

# ACCELERATORI DI PARTICELLE E BUCHI NERI

Roberto Ferrari

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Liceo Romagnosi

Parma, 20 marzo 2009

# Sommario

1. - l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
2. - il CERN
3. - le domande fondamentali
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 only to do with the respect with which  
we regard one another, the dignity of men,  
our love of culture.*

*It has to do with:*

*are we good painters, good sculptors, great poets?*

*I mean all the things we really venerate  
in our country and are patriotic about.*

*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 che fa sì che valga la pena difenderlo")*

# La Nascita



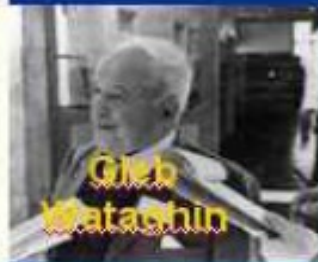
## Origini dell'INFN

- 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): 19 sezioni, 11 gruppi, 4 laboratori nazionali, 1850 dipendenti.

Raggruppa 5000 ricercatori, la maggior parte universitari.

**FORTEMENTE INTEGRATO CON IL SISTEMA UNIVERSITARIO**

**sezione**  
**gruppo**  
**laboratorio**

# 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":

CDF al Tevatron -> FermiLab (USA)

Babar a PEP II -> SLAC (USA)

Hera-b, Zeus a HERA -> Desy (Germania)

MEG al PSI Proton Accelerator -> PSI (Svizzera)

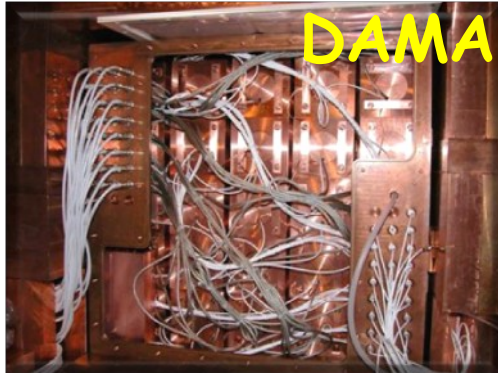
ATLAS, CMS, LHCb, ALICE, TOTEM, LHCf a LHC -> CERN

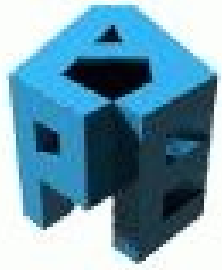
COMPASS, NA62 all' SPS -> CERN

KLOE a DAPHNE -> LNF (Frascati)

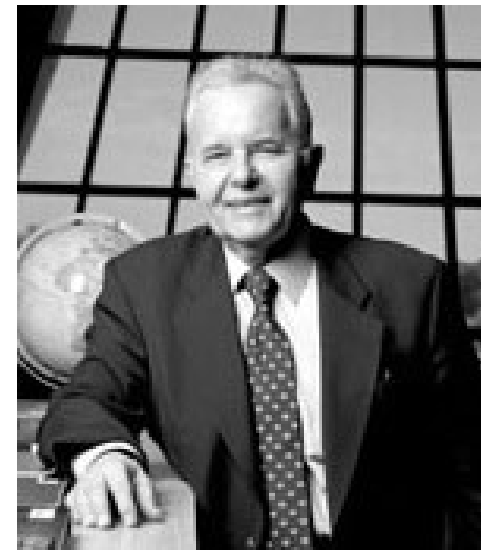
PANDA a FAIR -> GSI (Germania)

# Astro - Particelle

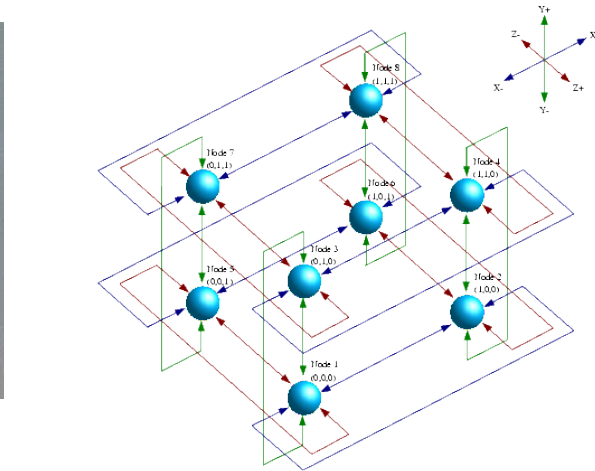




# Dalla Fisica Teorica (!?) al Super-Computing ovvero il progetto APE



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

[www.cnao.it](http://www.cnao.it)

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.

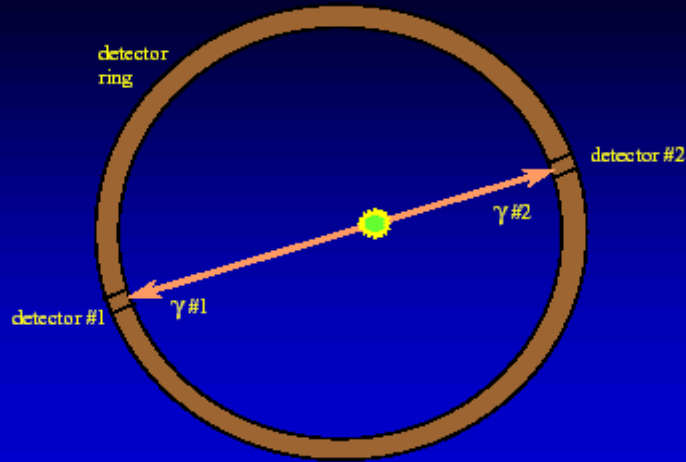
Centro simile in costruzione in Austria (sempre con il coinvolgimento dell'INFN)

# La PET: tomografia a positroni

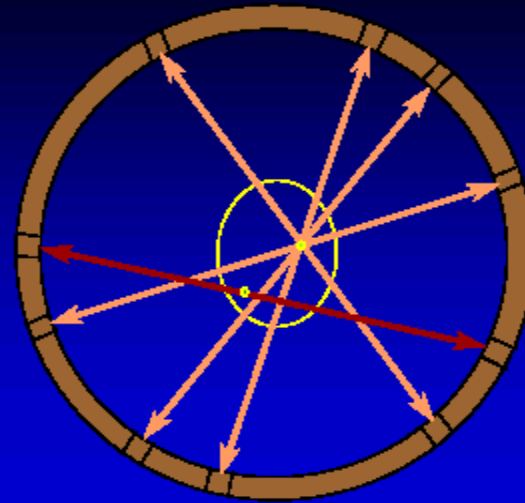




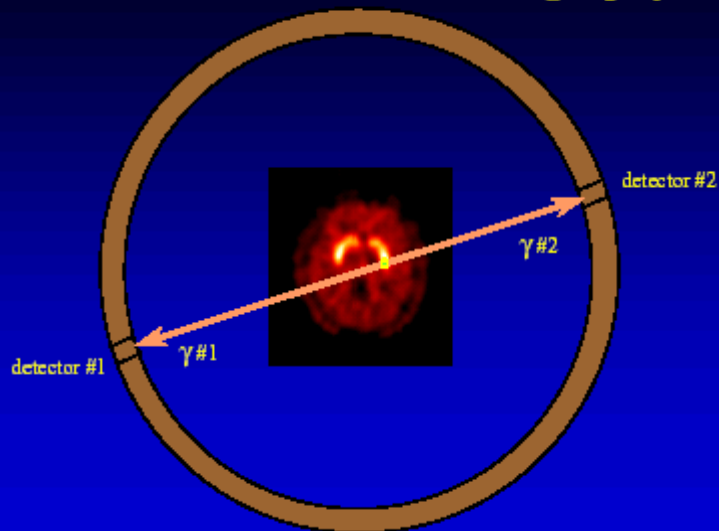
### Positron Emission Tomography



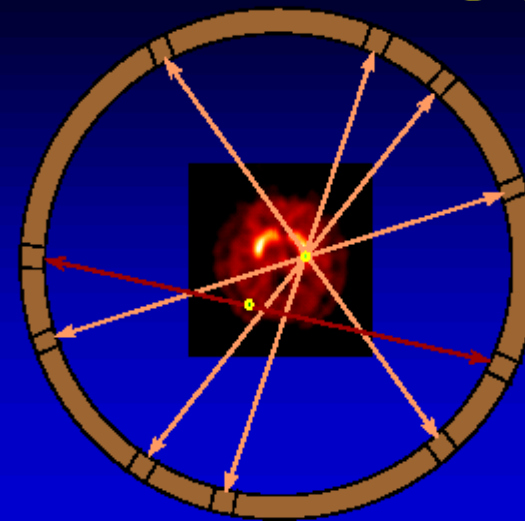
### Positron Emission Tomography



### Positron Emission Tomography



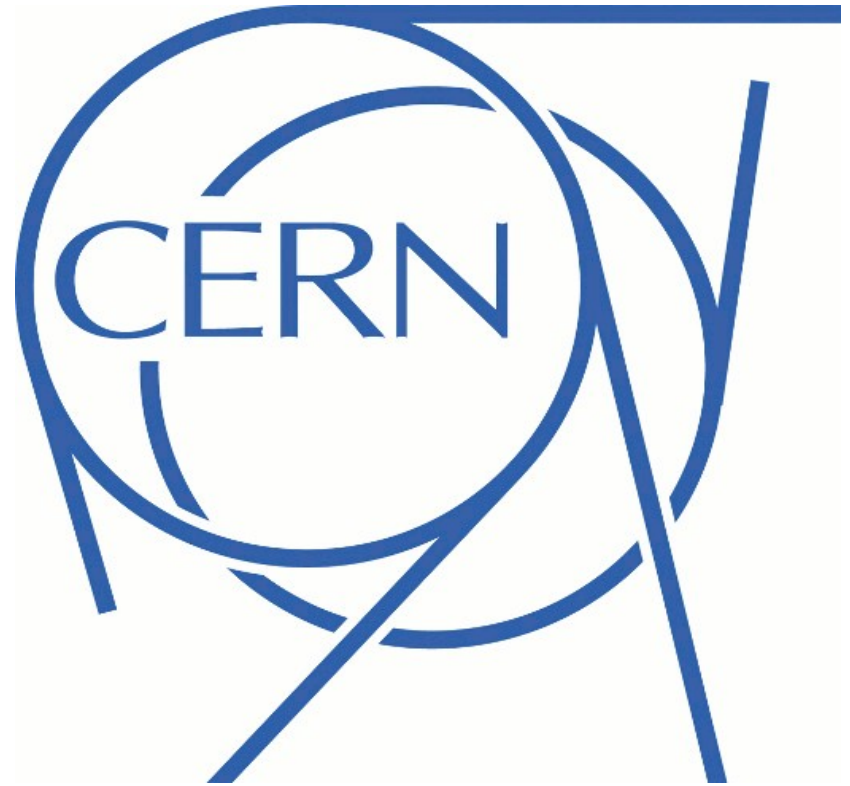
### Positron Emission Tomography



## 2. II CERN

<http://www.cern.ch>

European  
Organization for  
Nuclear Research







Parma, 20 marzo 2009



# 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:

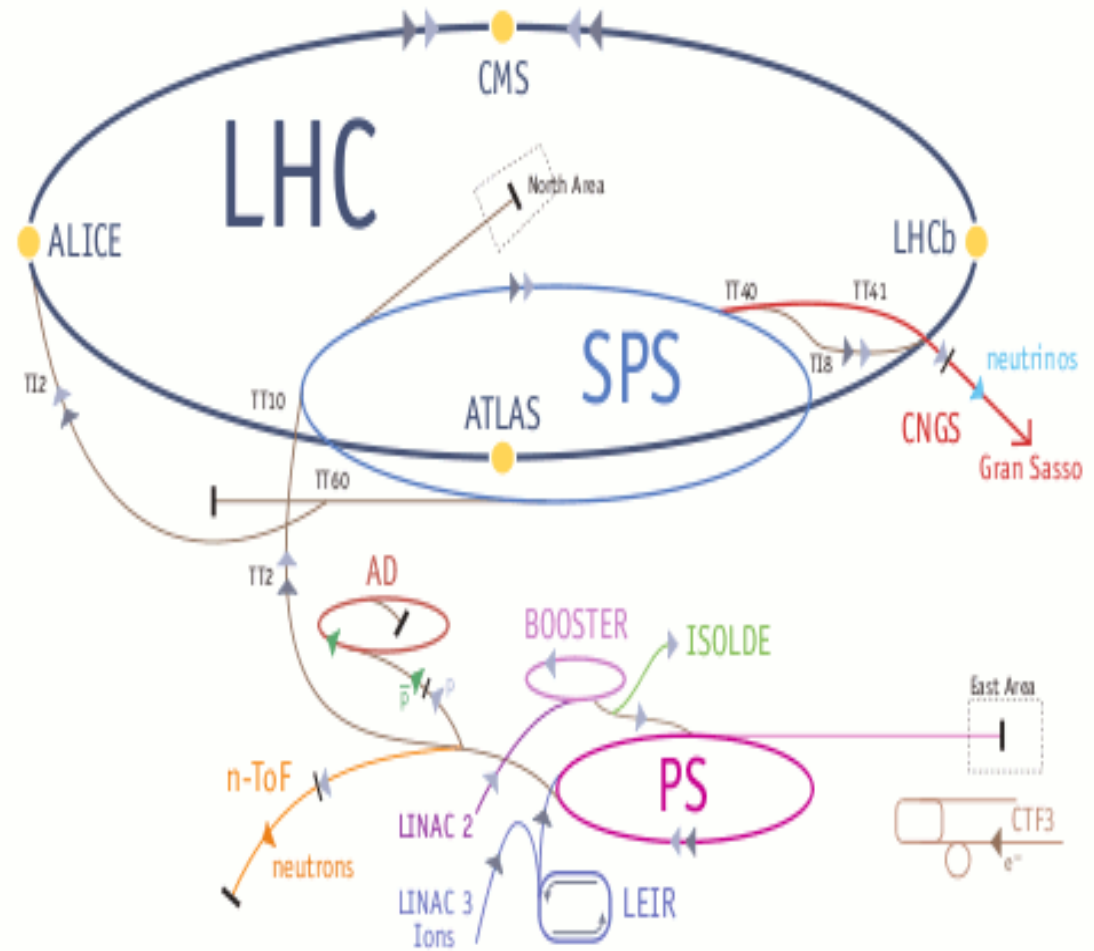
- 2600 dipendenti (staff), dei quali circa 1000 fisici e ingegneri
- coinvolge 9000 ricercatori da 560 istituti in 59 nazioni
- bilancio ~ 600 milioni di euro (bilancio INFN ~ 270 milioni di Euro)

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

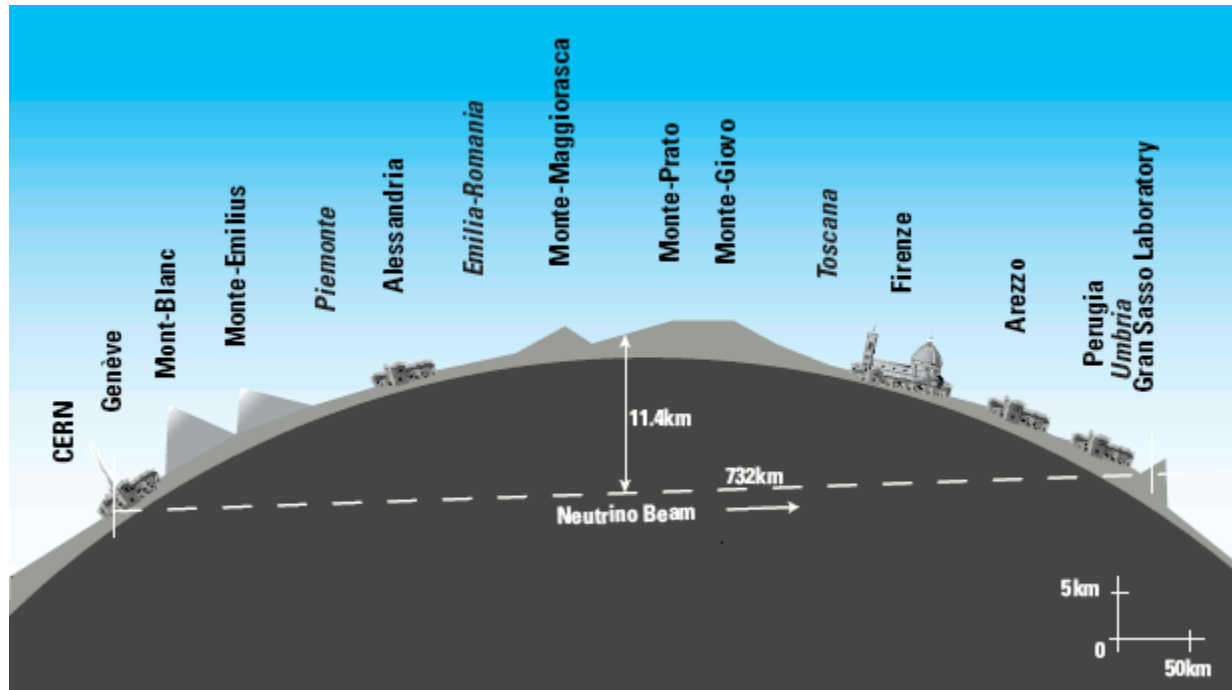
# CERN (2)

