

# La Ricerca a LHC

(acceleratori di particelle e buchi neri)

Roberto Ferrari  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Università del Catria  
Chiaserna, 4 agosto 2010

# L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

## 5 linee di ricerca:

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

# II 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%)

# Paradiso e Inferno

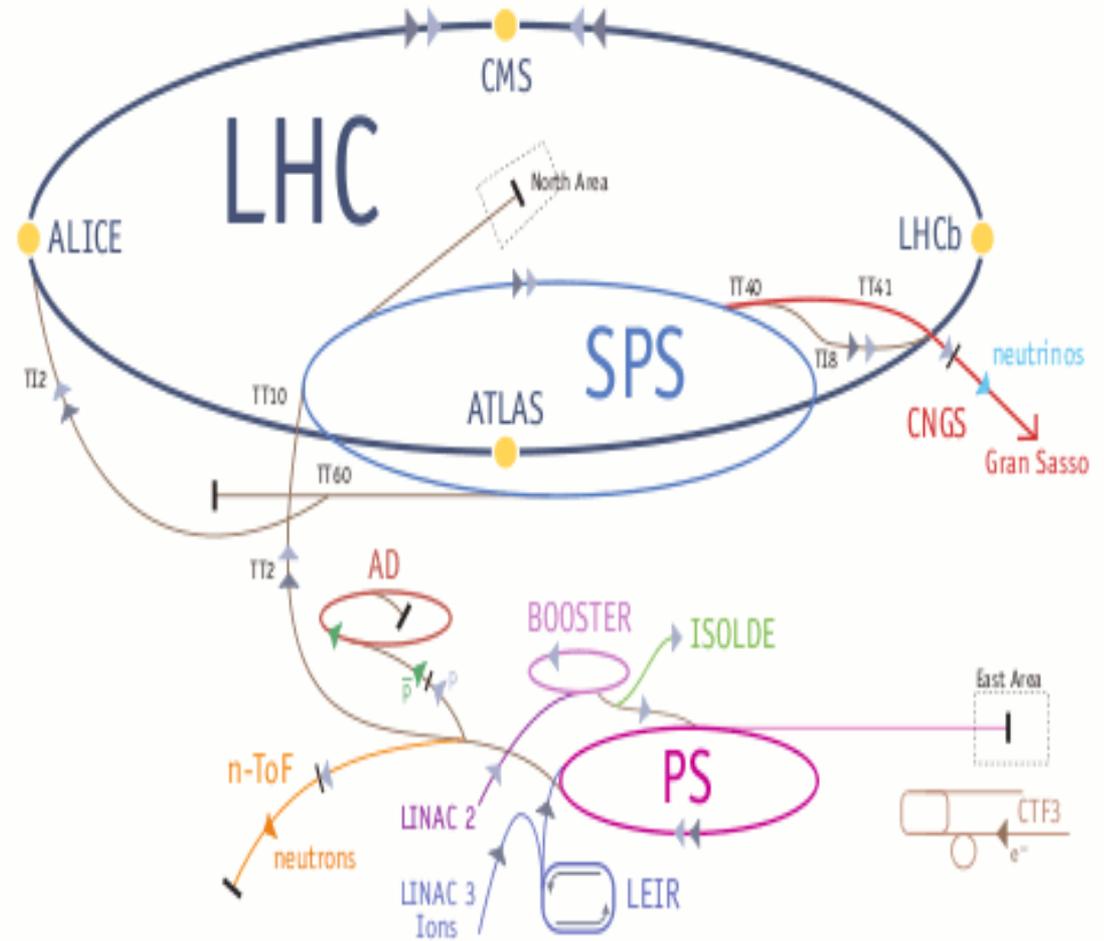
Il Paradiso è dove: i cuochi sono francesi, i poliziotti inglesi, i meccanici tedeschi, gli amanti italiani e tutto è organizzato dagli svizzeri

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

# CERN (2)

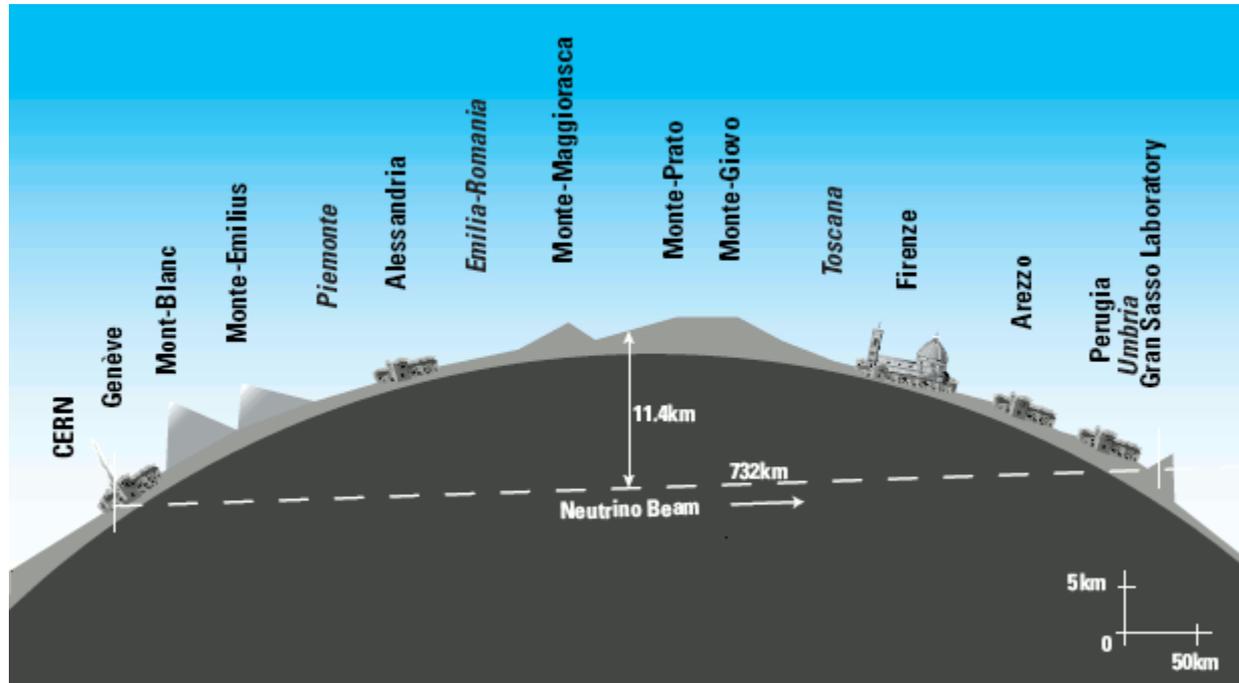
Tanti diversi acceleratori: PS, SPS, ..., LHC

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 Maggorasca

# Le domande fondamentali

Di cosa siamo fatti ?

Come è nato l'universo ?

Come sta assieme ?

Come diventera' ?

Perché è scomparsa l'antimateria ?

# ... relativamente alle particelle

MASSA, GRAVITA', CARICA ELETTRICA, NUMERO, ...

ad oggi non abbiamo alcuna spiegazione

Materia oscura ?

# ... il "Problema"

Universo (interazioni gravitazionali)

--> Relatività Generale

Particelle (interazioni elettrodeboli e forti)

--> Meccanica Quantistica Relativistica

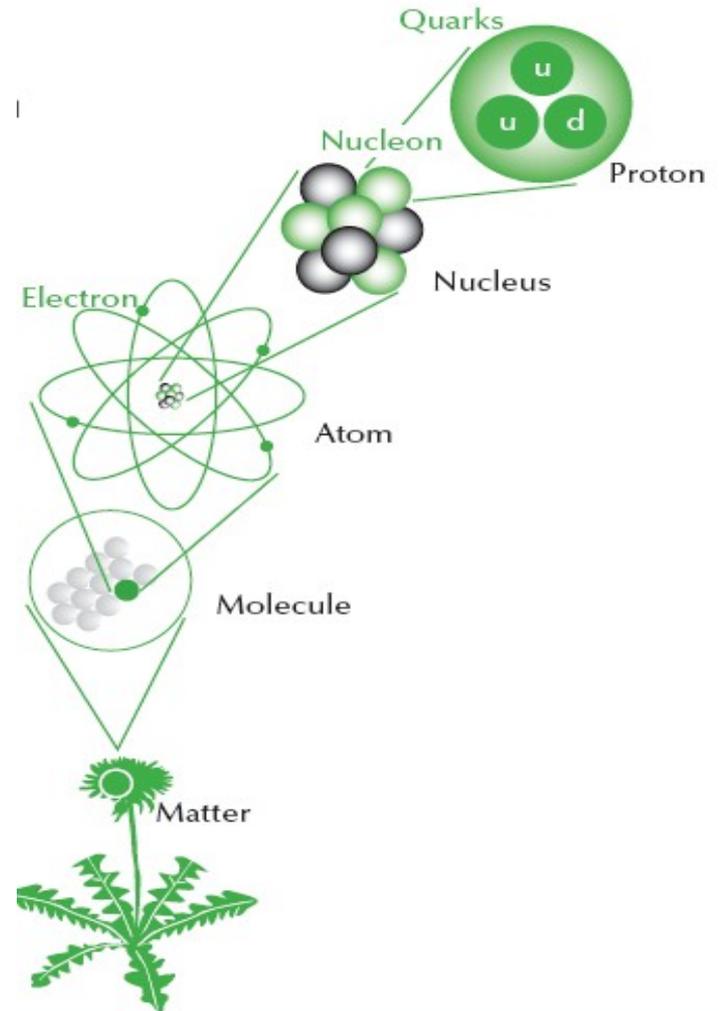
1. Entrambe le teorie funzionano

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

Età universo = 13.7 miliardi di anni

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

circa 46 "ordini di grandezza" rispetto ai quark

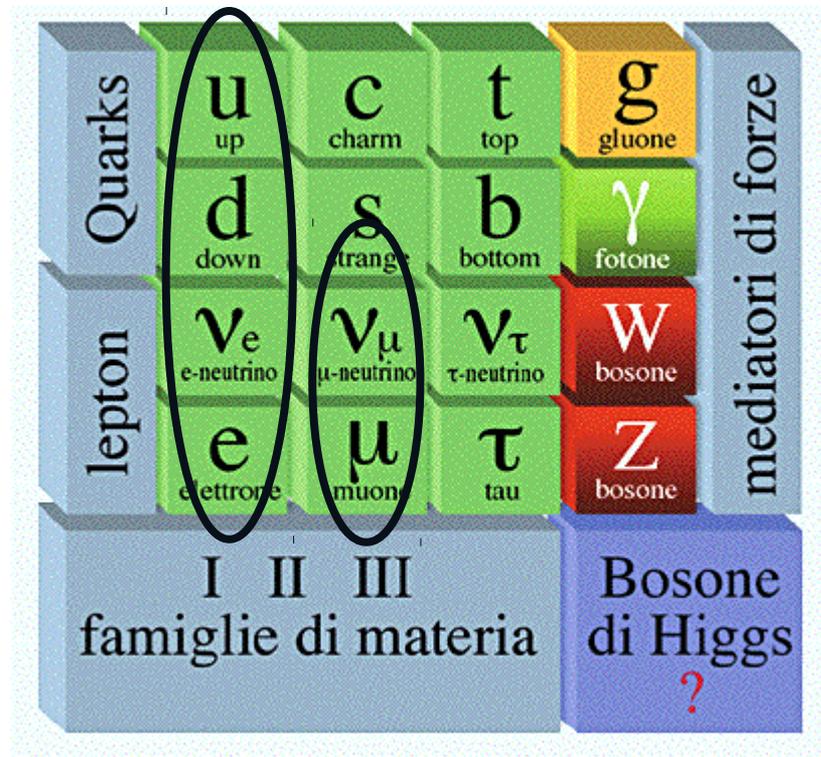
**(Universo : Uomo) quasi come (Uomo : Quark)**

# Tavola Periodica degli Elementi ...

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

## 4 forze (intensità relativa):

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



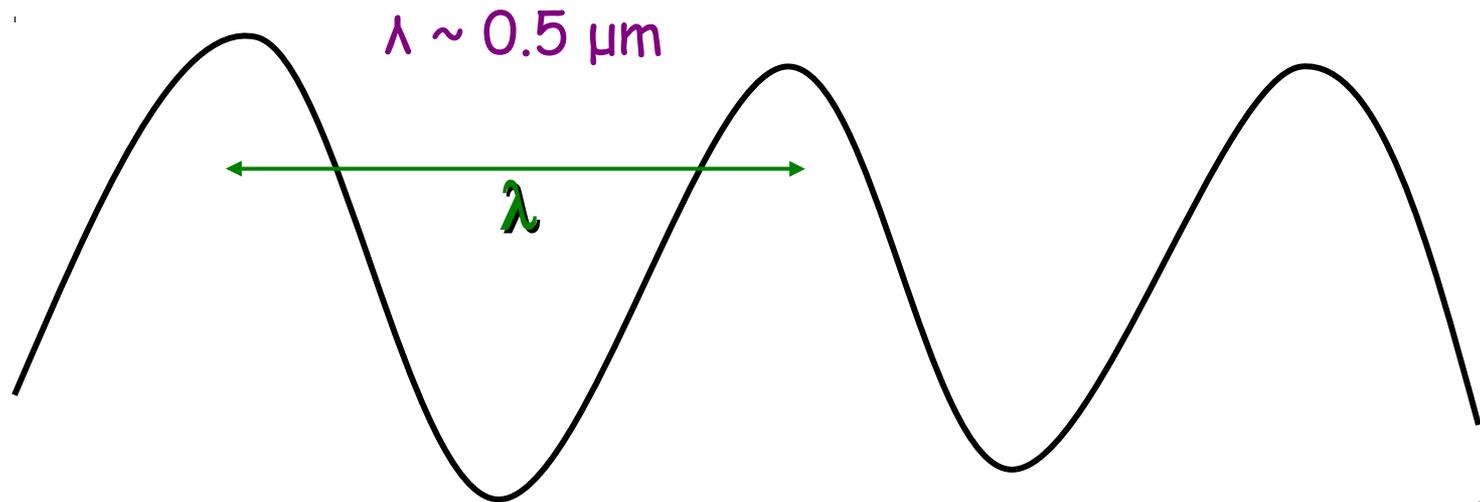
- (\*) Materia Oscura → NO
- (\*) Quantizzazione della carica → NO
- (\*) Relazioni fra masse dei fermioni → NO
- (\*) Gravitazione → NO

# 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)

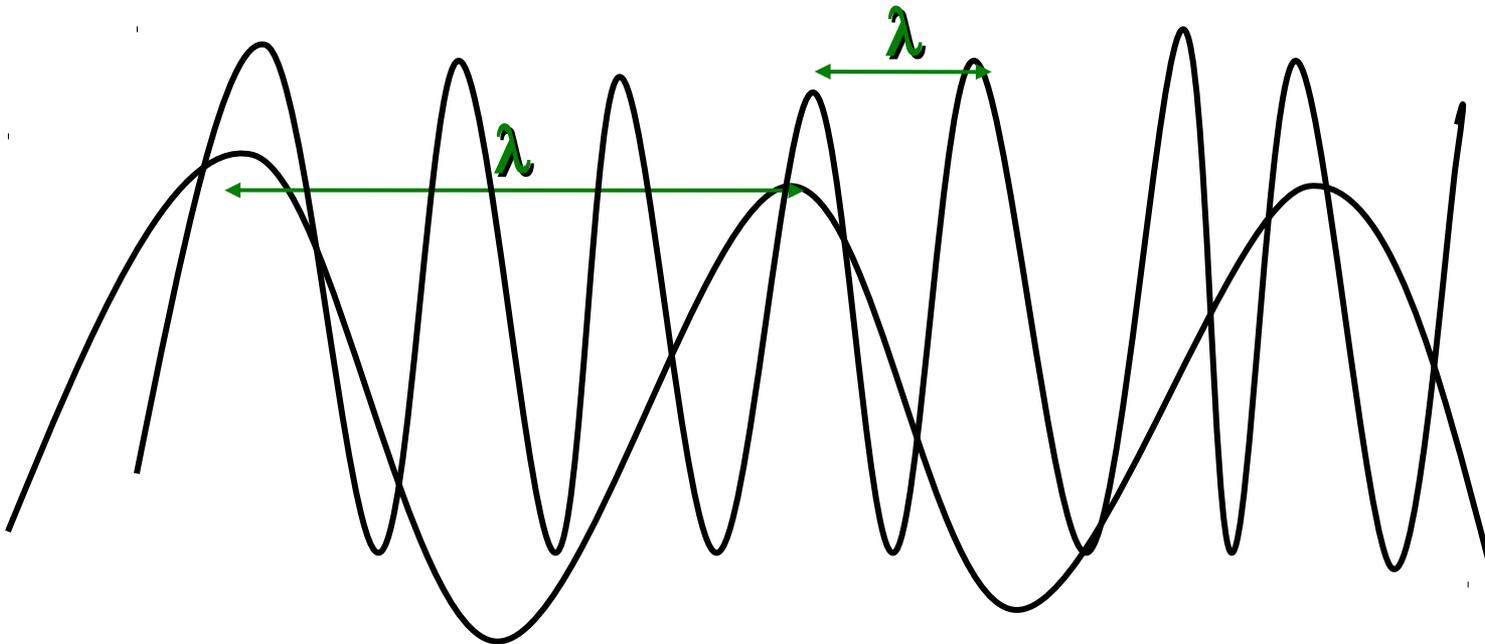


$\sim 5000$  atomi entro una sola lunghezza d'onda  
impossibile vedere ("risolvere") un singolo atomo  
e la sua struttura interna !

