

# La Ricerca a LHC

(acceleratori di particelle e buchi neri)

Roberto Ferrari  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Liceo Marconi  
Parma, 6 febbraio 2010

# Sommario

1. - l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
2. - il CERN
3. - qualche elemento di base
4. - l'universo e la forza di gravità
5. - lo studio delle particelle elementari
6. - LHC
7. - ATLAS

# 1. L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

<http://www.infn.it/indexit.php>



# I.N.F.N.

L'INFN promuove, coordina e realizza la ricerca fondamentale sui costituenti fondamentali della materia dell'Universo, ovvero la ricerca in fisica nucleare, subnucleare ed astroparticellare

# A cosa serve la ricerca fondamentale?

[ Bob Wilson, fondatore del Fermilab  
alla commissione governativa sull'energia, 1969 ]

....  
*It has nothing to do directly with defending our country  
except to make it worth defending.*

(Non ha nulla a che fare direttamente  
con la difesa militare del nostro paese,  
se non fare sì che valga la pena difenderlo)

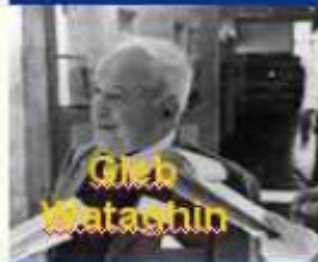
# La Nascita



## Origini dell'INFN

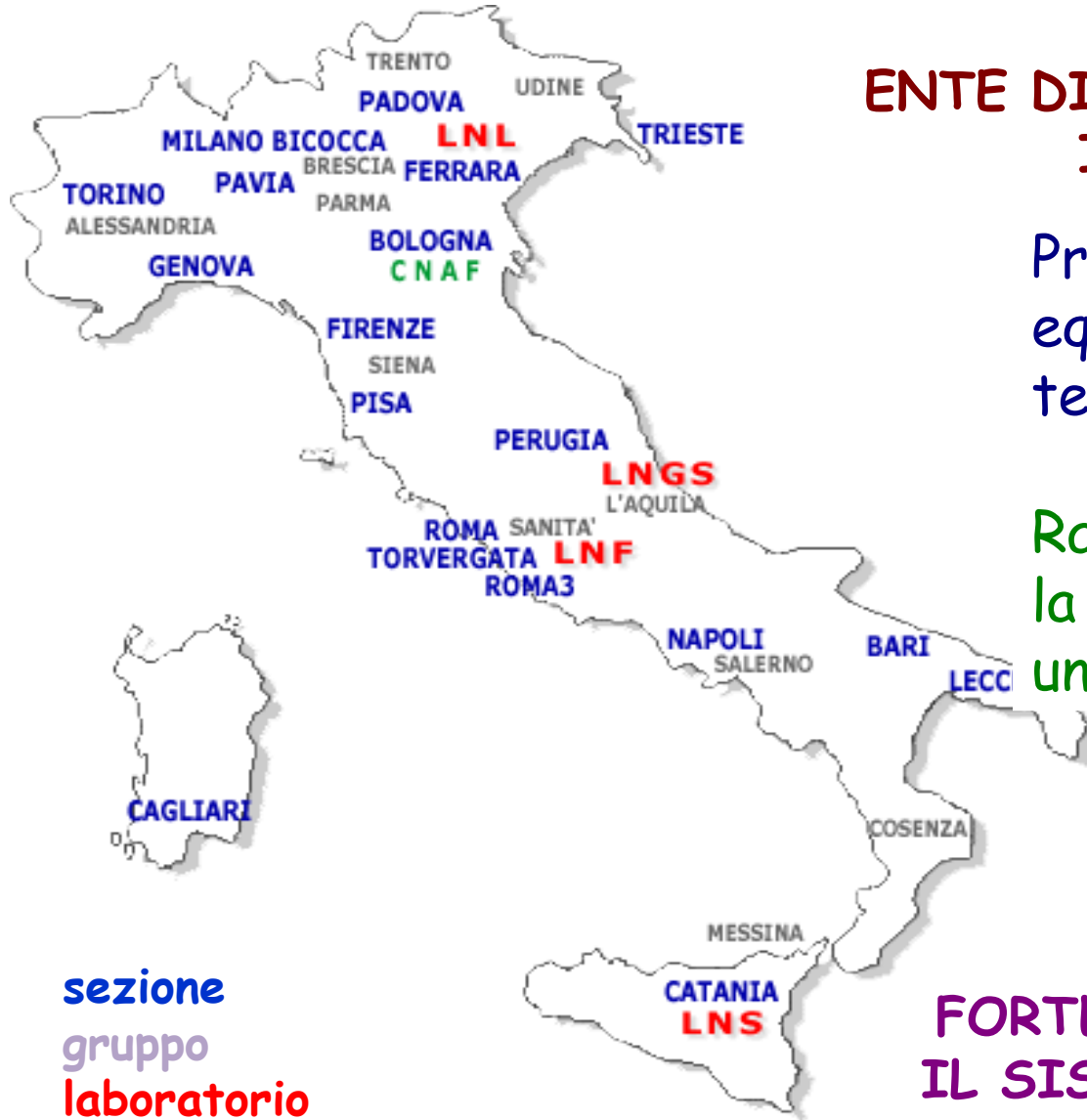
- 1951, 8 agosto: fondazione
  - Torino, Padova, Roma
- 1952: struttura in sezioni con l'aggiunta della sezione di Milano e laboratorio Testa Grigia (plateau Rosà 3480m)

Idea di Enrico Fermi degli anni '30. Il finanziamento delle singole Università non era sufficiente per le ricerche di Fisica atomica e nucleare. Occorreva un organismo nazionale interuniversitario.



Scopo: costruire un grande acceleratore che permettesse di fare ricerca competitiva

# L'INFN Oggi



**ENTE DISTRIBUITO SU TUTTO  
IL TERRITORIO**

Presenza capillare ed  
equilibrata in tutto il  
territorio (16 regioni su 20)

Raggruppa 5000 ricercatori,  
la maggior parte  
universitari.

sezione  
gruppo  
laboratorio

**FORTEMENTE INTEGRATO CON  
IL SISTEMA UNIVERSITARIO**

# L'Organizzazione

5 linee di ricerca coordinate dalle  
"Commissioni Scientifiche Nazionali"

1: particelle (fisica delle alte energie -> acceleratori)

2: astro-particelle (raggi cosmici)

3: fisica nucleare (sonde di "bassa energia")

4: fisica teorica

5: ricerca tecnologica



# Attività "senza frontiere"

I gruppi di ricerca I.N.F.N. nella fisica delle "alte energie":

FermiLab (USA) → TeVatron

SLAC (USA) → PEP II

Desy (Germania) → HERA

GSI (Germania) → FAIR

PSI (Svizzera) → Proton Acc.

CERN → SPS, LHC

LNf (Frascati) → DAPHNE

# Astro - Particelle

In terra: *Argo, Magic, ..., Virgo* (onde gravitazionali)

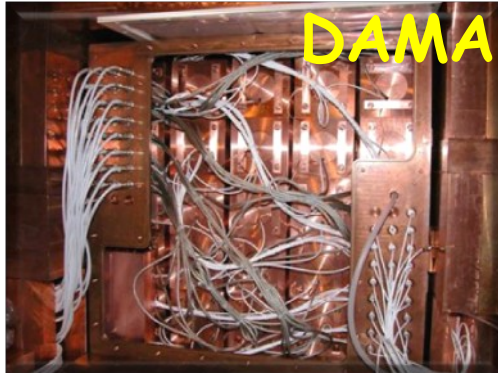
Sotto terra: *Opera, Warp, Dama, Cuore, ...*

In cielo: *Agile, Boomerang, Fermi-Glast, ...*

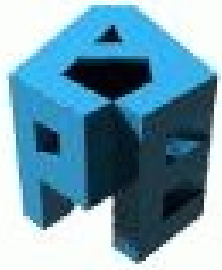
In mare: *Antares, Nemo, ...*

\*c'e' anche chi fa preferisce il ghiaccio del polo sud  
(a ~ 2 km di profondità): *Amanda, IceCube*

# Astro - Particelle



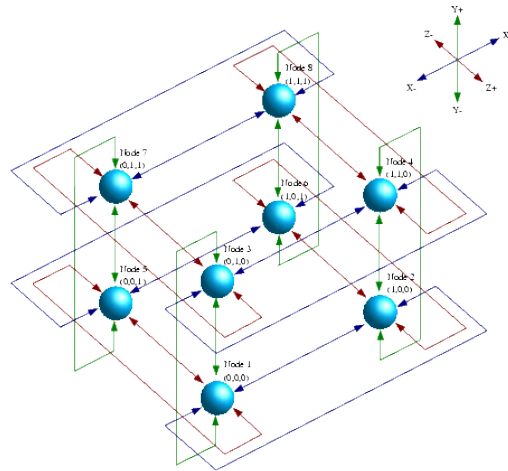
Parma, 6 febbraio 2010



# Dalla Fisica Teorica (!?) al Super-Computing ovvero il progetto APE



N. Cabibbo



Progetto INFN, in collaborazione con  
DESY Zeuthen e Université Paris-Sud 11



“Italiano uno dei supercomputer  
piu' potenti al mondo”  
Newton, 24 gennaio 2005



# "Ricadute Tecnologiche"

Ovvero l'INFN entra nella vita di tutti:

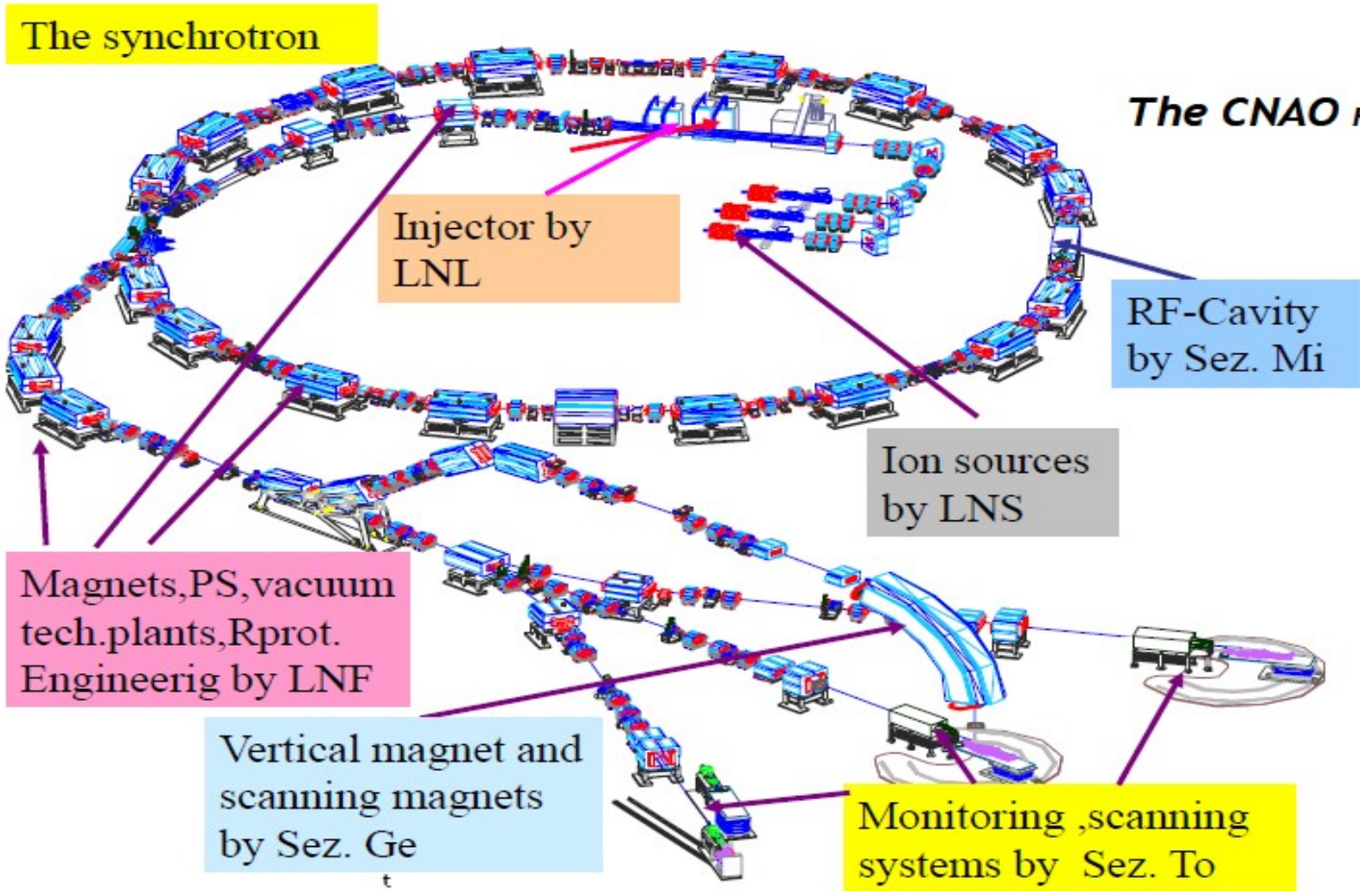
CNAO - Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica

Centro per la cura di tumori con fasci di particelle (protoni e ioni carbonio), in costruzione a Pavia.

**Tutta la parte di generazione e controllo dei fasci è sviluppata dall'INFN.**

Centro simile in costruzione in Austria (sempre con il coinvolgimento dell'INFN)

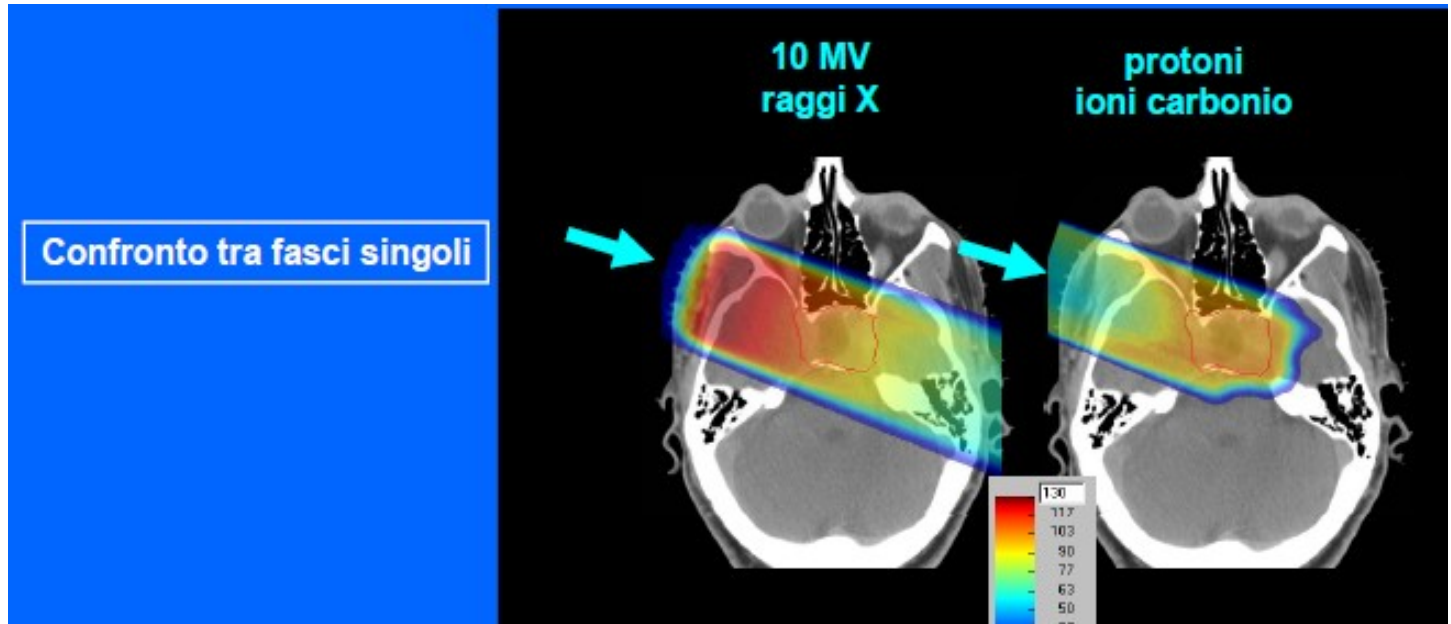
# CNAO / INFN



# Adro Terapia



**Vantaggi  
Macroscopici:**



# La PET: tomografia a positroni



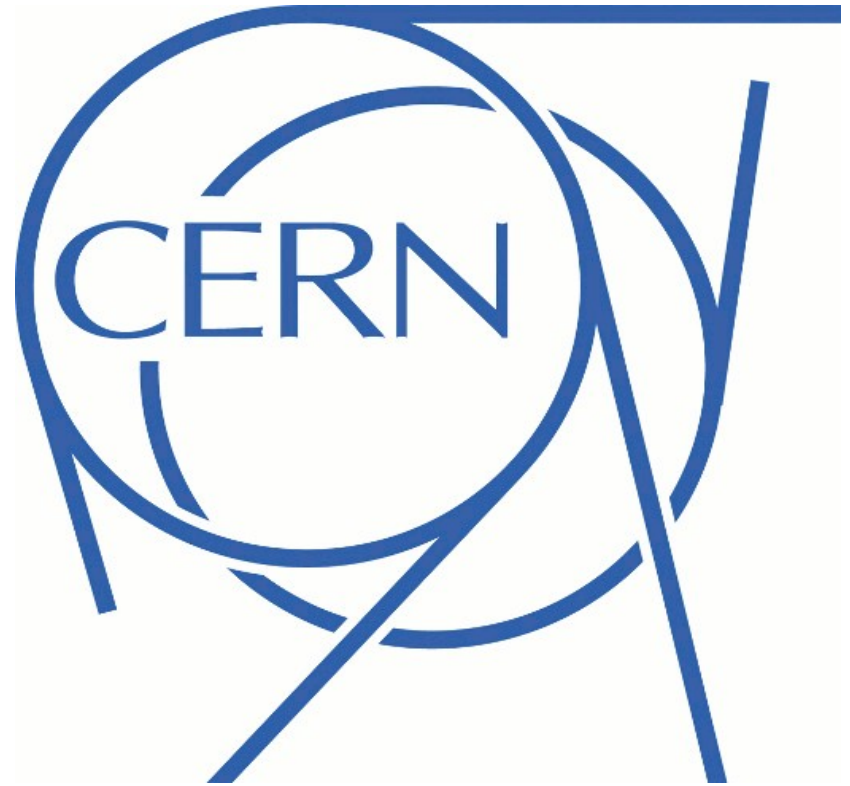
Parma, 6 febbraio 2010



## 2. II CERN

<http://www.cern.ch>

European  
Organization for  
Nuclear Research



# CERN

Fondato nel 1954 da 12 stati membri (ora sono 20)

Laboratorio (ma non solo) di ricerca europeo per la fisica delle particelle

→ piu' grande del mondo nel settore

Dati 2007:

- 2600 dipendenti (staff), dei quali circa 1000 fisici e ingegneri
- coinvolge 9000 ricercatori da 560 istituti in 59 nazioni
- bilancio ~ 600 milioni di euro (bilancio INFN ~ 270 milioni di Euro)

Stati membri contribuiscono proporzionalmente al proprio prodotto interno lordo (Italia ~ 13%)

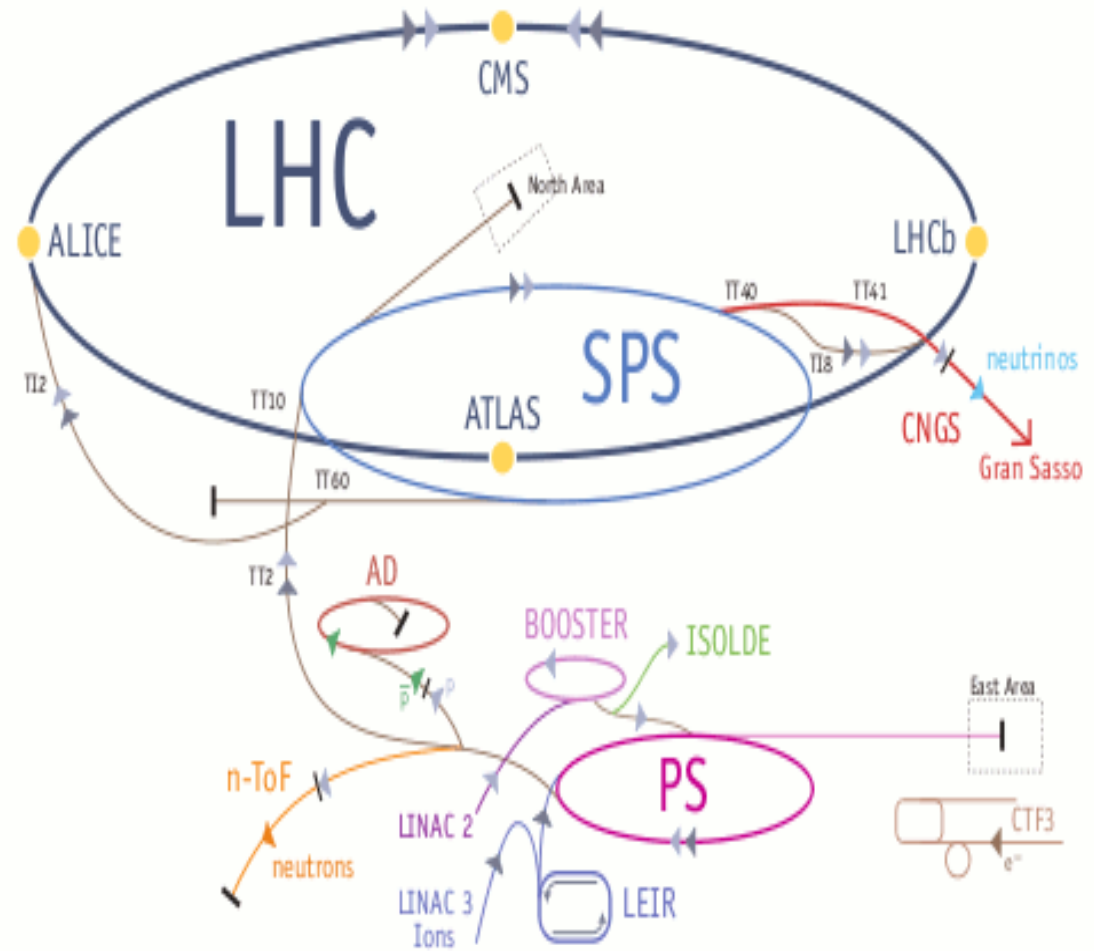


Parma, 6 febbraio 2010

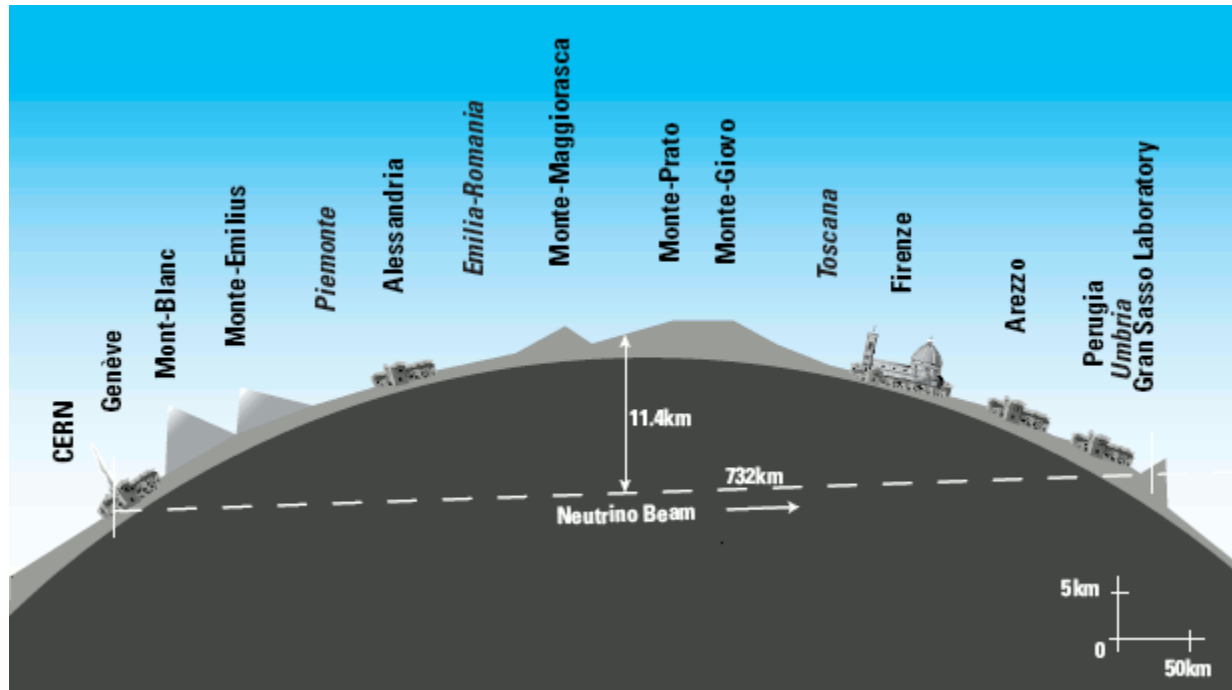
# CERN (2)

Diverse possibilità sperimentali con fasci "primari" di protoni di diversa energia (PS, SPS, ..., LHC)

Programma di ricerca mirato (ma non esclusivo) alla fisica delle particelle.



