dell'elemento ricordasse *Helios* il dio greco del sole, con l'aggiunta del suffisso *-ium* (in inglese), perché ci si aspettava che il nuovo elemento fosse un metallo.

Venne isolato da Sir [William Ramsay](#) nel [1895](#), dalla [cleveite](#) e definitivamente classificato come non metallo. I chimici svedesi [Nils Langlet](#) e [Per Theodor Cleve](#), lavorando indipendentemente da Ramsay, riuscirono a isolare l'elio dalla cleveite all'incirca nello stesso periodo.

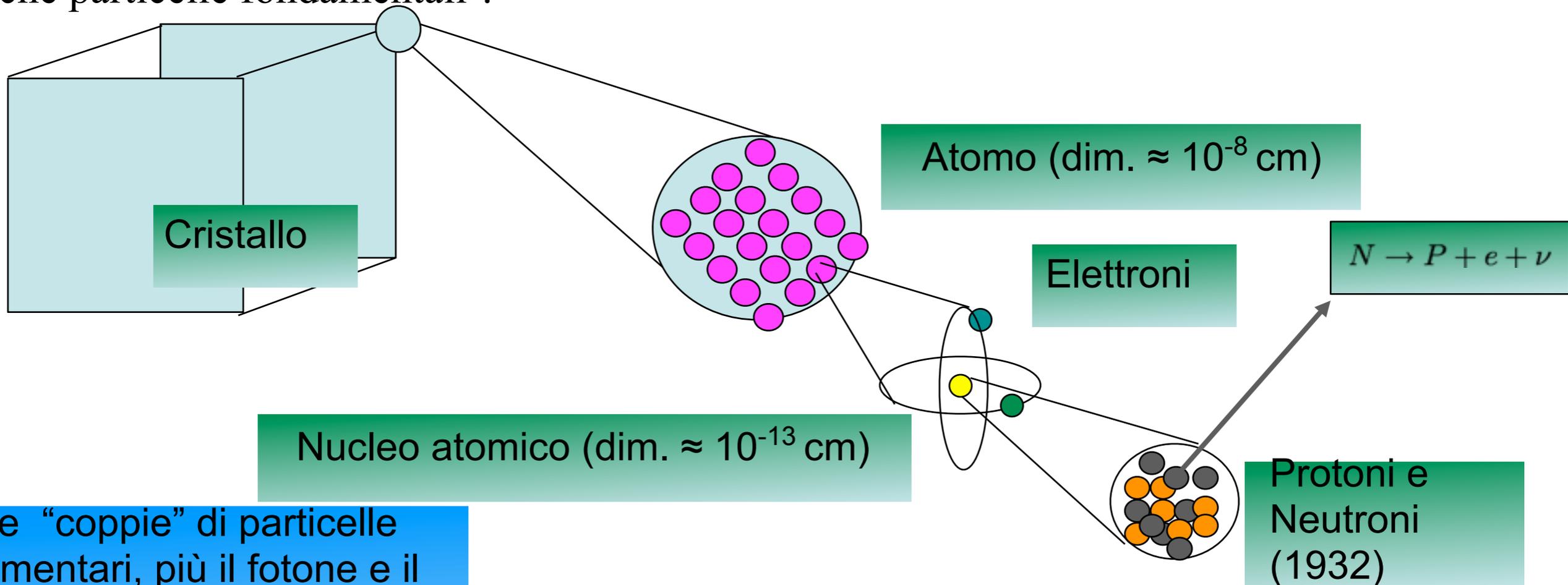
Nel [1907](#) [Ernest Rutherford](#) e [Thomas Royds](#) riuscirono a dimostrare che le [particelle alfa](#) sono nuclei di elio. Nel [1908](#) il fisico olandese [Heike Kamerlingh Onnes](#) produsse il primo elio liquido raffreddandolo a 0,9K, un'impresa che gli valse il [Premio Nobel](#). Nel [1926](#) un suo

5. Charles Darwin contro Lord Kelvin ?

- Da dove viene l'energia del Sole?
- Von Helmholtz (1854), Lord Kelvin, fine '800: Contrazione gravitazionale: energia potenziale → calore
- La scala dei tempi e' sbagliata!
- Vita del Sole e dei pianeti sarebbe ~100 Milioni di anni
- Solide prove sperimentali di esistenza della crosta terrestre e della vita su scala di Miliardi anni
- Altrimenti non ci sarebbe tempo per l'evoluzione delle specie: nacque una controversia Darwin-Lord Kelvin !

L'immagine della materia negli anni '30

- E' quella che ci insegnano a scuola
- per molti versi, sufficiente ancora oggi per un primo orientamento
- tre tipi di forze fondamentali: elettromagnetica, forte (nucleare), debole (decadimento beta)
- poche particelle fondamentali ?



Due "coppie" di particelle elementari, più il fotone e il mesone di Yukawa possono spiegare tutto il mondo osservato?

$$\begin{pmatrix} P \\ N \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu \\ e \end{pmatrix} \quad \gamma \quad \pi ?$$

H. Yukawa. Le Forze Nucleari sono trasmesse da una particella di massa ≈ 200 volte la massa dell' elettrone : il mesone π

