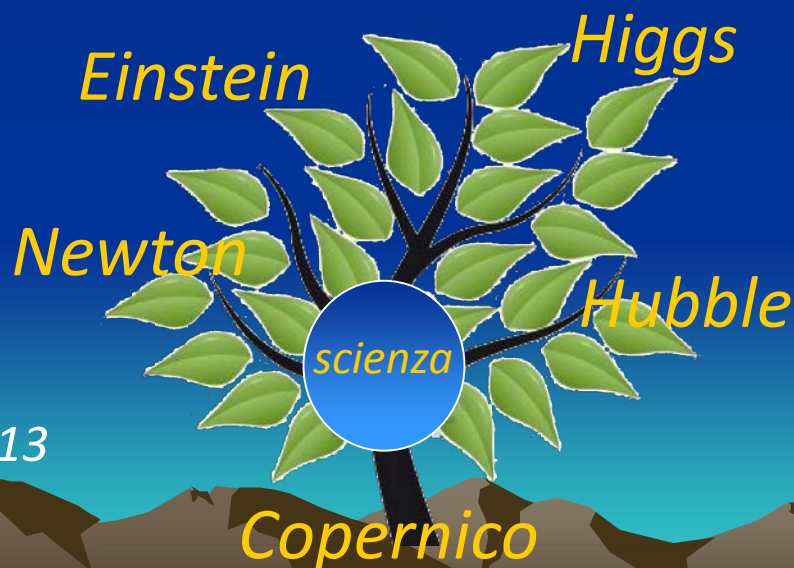




Le ultime scoperte al CERN per capire l'evoluzione dell'Universo



Un giro tra l'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande



... e tanti altri

Liceo Scientifico N.
Copernico, 4/2/2013

roberto spighi, INFN Bologna
spighi@bo.infn.it

L'uomo e l'Universo

FILOSOFIA
RELIGIONE

*GENESI, ARISTOTELE (300 A.C.), TOLOMEO (200 D.C.)
→ visione geocentrica → uomo al centro dell'Universo*



1500 si comincia a criticare sistema geocentrico

*1550-1600 GIORDANO BRUNO → Universo
infinito e privo di Centro → fu messo al rogo*



*1514 un anonimo (Nicolò Copernico) →
sistema eliocentrico, sostenuto poi da
Galilei e da Keplero (problemi con Chiesa)*



FISICA

*1687 Newton pubblicò "Philosophiae naturalis principia
mathematica" → legge di Gravitazione Universale*

Inizi '900

**SVILUPPO TECNOLOGICO
GROSSI TELESCOPI**



RELATIVITA' 1905-16

LEGGE DI HUBBLE (1929)



UNIVERSO IN ESPANSIONE

Red shift

**PRESENZA DI MOLTO
ELIO NELL'UNIVERSO**

3 min

**SCOPERTA RADIAZIONE
COSMICA DI FONDO (1965)**



**UNIVERSO ~ OMOGENEO
E INIZIALMENTE CALDO**

**Penzias e
Wilson**



***l'UNIVERSO è pieno di radiazione
formatasi nei primi istanti
Temperatura iniziale molto alta***

10^{-4}

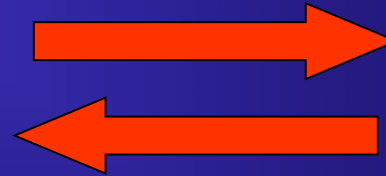
Legge di Hubble



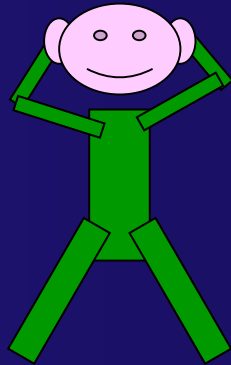
Righe di assorbimento



avvicina → suono più grave (basso)



allontana → più acuto (alto)



stelle + lontane → righe + verso rosso (=suono alto)



si allontanano più velocemente



UNIVERSO SI ESPANDE → inizio era un piccolo volume



Hubble

... DUNQUE

UNIVERSO IN ESPANSIONE



UNIVERSO ADESSO E' FREDDO → PRIMA ERA CALDO

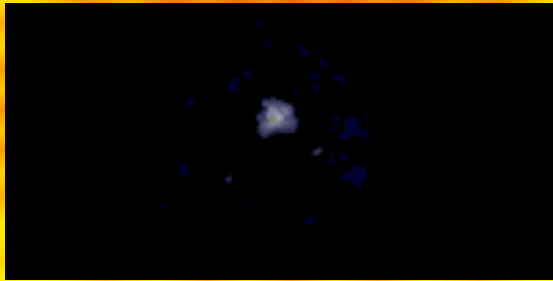


*UNIVERSO INIZIALMENTE ERA PICCOLO E
MOLTO CALDO → **BIG BANG***

L'INIZIO (si fa per dire)

$$t = 0 \quad T = \infty$$

BIG BANG



Big Bang

13.7 ± 0.2 G anni fa

Una “pallina” (“brodo” di radiazione e materia) piccolissima e caldissima si espande

**Una sola FORZA
SUPERGRAVITA'**

Frazioni di miliardesimo di miliardesimo di ... di metro (molto meno di un nucleo atomico)

1° FOTO (10^{-43} s)

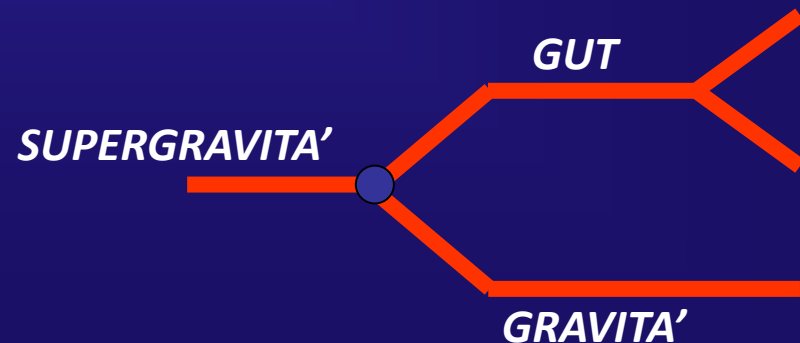
INIZIA ESPANSIONE E RAFFREDDAMENTO

$E = 10^{19} \text{ GeV}$ (10^{32} C)

**MATERIA DIVENTA PIU' COMPLESSA: "BRODO" → SI
FRAZIONA IN PARTICELLE**

INIZIALMENTE UNA SOLA FORZA → GESTIRE OGGETTI UGUALI

**LA FORZA DEVE GESTIRE OGGETTI DIVERSI
→ SI DIFFERENZIA IN 2 → UNA PER MONDO
MICROSCOPICO E UNA MACROSCOPICO**

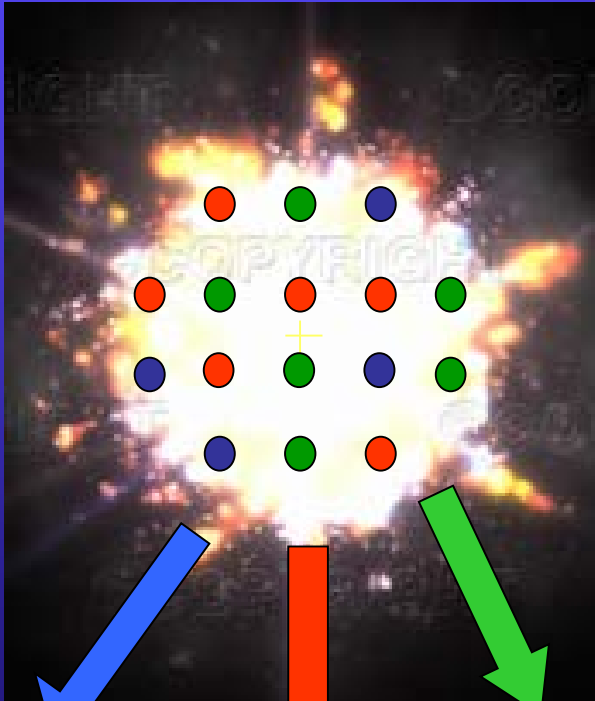


2° FOTO (10^{-35} s)

$E = 10^{15}$ GeV (10^{28} C)

**CONTINUA ESPANSIONE
E RAFFREDDAMENTO**

**PARTICELLE COMINCIANO A
DIFFERENZIARSI**



Antimateria

Materia

Radiazione



PREDOMINA MATERIA SU ANTIMATERIA

CAMBIAMENTO NELLE FORZE



**STUDIARE BIG BANG → PARTICELLE ALTA ENERGIA
CHE INTERAGISCONO TRA LORO**

3° FOTO (10^{-10} s)

u

d

x

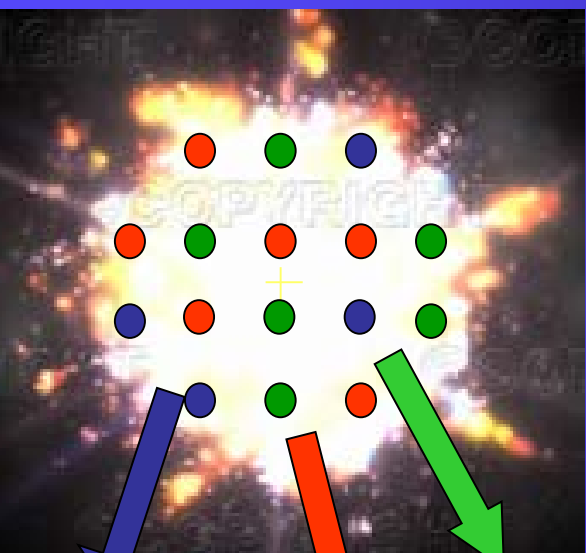
e

$E = 10^2 \text{ GeV}$ (10^{15} C)

TANTE PARTICELLE PRODOTTE SONO "MORTE"



DECADUTE IN PARTICELLE PIU' LEGGERE

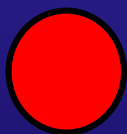


Antimateria

Materia

Radiazione

Z_0



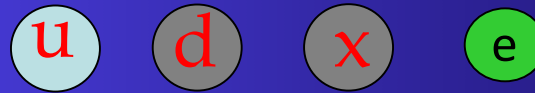
μ^+

μ^-

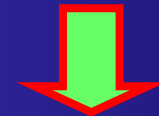
NELLA MATERIA ORDINARIA NON SUCCEDE

3° FOTO (10^{-10} s)

$E = 10^2 \text{ GeV}$ (10^{15} C)



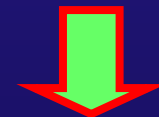
STUDIARE L'EVOLUZIONE DELL'UNIVERSO



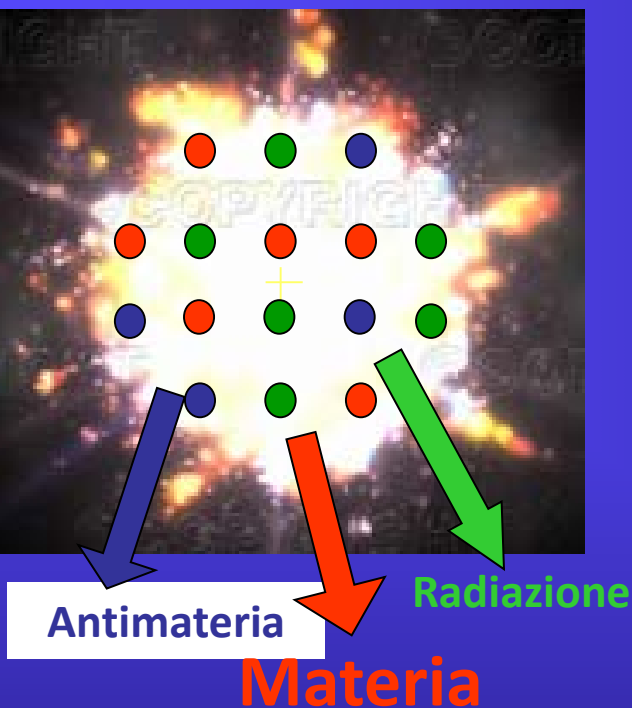
PARTICELLE DI ALTA ENERGIA CHE INTERAGISCONO TRA LORO



ACCELERATORI (SEMPRE PIU' POTENTI)

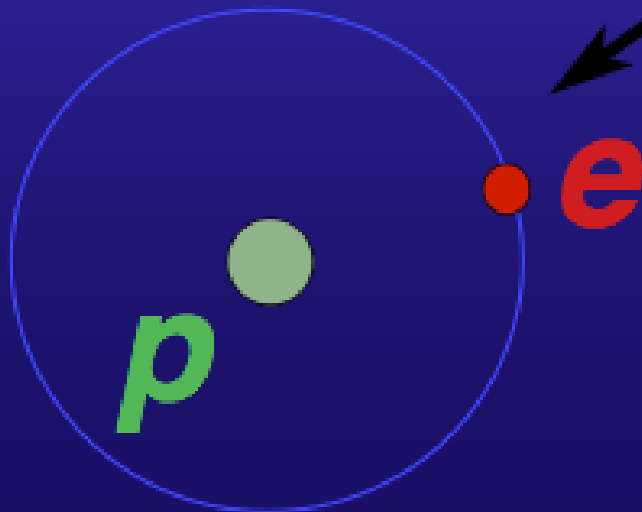
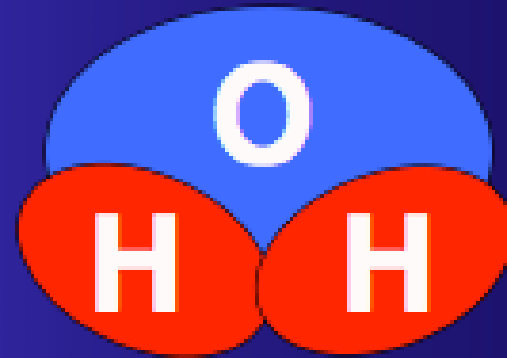


DA 10^{-11} s TUTTO E' VERIFICATO SPERIMENTALMENTE



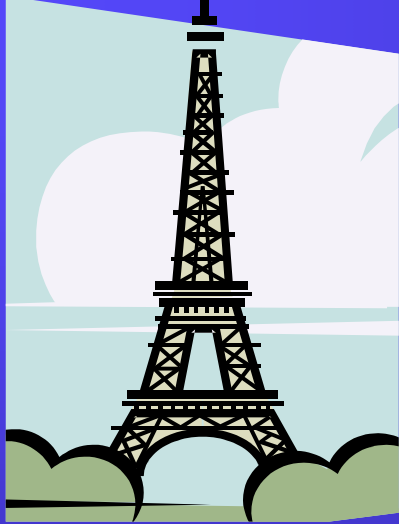
MA PRIMA DI ARRIVARE AGLI ACCELERATORI ...