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 Maggiorasca

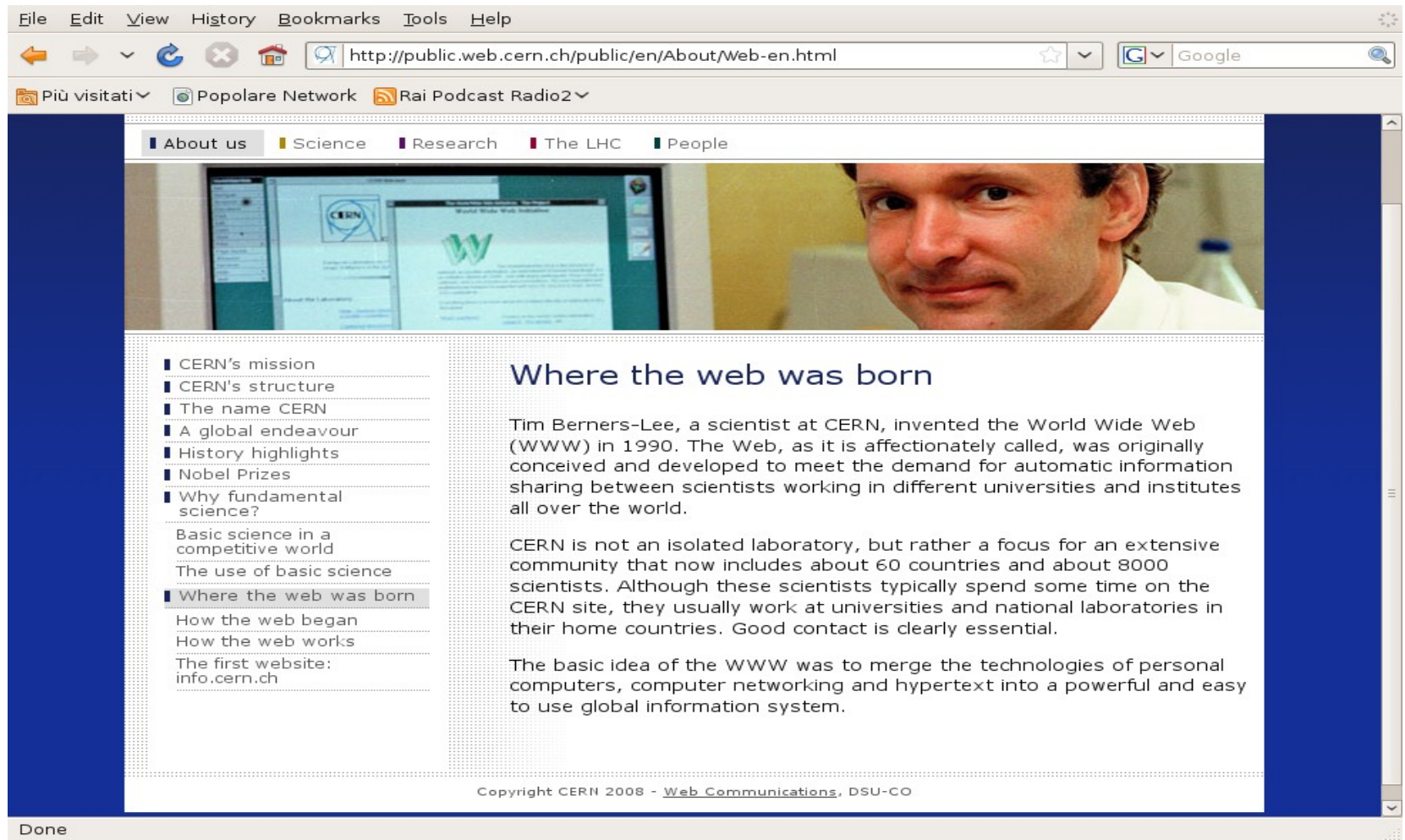
# CERN (3)

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



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. Le Domande Fondamentali

(e qualche elemento utile alla comprensione)

<http://scienzapertutti.lnf.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

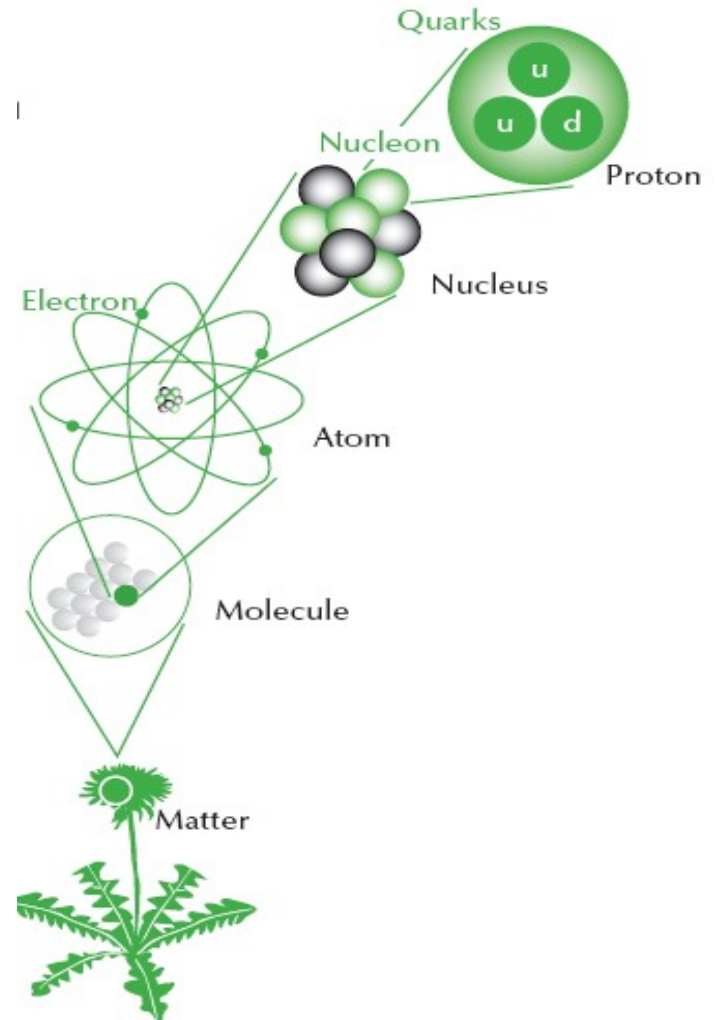
1. Entrambe le teorie funzionano

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)



# Dimensioni dell'universo

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

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

Eta' universo = 13.7 miliardi di anni

(1 anno luce  $\sim 10^{16}$  m)

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

circa 46 "ordini di grandezza" rispetto ai quark

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

# Unita' di misura

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 ~  $1.6 \cdot 10^{-19}$  Joule ~  $4 \cdot 10^{-23}$  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.lnf.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)

Abbiamo tutti diritto ad un po' di gravitazione  
(e di relativita') ...

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 ...

# Relativita' Generale

... ad es. per l'orbita di mercurio (perielio)

i conti non tornano (?) ...

Einstein (interpretazione geometrica della forza di gravita'):

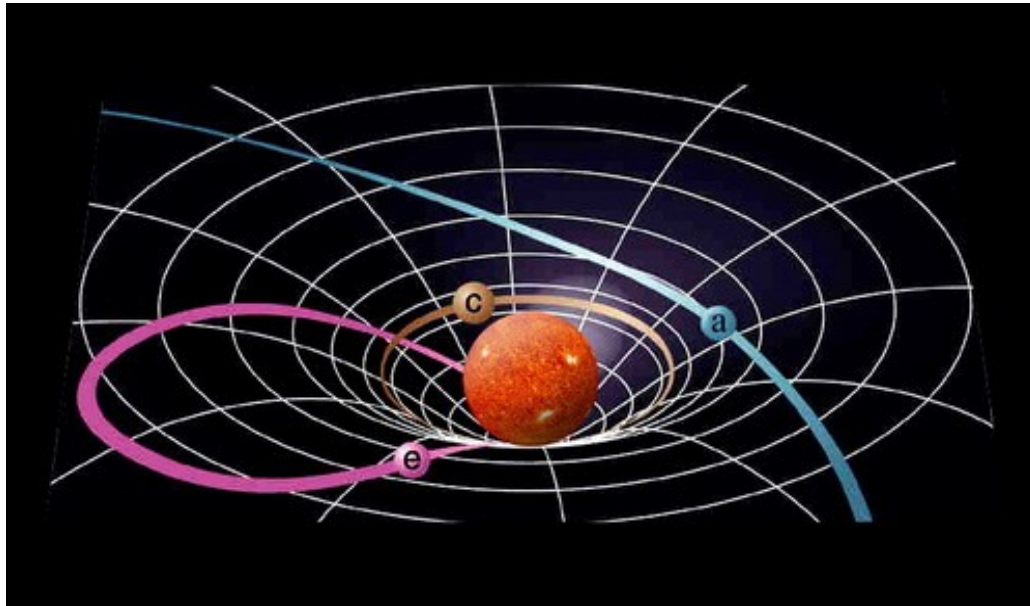
spazio-tempo deformato localmente dai corpi (dall'energia) ... come un sasso deforma un lenzuolo teso

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

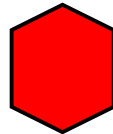
spazio-tempo      materia-energia



# Spazio Tempo e Materia



La materia dice allo spazio-tempo come curvarsi

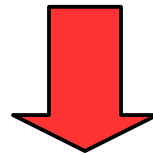


La curvatura dello spazio-tempo dice alla materia come muoversi

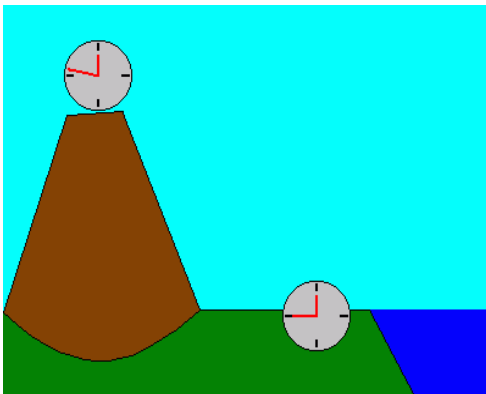
# Alcune conseguenze

Il campo gravitazionale non è costante

Esempio: sulla terra diminuisce all'aumentare  
dell'altitudine

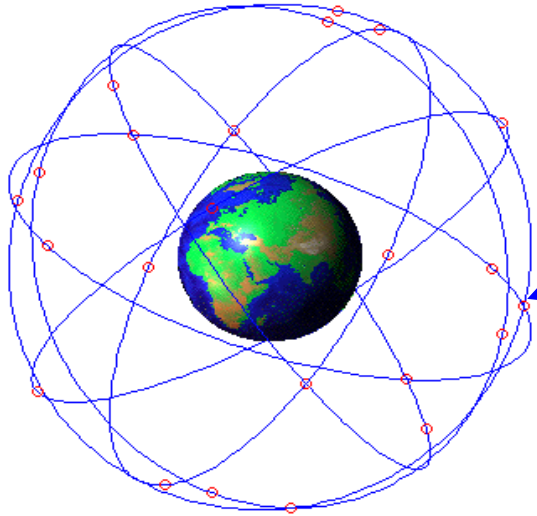


Dove la gravita' è piu' forte, il tempo scorre piu' lento



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

# GPS: global positioning system



24 satelliti

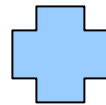
Altitudine: 20000 km

Periodo di rotazione: 12 ore

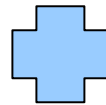
Precisione: ~5 metri

# Funzionamento GPS

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



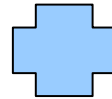
Ogni satellite ha un orologio atomico



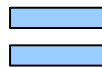
Il ricevitore GPS compara i segnali degli orologi di diversi satelliti per usare poi il metodo del posizionamento sferico

# 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 più 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 → più piccolo di un quark !

**(1 protone ~  $2 \cdot 10^{-51}$  mm)**

## 5. Lo Studio delle Particelle "Elementari"

<http://www.particleadventure.org>

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

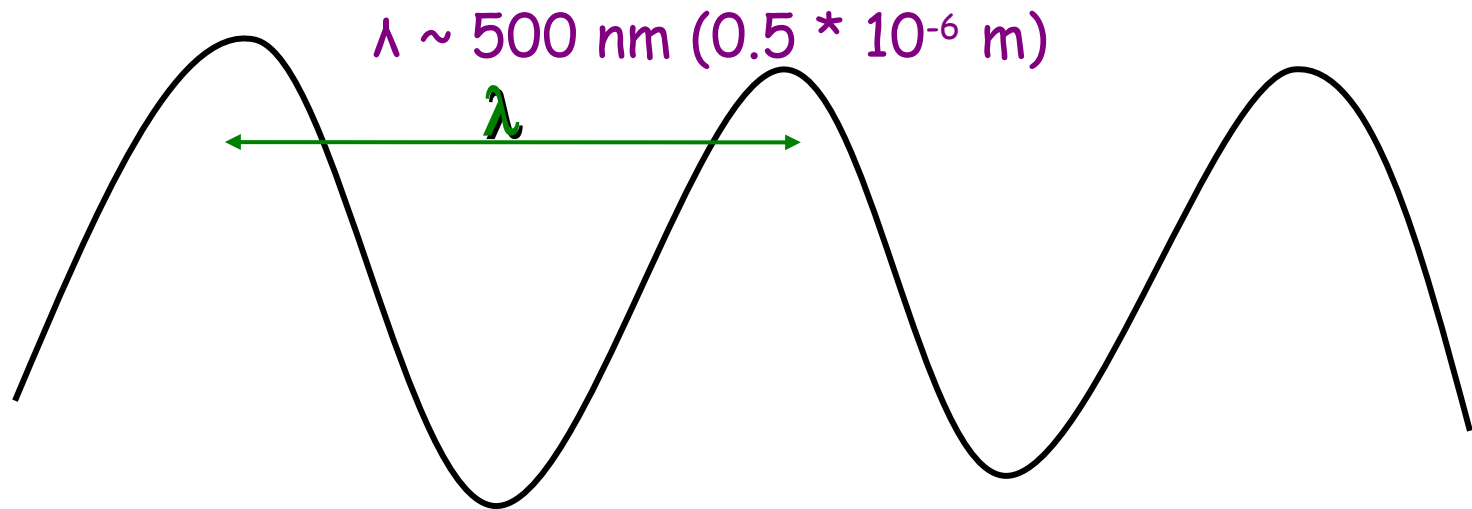
<http://microcosm.web.cern.ch>

# Strumenti di indagine ...

Microscopio 1000x:  $\sim 10^{-6}$  m (= 1 millesimo di millimetro)

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

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

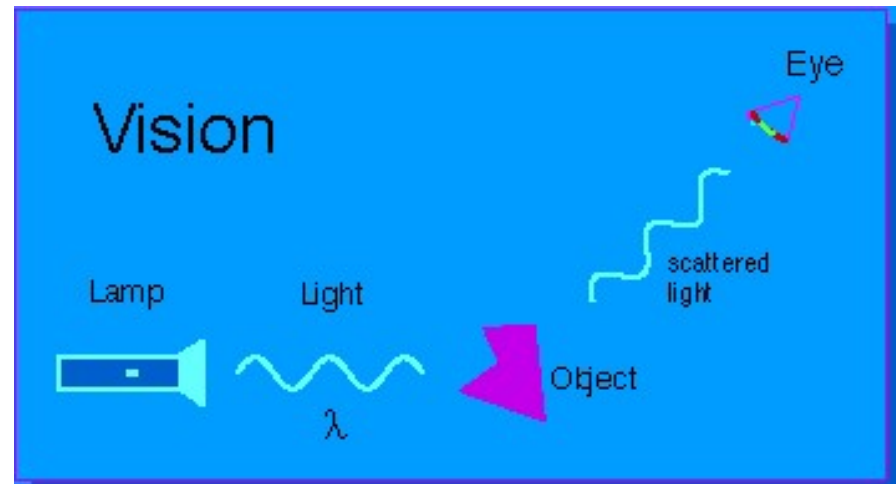


**$\sim 5000$  atomi entro una sola lunghezza d'onda**  
impossibile "risolvere" ("vedere") un singolo atomo !  
(e la sua struttura)

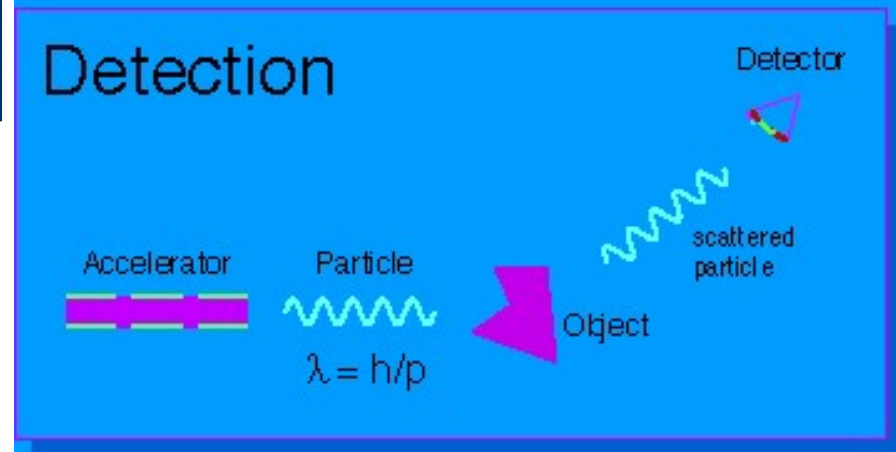


# La Risoluzione

Visione con una lampada e gli occhi.



