

# Prospettive nella fisica delle particelle

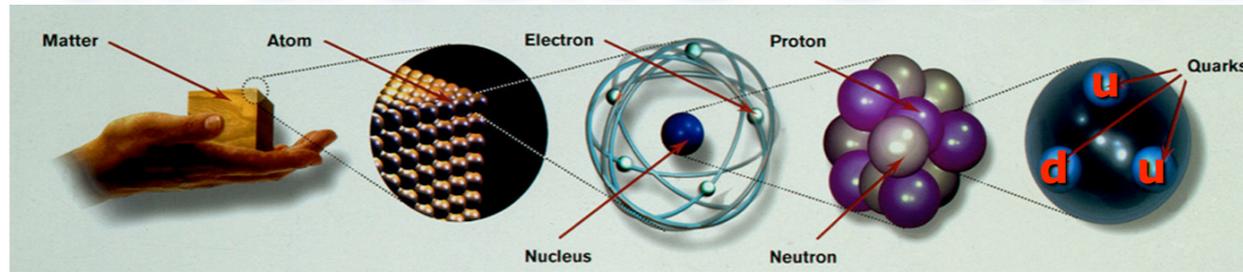
*Fabrizio Palla*

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare  
sezione di Pisa

[Fabrizio.Palla@gmail.com](mailto:Fabrizio.Palla@gmail.com)



# Particelle e forze

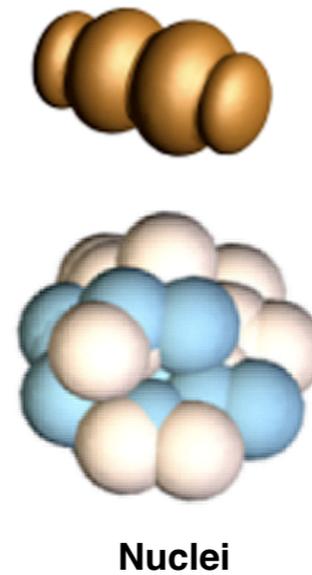
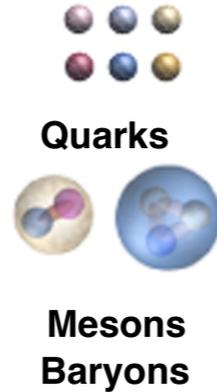


## Leptons

	Electric Charge		
<b>Tau</b>	-1	0	<b>Tau Neutrino</b>
<b>Muon</b>	-1	0	<b>Muon Neutrino</b>
<b>Electron</b>	-1	0	<b>Electron Neutrino</b>

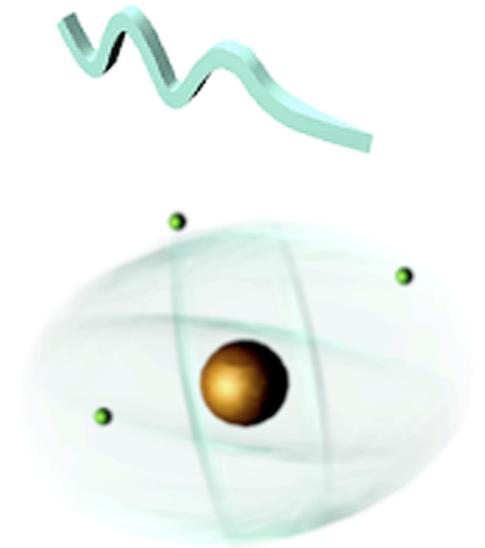
## Strong

### Glueons (8)



## Electromagnetic

### Photon



## Quarks

	Electric Charge		
<b>Bottom</b>	-1/3	2/3	<b>Top</b>
<b>Strange</b>	-1/3	2/3	<b>Charm</b>
<b>Down</b>	-1/3	2/3	<b>Up</b>

each quark: *R*, *B*, *G* 3 colors

## Gravitational

### Graviton ?

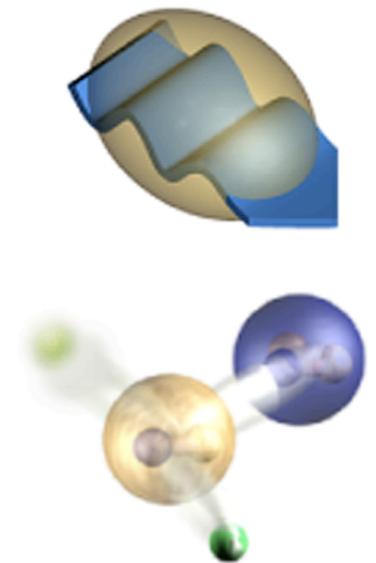
Solar system  
Galaxies  
Black holes



## Weak

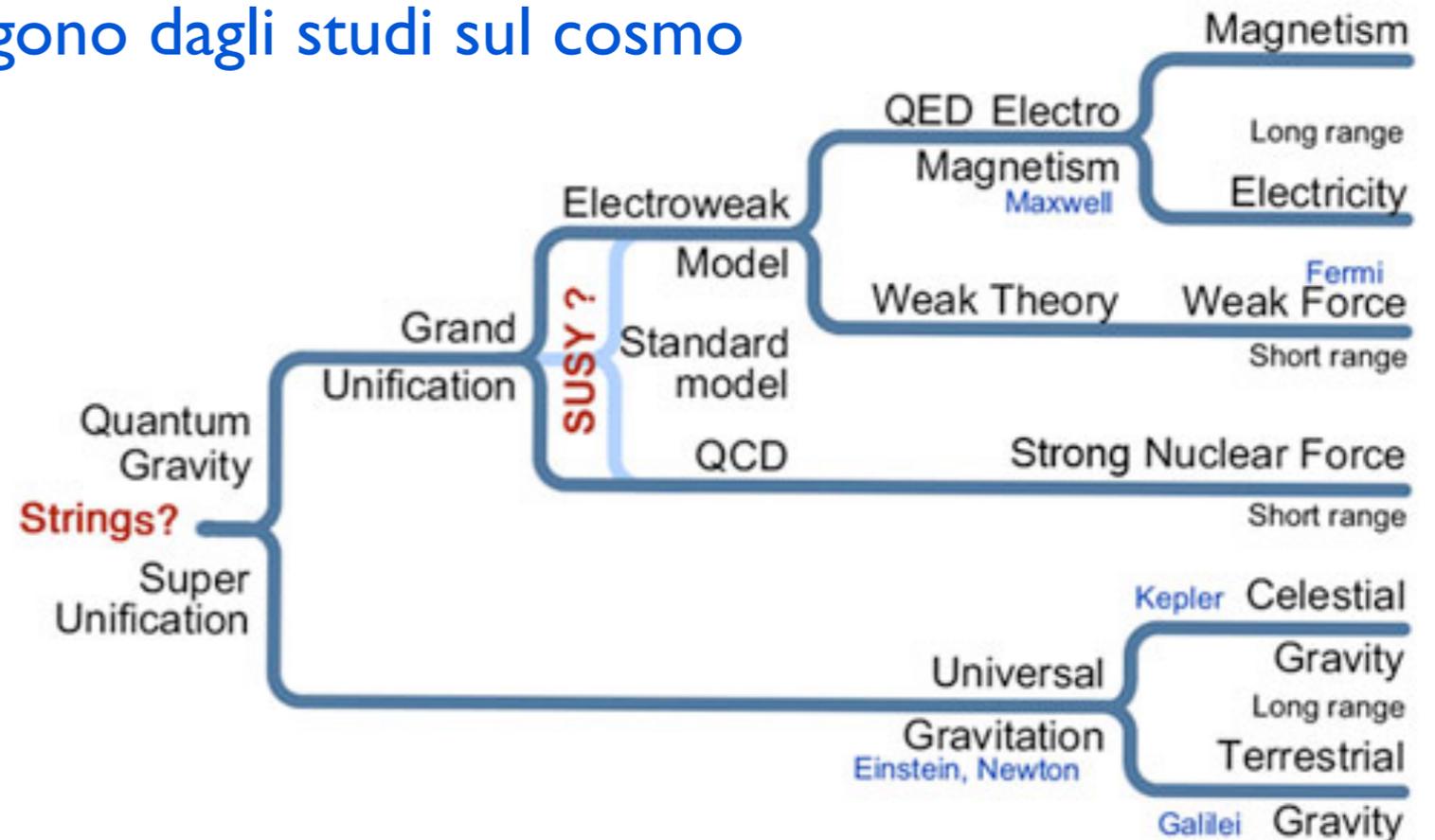
### Bosons (W,Z)

Neutron decay  
Beta radioactivity  
Neutrino interactions  
Burning of the sun



# Modello “Standard” delle particelle

- Testato al meglio del %
- Basato su due teorie del XX secolo che hanno rivoluzionato il nostro mondo
  - Relatività ristretta: Energia atomica, telecomunicazioni, acceleratori per l'industria e la medicina ...
  - Meccanica quantistica: Elettronica, Laser, fotonica, superconduttività, memorie USB ...
- Tuttavia non incorpora ancora la Relatività Generale: pensate al GPS
- Nè descrive i dati che provengono dagli studi sul cosmo