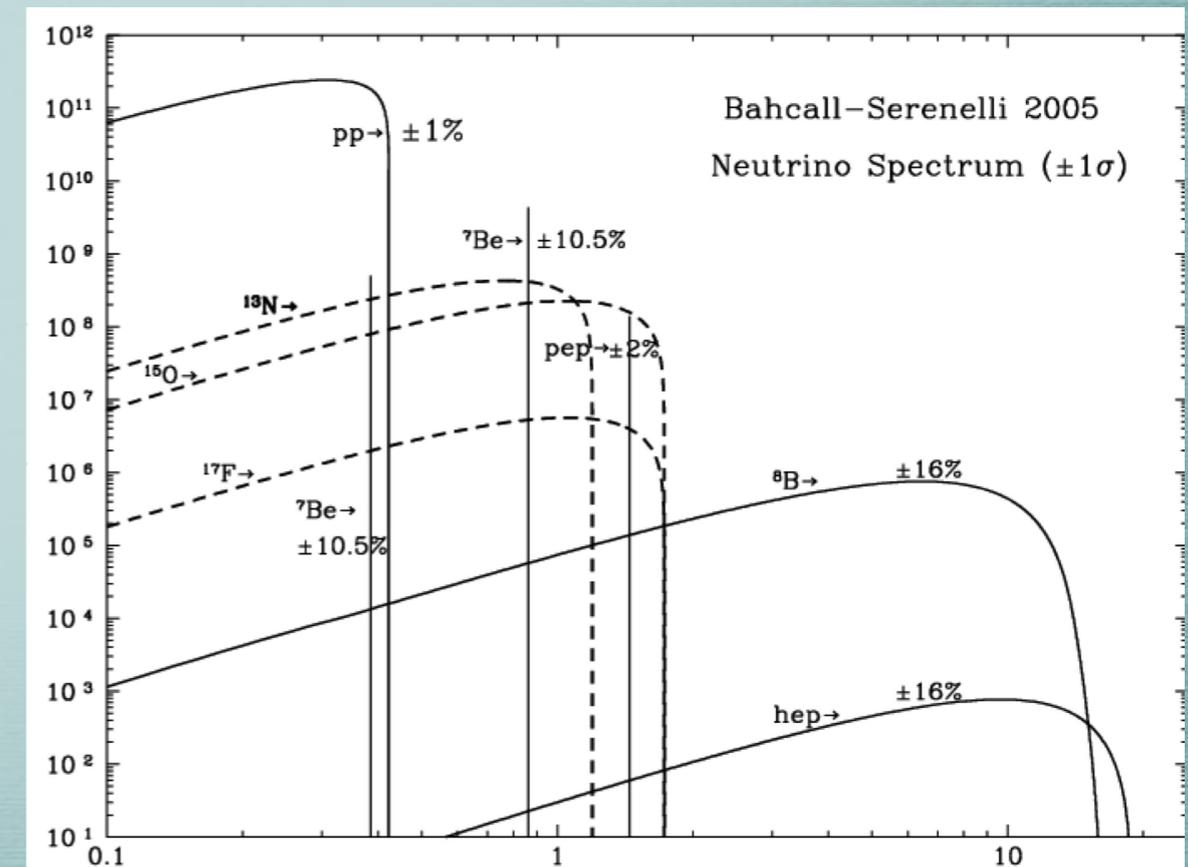
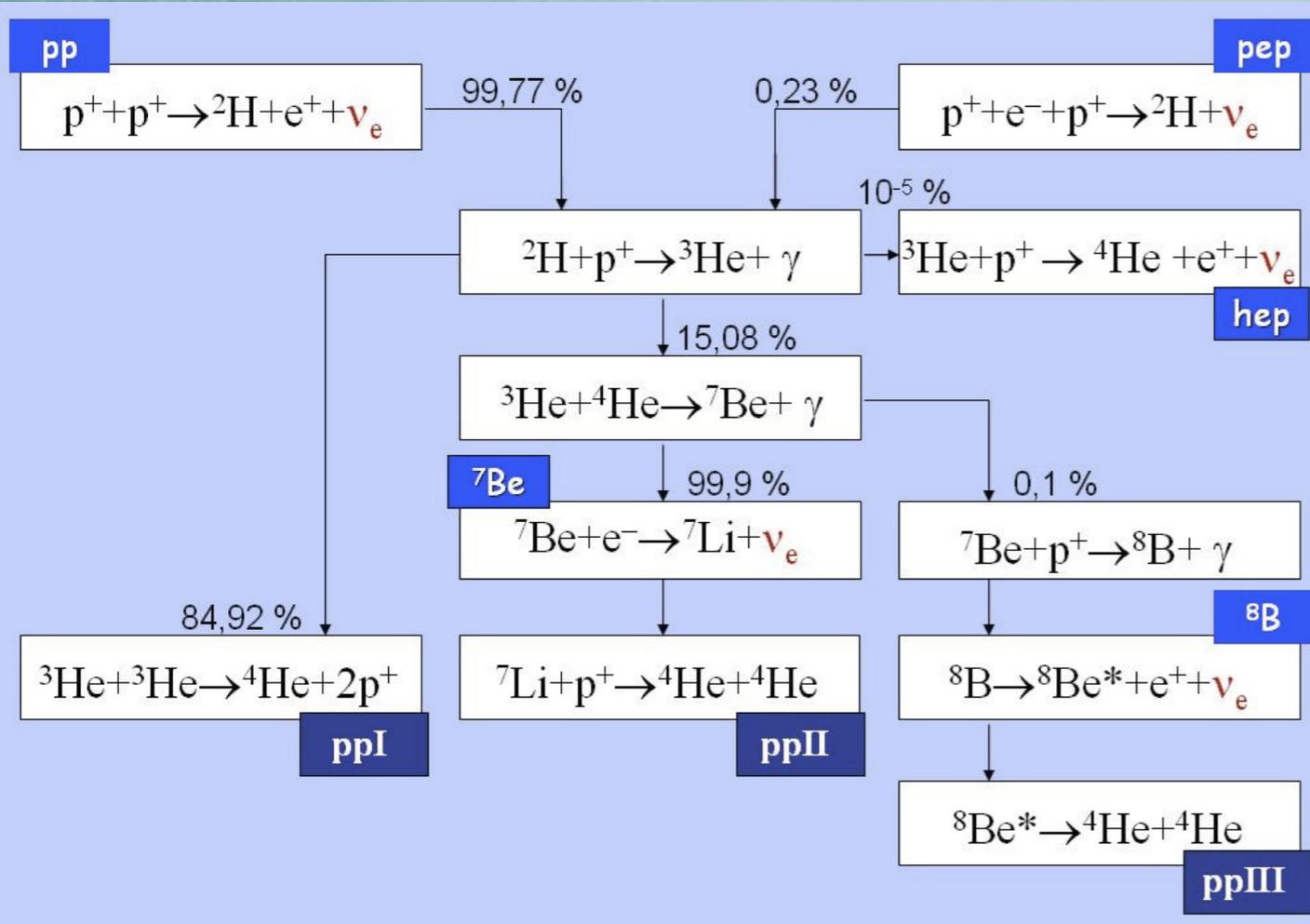
- La scoperta del nucleo atomico e delle reazioni nucleari risolve il problema.
- L'energia del Sole e' generata dalle reazioni di fusione nucleare:



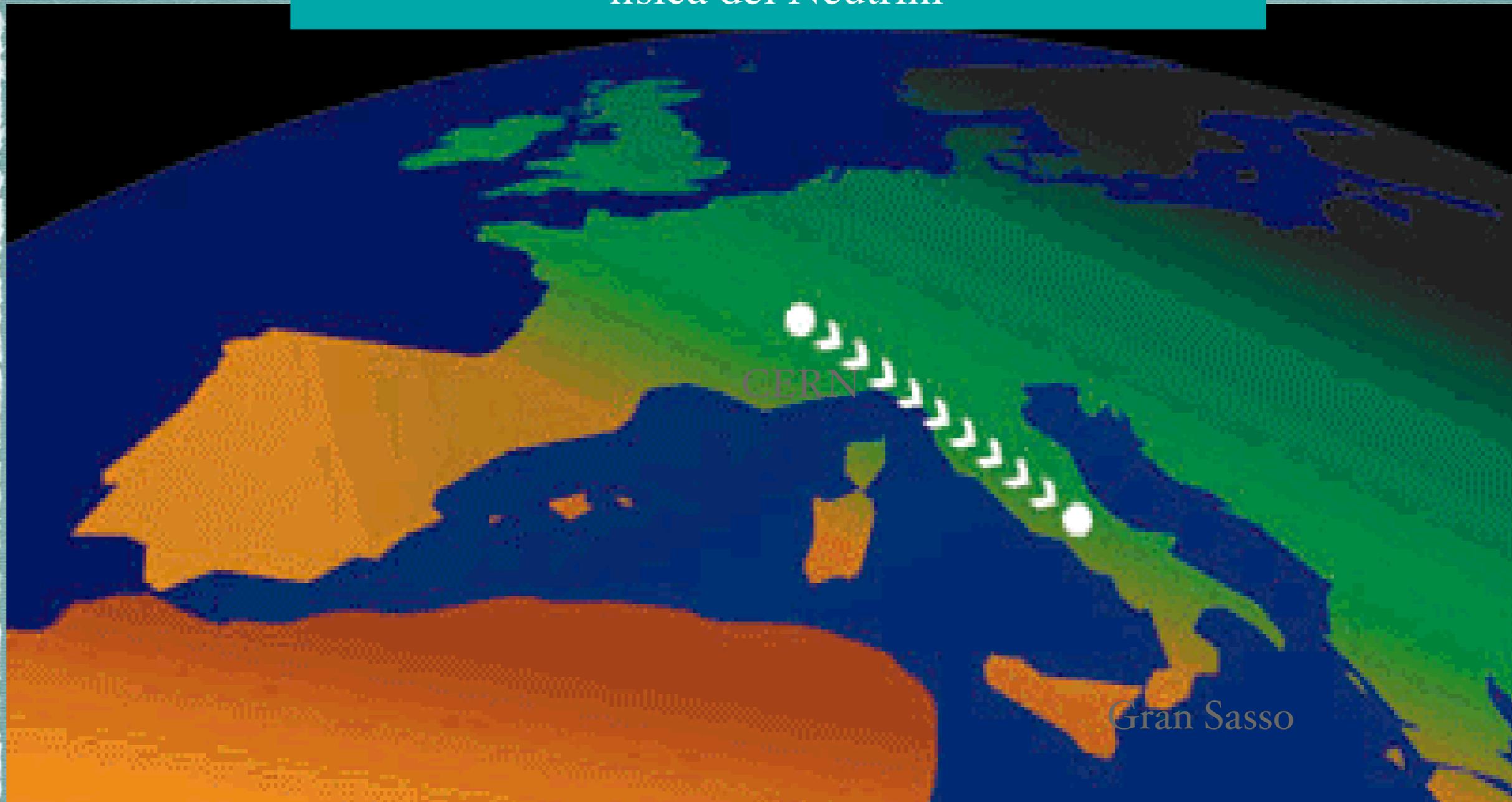
che permettono al Sole di vivere per diversi Miliardi di anni

- H. Bethe, anni '30: una teoria completa che ci permette di capire il funzionamento delle stelle;
- I dati accumulati negli ultimi 30 anni (Davies e coll., Kamioka Collab., Gallex)
 - I neutrini dalla fusione dell' idrogeni esistono
 - Deficit nel flusso → massa e oscillazioni dei neutrini
- Una nuova frontiera cui la fisica italiana ha dato contributi fondamentali!