FINE '800 STUDIO DELLA MATERIA ORDINARIA

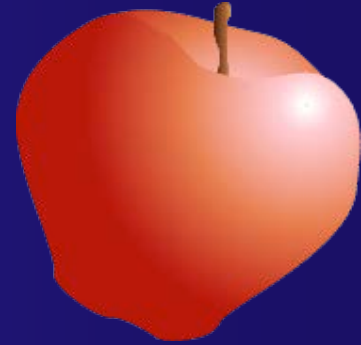


THOMSON
BOHR
RUTHERFORD ...

LA MATERIA



(p, n, e^-)



LA MATERIA E' FATTA DA POCHISSIMI COSTITUENTI

SONO I COSTITUENTI ULTIMI?

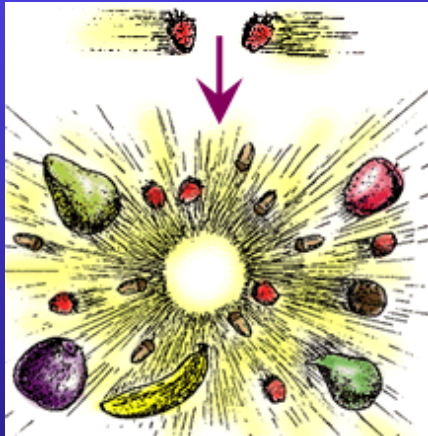
OPPURE SONO COMPOSTI DA ALTRE PARTICELLE?

ANNI '50:

STUDIO DEI RAGGI COSMICI

PARTICELLE URTANO L'ATMOSFERA

→ ALTRE PARTICELLE



PIONI, KAONI, MUONI

≠ PROTONI, NEUTRONI, ELETTRONI



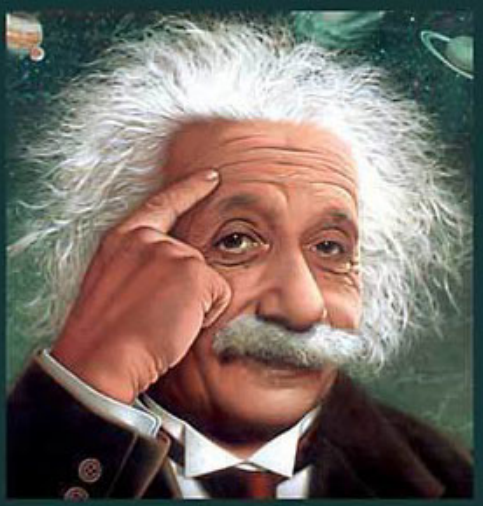
ALTRI TIPI DI PARTICELLE OLTRE LA MATERIA ORDINARIA

OLTRE LA MATERIA



OLTRE LA MATERIA

+ PARTICELLE ALTA ENERGIA → PRODUCONO ALTRE PARTICELLE



$$E = Mc^2$$

ENERGIA

MASSA



$$\Delta P \Delta R = \hbar$$

$$\Delta E \Delta t = \hbar$$

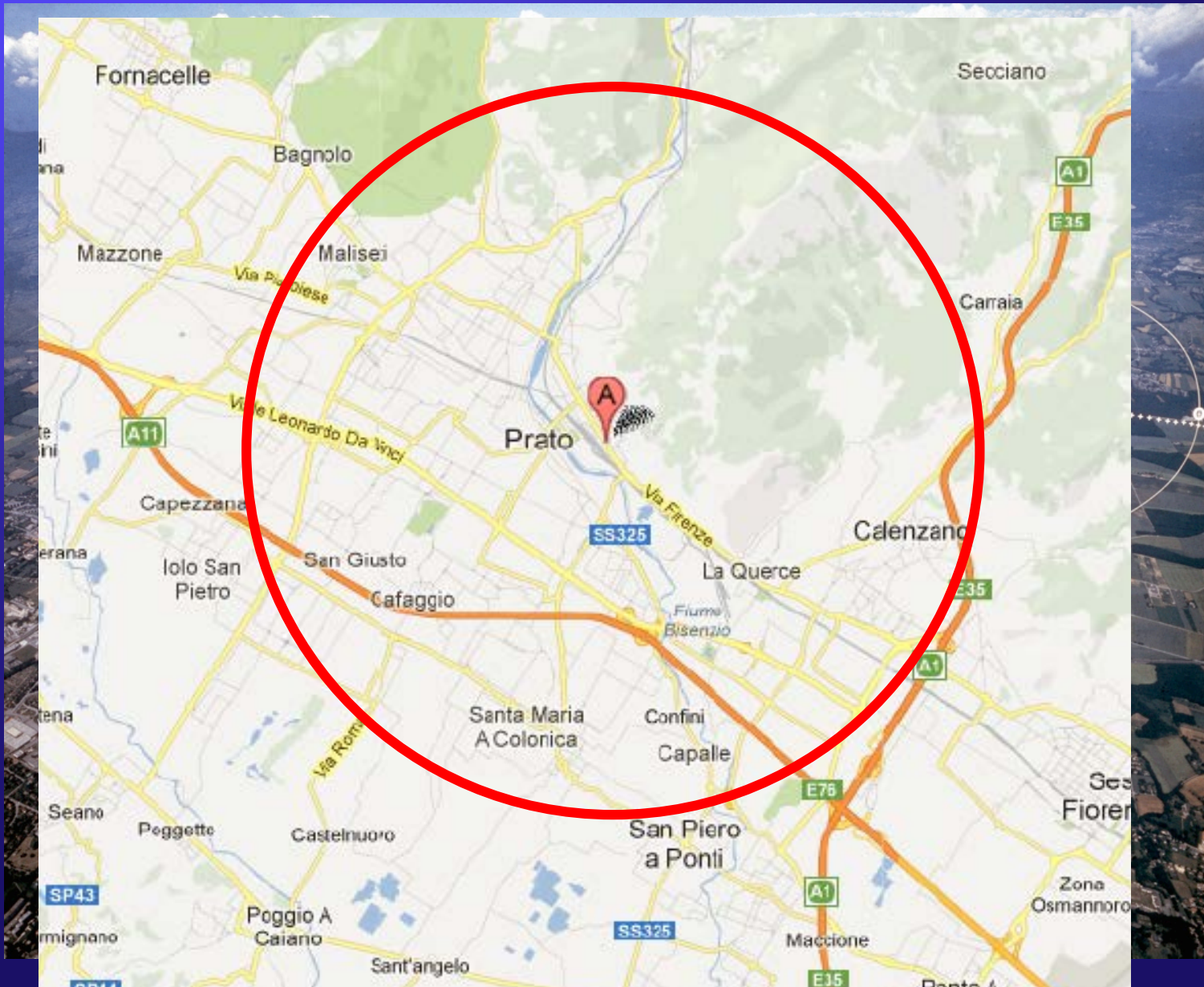
PRINCIPIO DI
INDETERMINAZIONE DI
HEISEMBERG



+ ACCELERATORE POTENTE → PRODUCO PARTICELLE NUOVE
→ STUDIO L'INFINITAMENTE PICCOLO → BIG BANG

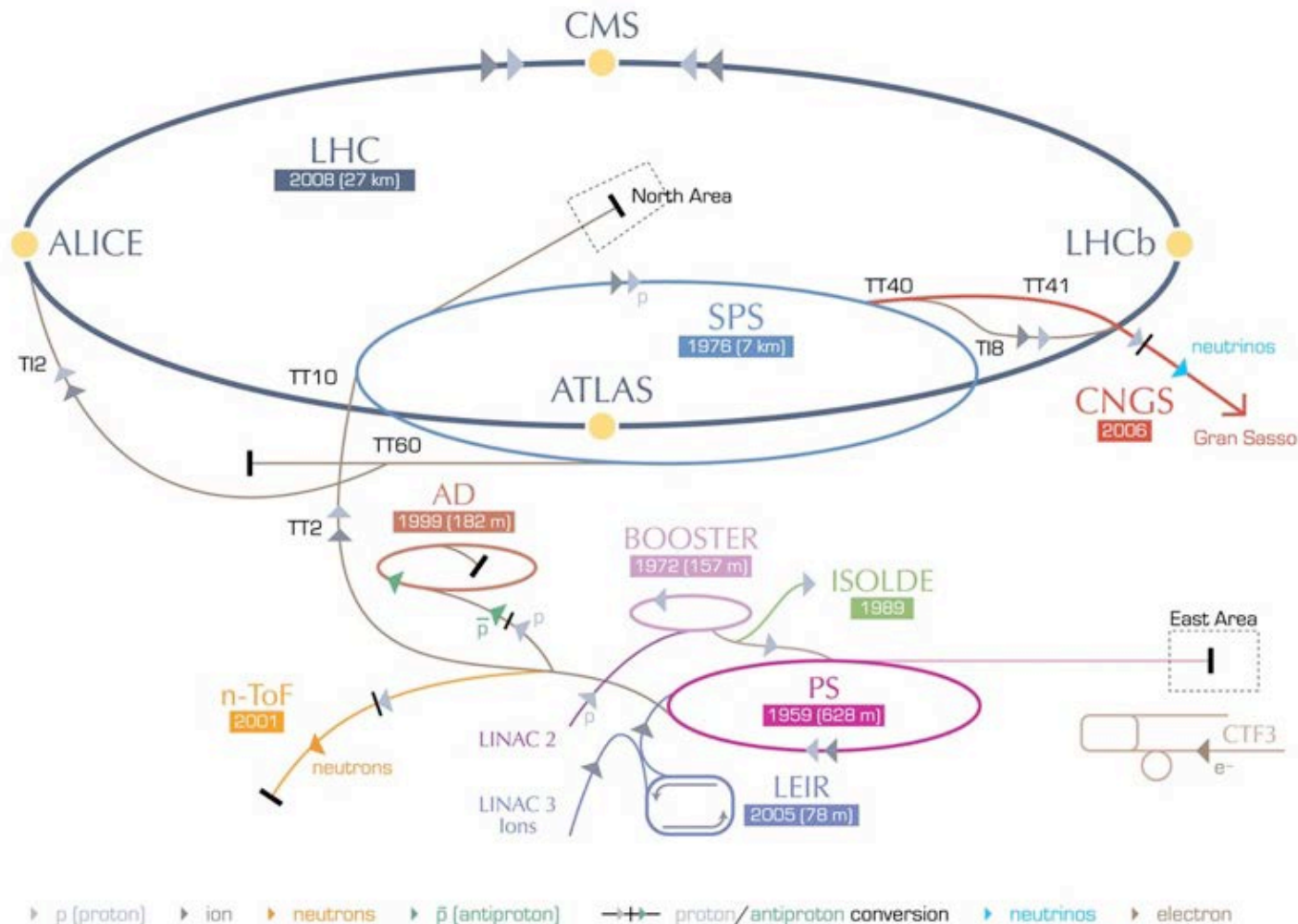
LHC

CERN



LHC

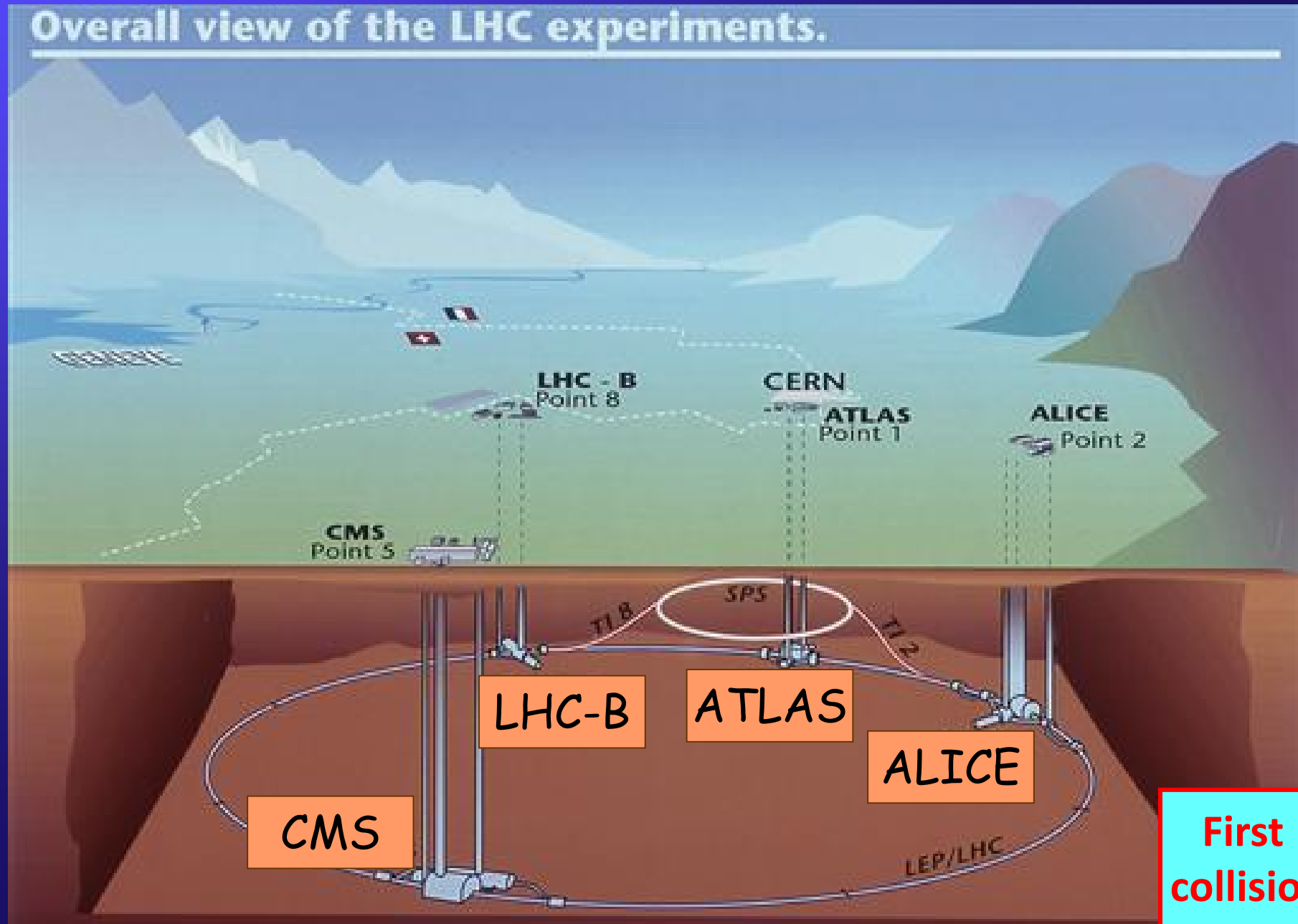
CERN's accelerator complex



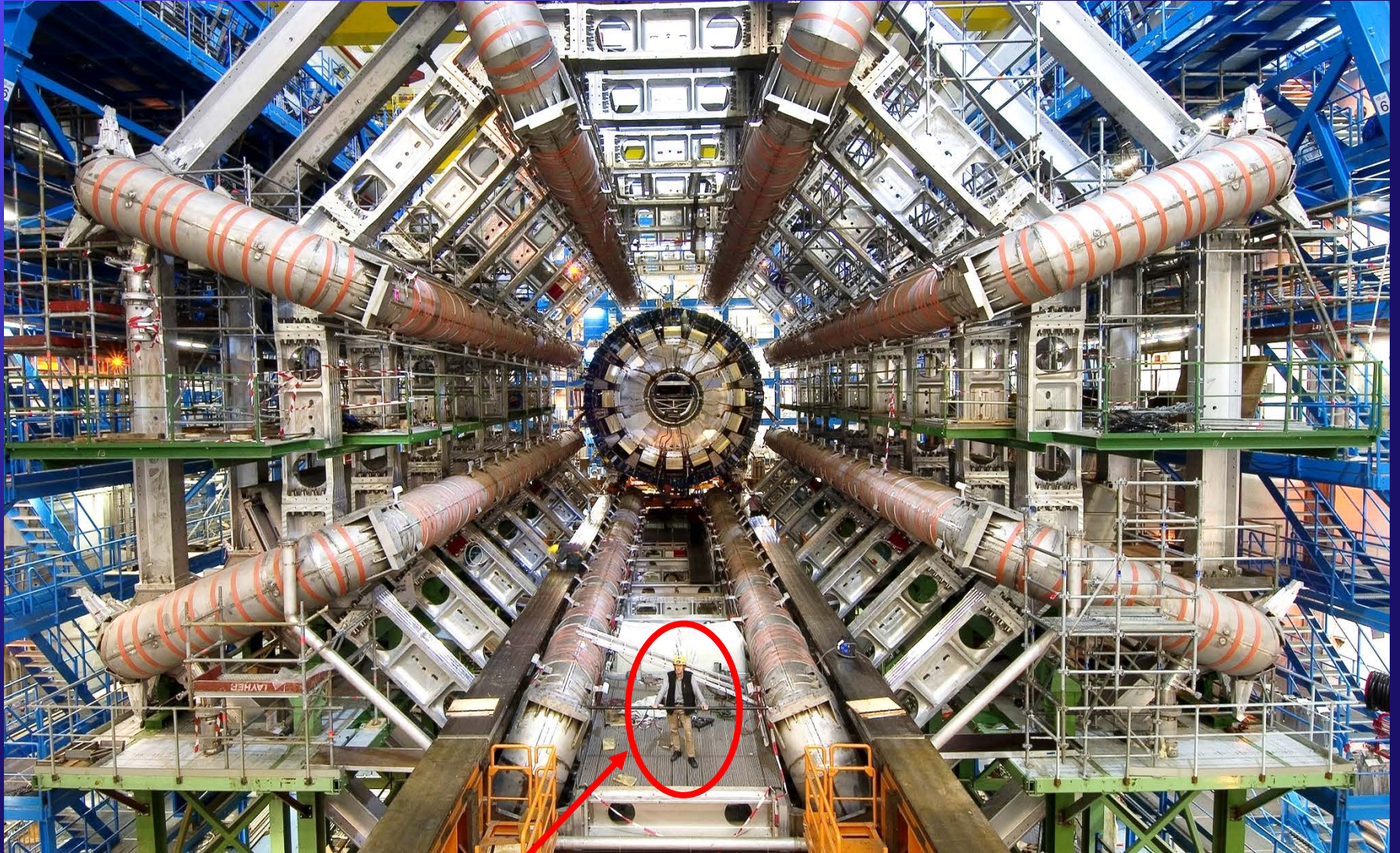
LHC

I 4 esperimenti di LHC

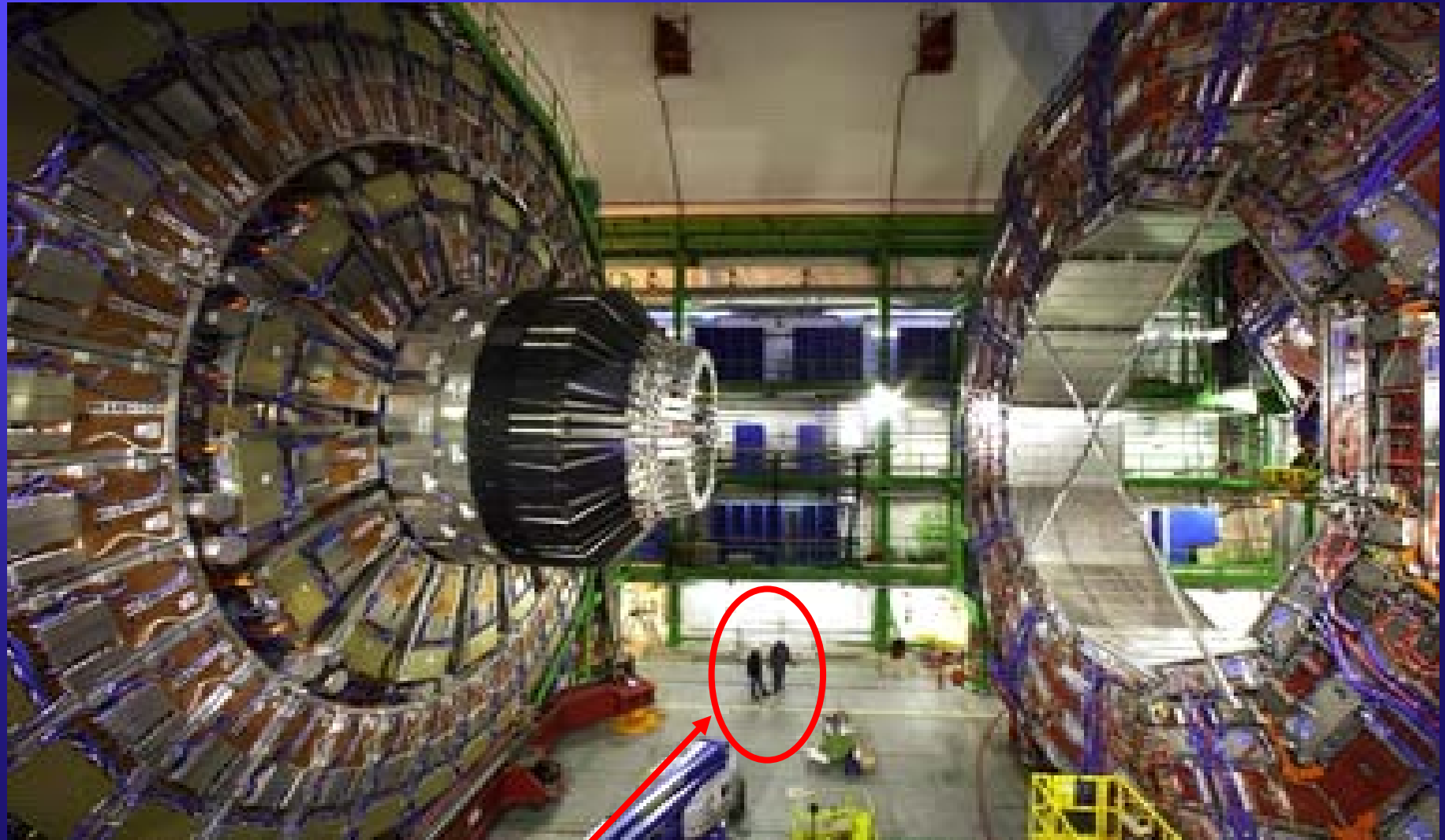
Overall view of the LHC experiments.



ESPERIMENTO ATLAS



ESPERIMENTO CMS

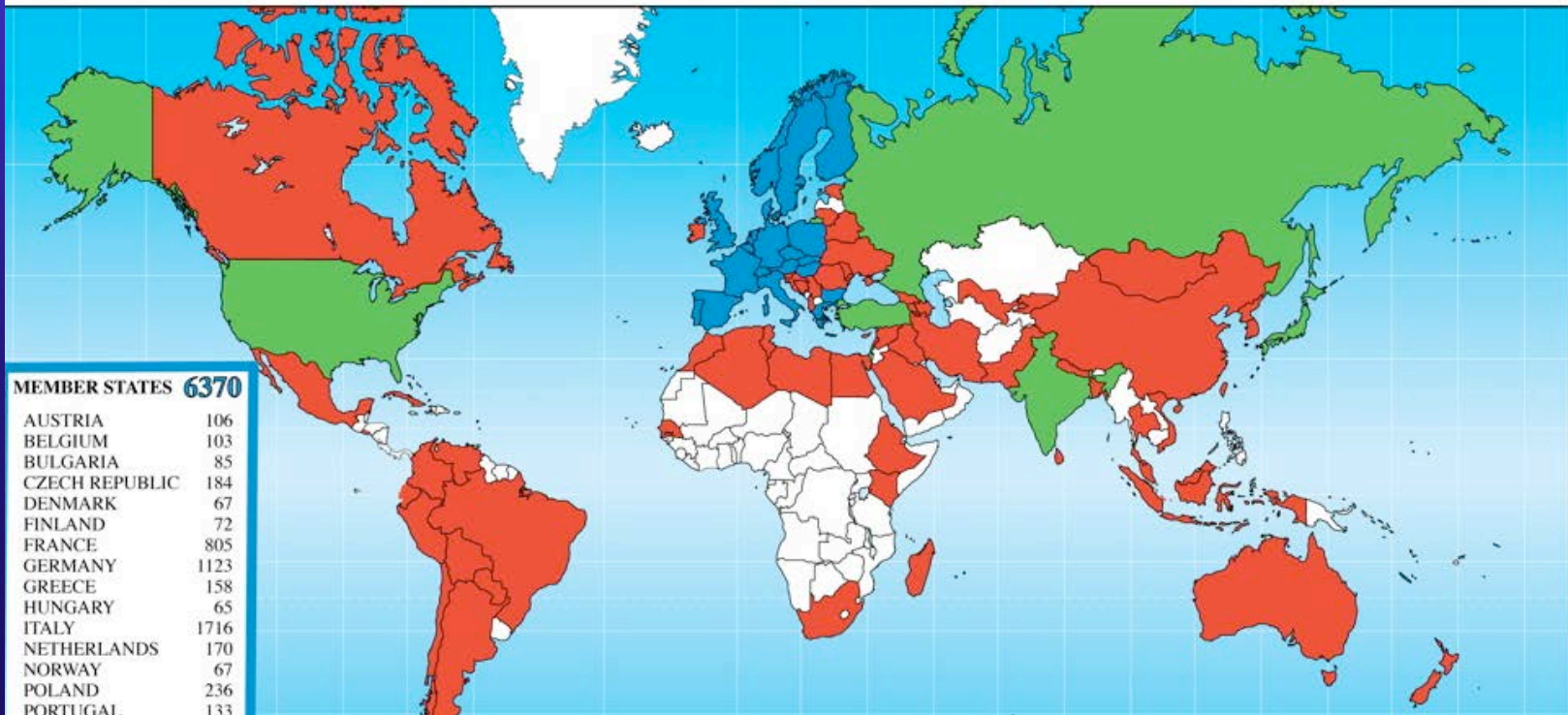


LHC in 10
minuti

Le persone al CERN (1954)

- ❑ 2600 dipendenti
- ❑ 10000 ricercatori da piu' di 500 universita' in 80 paesi
- ❑ 700 ricercatori italiani coinvolti

Distribution of All CERN Users by Nationality on 20 January 2010



I costi

- ❑ *tot 6 miliardi € (budget annuo: 600 milioni €)*
- ❑ *sovvenzionato da 20 stati membri*
 - ❑ *ITALIA ~700 milioni € → ritorno di ~1.5 volte*
 - ❑ *70 milioni € /anno (con un indotto di 1.5 volte)*



E' tanto? Sicuramente, però ...

confronti

Una settimana di guerra in Iraq

6 miliardi € = Quattro bombardieri B-2

*Un centesimo dei soldi per
salvare le banche USA*

ITALIA

Costo Parlamento italiano Montecitorio 940 M€/anno

1 km di alta velocita' (60-65 M€) = budget CERN per 1 anno

COSTO PER OGNI ITALIANO

1 euro e 20 centesimi l'anno, per 10 anni.

Ricadute tecnologiche

nanotecnologie

medicina

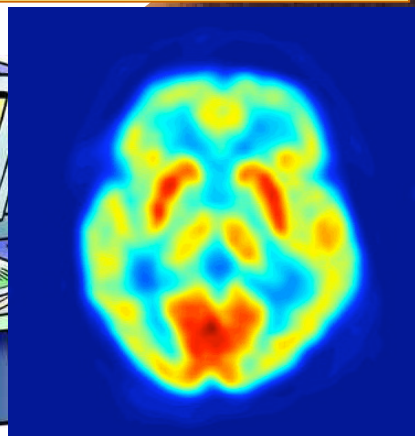
adroterapia, pet, tac ...

informatica

web



PET (POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY)



telefono



computer 3D

Tecnologia

elettronica,
telefonia ...