# Breve storia delle particelle elementari

- 1897: Scoperta della prima particella subatomica da parte di J.J Thompson : l'elettrone.
- 1905: Einstein spiega l'effetto fotoelettrico con il fotone
- 1911: Rutherford scopre il nucleo
- 1930: Pauli "inventa" il neutrino per spiegare l'apparente mancanza della conservazione dell'energia nei decadimenti "beta" dei nuclei
- 1932: Chadwick scopre il neutrone , che se isolato decade in:  $n \rightarrow p + e^- (+ \bar{\nu}_e)$  . Anderson scopre il positrone nei raggi cosmici.
- 1937: Anderson scopre il muone
- Negli anni '40-'50 scoperti altre particelle elementari nei raggi cosmici
- Dagli anni '50 in poi si scoprono migliaia di particelle con gli acceleratori. È chiaro che ci deve esser qualcosa di più elementare
- 1956: scoperto il neutrino con esperimenti ai reattori nucleari
- 1961-64: Gell-Man apre la strada alla teoria dei quark
- Rapidamente tra il 1974 ed il 1977 si scoprono altri quark
- 1982: Rubbia scopre i W e le Z
- 1989: Il Large Electron Positron Collider (LEP) misura 3 famiglie di neutrini
- 1995: un esperimento italo-americano-giapponese scopre il top quark a FNAL (Chicago)

# Come si “vedono” le strutture

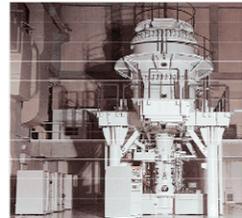
- La lunghezza d'onda della *luce* che serve per vedere le cose è proporzionale alle loro dimensioni
- Le onde radio permettono l'osservazione delle galassie con i radiotelescopi
- Un fascio di luce visibile ed un microscopio permettono di vedere le cellule
- Un microscopio a scansione, con fasci di elettroni, permette di vedere il DNA
- Un acceleratore con un fascio di particelle consente di *vedere* i nuclei atomici ed i quark

# Le dimensioni delle cose e gli strumenti

## STRUMENTI



Accelerators  
LHC, LEP



(Particle beams)  
Electron  
Microscope  
Microscope



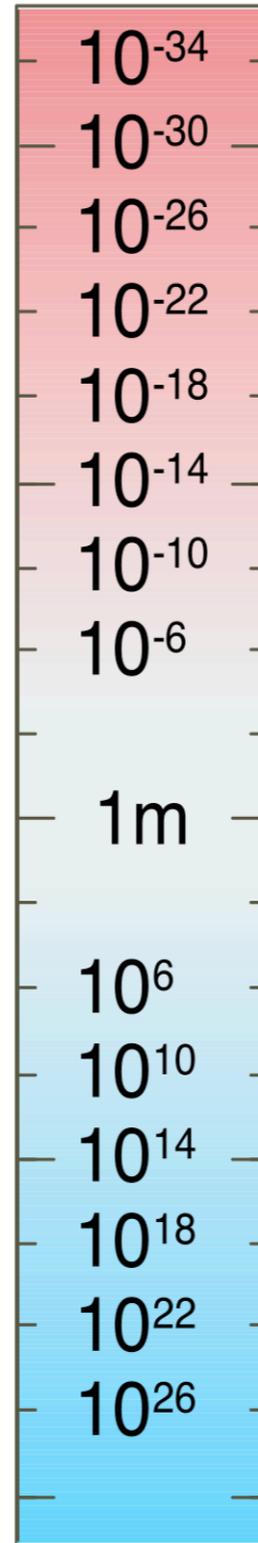
1m



Telescope

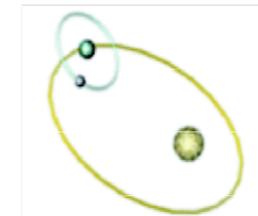
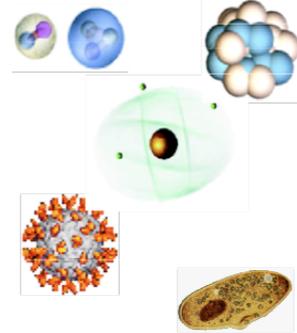


Radio  
Telescope



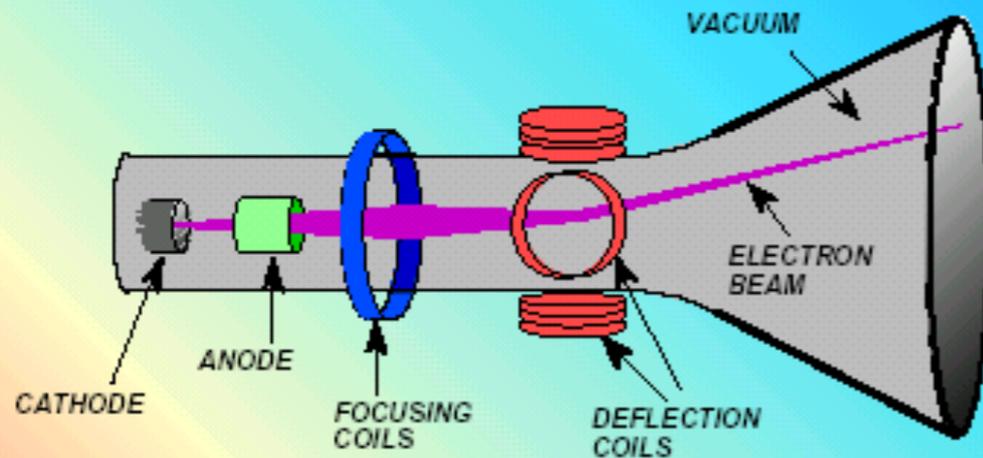
SUSY particle?  
Higgs? (range of nuclear force)  
Z/W (range of weak force)  
Proton  
Nuclei  
Atom  
Virus  
Cell

## OSSERVABILI



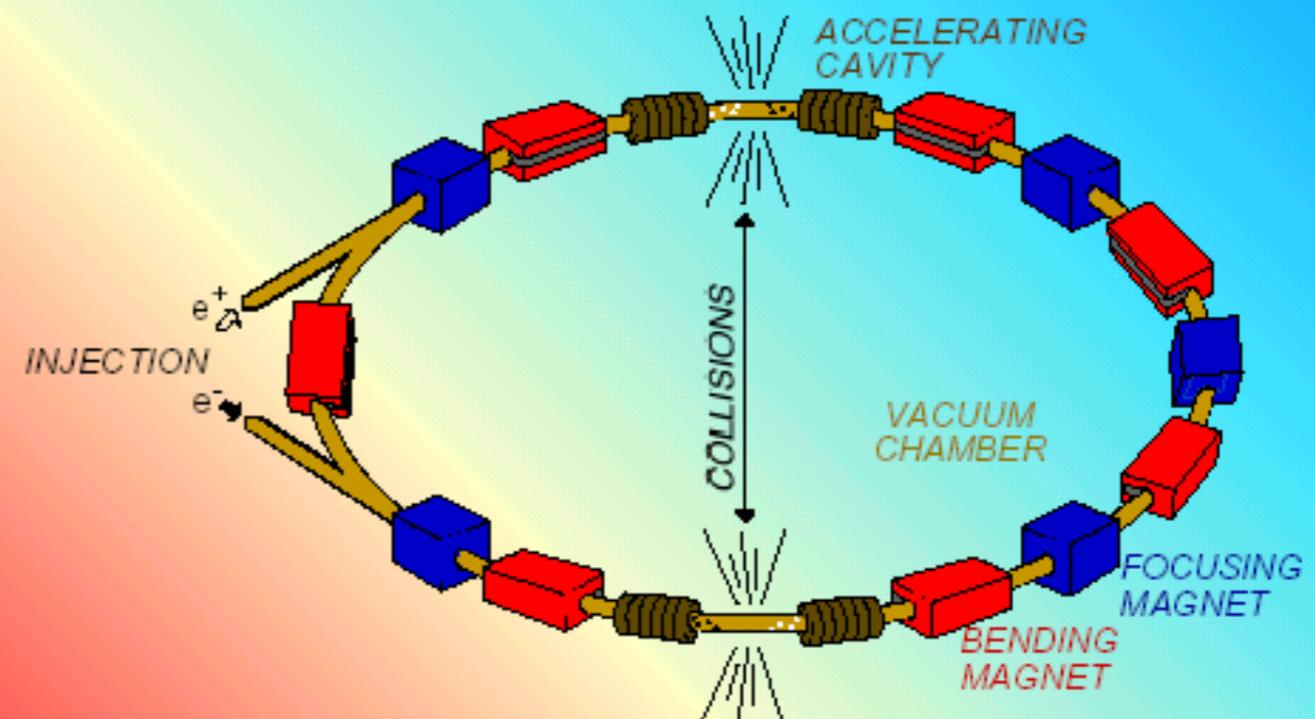
Earth radius  
Earth to Sun  
Galaxies  
Radius of observable  
Universe

## A Particle Accelerator



- the voltage in a T.V. is typically 20kV
- i.e. the energy of each electron is 20keV
- LEP electrons are 50 billion eV (50 GeV)
- 50 Gigavolts --> circular machine