# Energia e lunghezza

lunghezza d'onda \* frequenza = velocità della luce

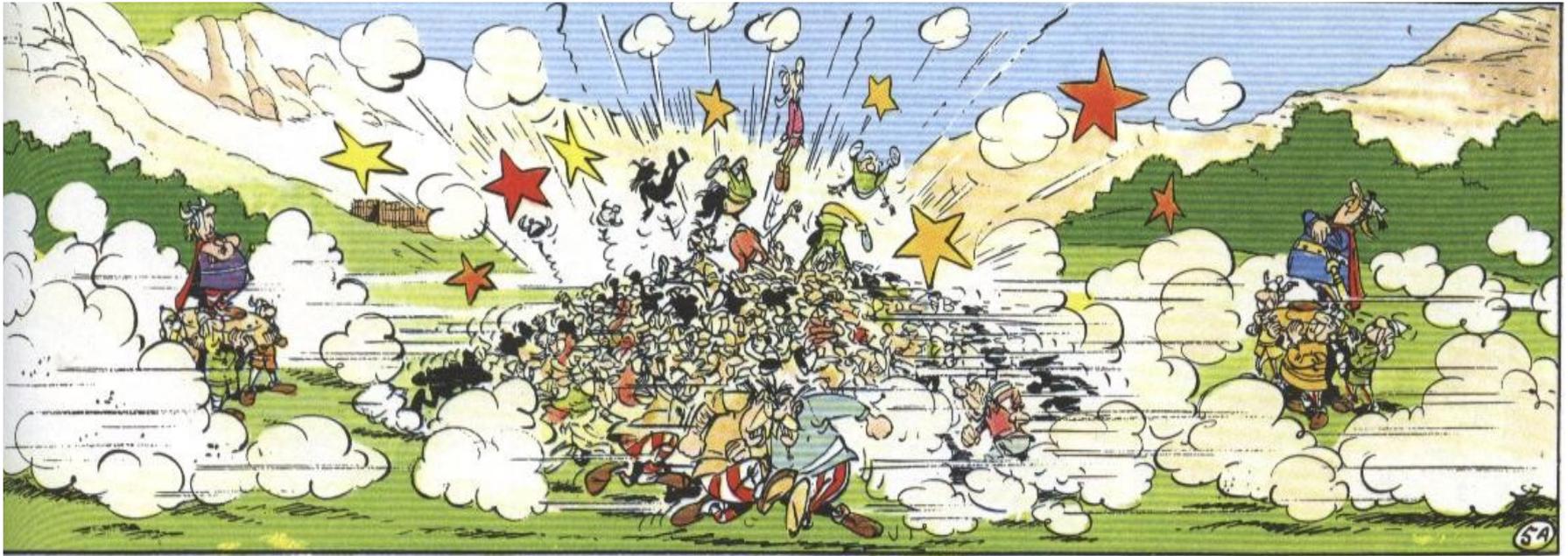
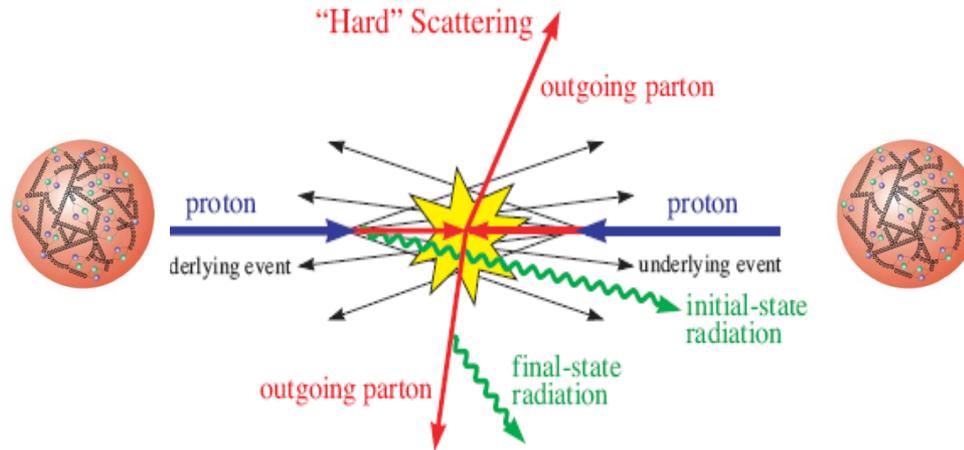
energia : frequenza = costante di Planck



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

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

# 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 ...

# 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 (?)

# Creazione di Particelle

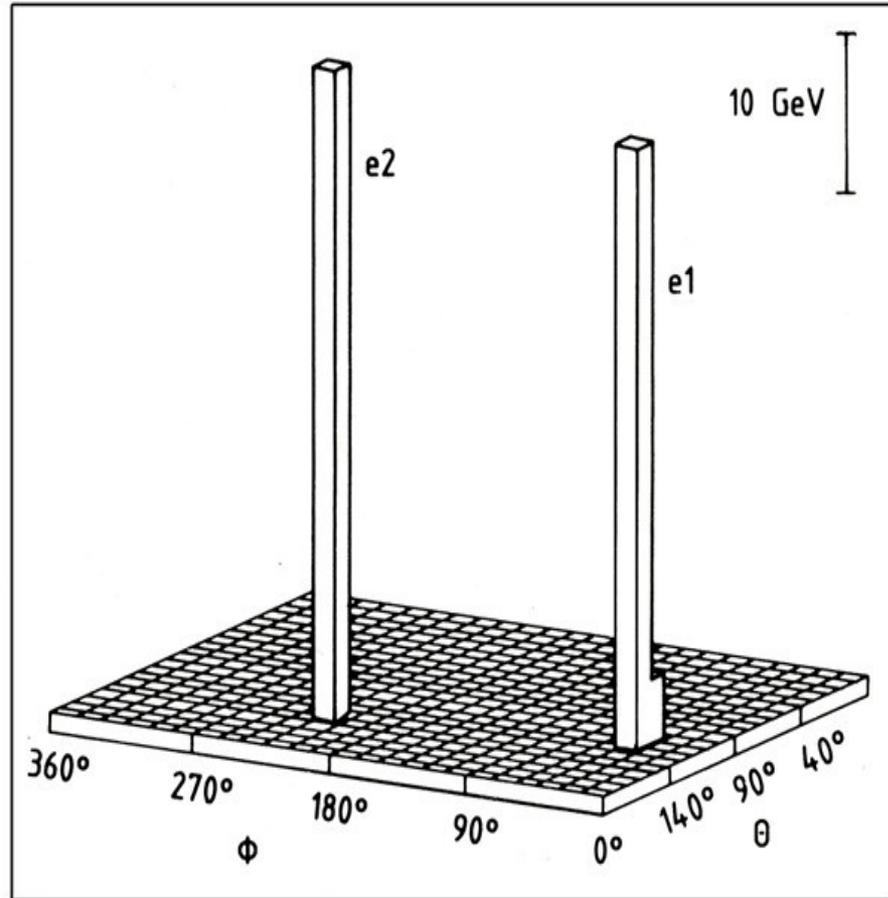
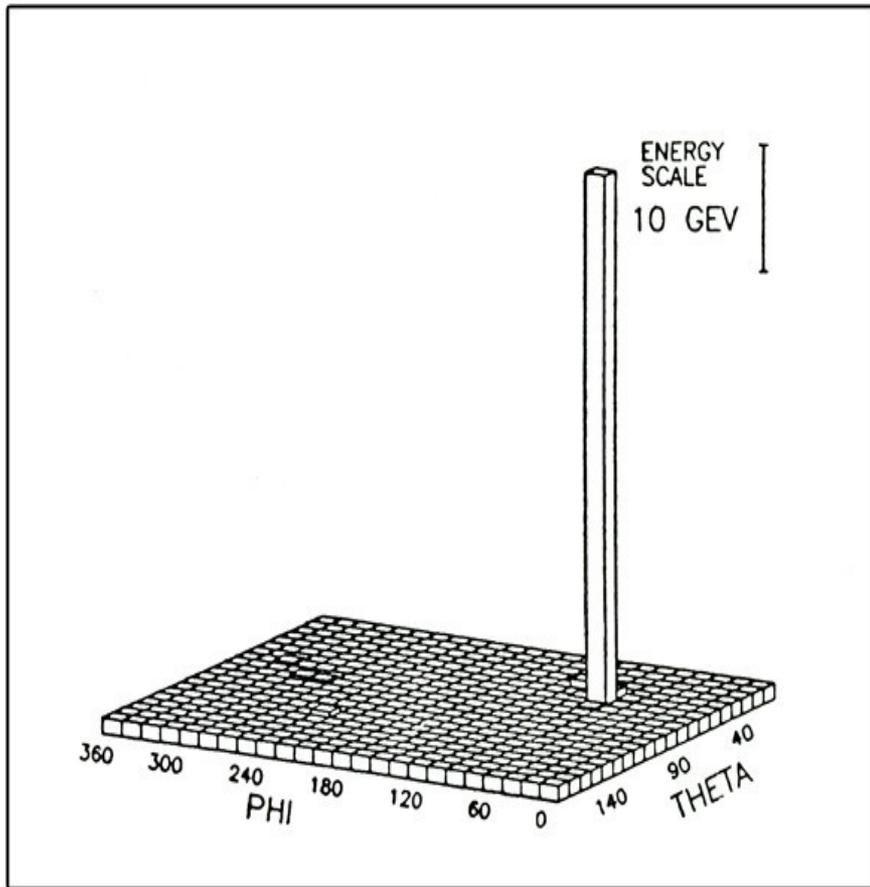
$$E = mc^2$$

Avendo a disposizione l'energia necessaria si possono produrre particelle instabili mai osservate finora.

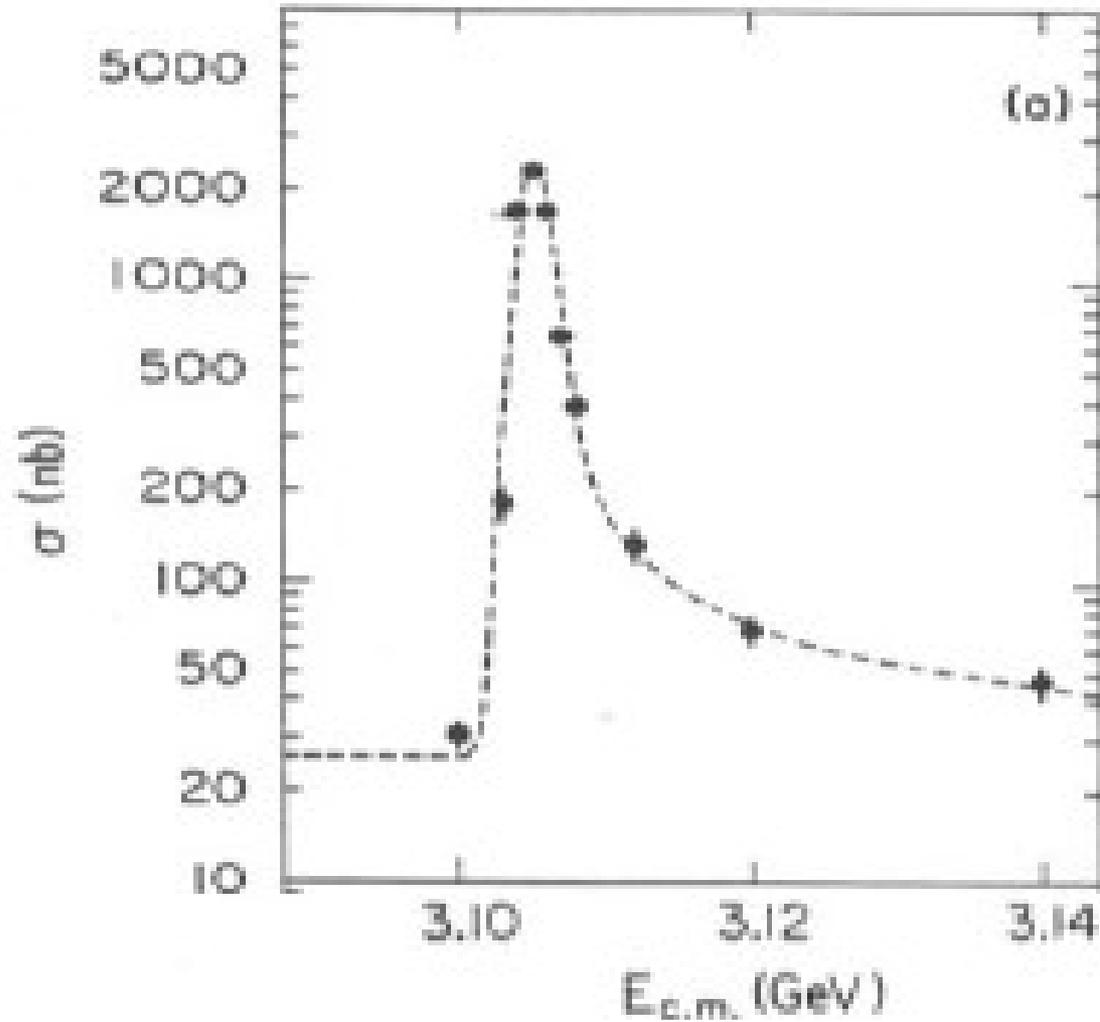
Ad es.:

- 1) bosone di Higgs
- 2) particelle supersimmetriche (SUSY)
- 3) extra-dimensions

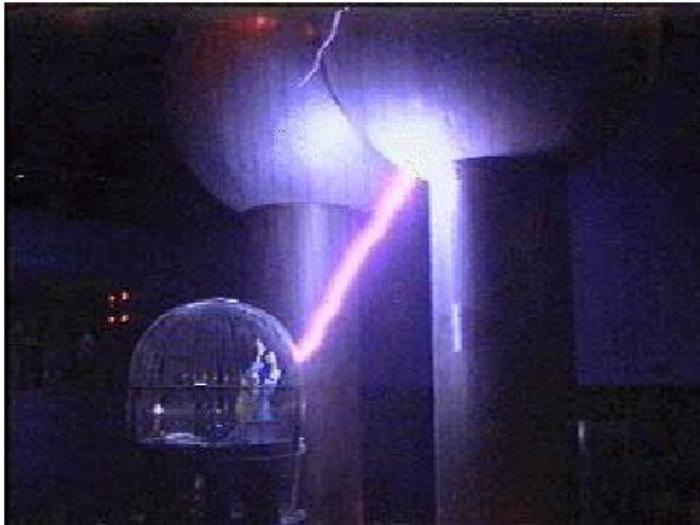
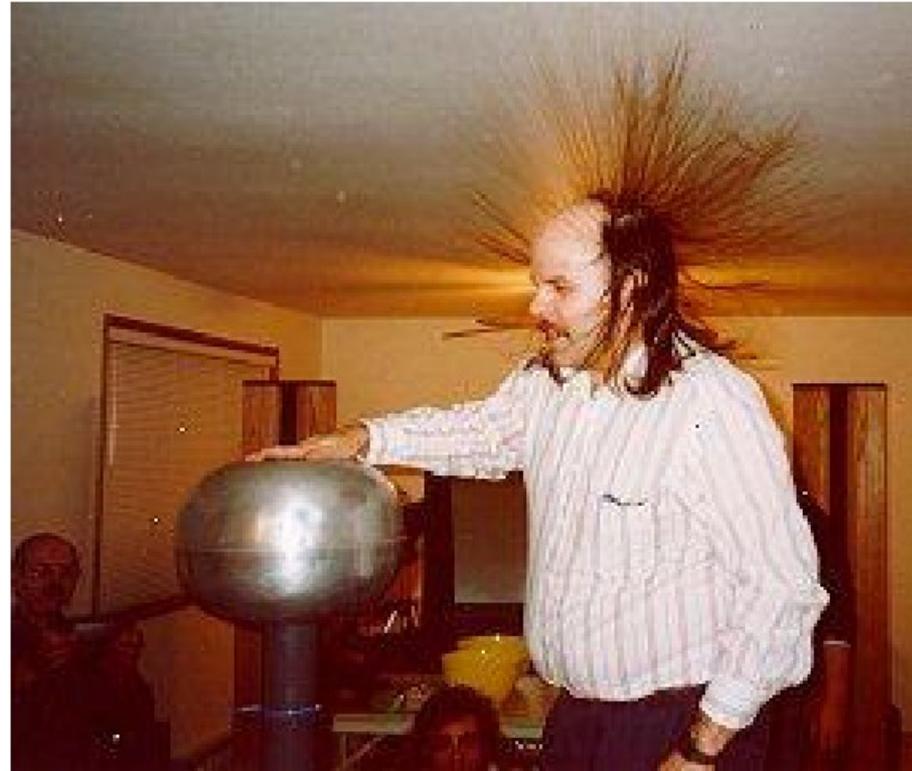
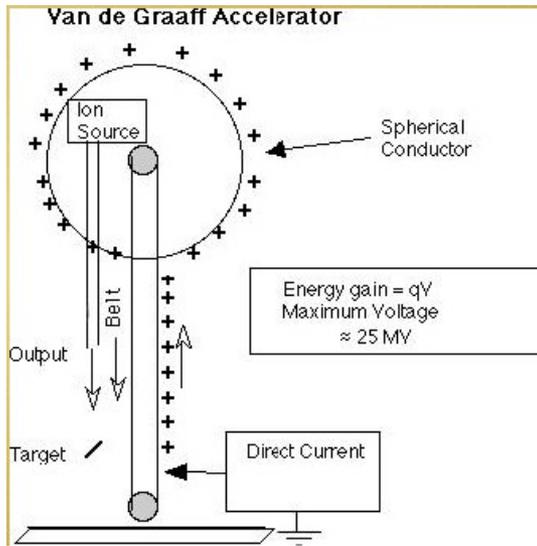
# W/Z (1983)



# J/Psi (1974)



# Acceleratore Van De Graaff (1958)



# Accelerazione di Protoni

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 (sincrotrone)

Campi magnetici (dipoli):

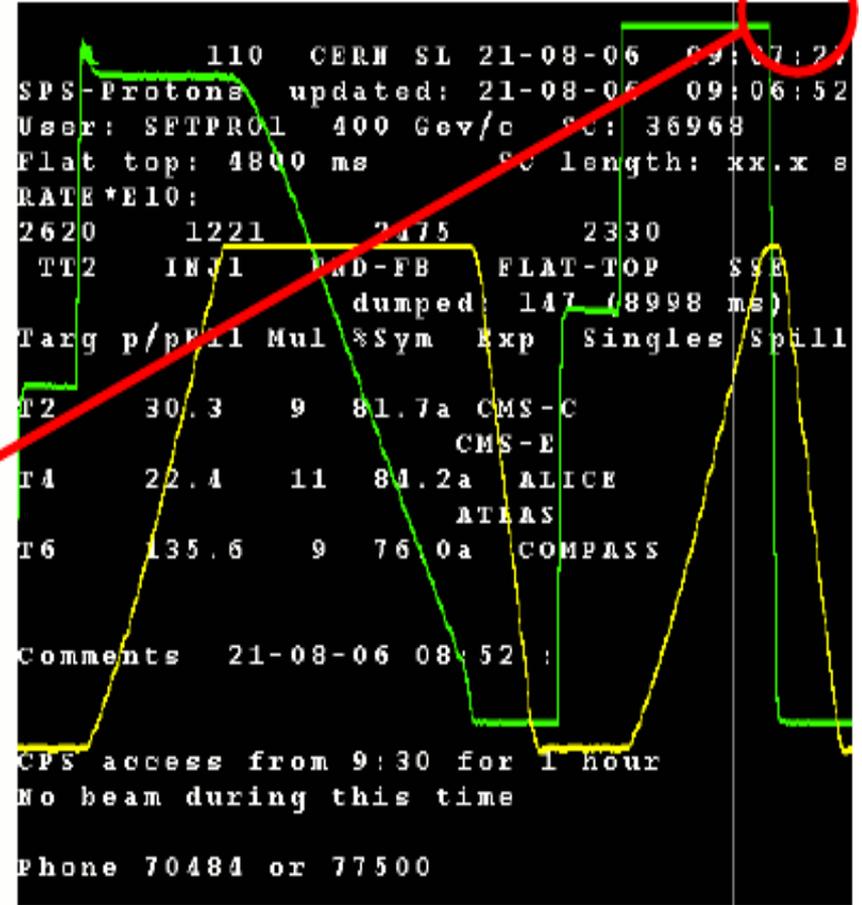
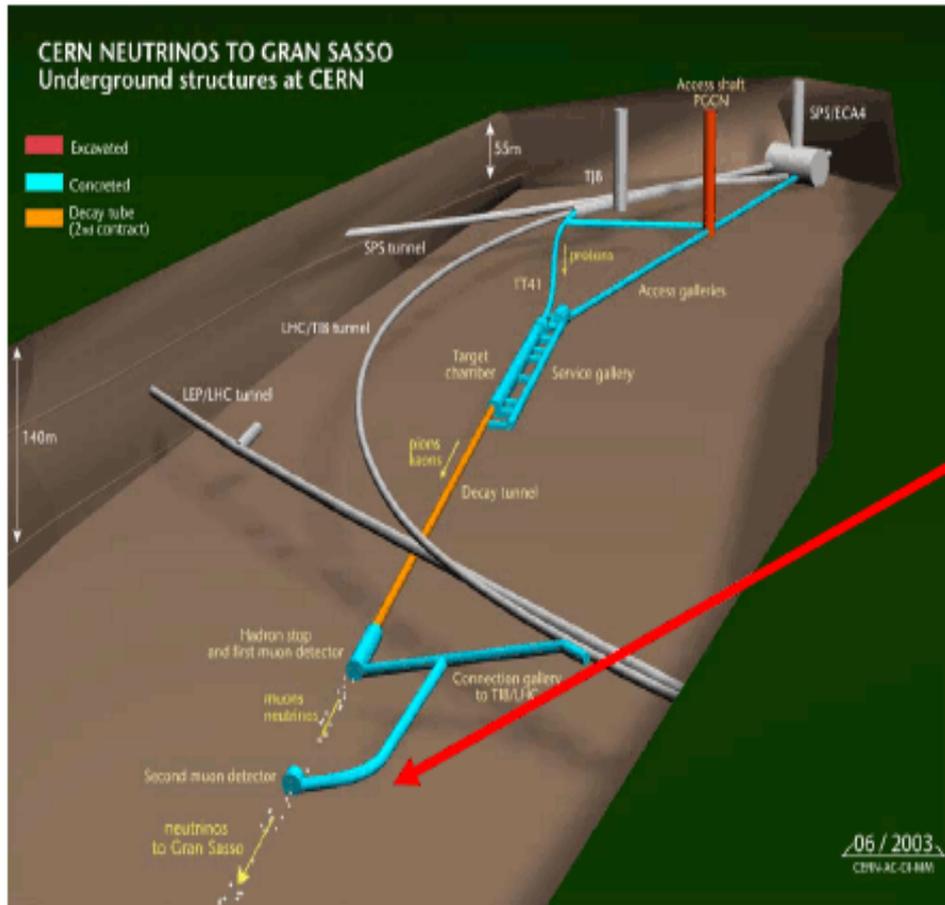
immaginate le catene del calcinulo