ISOTOPO CHE
DECADDE
non pensava di
all'inizio di una

< 40 anni
MACCHINA

TAC (TOMOGRAFIA ASSIALE COMPUTERIZZATA)

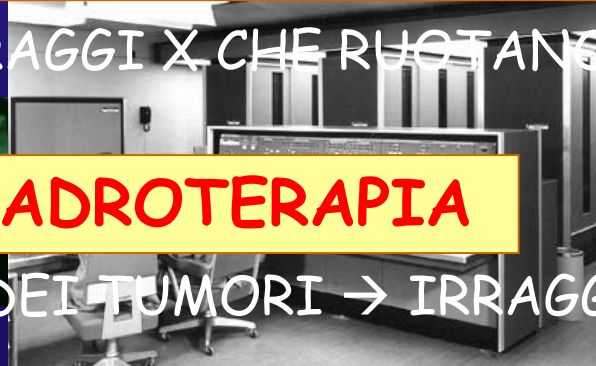
RAGGI X CHE RUOTANO ATTORNO AL PAZIENTE

Conoscenza

... è sempre ut

ADROTERAPIA

CURA DEI TUMORI → IRRAGGIAMENTO CON PROTONI



Tim B

10 Settembre 2008: si parte

evento visto da ~ 1 Miliardo di persone !!!



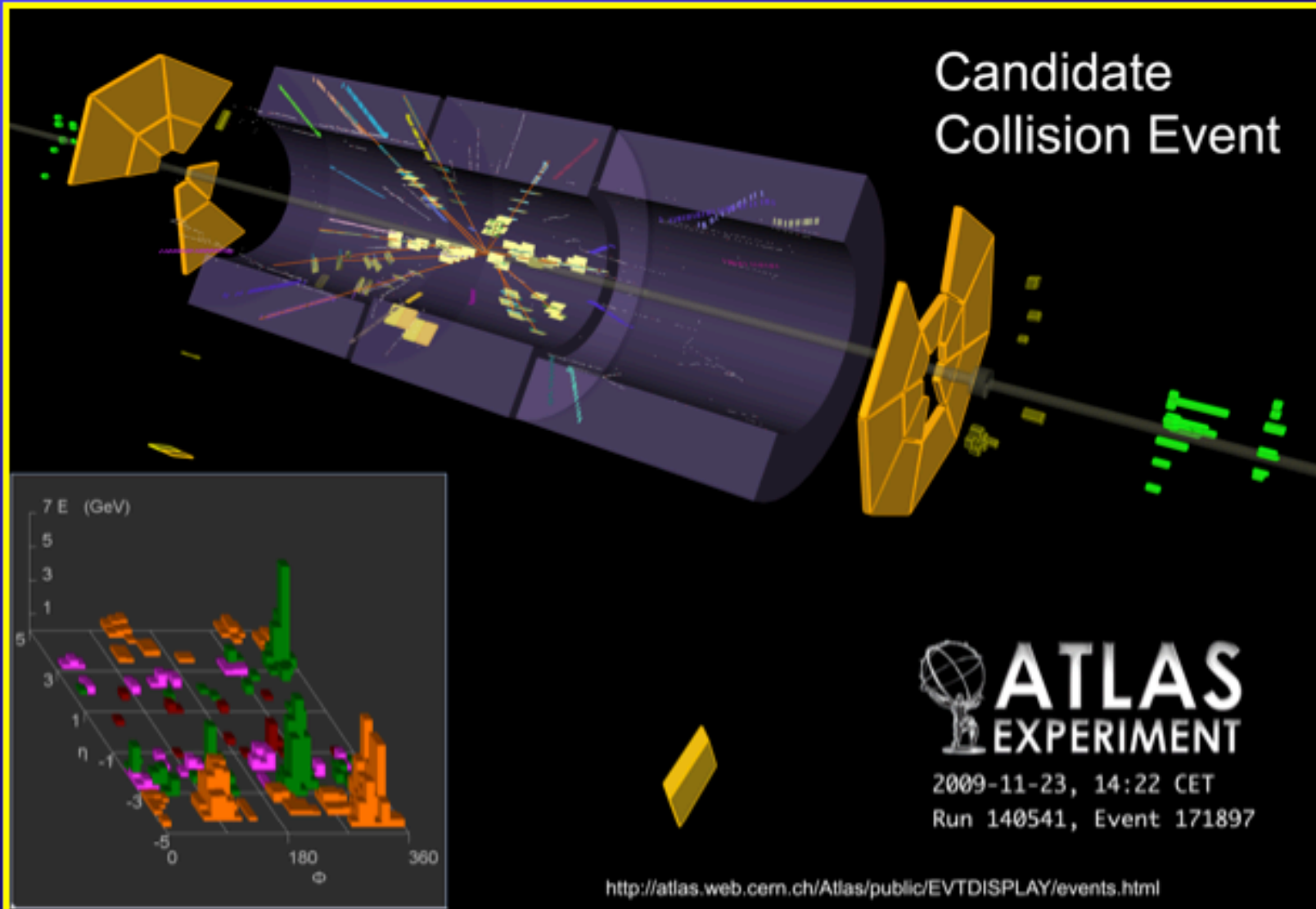
... e dopo un “piccolo” incidente

19 settembre 2008)



La prima collisione

*First collisions at the LHC end of November 2009
with beams at the injection energy of 450 GeV*



ATLAS

La gioia (... e il sonno)



Modello Standard

Come funzionano le cose?

Materia

Leptoni

Quark

e^-	μ^-	τ^-	u	c	t
ν_e	ν_μ	ν_τ	d	s	b

ordinaria

NON ordinaria

Antimateria

e^+	μ^+	τ^+	$\bar{u}$	$\bar{c}$	$\bar{t}$
$\bar{\nu}_e$	$\bar{\nu}_\mu$	$\bar{\nu}_\tau$	$\bar{d}$	$\bar{s}$	$\bar{b}$

$m \neq m \neq m \dots$

chi ha dato loro le masse?

Che forze si esercitano tra queste particelle?

Forze

Gravitazionale

G

Elettromagnetica

γ

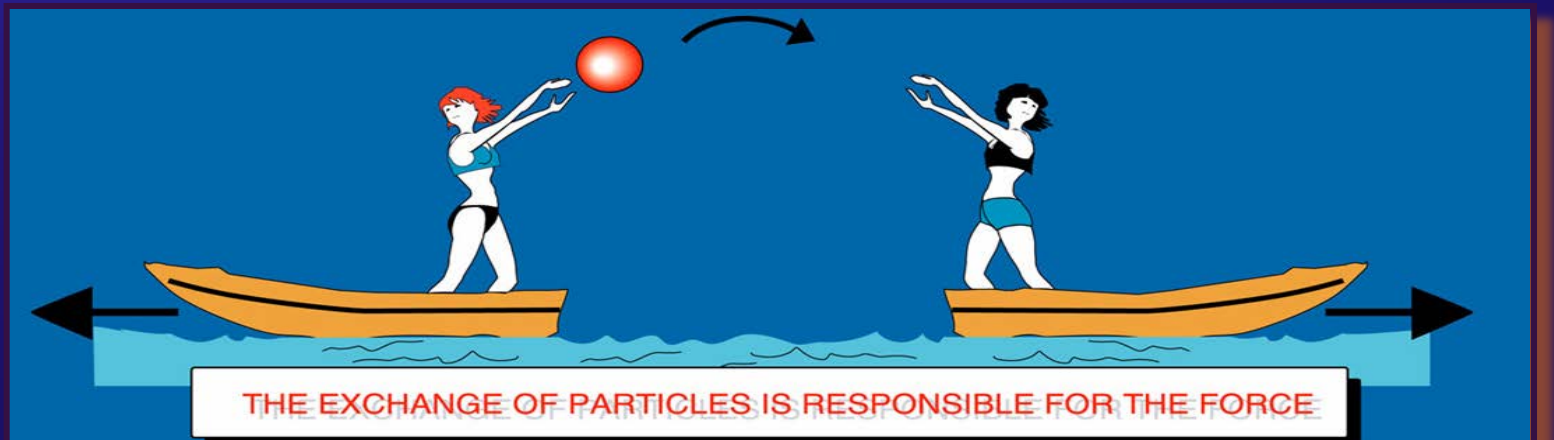
Debole

$W^+W^-Z^0$

Forte

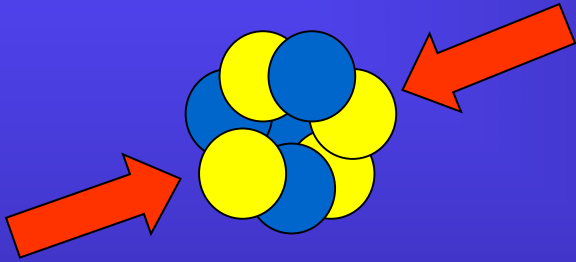
g^k

FORZE TRA PARTICELLE = SCAMBI DI PARTICELLE → AZIONE A DISTANZA



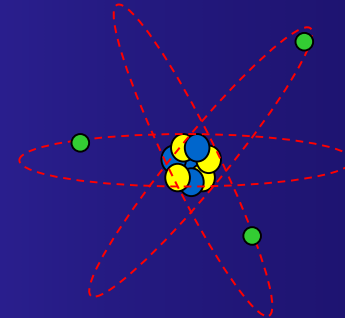
Le forze e i loro mediatori

FORTE UNISCE NUCLEI



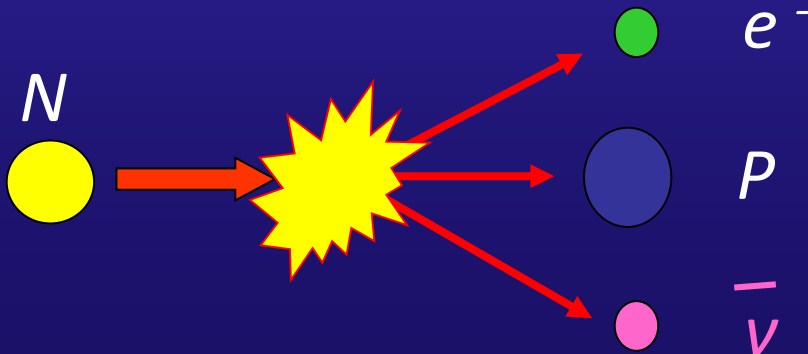
Gluoni g^k

E.M. UNISCE ATOMI



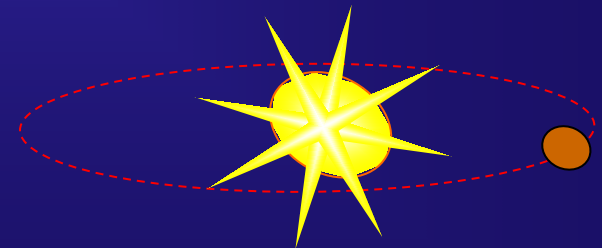
Fotone γ

DEBOLE $\rightarrow$ DECADIMENTO



$W^+ W^- Z^0$

GRAVITA' UNISCE CORPI



Gravitone G

Il vuoto

Campo (ad es gravitazionale)

$$\Phi_0 \neq 0$$

Il vuoto è una sostanza

lo si può scuotere e le sue vibrazioni
sono particelle elementari

Il bosone di Higgs

Filmato
bosone

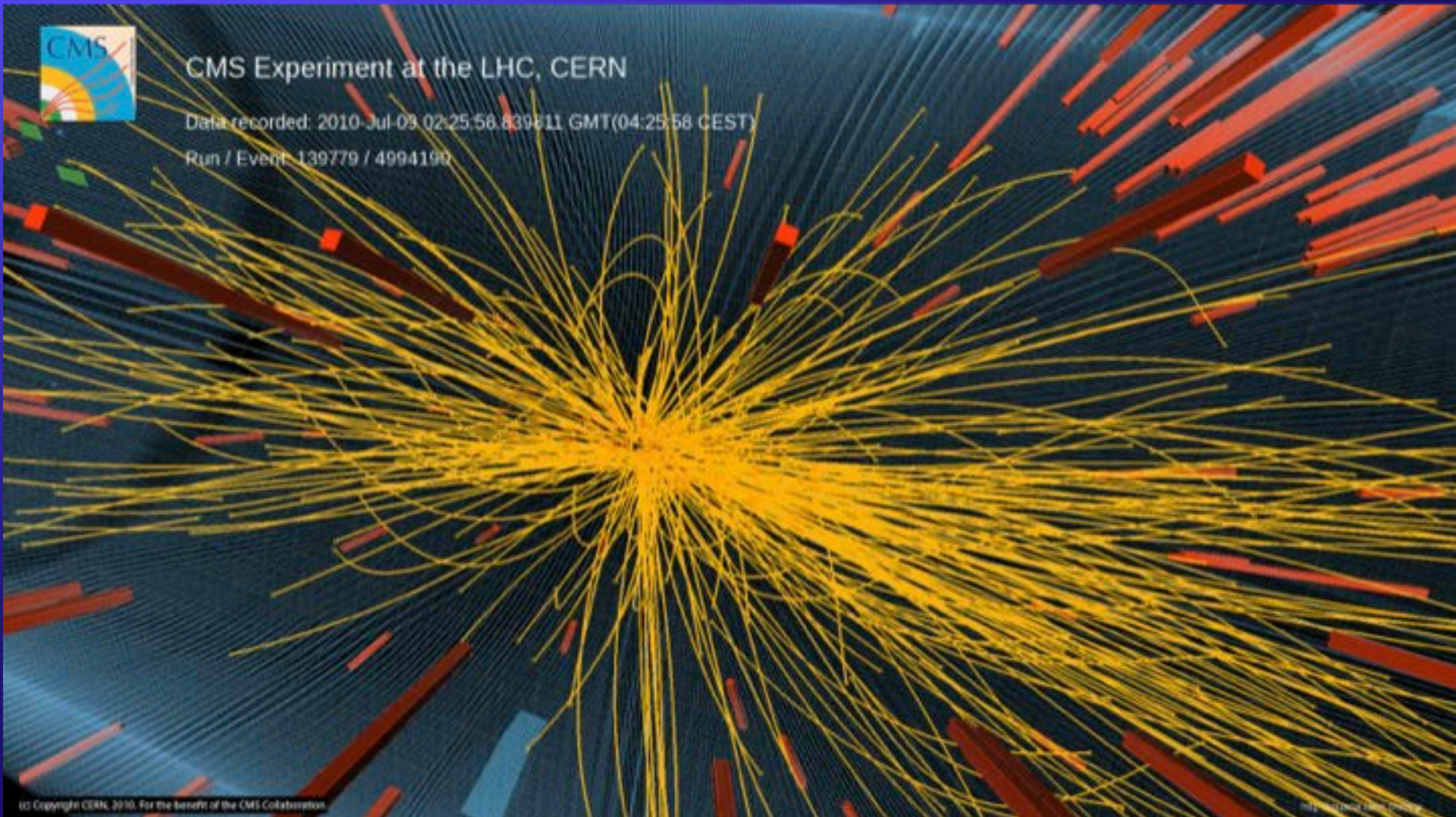
Eventi candidati: CMS



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2010-Jul-03 02:25:58.839611 GMT(04:25:58 CEST)

