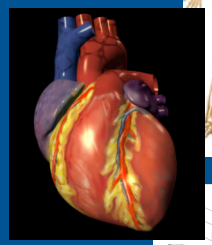
Lo studio dell'Universo attraverso la fisica delle particelle

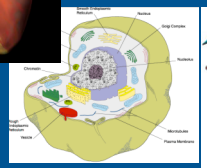
L'atomo e i suoi costituenti

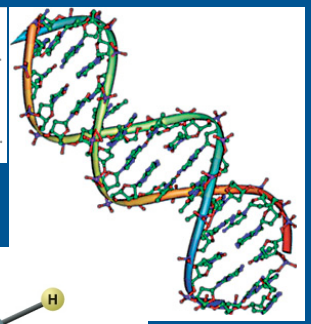
- Sono passati circa 2300 anni da quando Democrito ipotizzo' per la prima volta l'esistenza degli atomi, (atomos, cioe' indivisibile), che ritenne essere le particelle ultime costituenti la materia ordinaria.

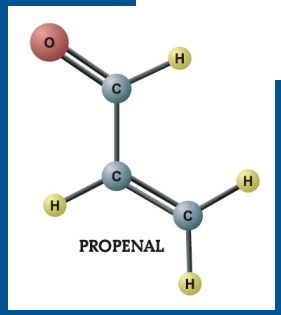
- Oggi sappiamo che gli atomi sono tutto tranne che particelle indivisibili e che sono invece costituiti da elettroni che orbitano attorno ad un nucleo costituito da protoni e neutroni.

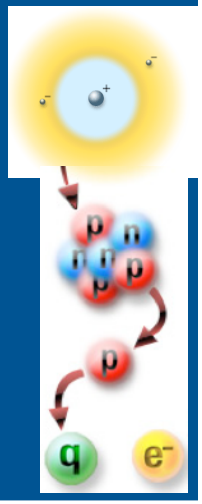
- Ma questo non e' tutto: i protoni e i neutroni sono a loro volta costituiti da particelle piu' piccole, chiamate *quark,* che possono certamente essere considerati *gli atomi di Democrito* ossia, per quanto ne sappiamo fino ad oggi, i mattoni fondamentali della materia ordinaria non ulteriormente divisibili.









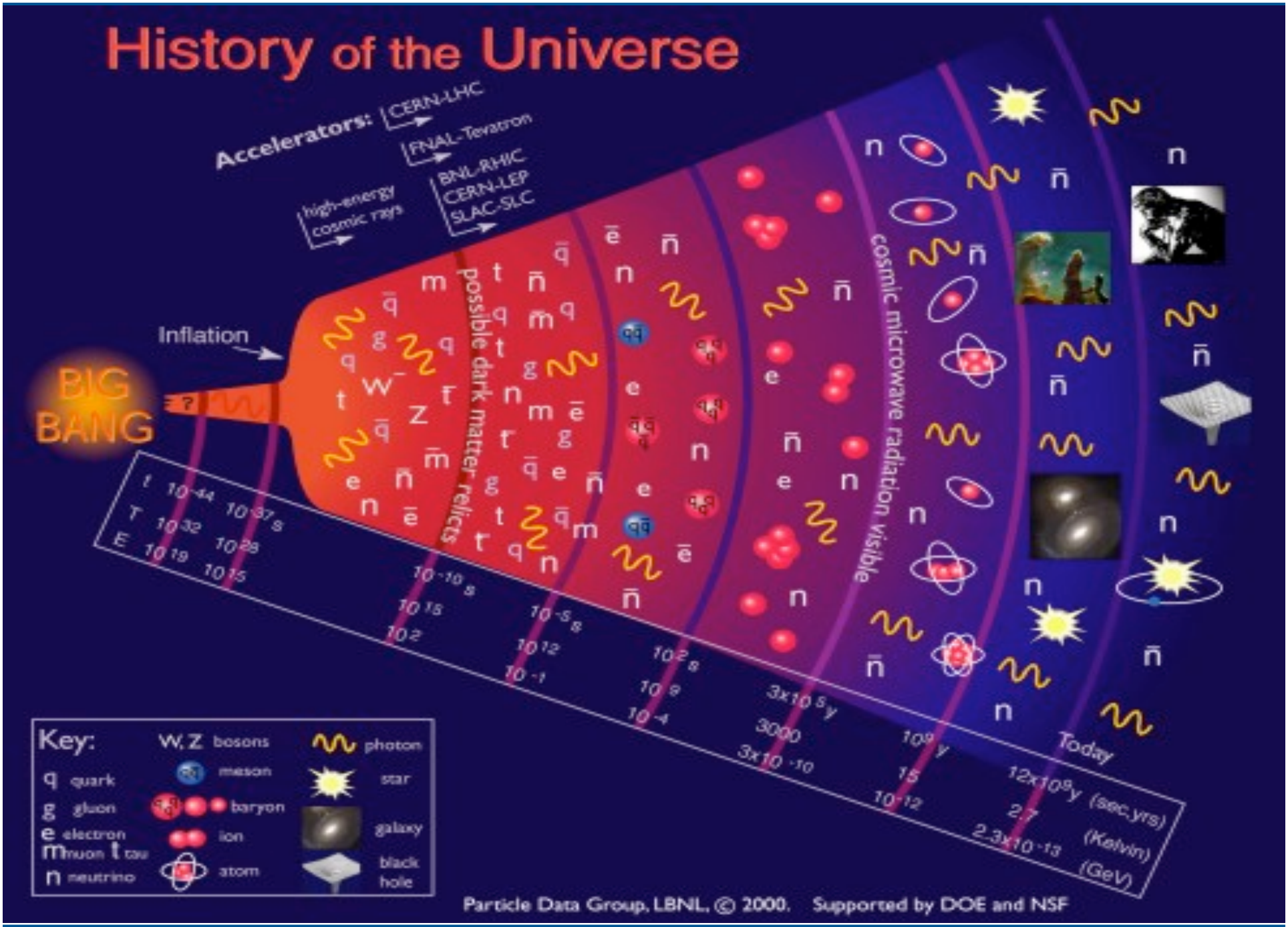


Perche' si studia la fisica delle particelle?

- Tutto cio' che osserviamo e' in ultima analisi fatto di particelle elementari: quarks e leptoni (e le particelle che li tengono insieme)

- Tuttavia, i fisici delle particelle sono alla continua ricerca di particelle nuove… perche'?

- Creando le condizioni giuste si possono osservare particelle che sono esistite allo "stato libero" solo nei primissimi istanti dell'Universo…
- Quindi lo studio della fisica delle particelle e' un modo di studiare i primi attimi di vita del nostro Universo, un viaggio indietro nel tempo per capire come siamo evoluti a partire dal Big Bang.

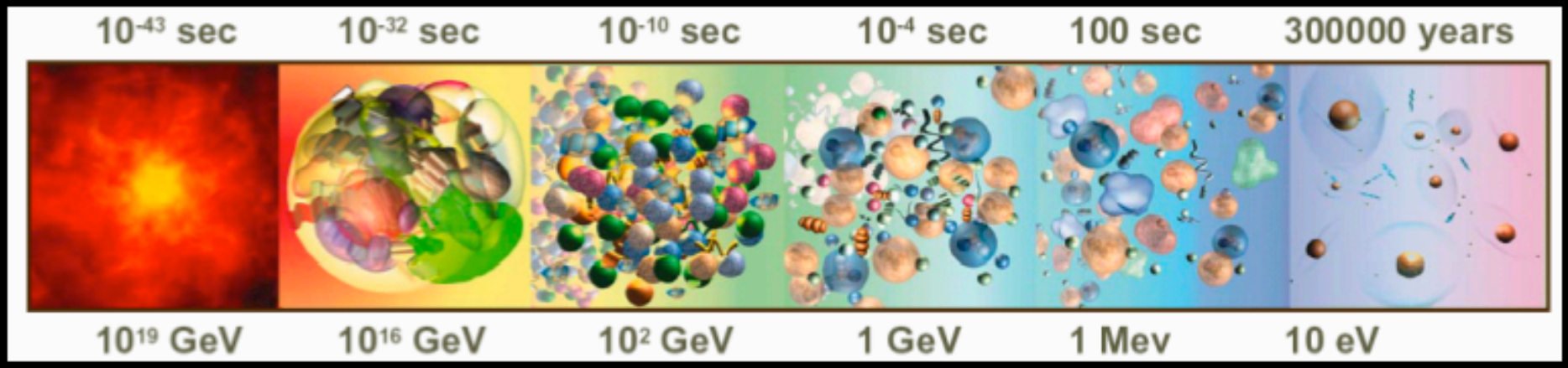

History of the Universe
Accelerators:
CERN-LHC
FNAL-Tevatron
BNL-RHIC
CERN-LEP
SLAC-SLC
high-energy cosmic rays
Inflation
BIG BANG
possible dark matter relicts
cosmic microwave radiation visible
Today
Key:
q quark
g gluon
e electron
m muon
t tau
n neutrino
W, Z bosons
meson
baryon
ion
atom
photon
star
galaxy
black hole
Particle Data Group, LBNL, © 2000. Supported by DOE and NSF

La Cosmologia

- La cosmologia studia l'evoluzione dell'Universo dall'inizio fino ad oggi
- Dall'evento iniziale di pura energia, si e' formato un "brodo cosmico" di particelle elementari che si sono successivamente organizzate a formare i costituenti dell'atomo e da li' molecole, stelle, galassie fino alla vita.
- Inizialmente tutte le particelle obbediscono allo stesso tipo di interazione (forza): si parla di Grande Unificazione
- Successivamente le forze si distinguono l'una dall'altra:
  - Gravita'
  - Forza debole
  - Forza elettromagnetica
  - Forza forte (o nucleare)
- Le particelle non sono piu' allo stato libero

Dove entra la fisica delle particelle….