ne parleremo: i cicli di Bethe, lo spettro dei neutrini dal sole

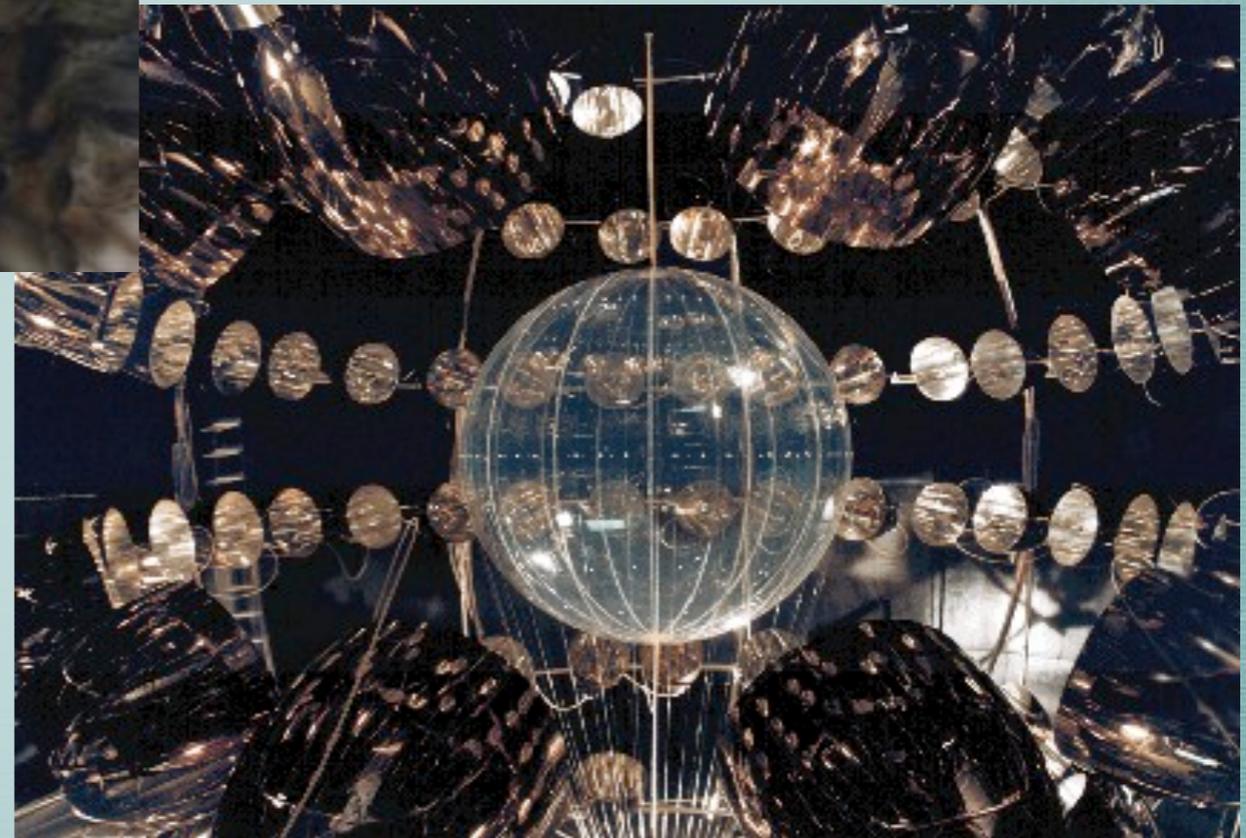
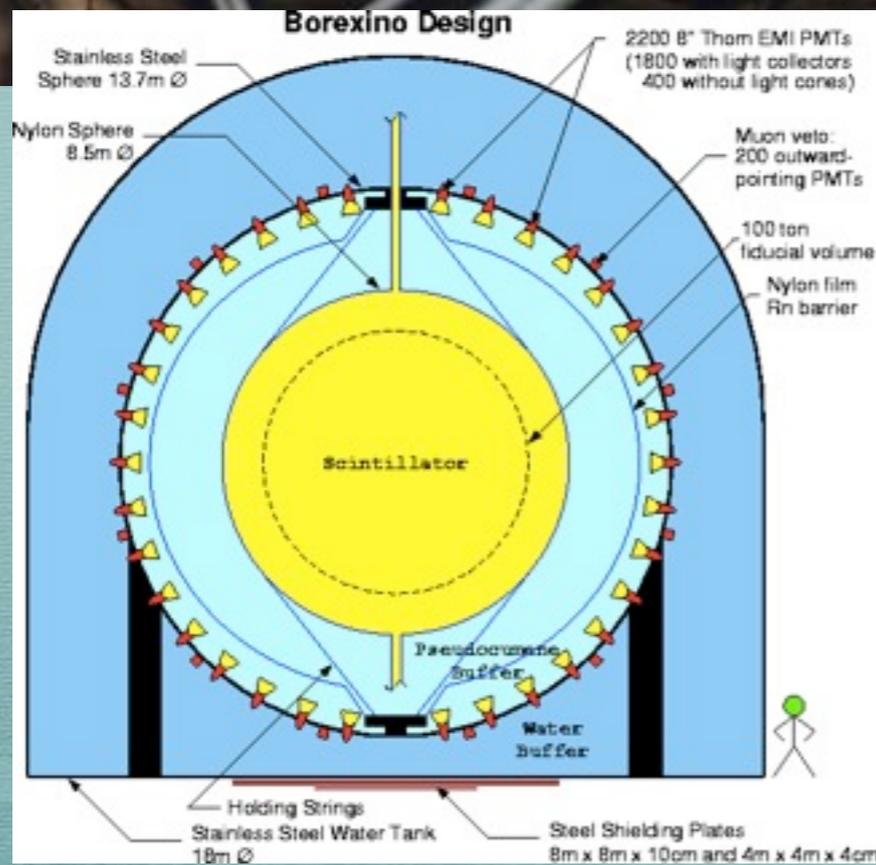