Campi elettromagnetici (cavità a radiofrequenza):

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

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

# CERN - SPS → Gran Sasso

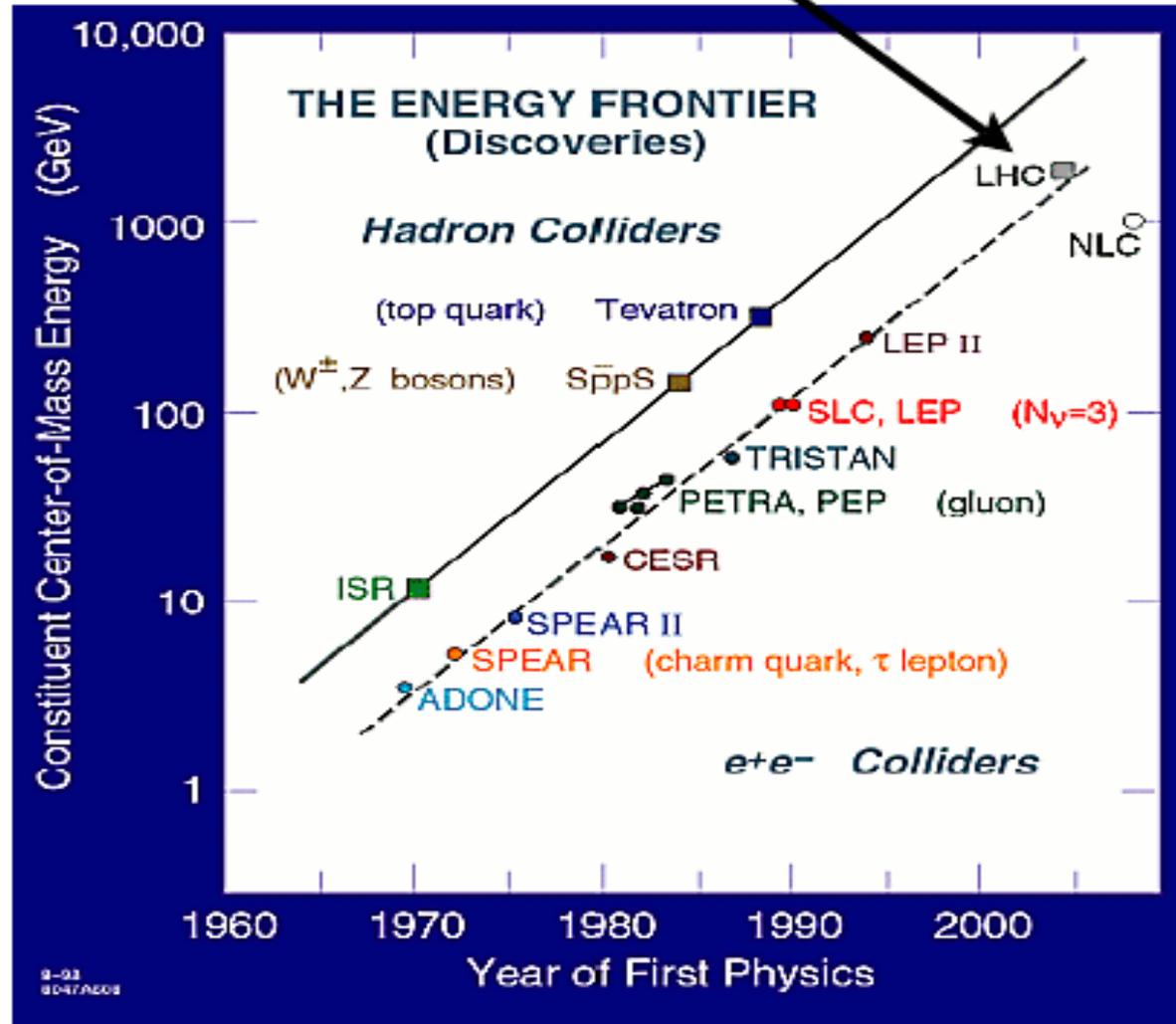


# I Collisionatori

Due categorie:

$e^+e^-$

$pp/pp\bar{b}$

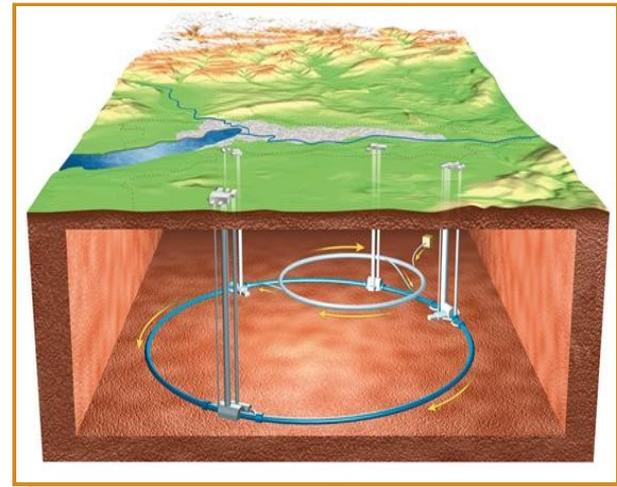


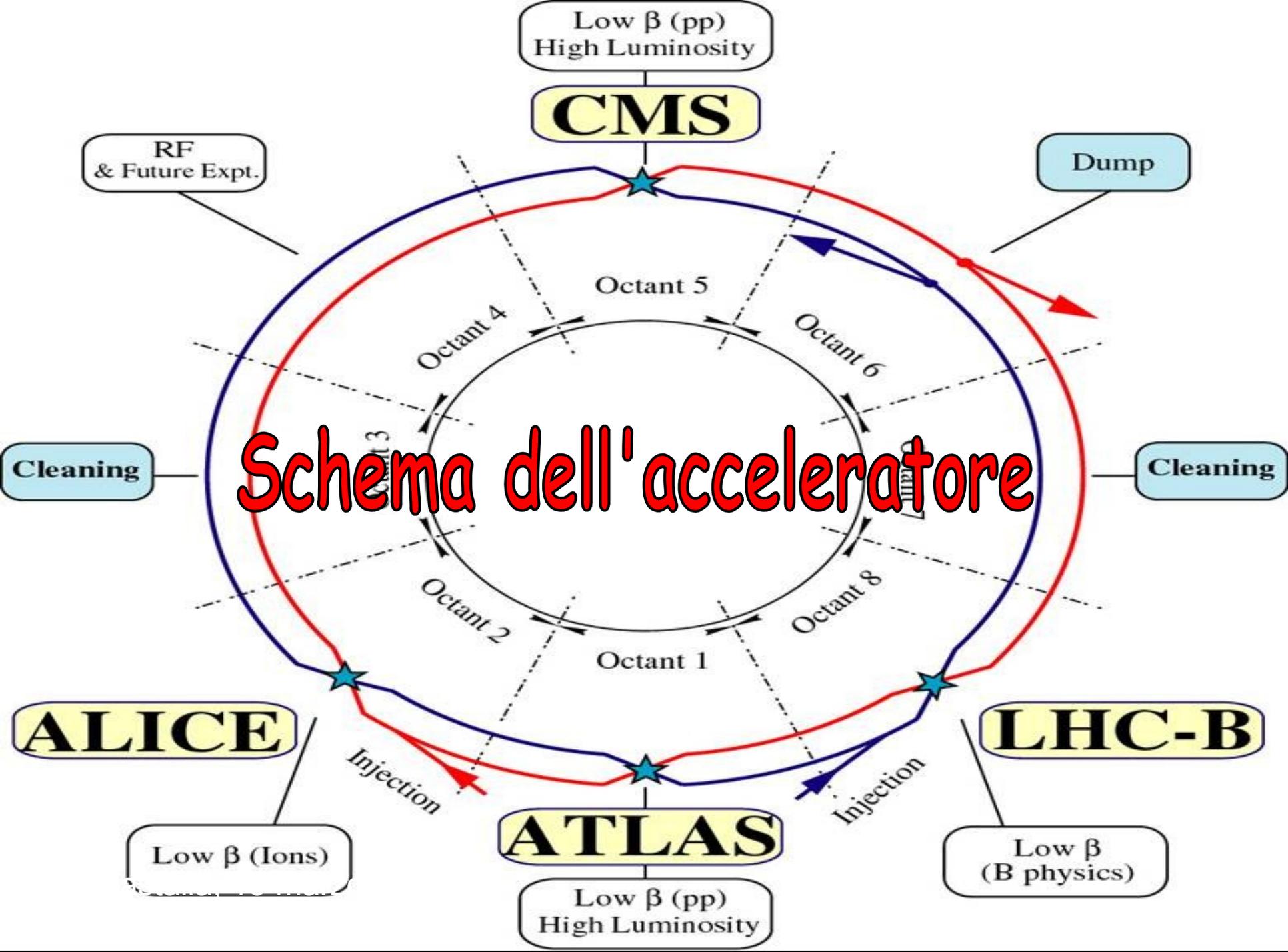
# ADONE (LNF)



# LHC

- 27 km di circonferenza
  - (protoni contro protoni) e (piombo contro piombo) ogni 25 ns
  - consumo ~ 120 MW (metà del totale CERN)
  - costo ~ 4 miliardi di Euro (in ~ 10 anni)
- 4 giganteschi apparati sperimentali a ~ 100 m di profondità





# Schema dell'acceleratore

Low  $\beta$  (pp)  
High Luminosity  
**CMS**

Dump

RF  
& Future Expt.

Octant 4

Octant 5

Octant 6

Cleaning

Cleaning

Octant 3

Octant 8

Octant 1

Octant 2

**LHC-B**

**ALICE**

Injection

Injection

**ATLAS**

Low  $\beta$   
(B physics)

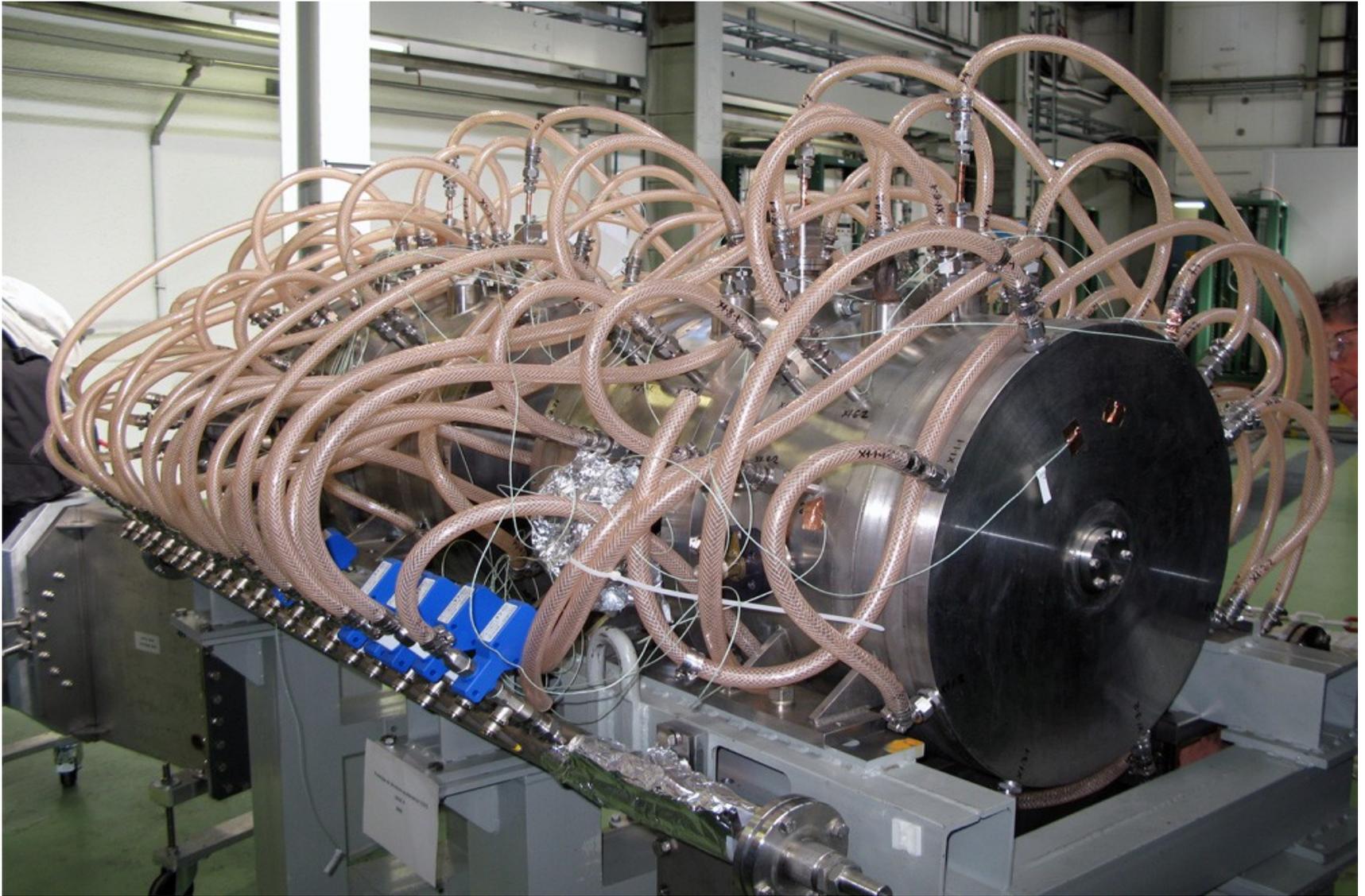
Low  $\beta$   
(Ions)

Low  $\beta$  (pp)  
High Luminosity

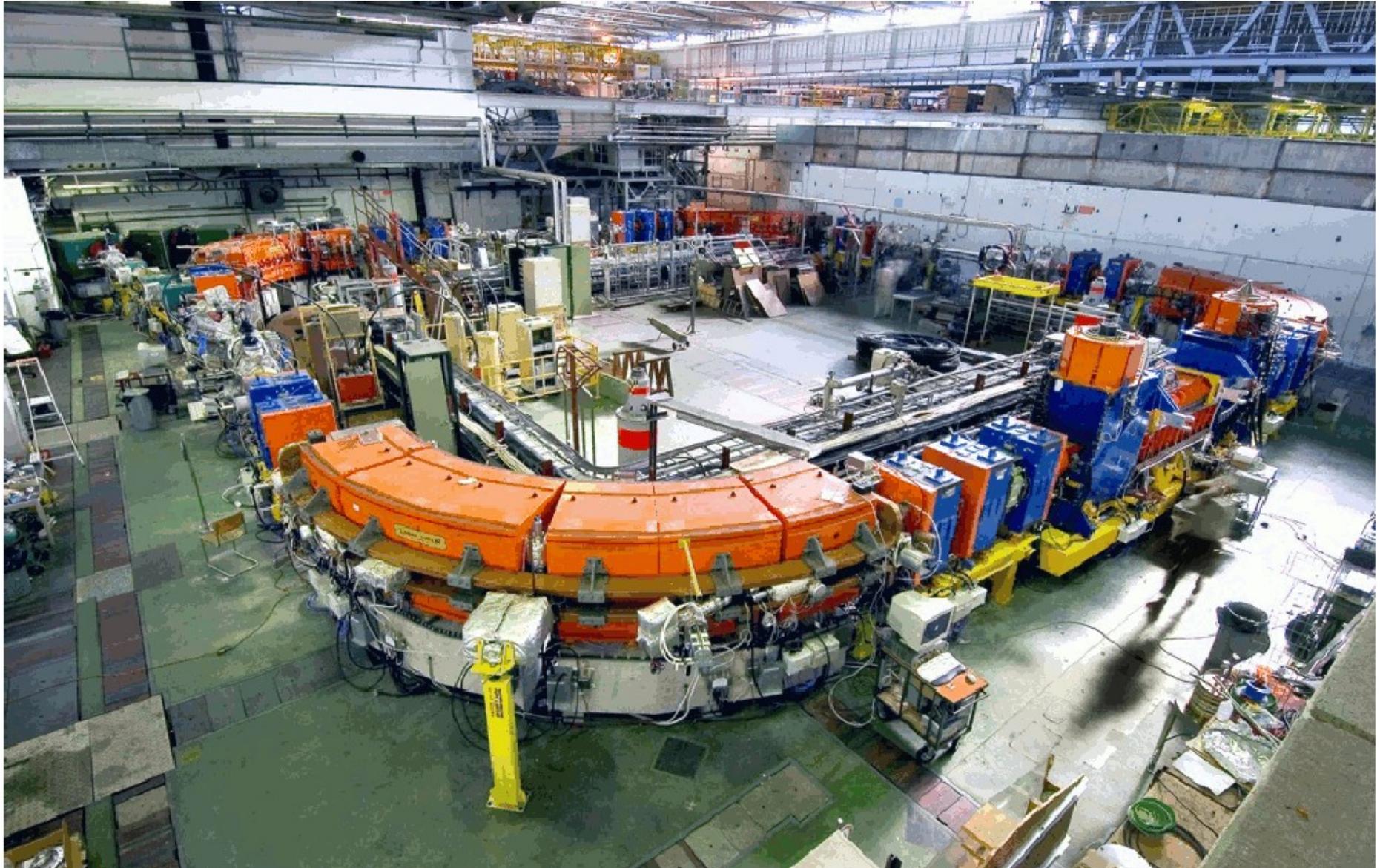
# I Dipoli



# Le Cavità a RadioFrequenza



# Low Energy Ion Ring



# Qualche numero ...

Campi magnetici: quasi 10000 magneti superconduttori, correnti elettriche di  $\sim 12000$  ampere ( $\sim 140$  MWatt su  $R \sim 1 \Omega$ )