# Verso il Gran Sasso



Il fascio di neutrini per il Gran Sasso passa sotto il Monte Maggiore

# CERN (3)

Acceleratori: responsabilita' (e costi) a carico del laboratorio (ma per LHC → contributi per circa il 10% da stati non membri)

Esperimenti: collaborazioni internazionali con una loro struttura autonoma, ogni gruppo ha la propria agenzia di finanziamento (che non coincide necessariamente con l'ente di ricerca)

Gruppi italiani → INFN (in questo caso, sia ente di ricerca che agenzia di finanziamento)

# Il Web

The screenshot shows a web browser window with the address bar containing <http://public.web.cern.ch/public/en/About/Web-en.html>. The browser's menu bar includes File, Edit, View, History, Bookmarks, Tools, and Help. Below the address bar, there are navigation icons and a search bar with the Google logo. The website content features a navigation menu with links for About us, Science, Research, The LHC, and People. A large image shows a man (Tim Berners-Lee) looking at a computer monitor displaying the CERN website. The main content area is titled "Where the web was born" and contains the following text:

**Where the web was born**

Tim Berners-Lee, a scientist at CERN, invented the World Wide Web (WWW) in 1990. The Web, as it is affectionately called, was originally conceived and developed to meet the demand for automatic information sharing between scientists working in different universities and institutes all over the world.

CERN is not an isolated laboratory, but rather a focus for an extensive community that now includes about 60 countries and about 8000 scientists. Although these scientists typically spend some time on the CERN site, they usually work at universities and national laboratories in their home countries. Good contact is clearly essential.

The basic idea of the WWW was to merge the technologies of personal computers, computer networking and hypertext into a powerful and easy to use global information system.

At the bottom of the page, there is a copyright notice: Copyright CERN 2008 - Web Communications, DSU-CO.

ha compiuto 20 anni - <http://info.cern.ch/www20>

# Edoardo Amaldi

Carpaneto Piacentino (5/9/1908) - Roma (5/12/1989)

Grande scienziato e soprattutto grande politico della scienza ...

Membro del "Gruppo di via Panisperna"

Fondamentale per la rinascita della fisica nucleare in Italia e in Europa nel dopoguerra

Uno dei motori della nascita di:

I.N.F.N. (1951) -> presidente (1960-1965)

CERN (1954) → primo direttore generale (1952-54)

European Space Agency (1975)



## 3. Qualche elemento di base

<http://scienzapertutti.inf.infn.it>

# Domande fondamentali

Di cosa siamo fatti ?

Come è nato l'universo ?

Come sta assieme ?

Come diventera' ?

Perché è scomparsa l'antimateria ?

# ... relativamente alle particelle

- Cosa da' loro la massa (bosone di Higgs) ?
- Come si manifesta la gravita' ?
- Perché neutroni e neutrini (e di conseguenza, gli atomi) sono (per l'appunto) rigorosamente neutri ?
- Quante e quali sono quelle davvero "fondamentali" ?

MASSA, CARICA ELETTRICA, NUMERO, ...

ad oggi non abbiamo alcuna spiegazione

Di cosa è composta la materia oscura ?

# ... il "Problema"

Universo (interazioni gravitazionali)

--> Relativita' Generale

Particelle (interazioni elettrodeboli e forti)

--> Meccanica Quantistica Relativistica

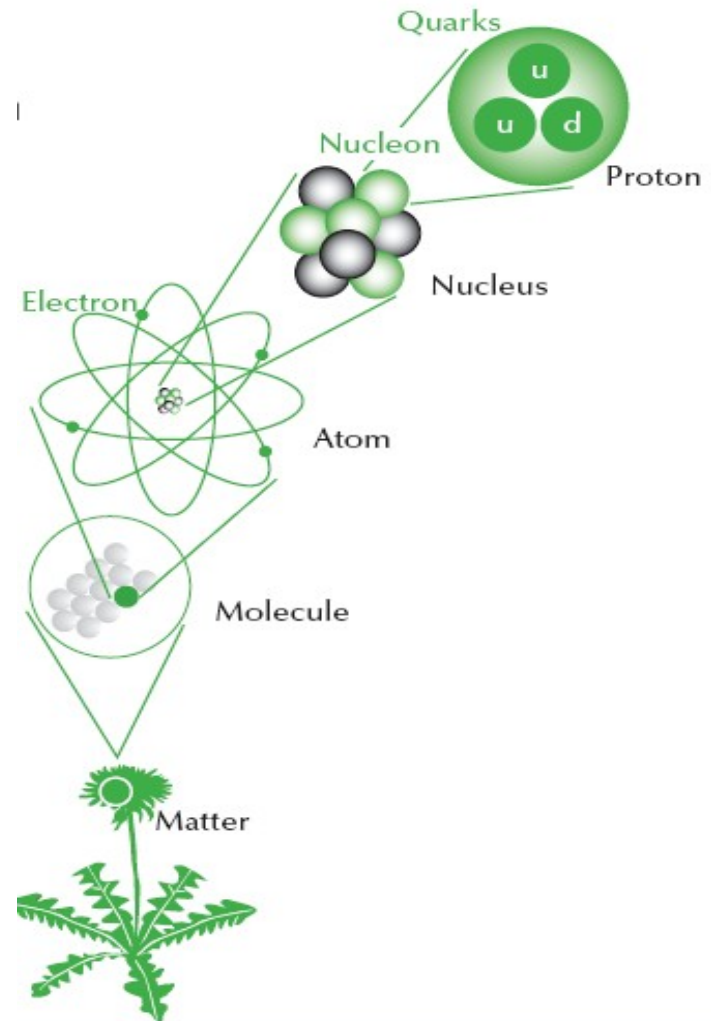
1. Entrambe le teorie funzionano

egregiamente nei rispettivi campi

2. \*\*\* Sono INCONCILIABILI \*\*\*

# Come siamo fatti ...

- Cellula: qualche millesimo di mm ( $10^{-6}$  m)
- Molecola: qualche milionesimo di mm ( $10^{-9}$  m)
- Atomo: ~ 100 miliardesimi di mm ( $10^{-10}$  m)
- Nucleo: ~ 0.001 miliardesimi di mm ( $10^{-15}$  m)
- Quark (?) < 0.1 milionesimi di miliardesimi di mm ( $10^{-19}$  -  $10^{-20}$  m)



# Mondo Osservabile

Atomo : Nucleo  $\sim 10^5$   $\sim$  Nucleo : Quark

Uomo : Atomo  $\sim 10^{10}$   $\sim$  Atomo : Quark

Eta' universo = 13.7 miliardi di anni

→ dimensioni universo "osservabile"  $\sim 10^{26}$  m

circa 46 "ordini di grandezza" rispetto ai quark

**Universo : Uomo  $\sim$  Uomo : Quark (o quasi) !**

# Come lo misuriamo

Distanze → metri (m)

Tempi → secondi (s)

Energie e Masse → elettron-Volt (eV)

1 eV = l'energia che acquista un elettrone se viene accelerato con una pila di 1 Volt

Rapporti con unità di uso più comune:

1 eV ~  $4 \cdot 10^{-23}$  Calorie ~  $4.5 \cdot 10^{-26}$  kWh

[ 1 litro di benzina ~  $2 \cdot 10^{26}$  eV ]

## 4. L'Universo e la Forza di Gravità

<http://scienzapertutti.Inf.infn.it>

specifici sui buchi neri

<http://library.thinkquest.org/C0118900/galassie/buchineri.htm>

[http://www.pd.astro.it/planet/L23\\_045.html](http://www.pd.astro.it/planet/L23_045.html)

<http://design.lbl.gov/education/blackholes/index.html>

[http://antwrp.gsfc.nasa.gov/htmltest/gifcity/bh\\_pub\\_faq.html](http://antwrp.gsfc.nasa.gov/htmltest/gifcity/bh_pub_faq.html)



# Da Newton ...

1600-1700: ... Galileo ... Newton:  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

Permette di calcolare (correttamente):

forza di attrazione fra corpi (es.: peso)

caduta dei corpi (traiettorie proiettili)

moto di pianeti e stelle ...

**MA ...**

# ... ad Einstein

... ad es. per l'orbita di mercurio (perielio) i conti non tornano (?) ...

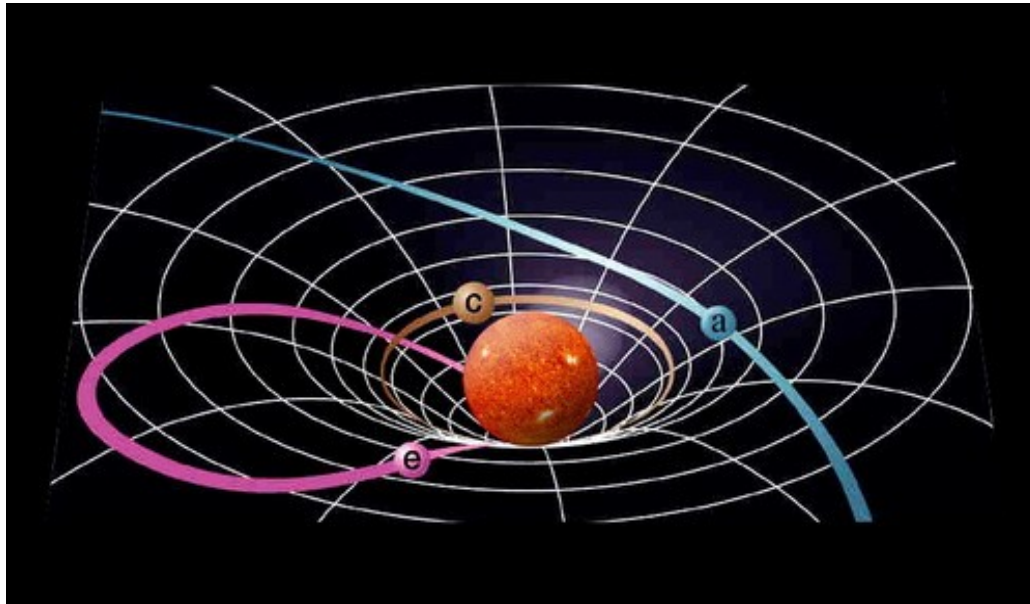
Einstein (interpretazione geometrica della forza di gravita'):

spazio-tempo deformato localmente dai corpi (dall'energia) ... come un sasso deforma un lenzuolo teso

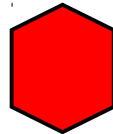
$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

spazio-tempo      materia-energia

# Spazio Tempo e Materia



La materia dice allo spazio-tempo come curvarsi

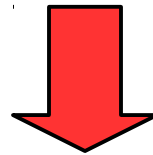


La curvatura dello spazio-tempo dice alla materia come muoversi

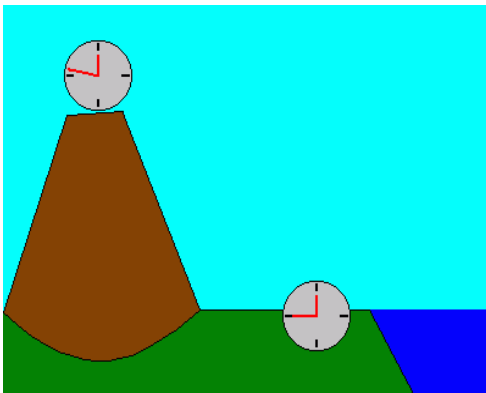
# Alcune conseguenze

Il campo gravitazionale non è costante

Esempio: sulla terra diminuisce all'aumentare dell'altitudine

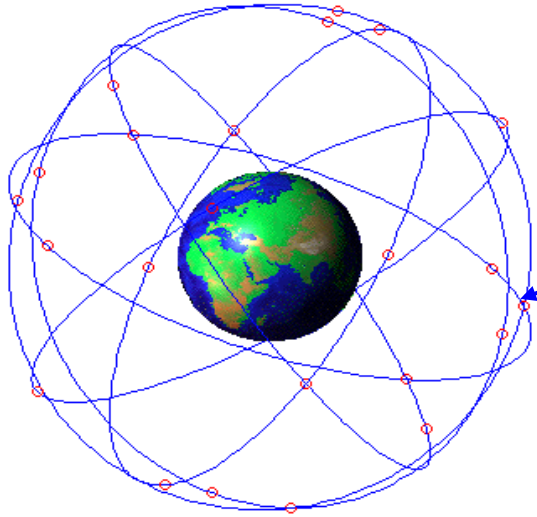


Dove la gravita' è piu' forte, il tempo scorre piu' lento



Orologi piu' veloci in montagna  
Vivere nella "bassa" allunga la vita

# GPS: global positioning system



24 satelliti

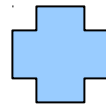
Altitudine: 20000 km

Periodo di rotazione: 12 ore

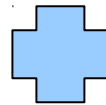
Precisione: ~5 metri

# Funzionamento GPS

Almeno 4 satelliti sempre visibili da ogni punto della Terra ad ogni istante



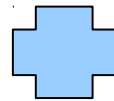
Ogni satellite ha un orologio atomico



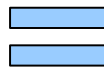
Il ricevitore GPS compara i segnali degli orologi di diversi satelliti per usare poi il metodo del posizionamento sferico

# Senza Einstein ...

**Relatività ristretta - dilatazione dei tempi**  
rispetto a chi sta sulla Terra, gli orologi sui satelliti  
sono piu' lenti  
(effetto dovuto alla velocita' del satellite)



**Relatività generale - curvatura dello spazio-tempo**  
rispetto a chi sta sulla Terra, gli orologi sui satelliti  
sono piu' veloci  
(effetto dovuto alla "gravità" del satellite)



**Errore di 10 km al giorno**

# Buchi Neri

Soluzioni non previste della eq. di Einstein (Schwarzschild)

Regioni dello spazio che inghiottono materia e radiazione e non la lasciano piu' uscire (osservati sperimentalmente)

Velocità di fuga > velocità della luce → succede se:

Raggio < "Orizzonte degli Eventi"

$$= \sim (3 \text{ km} * \text{massa}) / (\text{massa del sole})$$

**Sole:** ~ 3 km

**Terra:** ~ 9 mm

**Uomo:** ~  $10^{-25}$  m ( → potrebbe essere più piccolo di un quark! )



## 5. Lo Studio delle Particelle "Elementari"

<http://www.particleadventure.org>

<http://www.infn.it/multimedia/particle>

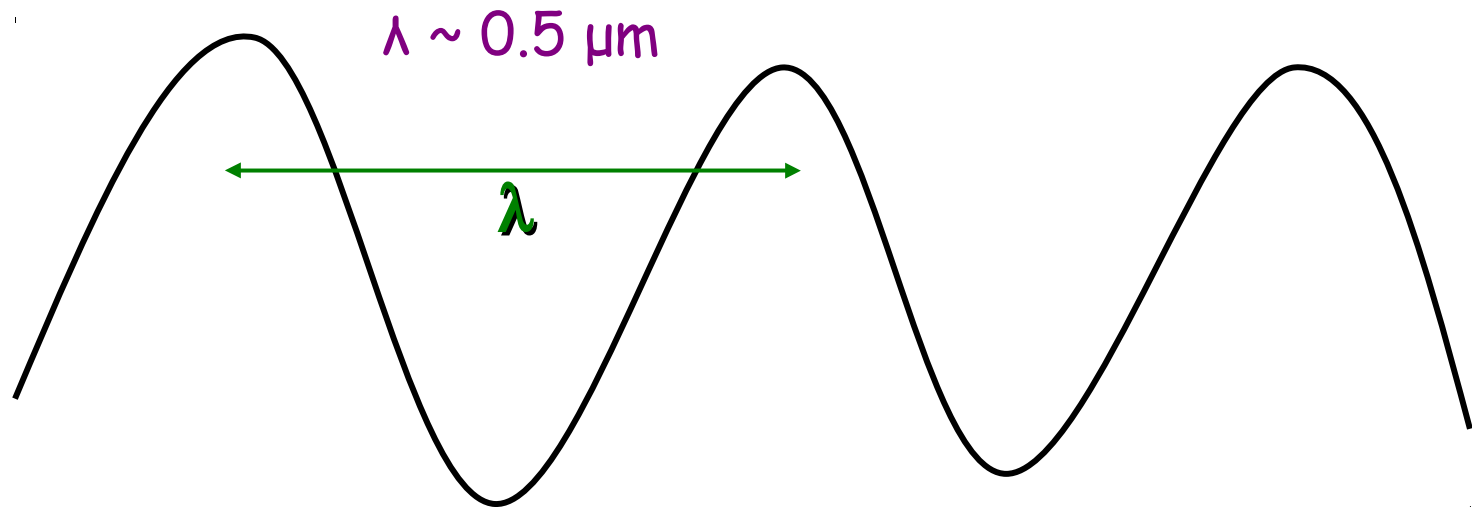
<http://microcosm.web.cern.ch>

# Strumenti di indagine ...

Microscopio 1000x:  $\sim 1 \mu\text{m}$  (= 1 millesimo di millimetro)

**Microscopio<sup>3</sup>  $\sim 10^{-12}$  m ???**

Luce visibile : onda con dimensione (lunghezza d'onda)

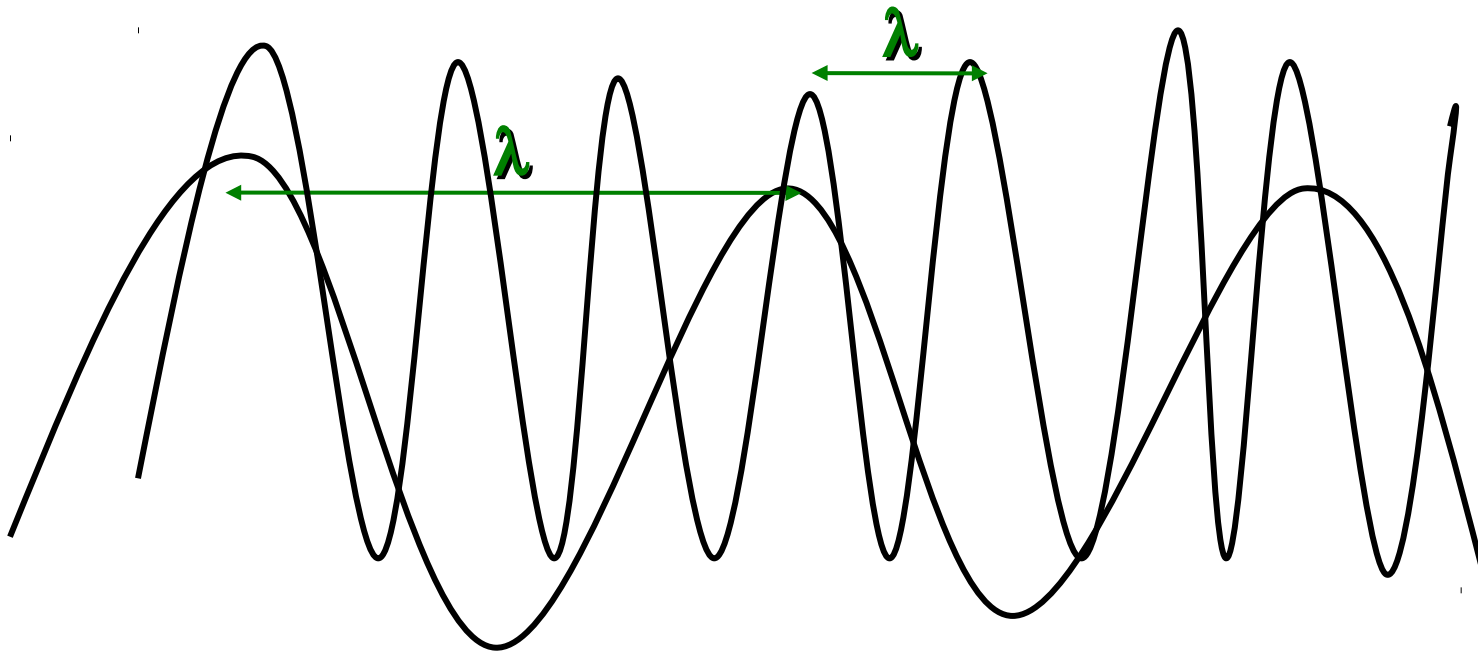


**$\sim 5000$  atomi entro una sola lunghezza d'onda  
impossibile vedere ("risolvere") un singolo atomo  
e la sua struttura interna !**