Run / Event: 139779 / 4994190



Eventi candidati: ATLAS

 **ATLAS**
EXPERIMENT

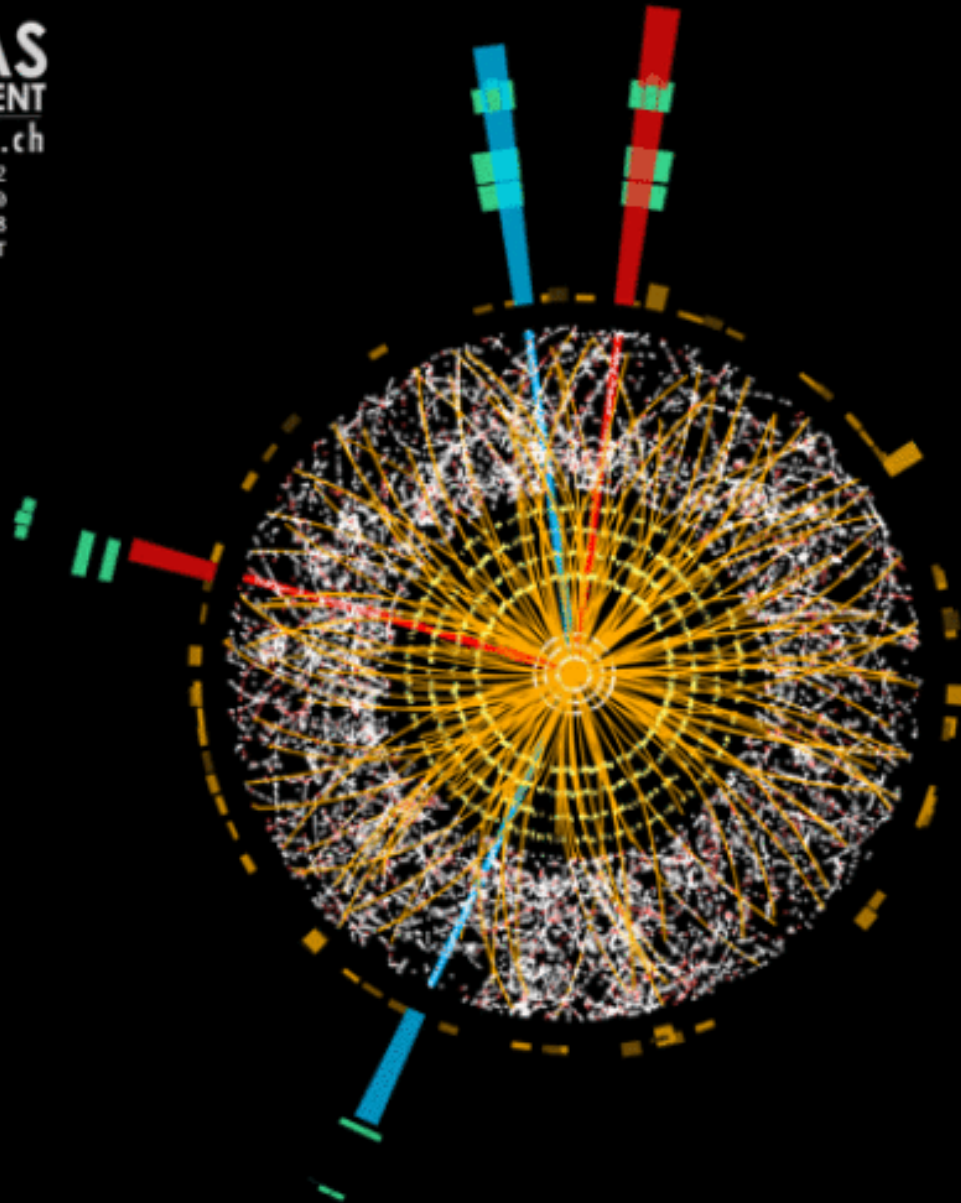
<http://atlas.ch>

Run: 283602

Event: 82614360

Date: 2012-05-18

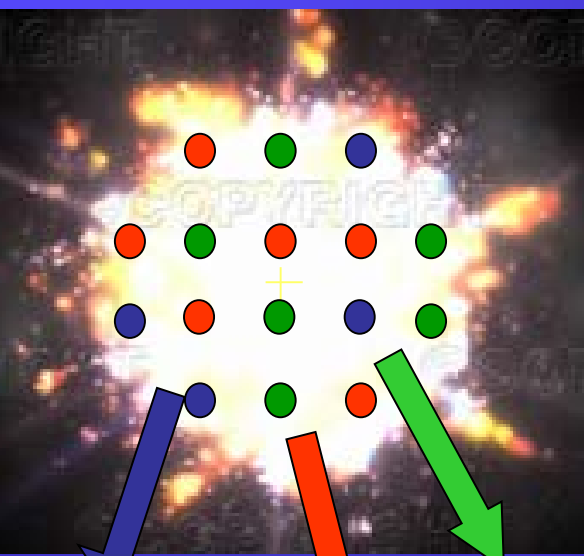
Time: 20:28:11 CEST



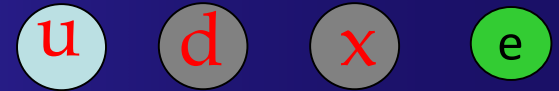
TORNIAMO AL NOSTRO FILM

***NELL'UNIVERSO CI SONO TUTTI I TIPI DI PARTICELLE E DI
"PALLINE" DOVUTE ALLE FORZE***

3° FOTO (10^{-10} s)

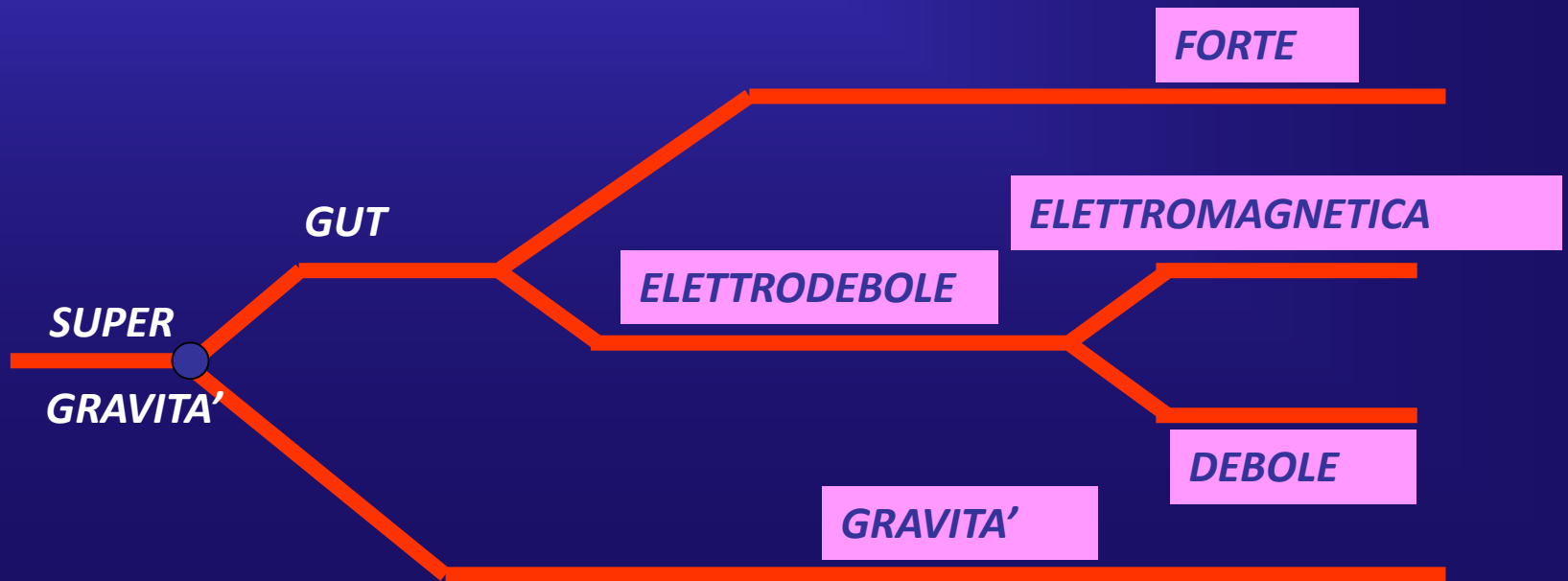


PARTICELLE DIVERSE



FORZE DIVERSE

FORZE COMPLETAMENTE DEFINITE



Antimateria

Materia

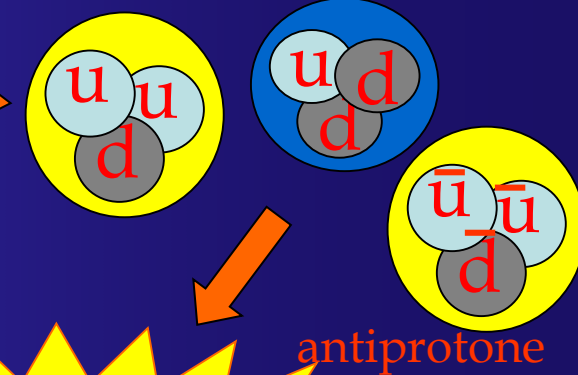
Radiazione

4° FOTO (10^{-4} s)

$E=10^2$ MeV (10^{12} C)

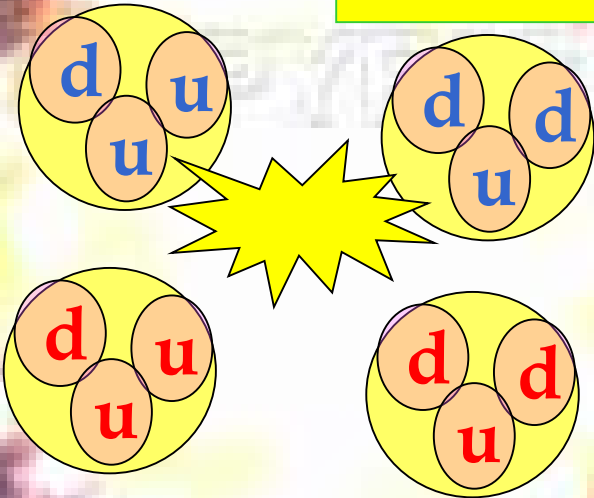
**SI CREANO PROTONI, NEUTRONI E ANTIMATERIA
(dai quarks)**

protone neutrone



Antiprotone

Antineutrone



Protone

Neutrone

ANNICHI LAZIONE

NEUTRINI

LUCE (RCF)

MATERIA

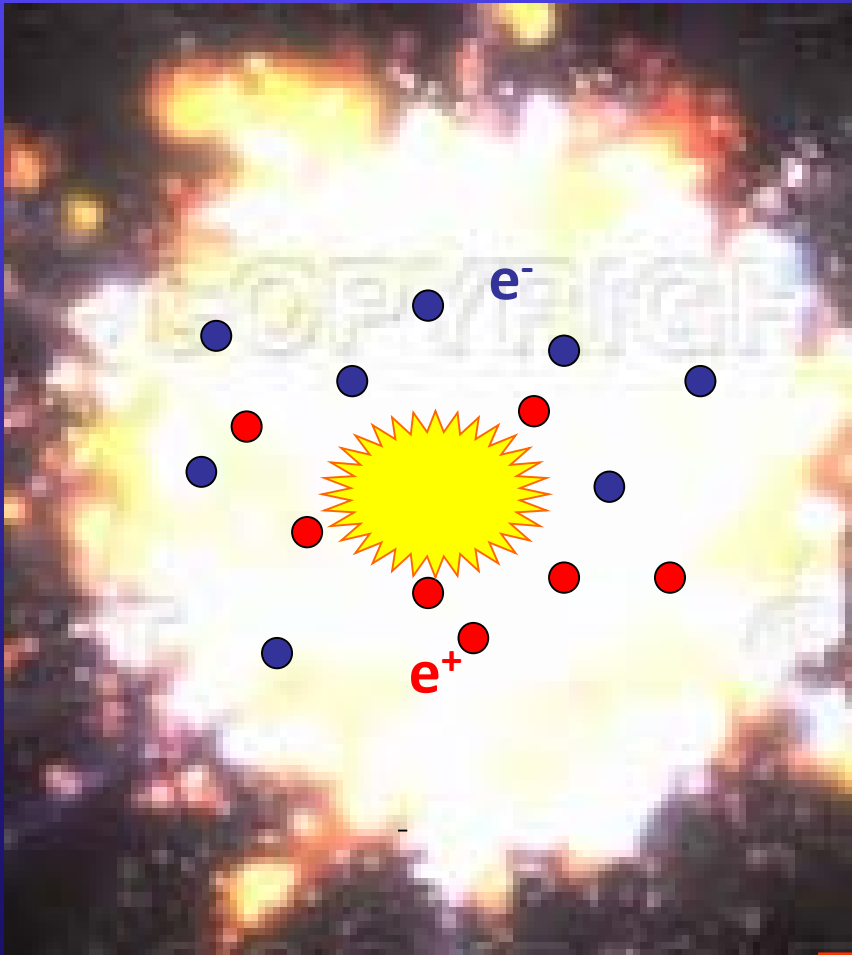
SPARISCE ANTIMATERIA

RCF

5° FOTO (1 s)

$E = 1 \text{ MeV } (10^{10} \text{C})$

E' RIMASTA SOLO MATERIA E LUCE



**ELETTRONI E POSITRONI
ANNICHILANO A LORO VOLTA**

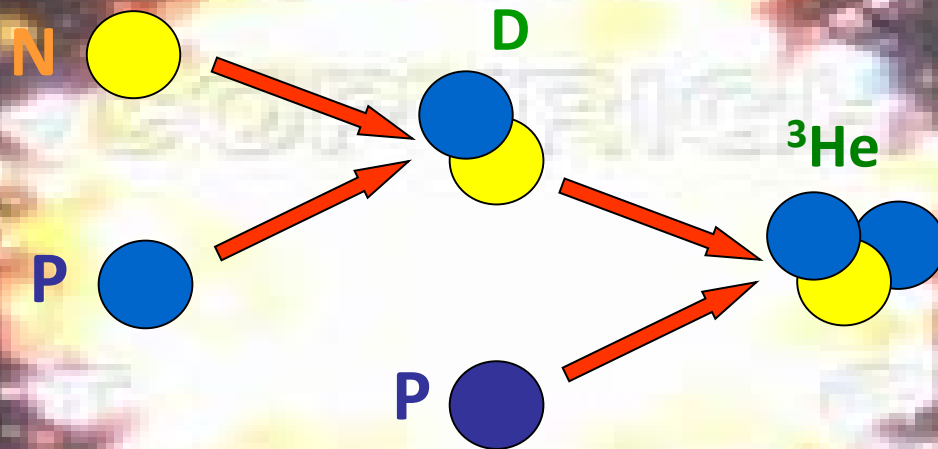
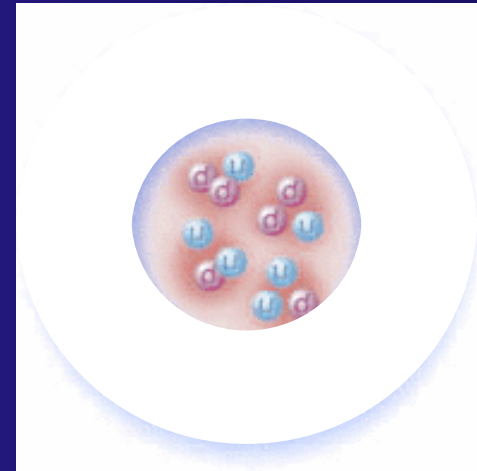


6° FOTO (3 m)

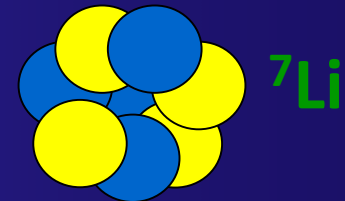
$E = 0.1 \text{ MeV } (10^9 \text{ C})$

NUCLEOSINTESI →

FORMANO I NUCLEI (NON ATOMI) PIU' LEGGERI



...