## Accelerator Ring



	Beams	Energy GeV	Luminosity
<b>LEP</b>	e <sup>+</sup> e <sup>-</sup>	200	10 <sup>32</sup> cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
<b>LHC</b>	p p Pb Pb	<b>14000</b> 1,312,000	<b>10<sup>34</sup></b> 10 <sup>27</sup>

# I laboratori nel mondo



- LHC è il più grande e potente collisore di particelle che esista al mondo, costruito presso il CERN di Ginevra
- Tunnel sotterraneo circolare lungo 27 km
  - ~10 mila magneti superconduttori raffreddati alla temperatura di elio superfluido ( $-271.3\text{ °C}$ ) (più bassa della temperatura dello spazio interstellare  $-270.5\text{ °C}$ )
  - 16 cavità acceleratrici raffreddate alla temperatura dell'elio liquido ( $-268.7\text{ °C}$ )
  - ~9000 m<sup>3</sup> di tubo a vuoto (10 volte più vuoto che nell'atmosfera lunare!) dove circolano fasci di protoni (e ioni) in sensi opposti che si scontrano in 4 punti dove sono presenti degli apparati di rivelazione
  - ~240 MW di potenza di picco (~ 2/3 da LHC)

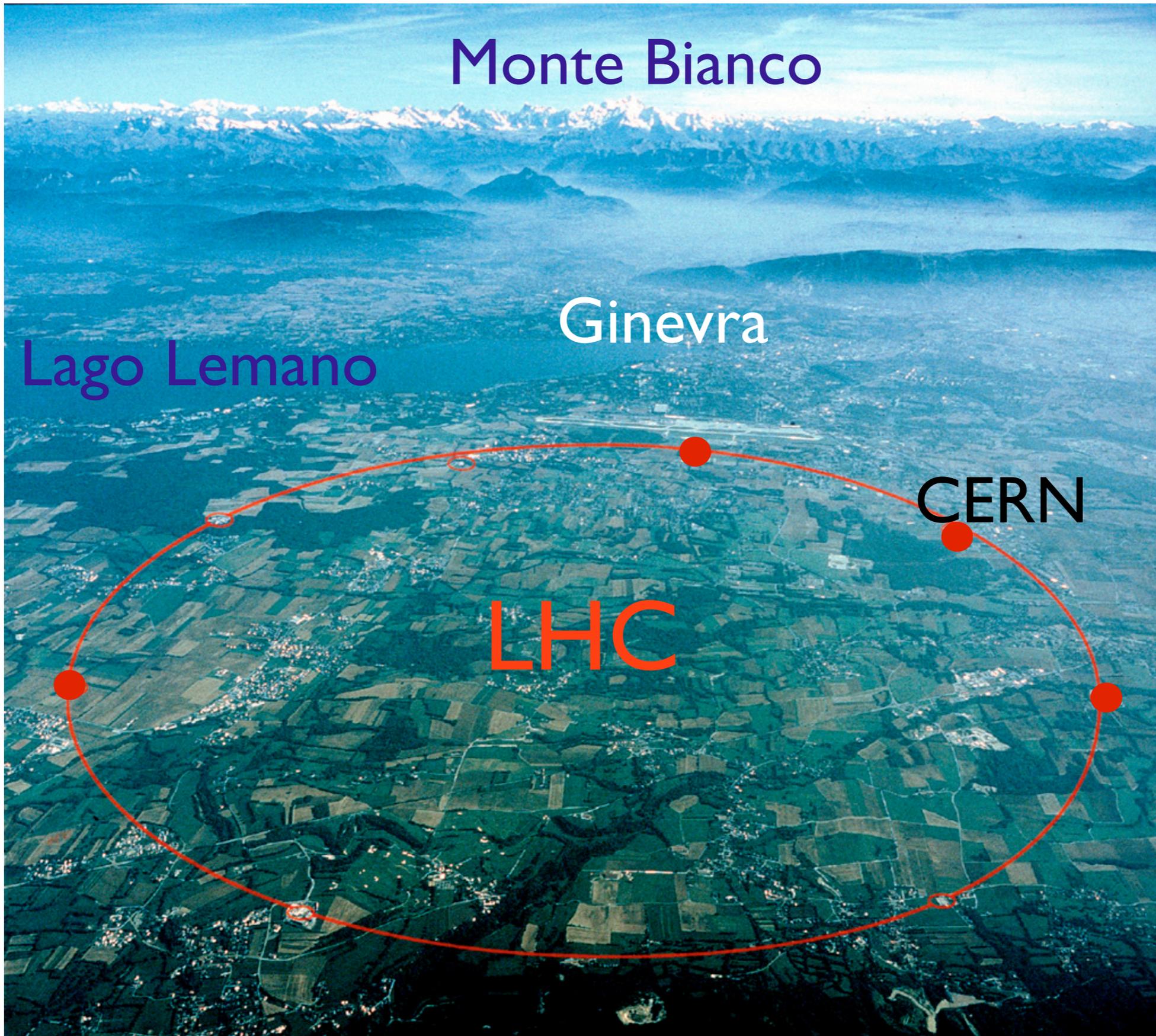
Monte Bianco

Ginevra

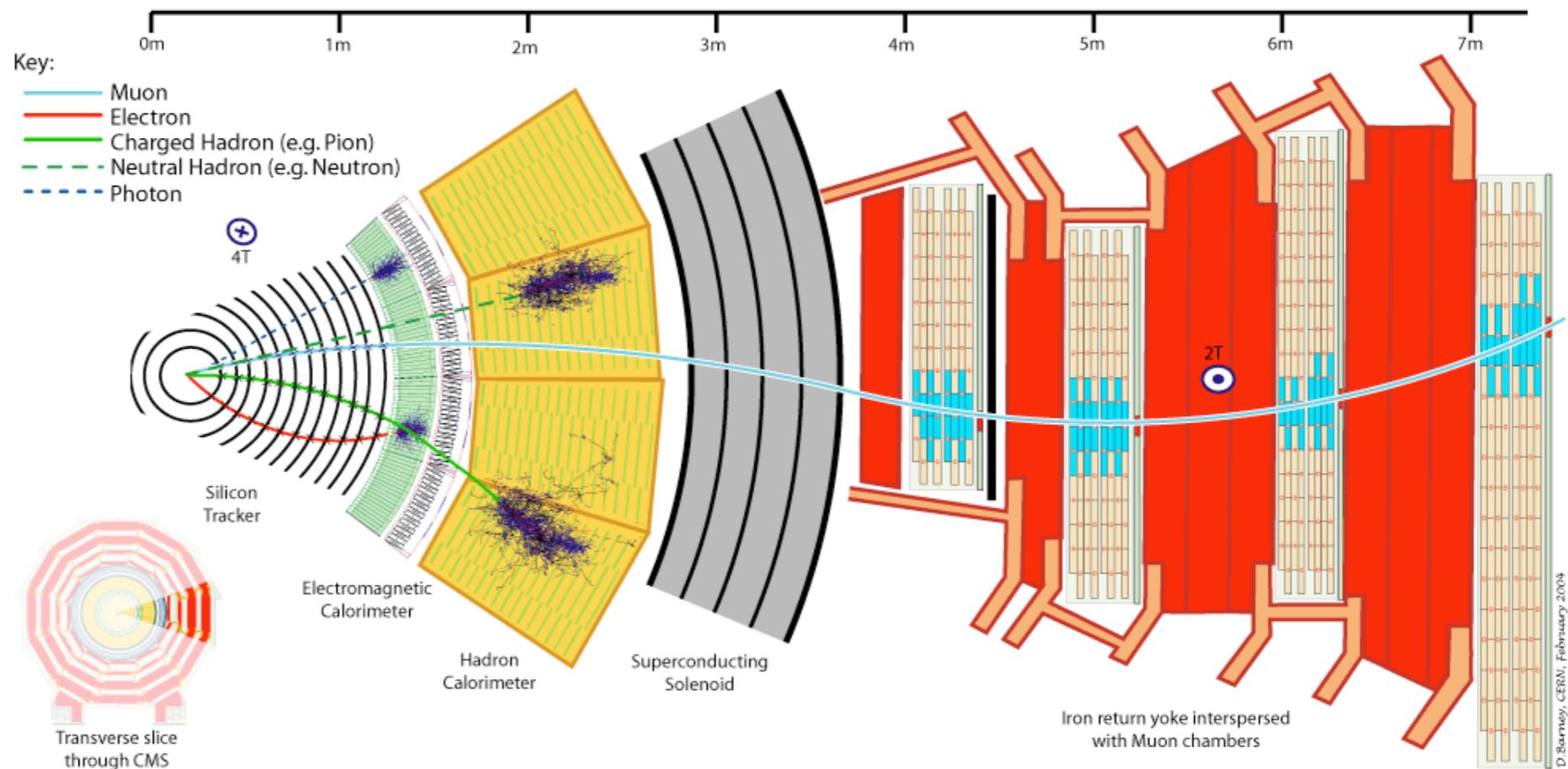
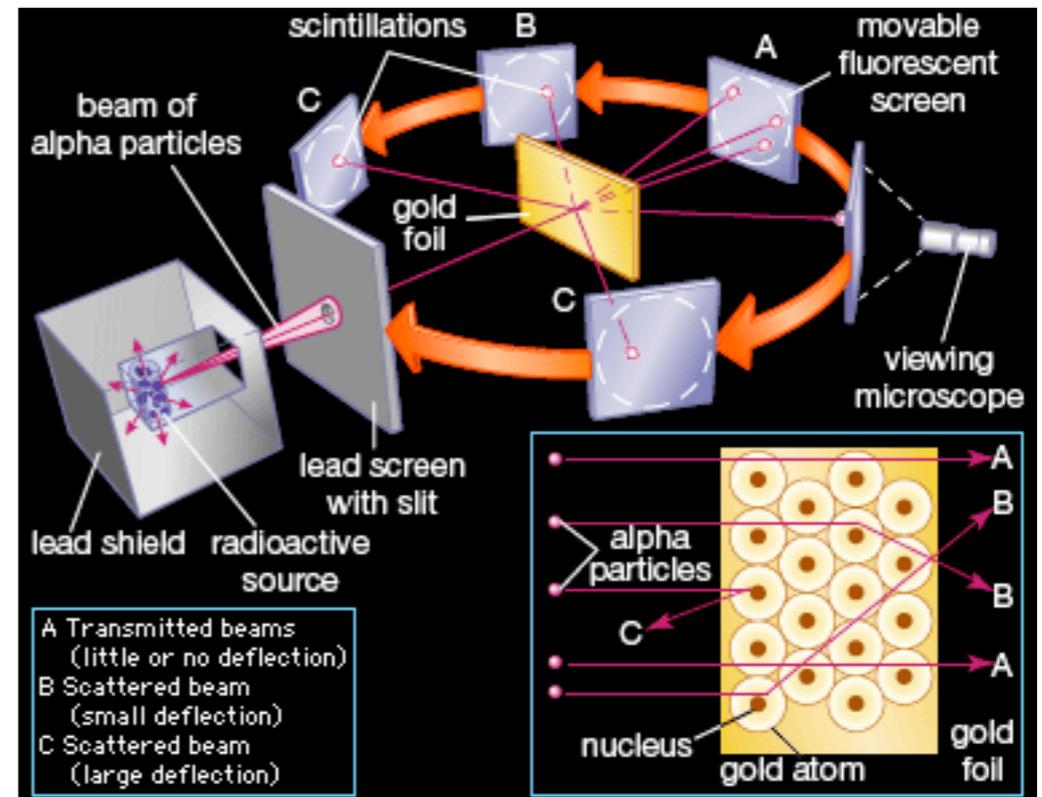
Lago Lemano