# Energia e lunghezza

lunghezza d'onda \* frequenza = velocita' della luce

energia : frequenza = costante di Planck

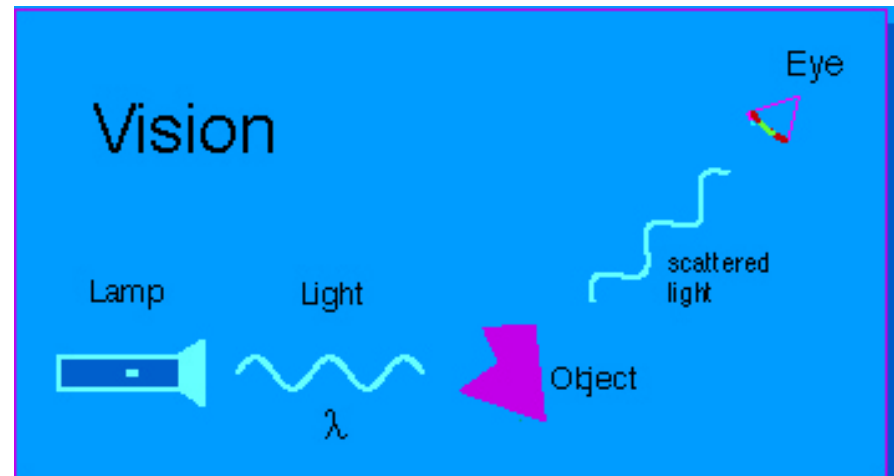


$$\lambda * E = \text{costante}$$

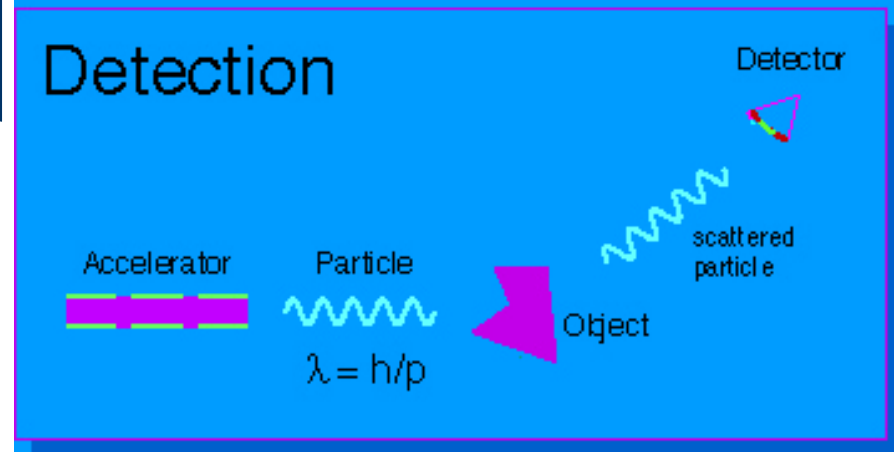
$$(1 \text{ nm} \rightarrow 200 \text{ eV})$$

# La Risoluzione

Visione con una lampada e gli occhi.



Visione con un acceleratore ed un rivelatore di particelle.



Aumentando l'energia della particella migliora la risoluzione con la quale si "vede" l'oggetto

# Osservare le Particelle

raggio protone  $\sim 10^{-15}$  m

per investigarne la struttura

$$E > 2000 \text{ MeV}$$

massa protone ( $E = mc^2$ )  $\sim 1000 \text{ MeV}$

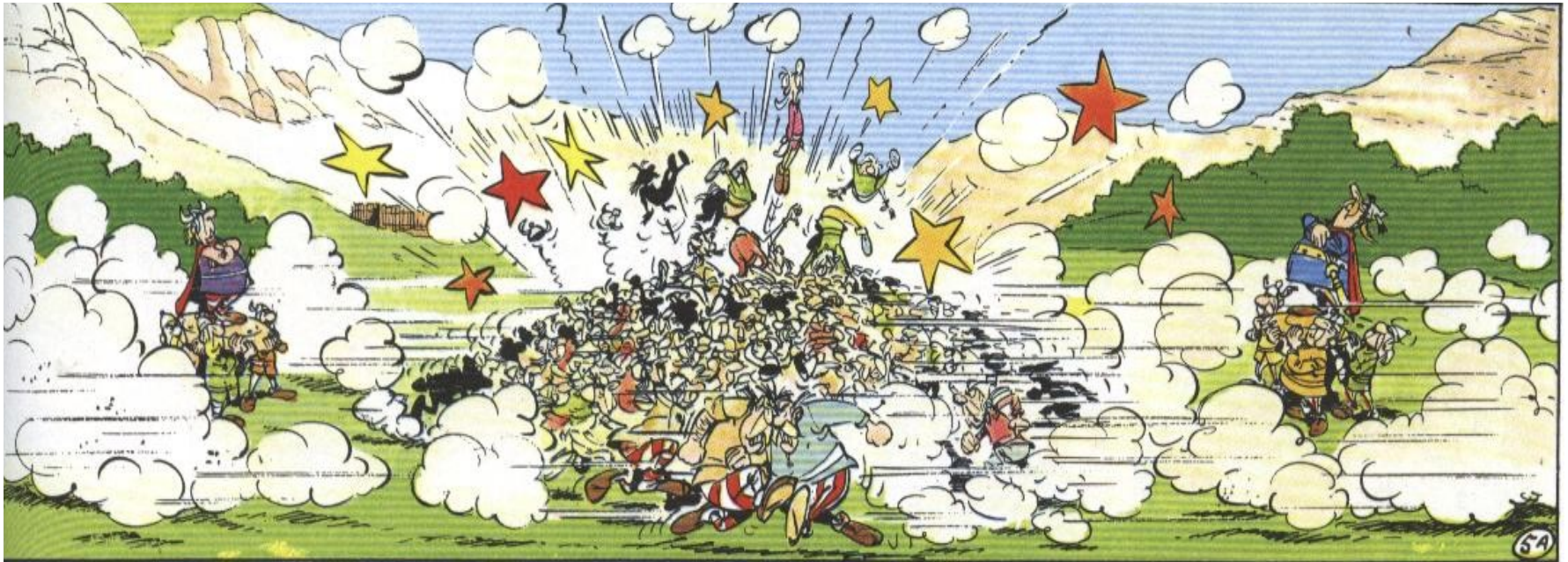
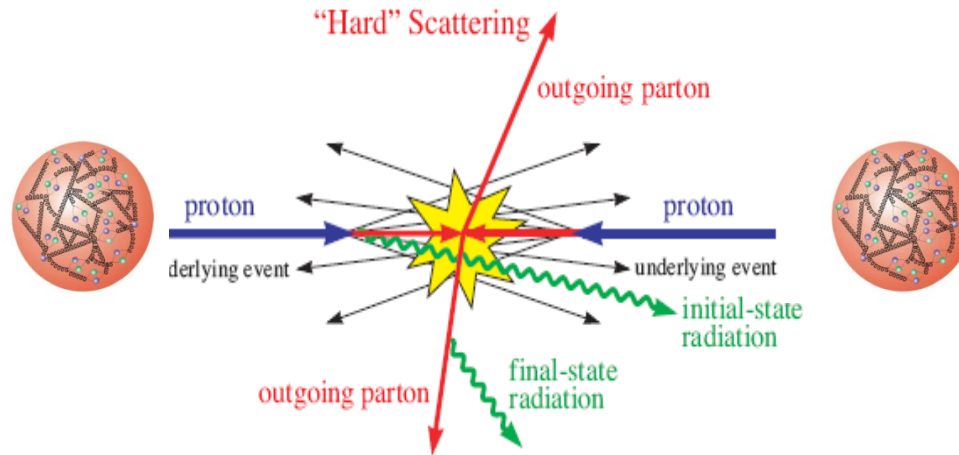
ovvero

energia (massa) sonde  $>$  massa del "bersaglio"

Per capire come è fatto un protone, dobbiamo romperlo

(come i giocattoli)

# Urti Profondamente Inelastici



# Microscopi per Particelle

Maggiore è l'energia degli urti

→ migliore la capacità di risoluzione del "microscopio":

Energia (LHC) = 7+7 TeV = 14 TeV

→  $\lambda \sim 10^{-20}$  m

**LHC = Microscopio più potente mai costruito !**

Record attuale: Tevatron a Fermilab (USA) ~ 2 TeV

1 TeV = energia di una zanzara in volo... concentrata in uno spazio  
un milione di milioni di volte più piccolo ...

# Creazione di Nuove Particelle

Altra legge fondamentale della natura:

$$E = mc^2$$

Aumentando l'energia si possono produrre particelle sempre piu' pesanti (ma sempre piu' "rare"):

es. bosone di Higgs (se esiste)

altre nuove particelle ?

(ci sono teorie che prevedono di tutto e di piu')



# Macchine del Tempo

A LHC, negli urti piombo-piombo, si raggiungeranno densità di energia e temperature come solo pochissimi istanti dopo il Big Bang ( $10^{-25}$  sec):

materia ordinaria completamente "fusa"

→ nuovo stato della materia

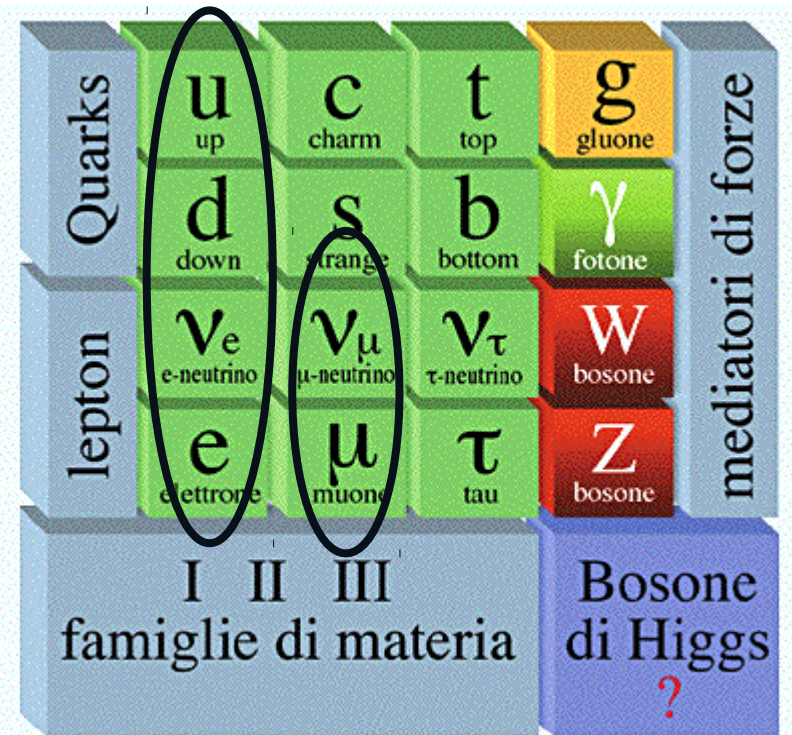
→ plasma di quark e gluoni (?)

# La nostra "tavola periodica"

- Particelle "materia" e particelle "forza" (+ relative antiparticelle)
- Tre famiglie (?)
- il nostro mondo fatto della prima (e un po' di seconda)

## 4 forze (intensita' relativa):

- Gravita' ( $10^{-36}$ )
- Forza elettromagnetica ( $10^{-2}$ )
- Forza nucleare debole ( $10^{-5}$ )
- Forza nucleare forte (1)



# L'Inizio (~1910)

- Gran parte degli elementi chimici identificata
- Classificazione incomprensibile
- Nessuna ipotesi decente sulla struttura interna degli atomi

Esperimento di Rutherford: bombardamento di una lamina d'oro con particelle alfa

Sorpresa: alcune particelle rimbalzano a grandi angoli

Atomo: nucleo quasi puntiforme circondato (a grandi distanze) da una nube di elettroni:  
un campo di calcio con qualche granello di sabbia al centro

# I Quark (1969)

- Nel dopo guerra nei raggi cosmici, un numero crescente di particelle "parenti" di protoni e neutroni viene identificata
- Classificazione abbastanza sorprendente e ostica
- Necessarie un sacco di regole "empiriche" per descriverne proprieta' e relazioni

J. Friedman, H. Kendall, R. Taylor a SLAC (Stanford):  
un fascio di elettroni contro un bersaglio di protoni

Non pochi elettroni rimbalzano a grandi angoli →  
dentro ai protoni ci sono dei mattoncini piu' "fondamentali"

# Gli Ultimi 40 Anni ...

1974 B. Richter ( $e^+e^-$ , SLAC), S. Ting (p-Be, Brookhaven)  
→ quark Charm

\*\*\* Frascati (quando la sfiga ci vede benissimo) \*\*\*

1975 M. Perl ( $e^+e^-$ , SLAC) → leptone Tau

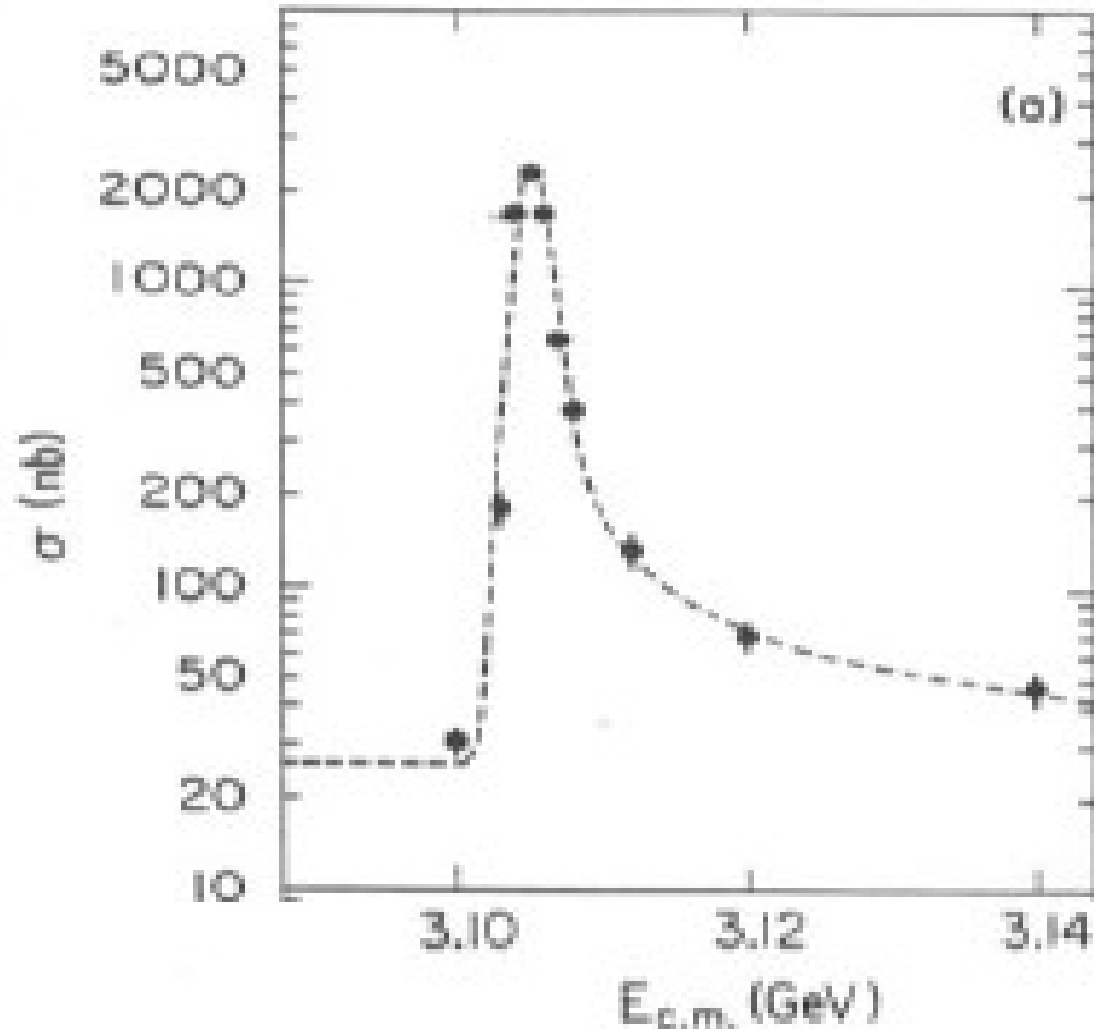
1977 L. Lederman (p-Be, Fermilab) → quark Bottom

1983 C. Rubbia, S. van der Meer (p-pbar, CERN) → bosoni W e Z

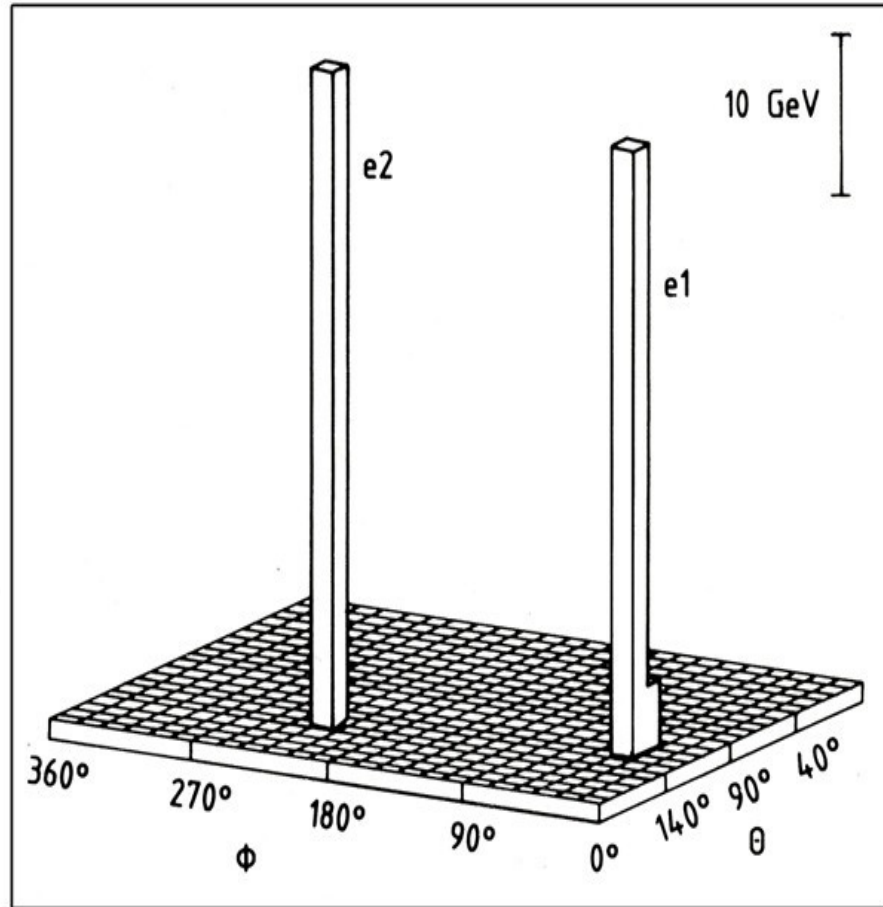
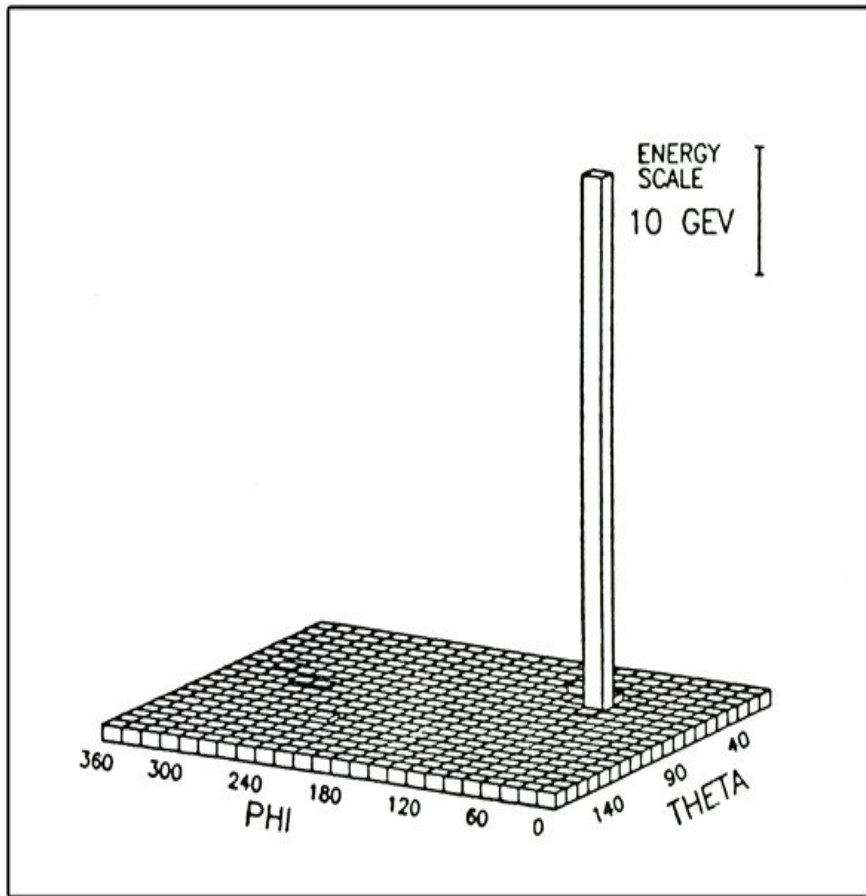
1995 CDF, D0 (p-pbar, Fermilab) → quark Top