**MATERIA (H,D,³He,Li
....)**

ABBONDANZA DI ELIO

elio

75% H

25% He

(3P, 4N)

7° FOTO (700000 anni)

$E = 1 \text{ eV}$ (10000 C)

D

NEUTRINI

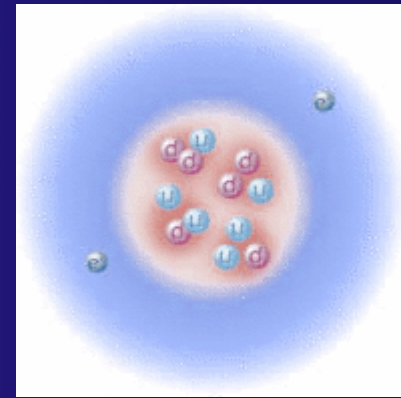
${}^7\text{Li}$

${}^4\text{He}$

H

LUCE (γ)

GRAVITONI



NUCLEI CATTURANO GLI
ELETTRONI



ATOMI NEUTRI



RADIAZIONE NON INTERAGISCE
PIU' CON MATERIA

MATERIA E RADIAZIONE → VITA INDIPENDENTE

8° FOTO (1 MILIARDO di anni)

SI FORMANO LE STELLE

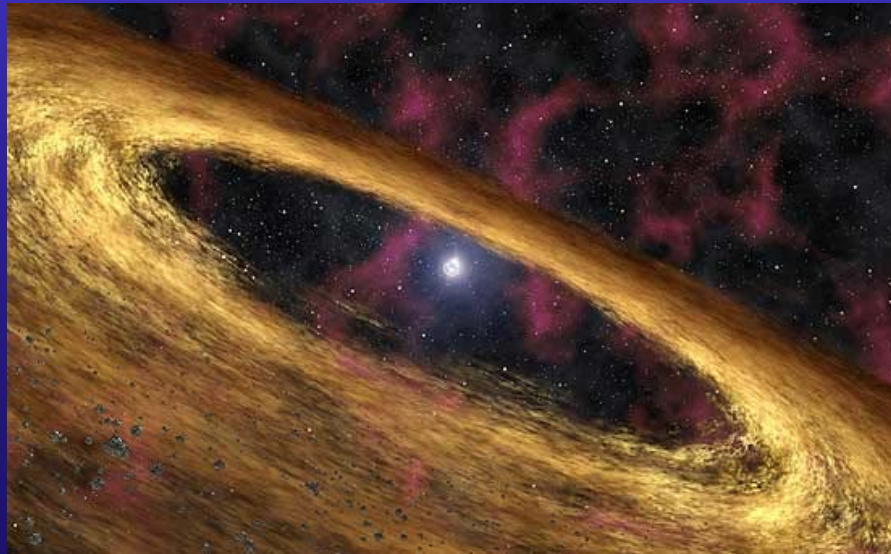
$E = 0.1 \text{ eV}$ (1000 C)

F. GRAVITAZIONALE → UNISCE ATOMI DI H (75%) ED He (25%)

AL CENTRO ALTA ρ - T (10^6 C) → FUSIONE NUCLEARE → ENERGIA

PARTE ESTERNA A VOLTE ESPULSA E
FORMA I PIANETI

F. GRAVITAZIONALE PICCOLA →
PROCESSO LENTISSIMO



STELLA GRANDE ALLA FINE COLLASSA ED
ESPLODE (SUPERNOVA)

supernova
23/8/2005



Stella neutroni

9° FOTO (QUALCHE MILIARDO di anni)

STELLE SI ATTRAGGONO → FORMANO LE GALASSIE



Formazione galassie

LE GALASSIE

La Via Lattea

>100 MILIARDI DI STELLE

ROTAZIONE LENTA (220
MILIONI ANNI)

SOLE



DIM. 100000 ANNI LUCE

ESA (EUROPEAN SPACE AGENCY)