CERN

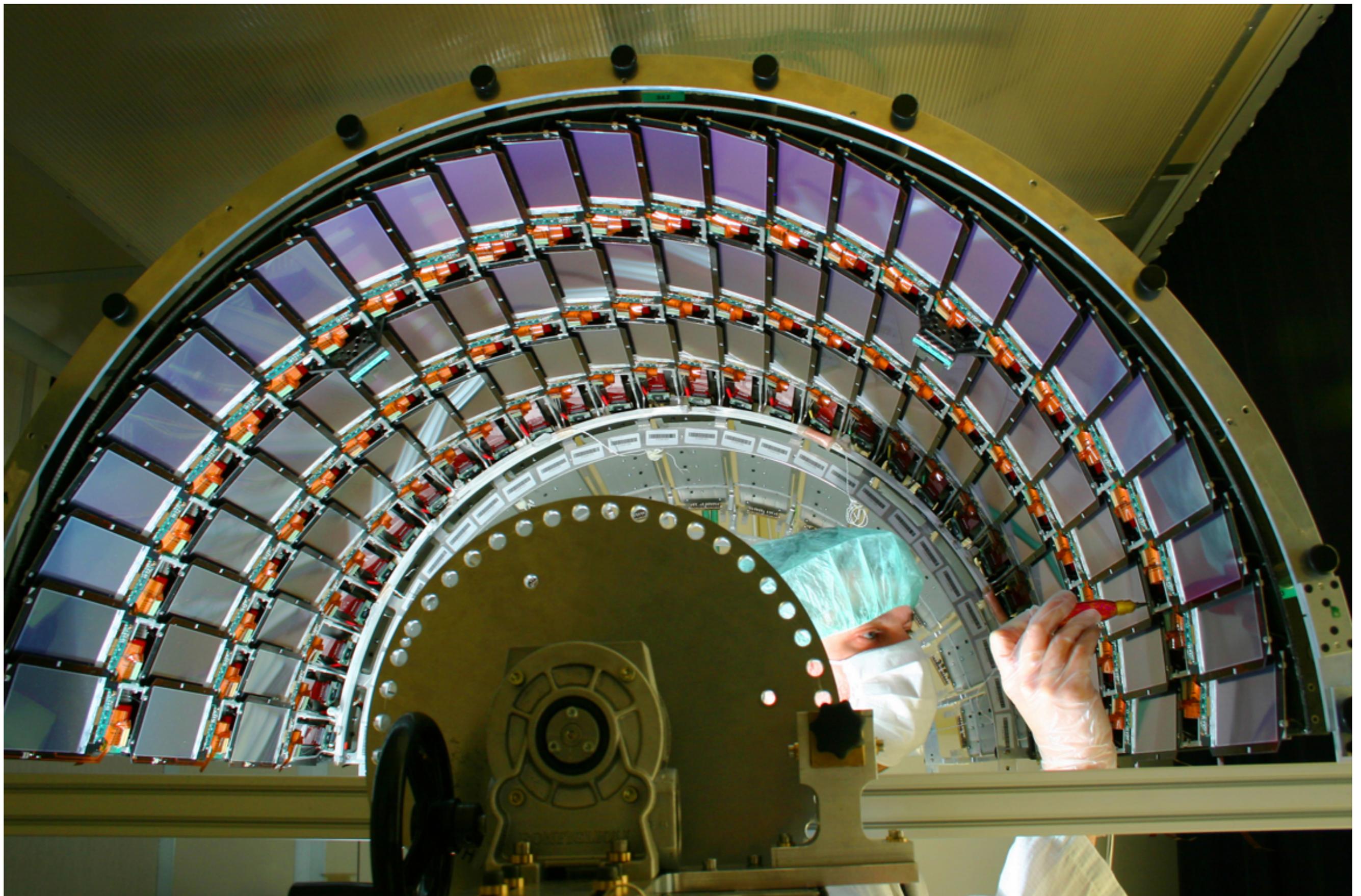
LHC



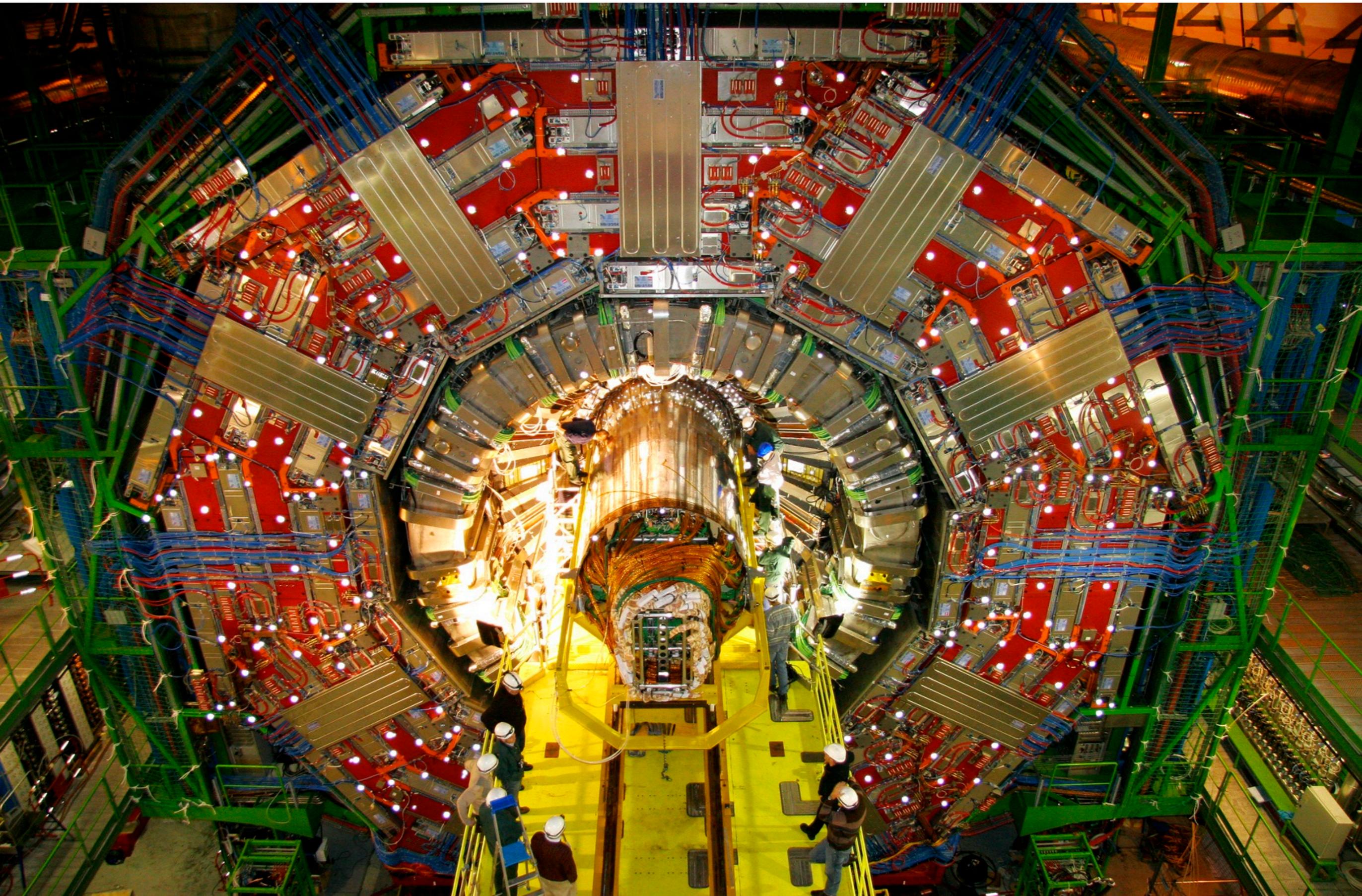
- Rutherford 1911
- CMS 2009



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



# Dicembre 07: Il Tracciatore inserito in CMS



# Le domande alle quali LHC potrebbe dare risposta

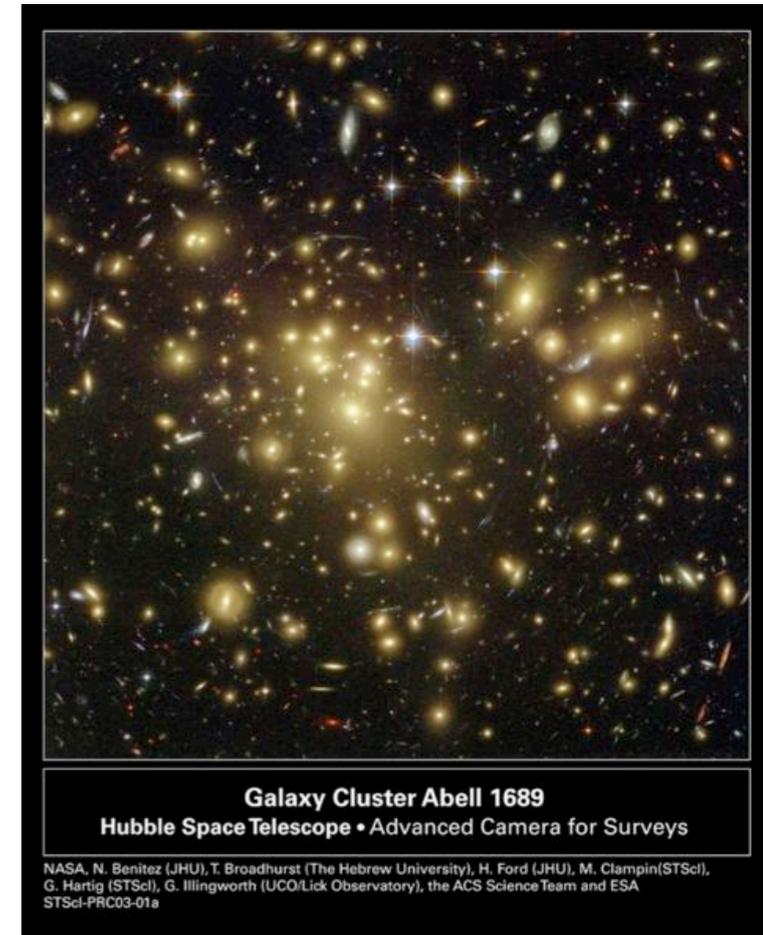
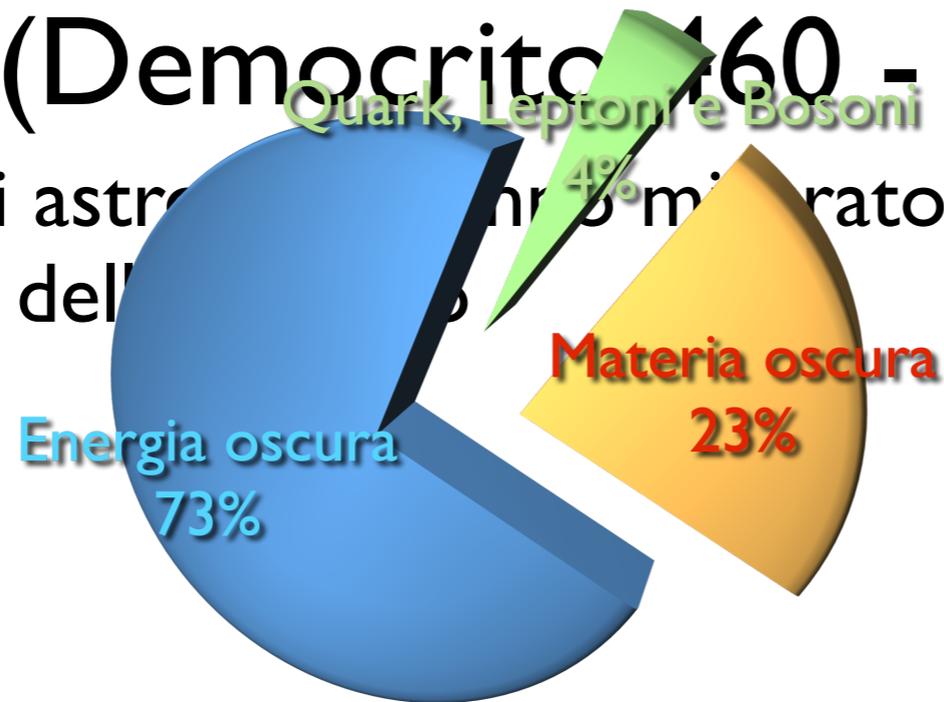
- Qual è l'origine della massa?