\*\*\* Nessuna novità da 15 anni \*\*\*

# J/Psi (1974)



# W/Z (1983)

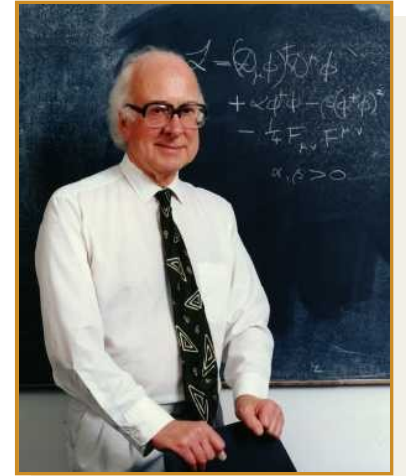


# Bosone di Higgs

- ipotizzato 40 anni fa da Peter Higgs, un campo di forza che permea tutto (anche il vuoto) e frena le particelle, come la gelatina frena un proiettile
- questo campo è generato da una particella non ancora osservata:

## il bosone di Higgs

- rallentare una particella equivale a farle acquisire una massa
- particelle indifferenti a questo campo di forza restano di massa zero



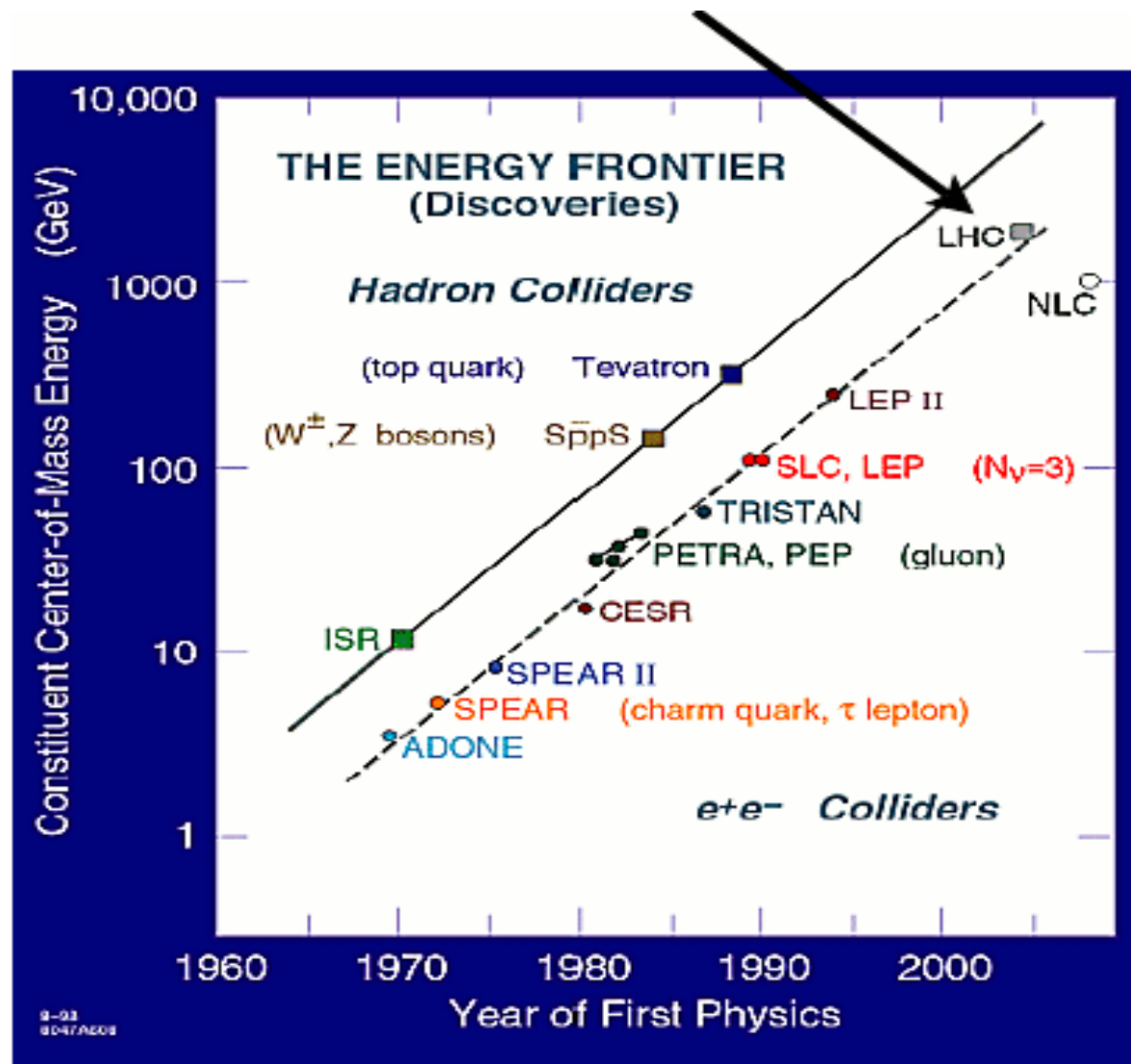


# I Collisionatori

Due categorie:

$e^+e^-$

$pp/ppbar$



# Accelerazione

Tutto parte da una bombola di idrogeno ...

Gli atomi vengono ionizzati ("spogliati" dell'unico elettrone)

Un campo elettrico spinge i protoni "nudi" nel primo acceleratore

Campi magnetici li catturano e li tengono sulla "giostra"

Campi elettrici e elettromagnetici (radiofrequenze) li accelerano

All'energia giusta vengono passati nell'acceleratore successivo

Protoni in pacchetti (in LHC 2808 con  $10^{11}$  protoni ciascuno)

# Elementi di un Acceleratore

Campi magnetici (dipoli):

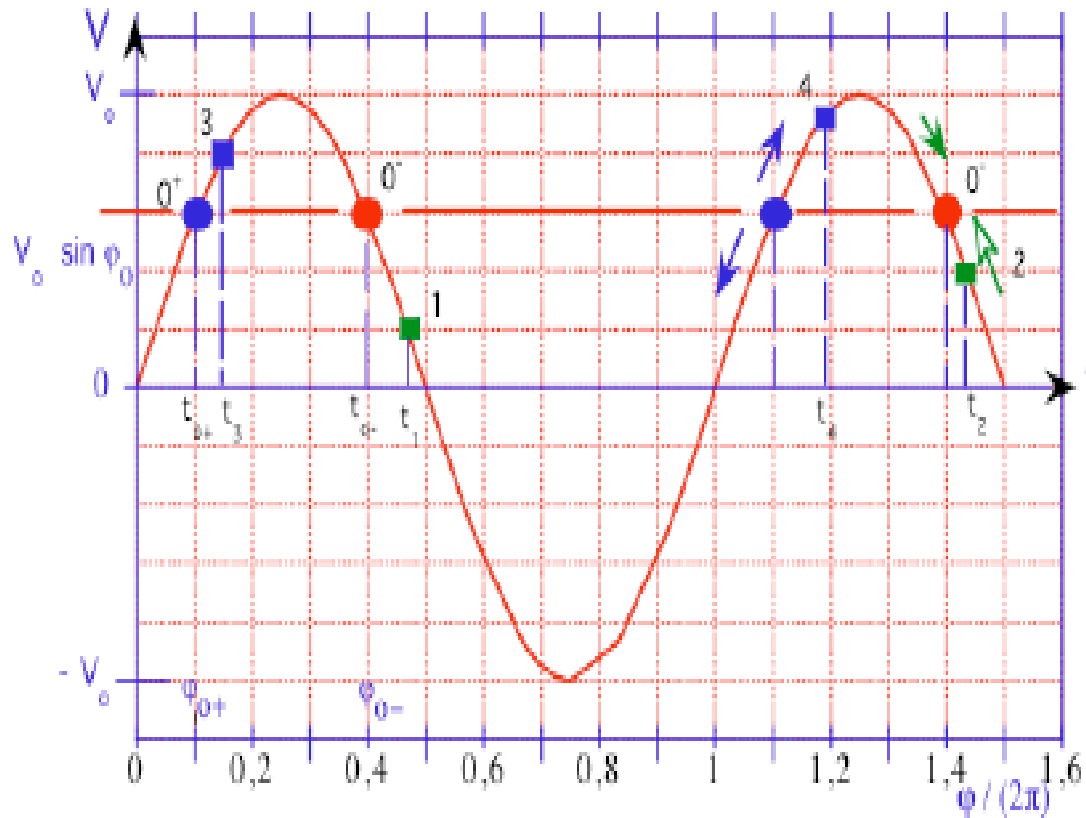
immaginate le catene del calcincolo

Campi elettromagnetici (cavità a radiofrequenza):

immaginate un braccio che da' una spinta ogni volta che un seggiolino gli passa davanti

\*\*\* furbo: spinge più forte chi va più piano !

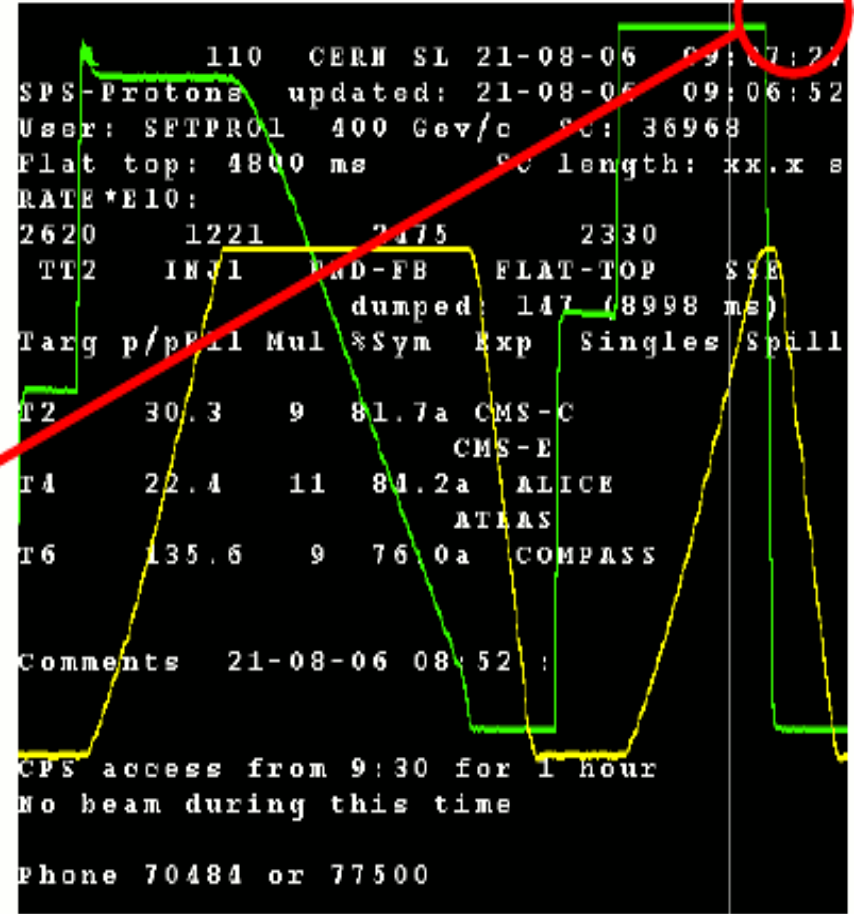
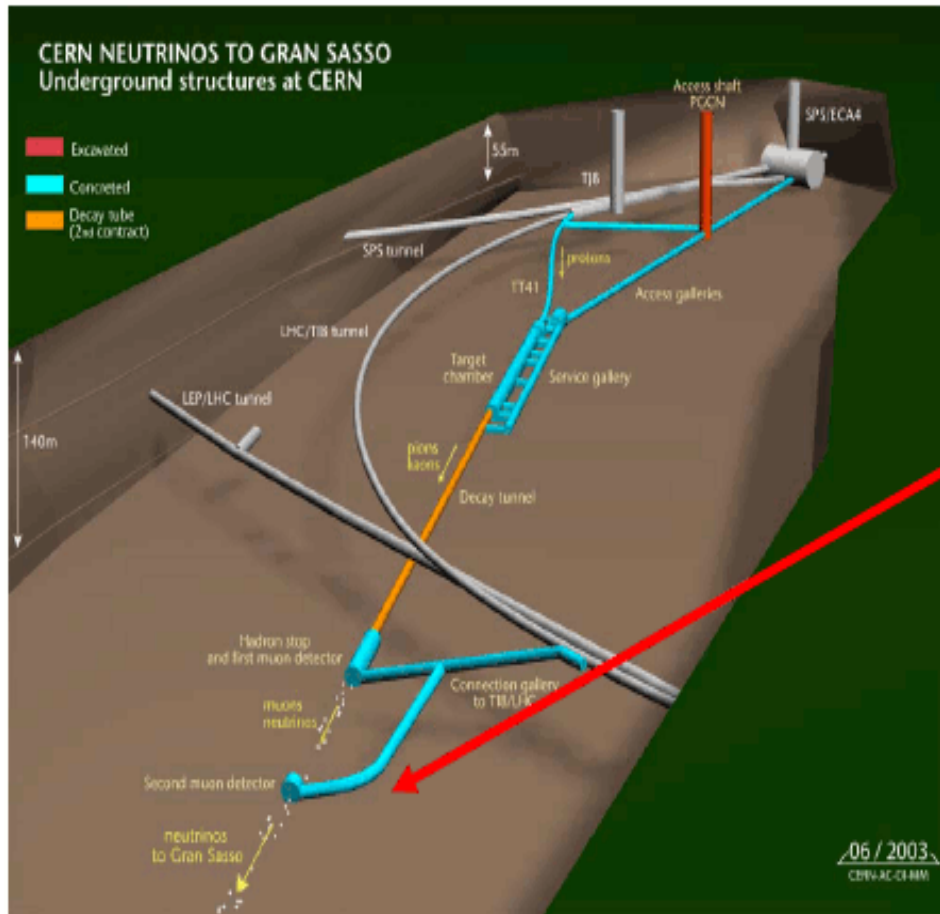
# Stabilità di Fase



Particelle con velocita' minore incontrano un campo elettrico piu' intenso e sono accelerate maggiormente

**Aumentando lentamente il campo magnetico a raggio di curvatura e frequenza costanti si aumenta l'energia del fascio**

# CERN → Gran Sasso



# La Sperimentazione

Interazione particelle-materia dipende dal tipo di particella:

Cariche leggere: elettroni

Neutre leggere (1): fotoni

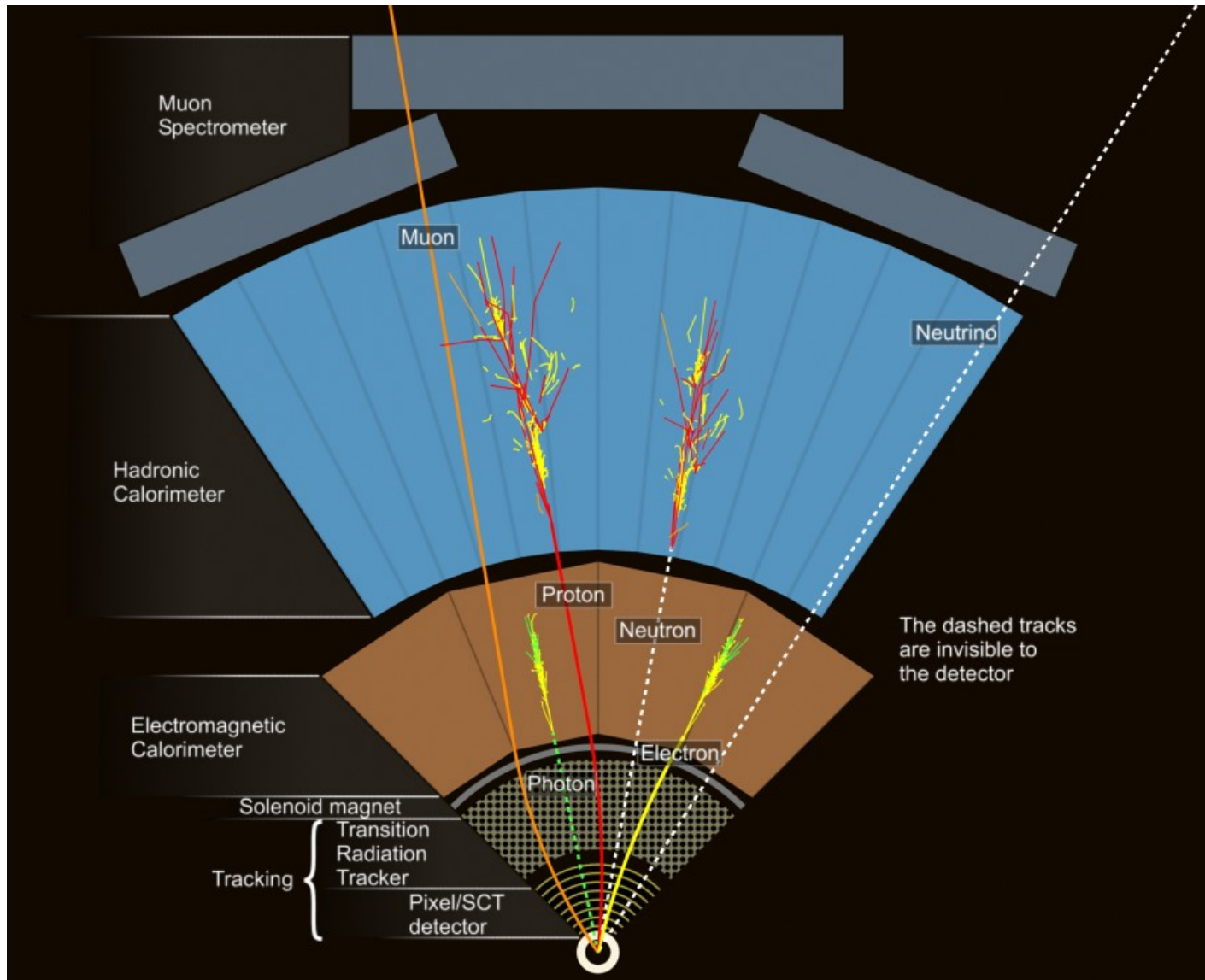
Neutre leggere (2): neutrini, neutralini (?)

Cariche pesanti (1): protoni, mesoni carichi

Cariche pesanti (2): muoni

Neutre pesanti: neutroni, mesoni neutri

# Tante (Diverse) Macchine Fotografiche



# 6. LHC

## Large Hadron Collider (Grande Collisore Adronico)

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

<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch>

<http://microcosm.web.cern.ch/microcosm/LHCGame/LHCGame.html>

The Large Hadron rap (Katie McAlpine):

<http://www.youtube.com/watch?v=f6aU-wFSqt0>



# *Les Horribles Cernettes*

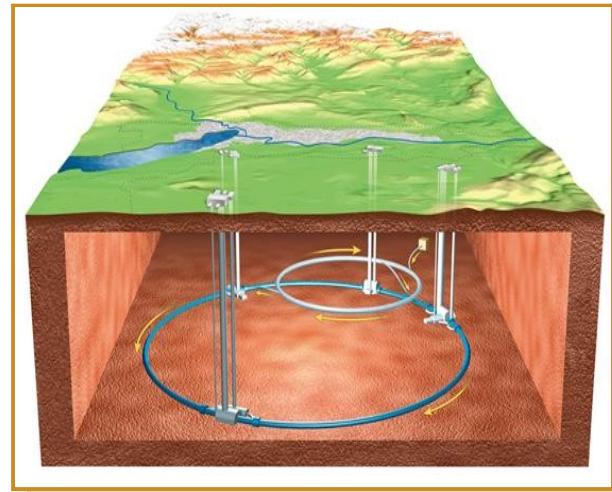


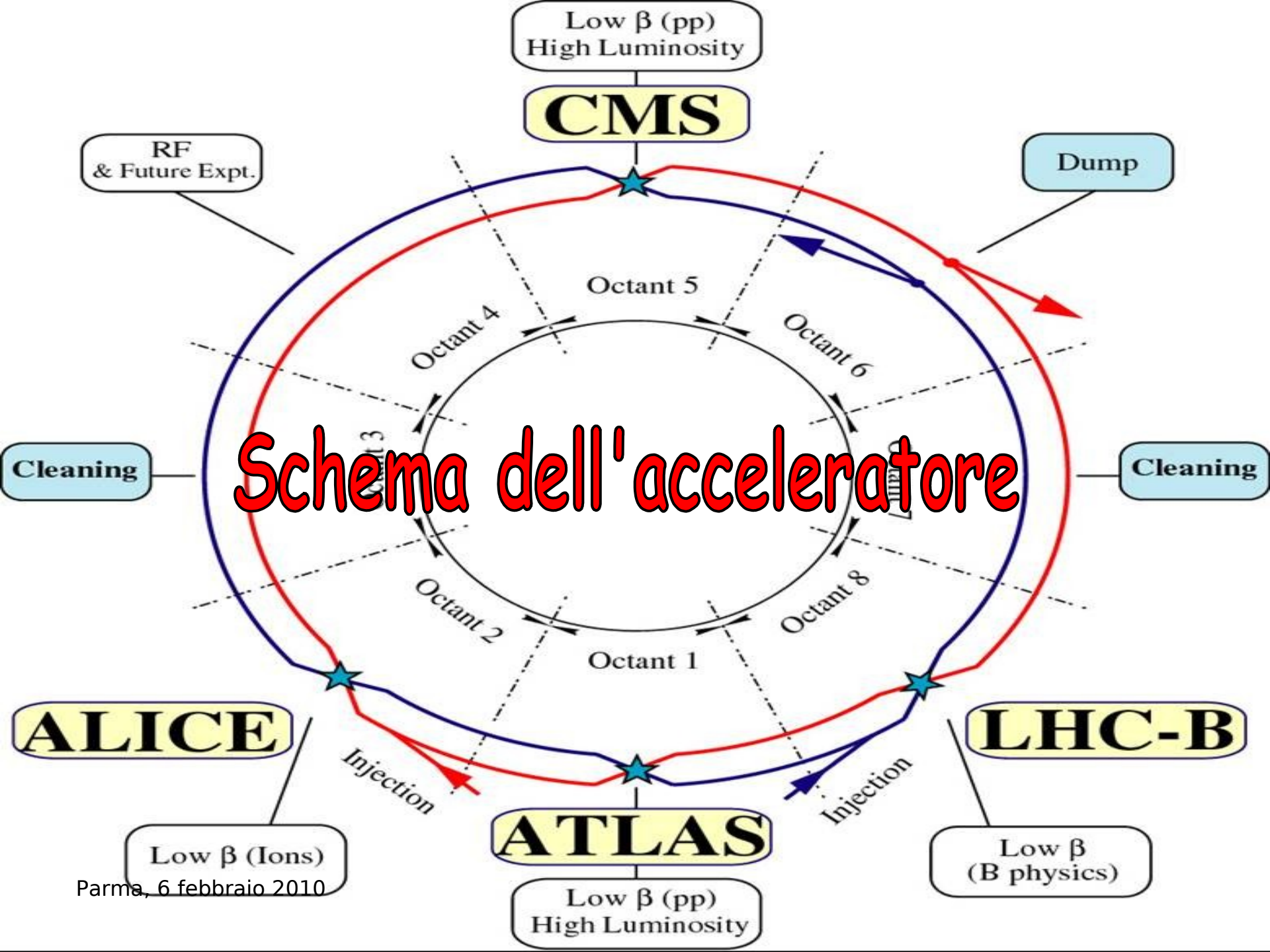
Dal 1992 al CERN Hardronic Festival ...