Visione con un acceleratore ed un rivelatore di particelle.

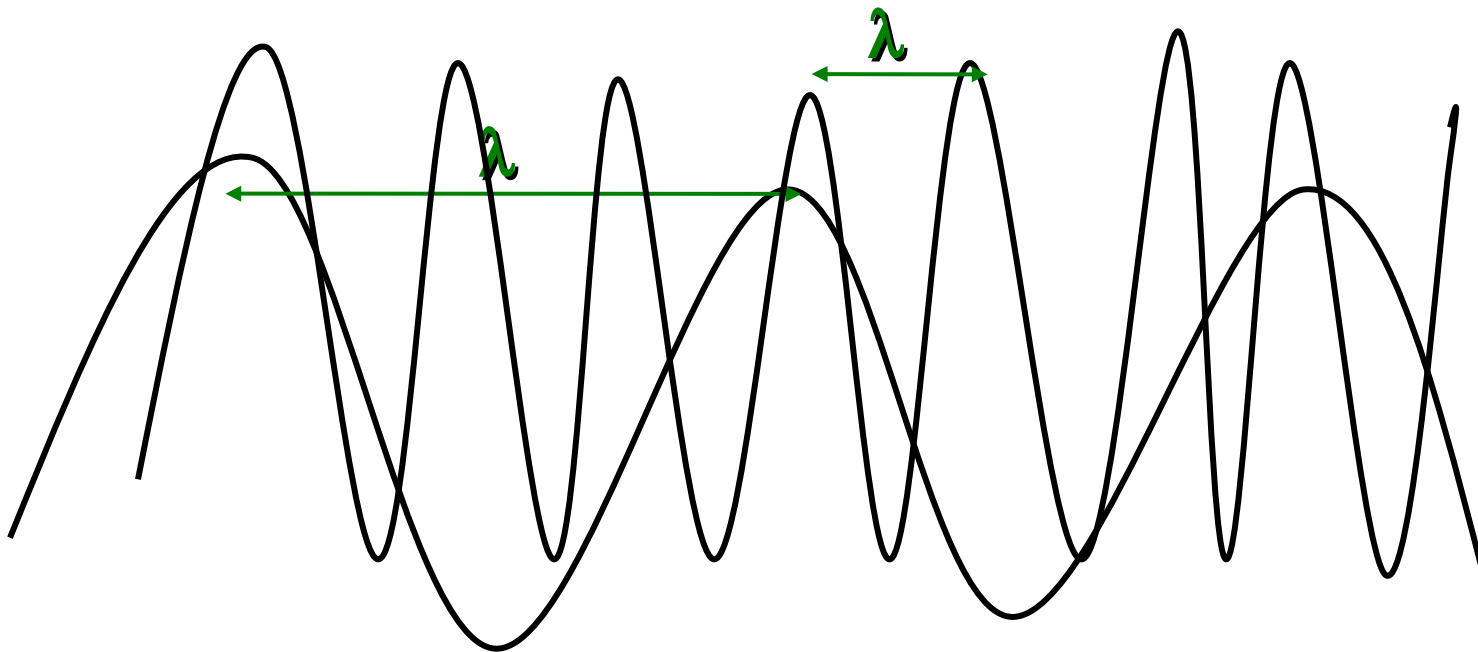


Aumentando l'energia della particella migliora la risoluzione con la quale si "vede" l'oggetto

# Energia e lunghezza

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

frequenza \* costante di Planck = energia



$$E * \lambda = 200 \text{ eV} * 10^{-9} \text{ m}$$

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

$$1 \text{ eV} = 1 \text{ elettron-Volt}$$

# Osservare le Particelle

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

per investigarne la struttura

$$\lambda < 10^{-16} \text{ m} \quad \implies \quad E > 2000 \text{ MeV}$$

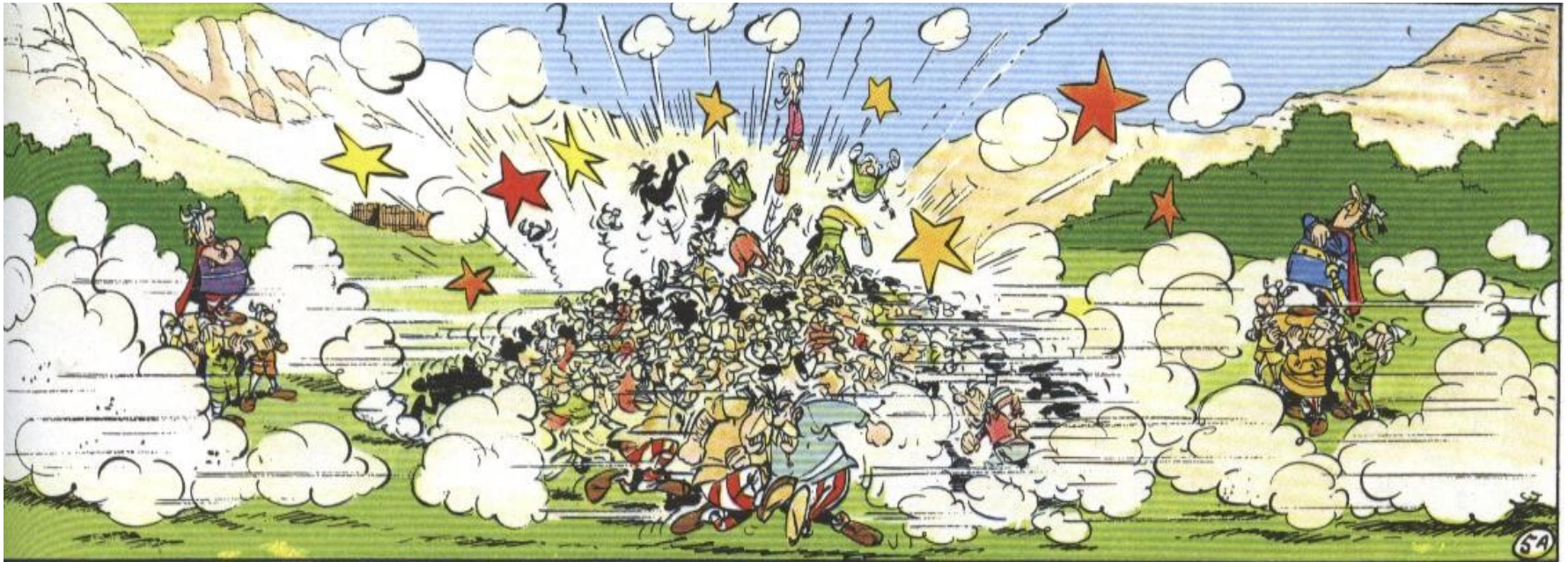
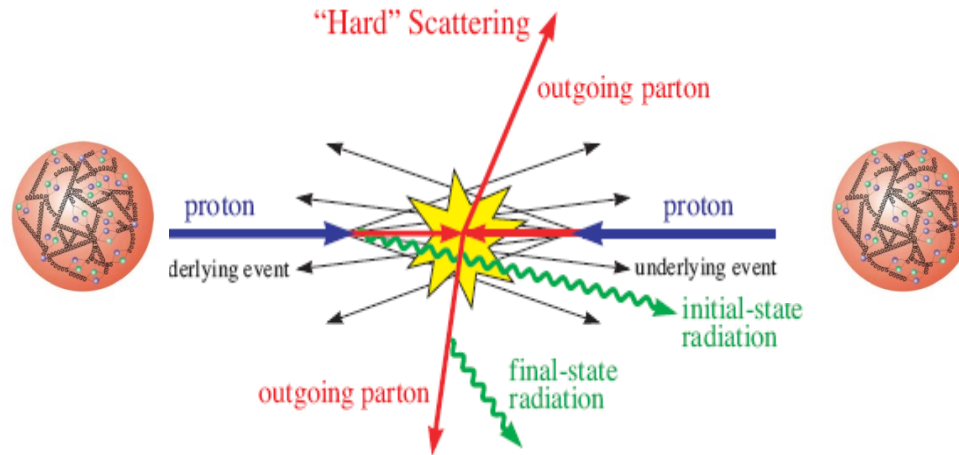
massa protone ( $E = mc^2$ )  $\sim 1000$  MeV

ovvero

servono delle sonde con energia (massa) superiore a quella del "bersaglio"

Per capire come è fatto un protone, bisogna 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 ...

# 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 densita' di energia e temperature come c'erano solo pochissimi istanti dopo il Big Bang ( $10^{-25}$  sec):

materia ordinaria completamente "fusa"

→ nuovo stato della materia

→ plasma di quark e gluoni (?)



# L'Inizio (~1910)

- Gran parte degli elementi chimici identificata
- Classificazione incomprensibile
- Nessuna ipotesi solida 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 una grande varietà di particelle "parenti" di protoni e neutroni era stata identificata

(E. Fermi: "Giovanotto, se riuscissi a ricordare i nomi di tutte queste particelle sarei stato un botanico")

- Classificazione abbastanza sorprendente e ostica

- Necessarie un sacco di regole "empiriche" per descriverne proprietà 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 più "fondamentali"

# Nuove Particelle

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

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

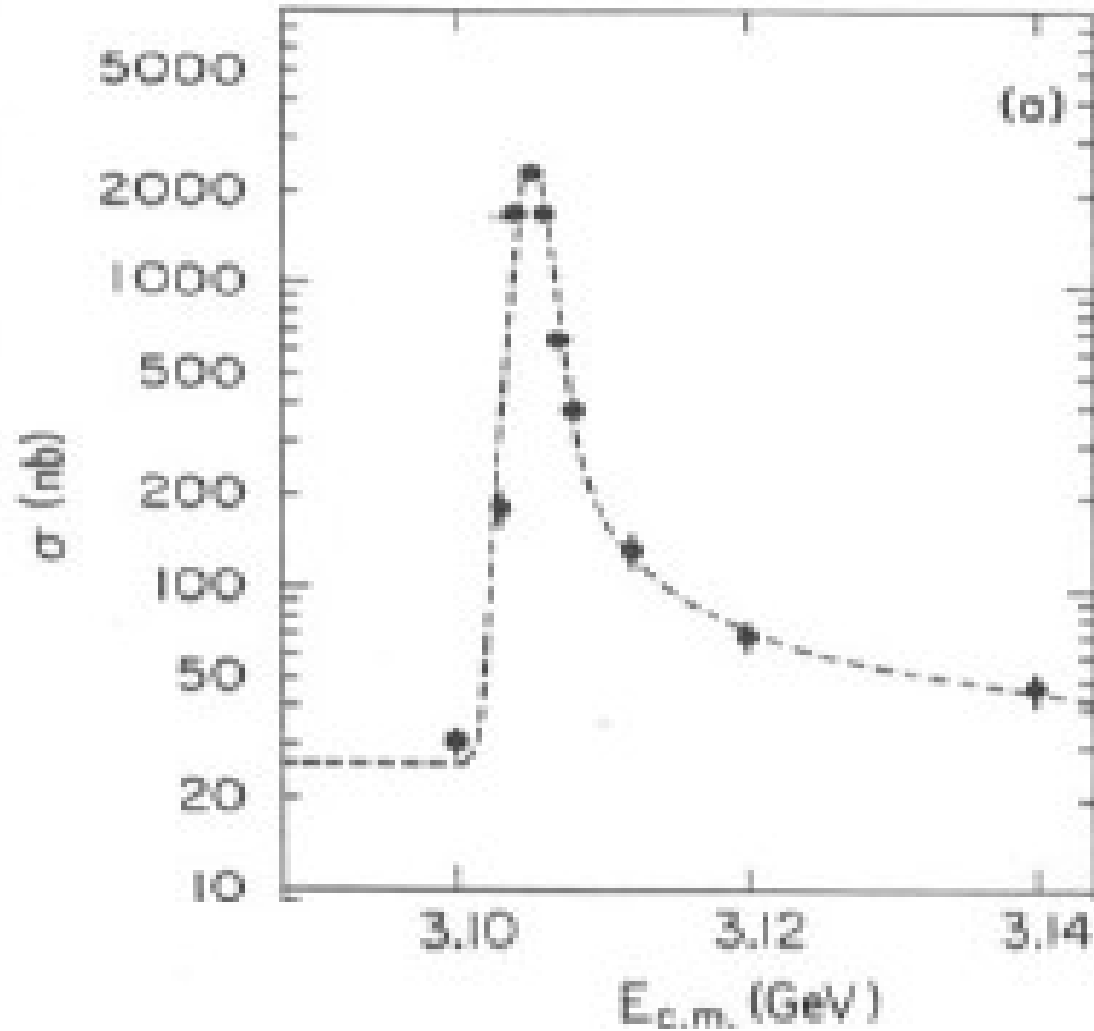
1975 M. Perl ( $e^+e^-$ , SLAC) → leptone Tau

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

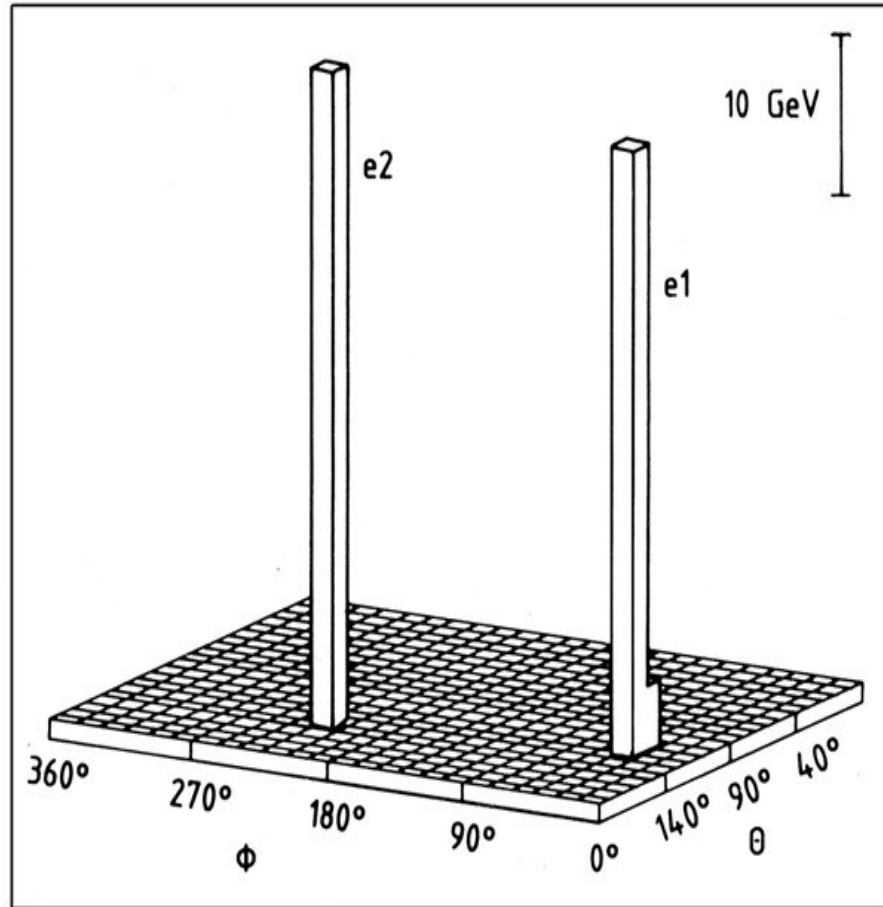
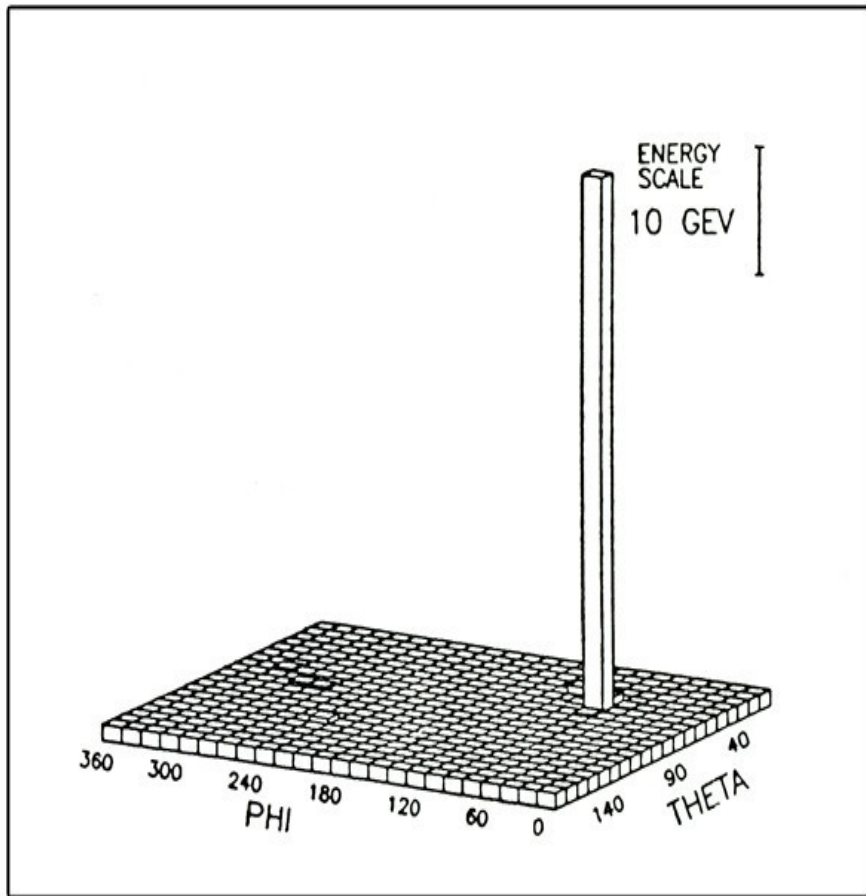
1983 C. Rubbia, S. van der Meer (p-pbar, CERN) → bosoni W e Z