I fasci a lunga portata: la nuova frontiera della fisica dei Neutrini

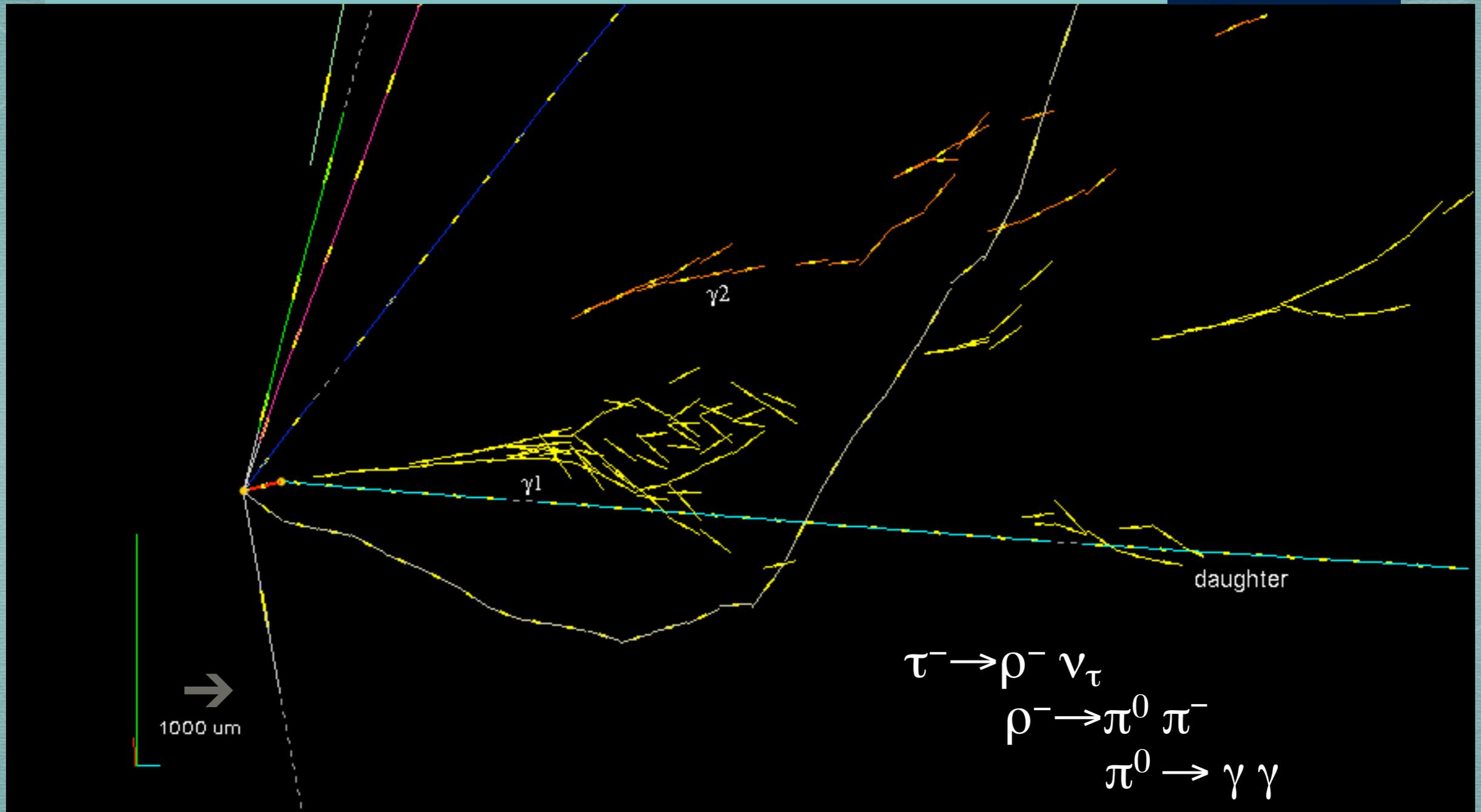


Sale sperimentali dei LNGS

BOREXINO @ Laboratori del Gran Sasso



OPERA, event 1



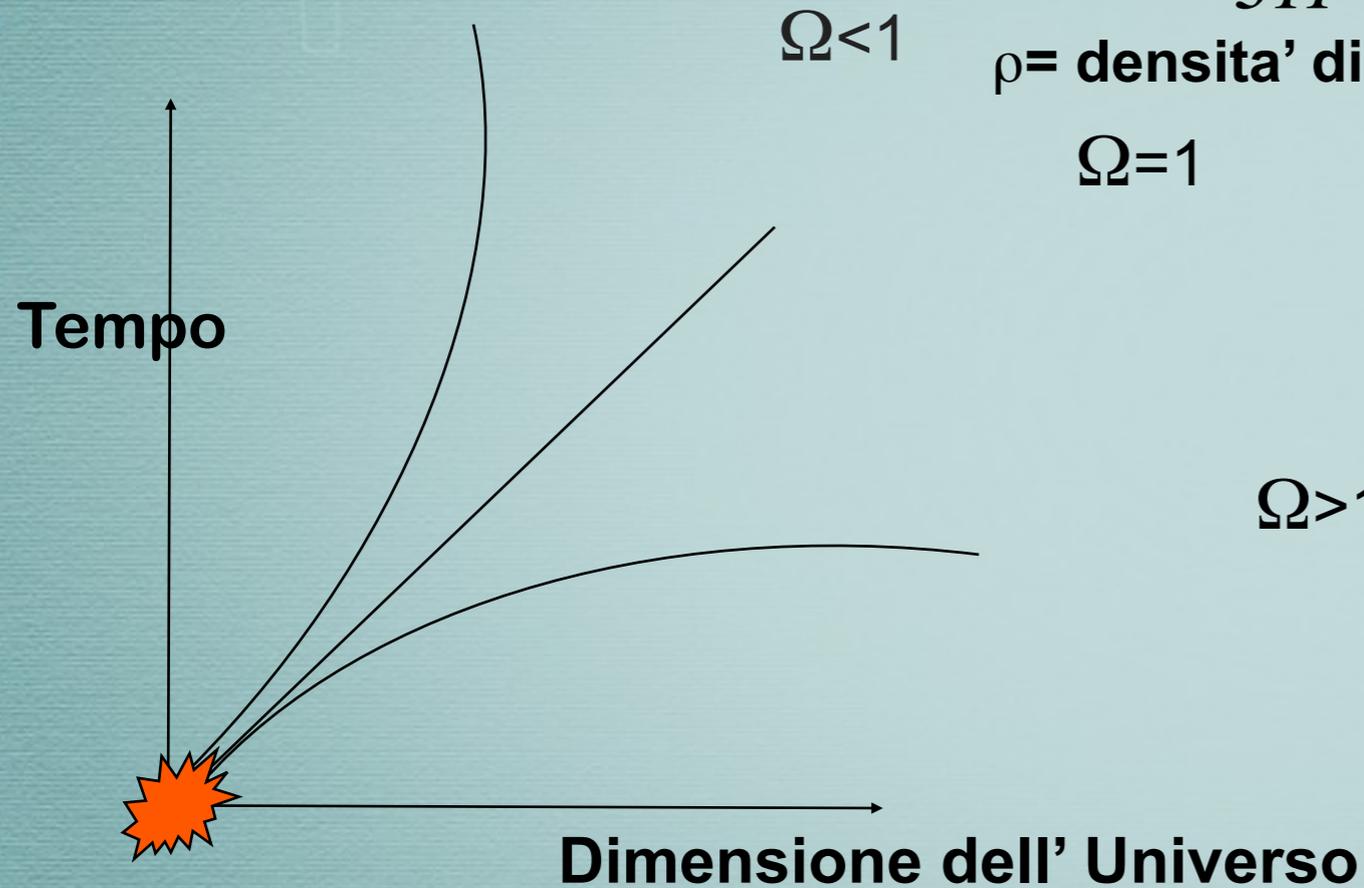
$$\tau \rightarrow \nu_\tau + 2 \pi$$

$$\begin{aligned} \tau^- &\rightarrow \rho^- \nu_\tau \\ \rho^- &\rightarrow \pi^0 \pi^- \\ \pi^0 &\rightarrow \gamma \gamma \end{aligned}$$