# LHC

- 27 km di circonferenza
- (protoni contro protoni) e (piombo contro piombo) ogni 25 ns
- collisioni a 14 TeV (inizialmente  $\leq 10$  TeV) / 1150 TeV (!)
- consumo  $\sim 120$  MW (meta' del totale CERN)
- costo  $\sim 4$  miliardi di Euro (in  $\sim 10$  anni)

4 giganteschi apparati sperimentali a  $\sim 100$  m di profondita'



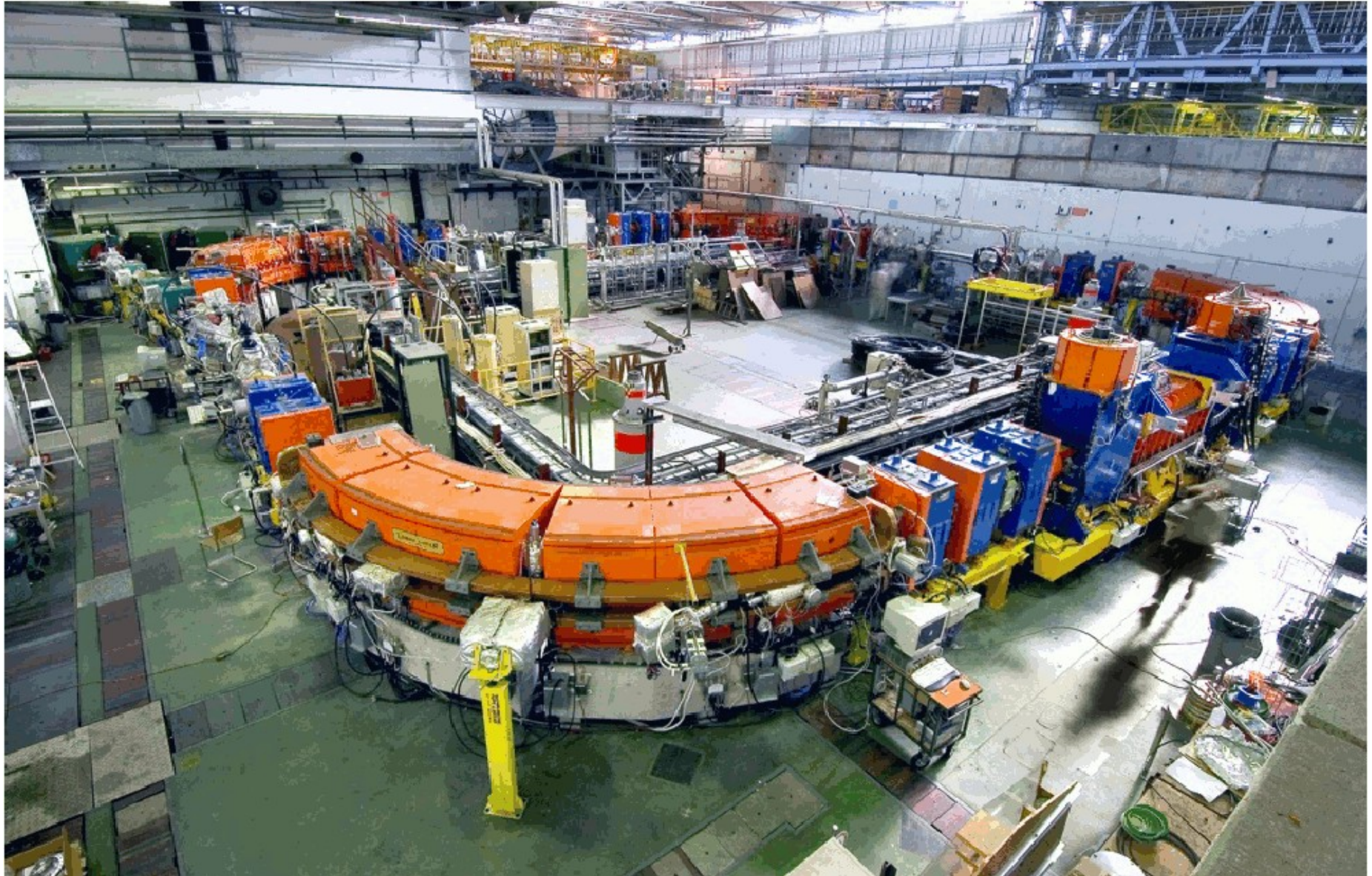


# I Dipoli



Parma, 6 febbraio 2010

# Low Energy Ion Ring



Parma, 6 febbraio 2010

# Qualche numero ...

Campi magnetici: quasi 10000 magneti superconduttori, correnti elettriche di  $\sim 12000$  ampere

Campi elettromagnetici: 16 cavità a radiofrequenza

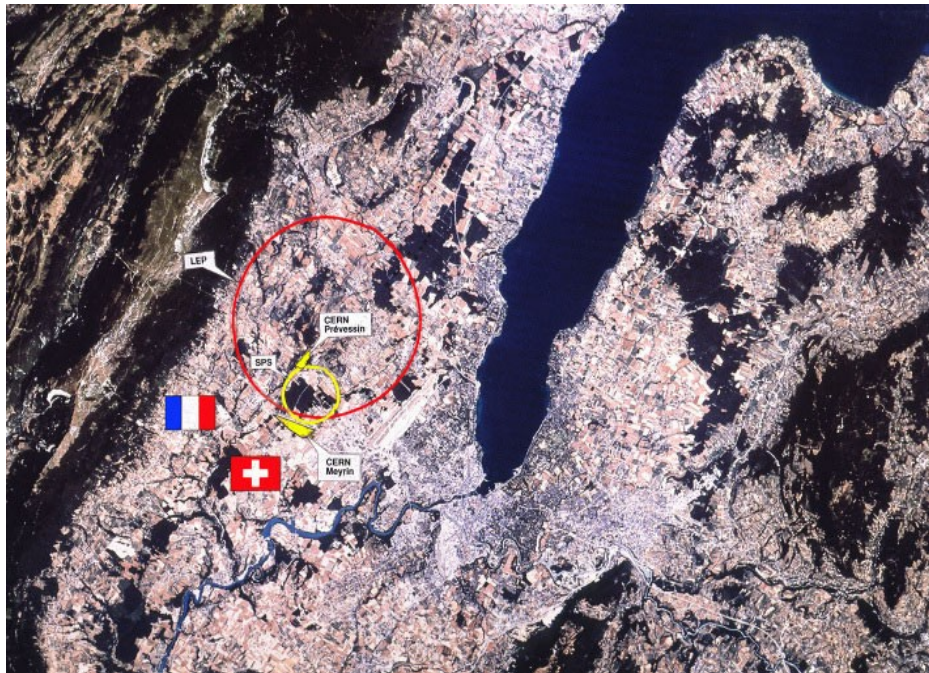
Energia nei fasci di LHC (350 MJ):  $\sim$  quella di un TGV a 150 km/h)  
sufficiente a fondere 500 kg di rame

Nei magneti di LHC:  $\sim 30$  volte tanto

# [pubblicità] Il circuito più veloce del pianeta

Milioni di miliardi di protoni percorreranno i 27 km dell'anello, viaggiando al 99.99999991 % della velocità della luce

I pacchetti di protoni si scontreranno ogni 25 ns  
40 milioni di volte al secondo



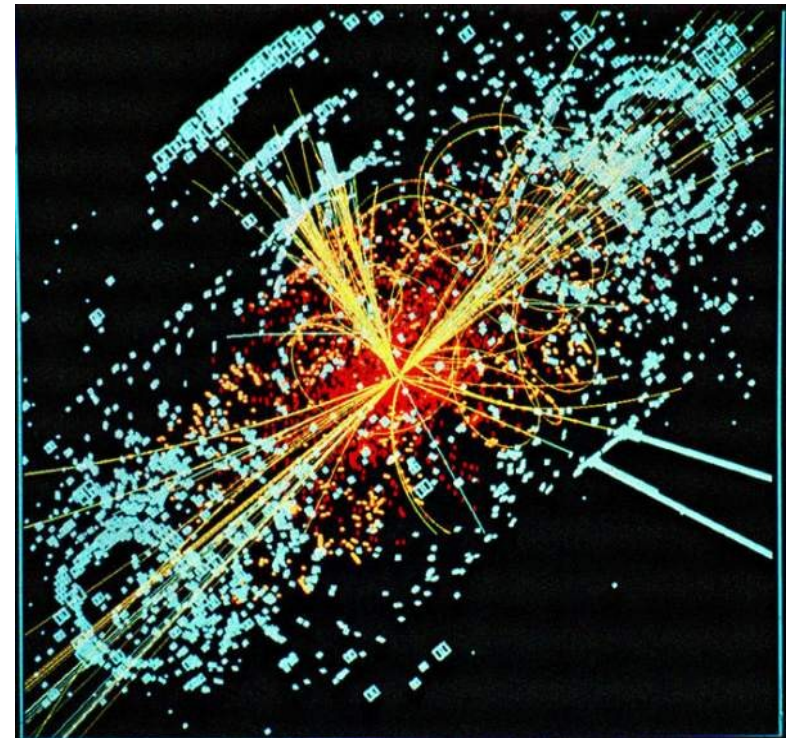
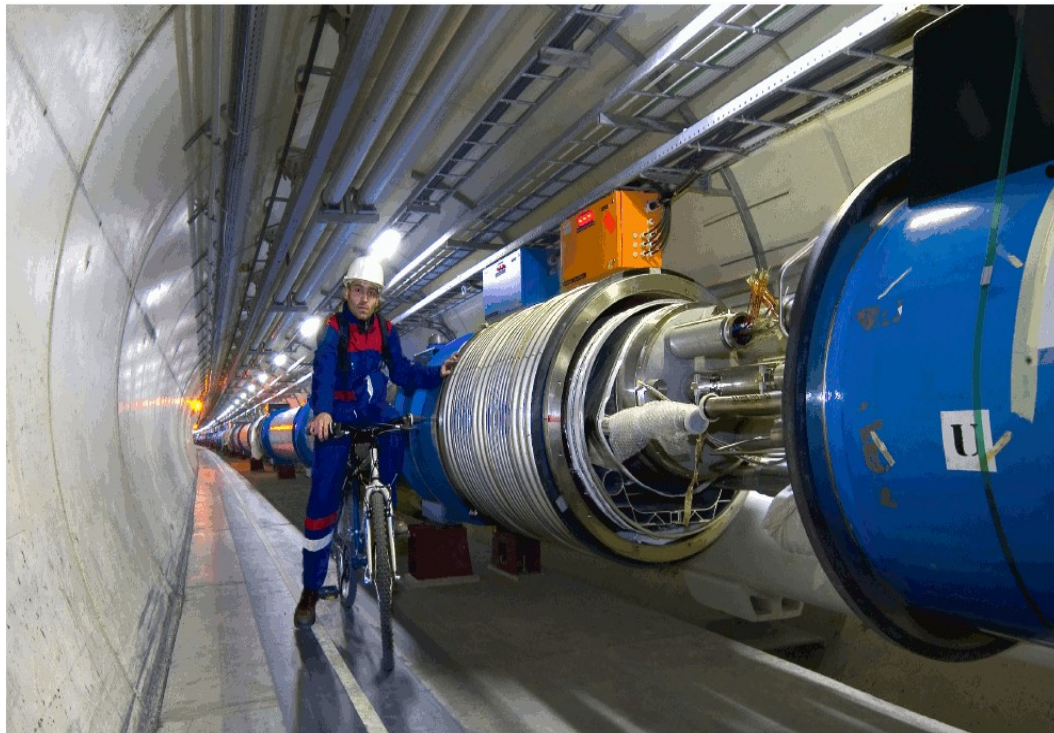
[pubblicità]

## Lo spazio meno denso del sistema solare

Accelerare i protoni a quelle velocità richiede un vuoto pari a quello dello spazio interplanetario

Sulla Luna, l'atmosfera è 10 volte più densa

Volume da svuotare ( $\sim 6500 \text{ m}^3$ )  $\sim$  quello di una cattedrale



Parma, 6 febbraio 2010



## [pubblicità] Il posto più caldo della galassia

Quando due fasci di protoni collidono, generano temperature 100mila volte superiori a quelle dell'interno del Sole, ma in uno spazio infinitesimo

... ma [pubblicità] più freddo dell'Universo

I magneti superconduttori di LHC operano ad una temperatura di  $-271.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $= 1.9\text{ K}$ ), inferiore a quella dello spazio cosmico ( $-270.5\text{ }^{\circ}\text{C} = 2.7\text{ K}$ )

# La Griglia (GRID)

Dati LHC equivalenti a ~20 milioni di CD (una pila alta 20 km) all'anno

Per l'analisi necessari ~100mila dei più veloci processori odierni

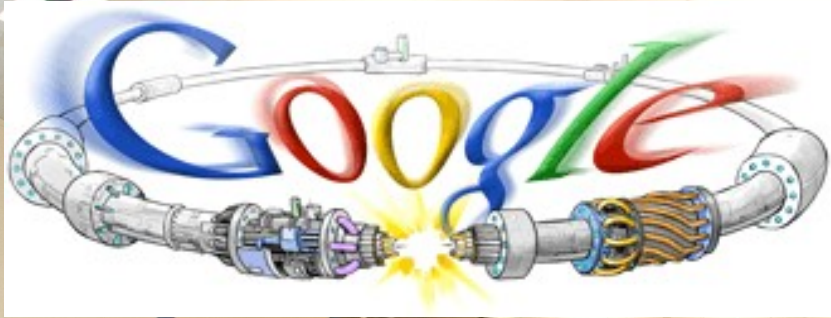


WWW: accesso a informazione archiviata in diverse località geografiche

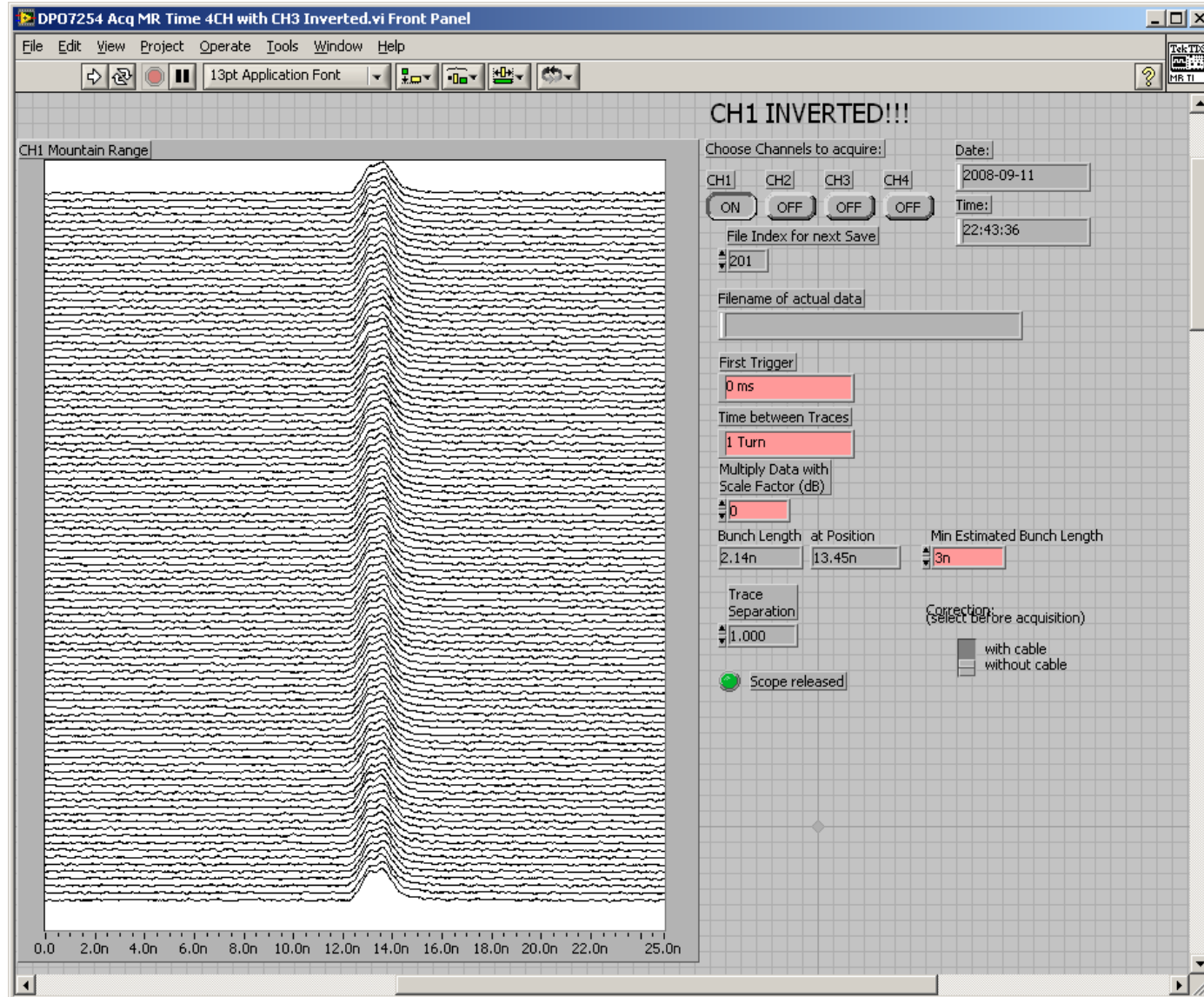
GRID: accesso a risorse di calcolo e di archiviazione dati distribuite su tutto il pianeta



# Il Giorno 1 - 10.09.08 10:00'



# Il Giorno 2



# Il Giorno 7

## “Estote parati”

“La strumentazione ed i programmi di controllo di LHC sono in uno stato eccellente”

“I progressi saranno rapidissimi”

“Entro l'anno, un mese di dati per la fisica mi sembra assai probabile”

“Siate pronti a gestire luminosità fino a  $10^{29} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ”

[ → frequenze di interazione ~ 10000 al secondo ]

“... e luminosità integrate di qualche centesimo di pico-barn inverso” [ → decine di milioni di eventi ]

Walter Scandale - Pisa, 16/09/2008

# Il Giorno 10 - 19.09.08 11:18'

## Prima dell'incidente

In rapida sequenza:

- 1) Problema ad una connessione elettrica
- 2) Arco elettrico (scintilla)
- 3) Buco nella conduttura dell'elio liquido
- 4) Fuoriuscita ad alta pressione
- 5) Danni in 700 m di tunnel