Campi elettromagnetici: 16 cavità a radiofrequenza

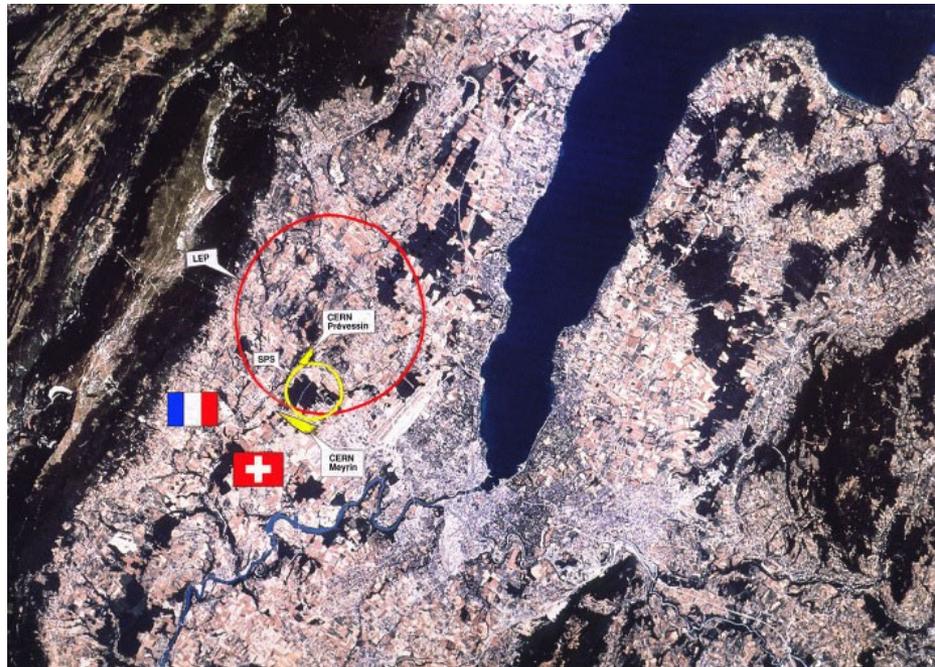
Energia nei fasci di LHC (350 MJ):  $\sim$  quella di un TGV a 150 km/h  
sufficiente a fondere 500 kg di rame

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 99.9999991 % della velocità della luce

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



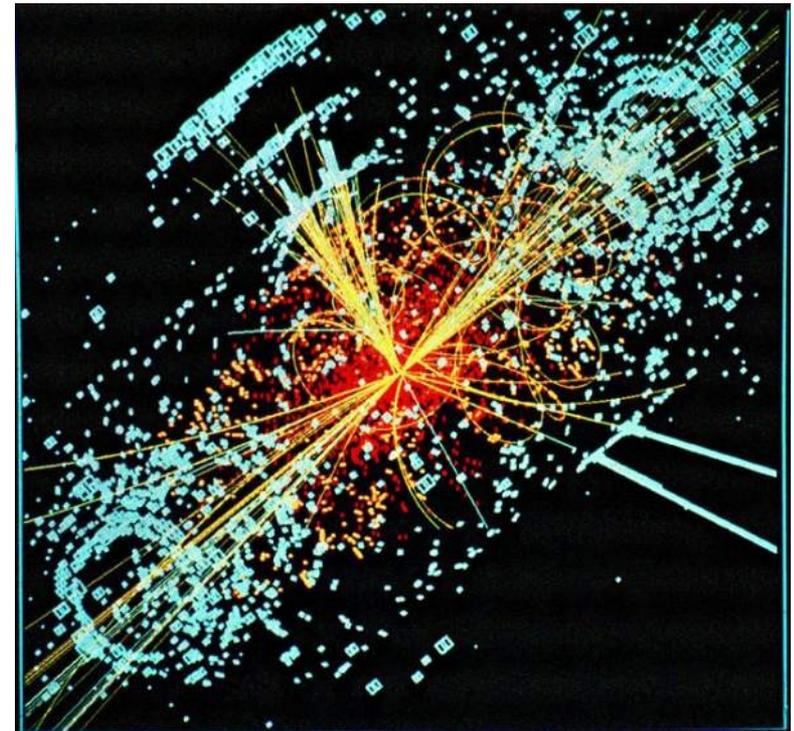
[pubblicità]

## 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



## [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)

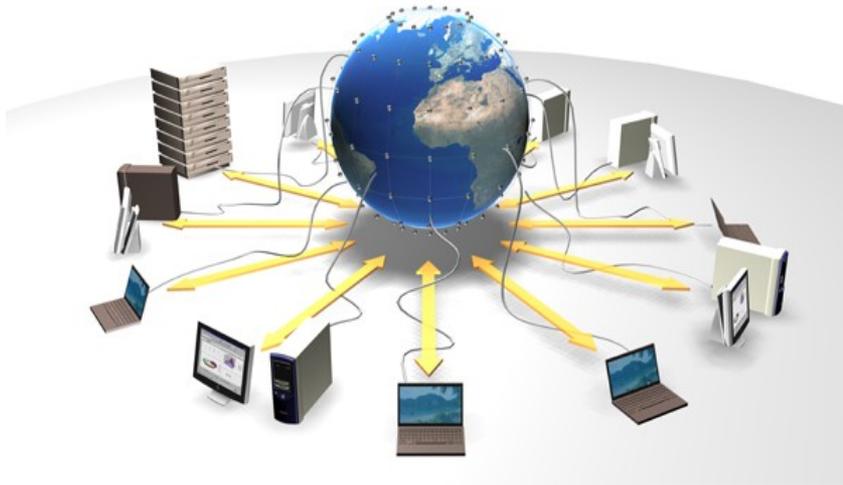
Dati LHC equivalenti a ~20 milioni di CD (una pila alta 20 km) all'anno

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



WWW: accesso a informazione archiviata in diverse località geografiche

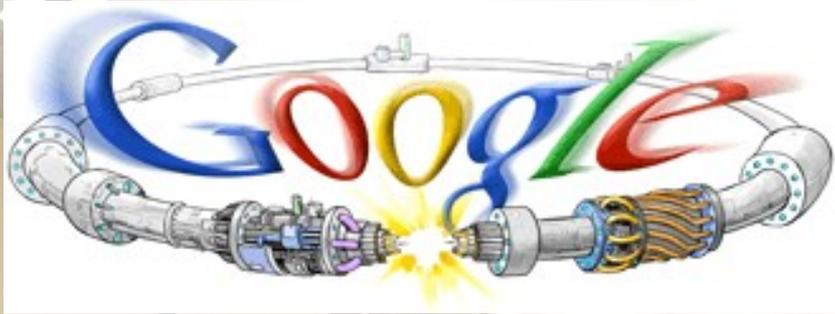
GRID: accesso a risorse di calcolo e di archiviazione dati distribuite su tutto il pianeta



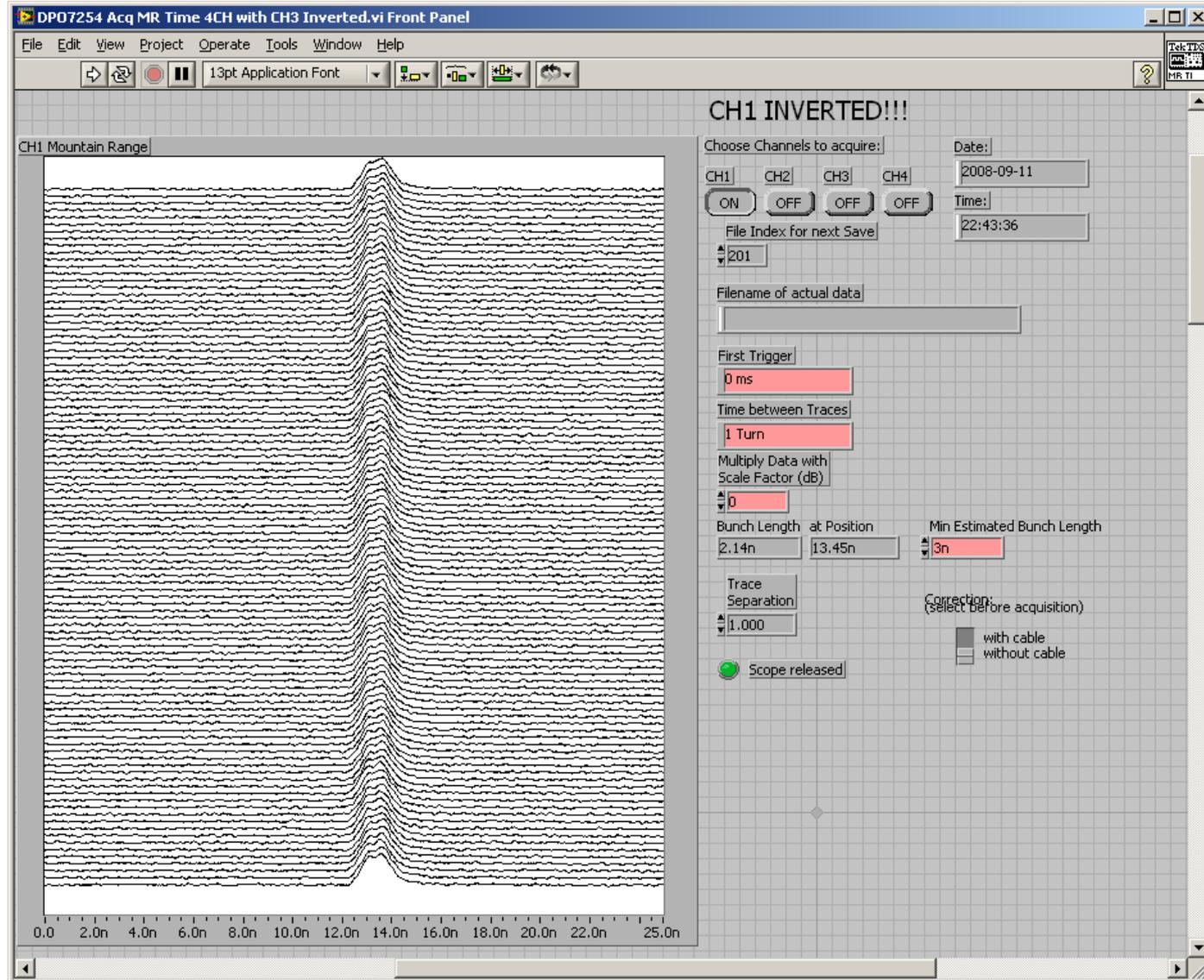
# I Nastri (ovvero l'ultimo nascondiglio del bosone di Higgs ?)



# Il Giorno 1 - 10.09.08 10:00'



# Il Giorno 2



# Il Giorno 7

## Siate pronti ("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  $\sim 10000$  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

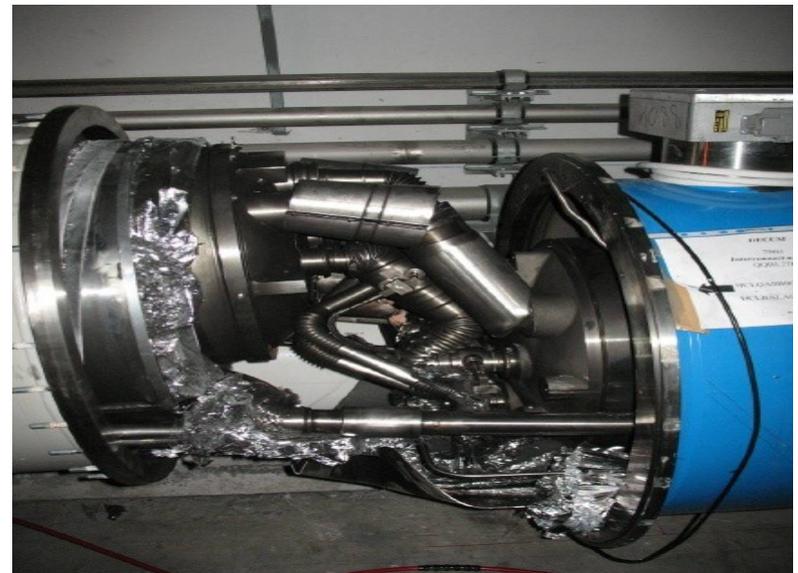
In rapida sequenza:

- 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



# La Sperimentazione

Interazione particelle-materia dipende dal tipo di particella:

Cariche leggere: elettroni

Neutre leggere (1): fotoni

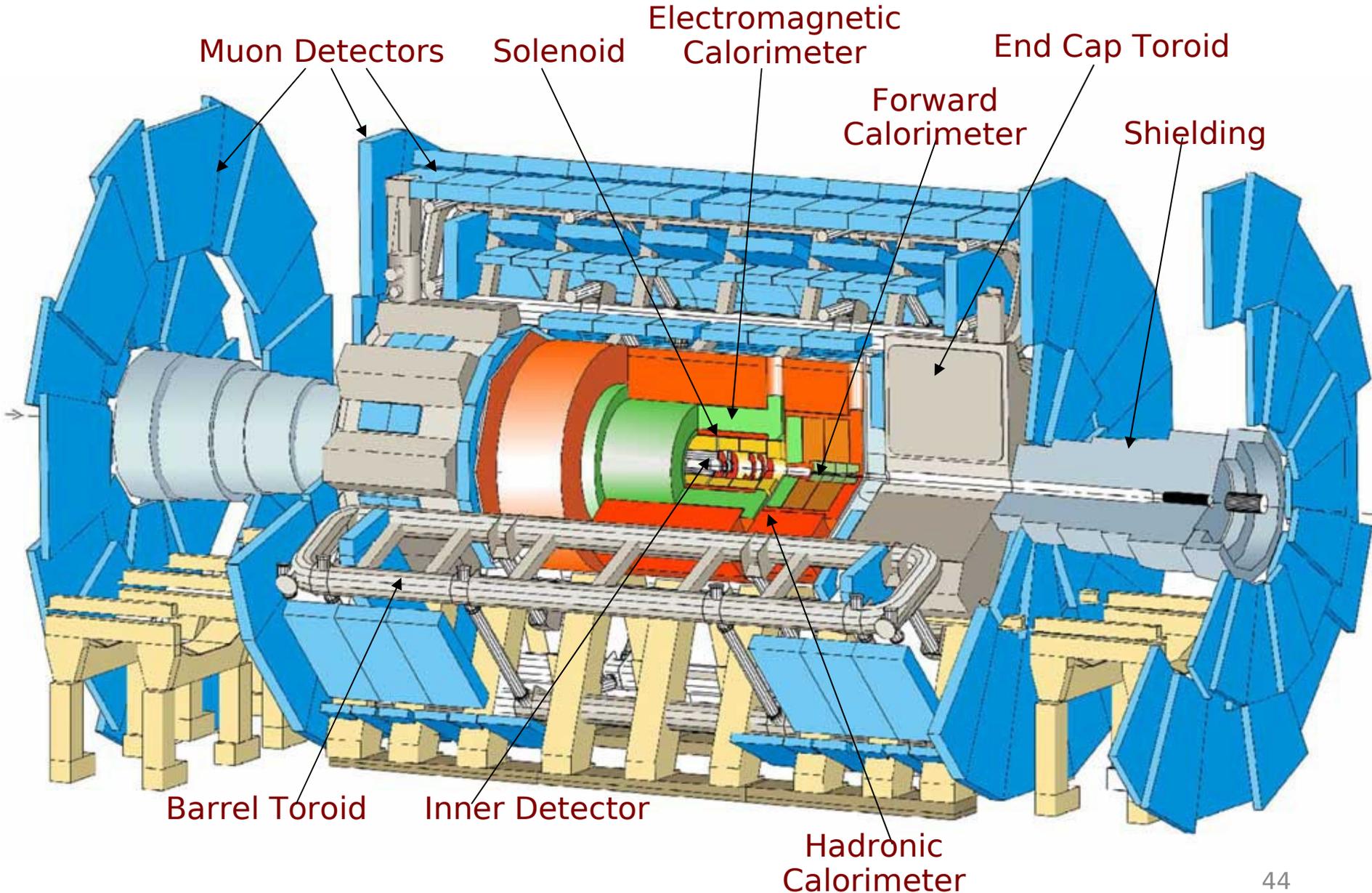
Neutre leggere (2): neutrini, neutralini (?)