La fisica delle particelle studia i primi 100 secondi di vita dell'Universo



Fisica delle particelle elementari (alte energie)

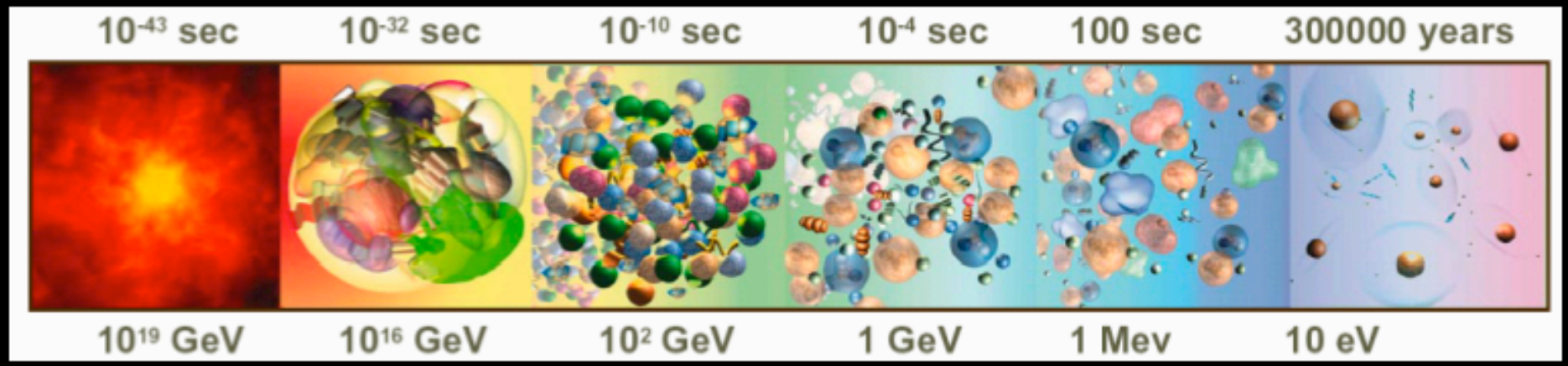
Astronomia
Chimica
Biologia

Temperatura ad energia sono equivalenti..

1 gigaelectron volt = 1.60217646 x 10^{-10} joules :

1 millesimo dell'energia cinetica di una zanzara in volo

Cosmo e Laboratorio…

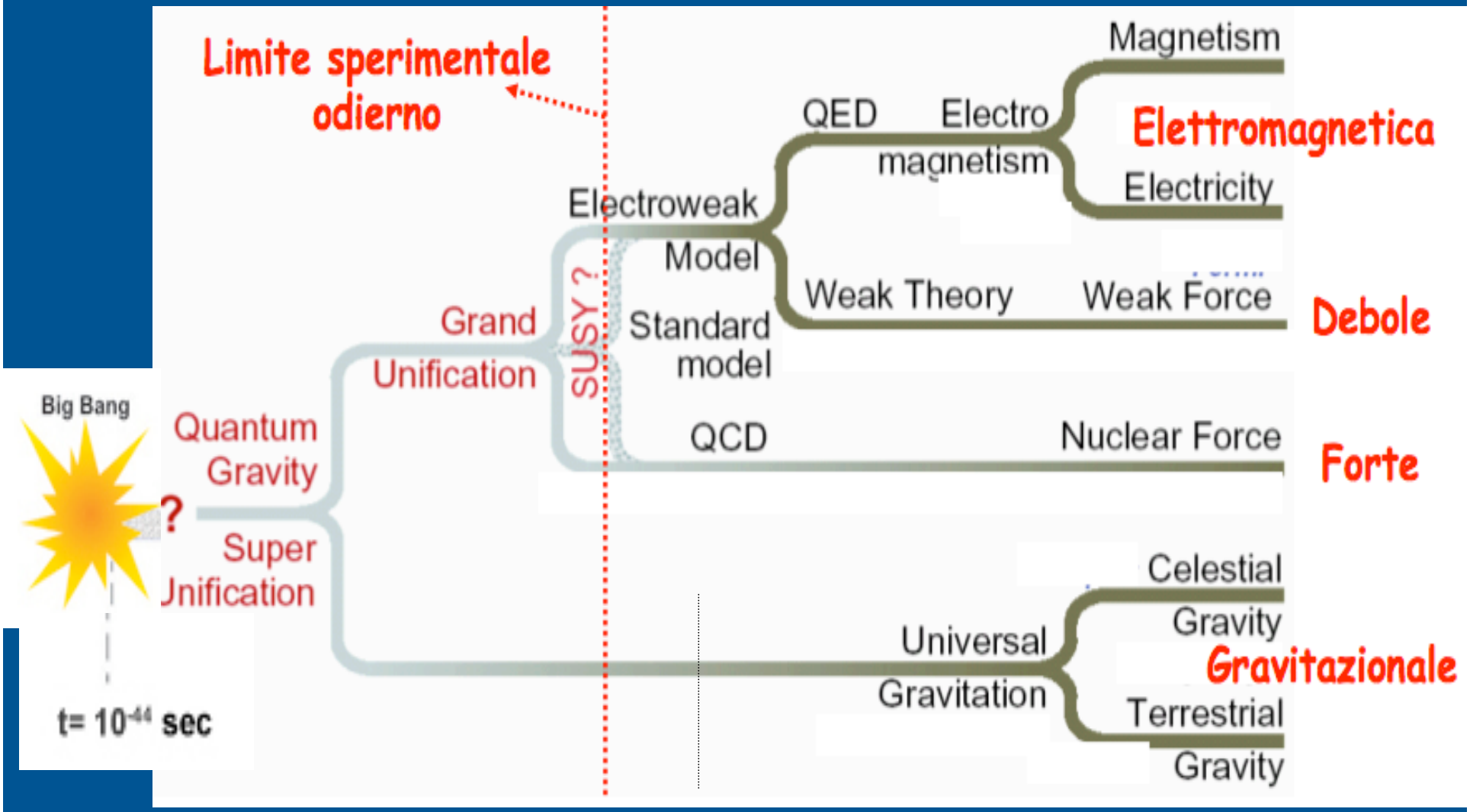


Energie troppo grandi: non si possono riprodurre in laboratorio
Il cosmo diviene l'acceleratore dei poveri:
Raggi cosmici (10^{11} GeV)
Estrapolazioni

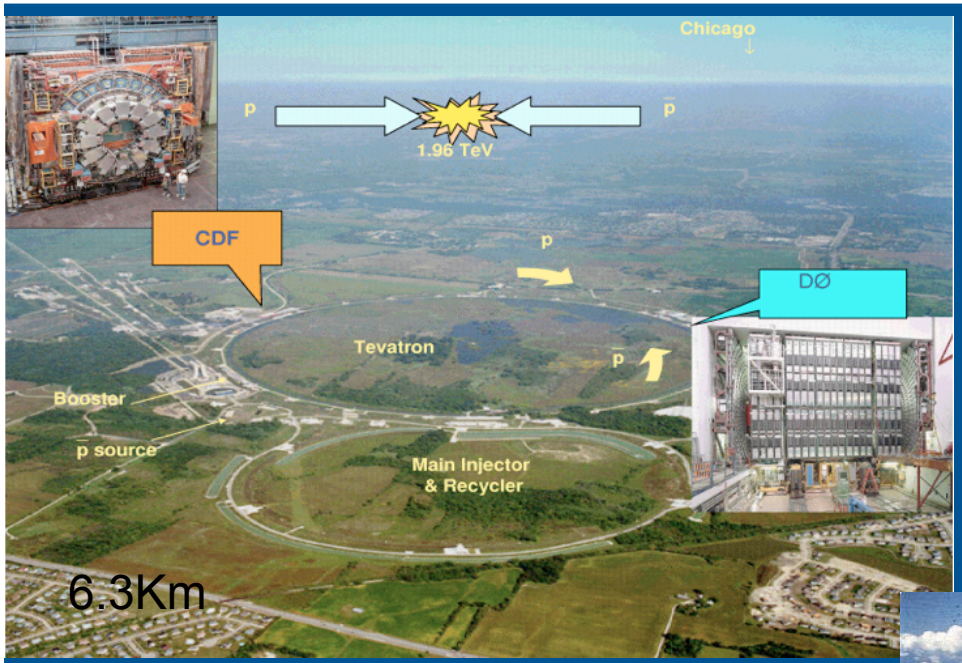
Si puo' riprodurre in laboratorio!
Fermilab & CERN!

Esiste un modello (il Modello Standard) che prevede teoricamente quale sia il comportamento e le interazioni fino a questa energia

La Teoria: Il Modello Standard



Gli esperimenti: gli acceleratori

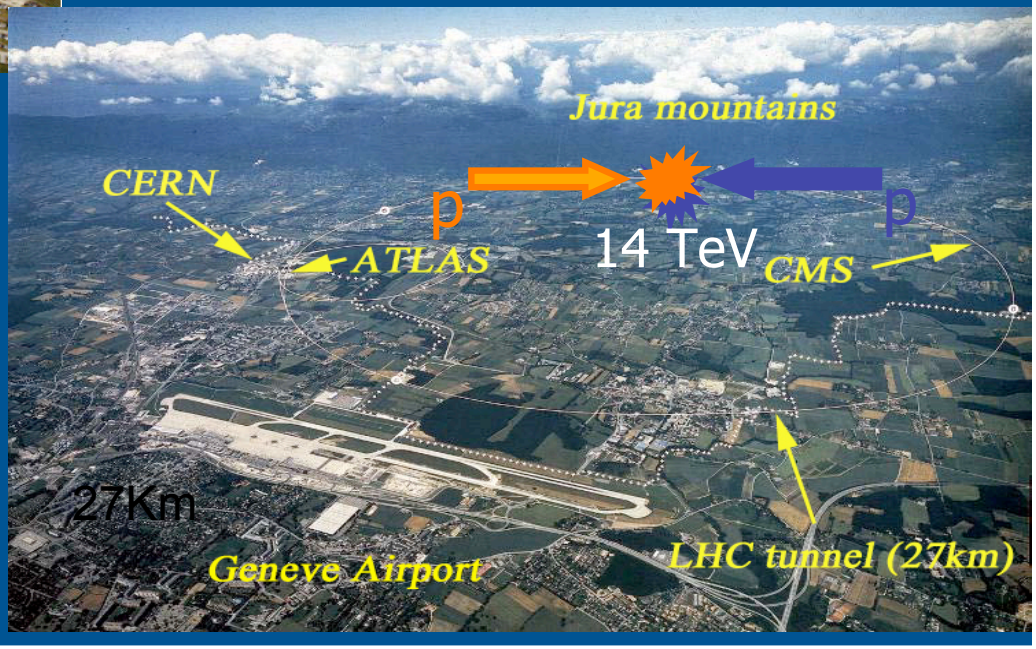


Certamente gli strumenti scientifici piu' grandi al mondo!