Un anno di fermo macchina

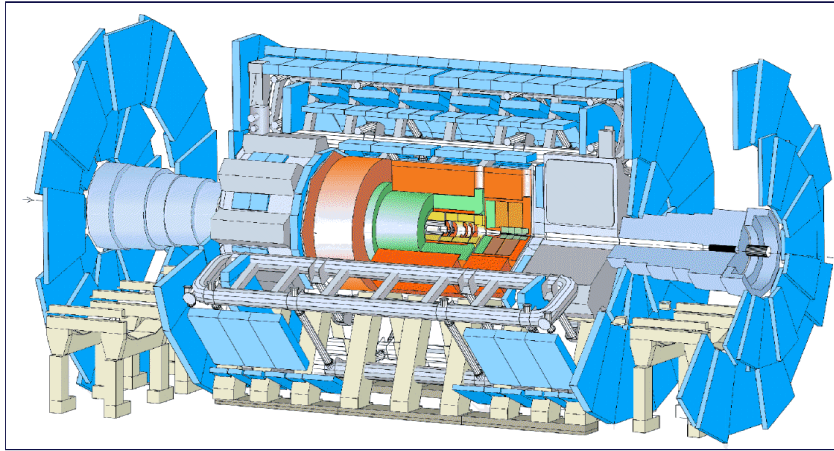


## Dopo l'incidente

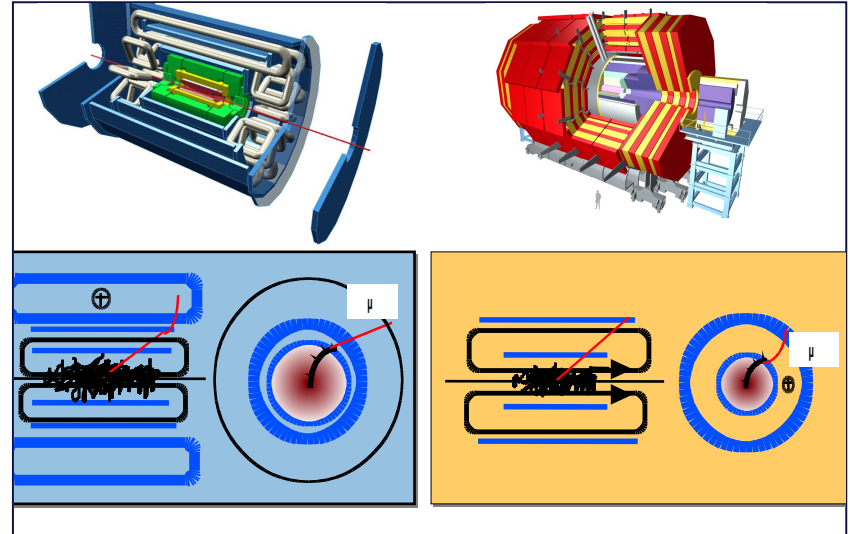


# Gli Esperimenti

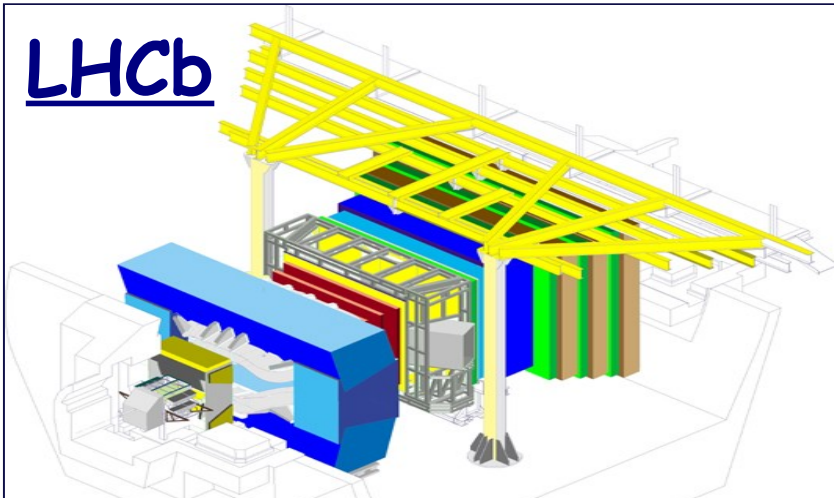
ATLAS



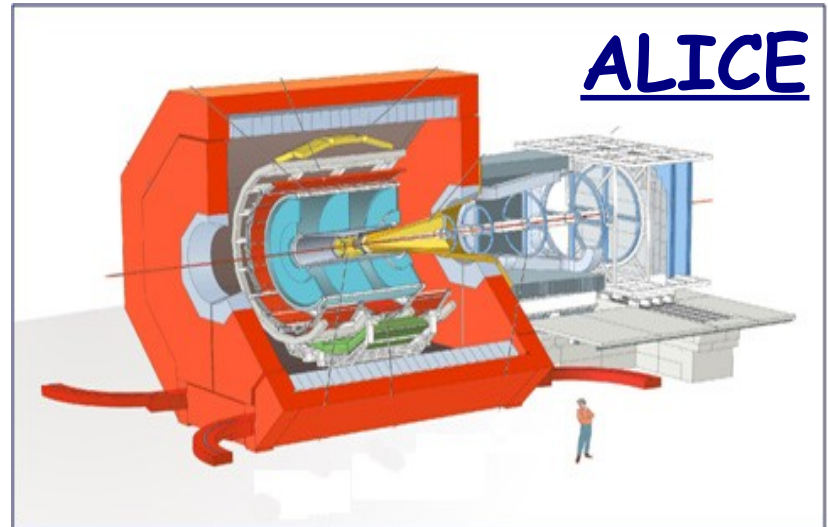
CMS



LHCb



ALICE



Parma, 6 febbraio 2010

# Gli Esperimenti

I Fratelli Maggiori (ricerca ad ampio spettro di nuova fisica):

**ATLAS: A Toroidal Lhc Apparatus** (campo magnetico toroidale)

**CMS: Compact Muon Solenoid** (campo magnetico solenoidale)

Violazione della simmetria materia-antimateria:

**LHCb: LHC Beauty** (fisica del quark bottom)

Ricerca sulle origini dell'universo:

**ALICE: A Large Ion Collider Experiment** (fisica con ioni pesanti)

**TOTEM: Total Cross Section** (sezione d'urto totale)

**LHCf: LHC Forward** (spettri produzione particelle ad alta energia)



# 7. ATLAS

## A Toroidal Lhc ApparatuS

(Un Apparato Toroidale a LHC)

<http://atlas.ch>

<http://atlas.ch/students.html>

<http://www.youtube.com/TheATLASExperiment>

Visita virtuale:

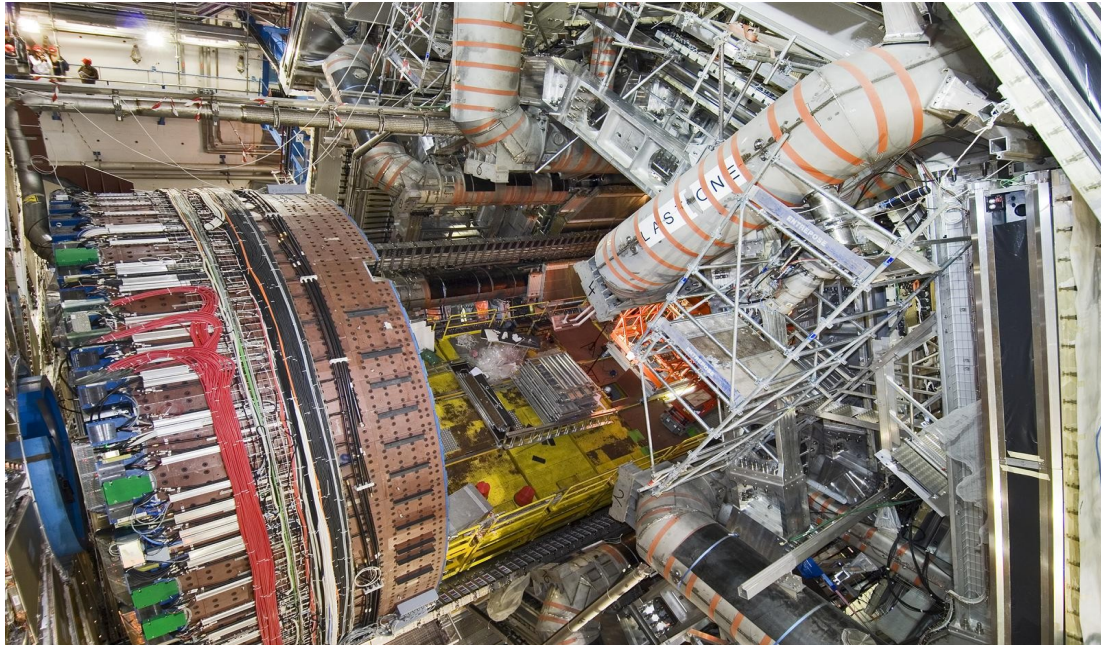
[http://virtualvisit.web.cern.ch/VirtualVisit/ATLAS\\_dev/HTML/VThi.html](http://virtualvisit.web.cern.ch/VirtualVisit/ATLAS_dev/HTML/VThi.html)

# ATLAS

2500 ricercatori, 170 Istituzioni, 35 Nazioni  
10-15% circa, italiani

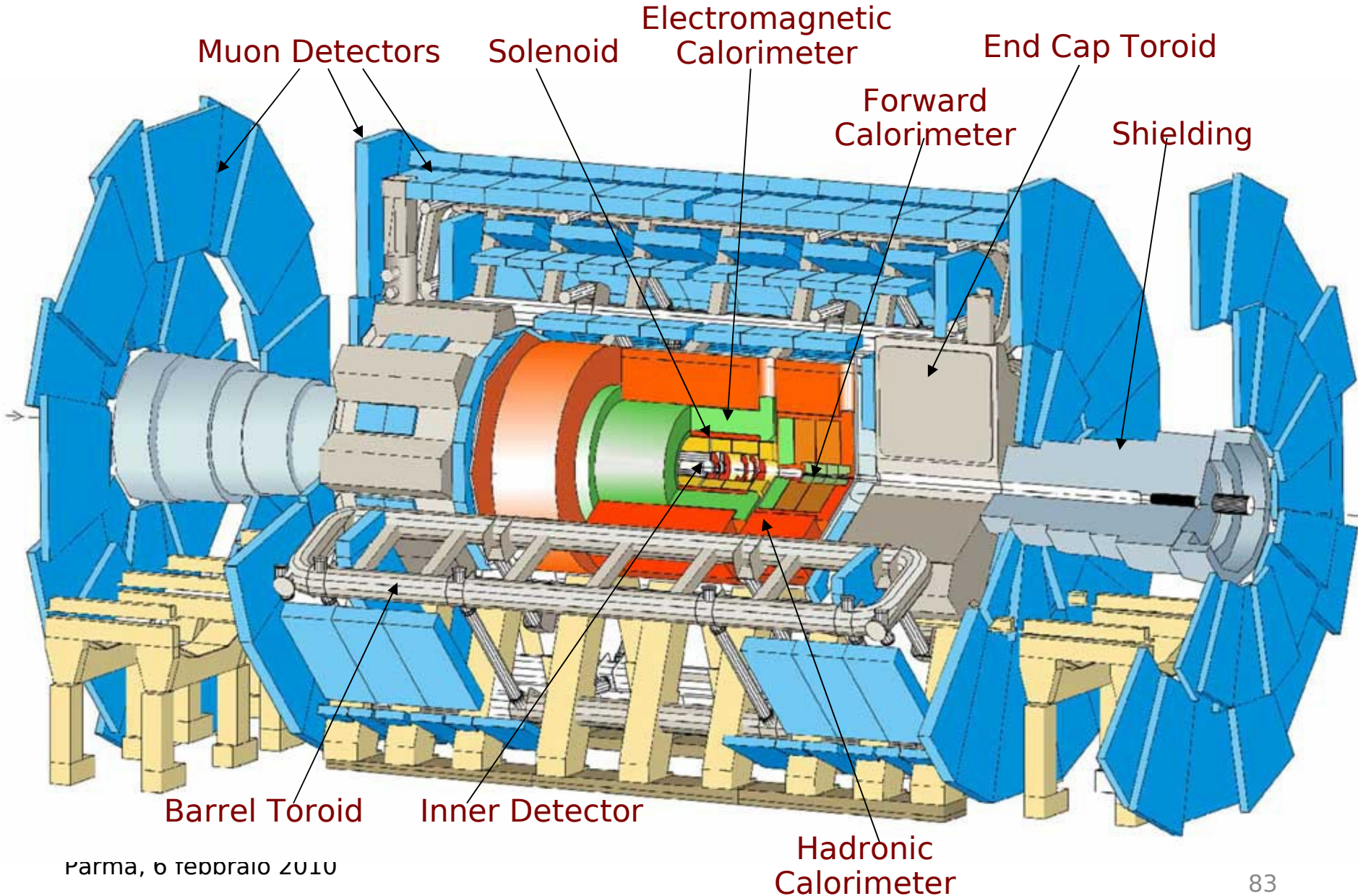
“L'esperimento su cui non tramonta mai il sole”

Ha un suo ordinamento (costituzione) e sue strutture interne  
Portavoce: Fabiola Gianotti (Italia)



Parma, 6 febbraio 2010

# Un Microscopio alto 22 m e lungo 46 m



Parma, 6 febbraio 2010

# ATLAS (2)

Il piu' grande esperimento mai costruito:

~ 7000 tonnellate

~ 500 milioni di Euro

3 sottosistemi principali + sistema magnetico:

Sistema magnetico:

Solenoidi centrale e Toroidi barrel e endcap

Tracciatore Interno (100 milioni di canali di lettura): Pixel,

Silicon Tracker (SCT) e Transition Radiation Tracker (TRT)

Calorimetri:

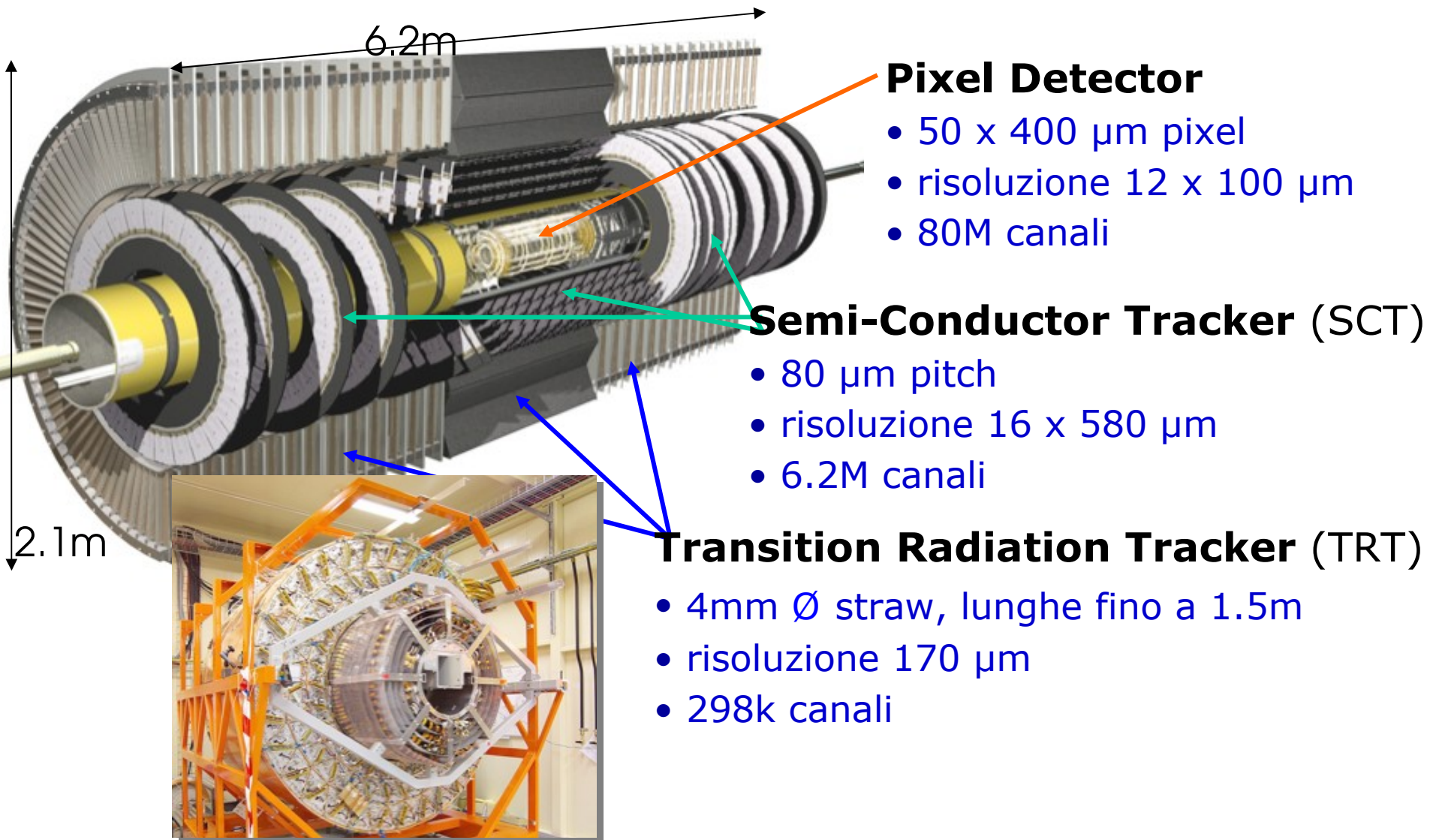
Calorimetro Elettromagnetico (Lar) e Calorimetro Adronico (Tile)

Spettrometro per Muoni (1 milione di canali di lettura):

Tracciamento (MDT, CSC), Trigger (RPC, TGC)

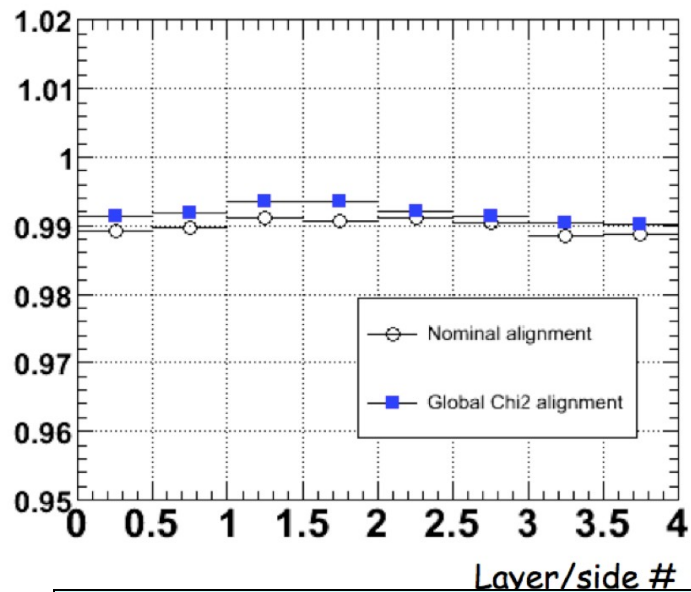
Ogni "elemento" è sviluppato da una collaborazione internazionale !

# Esempio: Tracciatore Interno

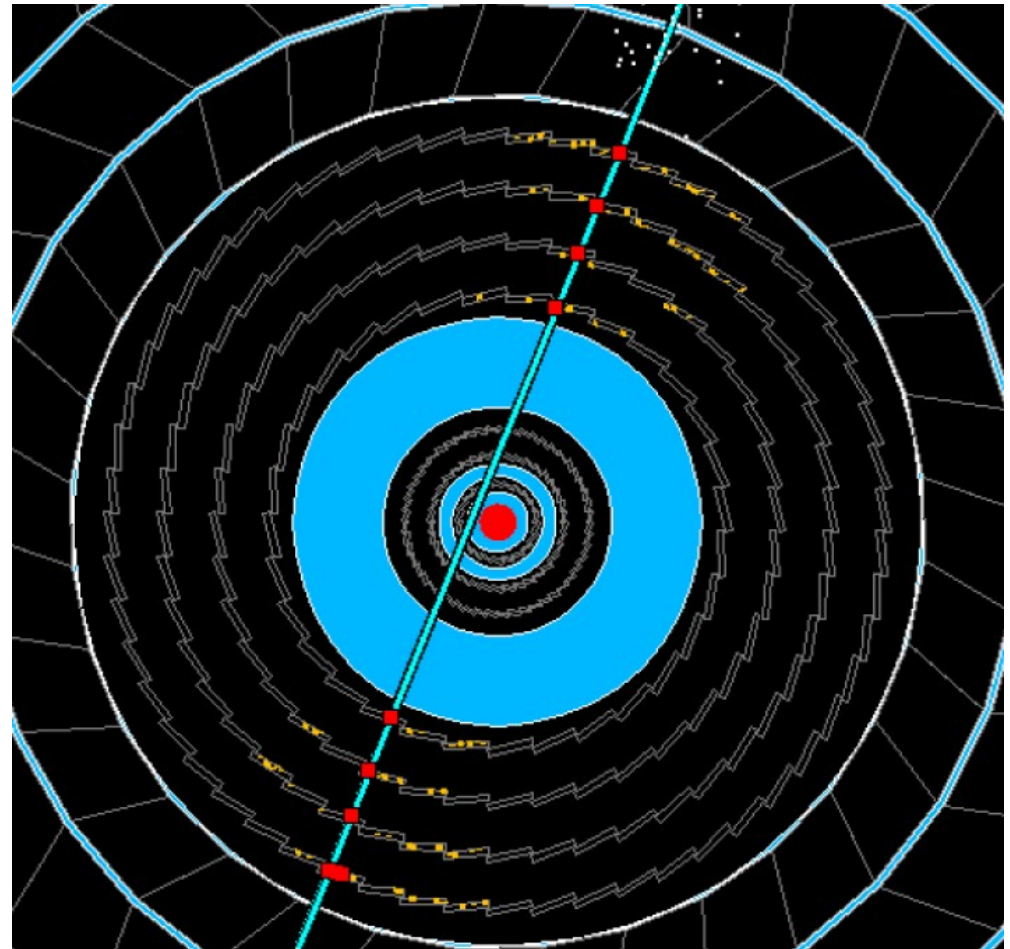


# Tracce SCT con Cosmici

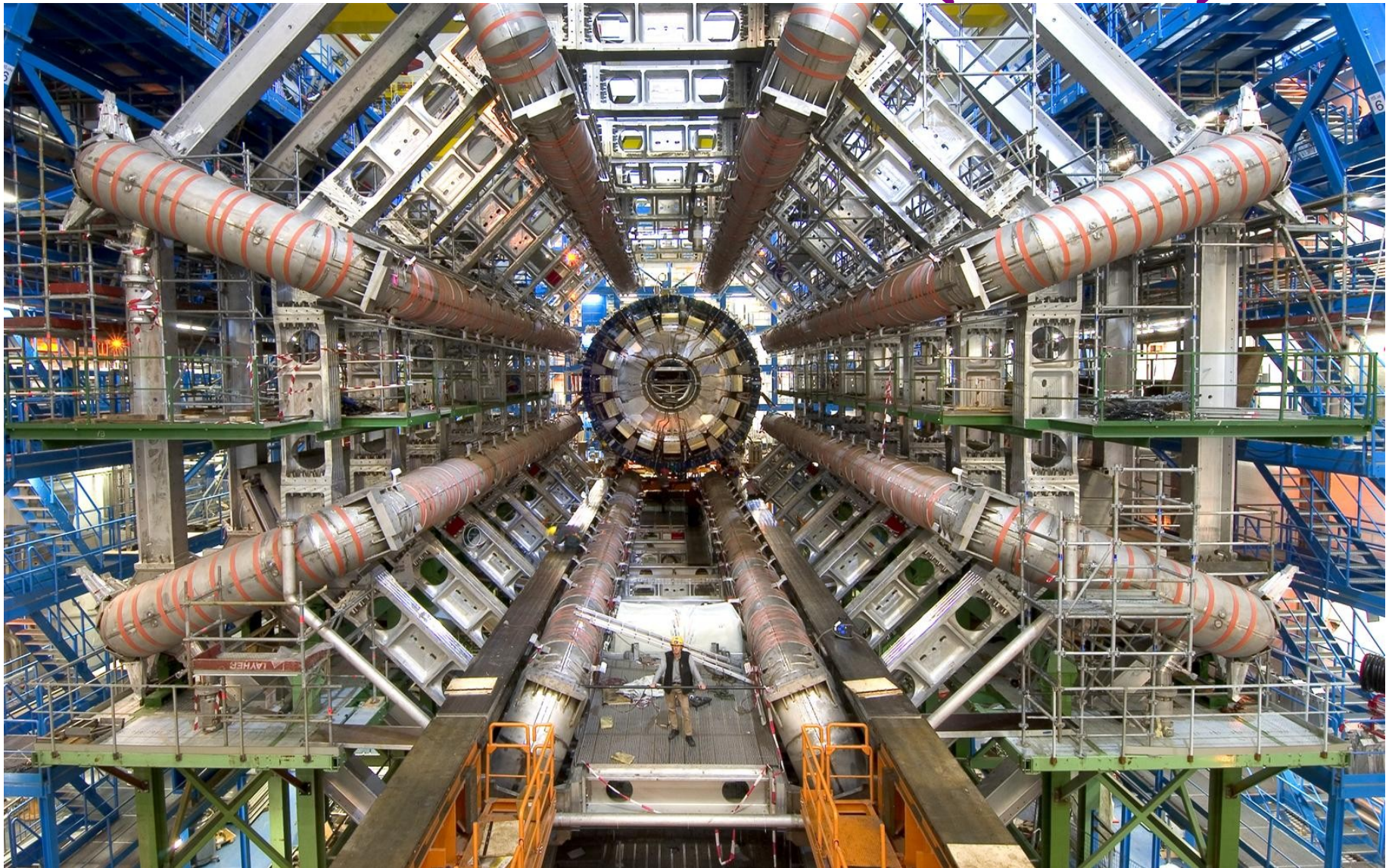
10 milioni di eventi (500 mila di raggi cosmici)