Giovanni De Lellis, seminar
at CERN, June 11 2013

6. L' Universo in espansione

La recessione delle galassie mostra che l' Universo si espande



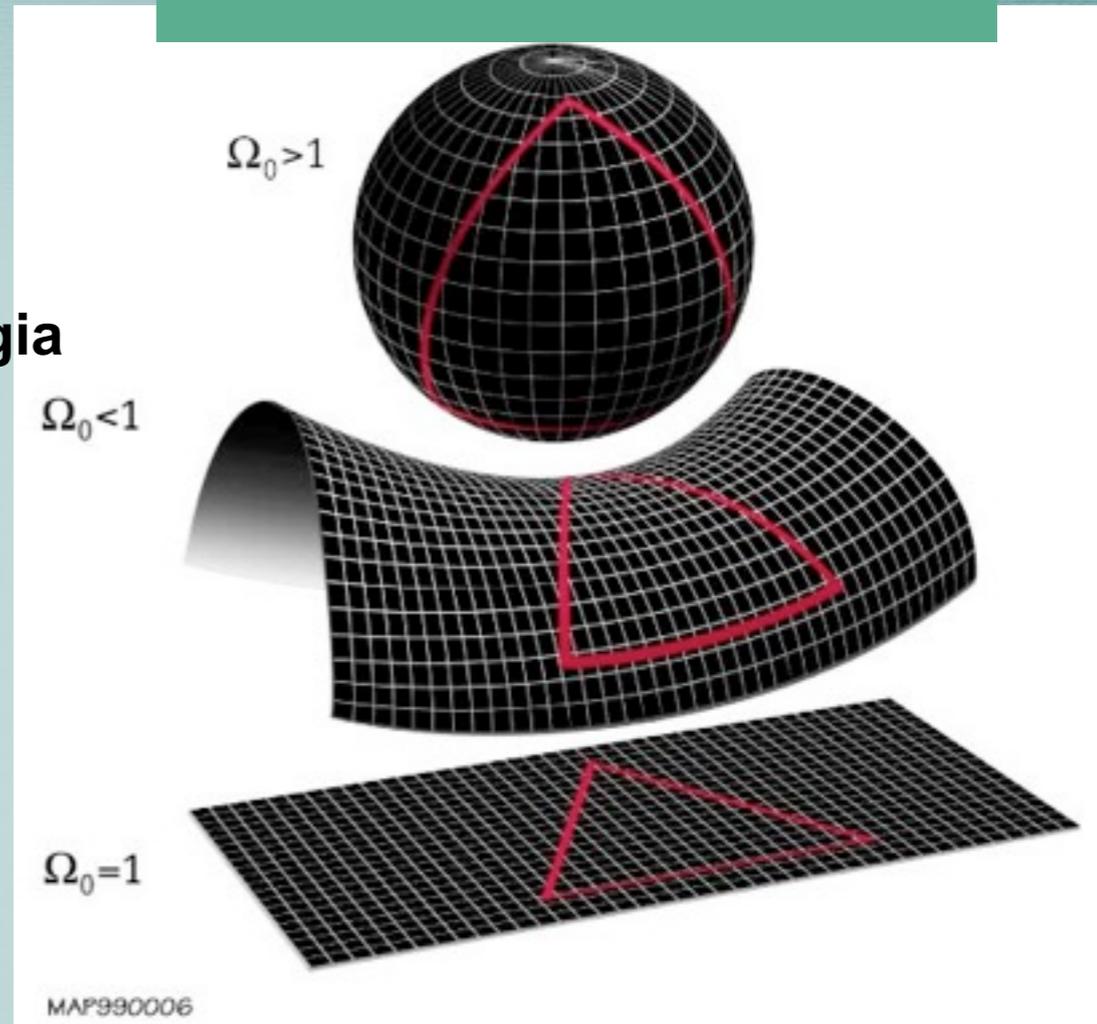
$$\Omega = \frac{8\pi G\rho}{3H^2}$$

$\rho =$ densita' di energia

$$\Omega = 1$$

$$\Omega > 1$$

Einstein:
La densita' di energia
determina la Geometria

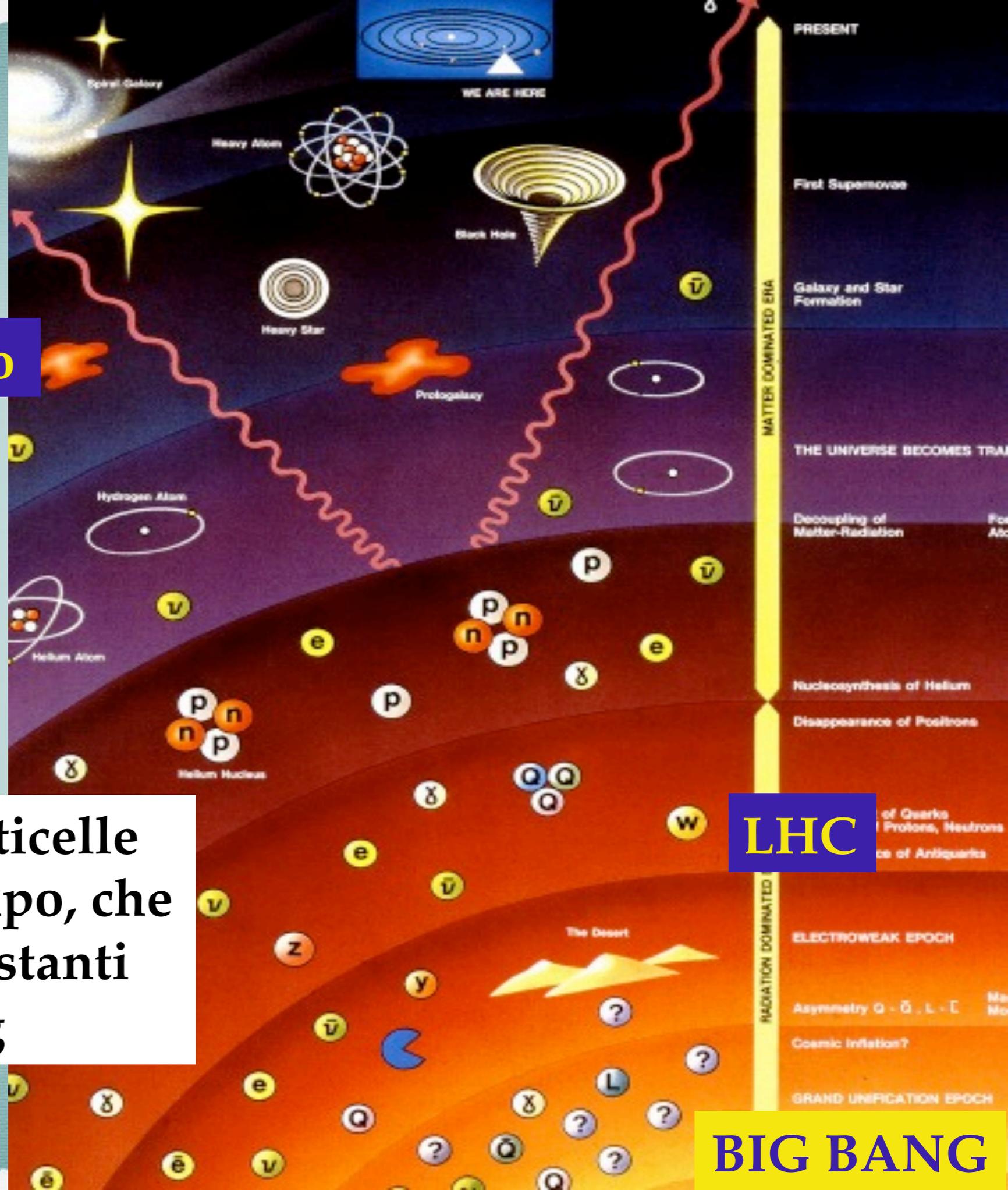


Friedman... e il destino dell' Universo

Estrapolando il moto delle Galassie all' indietro, possiamo prevedere che l' Universo ha avuto origine da uno stato ad alta densita' ed alta temperatura: il Big-Bang (Gamow)

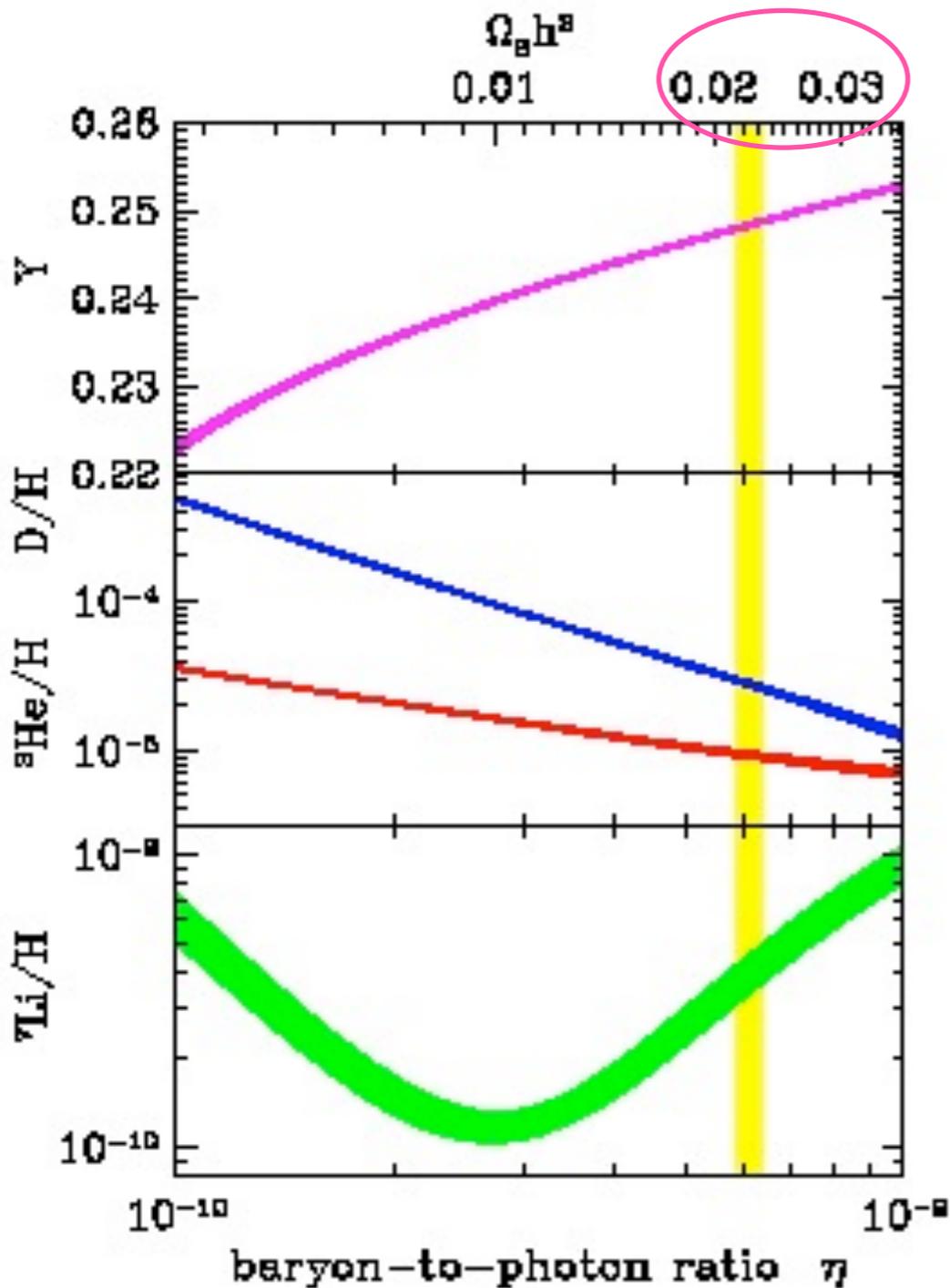
Storia dell' Universo

Tempo



Gli acceleratori di particelle sono Macchine del Tempo, che ci riportano ai primi istanti dopo il Big Bang

7. Massa ed energia nell' Universo: La Materia Oscura



Forti argomenti teorici (inflazione) suggeriscono che debba essere $\Omega=1$

Su scala cosmologica, la materia barionica e' solo qualche % ???