Cariche pesanti (1): protoni, mesoni carichi

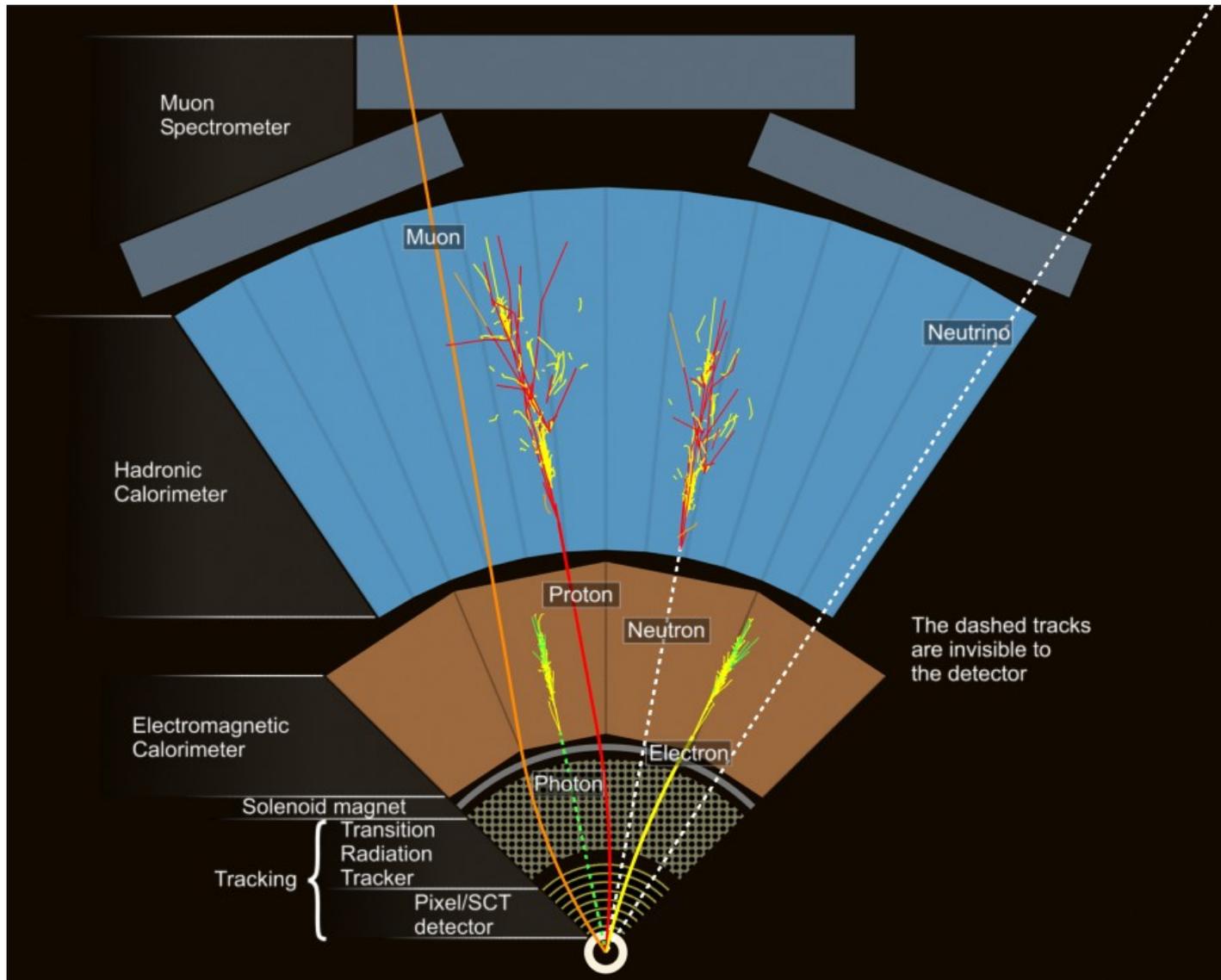
Cariche pesanti (2): muoni

Neutre pesanti: neutroni, mesoni neutri

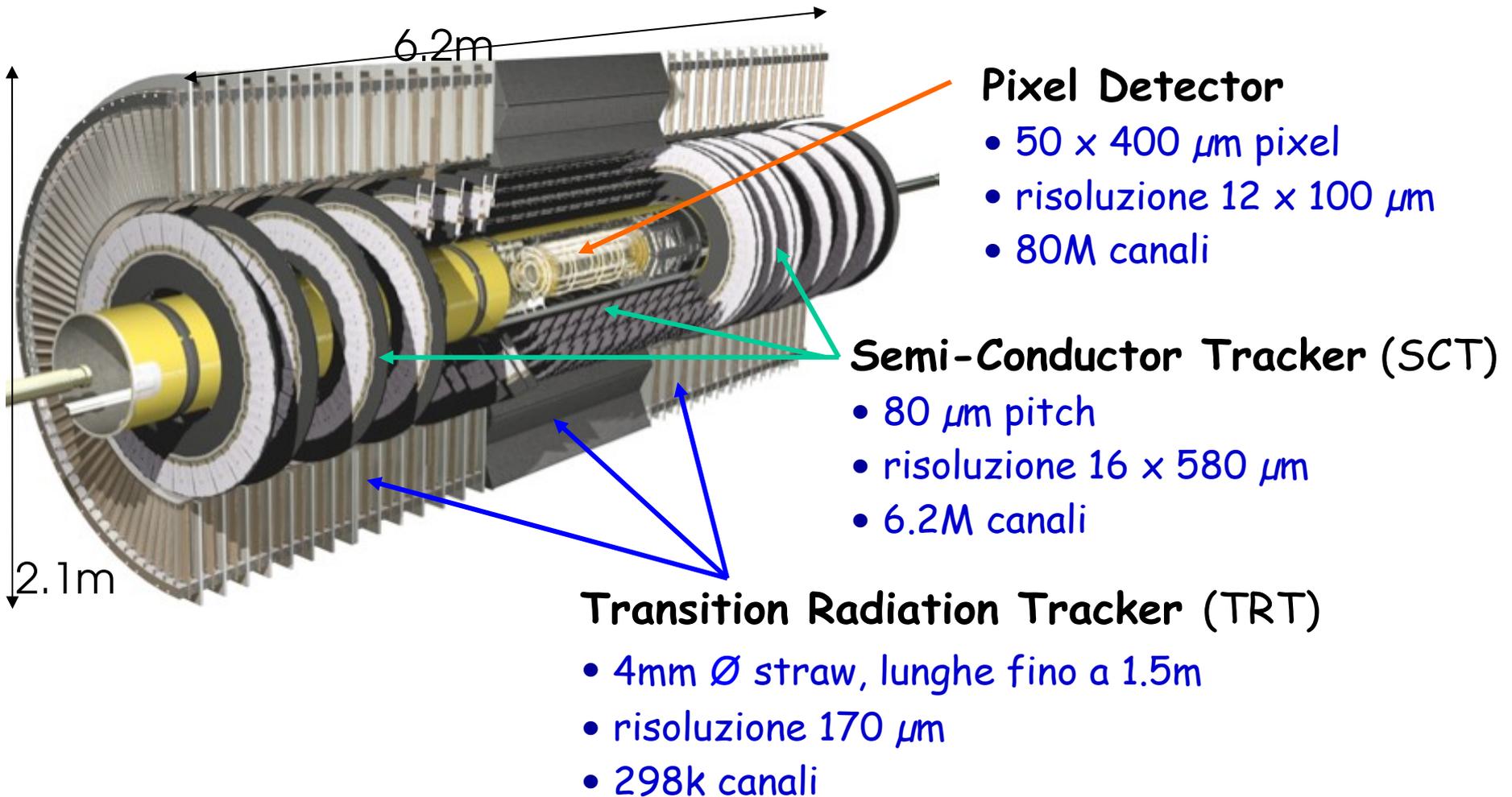
# ATLAS: un microscopio alto 22 e lungo 46 m



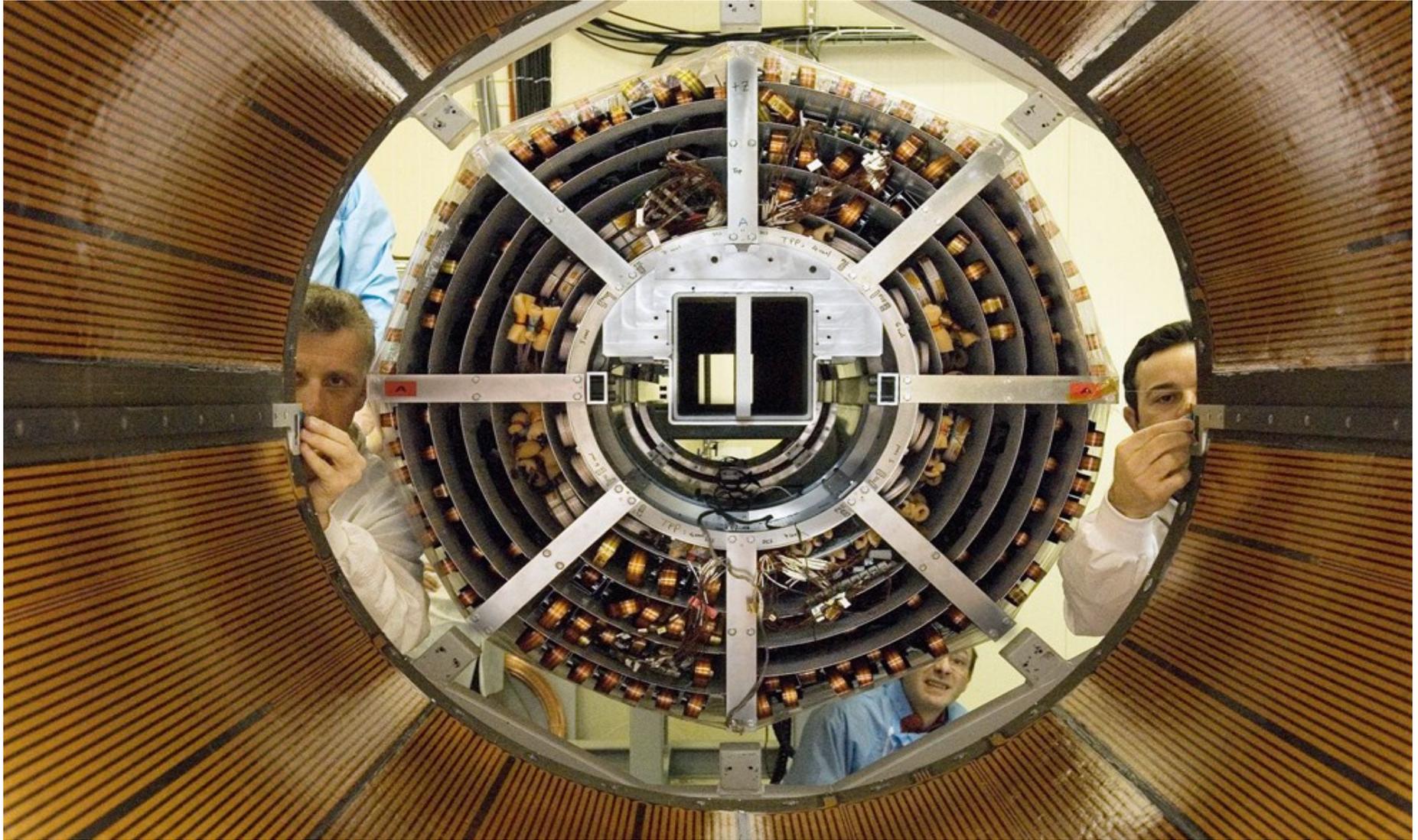
# Tante (Diverse) Macchine Fotografiche



# Esempio: Tracciatore Interno

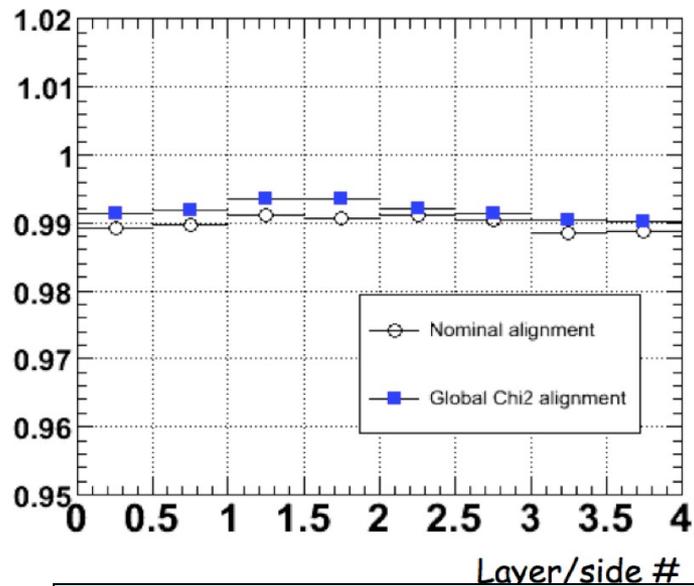


# SCT + TRT

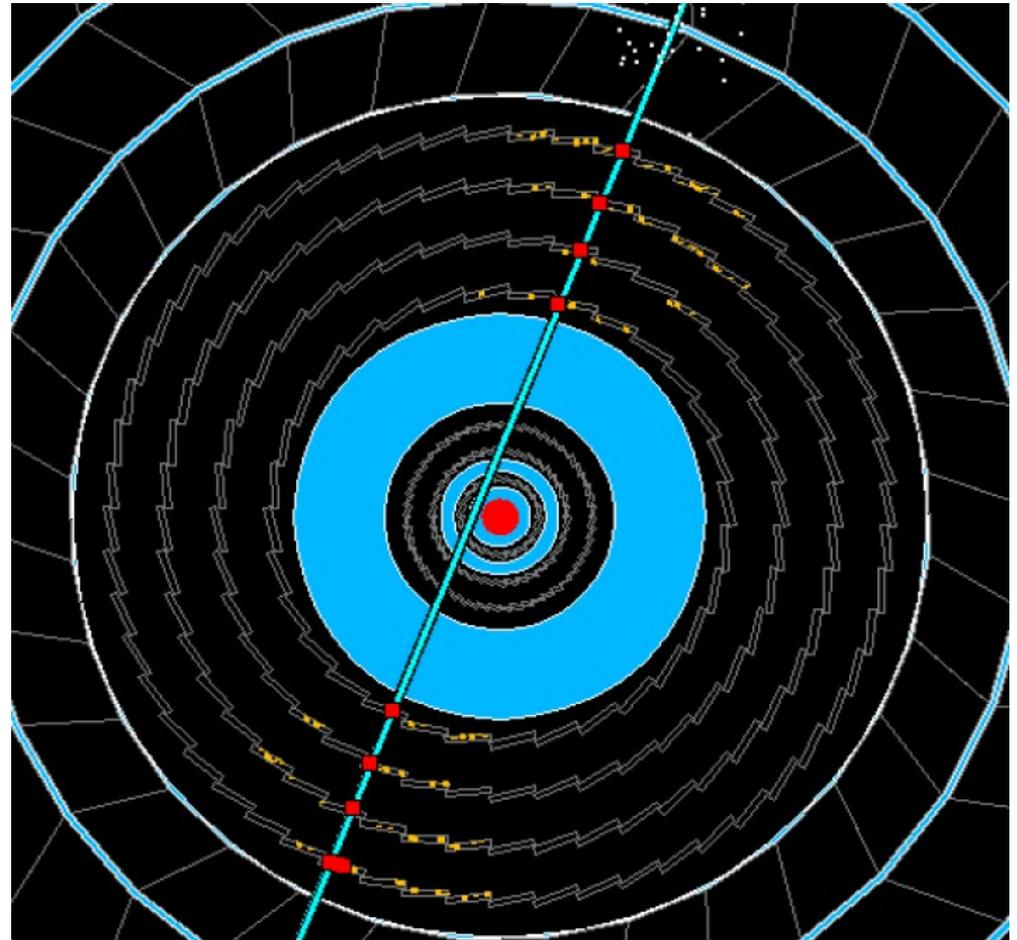


# Tracce SCT con Cosmici

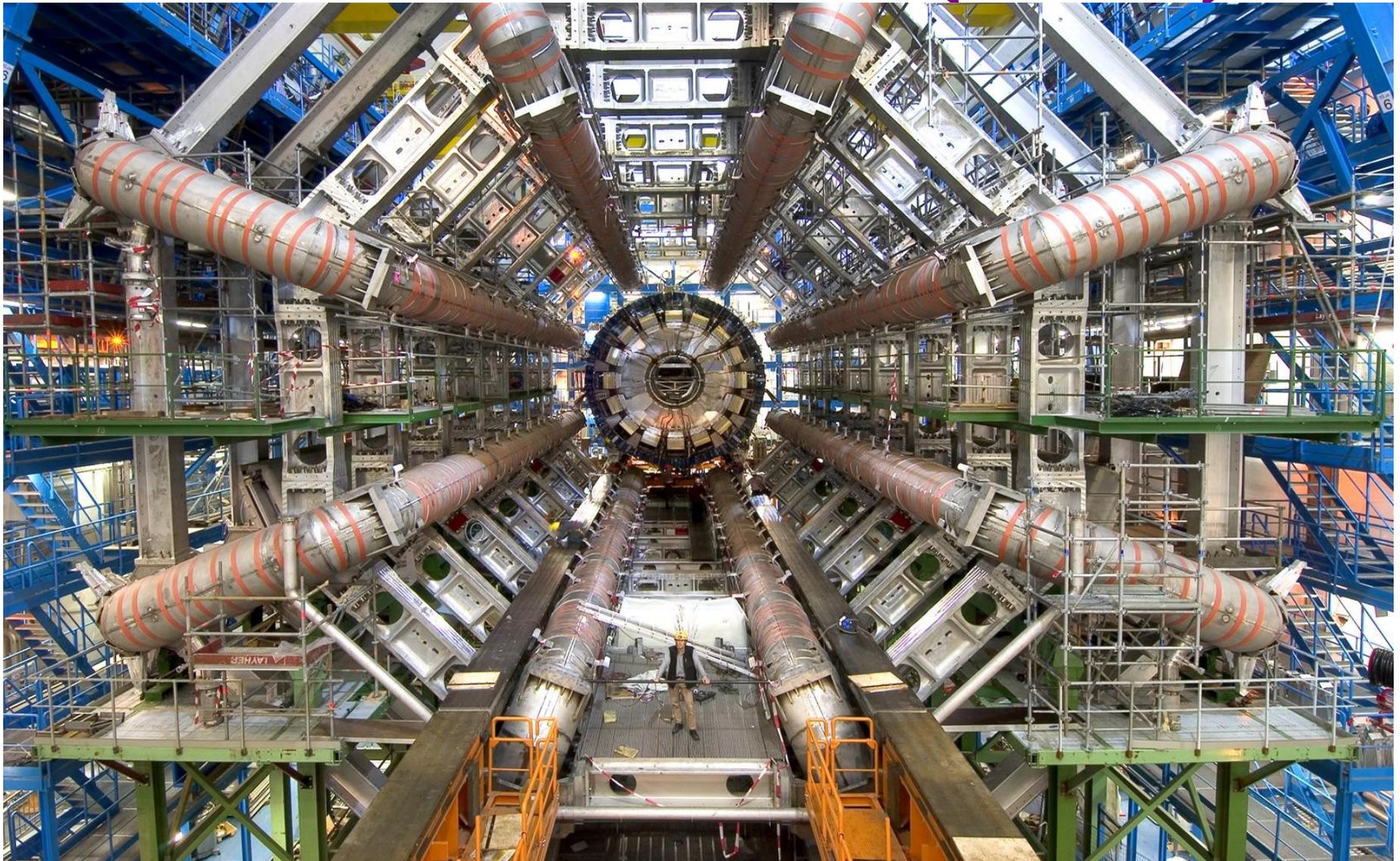
10 milioni di eventi (500 mila di raggi cosmici)