- Di cosa è fatto l'Universo?
- Perché la Natura ha una preferenza tra materia ed antimateria o sinistra rispetto a destra?
- In che modo la gravità si comporta a piccolissime dimensioni?

Curiosamente (ma non troppo!) queste domande sono connesse alla ricerca condotta in astrofisica

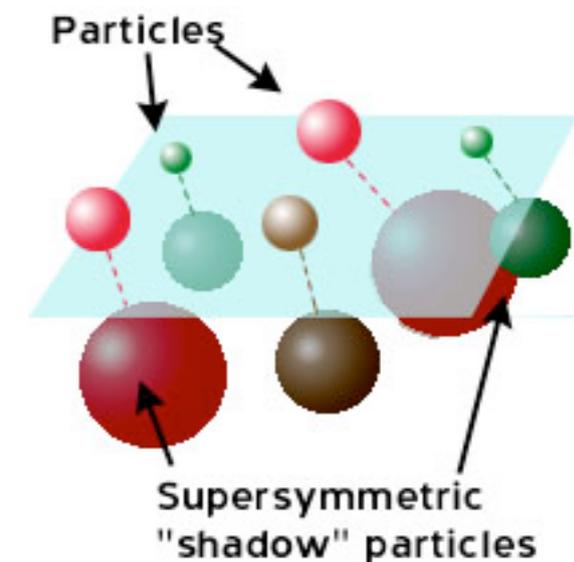
# Di cos'è fatto l'Universo?

(Democrito 460 - 370 a.C.)