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

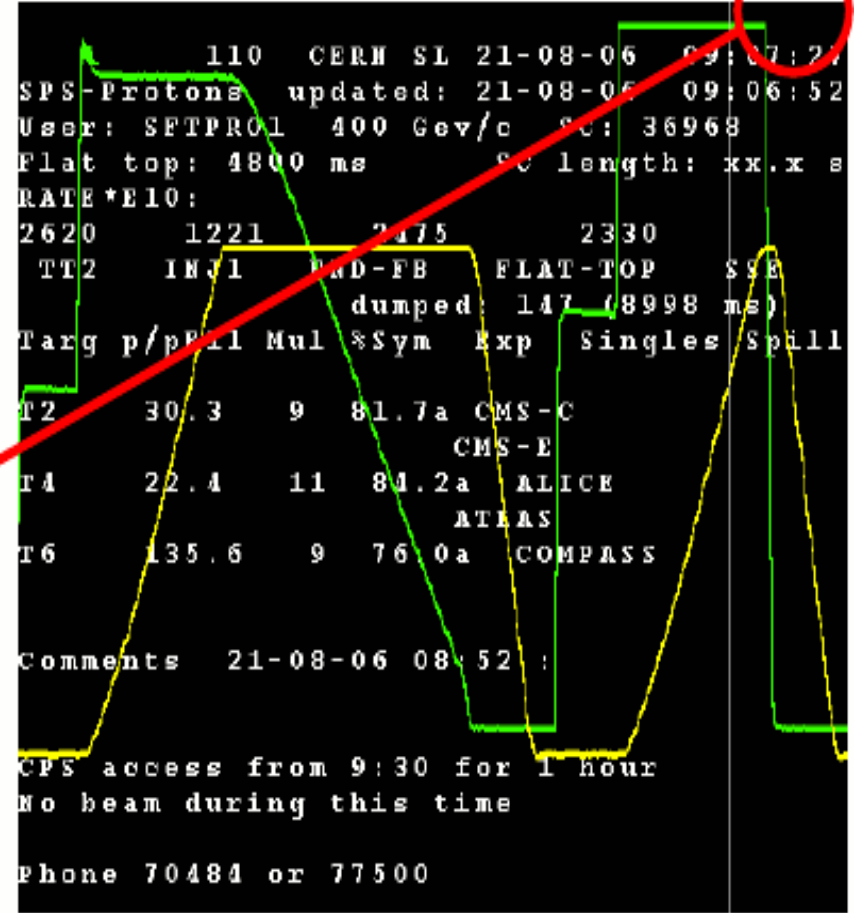
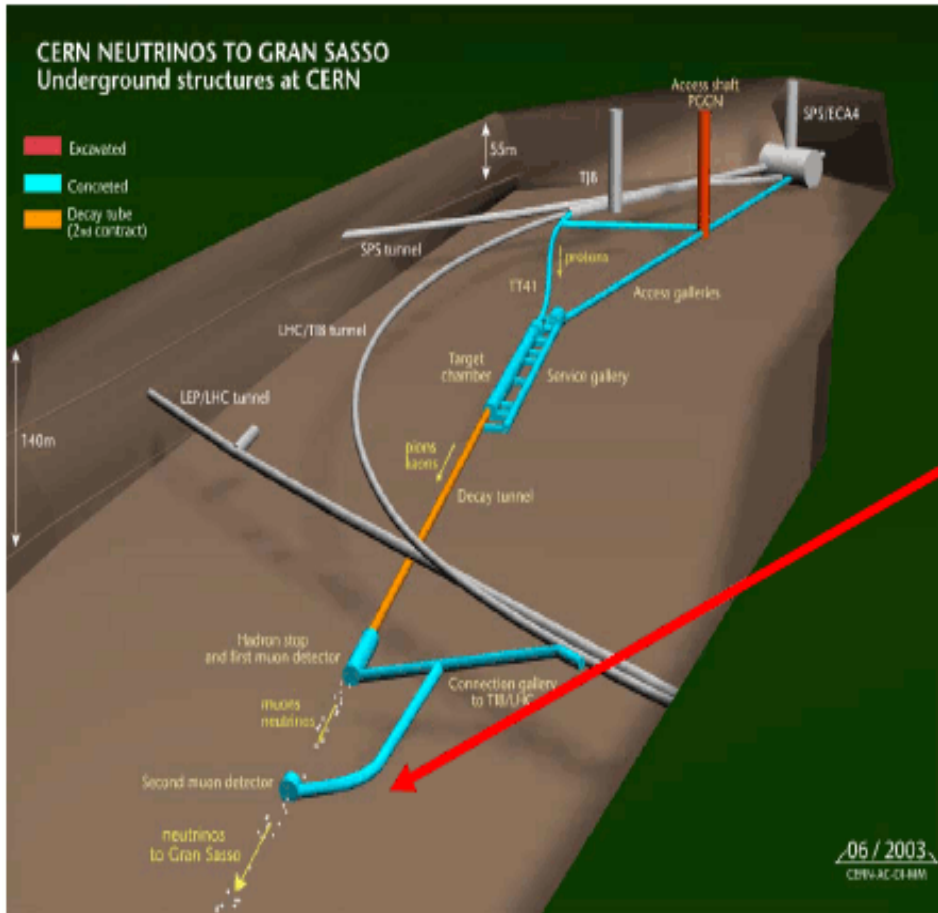
# J/Psi (1974)



# W/Z (1983)



# CERN → Gran Sasso

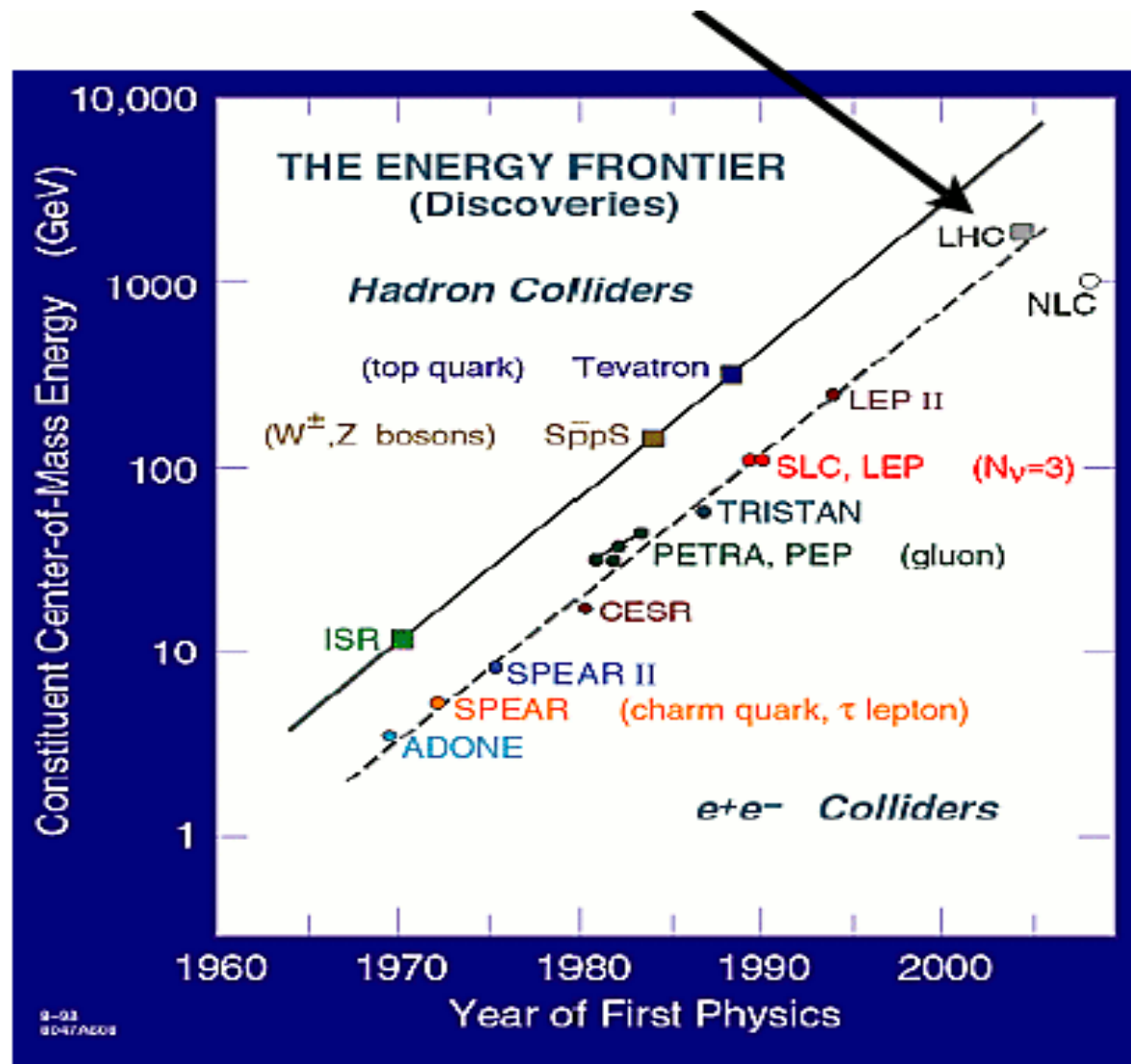


# I Collisionatori

Due categorie:

$e^+e^-$

$pp/ppbar$



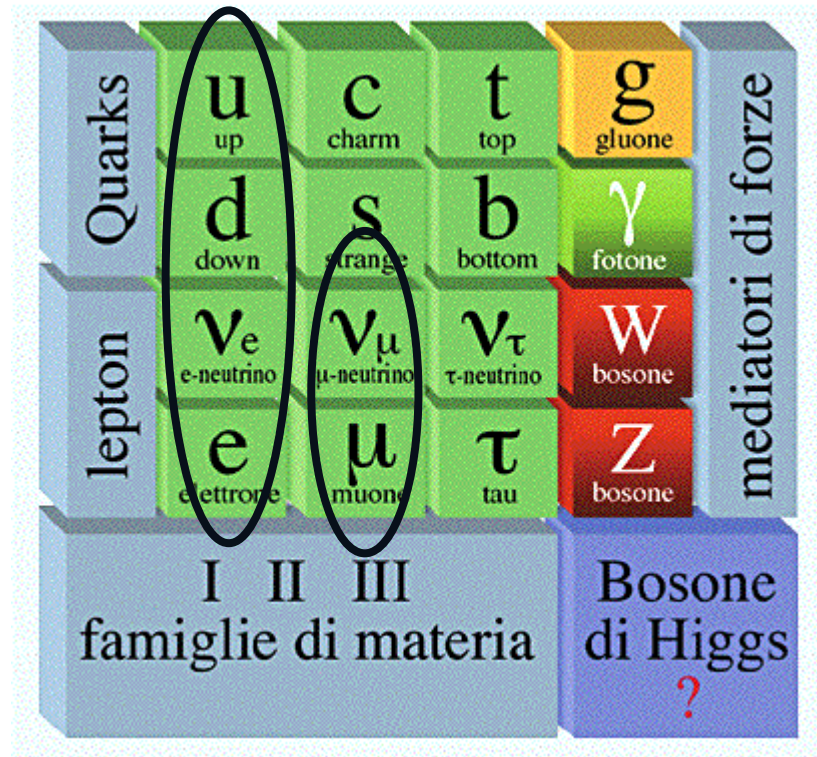


# La nostra "tavola periodica"

- 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)

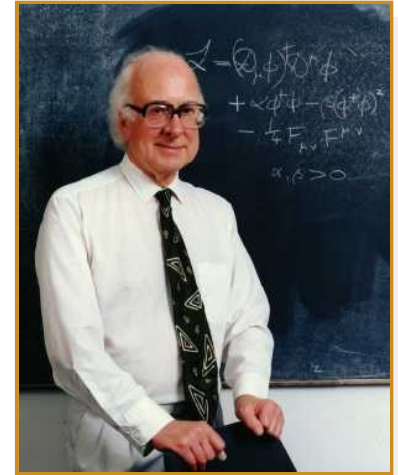


# Bosone di Higgs

- 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



# 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>

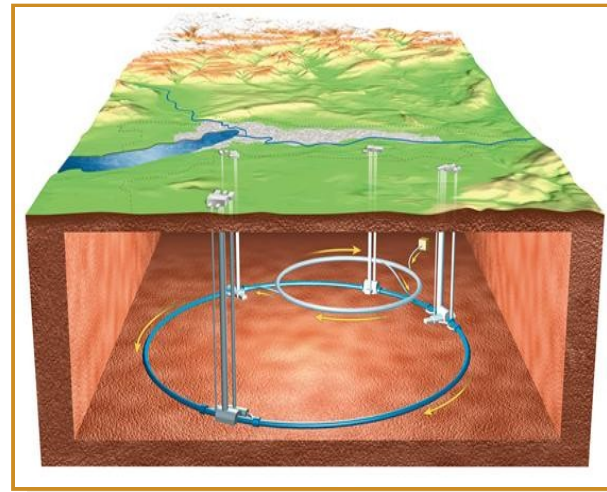
The Large Hadron rap (Katie McAlpine):

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

# 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'



# 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)

# Qualche numero di LHC ...

Campi magnetici (quasi 10000 magneti superconduttori, correnti elettriche di 11700 ampere):

immaginate le catene del calcincolo

Campi elettromagnetici (16 cavità a radiofrequenza):

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

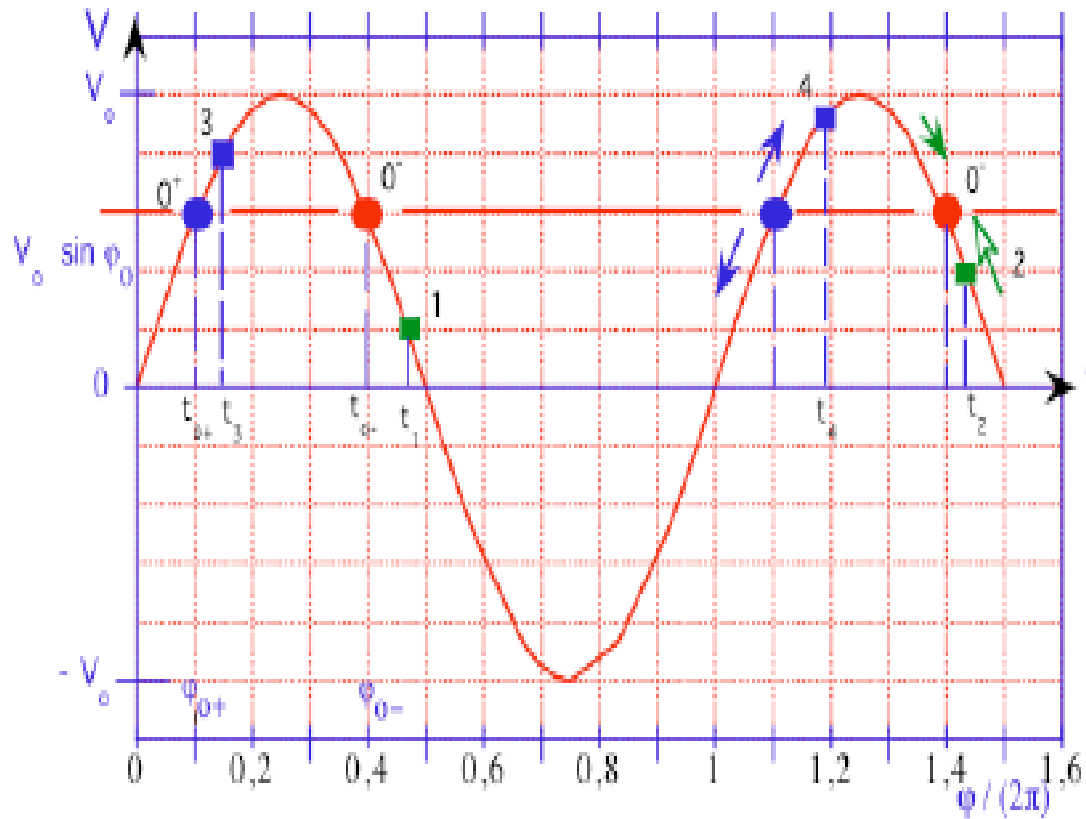
\*\*\* furbissimo, spinge più forte chi va più piano !