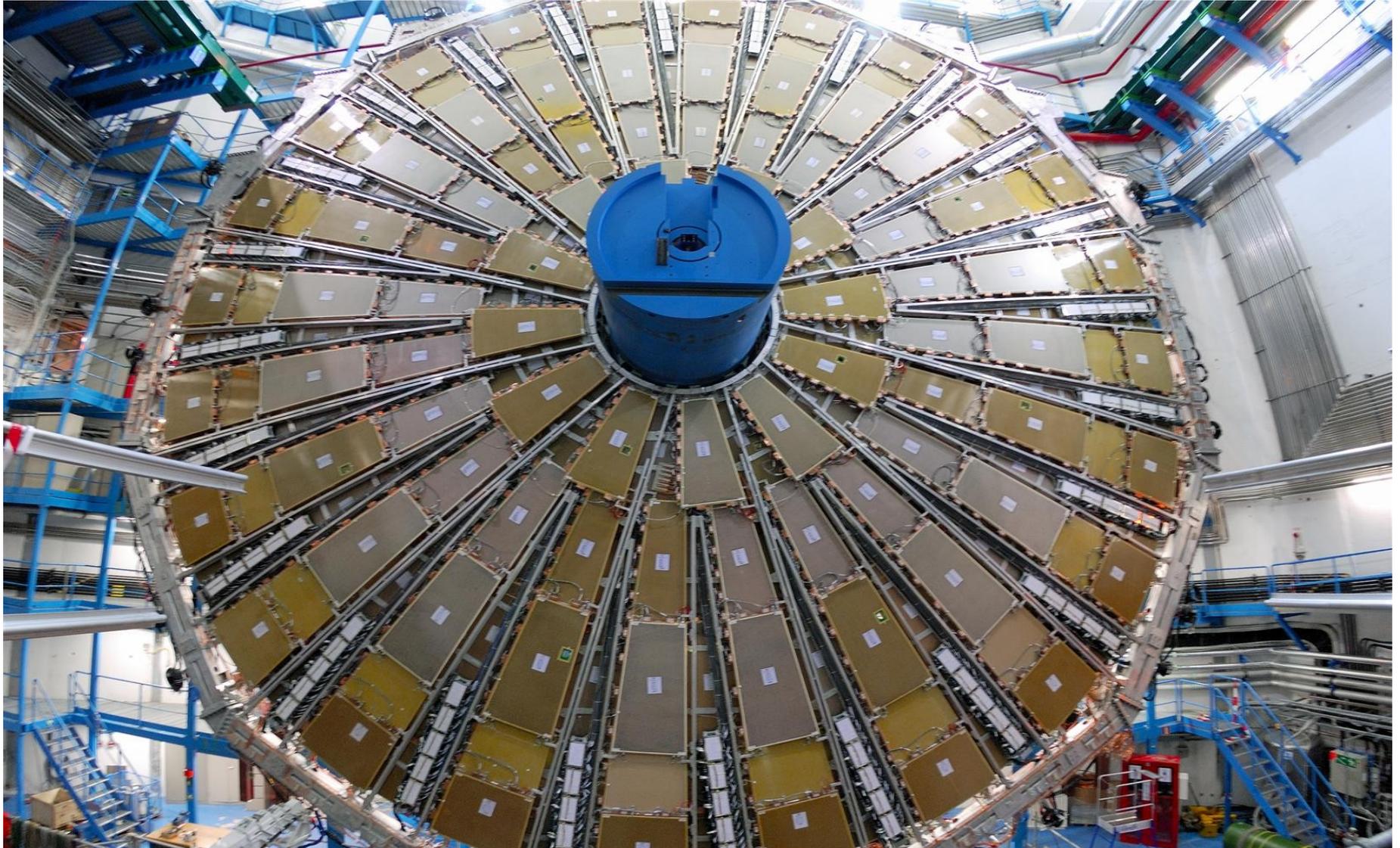
Efficiienza >99%



# Il Toroide Centrale (Barrel)

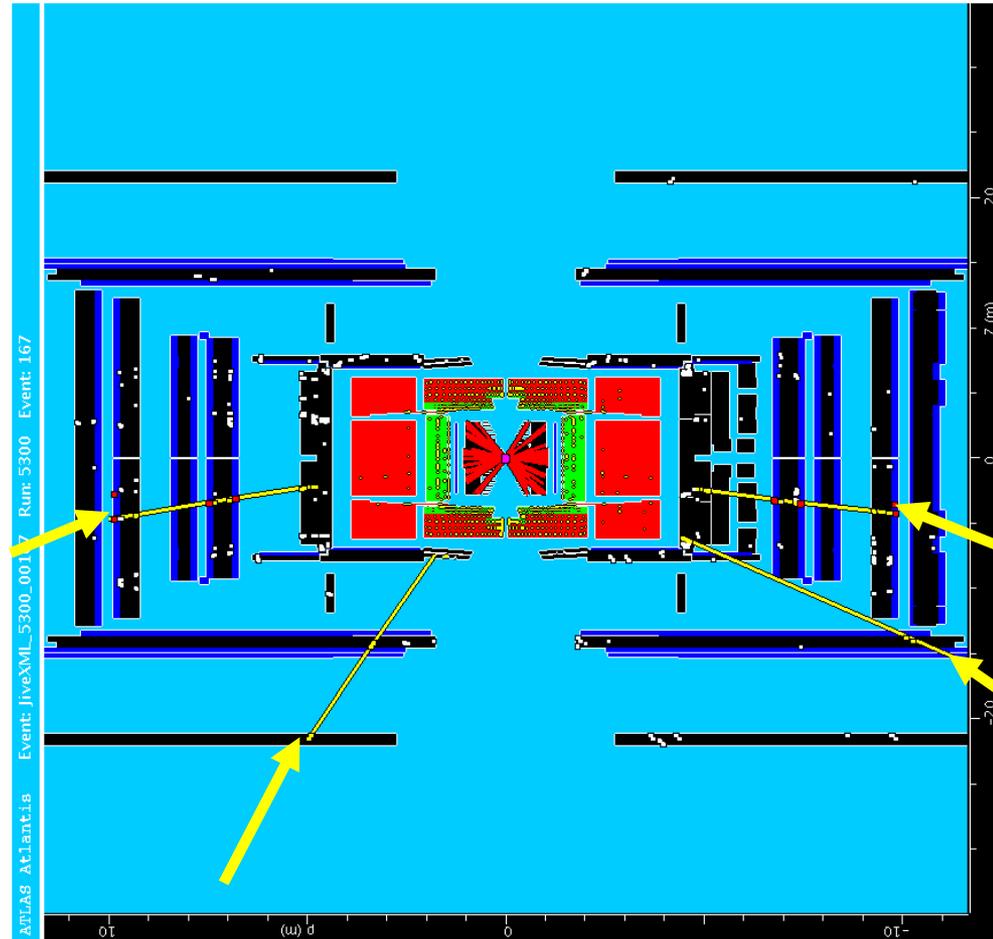
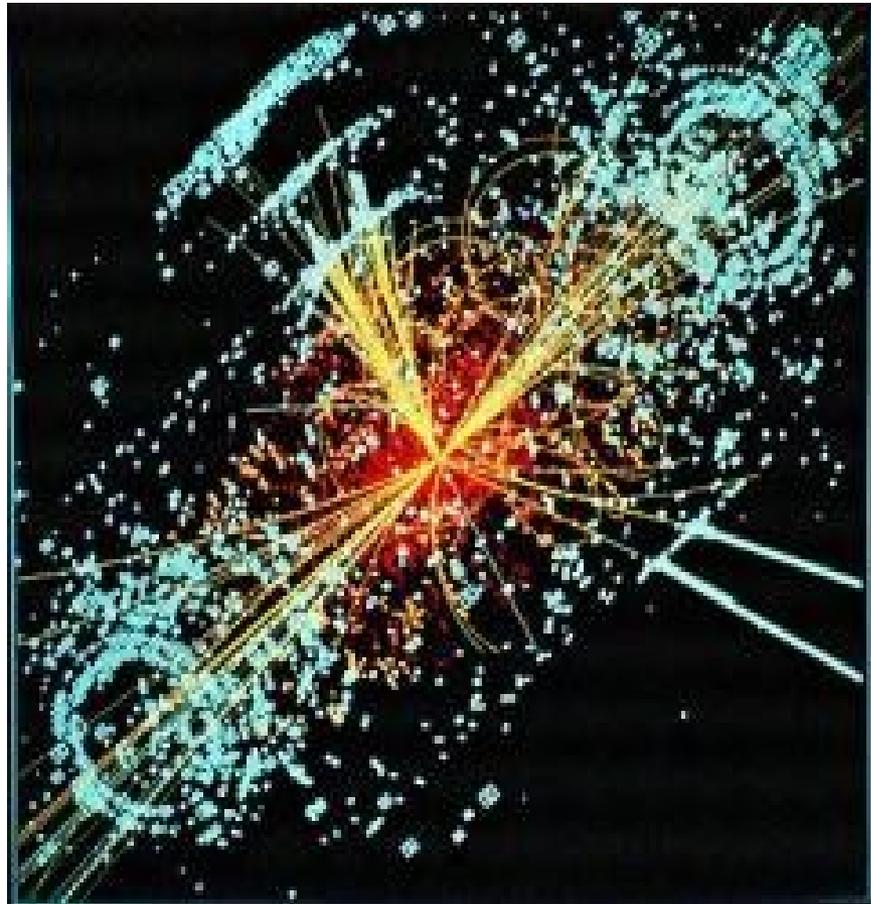


# La Prima di 8 Grandi Ruote

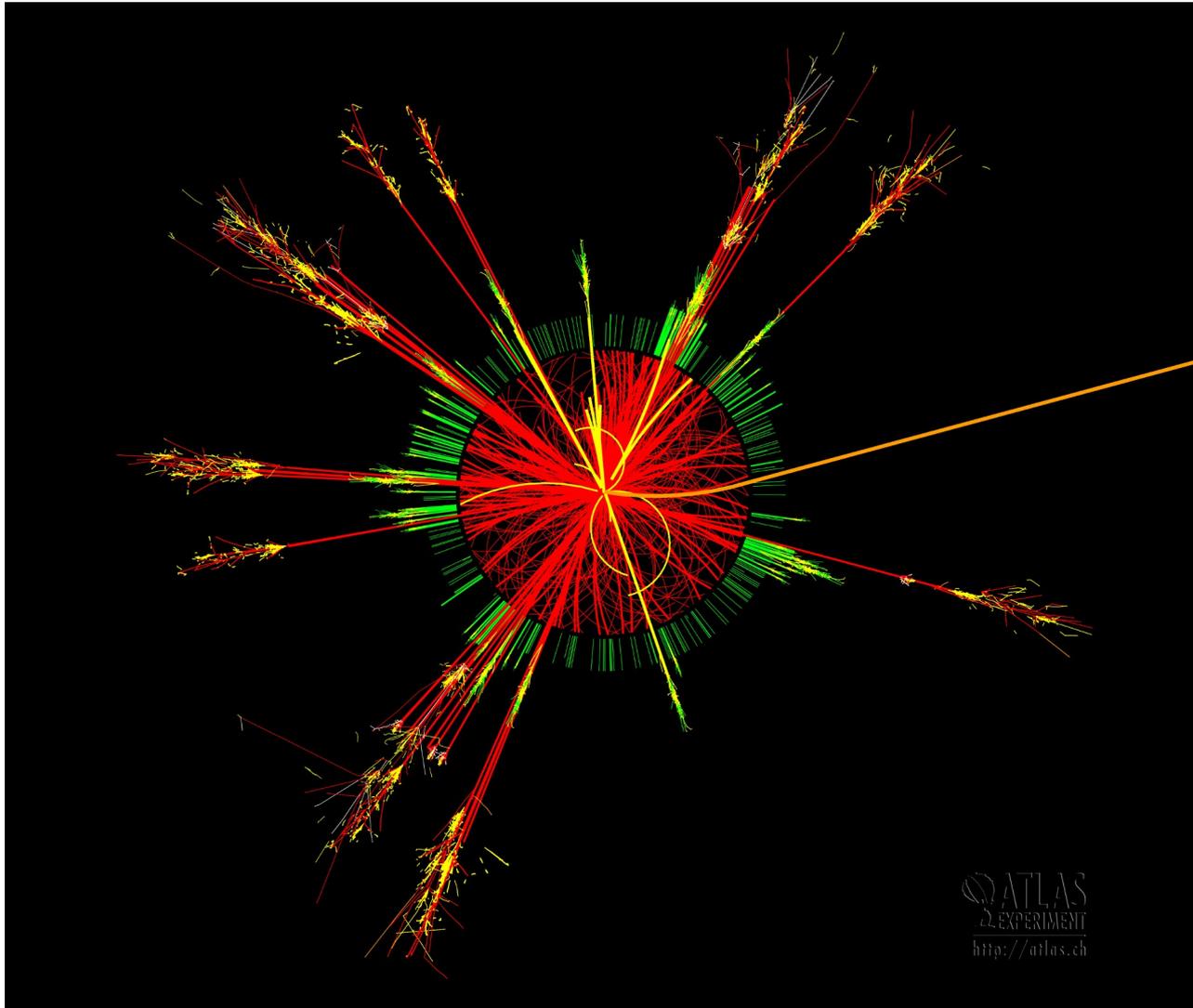


# La Ricerca del Bosone di Higgs

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



# Buchi Neri



# 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 più sarebbe un segnale  
formidabile di nuova fisica

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

... ma potrebbero essere pericolosi ?

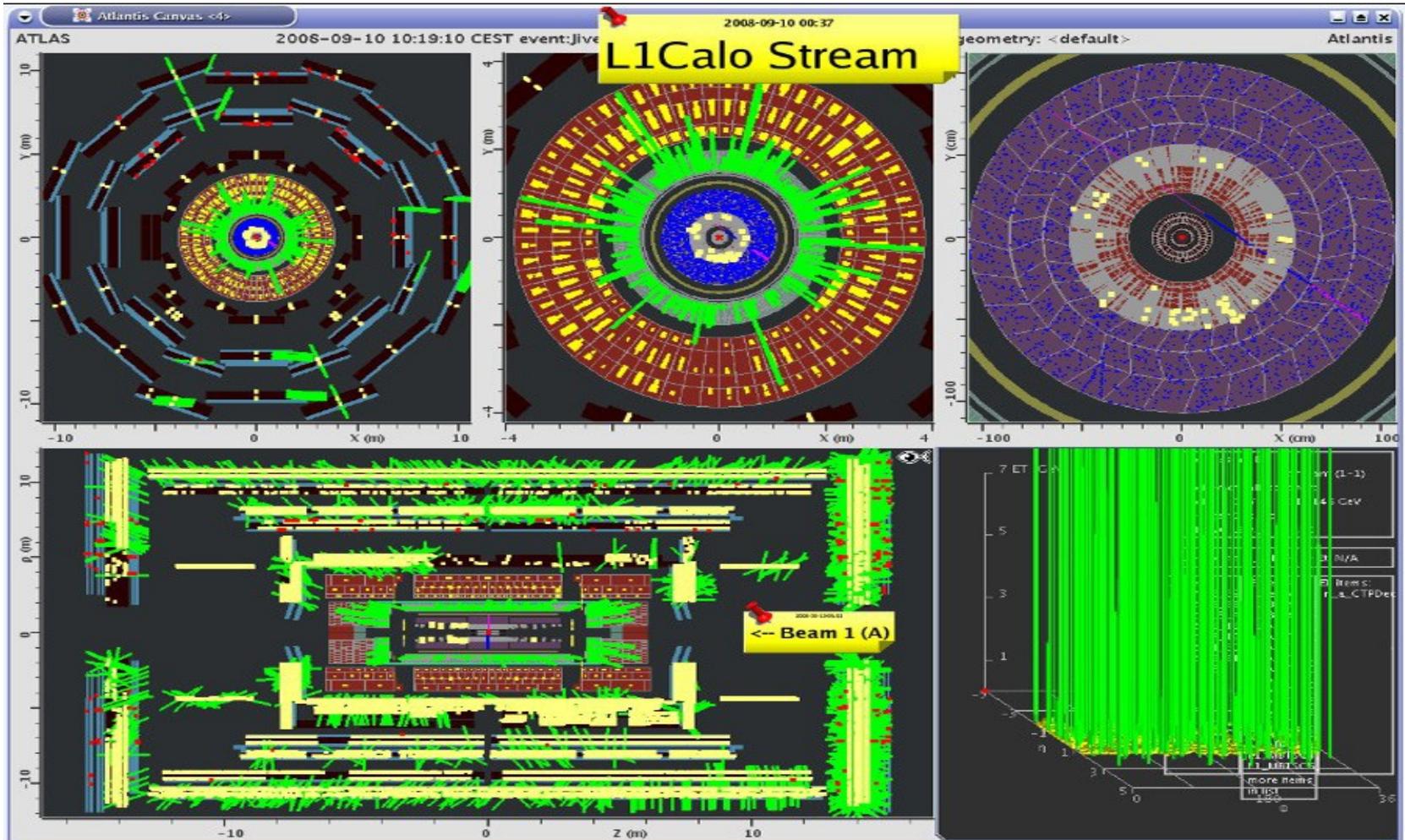
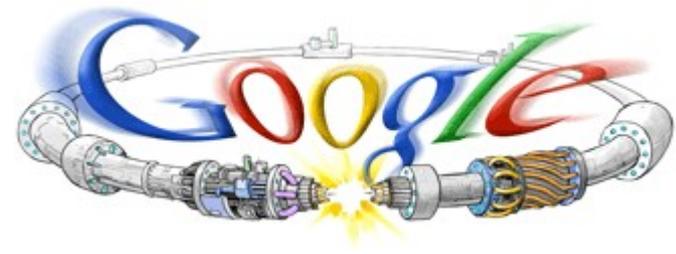
# La Natura fa già di meglio ...

Raggi cosmici di energie **MOSTRUOSE** bombardano la terra, luna, pianeti, stelle, da miliardi di anni senza produrre danni visibili:

**Energie anche 1 milione di volte più grandi !**

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

# Evento n. 1





# Novembre-Dicembre 2009

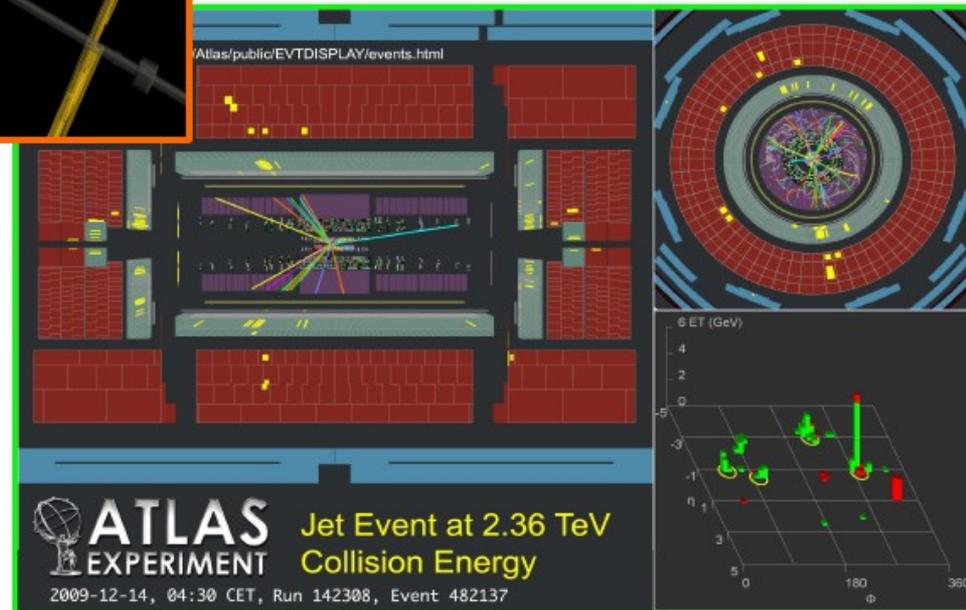
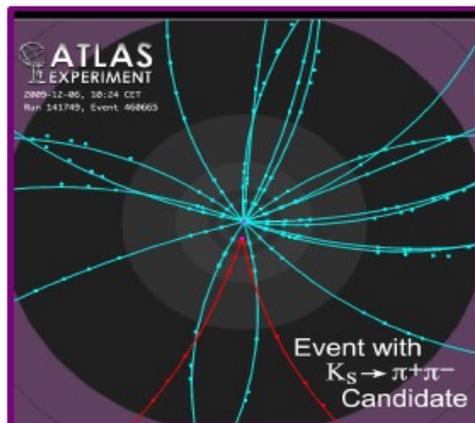
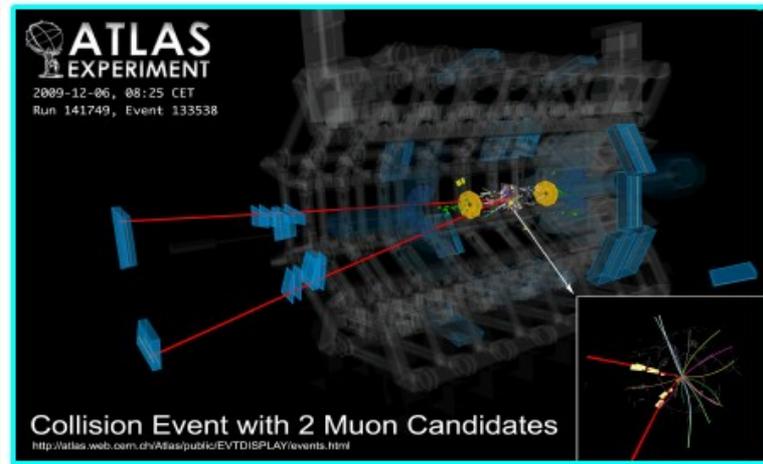
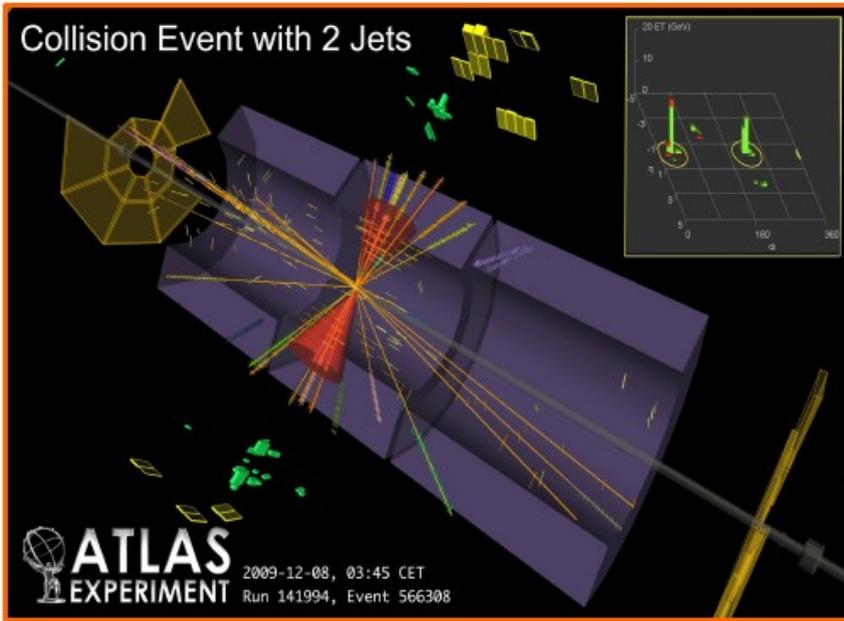