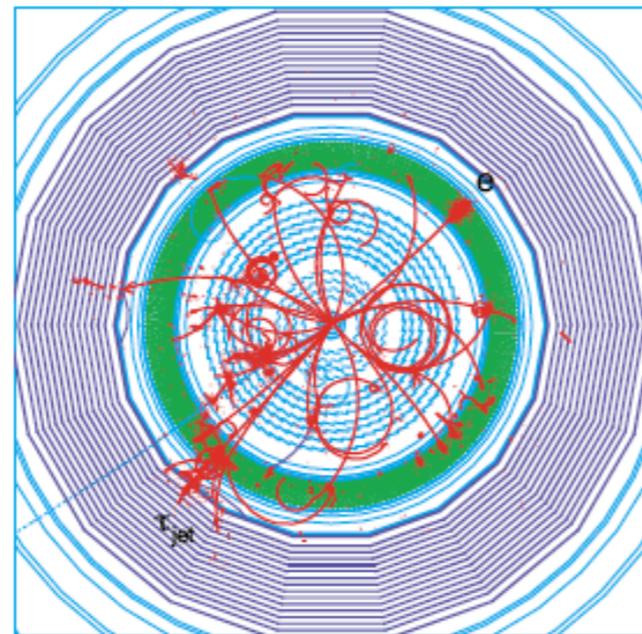
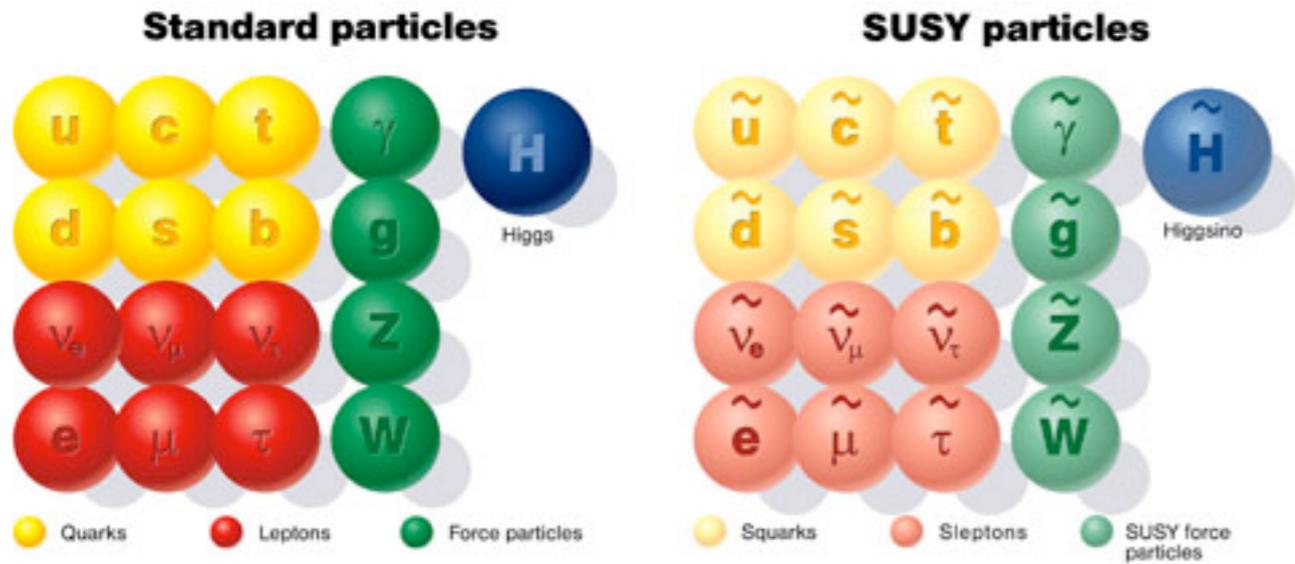
- Esperimenti di astronomia hanno misurato la composizione dell'Universo



- La teoria della Supersimmetria e le sue estensioni spiegano la materia oscura con nuove particelle neutre che LHC potrebbe produrre
- Queste teorie prevedono anche l'esistenza di dimensioni aggiuntive rispetto alle 4 attuali conosciute (3 spaziali + 1 temporale)

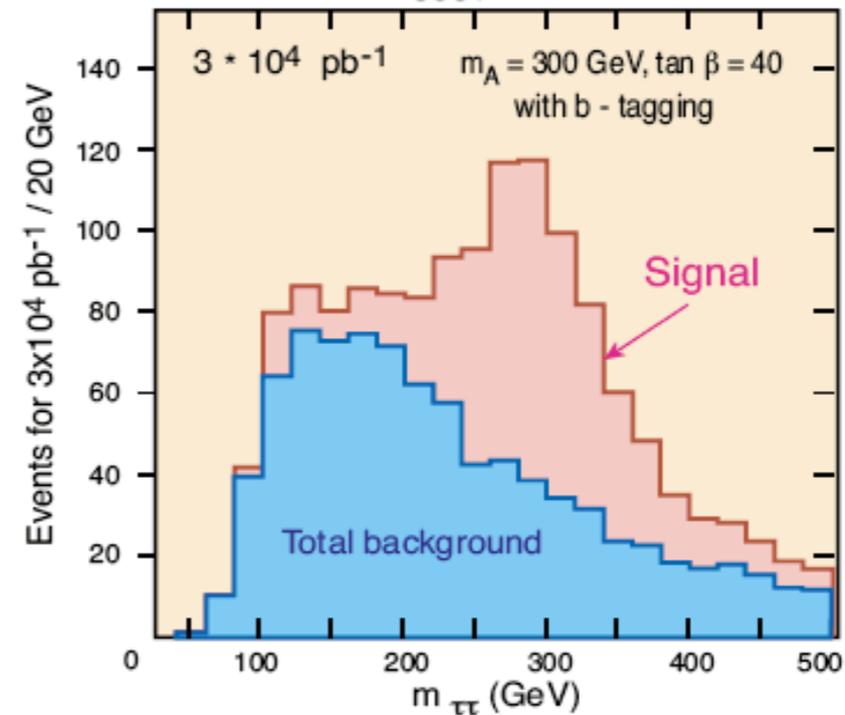


# Supersymmetria

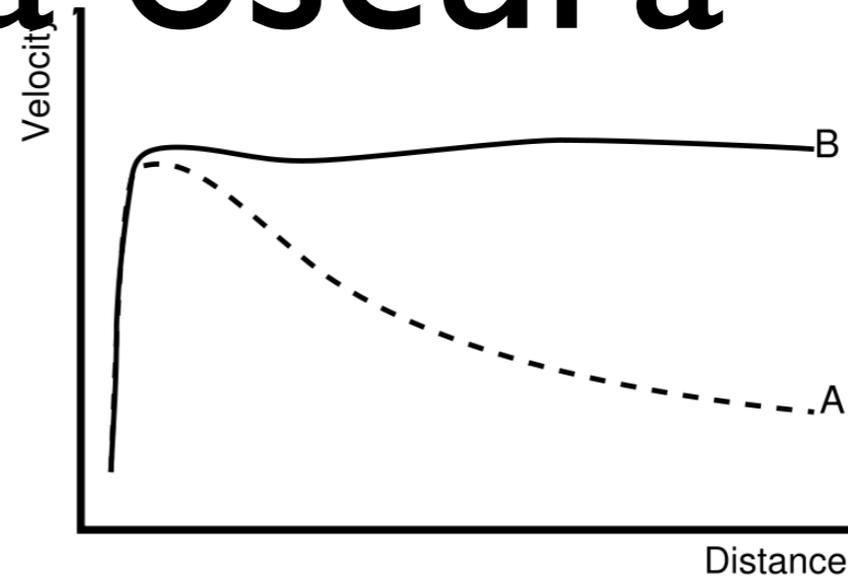


$H \rightarrow \tau\tau \rightarrow e + \tau_{jet}$  ("3-prong")

$A^0, H^0, h^0 \rightarrow \tau^+\tau^- \rightarrow e/\mu + \tau_{jet} + E_t^{miss}$   
in  $b\bar{b}H_{SUSY}$  final states



# Materia oscura

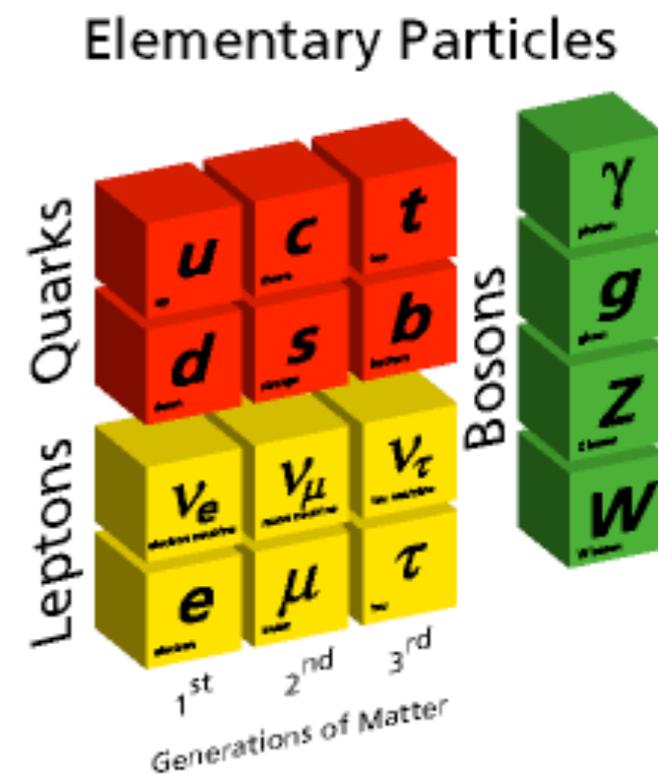


- Evidenza dalla curva di rotazione delle galassie
- Dalle osservazioni astronomiche



# L'origine della massa

- Il Modello Standard delle particelle spiega la composizione della materia (quark e leptoni) e dei loro meccanismi di interazione (bosoni)
- Negli ultimi 20 anni abbiamo verificato il modello con estrema precisione. Il modello è in grado di spiegare l'enorme differenza tra le masse delle particelle.
- Tuttavia non siamo ancora stati in grado di verificare la particella attraverso la quale tutte le altre acquisiscono la loro massa: **il bosone di Higgs**.
- LHC è stato progettato per poterla scoprire.



# Il bosone di Higgs

- **Avere una massa vuol dire esser soggetti ad un rallentamento: maggiore è la massa, maggiore è il rallentamento.**
- Il “meccanismo di Higgs” spiega il modo attraverso il quale una particella acquista massa
- Il bosone di Higgs genera un *campo* di forze che interagisce con le particelle fornendogli massa
- Analogamente a quanto avviene quando in una folla di persone appare una personalità importante, che *acquista* massa perchè rallentata dalla folla che vuole interagirci.