Nei fasci di LHC: 350 MJ di energia (~ quella di un TGV a 150 km/h)

→ sufficiente a fondere 500 kg di rame

Nei magneti di LHC: ~ 30 volte tanto

# 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**



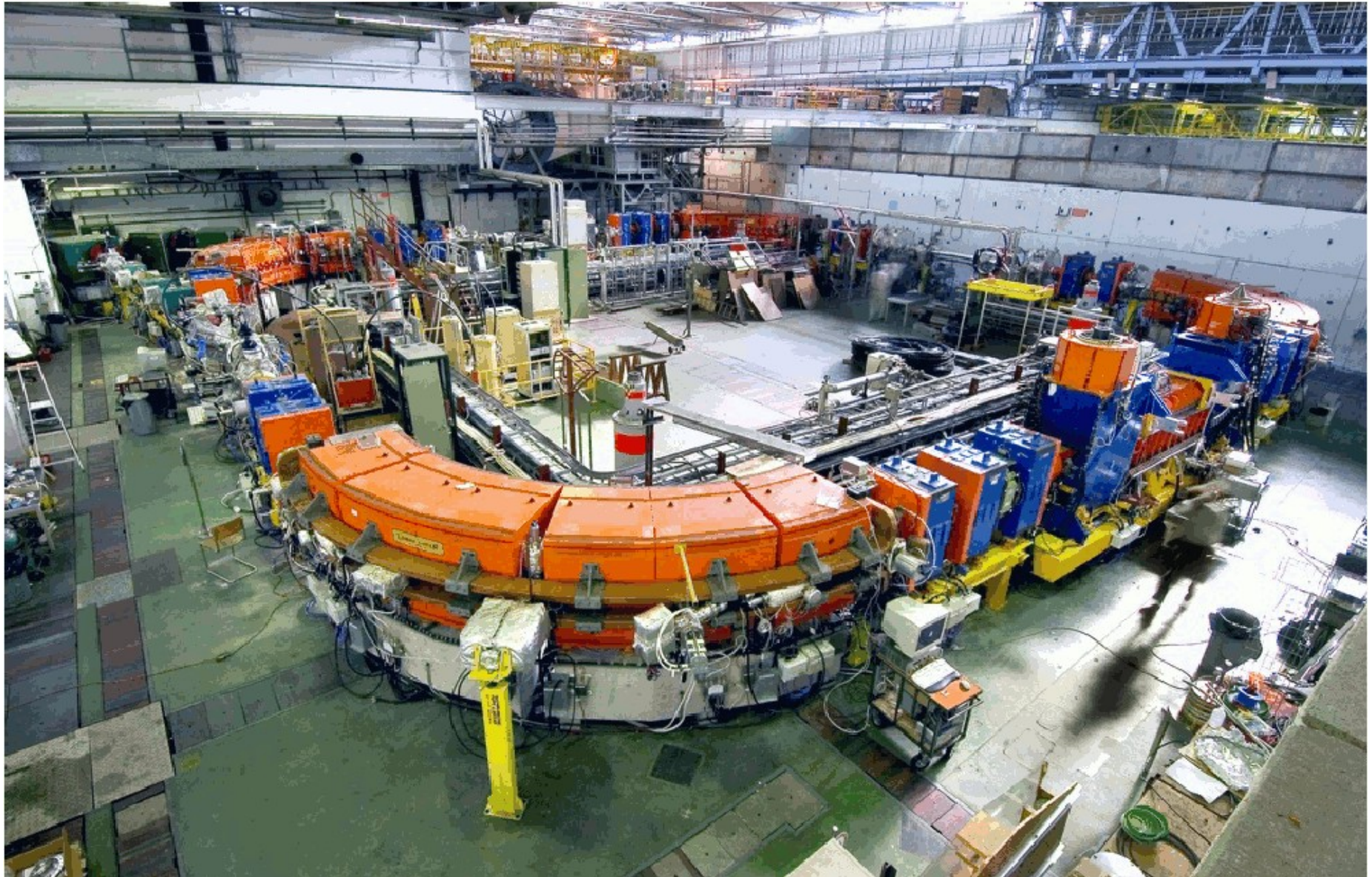
# I Dipoli



Parma, 20 marzo 2009



# Low Energy Ion Ring



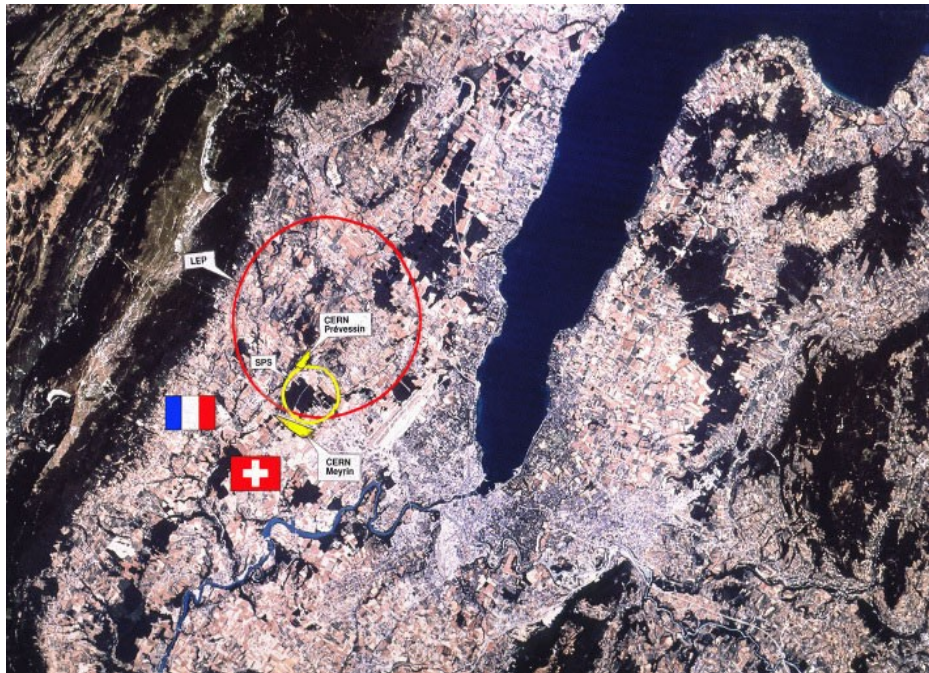
Parma, 20 marzo 2009



# LHC: il circuito piu' veloce del pianeta

Milioni di miliardi di protoni percorreranno i 27 km dell'anello, viaggiando al 99.9999991 % della velocita' della luce

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



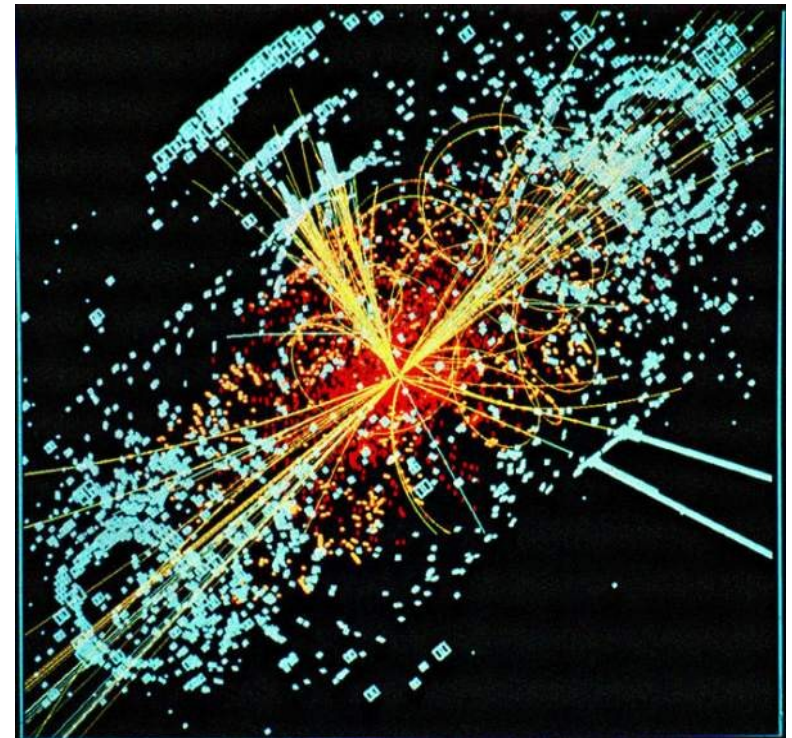


# Lo spazio piu' vuoto del sistema solare

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

Sulla Luna, l'atmosfera è 10 volte piu' densa

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



# Il posto piu' 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

## ... Il posto piu' freddo nell'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 interplanetario ( $-270.5\text{ }^{\circ}\text{C} = 2.7\text{ K}$ )

# 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



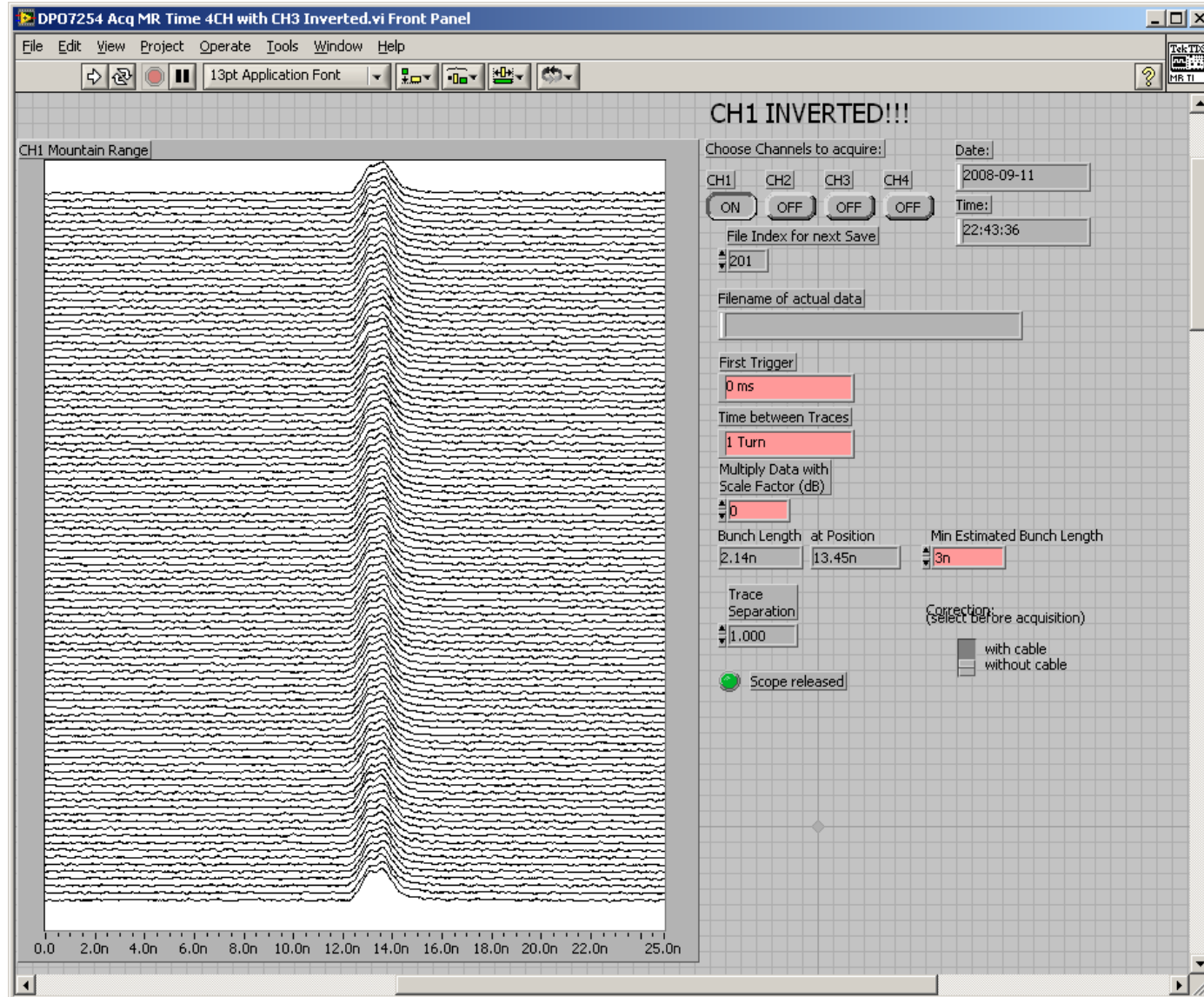


# Il Giorno 1



Parma, 20 marzo 2009

# Il Giorno 2



# Parole di Macchinista ...

**“...Estote parati...”**

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

“I progressi saranno rapidissimi”

“Un run di fisica di un mese mi sembra assai probabile entro l'anno”

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

“... e luminosità integrate di qualche centesimo di pico-barn inverso”

Walter Scandale - Pisa, 16/09/2008



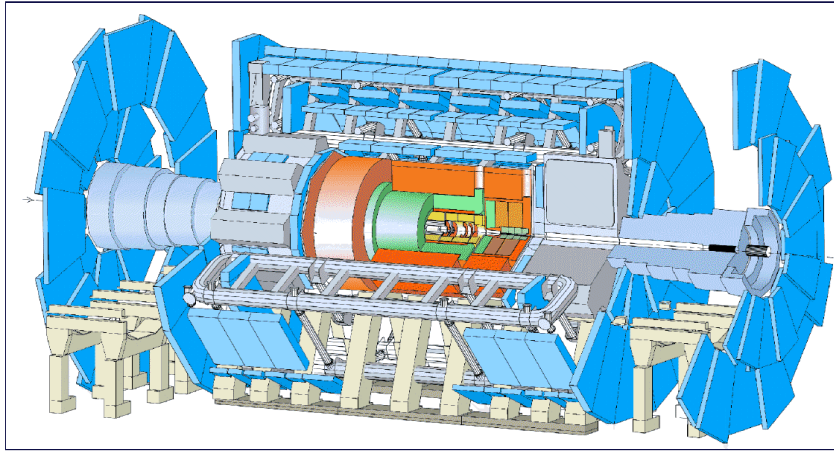
# *Les Horribles Cernettes*



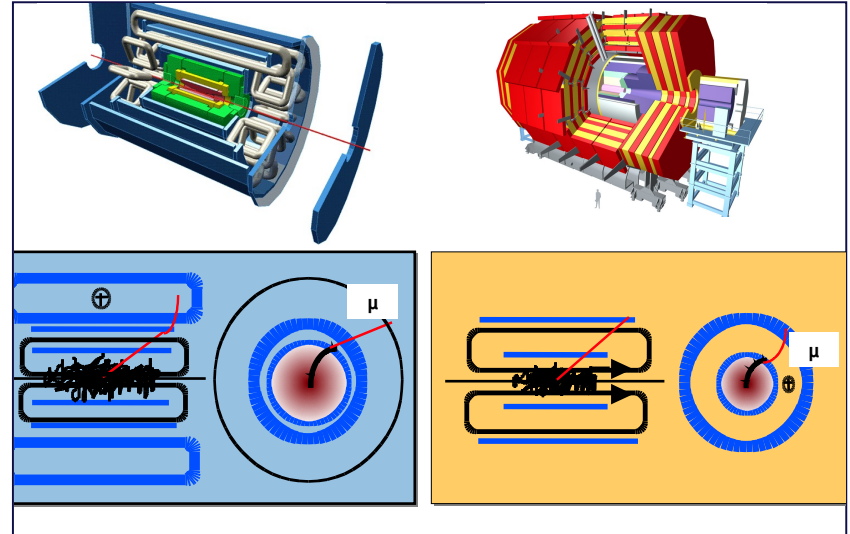
Dal 1992 al CERN Hardronic Festival ...