Since 20<sup>th</sup> November 2009,  
a fantastic escalation!!!  
5 weeks of beam operation, whole ATLAS detector

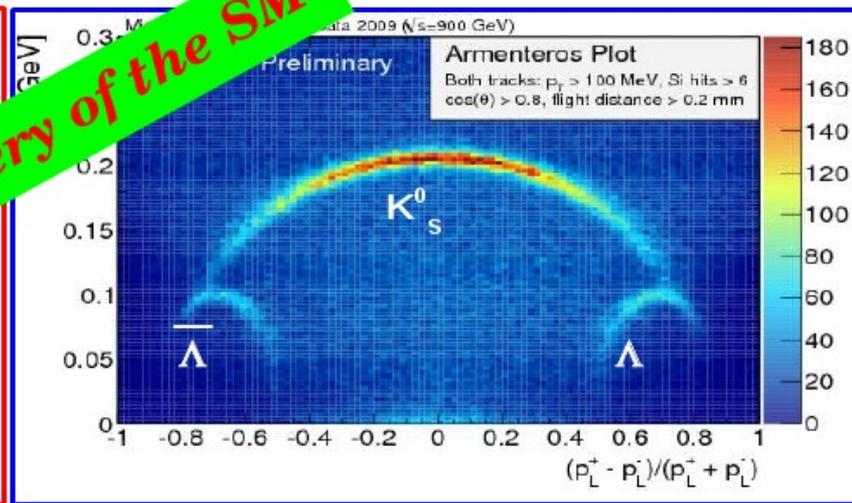
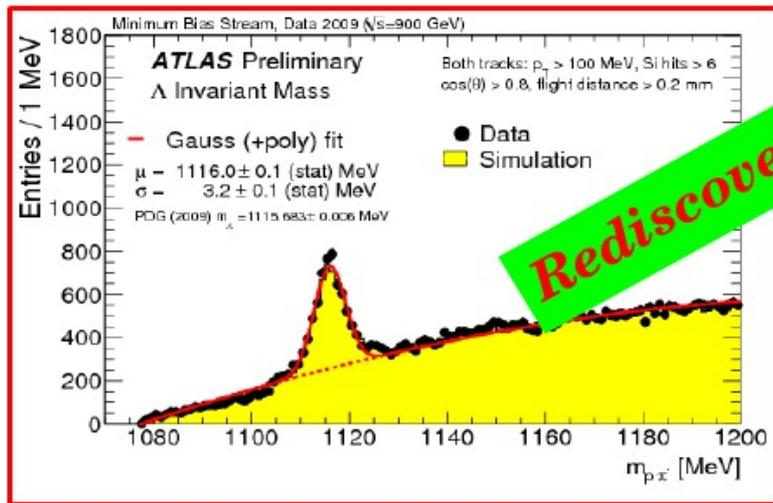
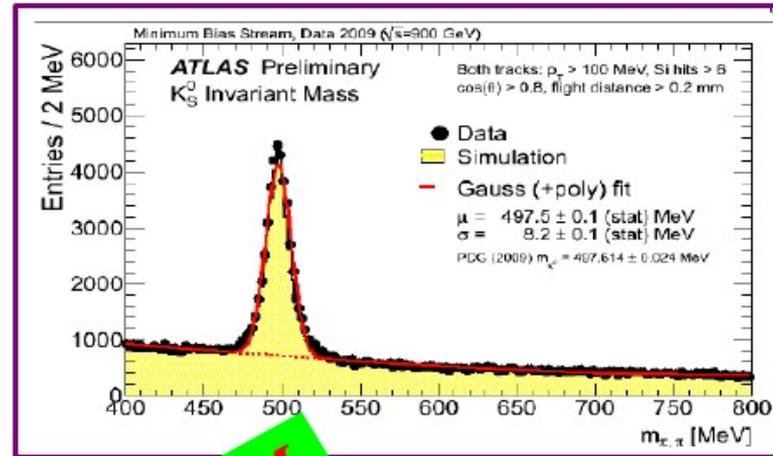
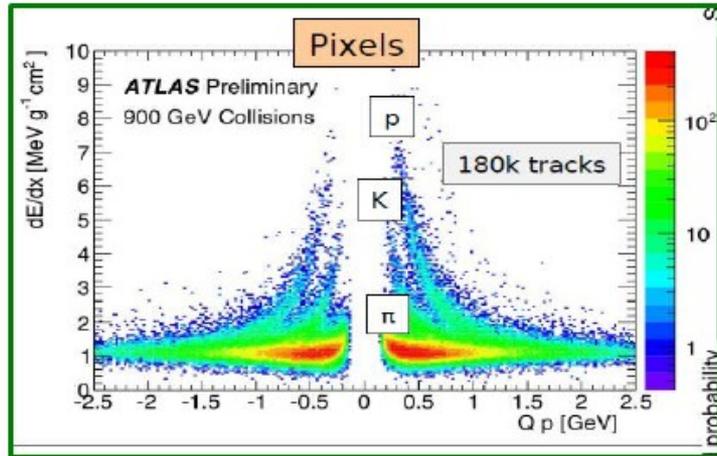


- ✓ 23 Nov: First collisions @ 900 GeV
- ✓ 6 Dec: Stable beams  $\Rightarrow$  nominal voltage
- ✓ 8,14,16 Dec: Collisions @ 2.36 TeV

# Le Prime Collisioni

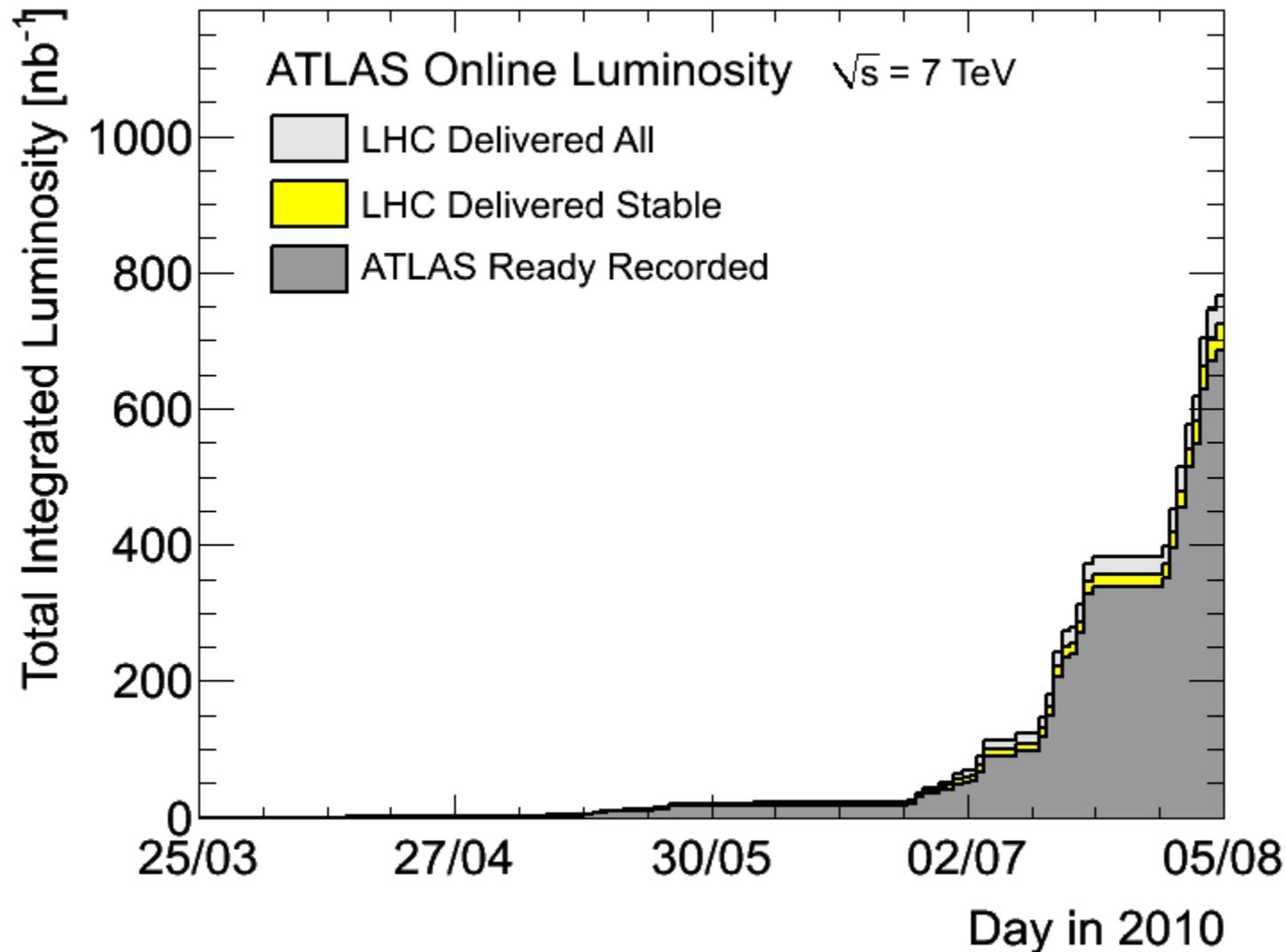


# I Primi Risultati



**Rediscovery of the SM**

# Preso dati 2010



# Stamattina ...

LHC Page1

Fill: 1261

E: 450 GeV

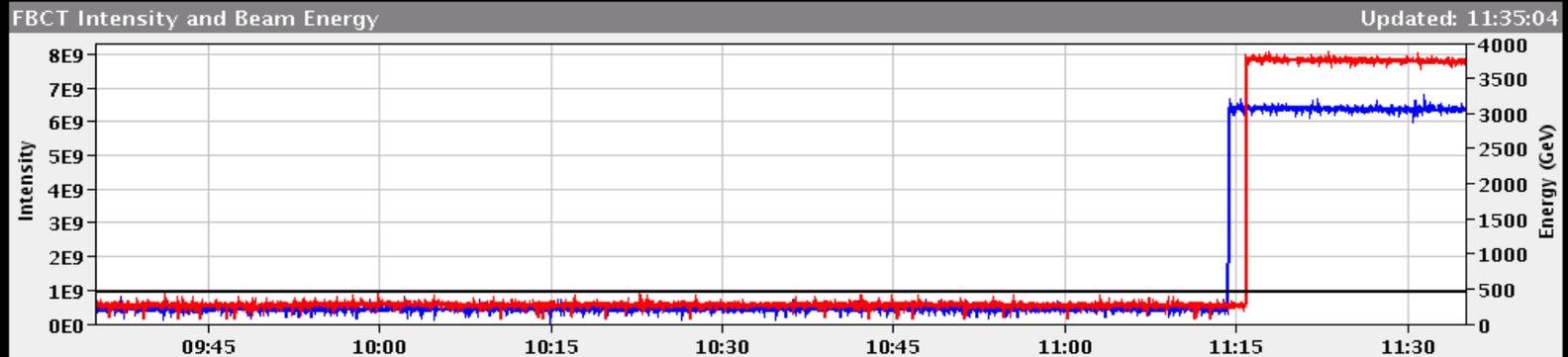
04-08-2010 11:35:05

## BEAM SETUP: INJECTION PHYSICS BEAM

**BCT TI2:** 0.00e+00    **I(B1):** 2.12e+09    **BCT TI8:** 0.00e+00    **I(B2):** 8.00e+09

**TED TI2 position:** **BEAM**    **TDI P2 gaps/mm**    up: 9.86    down: 9.80

**TED TI8 position:** **BEAM**    **TDI P8 gaps/mm**    up: 8.71    down: 8.74



Comments 04-08-2010 10:51:45 :

TL studies starting

fill for physics in the afternoon

BIS status and SMP flags

B1    B2

Link Status of Beam Permits    **false**    **false**

Global Beam Permit    **true**    **true**

Setup Beam    **true**    **true**

Beam Presence    **true**    **true**

Moveable Devices Allowed In    **false**    **false**

Stable Beams    **false**    **false**

LHC Operation in CCC : 77600, 70480

PM Status B1 **ENABLED**    PM Status B2 **ENABLED**

# *Les Horribles Cernettes*



Dal 1992 al CERN Hardronic Festival ...

# A che serve la ricerca fondamentale?

Possibile risposta:

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

**Effetti collaterali →**

# 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 buttons 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.

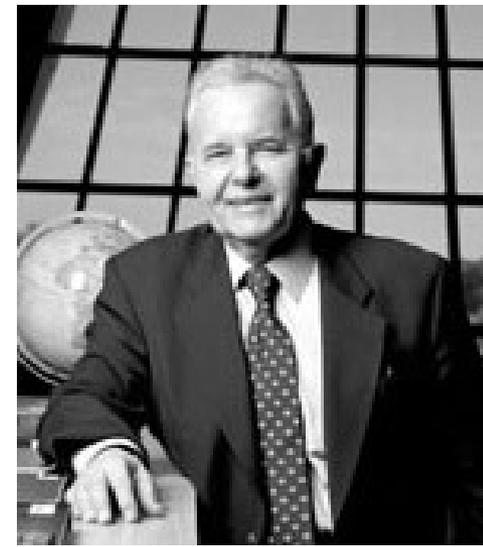
The basic idea of the WWW was to merge the technologies of personal computers, computer networking and hypertext into a powerful and easy to use global information system.

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

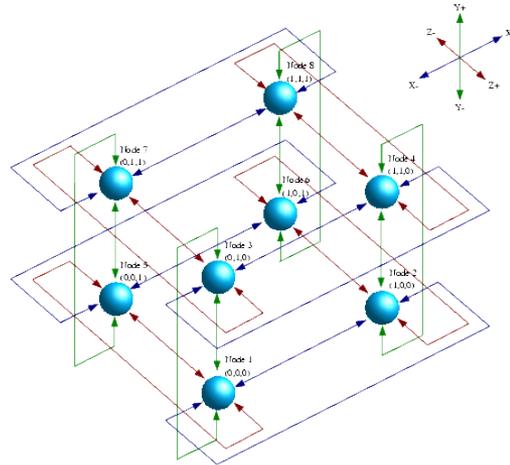
ha compiuto 20 anni - <http://info.cern.ch/www20>



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



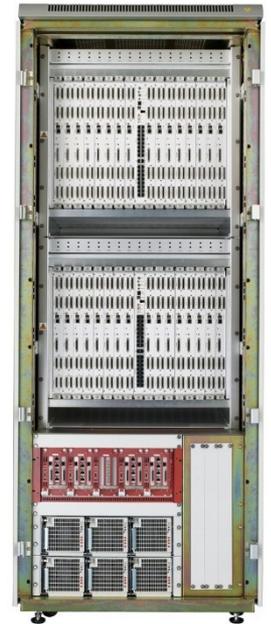
N. Cabibbo



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



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



# Divulgazione scientifica

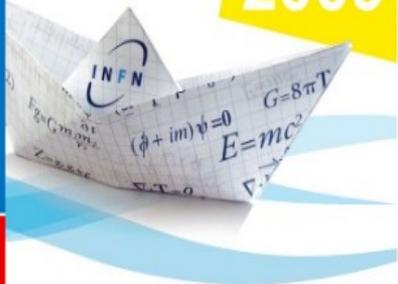
**Fisica in barca 2009**  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



Home Progetto Programma Comunicati **Galleria** Chi siamo Link

[Home](#) > [Galleria](#) > [Filmati](#)

2009



Con l'Infn si salpa  
alla scoperta  
della fisica che serve  
per andar per mare!

**Fisica  
in barca**

## FILMATI



[Paola Catapano intervista Alessandro Stecchi](#)

[Video Repubblica TV](#) (TAPPA CIVITAVECCHIA)

Progetto "[Fisica in barca](#)" (RAI Explora)

[Patrizio Roversi intervista Antonio Zoccolì](#) (Direttore INFN della sezione

Bologna)

[Dalle Cinque Terre al Mare di Alboran](#)

[Video La Spezia](#)

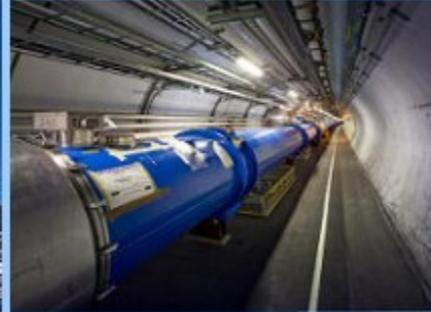
"Fisica in barca" conclude a Trieste il tour 2009.

L'iniziativa promossa dall'**Istituto Nazionale di Fisica Nucleare** in collaborazione con "**Velisti per caso**" e con la partecipazione del Laboratorio europeo per la fisica delle particelle (**Cern**) e di **Enel** ha coinvolto nel 2009 circa 800 studenti di tutta Italia.

Si conclude a Trieste il Tour 2009 di Fisica in barca, l'iniziativa di divulgazione scientifica dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare realizzata in collaborazione con il Laboratorio europeo per la fisica delle particelle (Cern) e Enel. Alla manifestazione, giunta alla sua quarta edizione, hanno partecipato, nel 2009, circa 800 studenti delle scuole medie superiori di tutta Italia che, accompagnati dai fisici dell'Infn, hanno circumnavigato l'Italia a bordo di Adriatica, il veliero di 22 metri reso famoso dalla trasmissione "Velisti per caso" con Patrizio Roversi e Syusi Blady.

A Trieste (3-5 giugno) l'iniziativa ha coinvolto circa 100 ragazzi provenienti dal Liceo Scientifico Guglielmo Oberdan, dall'Istituto d'Arte Enrico e Umberto Nordio e dall'ENAI Friuli Venezia Giulia. Lo Yacht Club Adriaco ha ospitato i seminari organizzati dai fisici dell'Infn della sezione di Trieste. Tra gli argomenti trattati la fisica della vela, la strumentazione di bordo, cartografia e misura della posizione in mare.