Fasci di particelle circolano in senso opposto e collidono in zone predeterminate, dove risiedono i rivelatori (detectors)

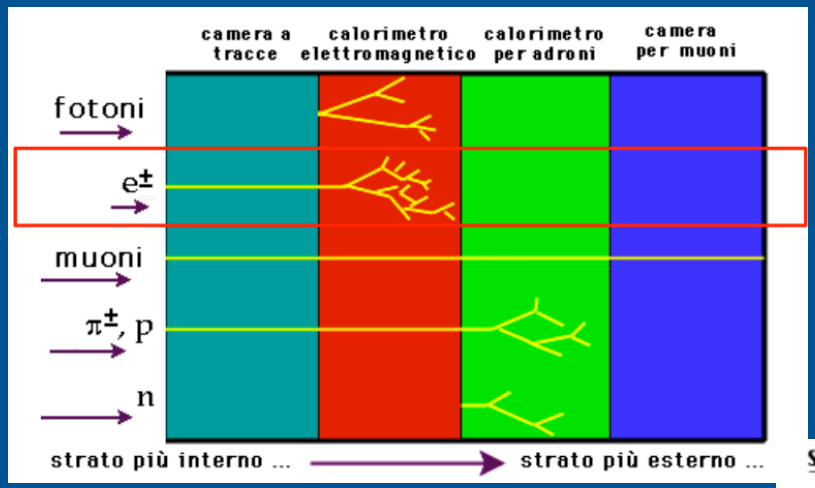
$$E = mc^2$$

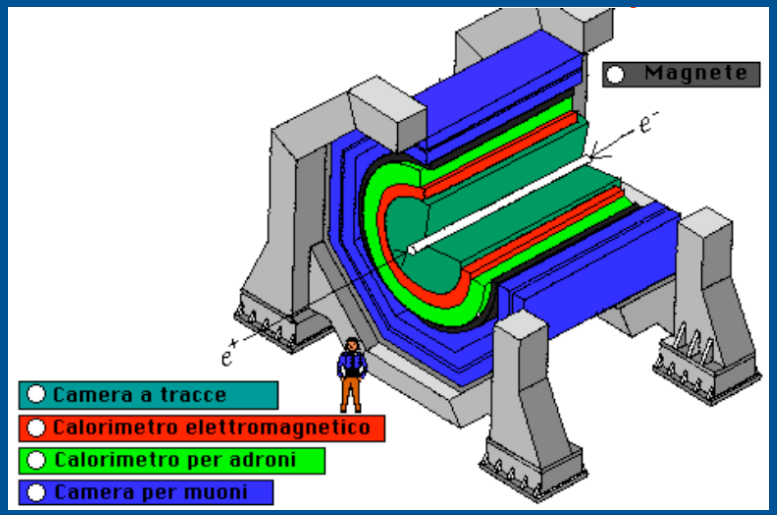
Nuove particelle sono create!

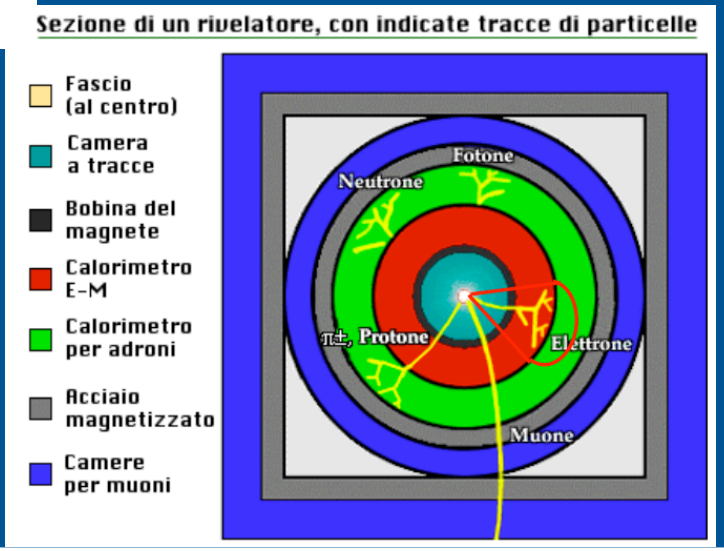


Gli Esperimenti: i rivelatori

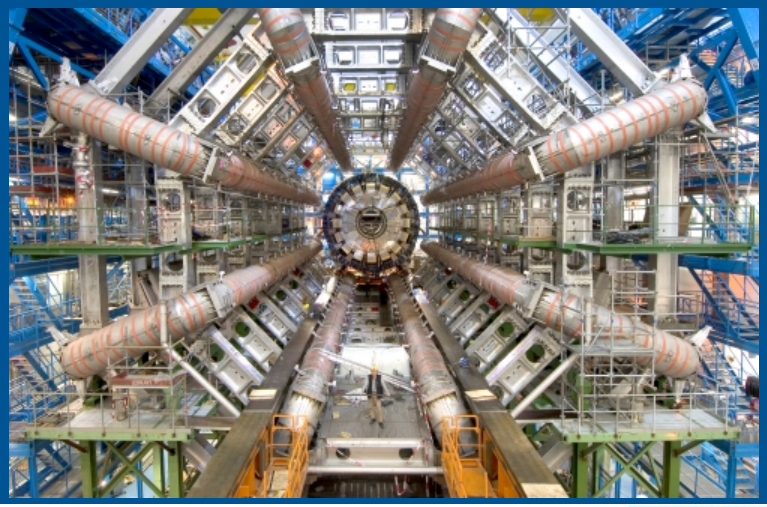
I rivelatori sono fatti a cipolla e sfruttano il fatto che le particelle interagiscono con la materia che attraversano (altre particelle..) e lasciano traccie nella forma di segnali elettronici