I neutrini sembrano avere una massa troppo piccola per colmare il deficit

Lo stesso deficit si verifica per la massa delle Galassie

Il risultato piu' sorprendente degli ultimi 10 anni in Cosmologia:

$\Omega \sim 1$;

$\Omega \sim 0.3$ Materia + 0.7 Energia del vuoto



Matter Composition

1

Cold Dark Matter

0.35 ± 0.1

0.15

Baryons

0.05 ± 0.005

Neutrinos

0.1

0.01

Stars

0.005 ± 0.002

0.003

0.001

Ω

Total

1 ± 0.2

Dark Energy

0.8 ± 0.2

Matter

0.4 ± 0.1

Il risultato piu' sorprendente degli ultimi 10 anni in Cosmologia

$\Omega \sim 1$;

$\Omega \sim 0.3$ Materia + 0.7 Energia del vuoto

Materia Oscura nelle Galassie

La velocità degli anelli di gas che orbitano nelle Galassie non decresce con la distanza dalla parte luminosa, come richiesto dalla legge di Keplero se la materia fosse concentrata nelle stelle

Materia Oscura deve essere presente nelle Galassie

Le osservazioni astronomiche possono darci la sua distribuzione

Ma non permettono di identificarne la natura fisica

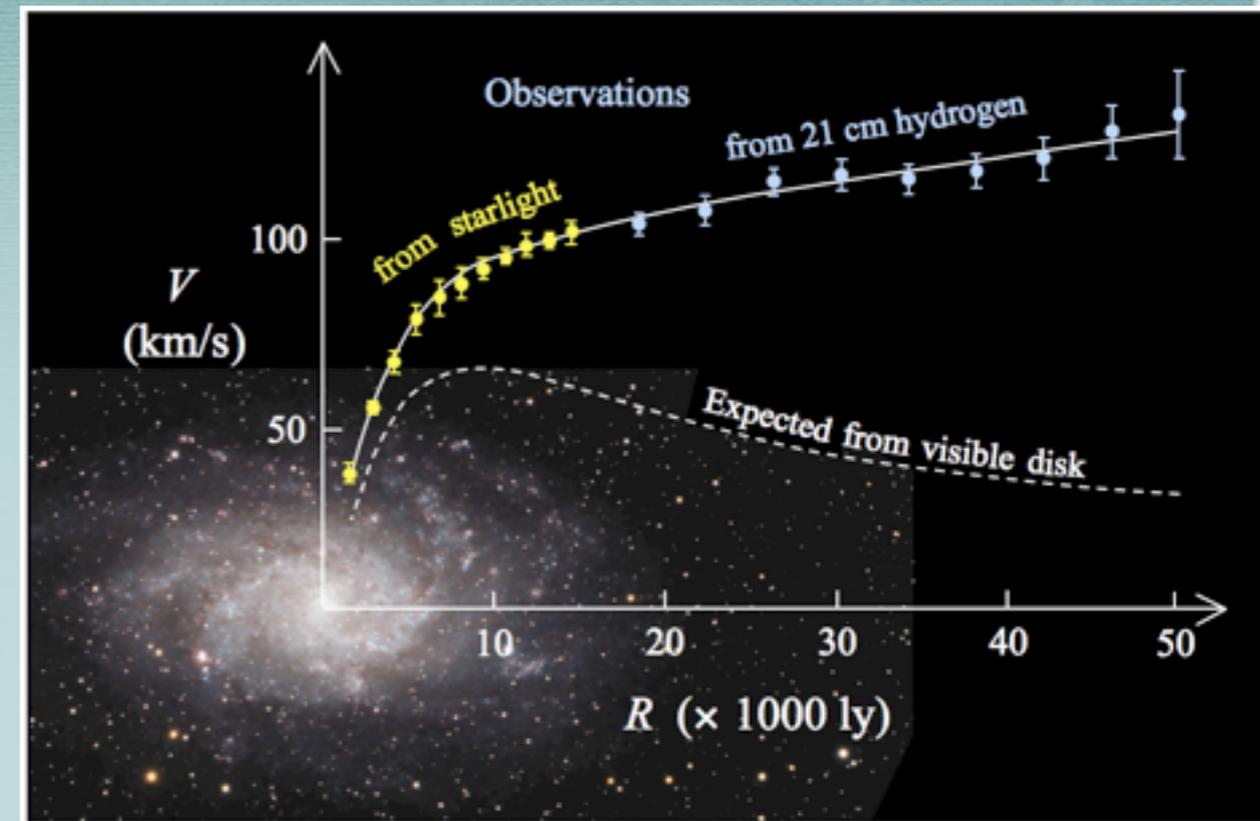
La fisica delle particelle richiede una nuova simmetria (SUSY) che implica nuove particelle, alcune metastabili (neutralini)

Le particelle SUSY sono i candidati ideali per la Materia Oscura Fredda.

Altri candidati: Assioni, Stringhe Cosmiche...

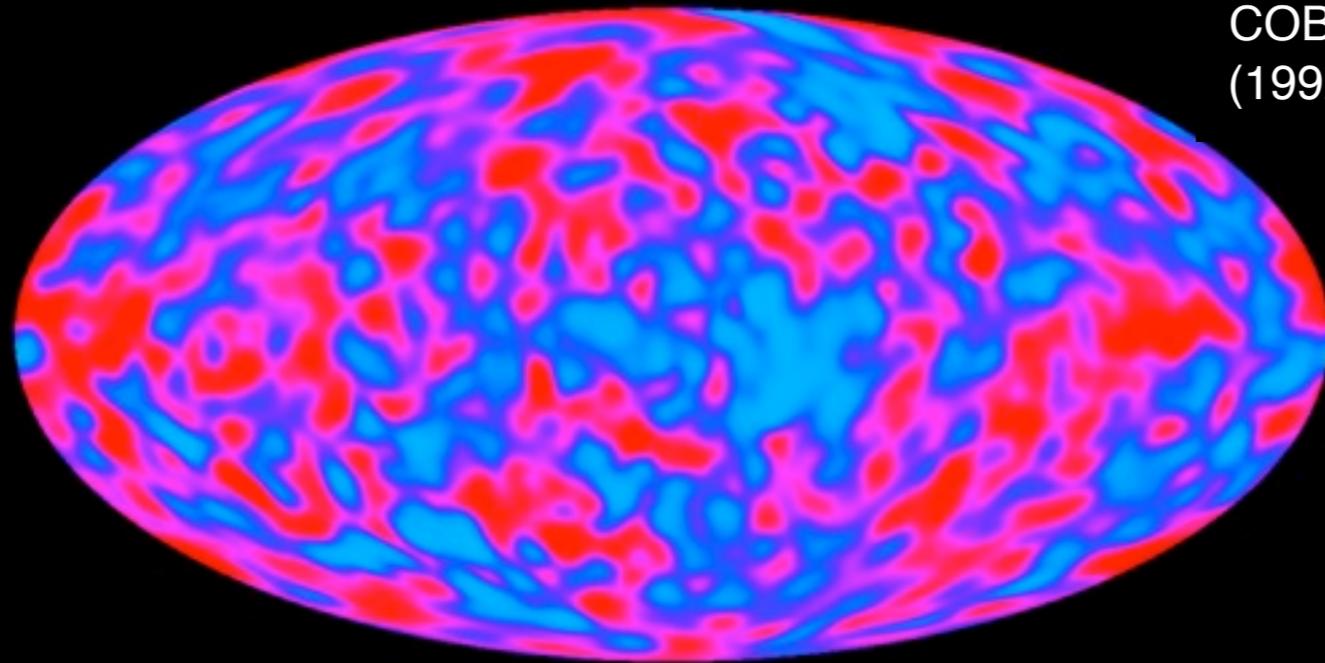
Solo lo studio di laboratorio potrà permetterci di capire la natura dell'80-90% della materia dell'Universo

Se la materia oscura è fatta di particelle supersimmetriche, il Large Hadron Collider potrebbe essere capace di produrle in laboratorio e di studiarle completamente.