# I Quattro Moschettieri

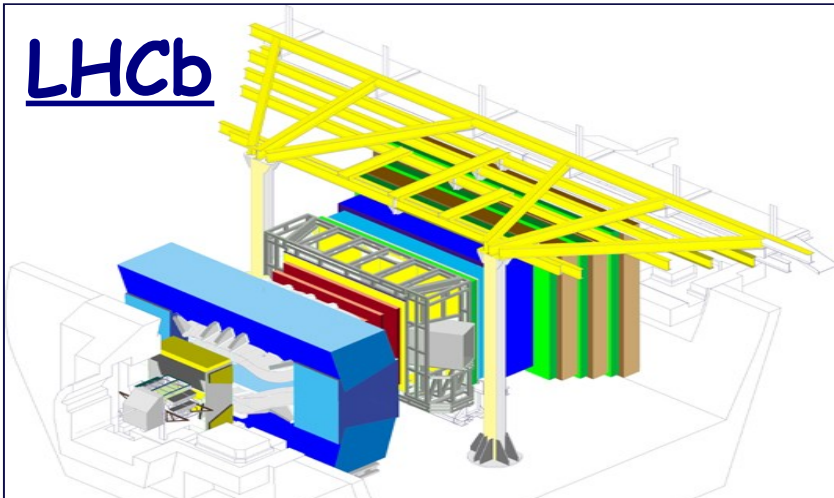
ATLAS



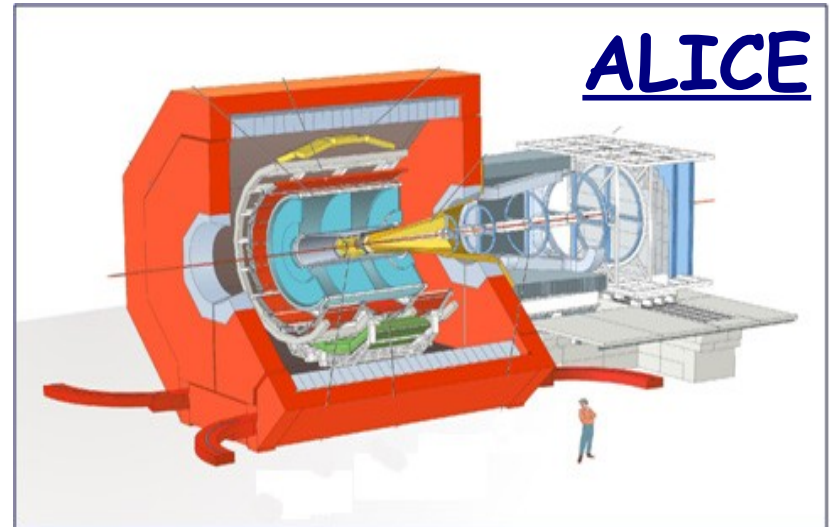
CMS



LHCb



ALICE



# 7. ATLAS

## A Toroidal Lhc ApparatuS

(Un Apparato Toroidale a LHC)

<http://atlas.ch>

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

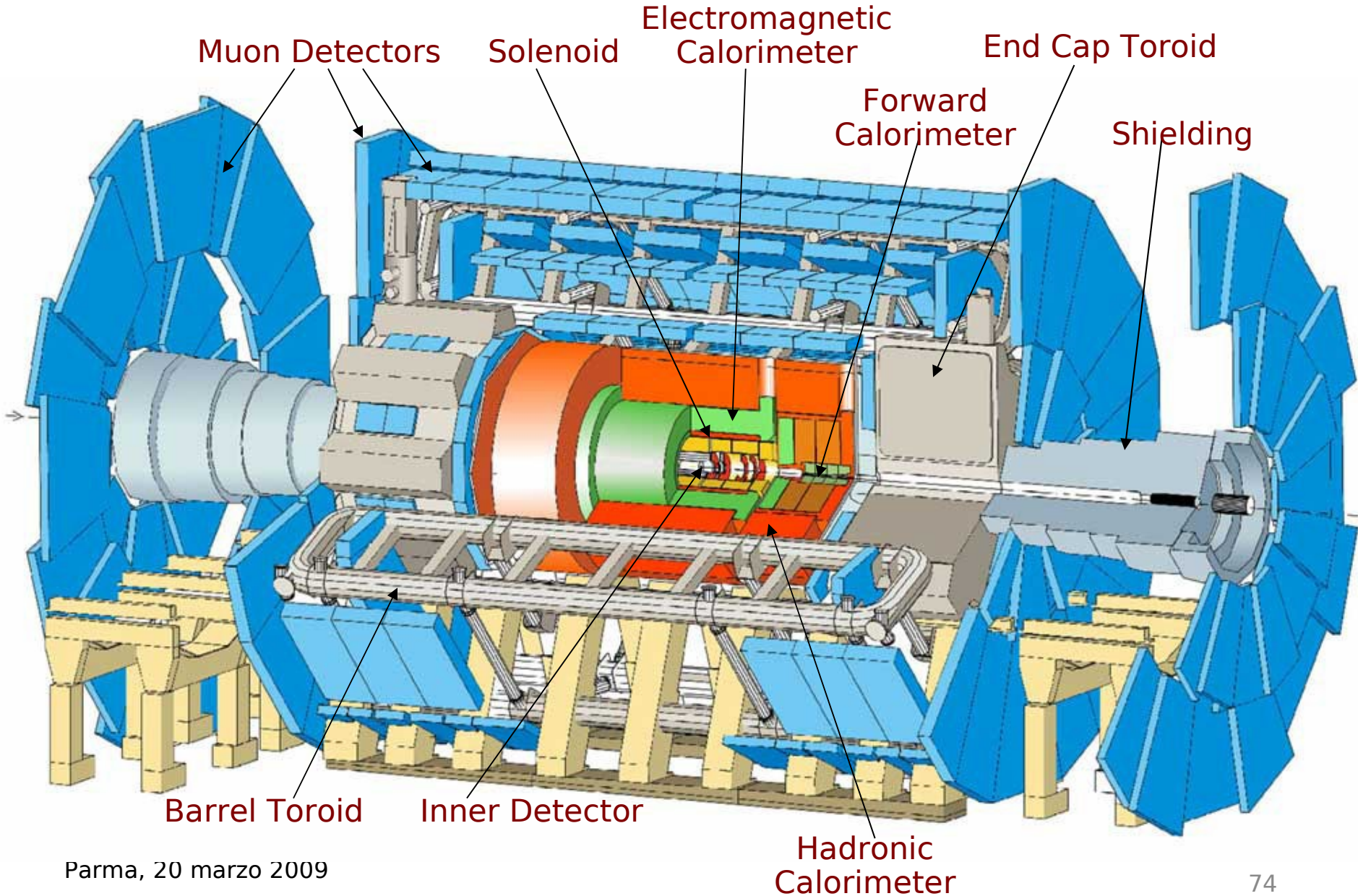
<http://www.youtube.com/TheATLASExperiment>

Visita virtuale:

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



# Un Microscopio alto 22 m e lungo 46 m



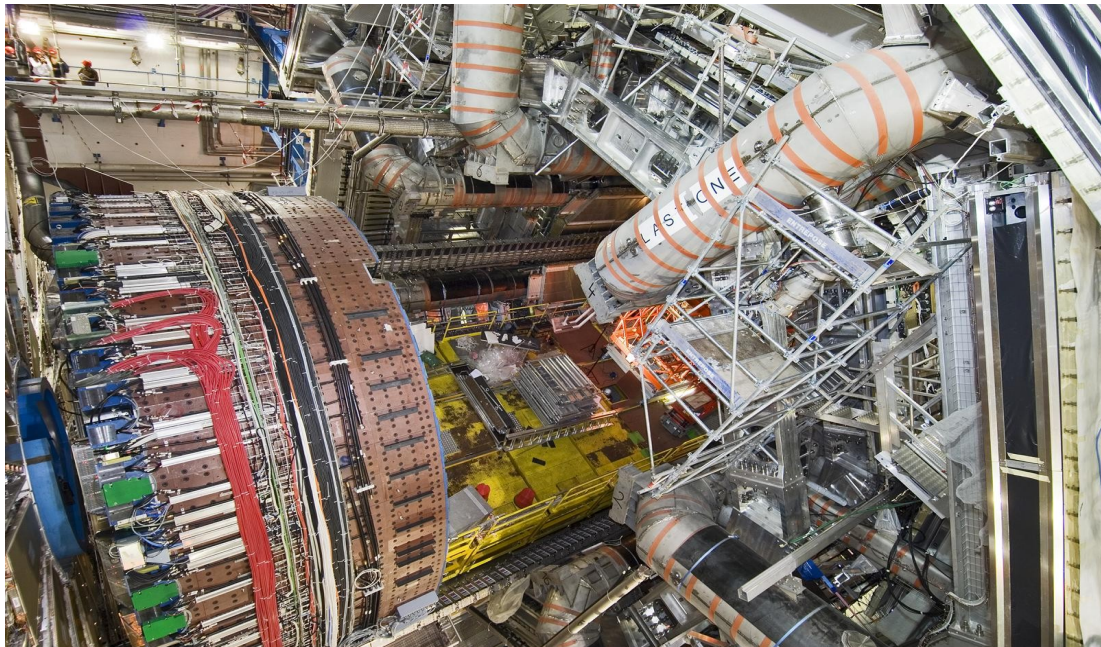
Parma, 20 marzo 2009

# ATLAS

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

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

Ha un suo ordinamento (costituzione) e sue strutture interne  
Portavoce: finora Peter Jenni (Svizzera), ora Fabiola Gianotti (Italia)





# ATLAS (2)

Il piu' grande esperimento mai costruito:

~ 7000 tonnellate

~ 500 milioni di Euro

3 sottosistemi principali + sistema magnetico:

Sistema magnetico:

Solenoide centrale e Toroidi barrel e endcap

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

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

Calorimetri:

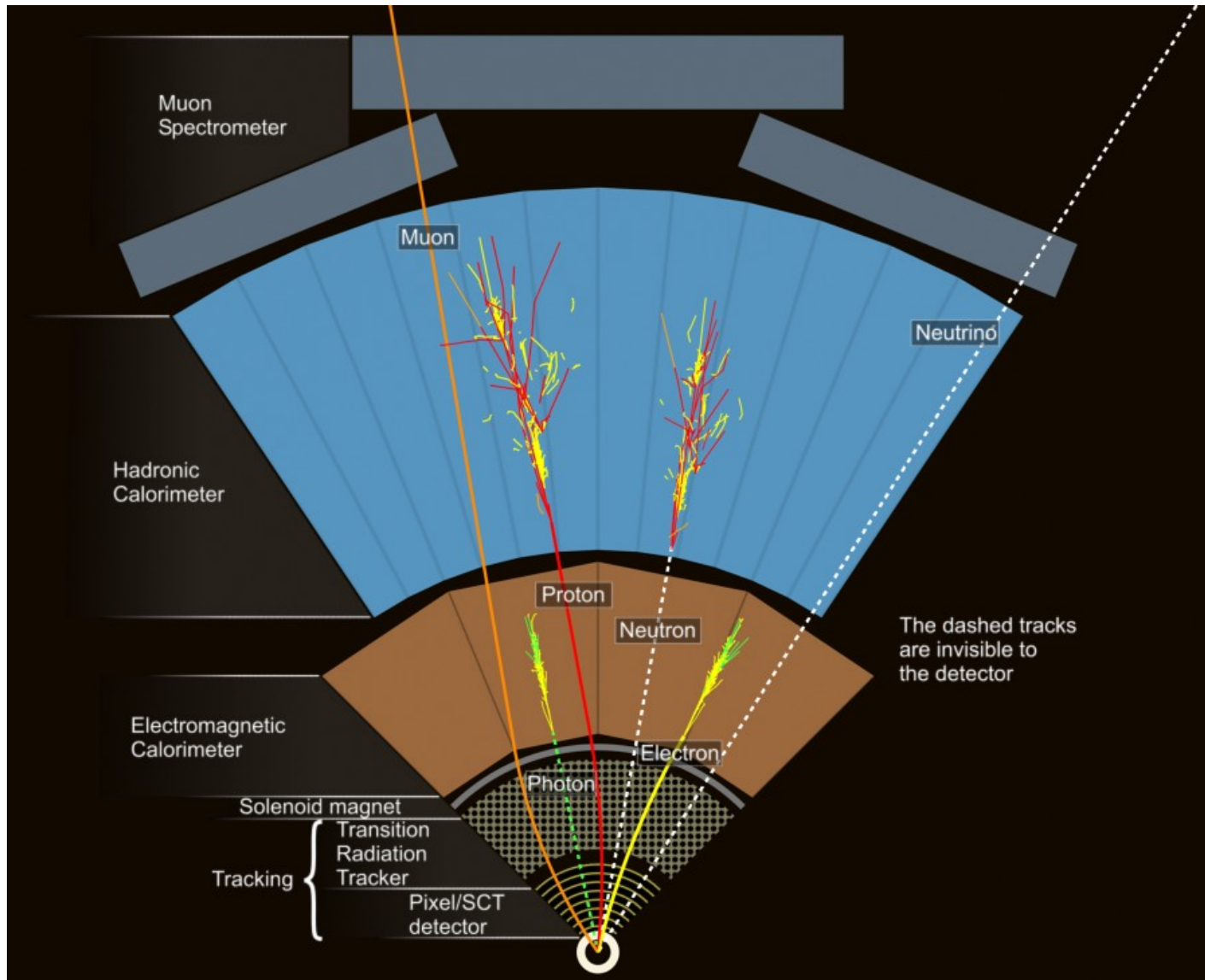
Calorimetro Elettromagnetico (Lar) e Calorimetro Adronico (Tile)

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

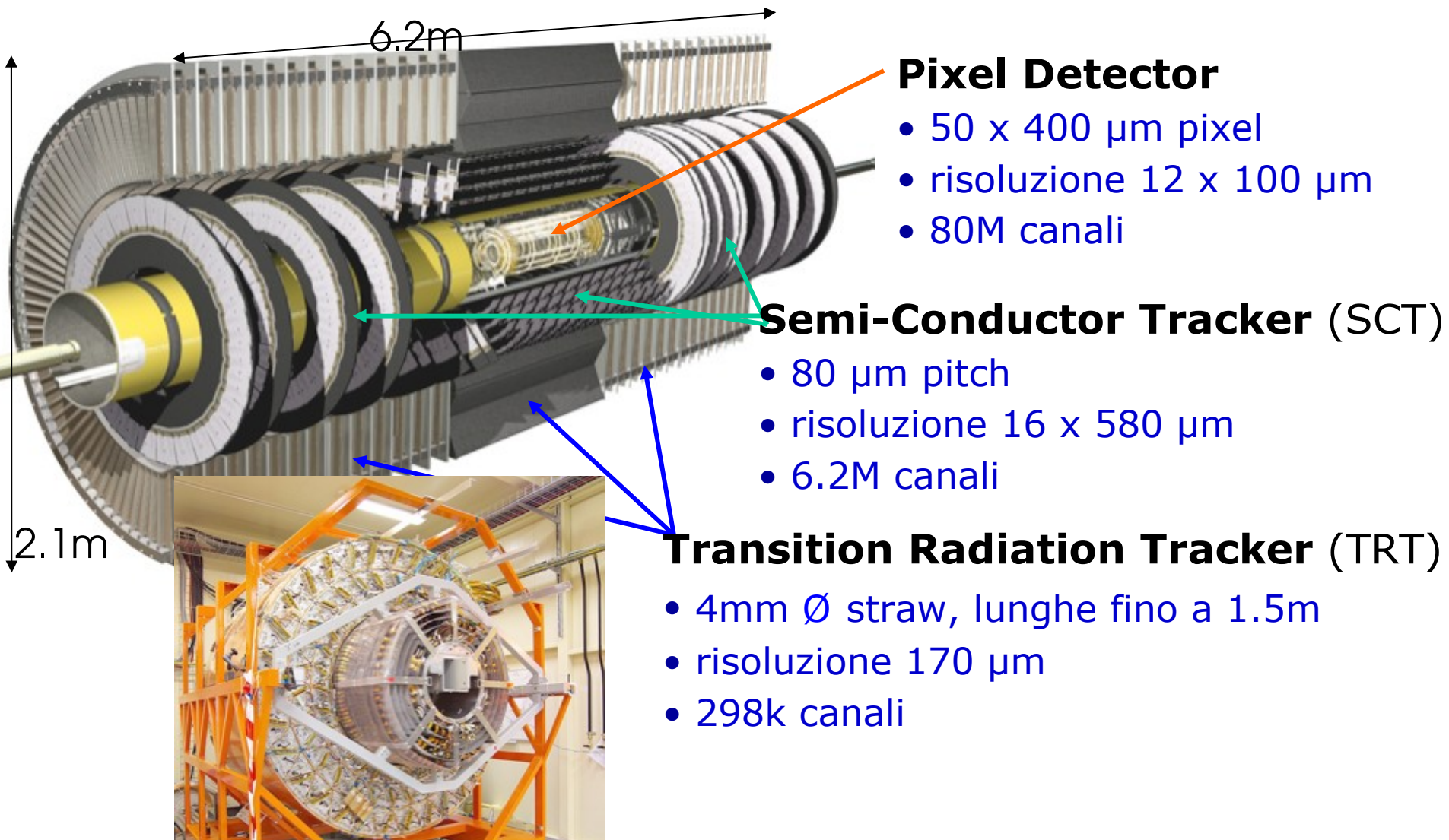
Tracciamento (MDT, CSC), Trigger (RPC, TGC)

Ogni "elemento" è sviluppato da una collaborazione internazionale !