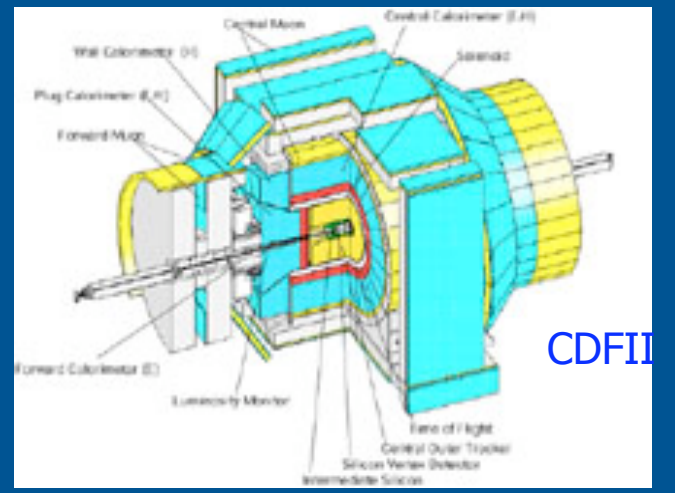


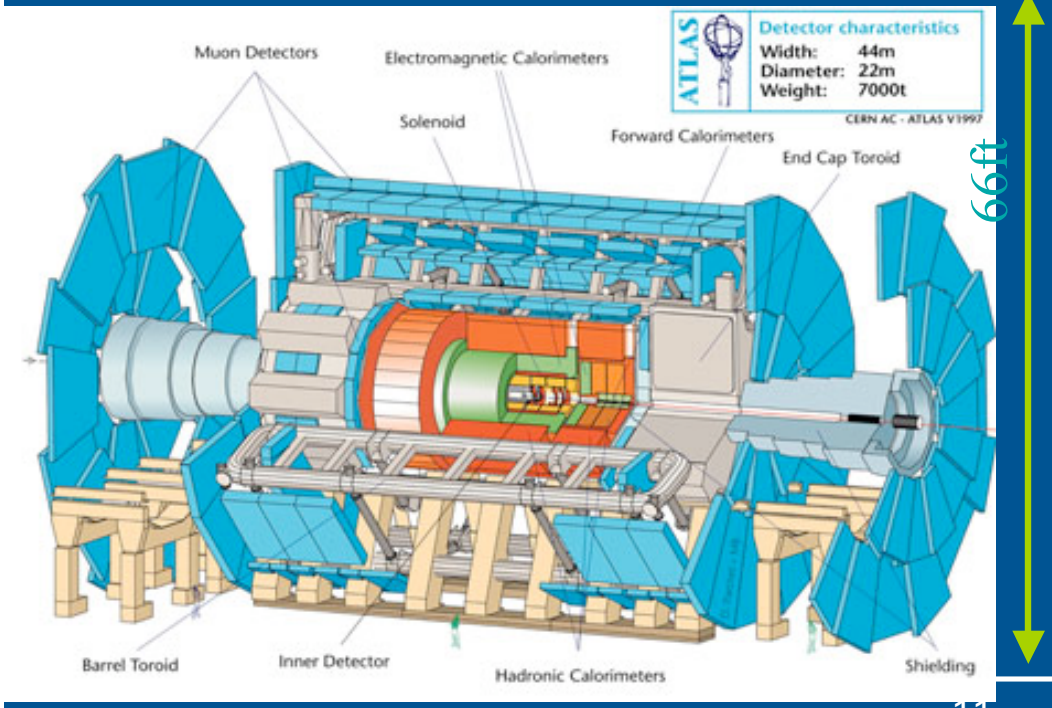


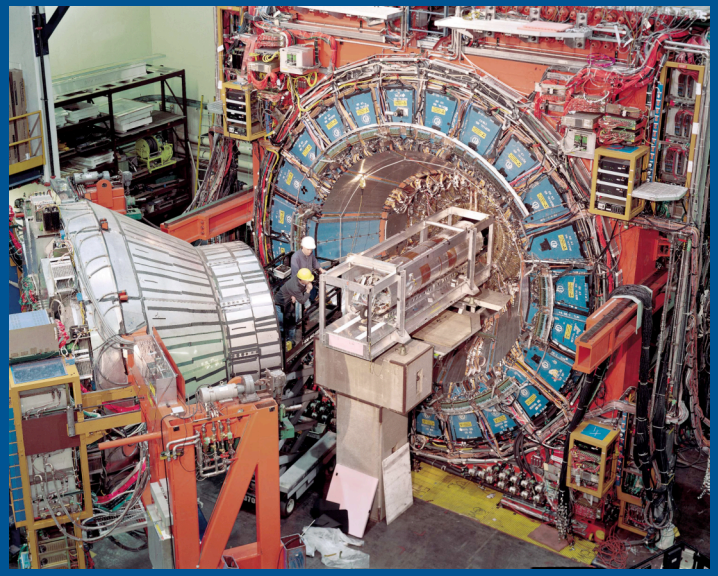


Giganteschi Microscopi

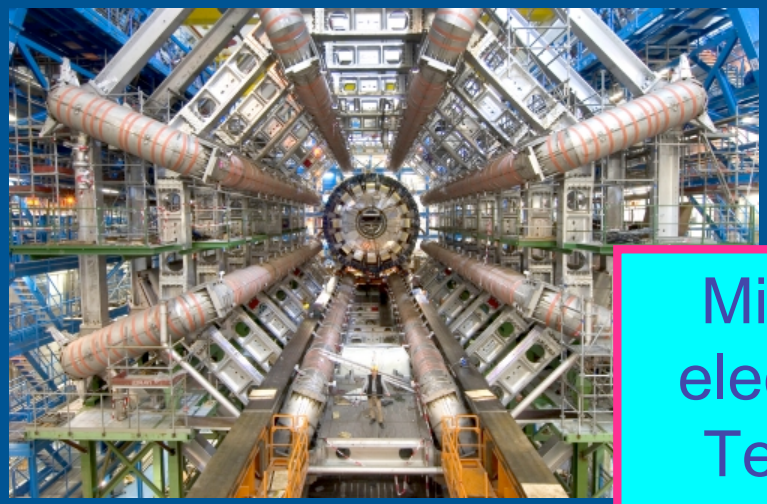


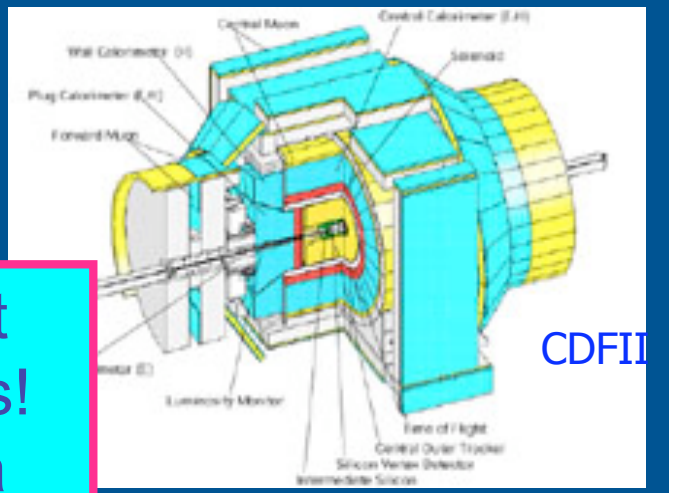






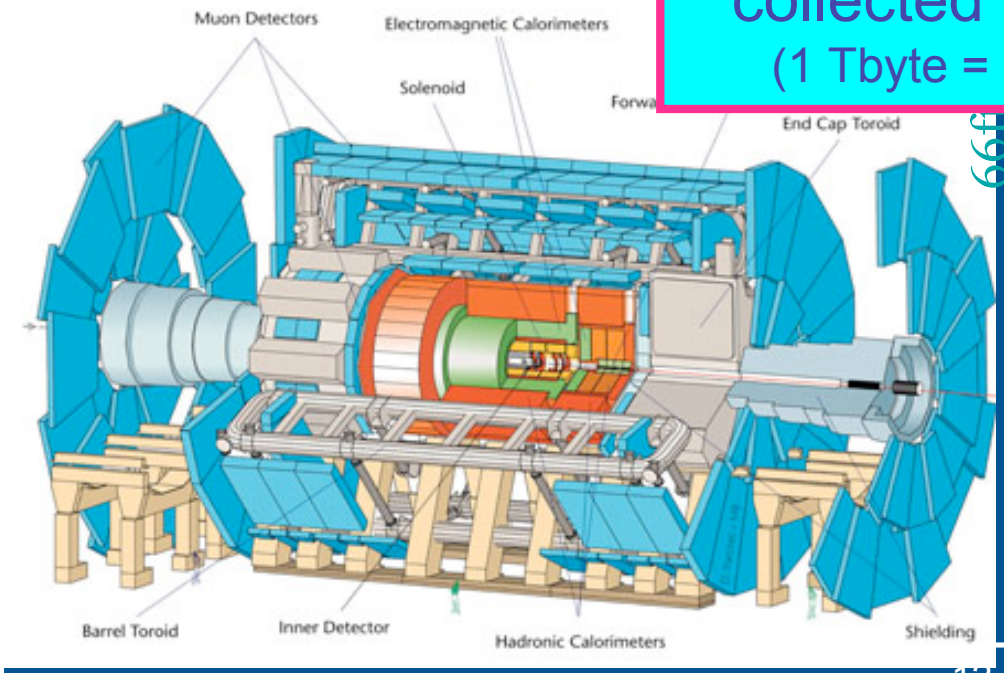
Giganteschi Microscopi

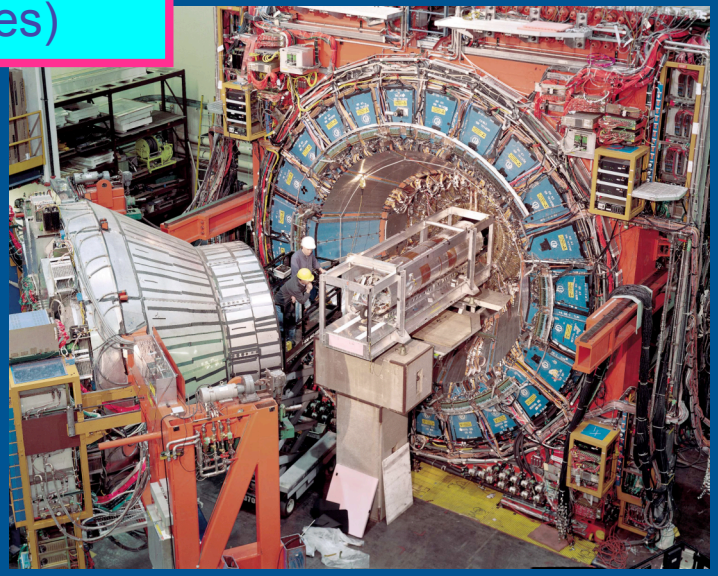




CDFII

Millions of readout electronic channels!
Terabytes of data collected annually !
(1 Tbyte = 10^{12} Bytes)





Gli Esperimenti: L'Analisi dei Dati

I rivelatori sono il risultato della collaborazione internazionale di centinaia di scienziati, ciascuno contribuendo con la propria specializzazione ed il supporto delle rispettive Universita'. In cambio, ciascun fisico riceve accesso ai dati.

Per semplificare la comunicazione e lo scambio di dati entro queste collaborazioni mondiali, scienziati del CERN hanno inventato il World Wide Web, sviluppando per primi il linguaggio html.

Laboratori di fisica delle alte energie come Fermilab e CERN sono stati tra i primi al mondo ad avere pagine web (inizio '90)

Il lavoro del fisico delle particelle

- Per studiare tutte queste collisioni fisici ed ingegneri lavorano in enormi collaborazioni

Il lavoro del fisico delle particelle

- Per studiare tutte queste collisioni fisici ed ingegneri lavorano in enormi collaborazioni

- C'e' chi costruisce l'hardware

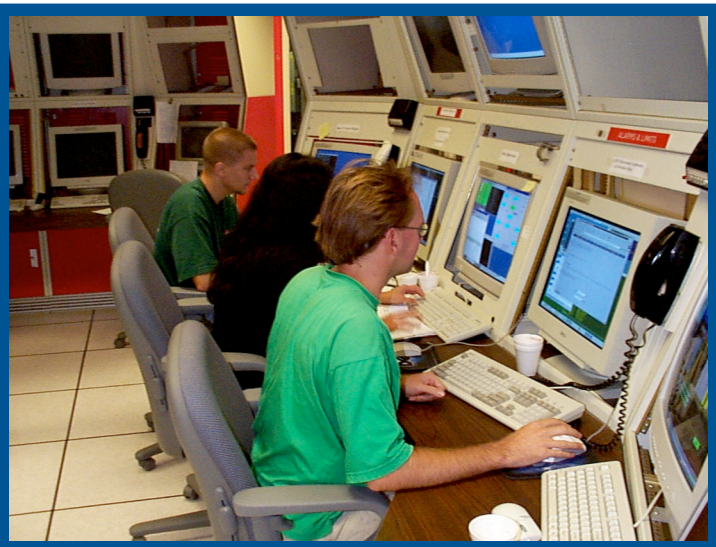
Il lavoro del fisico delle particelle

- Per studiare tutte queste collisioni fisici ed ingegneri lavorano in enormi collaborazioni

- C'e' chi costruisce l'hardware, mentre altri disegnano e scrivono software di controllo e analisi

Lavorare al collider

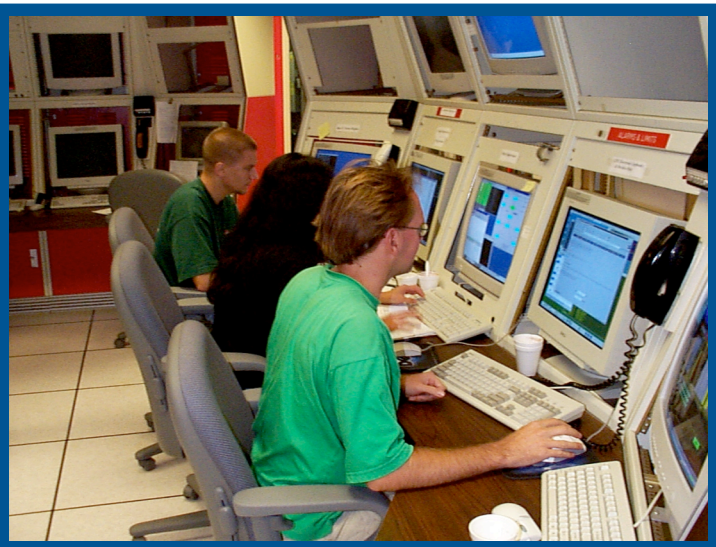
- Gli esperimenti collezionano dati 24/7 con la partecipazione diretta degli scienziati appartenenti alle collaborazioni



Lavorare al collider

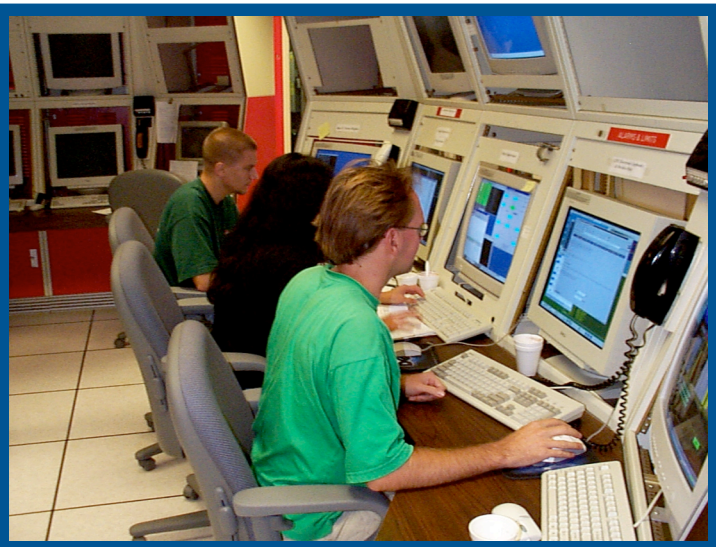
- Gli esperimenti collezionano dati 24/7 con la partecipazione diretta degli scienziati appartenenti alle collaborazioni

- C'e' anche tempo per celebrare!