Efficienza >99%

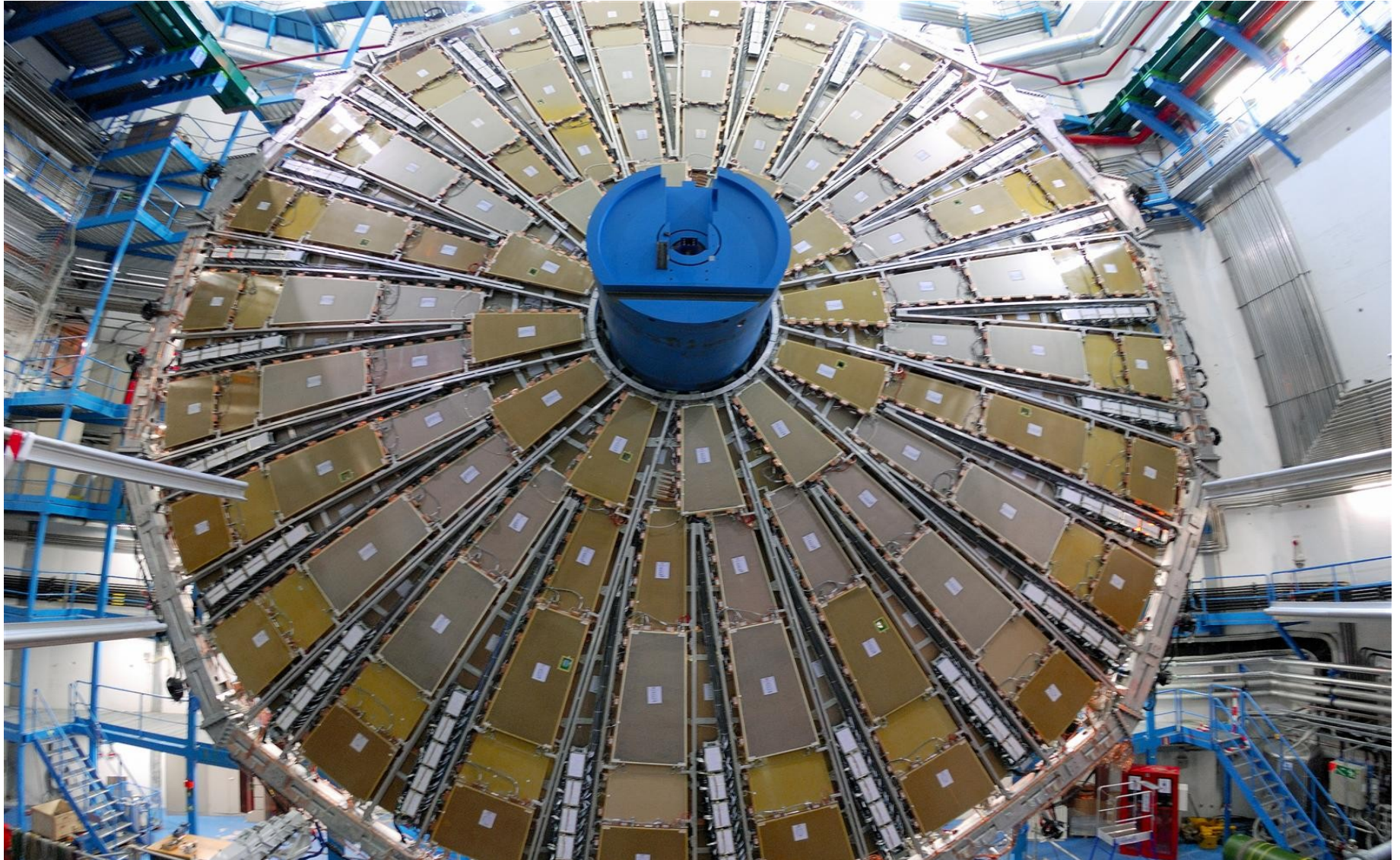


# Il Toroide Centrale (Barrel)



Parma, 6 febbraio 2010

# La Prima di 8 Grandi Ruote



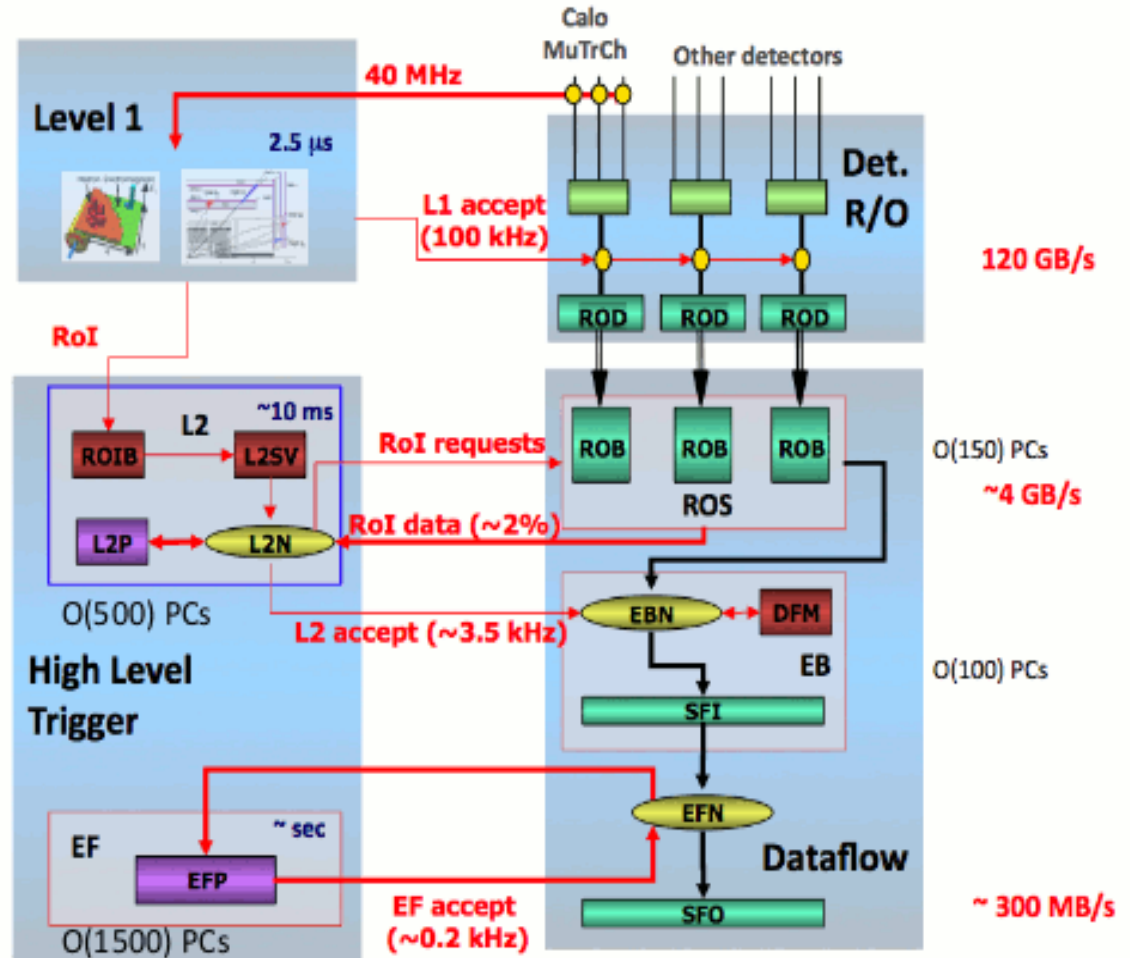
Parma, 6 febbraio 2010



# Selezione Dati

## Ricostruzione e selezione eventi "on-line"

- Elettronica e computer dedicati
- migliaia di processori in parallelo (hardware)
- decine di migliaia di processi da controllare (software)



# Selezione Dati (2)

- Immaginate un superenalotto che effettui 1 miliardo di estrazioni al secondo di 8 numeri
- Una sola combinazione [ su ~ 100 miliardi ] è quella interessante
- Solo 50 combinazioni al secondo possono essere scritte e analizzate con calma

→ Riduzione del flusso di dati a più livelli

1. un primo sistema controlla 3 numeri di ogni estrazione → in media una sola estrazione su 2000 sopravvive (~ 500mila al secondo)
2. un secondo sistema controlla 5 numeri → ~ 1/400 sopravvive (~ 1250 al secondo)
3. un terzo sistema controlla 6 numeri → ~1/30 sopravvive (~ 45 al secondo, vengono registrate su disco)

# La Ricerca del Bosone di Higgs

da misure di precisione e ricerche dirette:

$$114.4 < m_H < \sim 200 \text{ GeV} \quad (\text{vita media} < \sim 10^{-22} \text{ s})$$

## Search for the Higgs Particle

Status as of March 2009

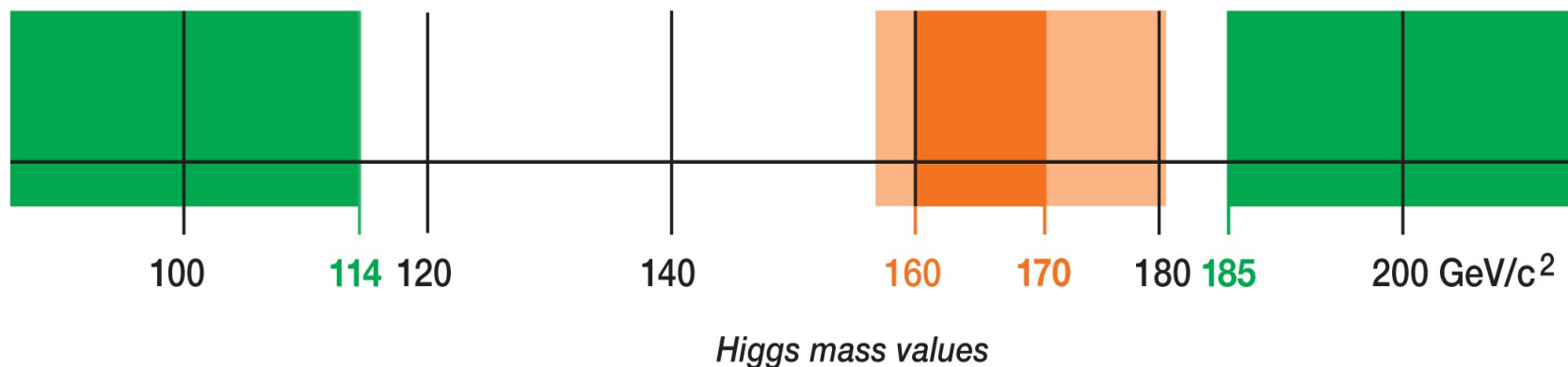
90% confidence level

95% confidence level

Excluded by  
LEP Experiments  
95% confidence level

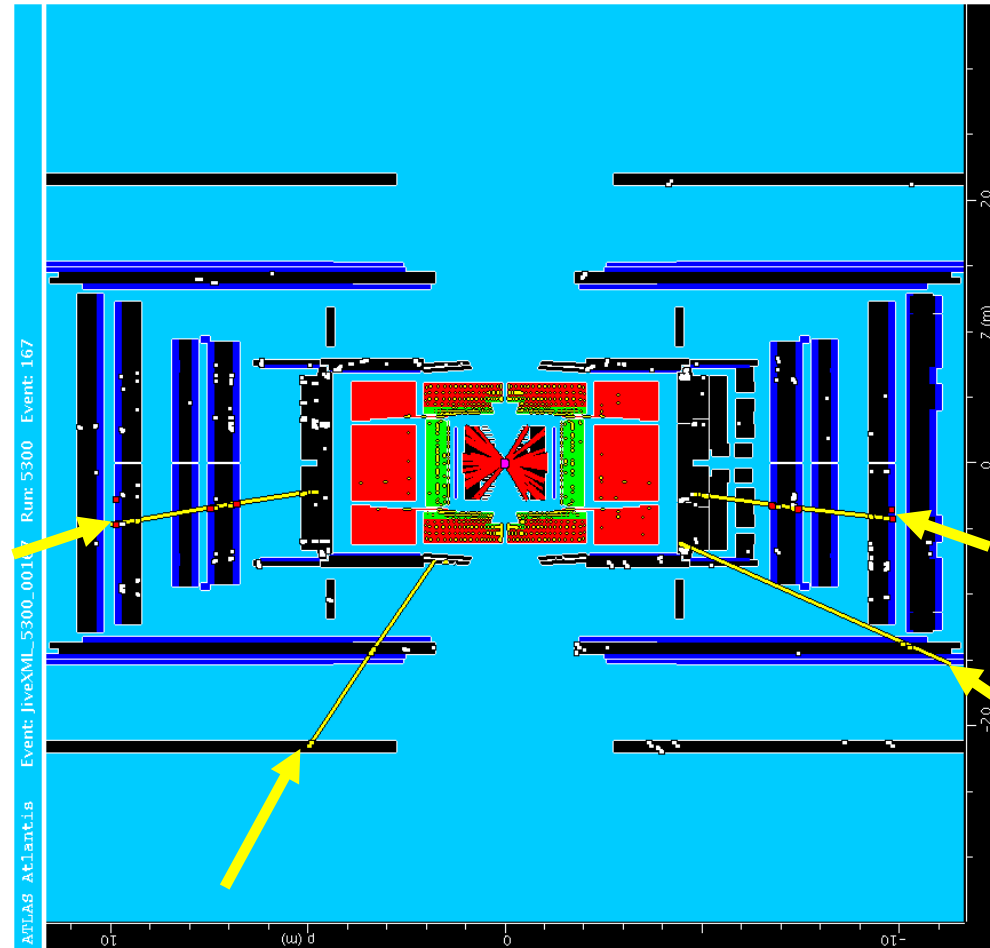
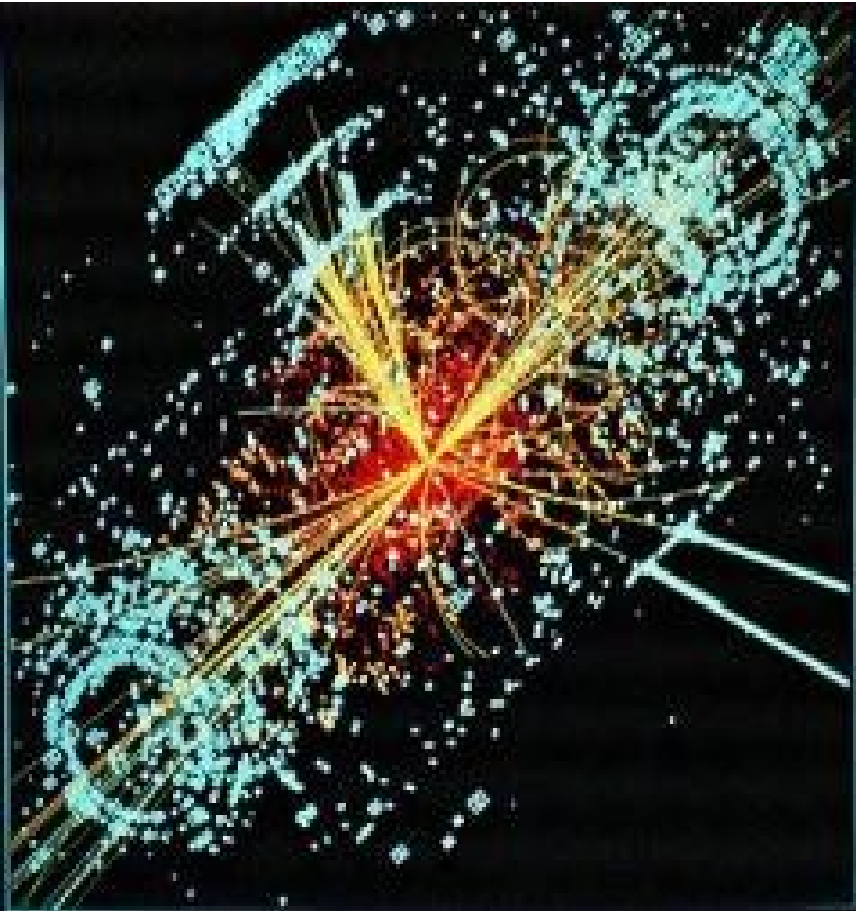
Excluded by  
Tevatron  
Experiments

Excluded by  
Indirect Measurements  
95% confidence level



# La Ricerca del Bosone di Higgs

$$H(130 \text{ GeV}) \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4 \mu$$



Parma, 6 febbraio 2010

# Statistica

Rapporto segnale/rumore pessimo:

→ immaginate di cercare di riconoscere una nota musicale nel caos di una fiera

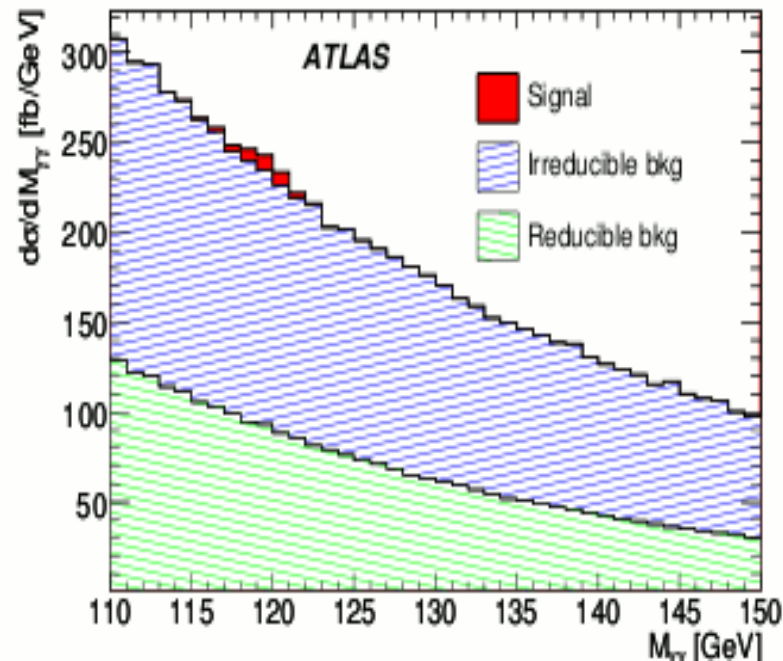
→ precisione di misura fondamentale (energia, direzione, tipo di particelle)

Necessari vari anni di presa dati:

$$S = \frac{N_s}{\sqrt{N_B}}$$

**Prob( $S > 5$ )  $< 3 \cdot 10^{-7}$**

**→ Scoperta**



# Ricerca di Nuove Particelle

Esempio: materia oscura (neutralini ?)

particelle che interagiscono così poco con la materia ordinaria da scappare senza lasciare tracce visibili

→ devono essere le sole a poter sfuggire alla identificazione

→ eventi riconosciuti grazie allo "sbilancio" energetico ("energia mancante")

Necessario Rivelatore "Ermetico"

# I Buchi Neri

LHC(E=14 TeV) Raggio di Schwarzschild:  $\sim 3 \cdot 10^{-47}$  mm

→ miliardi di miliardi di anni per produrne uno !

:-)

Identificarne uno o piu' sarebbe un segnale formidabile di nuova fisica

Fornirebbe un ponte fra fisica delle particelle e teoria della gravitazione !!!

... ma potrebbero essere pericolosi ?