# Diagnostica e Terapia Oncologica



## **PHYSICS FOR HEALTH IN EUROPE WORKSHOP** **(Towards a European roadmap for using physics tools in the development of diagnostics techniques and new cancer therapies)** 2-4 February 2010

**CERN is pleased to announce the first workshop on *Physics for Health in Europe*, which will be held at CERN, Geneva, Switzerland, on 2- 4 February 2010.**

The purposes of the workshop are to review the progress in the domain of physics applications in life sciences, stimulate the exchange between different teams and indicate the subjects most suitable for further studies in diagnosis and therapy. The workshop will explore synergies between physics and physics spin-offs to fight disease with a focus on radiobiology, accelerators, radioisotope production, detectors, and use of IT. Participants are invited to share their research, discuss challenges and new developments for building a Europe-wide perspective.

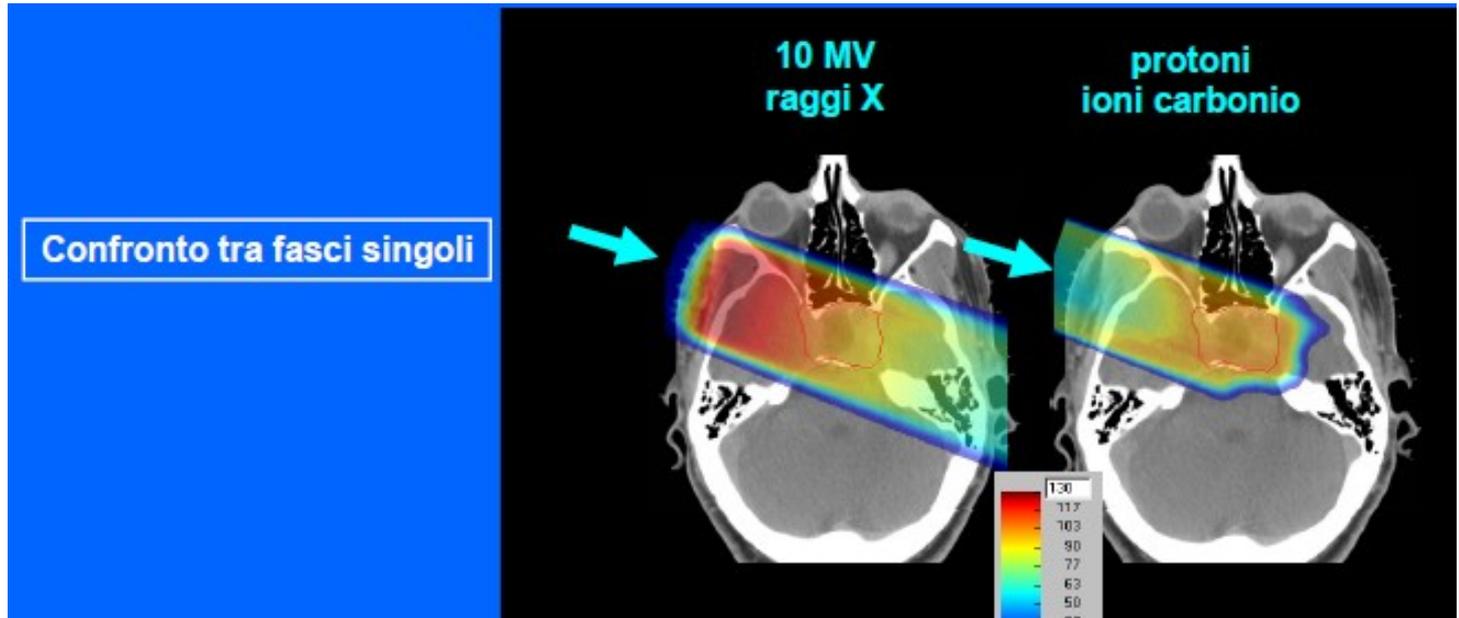
# La PET: tomografia a positroni



# Adroterapia Oncologica



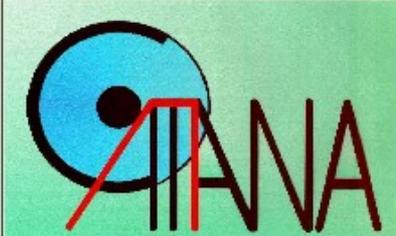
**Vantaggi Macroscopici:**



# A Catania (LNS) dal 2002

<http://lnsweb.lns.infn.it/CATANA/CATANA/>

## CATANA WEB PAGES



**Centro di AdroTerapia e Applicazioni Nucleari  
Avanzate**

**The First Italian Protontherapy Center for  
the ocular melanoma treatment**

**↓ THE CATANA FACILITY 172 PATIENTS HAVE BEEN TI**



# C.N.A.O. - a Pavia

## Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica

Inaugurato ufficialmente il 15 febbraio 2010

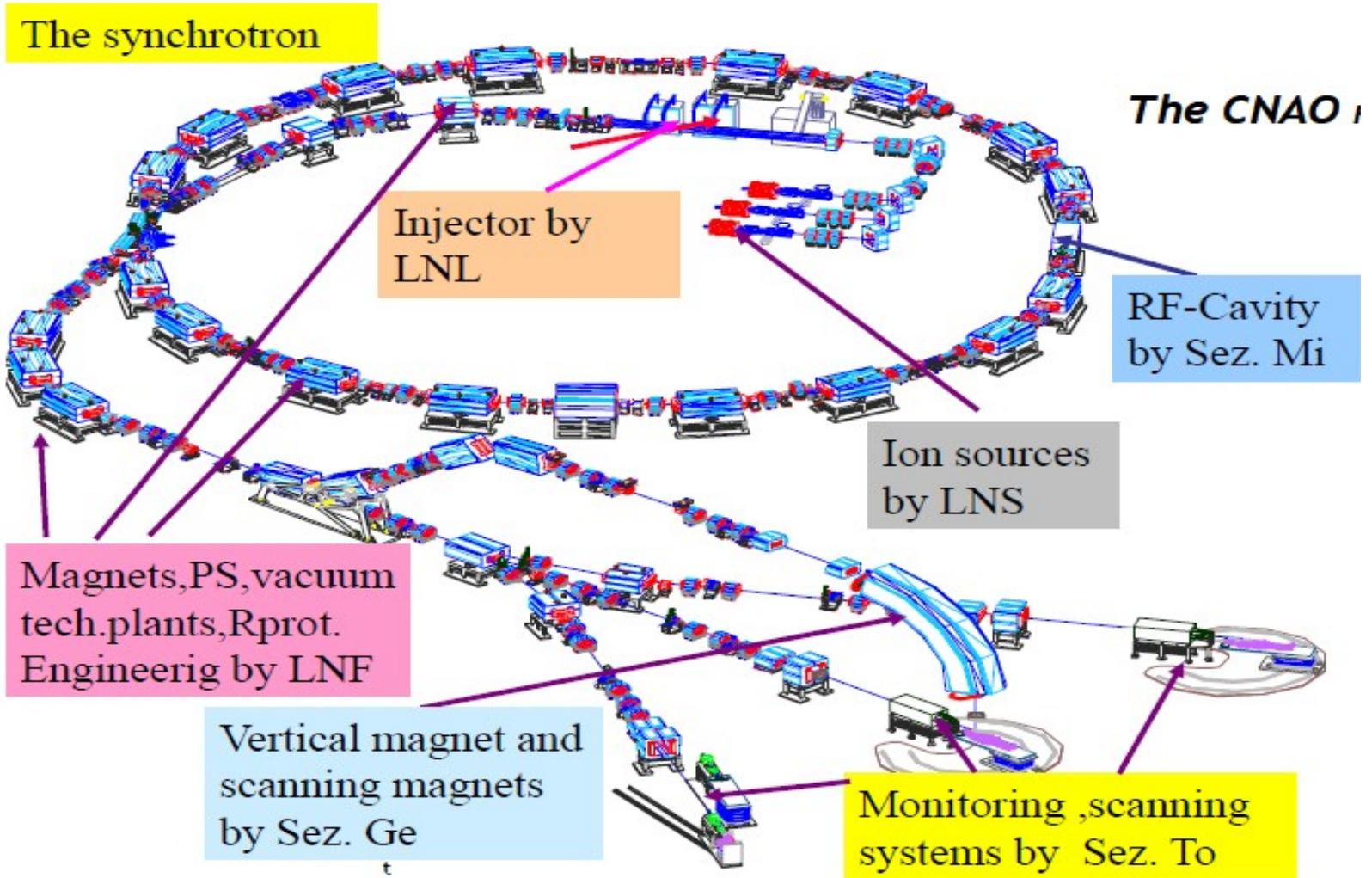
Fasci di particelle (protoni e ioni carbonio) per la cura di tumori difficilmente operabili, radio-resistenti, ...

3 sale, ~20000 sedute per ~3000 pazienti l'anno

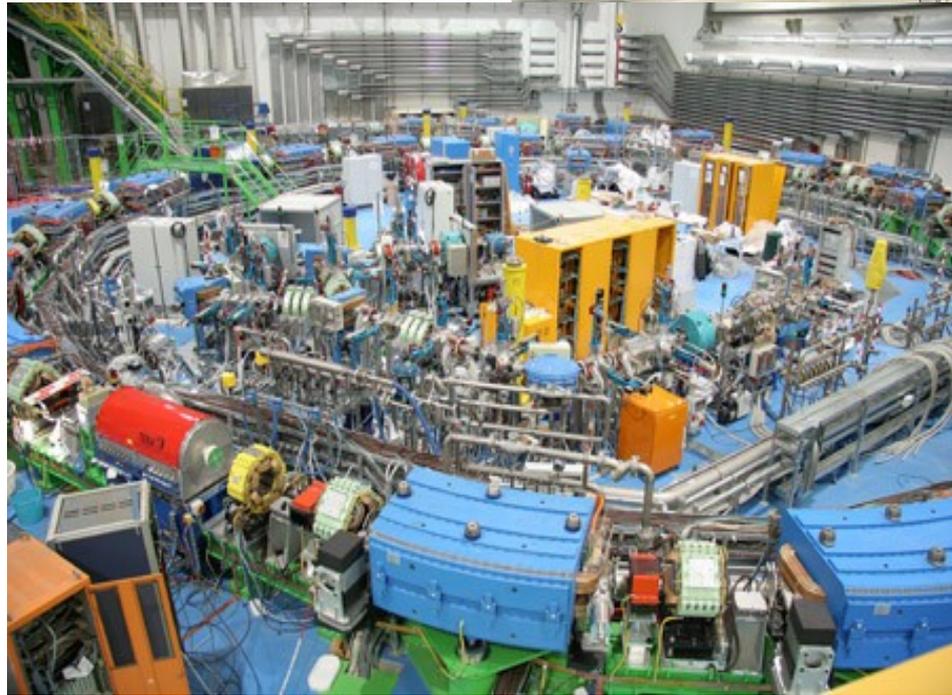
**Tutta la parte di generazione e controllo dei fasci è sviluppata dall'INFN.**

Centro simile in costruzione in Austria (in collaborazione con CNAO, INFN, CERN, ...)

# CNAO / INFN



# CNAO



# Concludendo

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



... cittadini del mondo ...

**The End**

**(grazie per l'attenzione)**

Metterò informazioni bibliografiche (e queste slide) all'indirizzo:

<http://www.pv.infn.it/~ferrari/chiaserna04082010.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
$1 \text{ m}$		-> 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)

# Cosa 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

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

$10^{27}$  eV ~ 5 litri di benzina

# 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 (?) ...

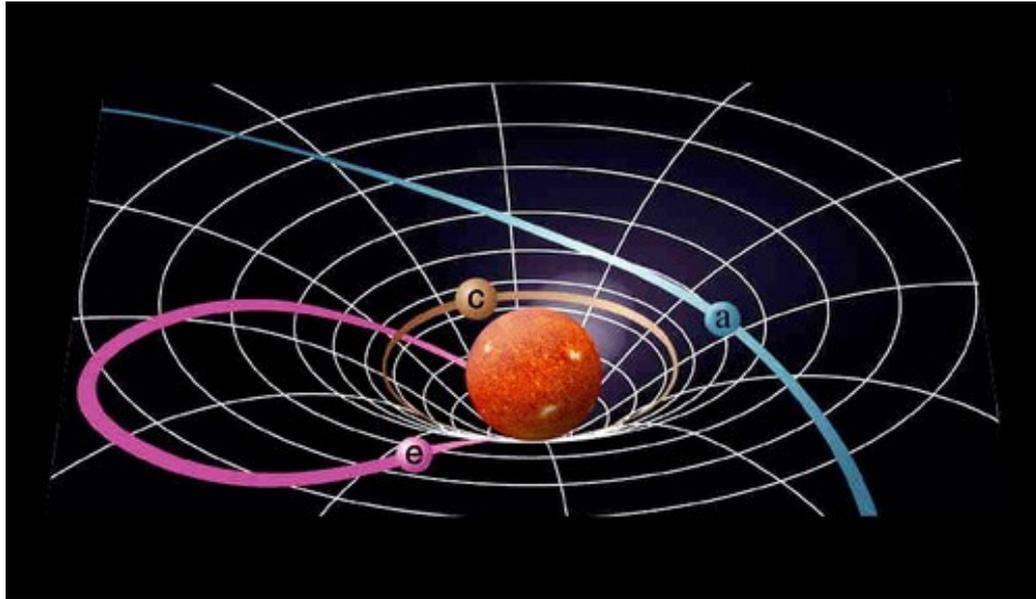
Einstein (interpretazione geometrica della forza di gravità):

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

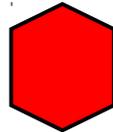
$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

spazio-tempo      materia-energia

# Spazio Tempo e Materia



La materia dice allo spazio-tempo come curvarsi

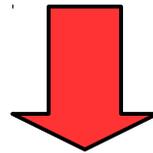


La curvatura dello spazio-tempo dice alla materia come muoversi

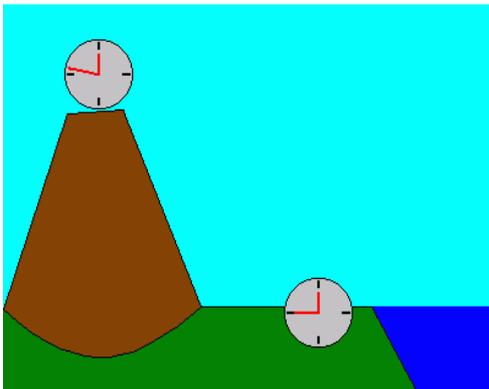
# Alcune conseguenze

Il campo gravitazionale non è costante

Esempio: sulla terra diminuisce all'aumentare  
dell'altitudine

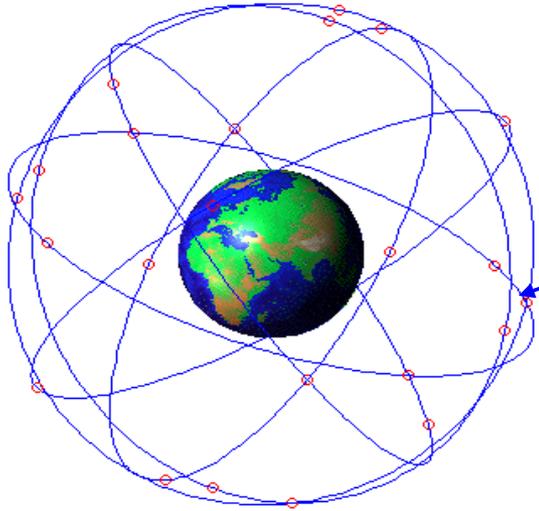


Dove la gravità è più forte, il tempo scorre più lento



Orologi più veloci in montagna  
Vivere a Guastalla allunga la vita

# GPS: global positioning system



24 satelliti

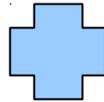
Altitudine: 20000 km

Periodo di rotazione: 12 ore

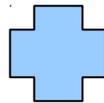
Precisione: ~5 metri

# Funzionamento GPS

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



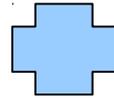
Ogni satellite ha un orologio atomico



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 più lenti  
(effetto dovuto alla velocità del satellite)



**Relatività generale - curvatura dello spazio-tempo**  
rispetto a chi sta sulla Terra, gli orologi sui satelliti  
sono più 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 da cui nulla può uscire ...

velocità di fuga > velocità della luce → succede se:

Raggio < "Orizzonte degli Eventi"

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

**Osservati sperimentalmente!**

Sole:  $\sim 3 \text{ km}$

Terra:  $\sim 9 \text{ mm}$

Uomo:  $\sim 10^{-25} \text{ m}$  → sarebbe forse più piccolo di un quark!

# 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"

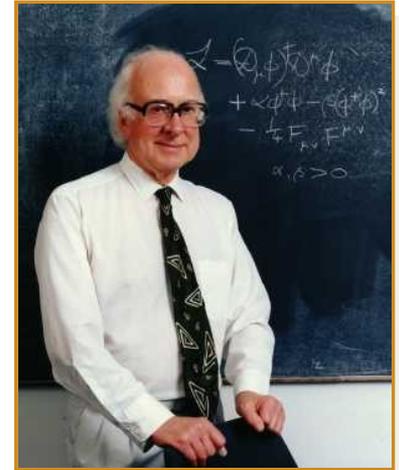
Per capire come è fatto un protone, bisogna romperlo

# 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



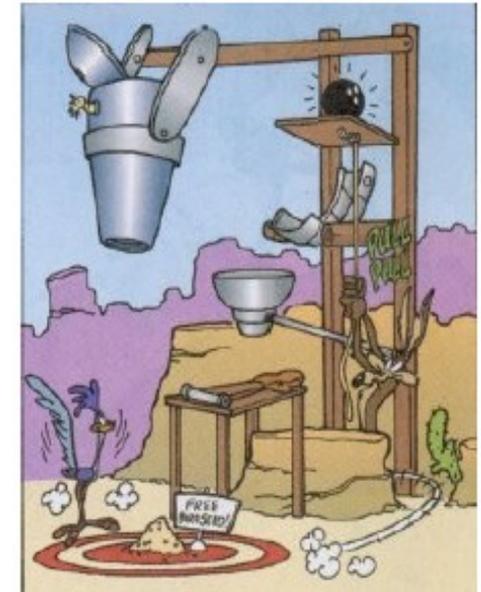
# Il futuro prossimo (?)

La tabella di un giovane teorico

(Alessandro Strumia, Pavia, IFAE 2006)

	Attendibilità	Fertilità	Supporto
SuperSimmetrie	10%	1%	100%
"Large" Extra-D	1%	10%	100%
"Warped" Extra-D	1%	10%	1000%
Technicolor	2%	1%	1%
Senza-Higgs	1%	10%	10%
Gauge=Higgs	0.1%	10%	10%
Piccoli Higgs	1%	10%	10%
LH+T-parity o SUSY	10%	10%	10%
Modello Antropico	100%	?	?
Materia Oscura	100%	10%	100%

Es. Modelli del  
Piccolo Higgs:



# La Teoria di OgniCosa ...

Quantum Gravity →

Teorie delle stringhe →

Extra-Dimension

1 M-theory in 11 dimensioni →

5 teorie delle stringhe in 10-D →

$10^{500}$  modelli in 4-D

Le capacità predittive si perdono quando si inventano modi per togliere di mezzo le dimensioni extra

Conclusione (Strumia, 2006): "We need data"