Lavorare al collider

- Gli esperimenti collezionano dati 24/7 con la partecipazione diretta degli scienziati appartenenti alle collaborazioni
- C'e' anche tempo per celebrare!
- Ed infine gli eventi sono analizzati e presentati al resto della collaborazione!



La collaborazione CDF a Fermilab

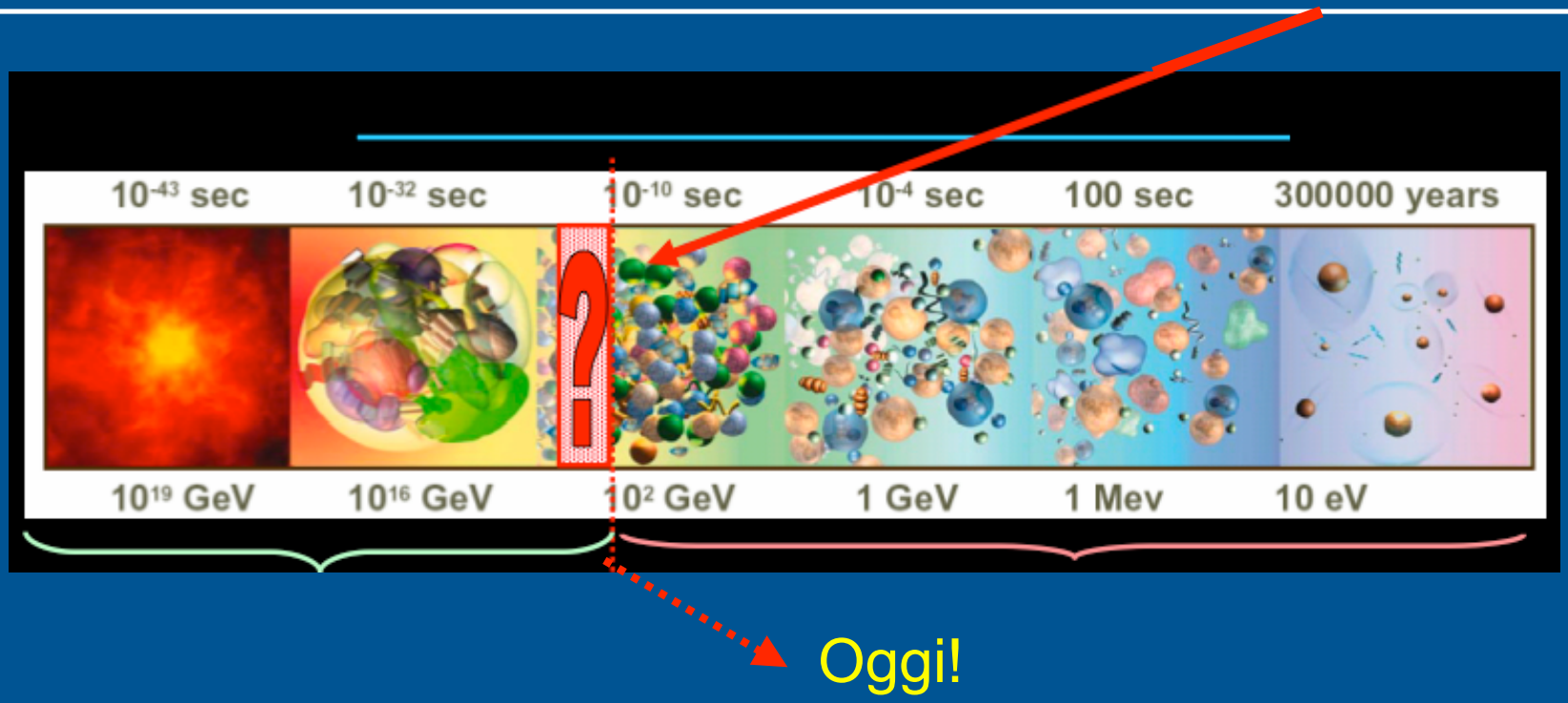
La collaborazione CDF si compone di circa 600 scienziati provenienti da 70 universita' e centri di ricerca sparsi per tutto il mondo.

L'Italia contribuisce come socio fondatore dell'esperimento insieme a Stati Uniti e Giappone, attraverso l'INFN con le universita' di Pisa, Padova, Roma "La Sapienza", Bologna, Trieste, Pavia, Siena e i laboratori nazionali di Frascati.

CDF e' particolarmente rilevante nella storia della fisica delle particelle elementari per la scoperta del quark top nel 1995. La scoperta del quark top completa le tre generazioni di quark, in analogia alle tre generazioni di leptoni, nel Modello Standard delle interazioni fondamentali.

Attualmente gli sforzi della collaborazione si concentrano nella ricerca del bosone di Higgs, e in ricerche di nuova fisica cosi' come prevista da teoria come le Supersimmetrie e la Grande Unificazione

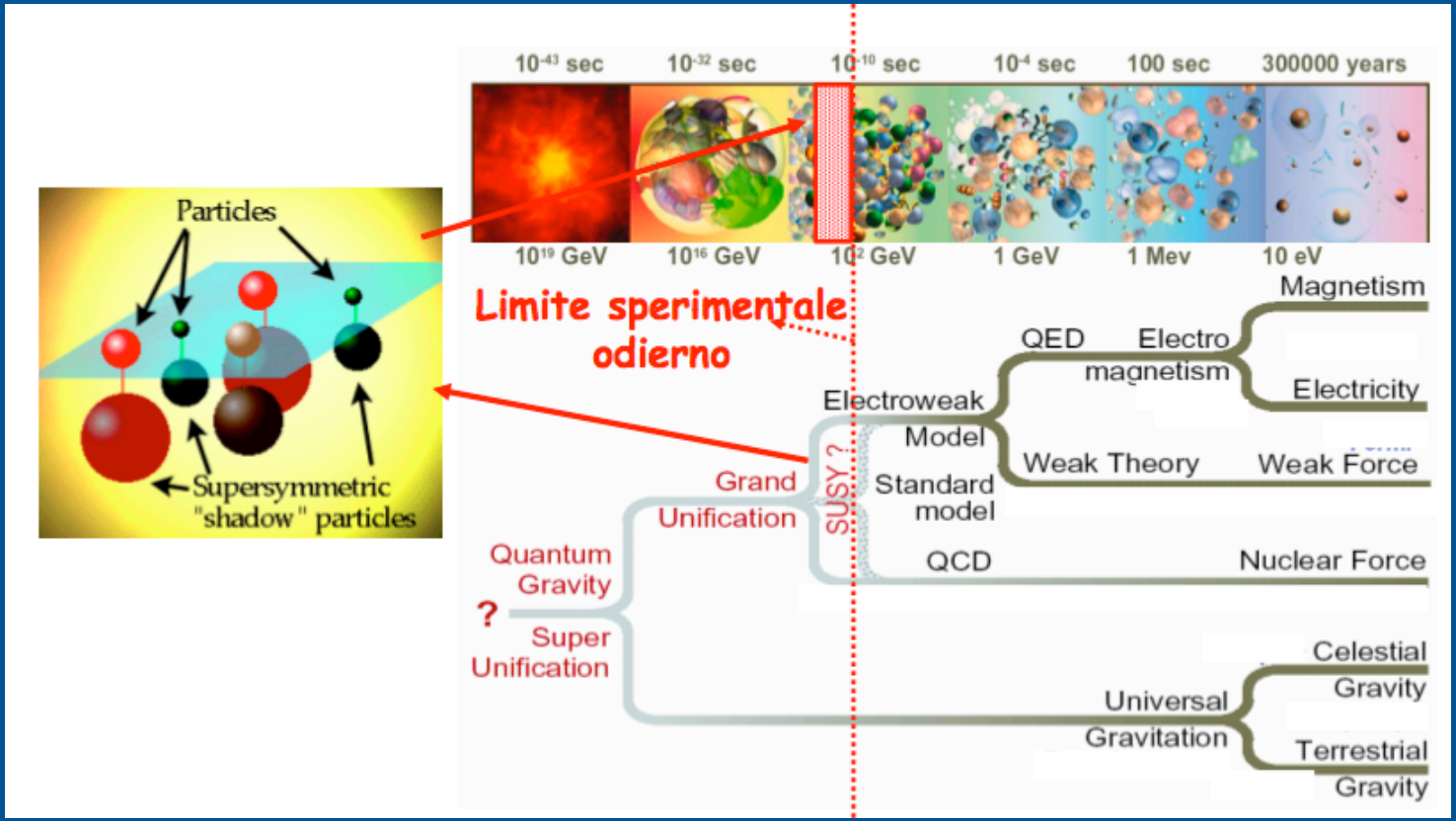
La prossima frontiera e' qui: LHC



A partire da quest'anno, LHC ha cominciato ad esplorare il range di energia dove l'Universo ha smesso di essere simmetrico e la materia e' diventata diversa dall'antimateria (e dominante): punto cruciale per capire come funziona l'Universo !