8. Fluttuazioni del fondo cosmico

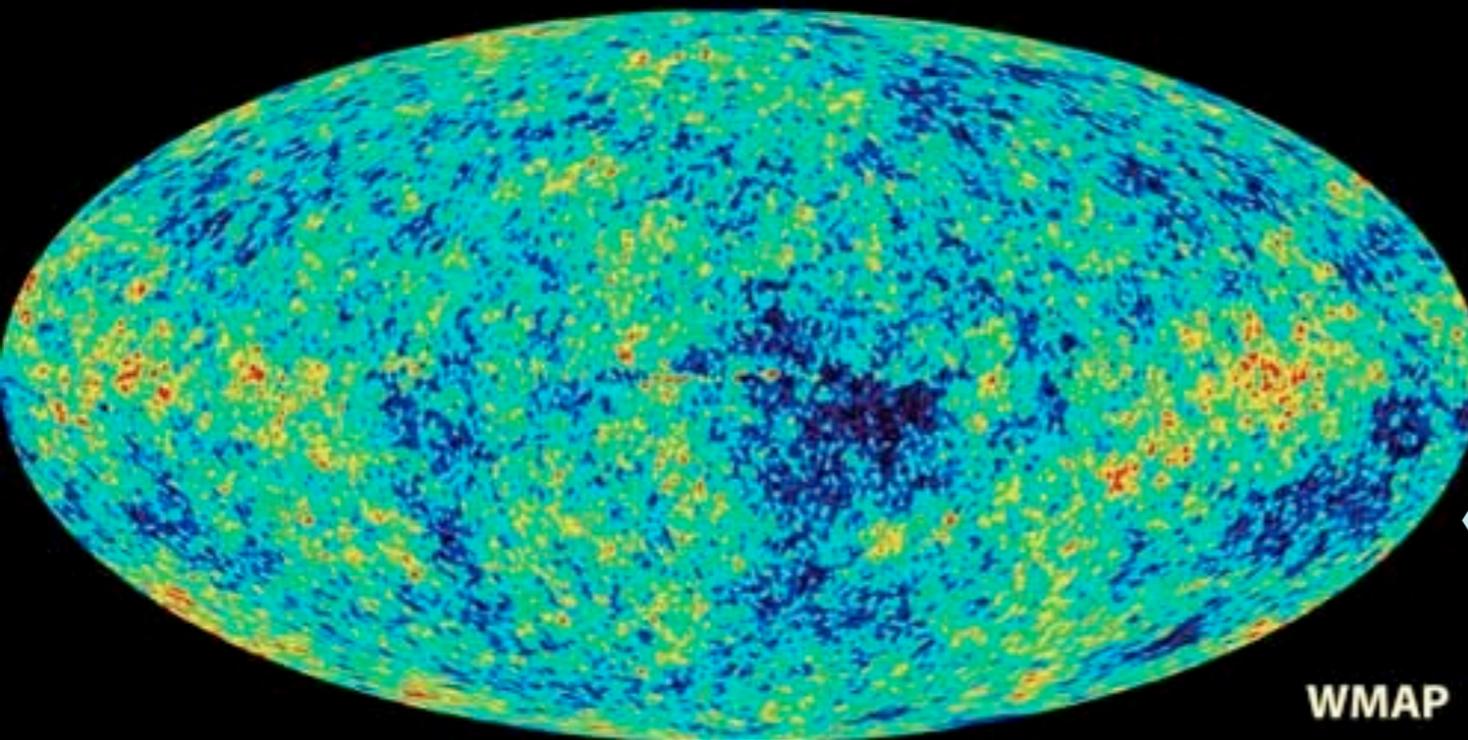
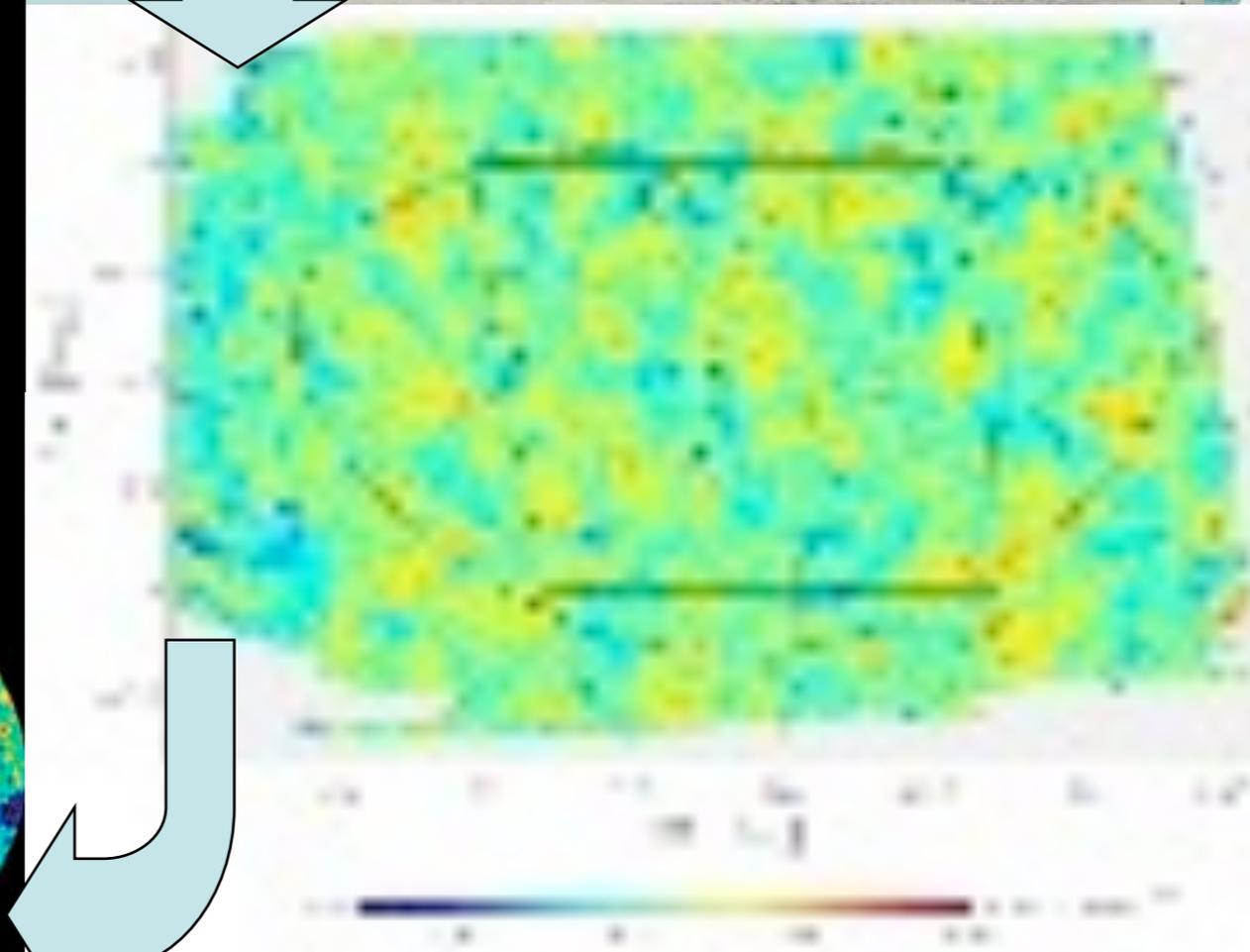
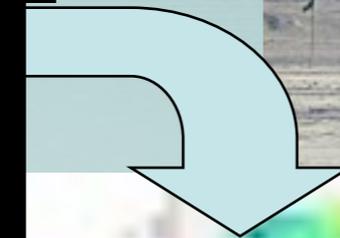
<http://aether.lbl.gov/www/projects/cobe/>



COBE
(1992)



Boomerang (2002)