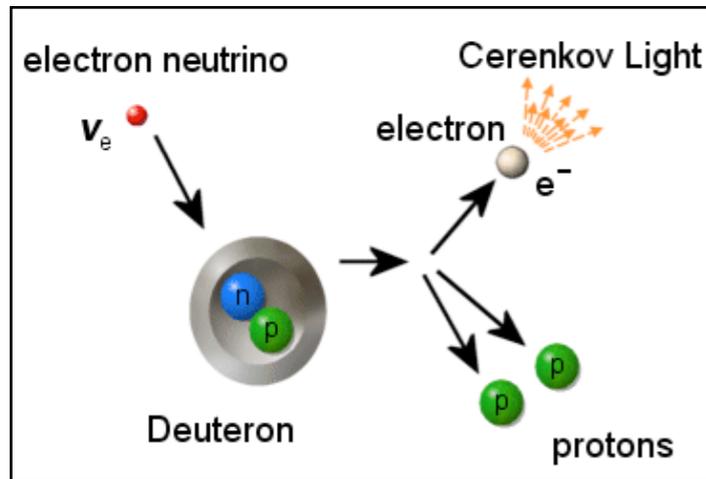
# Perchè la Natura non è simmetrica?

- È un fatto che la Natura faccia preferenze tra destra o sinistra, tra materia ed antimateria ecc.
- Le osservazioni dimostrano che l'universo abbia più materia che anti-materia
  - Al Big-Bang l'antimateria e la materia erano state prodotte in egual numero
  - Come ha intuito A. Sakarov nel 1967, è possibile che pur partendo da un universo con la stessa quantità di materia ed antimateria, esso evolva nel tempo producendo un'asimmetria
  - La teoria del Modello Standard fornisce un quadro teorico a quella intuizione
  - LHC potrà verificare la teoria che permette questa violazione di simmetria

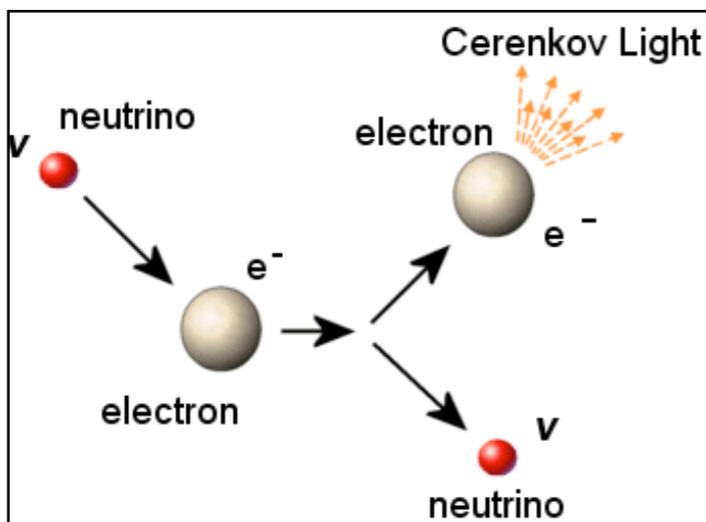
# Neutrini

- Densità dei neutrini nell'Universo  $\sim 330/\text{cm}^3$ . (0.4% dal Sole): flusso  $\sim 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 
  - 0.5 protoni/ $\text{cm}^3$ .
  - $\sim 400$  fotoni/ $\text{cm}^3$ .
- Sappiamo ormai che i neutrini hanno massa, ma la loro massa è estremamente piccola: perchè?
- I neutrini interagiscono molto poco con la materia. Benchè il loro flusso sia così elevato

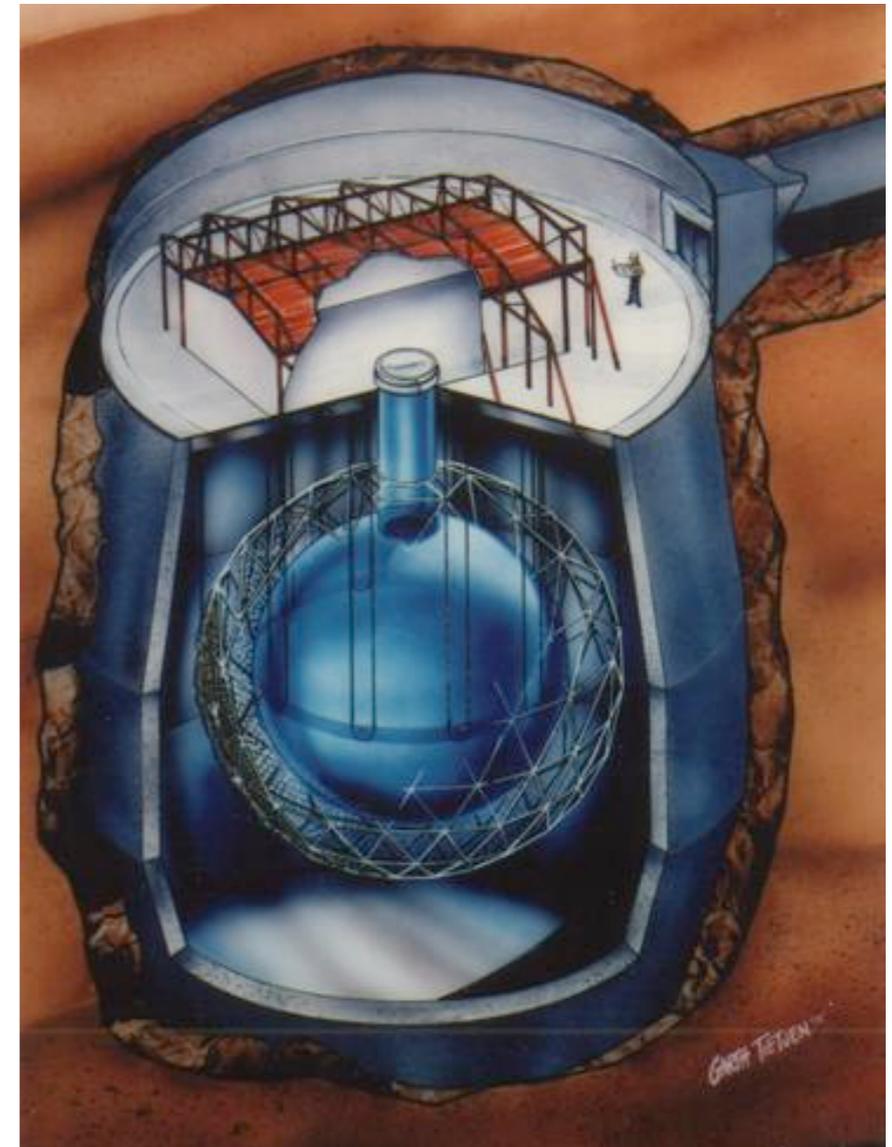
- ~1000 tonnellate di acqua pesante per rivelare neutrini di 3 tipi hanno dimostrato inequivocabilmente che i neutrini hanno massa