# La Natura fa gia' di meglio ...

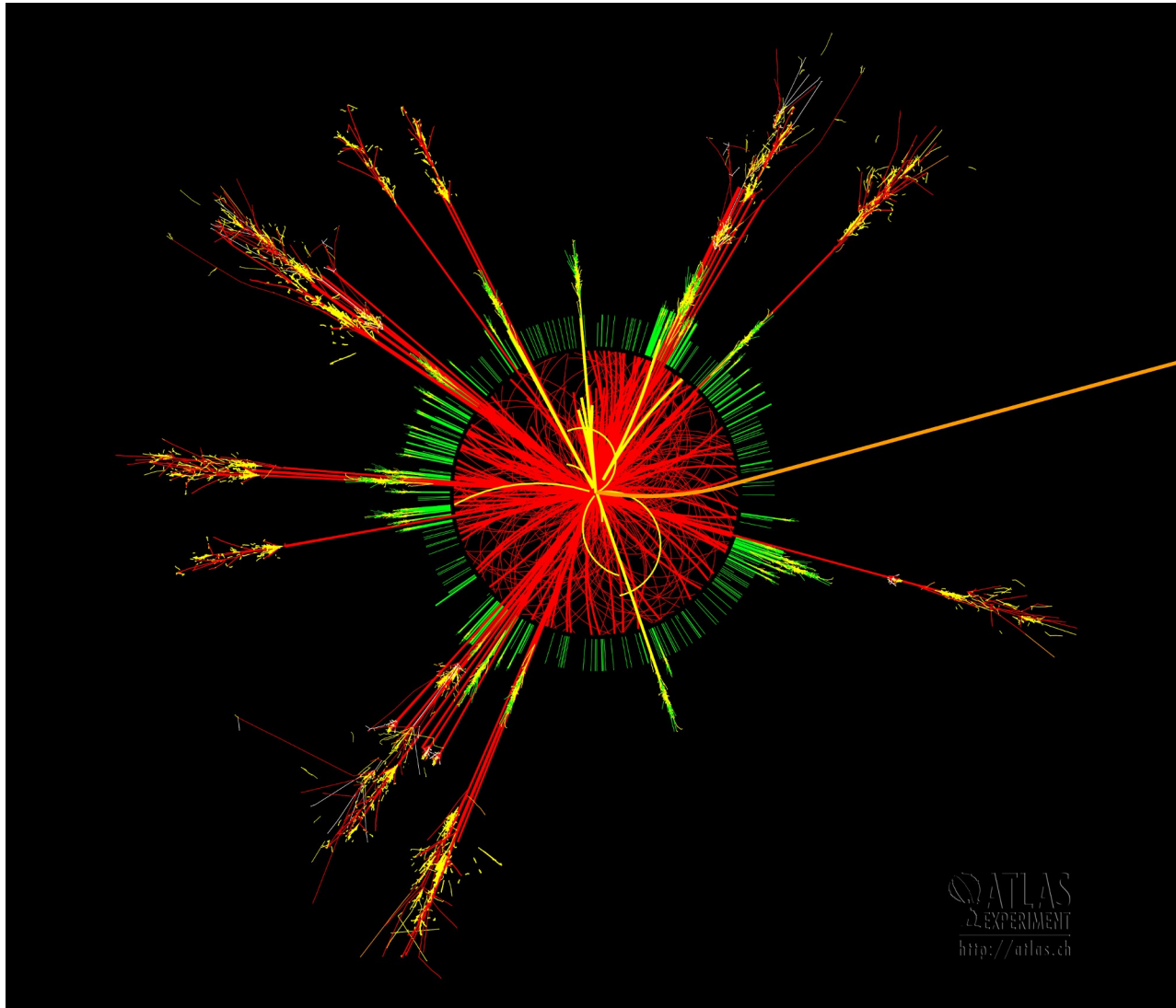
Raggi cosmici di energie spaventose bombardano la terra, luna, pianeti, stelle da miliardi di anni senza produrre danni visibili !

Energie anche superiori a  $10^{20}$  eV

Se si formano buchi neri, evaporano prima di avere alcuna possibilita' di stabilizzarsi (radiazione di Hawking)

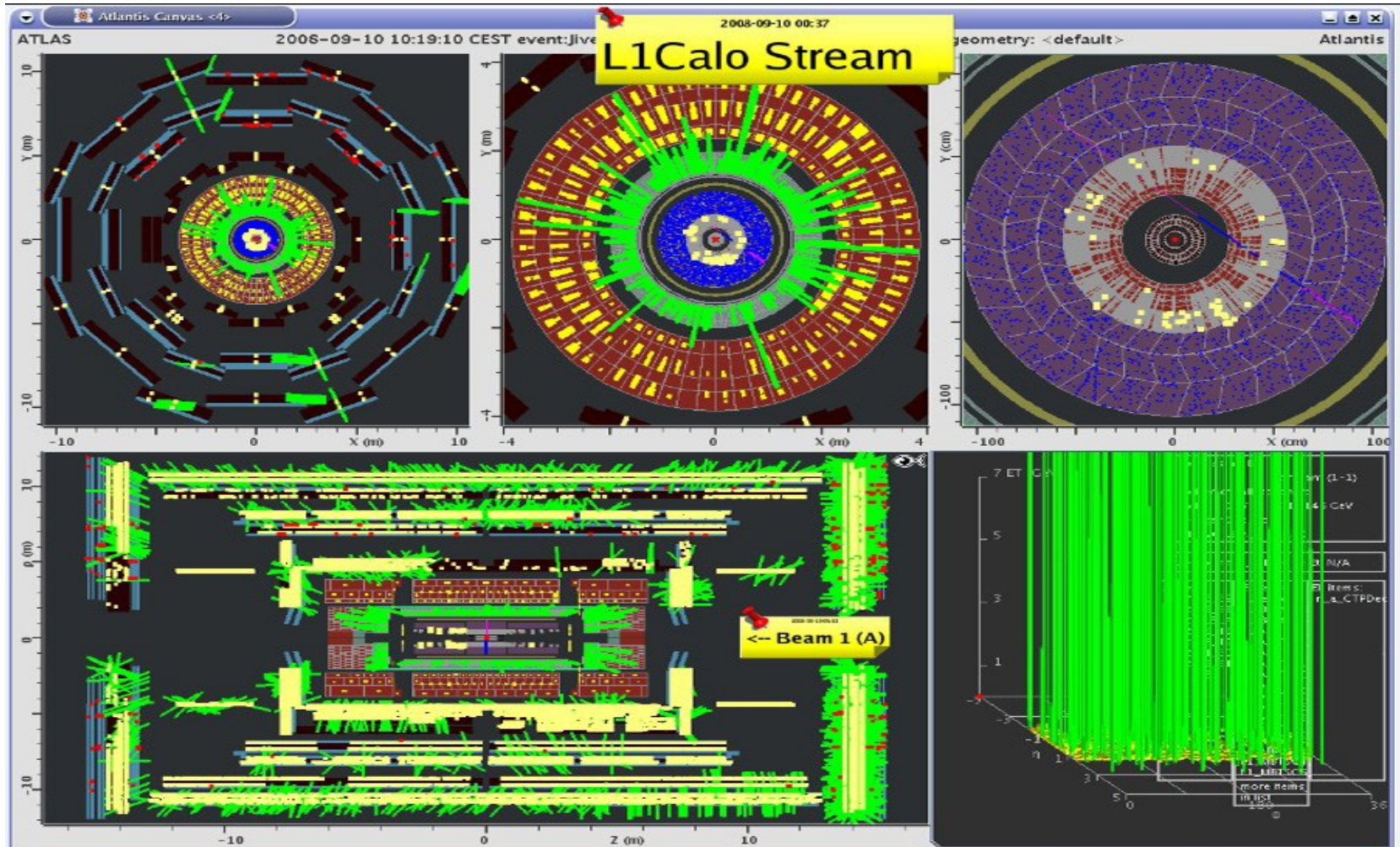


# Buchi Neri



Parma, 6 febbraio 2010

# Evento n. 1



Parma, 6 febbraio 2010



# Novembre-Dicembre 2009

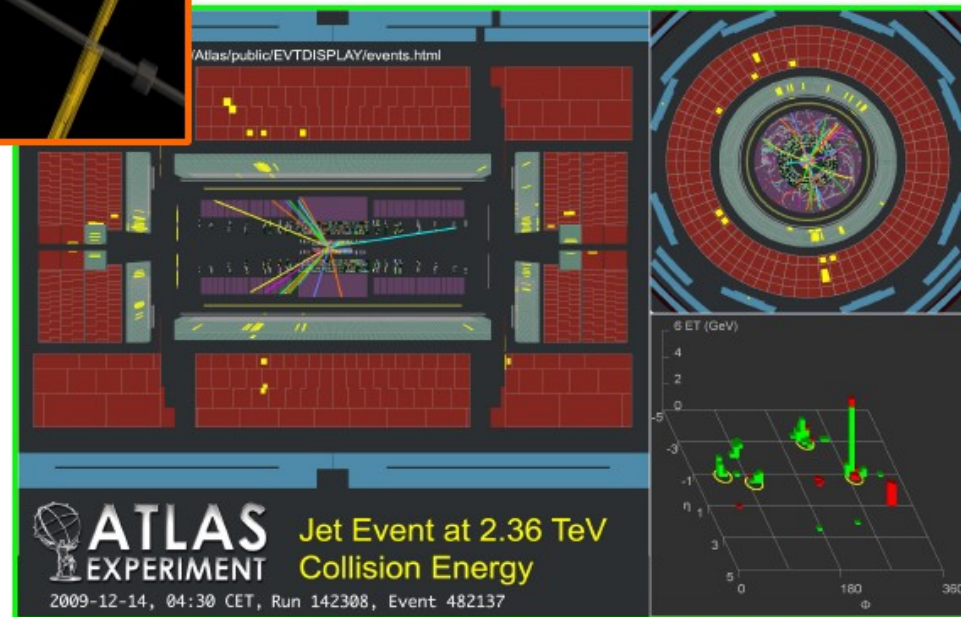
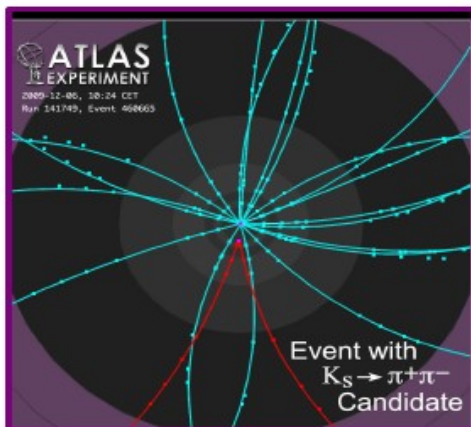
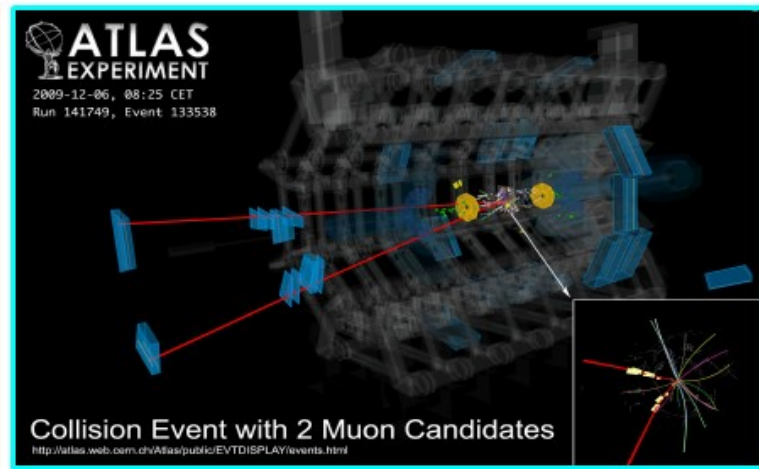
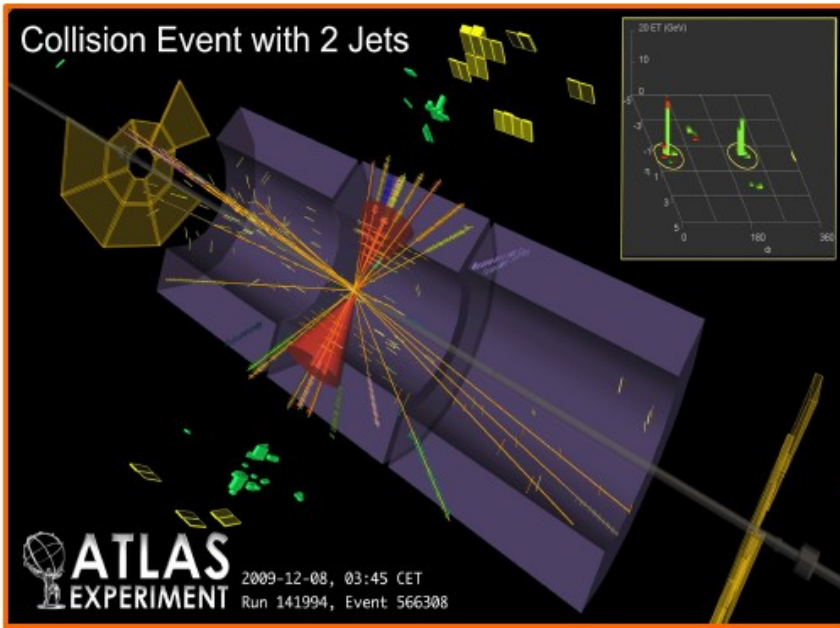


Since 20<sup>th</sup> November 2009,  
a fantastic escalation!!!  
5 weeks of beam operation, whole ATLAS detector

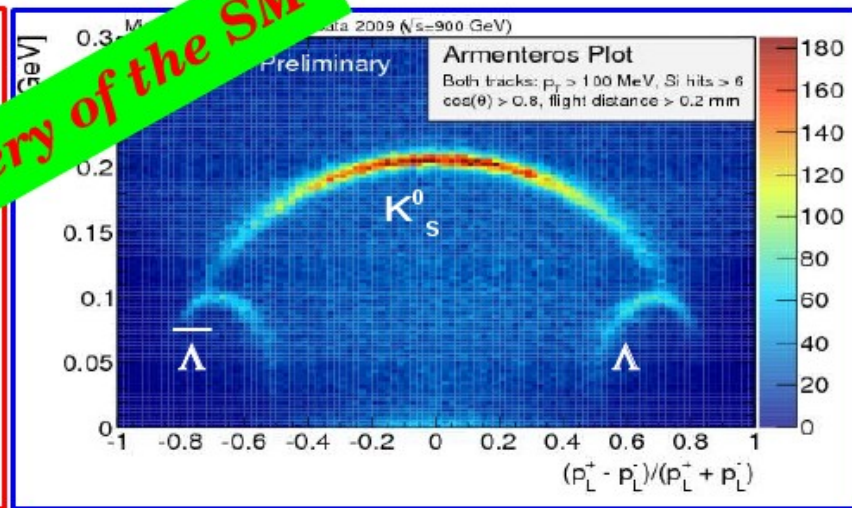
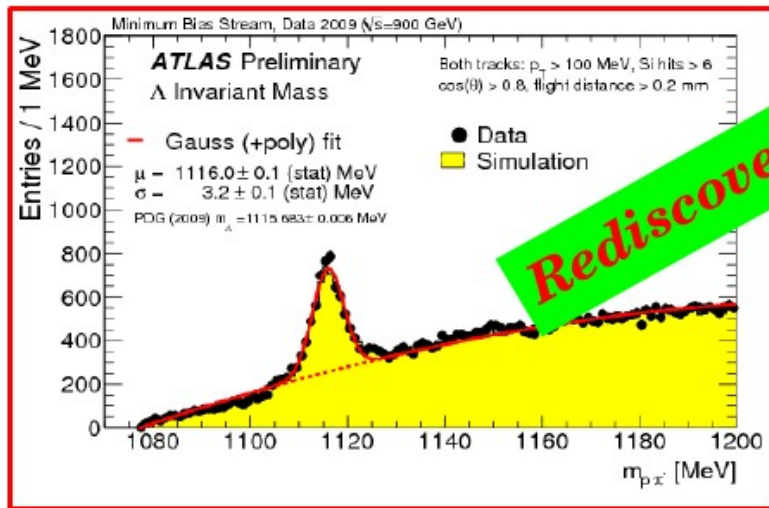
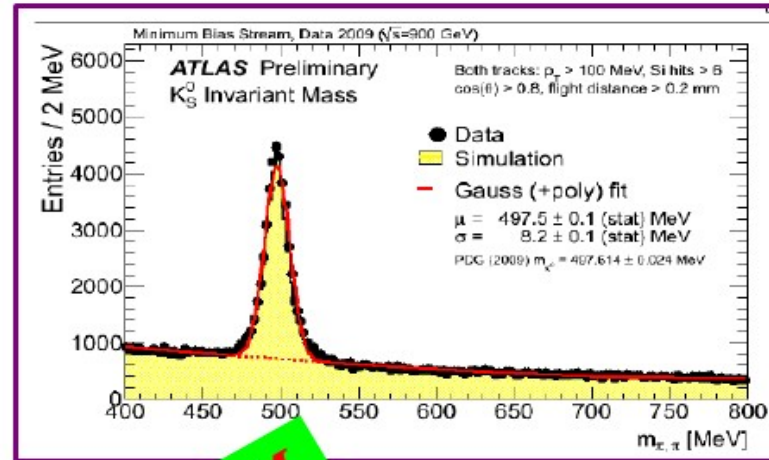
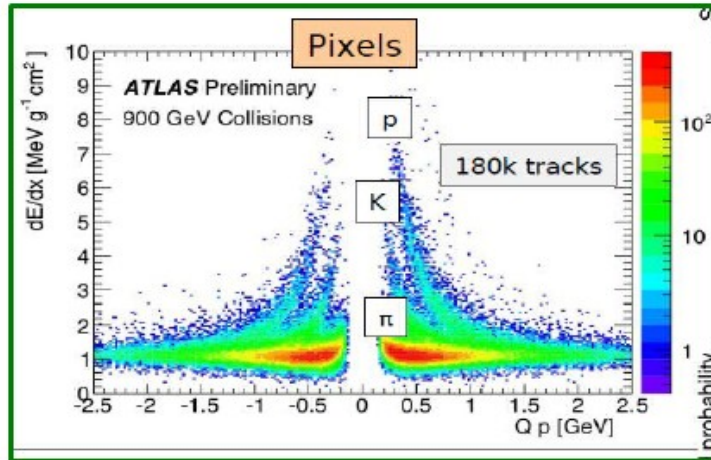


- ✓ 23 Nov: First collisions @ 900 GeV
- ✓ 6 Dec: Stable beams  $\Rightarrow$  nominal voltage
- ✓ 8,14,16 Dec: Collisions @ 2.36 TeV

# Le Prime Collisioni



# I Primi Risultati



Rediscovery of the SM

# Il Prossimo Futuro

LHC Performance Workshop

Chamonix 25-29 gennaio 2010

- Due anni (2010-2011) di presa dati a 3.5+3.5 TeV  
(fisica del modello standard → calibrazioni, allineamenti)
- Un anno di stop (2012) per implementare tutte le  
modifiche necessarie per garantire la sicurezza a 7+7 TeV

dopo di che: ... la fisica di scoperta

# Concludendo

E' uno sporco lavoro ma qualcuno lo deve pur fare ...



... cittadini del mondo ...



# Paradiso e Inferno

Il Paradiso è dove: i cuochi sono francesi, i poliziotti inglesi, i meccanici tedeschi, gli amanti italiani e tutto è organizzato dagli svizzeri

L'Inferno è dove: i cuochi sono inglesi, i poliziotti tedeschi, i meccanici francesi, gli amanti svizzeri e tutto è organizzato dagli italiani

→ Certi risultati sono possibili solo con il contributo di tutti e se ognuno ci mette quanto di meglio può

p.s.: Per chi fosse interessato ad approfondire, metterò informazioni bibliografiche (e queste slide) all'indirizzo:

<http://www.pv.infn.it/~ferrari/marconi06022010.html>



**Grazie per  
l'attenzione**



# Appendici

# Potenze di 10

$10^{-15}$ m = 1 fm	(femto)	-> protone
$10^{-12}$ m = 1 pm	(pico)	-> raggio X con E = 200 keV
$10^{-9}$ m = 1 nm	(nano)	-> atomi
$10^{-6}$ m = 1 $\mu$ m	(micro)	-> cellule
$10^{-3}$ m = 1 mm	(milli)	-> 10 fogli di carta
1 m		-> braccio
$10^3$ m = 1 km	(kilo)	-> 10 campi di calcio
$10^6$ m = 1 Mm	(Mega)	-> distanza Londra
$10^9$ m = 1 Gm	(Giga)	-> 2.5 * distanza luna
$10^{12}$ m = 1 Tm	(Tera)	-> 7 * distanza sole
$10^{15}$ m = 1 Pm	(Peta)	-> 1/40 * proxima centauri

# Bibliografia e Risorse Web

# Bibliografia

## Particelle e Cosmo (divulgativi)

F. Foresta Martin, "Dall'atomo al cosmo", Editore Editoriale Scienza  
(collana Quattro passi nella scienza)

L. Lederman D. Schramm, "Dai quark al cosmo", Zanichelli Editore

S. Hawking, "Dal big bang ai buchi neri. Breve storia del tempo", BUR (Rizzoli)

S. Weinberg, "I primi tre minuti", Saggi Mondadori

E. Segrè, "Personaggi e scoperte nella fisica classica e contemporanea",  
Edizioni Scientifiche e Tecniche Mondadori

AA.VV., "Astrofisica e particelle elementari", CUEN

AA.VV. (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare), "Quark 2000. La fisica  
fondamentale italiana e le sfide del nuovo millennio", Le Scienze Editore

# Bibliografia (2)

## Meccanica Quantistica, Relatività

(per approfondire)

AA.VV., "Meccanica Quantistica", CUEN

L. Landau, G.B. Rumer, "Che cos'è la relatività?", Mir

L. Lanz, "Il Mondo dei Quanti", Le Scienze Editore

A. Einstein, "Teoria dei quanti di luce", Tascabili Economici Newton

R. P. Feynman, "Q.E.D.", Adelphi Editore

C. Bernardini, "Che cos'è una legge fisica", Editori Riuniti

L. Maiani, "Campi forze e particelle", Le Scienze Editore

# Risorse Web

INFN:

<http://www.infn.it/indexit.php>

CERN:

<http://www.cern.ch>

## Divulgazione scientifica:

<http://scienzapertutti.Inf.infn.it>

<http://www.particleadventure.org>

<http://www.infn.it/multimedia/particle>

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

<http://microcosm.web.cern.ch/microcosm/P10/italian/welcome.html>

<http://microcosm.web.cern.ch/microcosm/microboy/it/mac/index.htm>



# Risorse Web (2)

## LHC:

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

<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch>

<http://microcosm.web.cern.ch/microcosm/LHCGame/LHCGame.html>

The Large Hadron rap (Katie McAlpine):

<http://www.youtube.com/watch?v=f6aU-wFSqt0>

## ATLAS:

<http://atlas.ch>

<http://atlas.ch/students.html>

<http://www.youtube.com/TheATLASExperiment>

Visita virtuale di ATLAS:

[http://virtualvisit.web.cern.ch/VirtualVisit/ATLAS\\_dev/HTML/VThi.html](http://virtualvisit.web.cern.ch/VirtualVisit/ATLAS_dev/HTML/VThi.html)

# Risorse Web (3)

## Sui buchi neri:

<http://library.thinkquest.org/C0118900/galassie/buchineri.htm>

[http://www.pd.astro.it/planet/L23\\_045.html](http://www.pd.astro.it/planet/L23_045.html)

<http://design.lbl.gov/education/blackholes/index.html>

[http://antwrp.gsfc.nasa.gov/htmltest/gifcity/bh\\_pub\\_faq.html](http://antwrp.gsfc.nasa.gov/htmltest/gifcity/bh_pub_faq.html)