# I Principi di Funzionamento



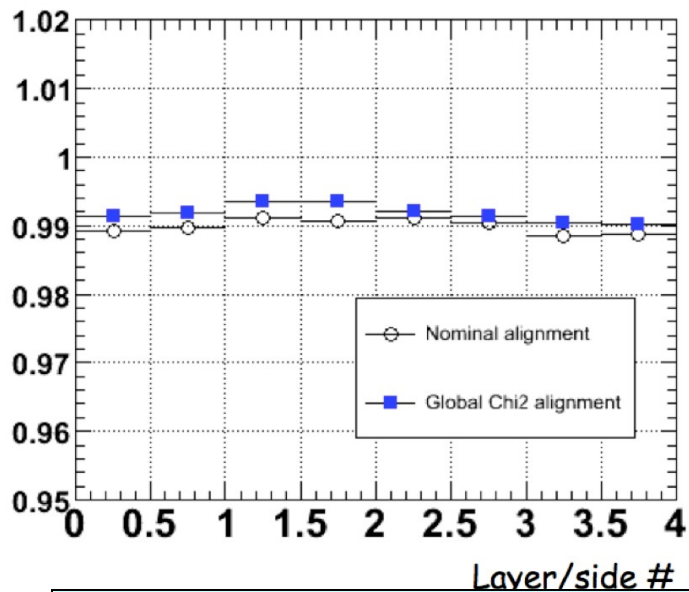
# Esempio: Tracciatore Interno



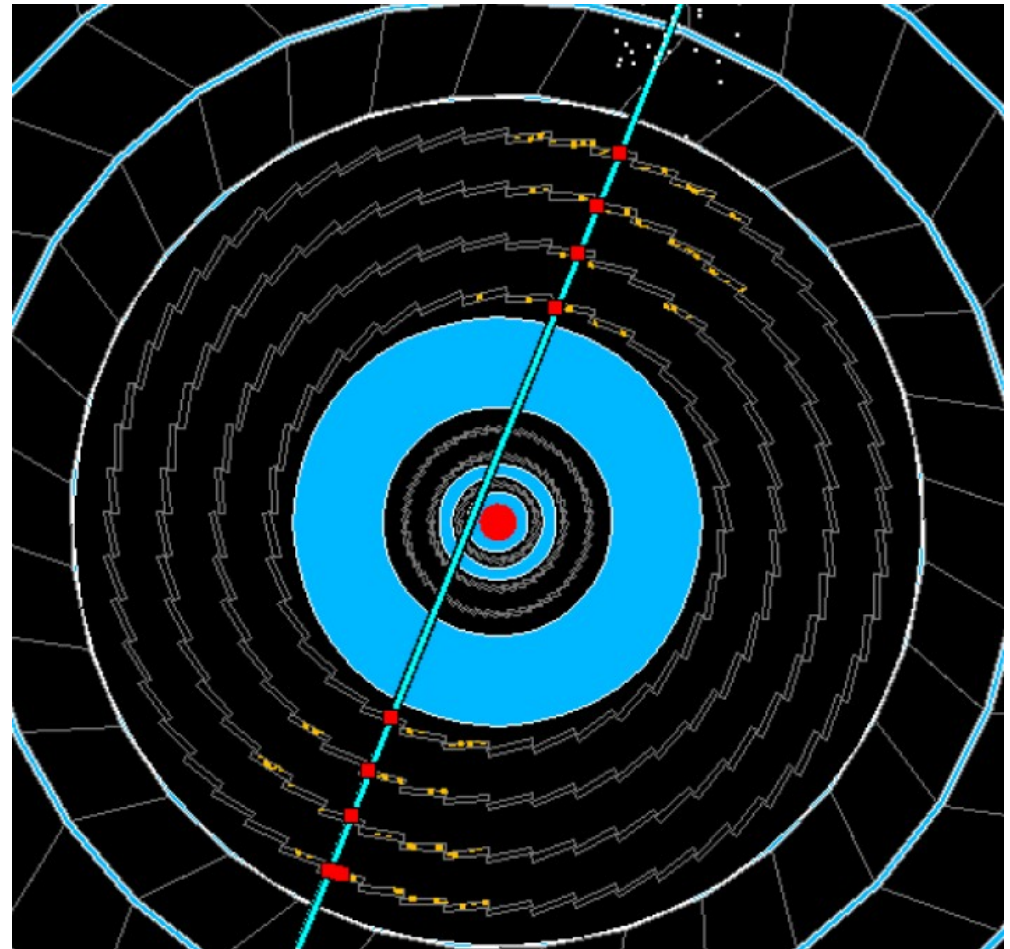


# Tracce SCT con Cosmici

10 milioni di eventi (500 mila di raggi cosmici)

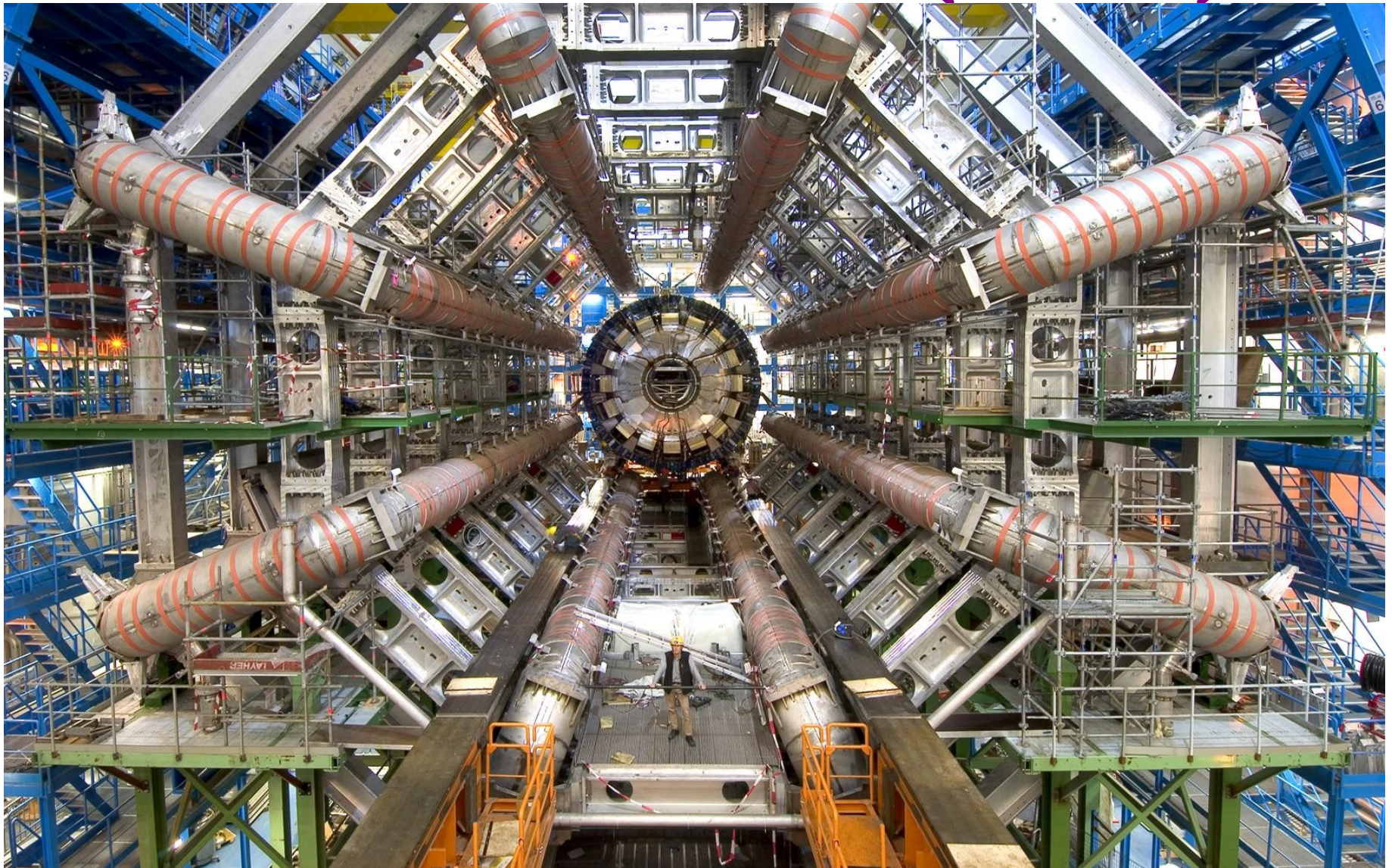


Efficienzia >99%





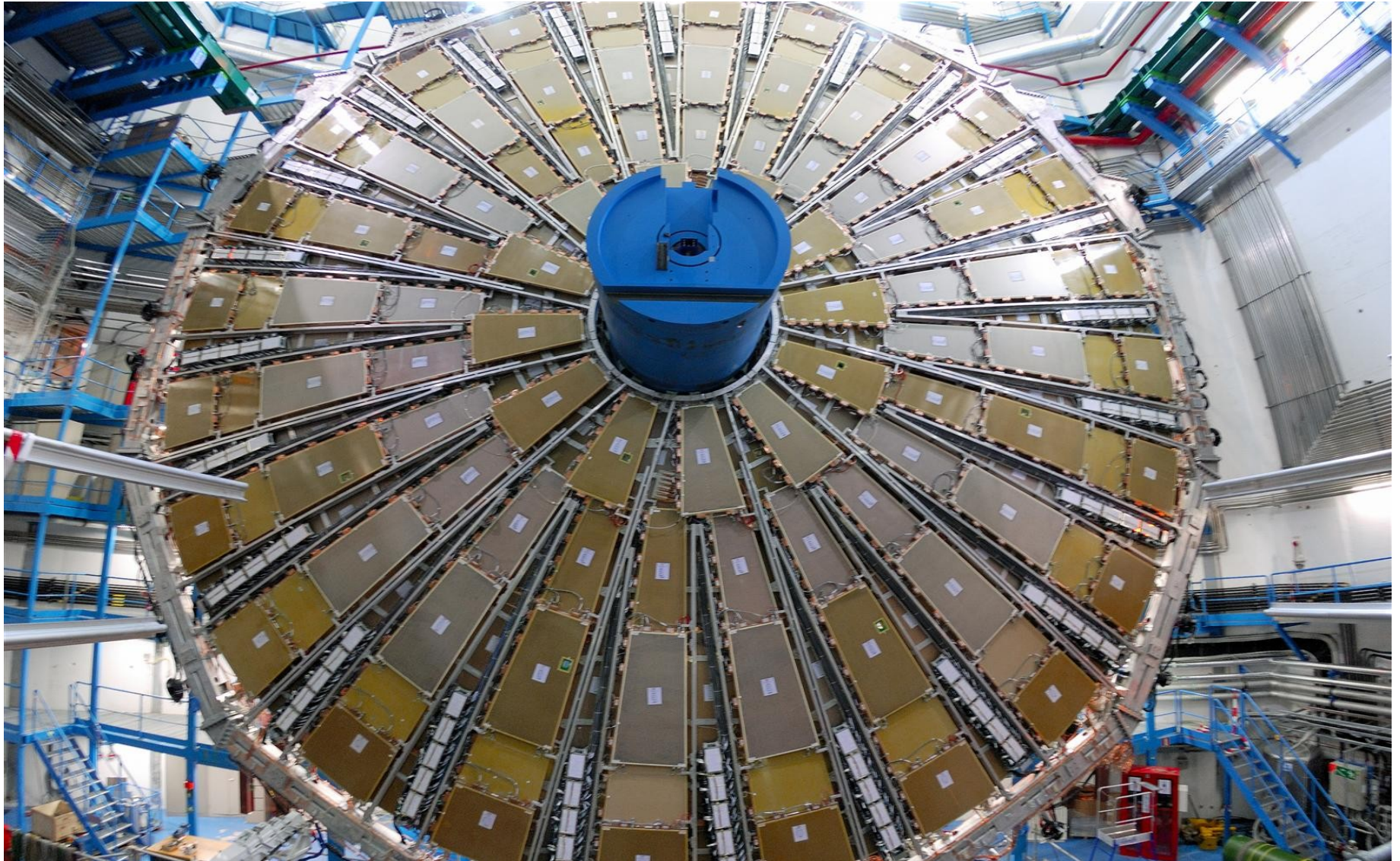
# Il Toroide Centrale (Barrel)



Parma, 20 marzo 2009



# La Prima di 8 Grandi Ruote



Parma, 20 marzo 2009

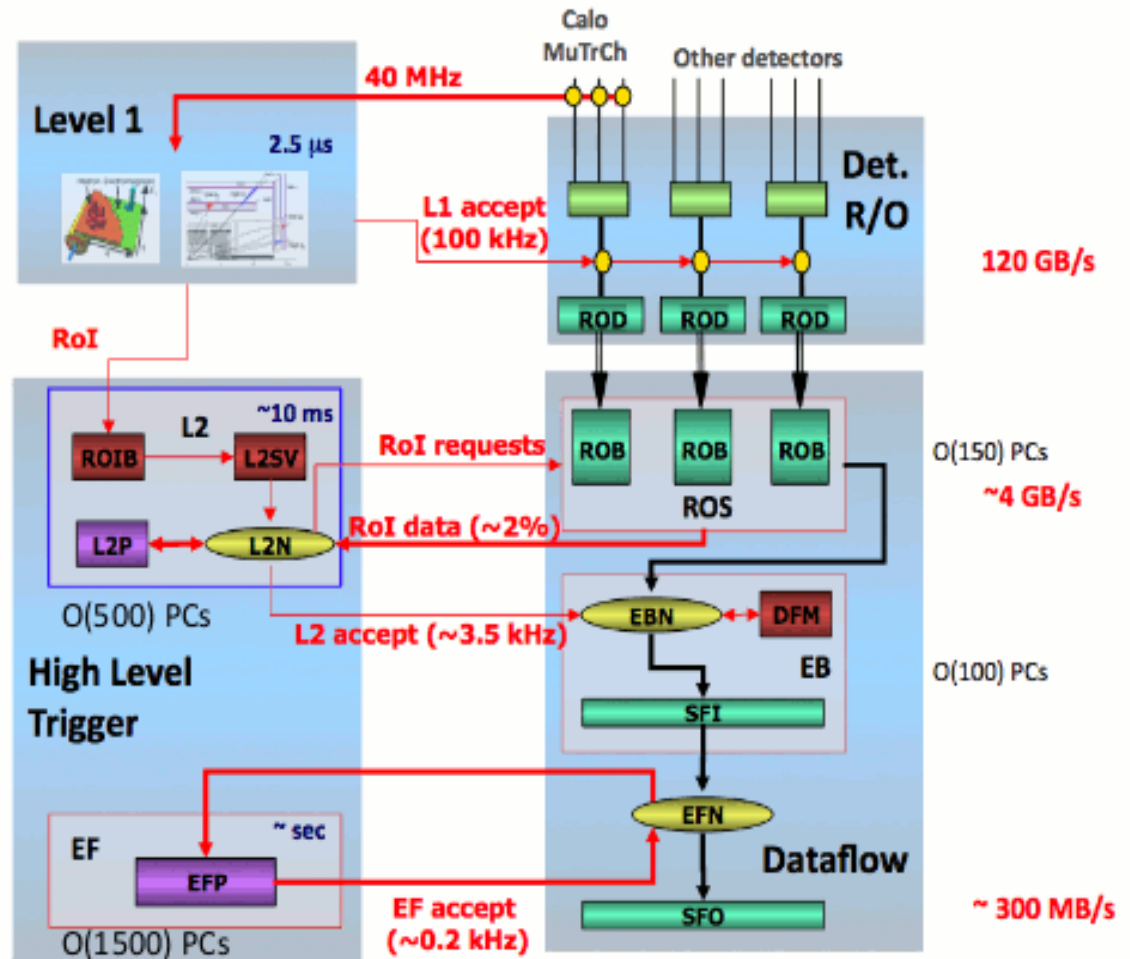
# Selezione Dati

## Ricostruzione e selezione eventi "on-line"

- Elettronica e computer dedicati

- migliaia di processori in parallelo (hardware)

- decine di migliaia di processi da controllare (software)