Solo  
neutrini-elettrone

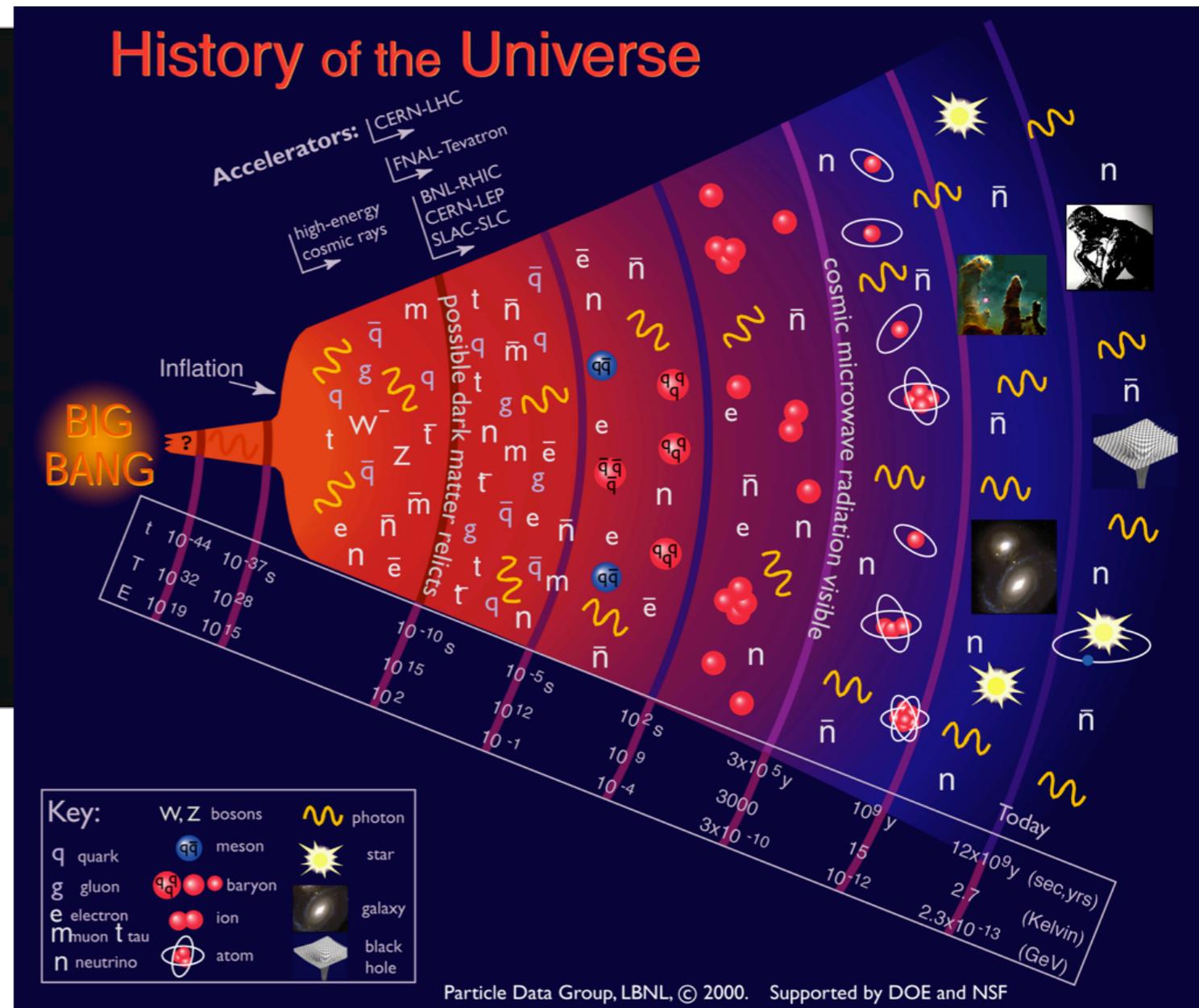
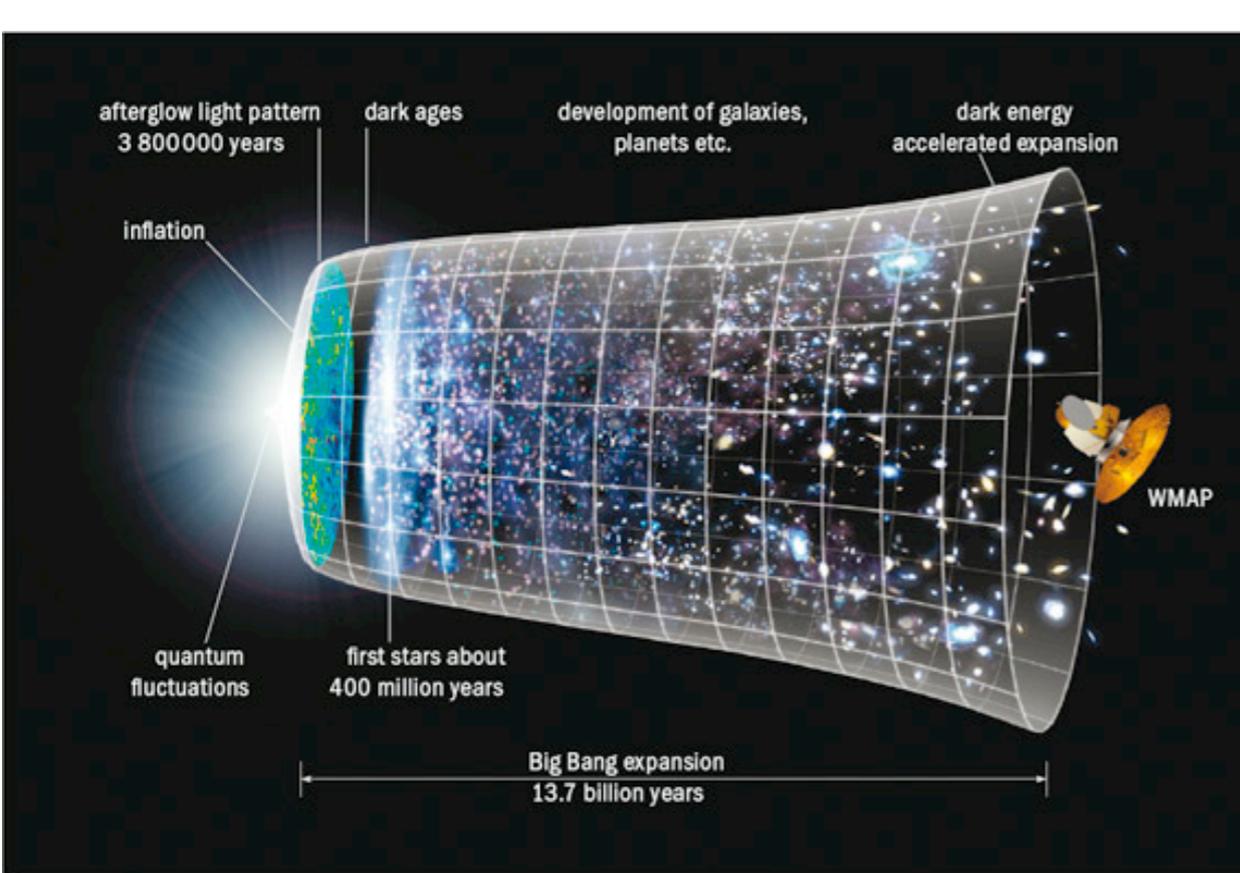


Tutti i tipi di  
neutrini

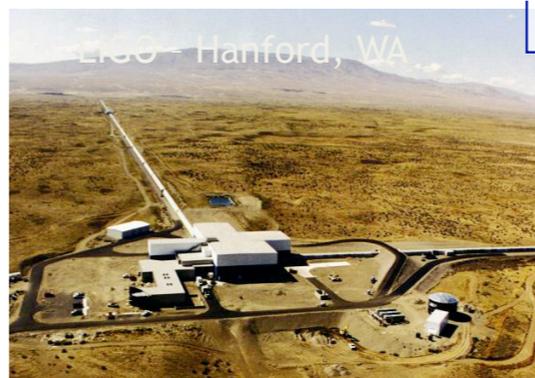
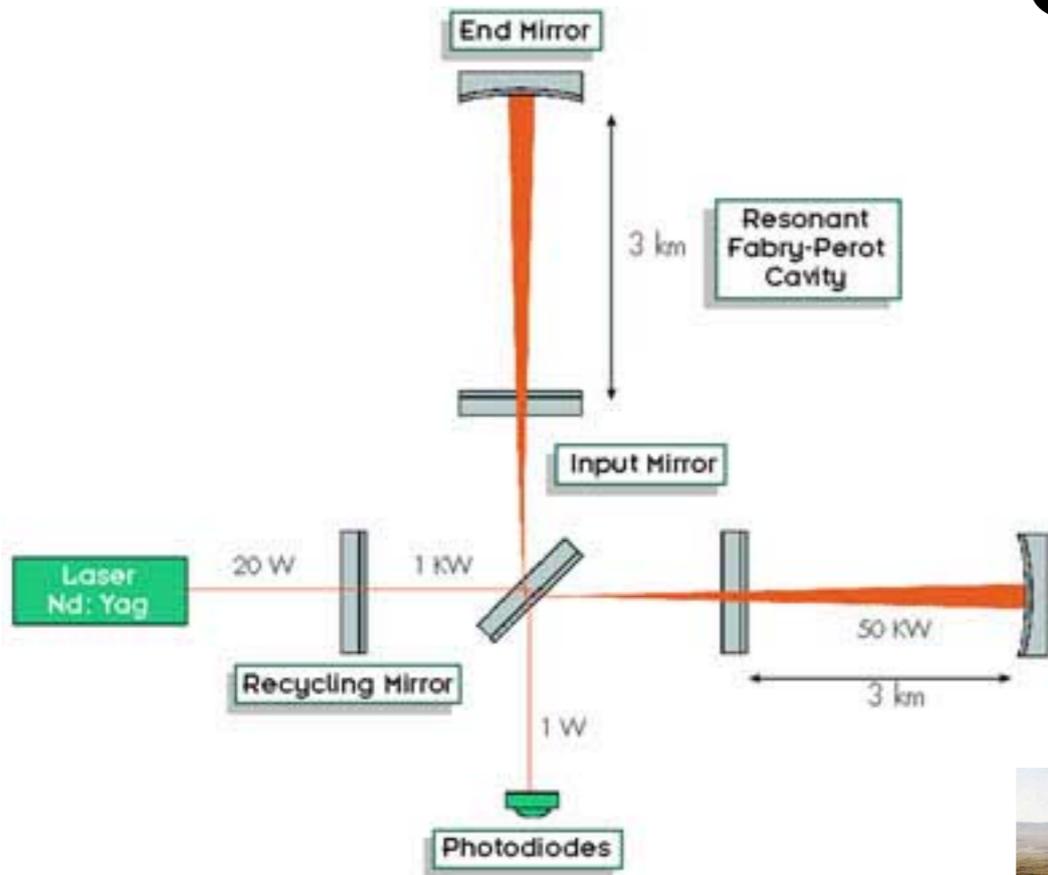


<http://www.sno.phy.queensu.ca/>

# Evoluzione dell'Universo



# Onde gravitazionali



A network of 4 (5) GW detectors