1 ANNO LUCE = 10000 MILIARDI KM

LE GALASSIE



Spiral - NGC 4622 – 110 Mly
Superammasso della Vergine

LE GALASSIE



Barrata - NGC 1300 - 69 Mly –Superammasso della Vergine

LE GALASSIE

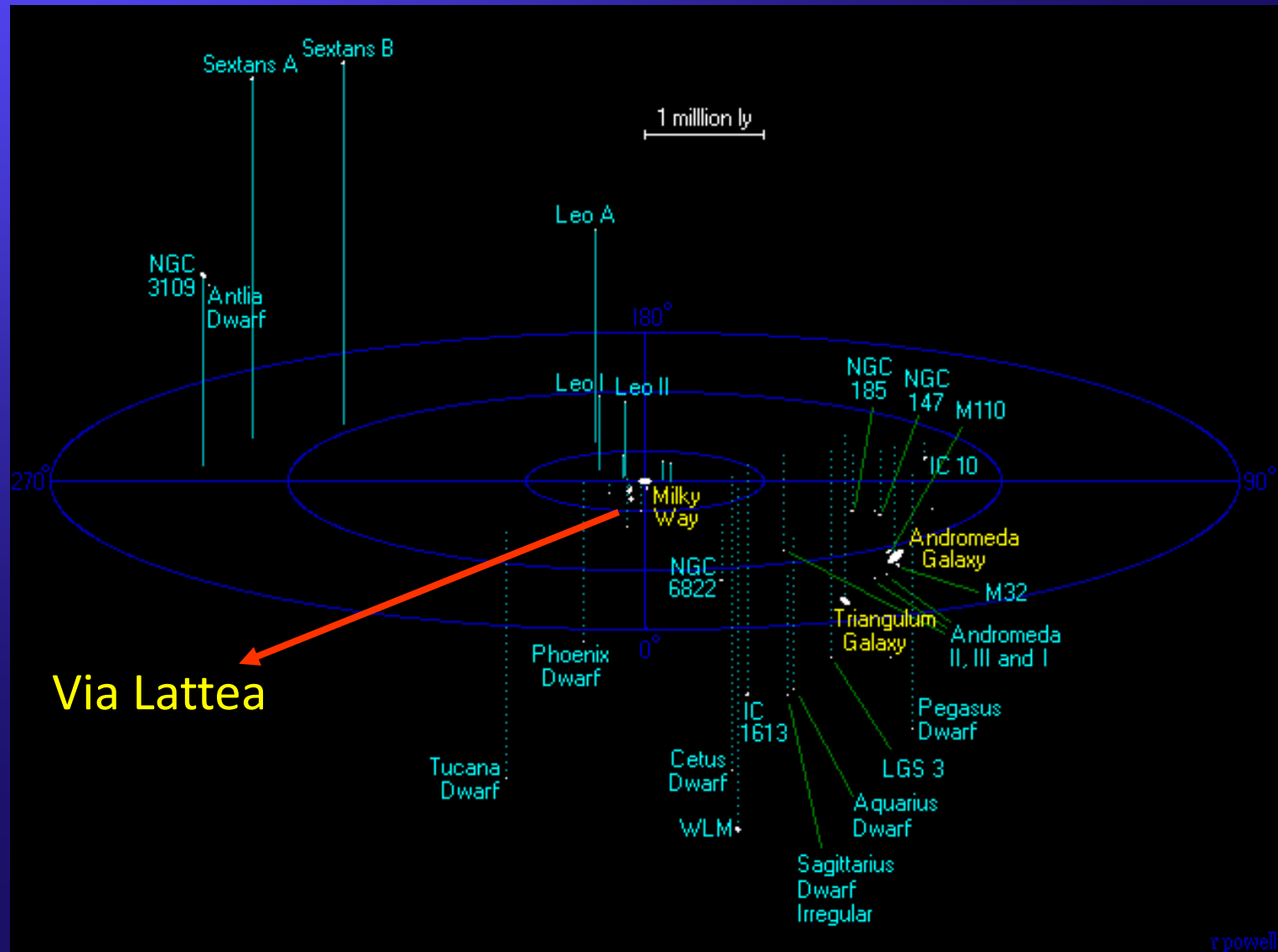


Barred - NGC 4594 – M104 - 28 Mly – Superammasso della Vergine

IL GRUPPO LOCALE

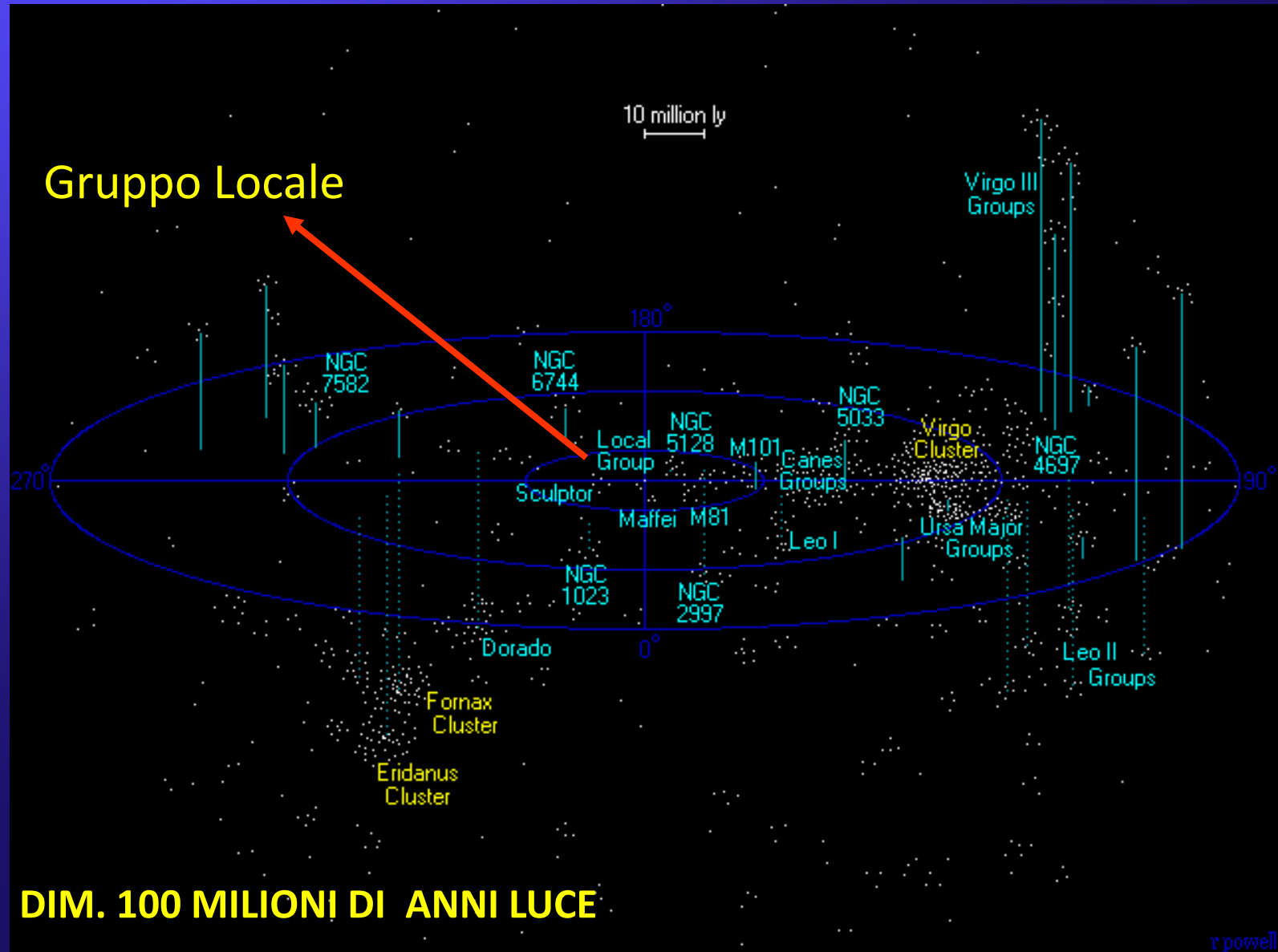
LE GALASSIE SONO ORGANIZZATE IN GRUPPI

QUALCHE MILIONE DI ANNI LUCE



SUPERAMMASSO DELLA VERGINE

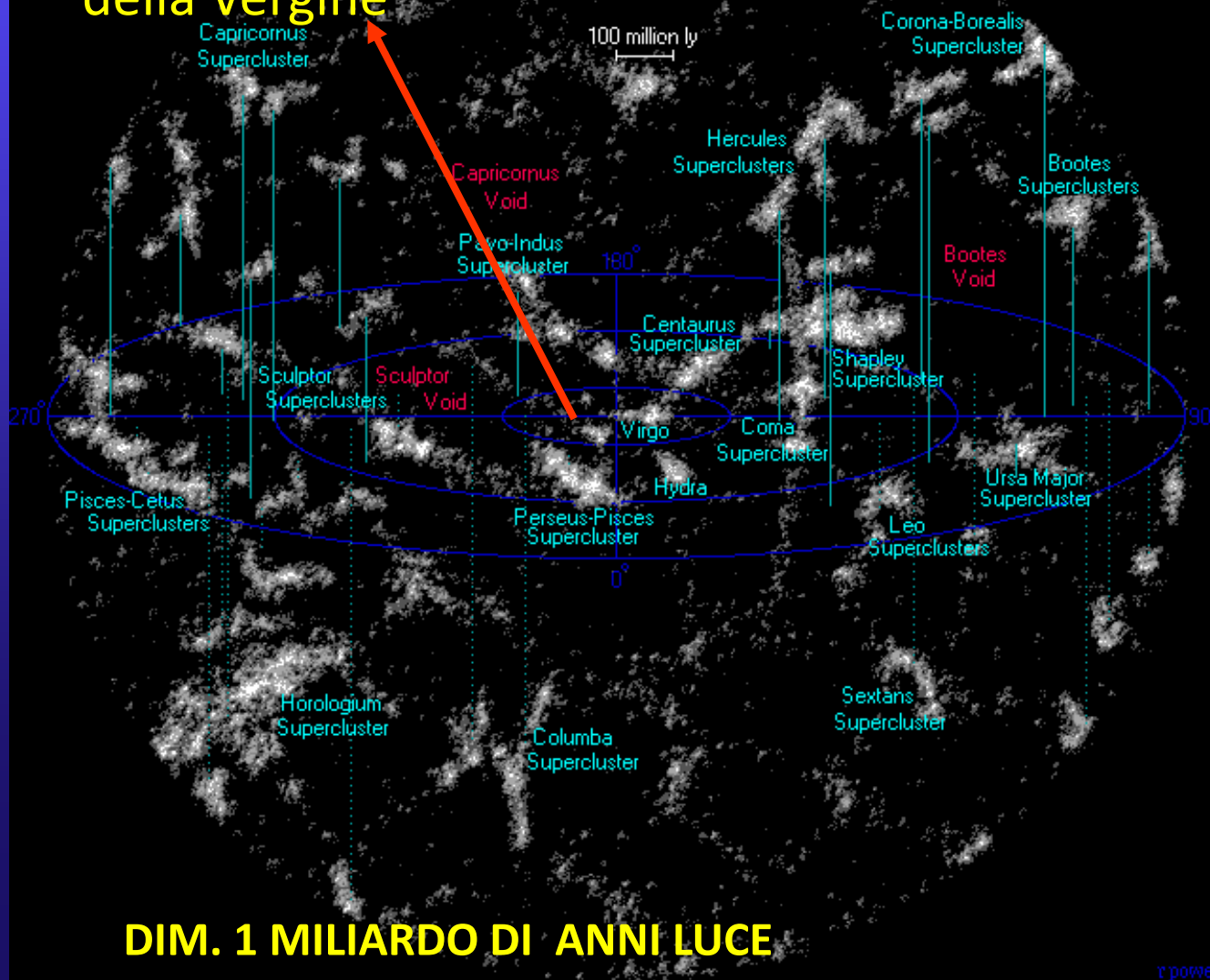
I GRUPPI SONO ORGANIZZATI IN SUPERAMMASSI



I SUPERAMMASSI PROSSIMI

I SUPERAMMASSI SONO LE ULTIME STRUTTURE ESISTENTI

Superammasso
della Vergine



AL DI FUORI GRANDI VUOTI, OPPURE ...

galassie

Universo chiuso o aperto?

*Se vi é massa sufficiente ($> \sim 5 \text{ atomi/m}^3$) $\rightarrow$ **UNIVERSO CHIUSO** $\rightarrow$ si espande fino ad una dimensione massima per poi ricollassare con un processo opposto al big bang (**BIG CRUNCH**)*

Big Crunch

*Se NON vi é massa sufficiente ($< \sim 5 \text{ atomi/m}^3$) $\rightarrow$ Universo si espande (**UNIVERSO APERTO**)*

*Misure non chiare, ma sembra favorito **UNIVERSO APERTO***

Altre questioni aperte

studi sulla velocità di rotazione delle galassie e sulle esplosioni di stelle (SUPERNOVAE)



UNIVERSO é costituito da:

MATERIA ORDINARIA (p, e, n) → 4%

MATERIA OSCURA → 23%

*NEUTRALINI
PARTICELLE SUPERSIMMETRICHE
WIMP*

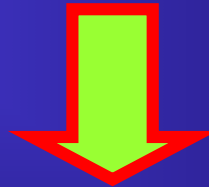
ENERGIA OSCURA → 73%

*CAMBIARE RELATIVITA' GEN
CAMPO SCALARE*

CONCLUSIONE

TANTE QUESTIONI APERTE, MA TANTE COMPRESE

STUDIARE L'IMMENSAMENTE PICCOLO



CAPIRE L'IMMENSAMENTE GRANDE

FARE RICERCA (IN TUTTI I CAMPI) E' FONDAMENTALE

Grazie a tutti

SLIDES DI RISERVA

LA VITA DI UNA STELLA (grande)

F. GRAVITAZIONALE → UNISCE ATOMI DI H (75%) ED He (25%)

ALTA DENSITA' E T (10^6 C) → **H FUSIONE NUCLEARE** → ENERGIA

H FINISCE → STELLA COLLASSA → T 10^8 C → **FUSIONE He**

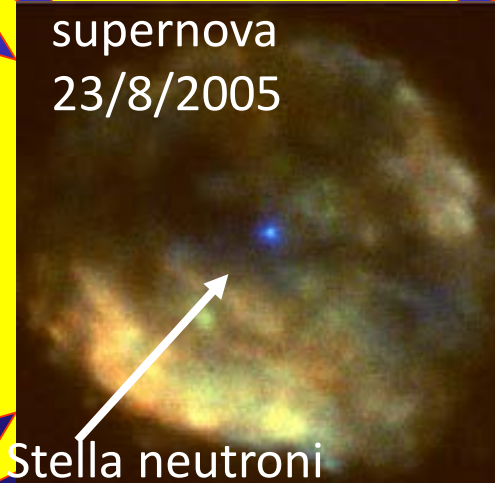
...

FINO ALLA FUSIONE DEL FERRO → LE REAZIONI
NUCLEARI SI SPENGONO

LA STELLA COLLASSA ED
ESPLODE (**SUPERNOVA**)

LUCE

SI FORMANO ELEMENTI PESANTI



BIG BANG CREA H E He → STELLA CREA FINO **Fe** → ESPLOSIONE IL
RESTO DELLA MATERIA

La radiazione cosmica di fondo



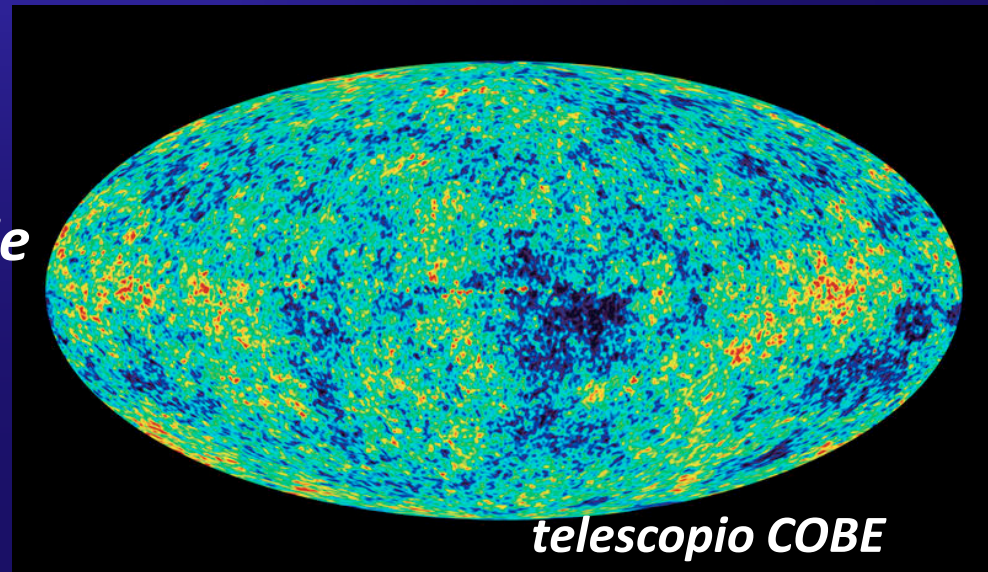
Penzias e Wilson, 1965

l'UNIVERSO è pieno di radiazione (oltre quella del sole o di fonti note) formata nei primi istanti dell'Universo

*Studio sulla temperatura (energia) della RCF →
Temperatura iniziale molto alta*

*RCF proviene uniformemente da tutto lo spazio, piccole anisotropie
→ “**semi**” delle galassie*

10^{-4} s



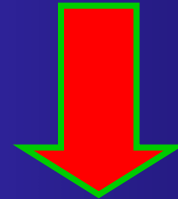
telescopio COBE

IL NEUTRINO

IL NEUTRINO NON E' UN COSTITUENTE DELLA MATERIA, MA PERMETTE LA VITA

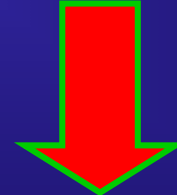


IL SOLE CI SCALDA E CI ILLUMINA ATTRAVERSO DELLE REAZIONI DI FUSIONE NUCLEARE



IL SOLE EMETTE 60 MILIARDI DI NEUTRINI /s cm²

SENZA NEUTRINI → SOLE SPENTO → NO VITA



SIAMO ATTRAVERSATI DA MIGLIAIA DI NEUTRINI /s

OSSERVATORI A TERRA

OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI PADOVA, DI BOLOGNA

OSSERVATORIO ASTROFISICO DI
ARCETRI

ogni mese visite guidate, diurne e notturne



SCUOLE: richiesta scritta (lettera o fax), a:

Osservatorio Astrofisico di Arcetri
(Sezione Didattica)

Largo E. Fermi 5 - 50125 FIRENZE

Fax: 055 220039

e-mail: lauram@arcetri.astro.it

Info: tel 055 2752270 (tra le 10 e le 12)

SINGOLI: info e prenotazioni tel 055 2343723 (tra le 9 e le 13)

COME SONO FOTOGRAFATE LE GALASSIE ?



**ATTRAVERSO
TELESCOPI IN ORBITA**



HUBBLE



COROT



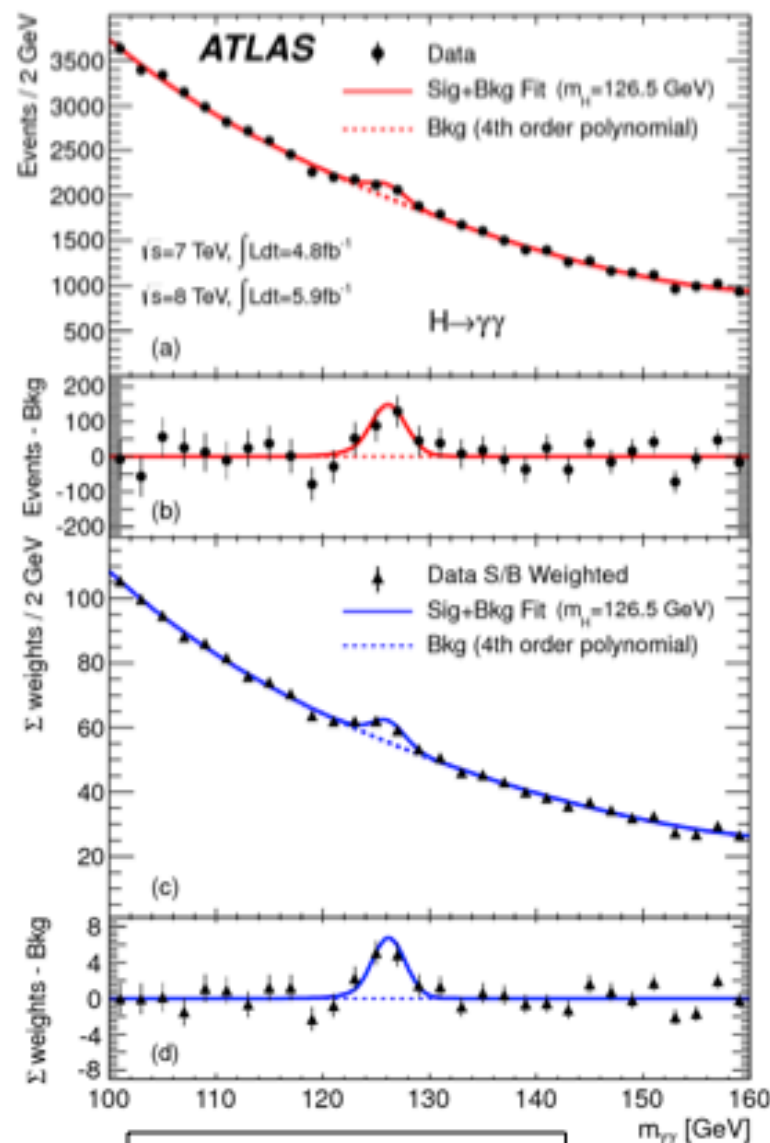
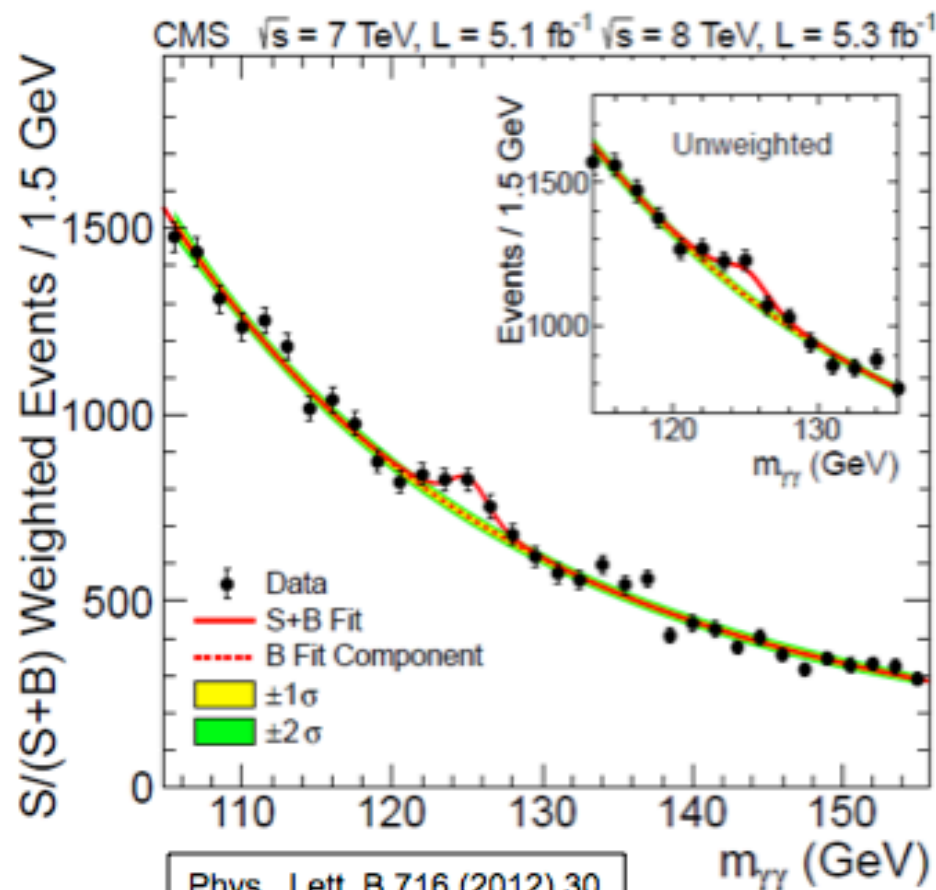
COBE