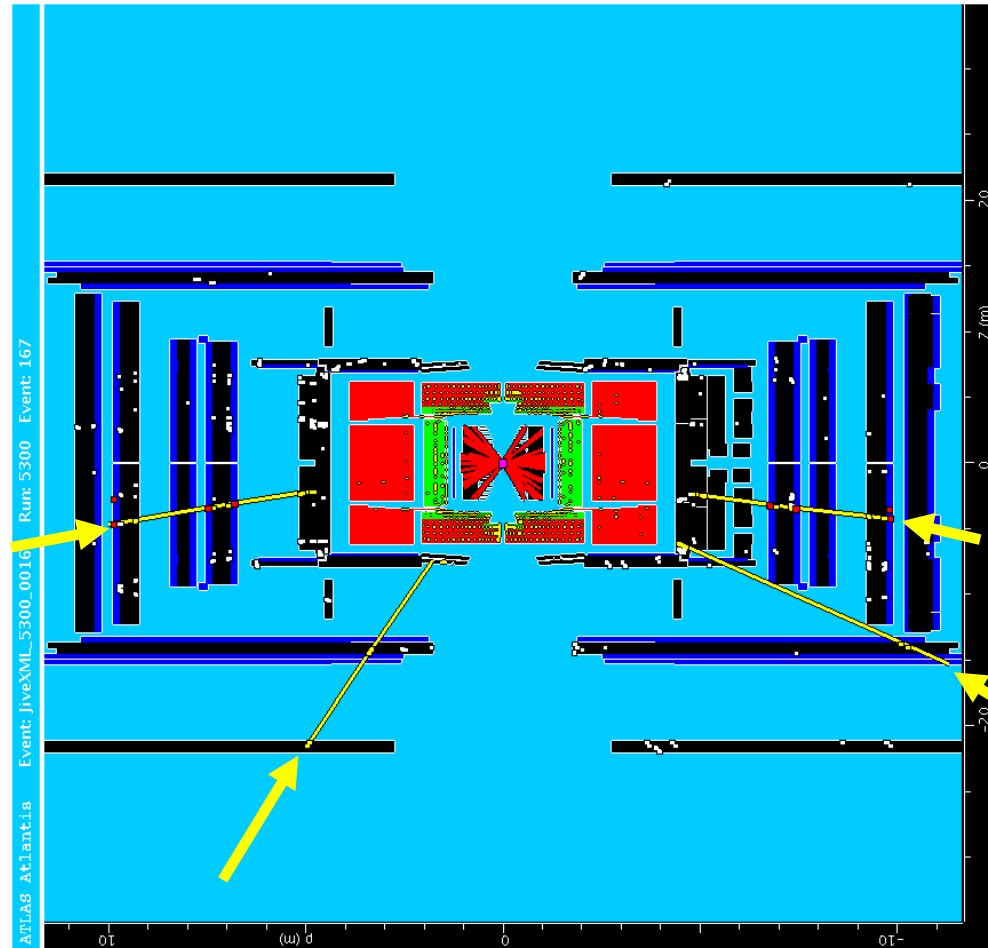
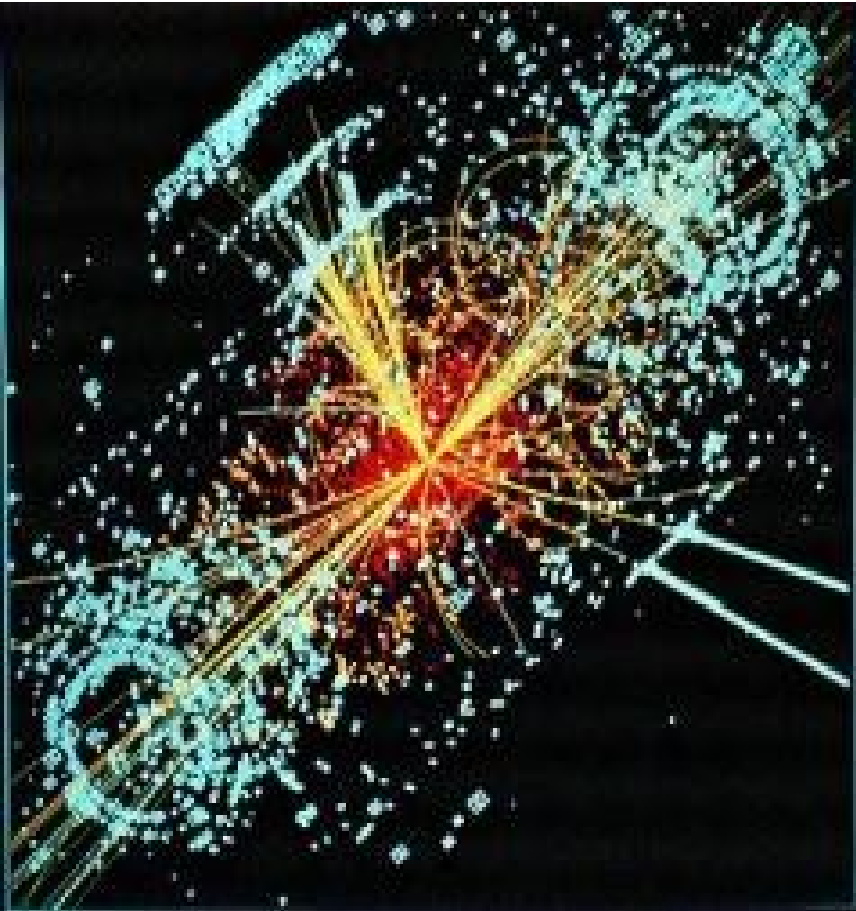


# Selezione Dati (2)

- Immaginate un superenalotto che effettui 1 miliardo di estrazioni al secondo di 8 numeri
  - Una sola combinazione [ su ~ 100 miliardi ] è quella interessante
  - Al massimo c'e' tempo per verificare 3 numeri mentre arrivano (1 ns)
  - Solo 50 combinazioni al secondo possono essere scritte e analizzate con calma
1. un primo sistema (in 1 ns) controlla 3 numeri → in media ~ una sola estrazione su 2000 sopravvive (~ 500mila al secondo)
  2. un secondo sistema controlla 5 numeri (nei 2  $\mu$ s di tempo a disposizione) → ~ 1/400 sopravvive (~ 1250 al secondo)
  3. un terzo sistema controlla 6 numeri (ha ben 8 ms di tempo) → ~1/30 sopravvive (~ 45 al secondo, vengono registrate su disco)

# La Ricerca del Bosone di Higgs

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



# Statistica

Rapporto segnale/rumore pessimo:

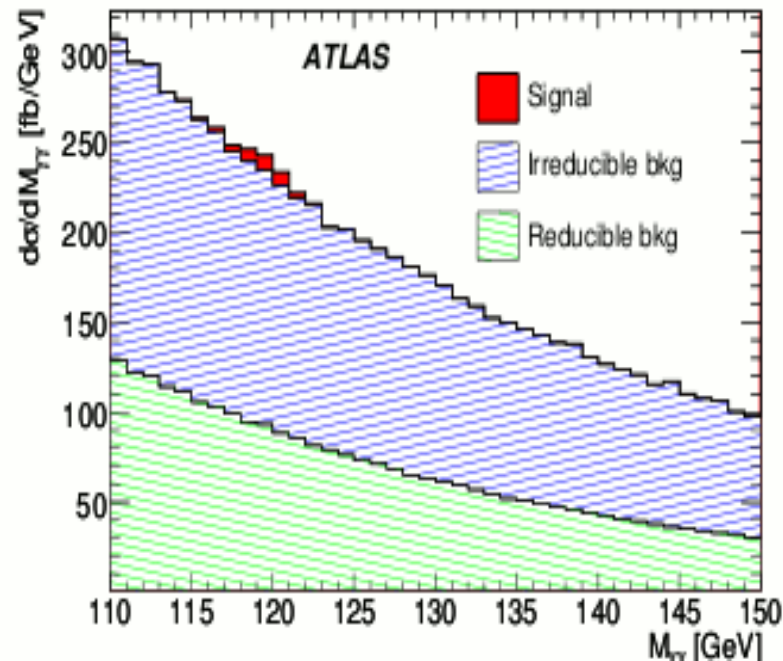
- immaginate di cercare di riconoscere una nota musicale nella confusione di una fiera
- precisione di misura fondamentale (energia, direzione, tipo di particelle)

Necessari vari anni di presa dati:

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

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

**→ Scoperta**



# 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

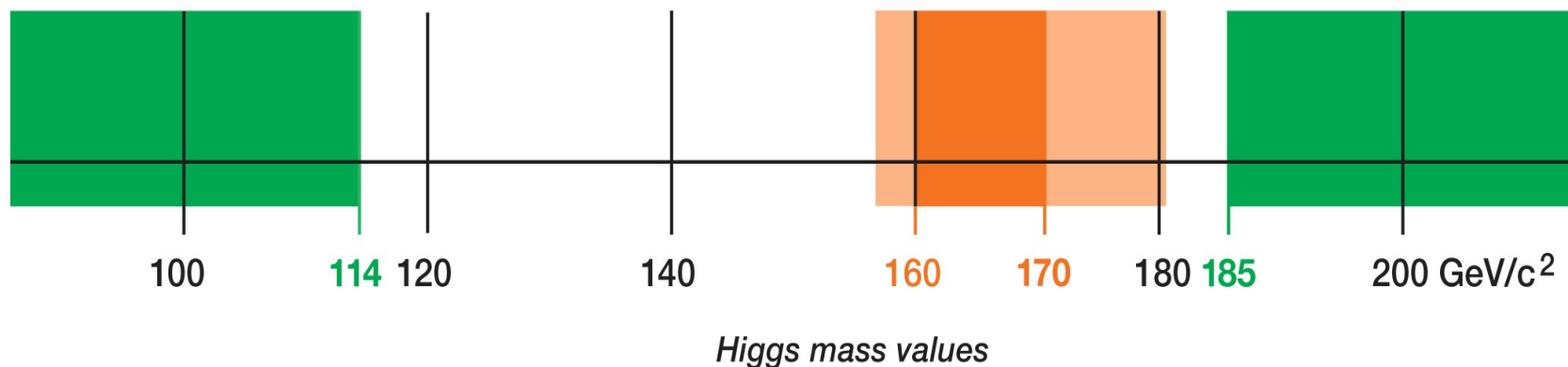
90% confidence level

95% confidence level

Excluded by  
LEP Experiments  
95% confidence level

Excluded by  
Tevatron  
Experiments

Excluded by  
Indirect Measurements  
95% confidence level





# 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 ?

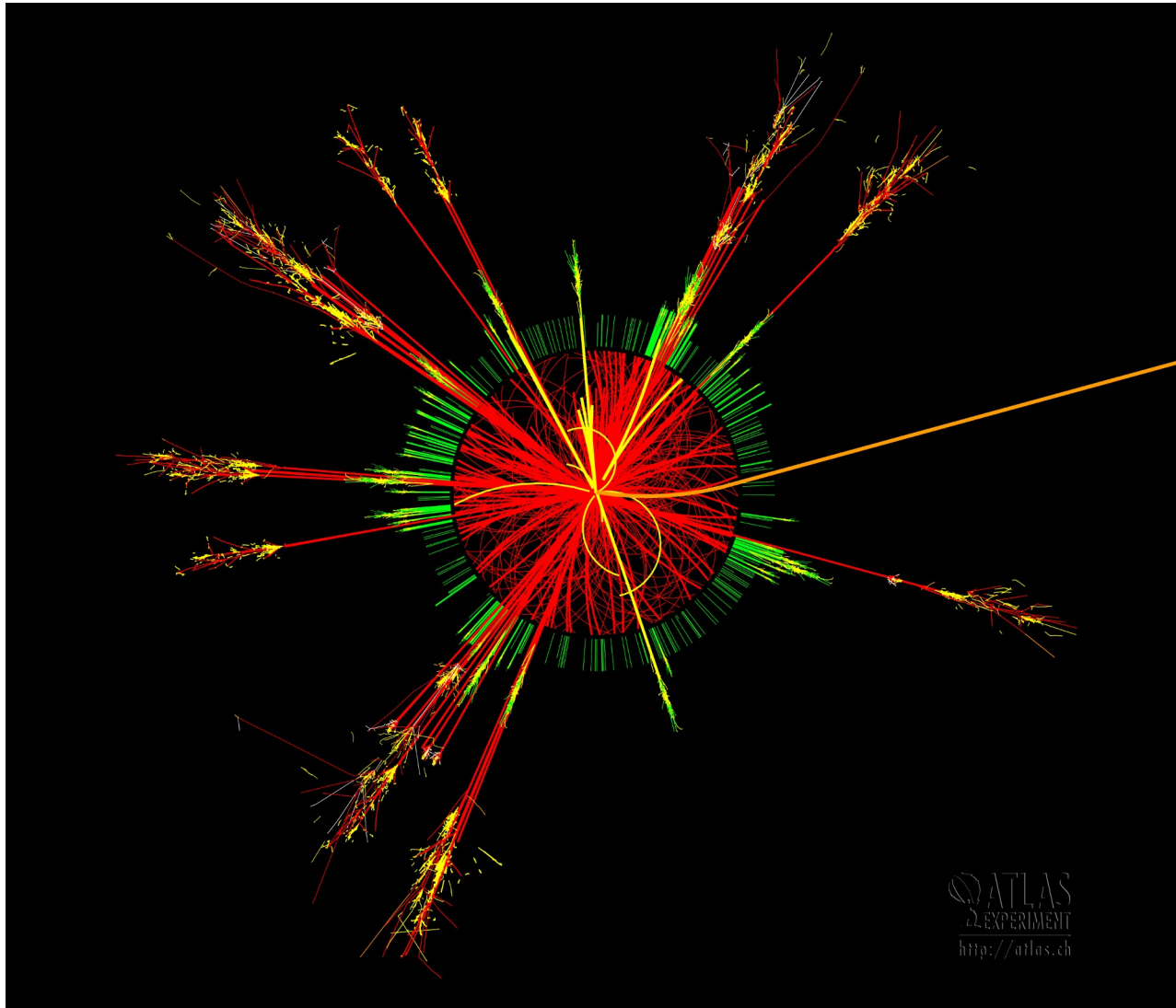
# La Natura fa gia' di meglio ...

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

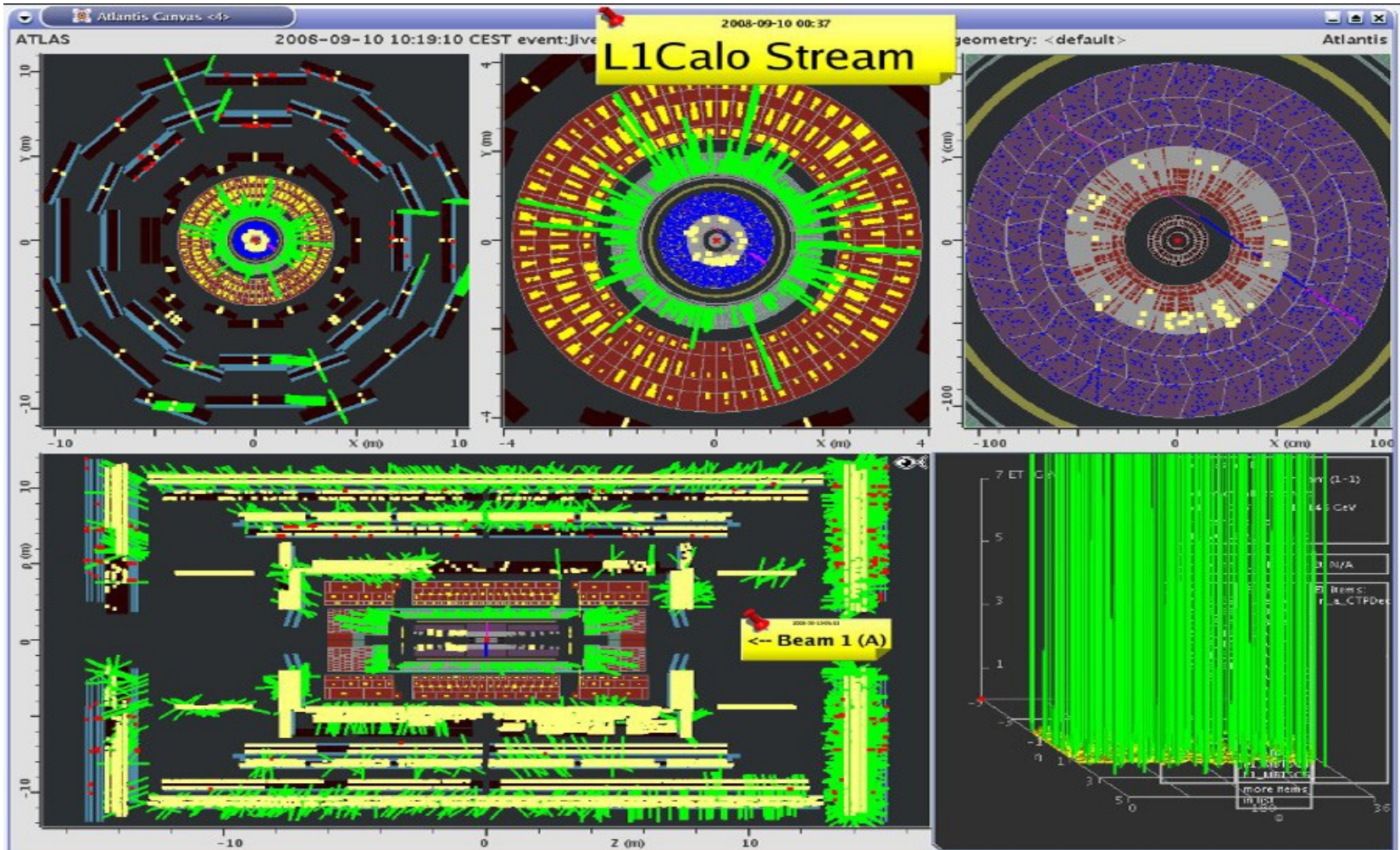
Se si formano buchi neri, evaporano prima di avere alcuna possibilita' di stabilizzarsi (radiazione di Hawking)

# Buchi Neri



Parma, 20 marzo 2009

# Event nr. 1







# 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/romagnosi20032009.html>

# Appendici

# Potenze di 10

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