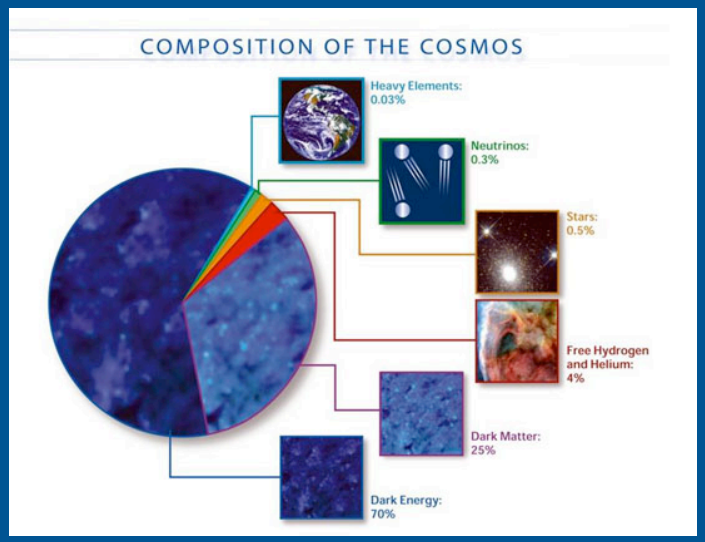
La prossima frontiera e' qui: LHC

LHC potrebbe fare un passo verso la grande unificazione trovando gli squarks, particelle "ombra" delle particelle che conosciamo, predette da una teoria chiamata SuperSymmetry (SUSY)

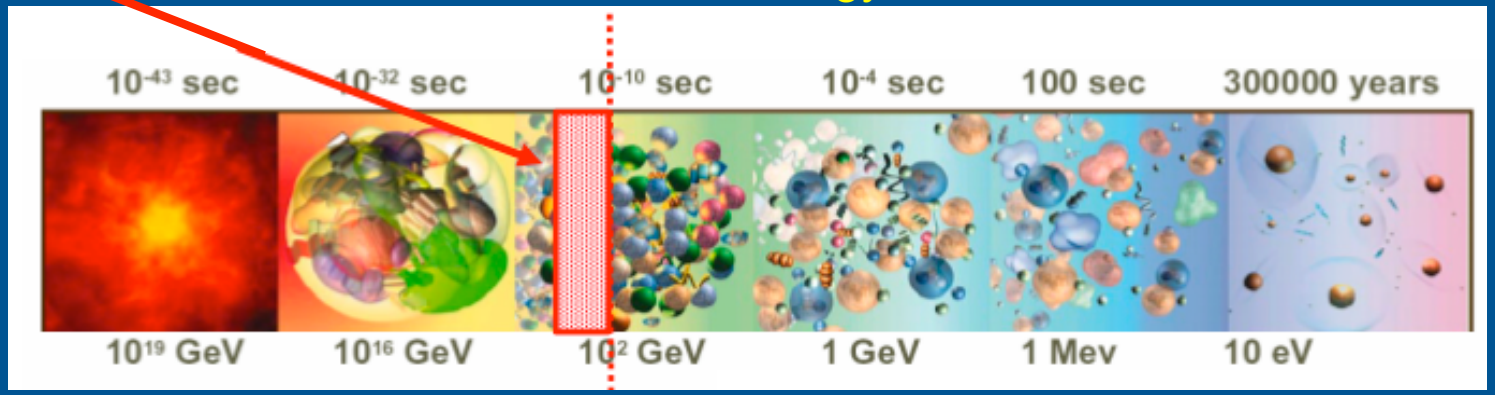


La prossima frontiera e' qui: LHC

Negli ultimi anni si e' scoperto che il 95% dell'Universo e' composto da cose che non capiamo: materia oscura ed energia oscura



LHC potrebbe trovare nuove particelle che spieghino cosa sono dark matter and dark energy



I benefici della fisica delle particelle

La fisica delle particelle ha da sempre offerto un potenziale di ricaduta enorme della ricerca di base a vantaggio dell'innovazione tecnologica, a totale beneficio della societa'.

Numerosi casi in cui l'innovazione nasce da esigenze della ricerca di base nel campo della fisica delle alte energie, per poi confluire positivamente nella ricerca di tipo applicativo

Ben noti esempi:

- Superconduttivita': risonanza magnetica
- Internet e il World Wide Web

- Altri Esempi…
  - Food sterilization
  - Nuclear waste transmutation
  - Medicine
  - Theoretical models of particle physics applied to other scientific discipline as well as commerce
  - And much more….

Alcuni Esempi

Es: Il tubo catodico della televisione si basa sulla scoperta dell'elettrone all'inizio del 20-esimo secolo.

Es:un oggetto oggi banale come il GPS, funziona utilizzando alcune correzioni della misura del tempo previste della teoria della relativita' generale. Senza di esse, non puo' funzionare correttamente. Nessuno, ai tempi di Einstein avrebbe mai creduto che una teoria cosi astratta e apparentemente avulsa dalla realta' come la relativita' generale, un giorno si sarebbe rivelata indispensabile per far funzionare un oggetto di utilita' comune come il GPS.

Es: A Pavia, e' stato inaugurato il primo centro italiano di adroterapia, ovvero una tecnica per curare tumori incurabili con le terapie convenzionali. Questo centro usa tecniche che sono state sviluppate negli ultimi 30 anni al CERN.

I benefici della ricerca di base

La storia ci insegna che tutte le piu' grandi innovazioni, quelle invenzioni che hanno realmente cambiato il mondo, non sarebbero mai state possibili senza la ricerca di base, come quella che si fa al Cern o a Fermilab.

Inoltre e' dimostrato che la competitivita' e lo standard di vita di ogni nazione dipende in maniera proporzionale dall'investimento in educazione, scienza e tecnologia che il paese decide di attuare.
http://www7.nationalacademies.org/ocga/testimony/gathering_storm_energizing_and_employing_america2.asp

Essere alla *leading edge* del progresso tecnologico e scientifico, garantisce competitivita' sia dal punto di vista economico che politico e permette la creazione di posti di lavoro ad alto reddito con conseguente miglioramento del tenore di vita.

Sfortunatamente il mondo occidentale sembra aver dimenticato questa verita' molto semplice in cambio di rapidi profitti favoriti dal processo di globalizzazione economica…

In China il 50% degli studenti si laurea in Scienza ed Ingegneria mentre in USA il piu' grande employer e' Wal-Mart….

La mia esperienza

Ho scelto di fare fisica perche' volevo studiare il cosmo..

You know, there are four hundred billion stars out there, just in our galaxy alone. If only one out of a million of those had planets, and just of out of a million of those had life, and just one out of a million of those had intelligent life; there would be literally millions of civilizations out there. (C. Sagan, Contact)

E dall'infinitamente grande sono finita a studiare l'infinitamente piccolo…
Ma le domande rimangono sempre le stesse…

Conclusioni

Perche' la fisica delle particelle

La possibilita' di andare indietro nel tempo e studiare i primi istanti di vita dell'Universo

Gli apparati sperimentali

Gli acceleratori

I rivelatori

Gli scienziati e le mega collaborazioni

L'importanza della scienza di base

competitivita' e alto standard di vita

Backup Slides

The Accelerator Chain (Fermilab)

At Fermilab, we start by accelerating protons in the CW (750 KeV) to the Linac and Booster (up to 8 GeV)

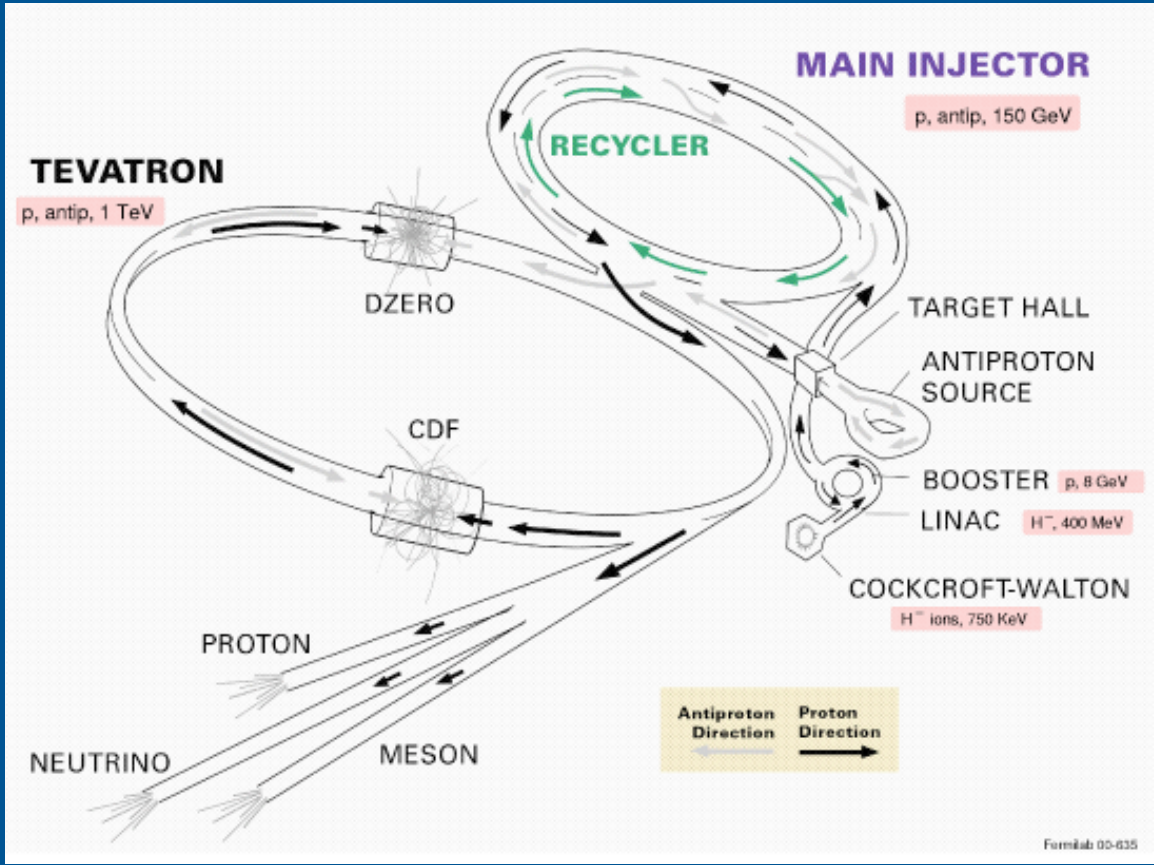
Some protons hit (gold) targets to make antiprotons

Antiprotons are stored (precious!)