PLANK

$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

- Small cross-section: $\sigma \sim 40$ fb
- Expected S/B ~ 0.02
- Simple final state: two high- p_T isolated photons
- Main background: $\gamma\gamma$ continuum (irreducible) and fake γ from γj and $j j$ events (reducible)



Altre questioni aperte

PARTICELLE OLTRE IL MODELLO STANDARD: NEUTRALINI (supersimm del Z, fotone higgs), PARTICELLE SUPERSIMMETRICHE (gravitino), WIMP (weakly interacting massive particles)

***ENERGIA OSCURA:** da studi su SUPERNOVA espansione accelerata Risulta che vediamo solo il 70% di energia*



aggiungere Costante cosmologica → cambiare relatività generale, campo scalare (tipo higgs, massa però piccola)

LHC



LHC



LHC



LHC



LHC

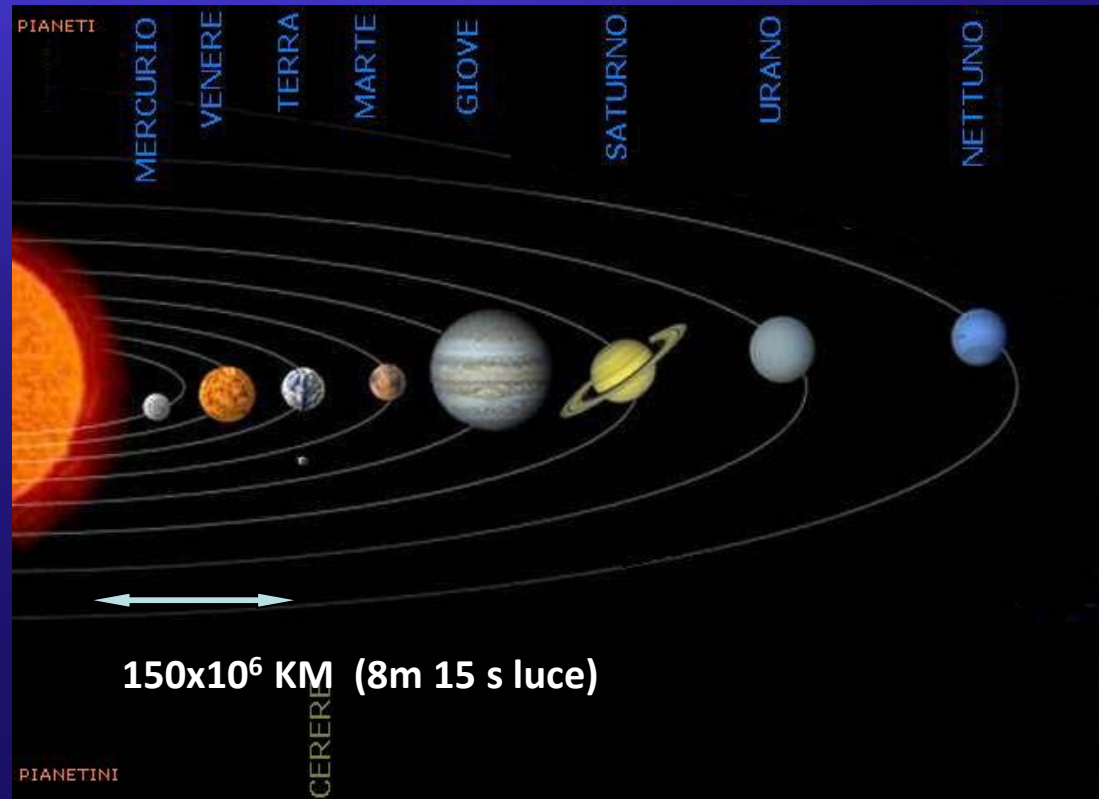


IL SISTEMA SOLARE

4.6 MILIARDI DI ANNI FA → gravitazione unisce polveri H, He

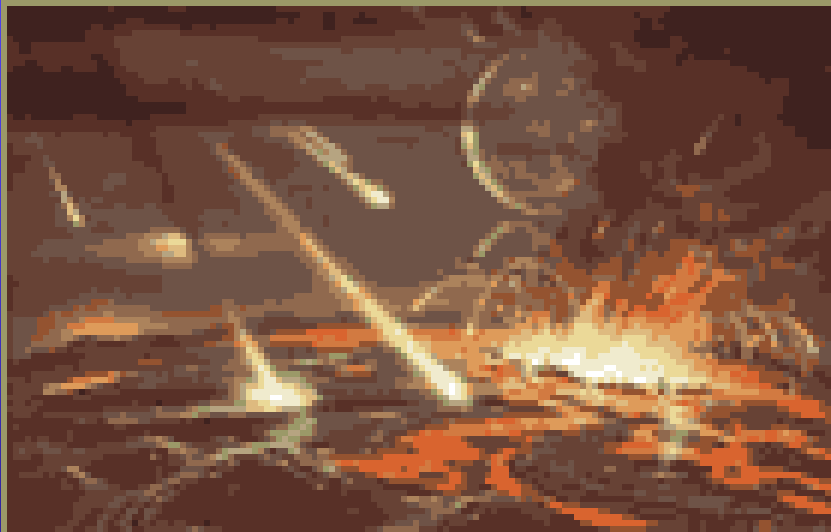
*8 PIANETI PRINCIPALI (prima 2006 c'era anche plutone) +
CORPI MINORI (satelliti, meteoriti, asteroidi, comete, ...)*

IL SOLE DOVREBBE VIVERE CIRCA 15 MILIARDI DI ANNI



LA TERRA

TERRA PRIMORDIALE PIENA DI VULCANI IN CONTINUA ERUZIONE



**PIOGGE PER MILIONI DI ANNI →
FORMAZIONE OCEANI**

ATMOSFERA H SPAZZATA DA VENTO SOLARE

**ERUZIONI E ACQUA → SECONDA ATMOSFERA (VAPORE ACQUEO, ANIDRIDE
CARBONICA, AMMONIACA, METANO ...)**

**ATMOSFERA + FULMINI E RAGGI UV DEL SOLE IDEALE PER FORMAZIONE DI
MOLECOLE ORGANICHE**

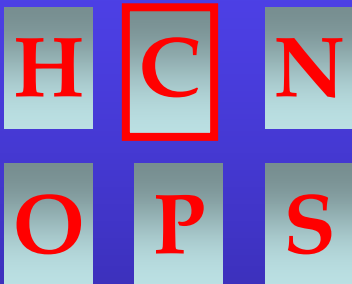
VITA POSSIBILE SOLO SOTT'ACQUA (> 10m)

LA CREAZIONE DELLA VITA

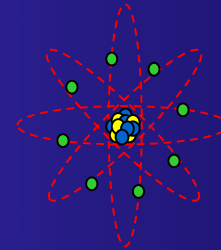
SOLO 6 (SU 112) ELEMENTI COINVOLTI NELL'EVOLUZIONE

MS

3.8 MILIARDI DI ANNI FA



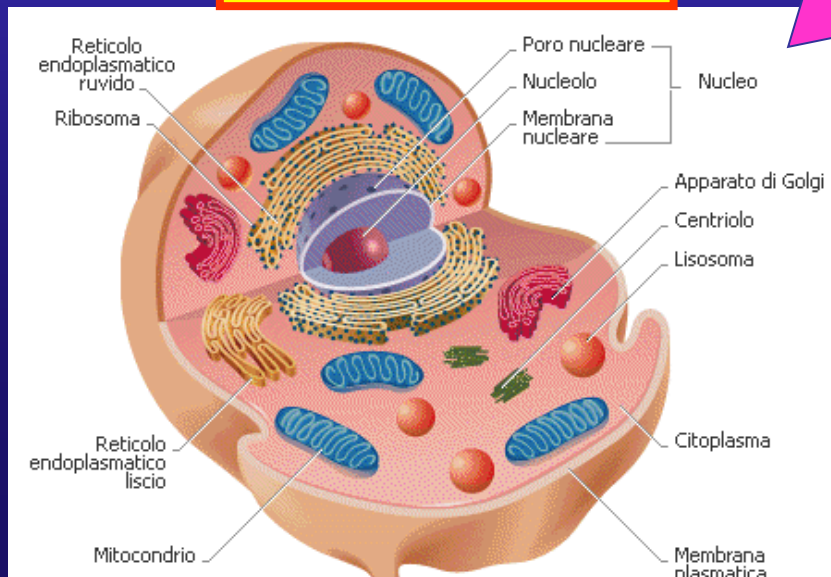
CATENE DI ATOMI



NUCLEOTIDI (DNA), AMINOACIDI, LIPIDI,
CARBOIDRATI ...



CELLULA



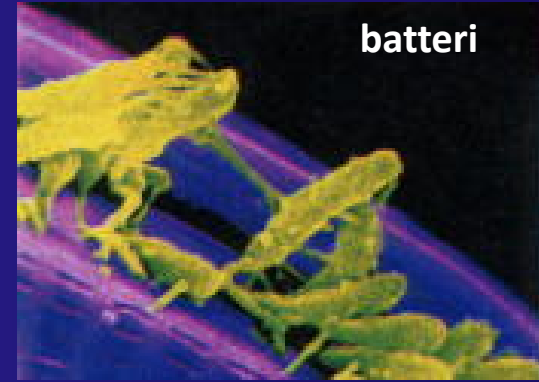
PRIMO ORGANISMO VIVENTE

NASCE, SI NUTRE, SI
RIPRODUCE, MUORE

MISTERO: UNA ATOMO NON HA
VITA, MA TANTI ATOMI SI

LA CREAZIONE DELLA VITA

*3.5 MILIARDI DI ANNI FA OCEANI
PULLULAVANO DI ORGANISMI UNICELLULARI*



*FOTOSINTESI CLOROFILLIANA $\rightarrow$ O_2
 $\rightarrow$ PIANETA + ABITABILE*

*700 10^6 DI ANNI FA $\rightarrow$ ORGANISMI +
COMPLESSI (SPUGNE MEDUSE)*

SI FORMA OZONO $\rightarrow$ SCHERMA DA UV $\rightarrow$ VITA ANCHE SU TERRA

*400 MILIONI DI ANNI FA SBARCANO SULLA TERRA I VEGETALI, 20
MILIONI DI ANNI DOPO GLI ANIMALI*



LA CREAZIONE DELLA VITA

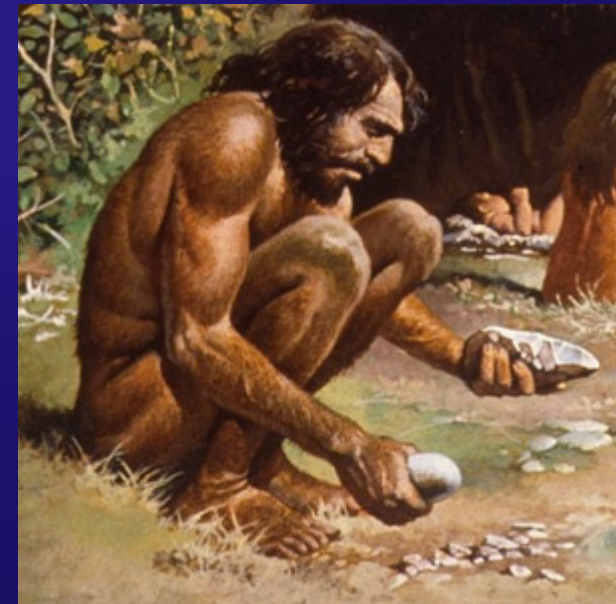
250 MILIONI DI ANNI FA EVENTO CATASTROFICO
(ASTEROIDE, VULCANO ...) → 90% FORME VIVENTI
ESTINTE



PERIODO DEI GRANDI RETTILI

65 10^6 ANNI FA ESTINZIONE DI MASSA
(ASTEROIDE FORSE CRATERE NELLO YUCATAN)

POI MAMMIFERI E L'UOMO (2 10^6 ANNI FA)



I numeri di LHC

- ❑ *Macchina più grande al mondo*
 - ❑ *27 km (100 m profondità)*
 - ❑ *protone fa 11000 giri/s*
 - ❑ *40 milioni di collisioni al secondo*
 - ❑ *9300 magneti superconduttori*
 - ❑ *posto più freddo e più caldo dell'universo*
 - ❑ *magnet superconduttori $-271\text{ C} = 1.9\text{ K}$*
 - ❑ *nell'urto la "temperatura" è 1000 miliardi $> T_{\text{sole}}$*
- ❑ *ogni anno 1 exp acquisisce dati = 100 milioni di DVD*