WMAP
(2003)

http://map.gsfc.nasa.gov/m_mm.html

<http://cmb.phys.cwru.edu/boomerang/>

Fluttuazioni del fondo cosmico

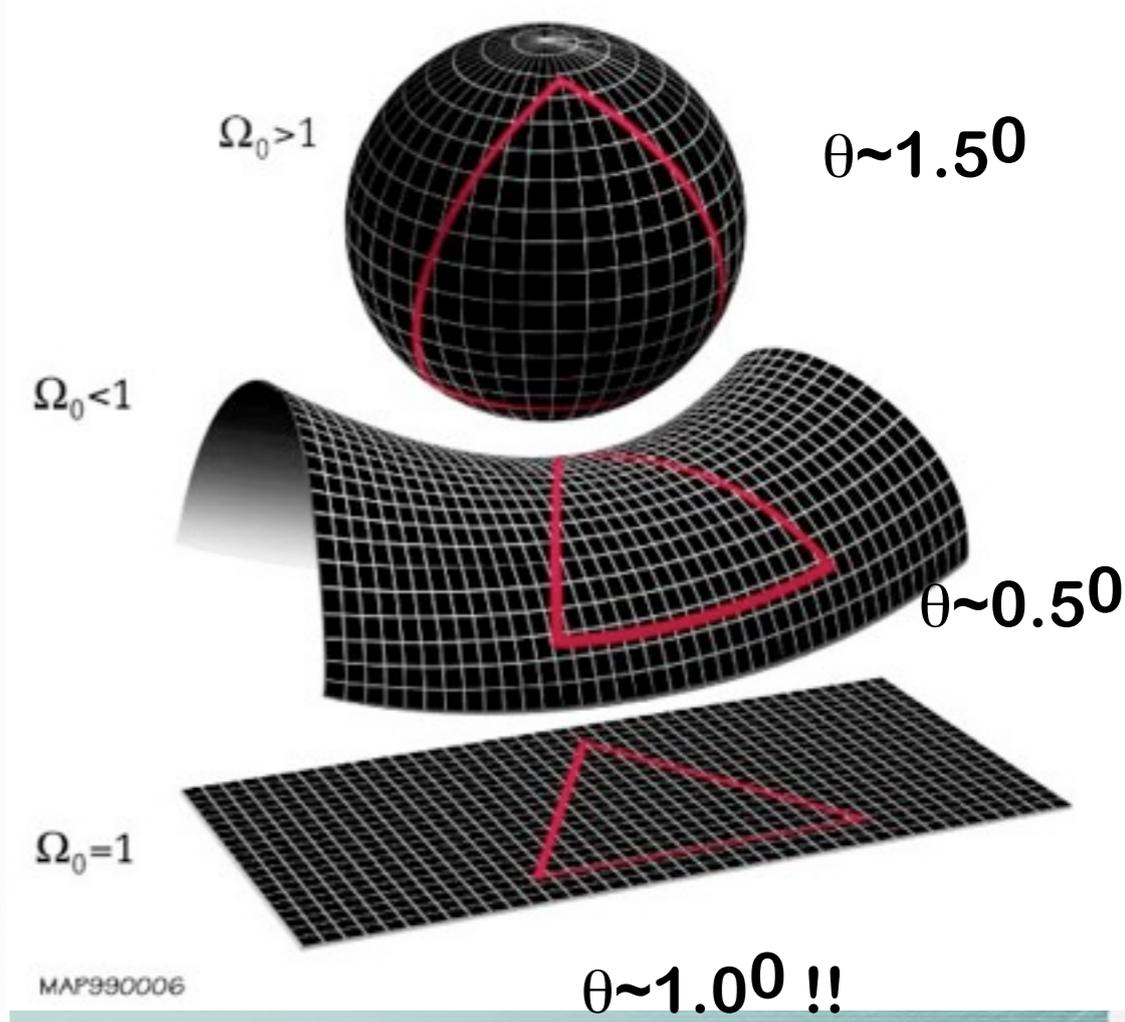
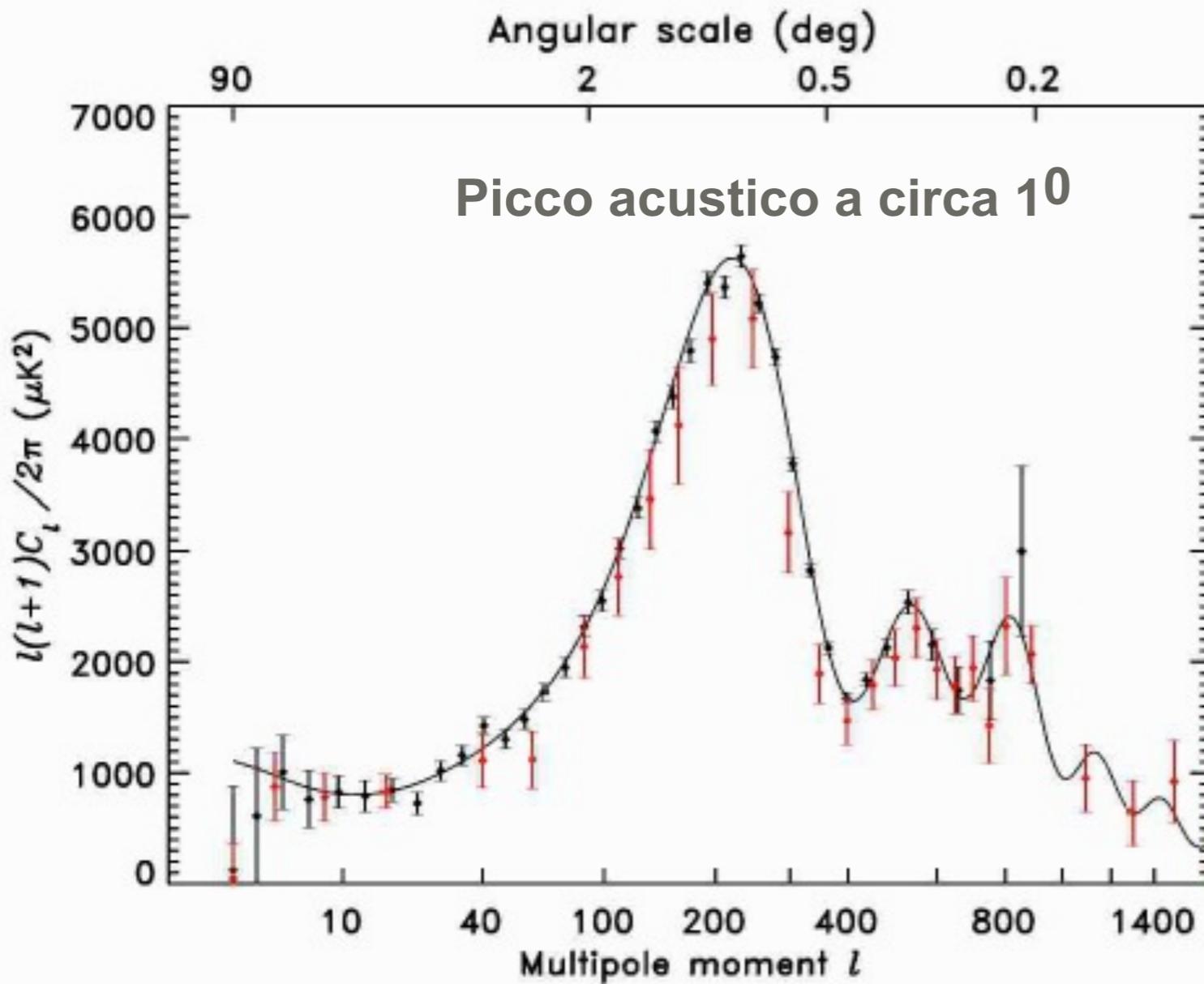
- Un risultato sperimentale entusiasmante COBE, Boomerang, WMAP
- Mappa termica della superficie da cui il fotone e' stato emesso;
- E' un "cielo" a circa 12 Miliardi di anni luce da noi (300.000 anni dopo il Big-Bang)
- Le fluttuazioni termiche sono i "semi" dell' odierne galassie
- Le fluttuazioni sono analizzate in funzione dell' angolo che sottendono
- Se conosciamo la lunghezza λ delle fluttuazioni, l' angolo sotto cui le vediamo e'

$$\vartheta > \lambda / d \quad \text{Universo Chiuso}$$

$$\vartheta = \lambda / d \quad \text{Universo Piatto}$$

$$\vartheta < \lambda / d \quad \text{Universo Aperto}$$

- Per poter arrivare a sviluppare le strutture di oggi le fluttuazioni osservate devono essere la "traccia " di fluttuazioni pre-esistent della Materia Oscura



$1/\theta$

**Il picco corrisponde alle onde acustiche: ne conosciamo la lunghezza d' onda e la distanza;
l' angolo sotto cui le vediamo ci dice che l' Universo e' piatto:
 $\Omega=1 !!!!$**