Protons and antiprotons are sent to the main injector to be accelerated up to 150 GeV

They finally get injected in the TeVatron, which ramps up the beam energy to 1 TeV

An **electronvolt** (symbol: eV) is the amount of energy gained by a single unbound electron when it falls through an electrostatic potential difference of one volt. Very small amount of energy: 1 eV ≈ 1.602×10^{-19} J.



Un po' di Cosmologia

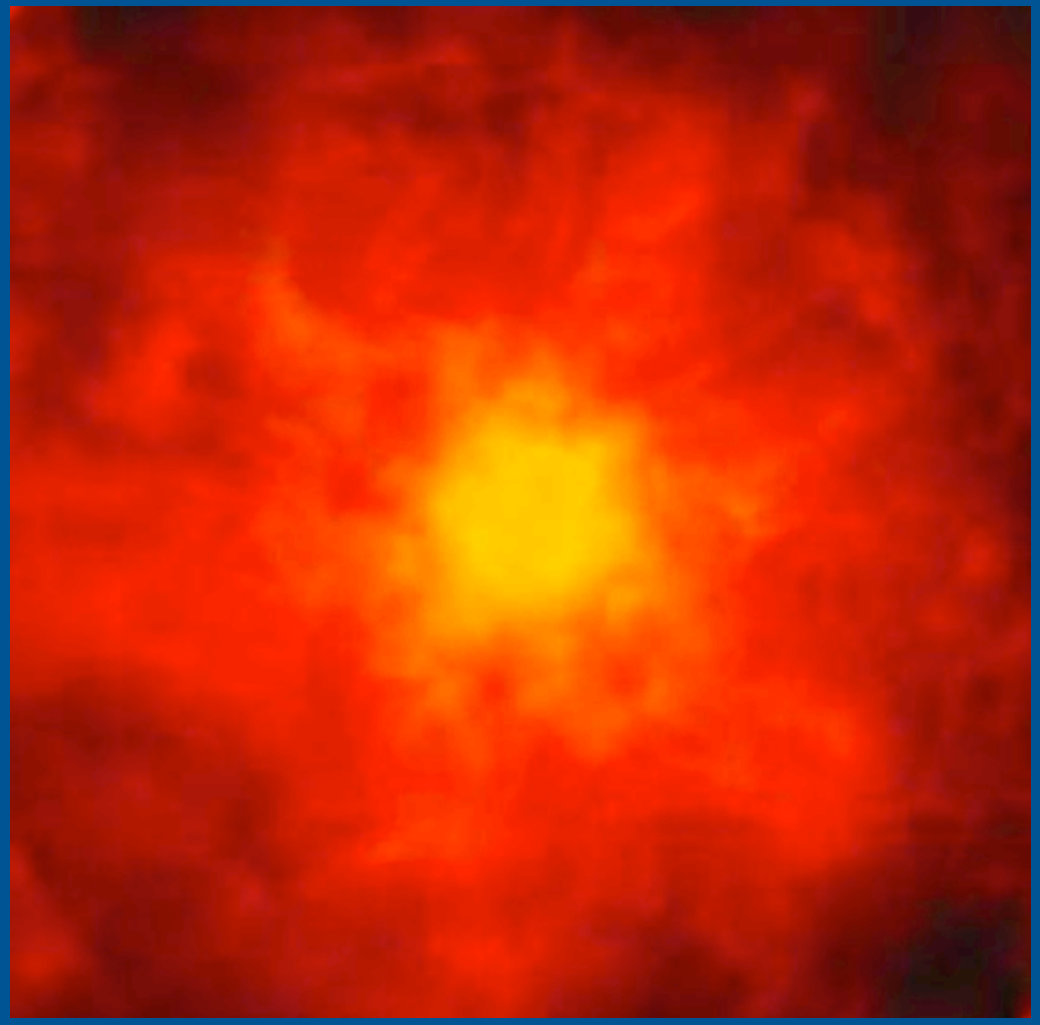
L'universo e' cominciato con una esplosione di enorme energia

Il BIG BANG!

L'inizio dello spazio e del tempo.

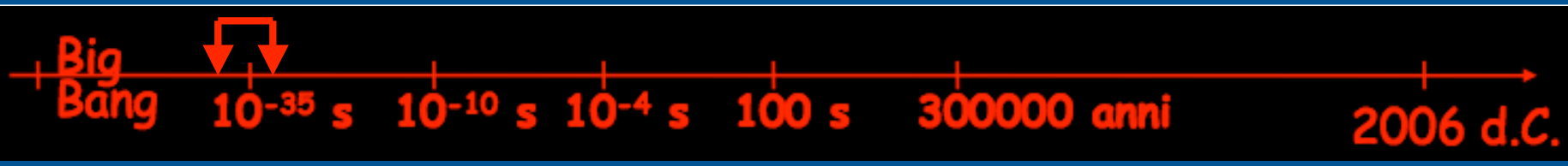
La *gravita'* e' una proprieta' geometrica dello spazio-tempo

Durata: 10^{-43} secondi
Temperatura: 10^{32} K



Nota: 10^{32} = 10 x 10 x 10 x 10….. 32 volte!

L'evoluzione dell'universo



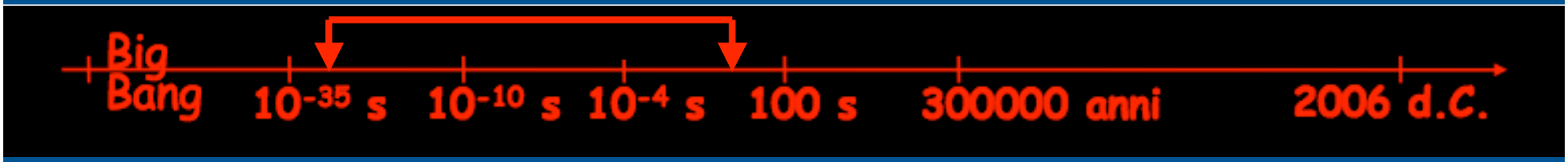
L'Era Inflazionaria:

L'universo si espande in pochissimi istanti (10^{-38}-10^{-32} secondi), ingigantendo piccole fluttuazioni che vanno a costituire il seme delle strutture a larga scala (le odierne galassie)

Temperatura: 10^{29}-10^{27} K

Nota: 10^{-32} = 0.00000000000000000000000000000001 sec

L'evoluzione dell'universo



L'era dei Quarks & Leptoni:

tra 10^{-32}-10^{-11} secondi l'universo si espande fino ad assumere le dimensione di due minuti-luce (1.2M Km)

La forza elettro-debole si divide

A 10^{-7} secondi e' grande quanto il sistema solare

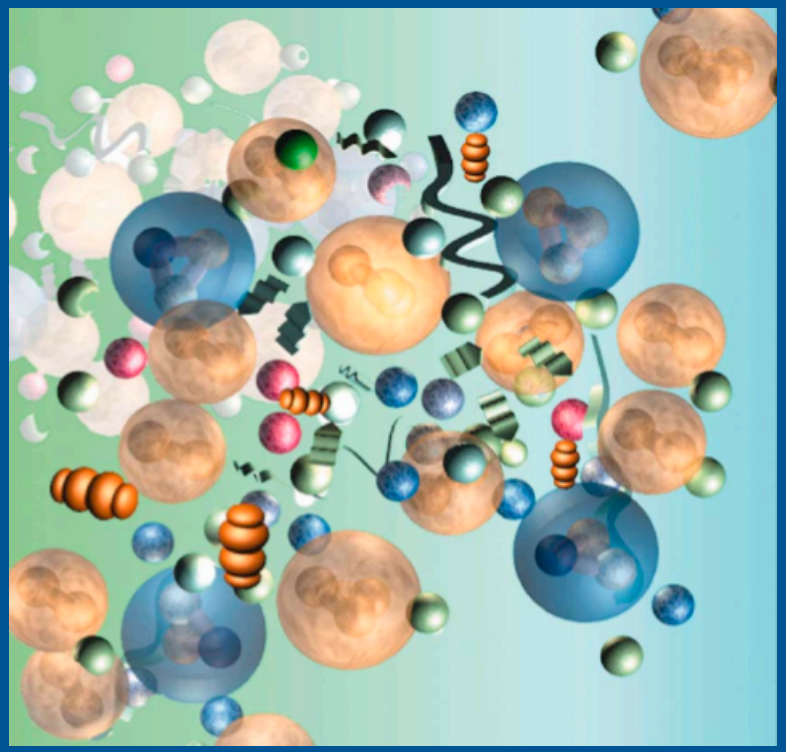
la produzione libera di quarks si ferma

A 10^{-6} e' grande 1.4 anni luce

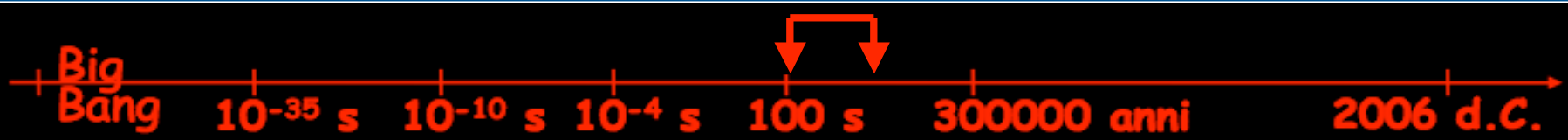
Materia e antimateria si sbilanciano

Ad 1 secondo di vita e' grande piu' di 4 anni luce

Il rapporto tra protoni e neutroni si stabilizza

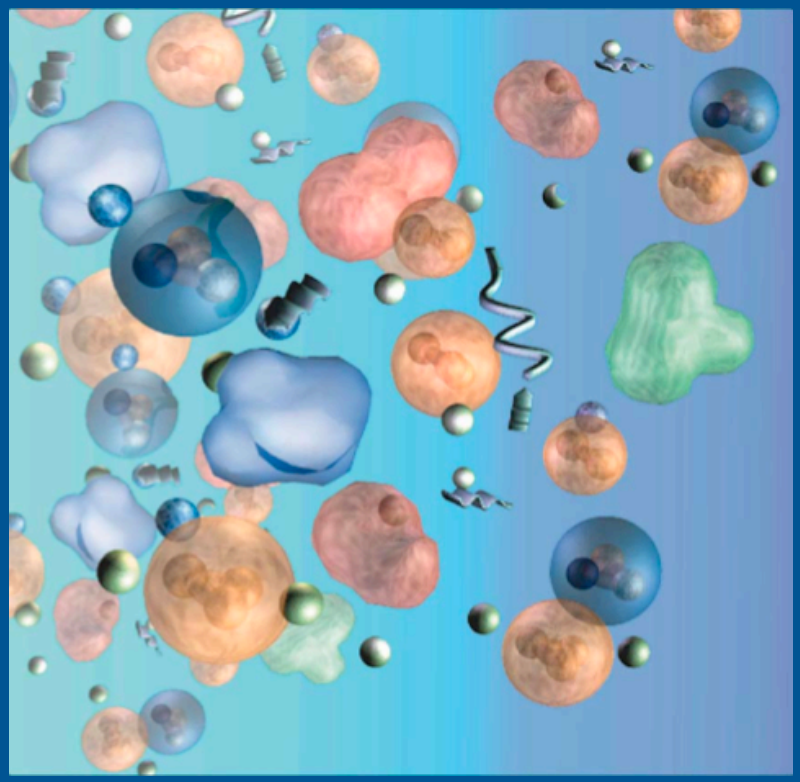


L'evoluzione dell'universo

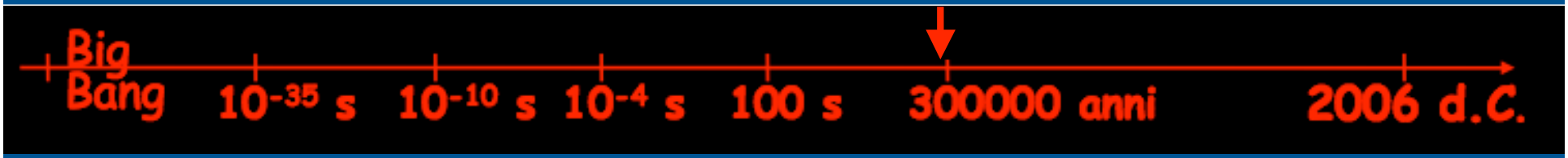


L'Era della Radiazione:

A 200 secondi l'Universo e' grande 55 anni-luce
Si formano gli atomi di He
A 3000 anni la densita' della materia e' uguale a quella della radiazione
Nel frattempo l'Universo si e' *raffreddato* a 60000 K

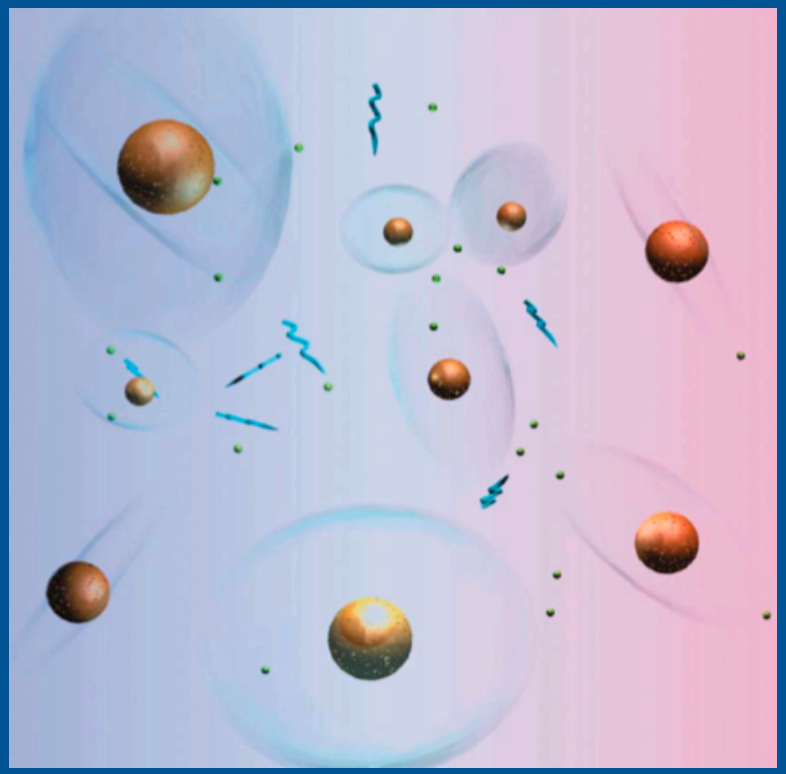


L'evoluzione dell'universo

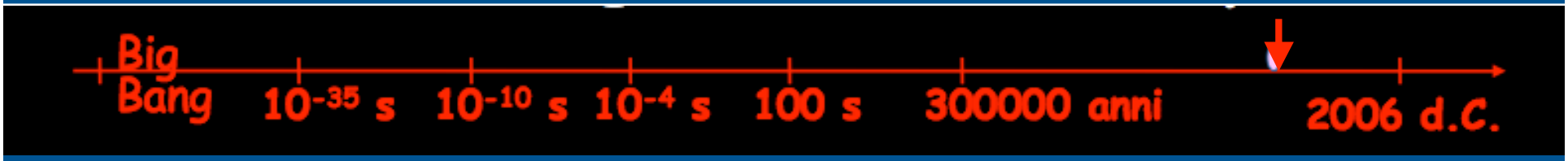


<u>Inizia l'era della Materia:</u>

Si formano gli atomi pesanti
A 500000 anni, l'universo e' grande
1,500,000 anni luce



L'evoluzione dell'Universo



Continua l'era della Materia:

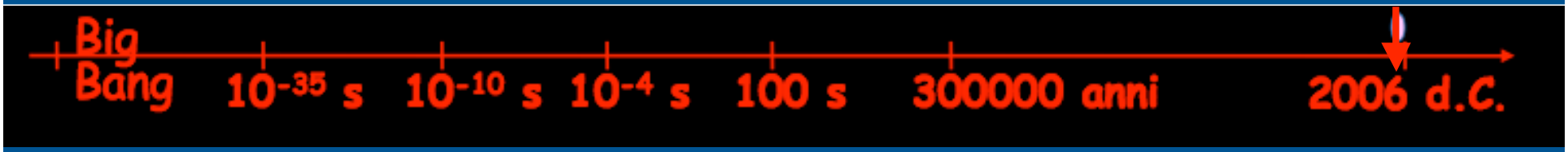
1 miliardo di anni: si formano le galassie

7 miliardi: formazione del sistema solare

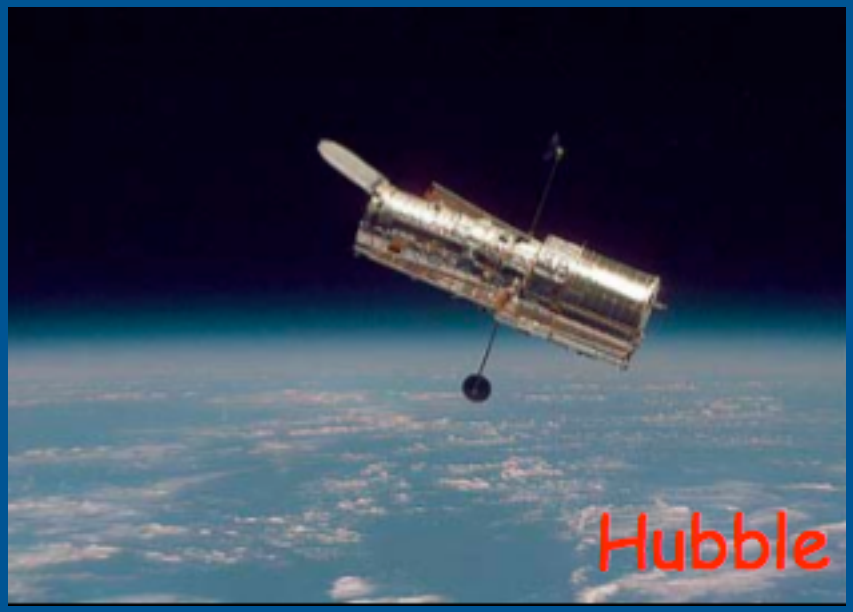
8.5 miliardi di anni: emerge la vita sulla Terra

Ed ecco una foto dell'Universo un miliardo di anni fa !!!

L'evoluzione dell'Universo



Ed ecco la macchina fotografica che ha preso la foto dell'Universo un miliardo di anni fa !!!



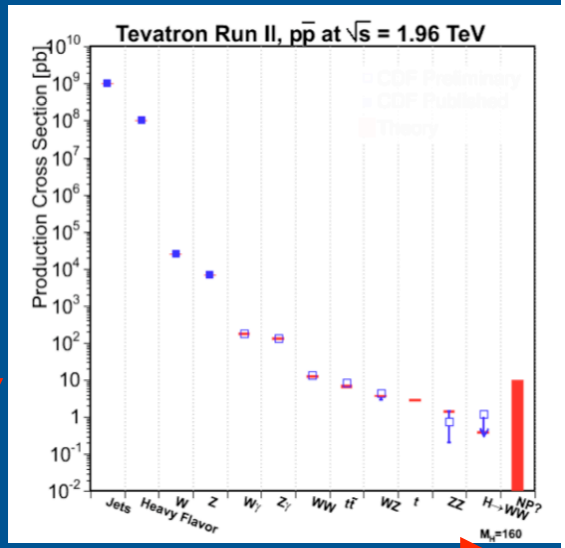
La luce (fotoni) ha impiegato 14 miliardi di anni per arrivare fino a noi (e ha attraversato 10^{26} metri di distanza…)

L'attuale frontiera: il Tevatron

- Il Tevatron e' una Discovery Machine.
  - A dispetto dell'eta' continua ad operare molto bene e con continui records di luminosita'

- Un ampio spettro di processi fisici sono studiati:
  - Misure di precisione in QCD
    - The most precised hadron colliders measurement of α_s
  - Misure di precisione della massa del quark top e del bosone W
    - Known now at < 1% experimental precision
    - Critical input to EW theory fit for Higgs boson mass
  - Ricerca di nuovi processi esotici
    - Small cross-section phenomena now accessible due to large luminosity
    - Evidence for new physics in B_s mixing
  - Entrambe le collaborazioni stanno lavorando molto intensamente nella speranza di scoprire il bosone di Higgs
    - Evidence for it in the mass range favored by current theoretical fits of EW data is within reach at the Tevatron especially if the machine will continue to run past 2011

Harder to Produce



Harder to Observe