

**Del bosone di Higgs  
e altre storie ...  
[ la ricerca a LHC ]**

**Roberto Ferrari**  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Liceo Scientifico A. Righi - Bologna, 18 aprile 2011

# Sommario

1: l'acceleratore (LHC)

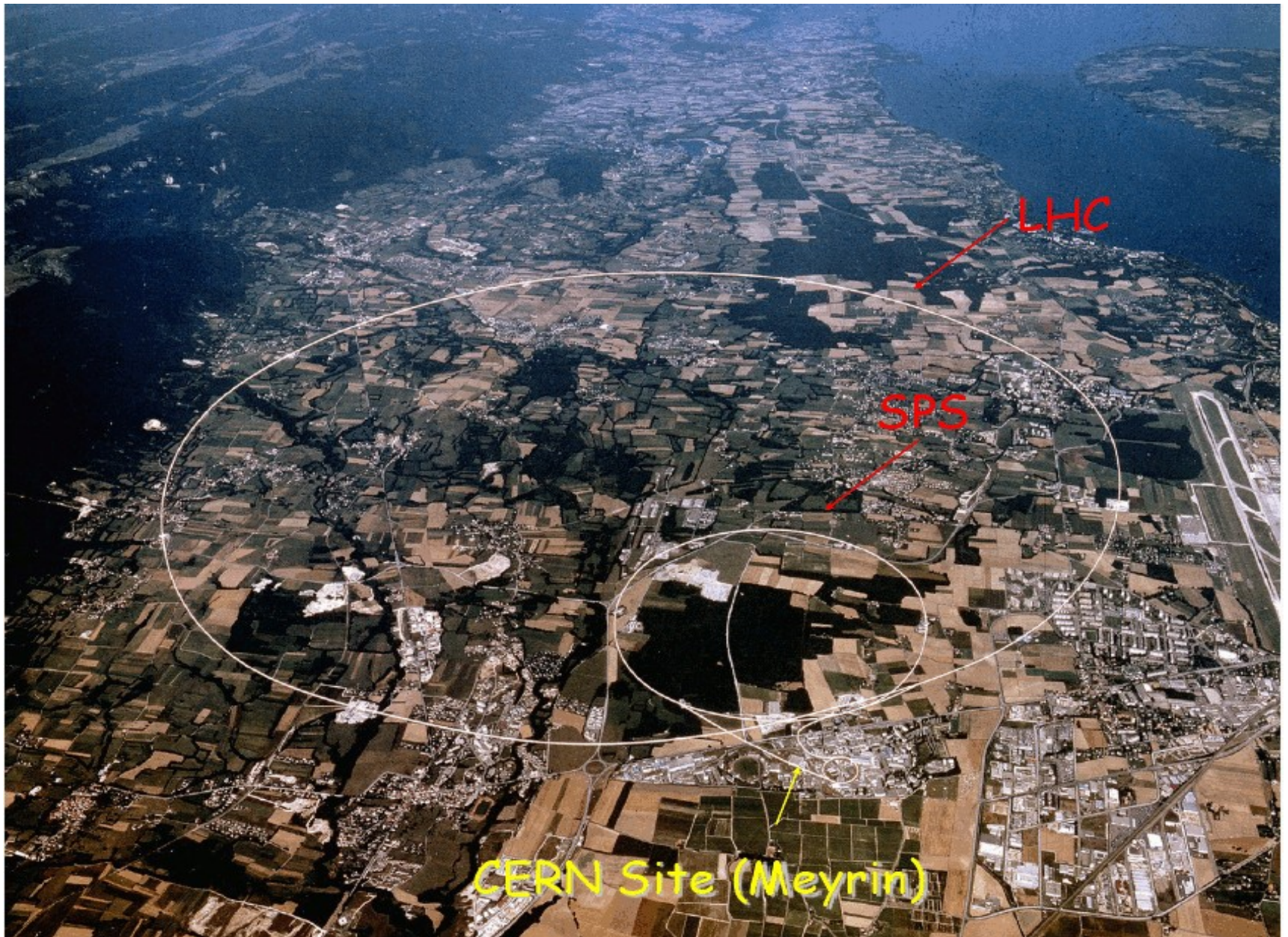
2: l'esperimento (ATLAS)

3: cosa si cerca e perché

4: primi risultati

5: effetti collaterali

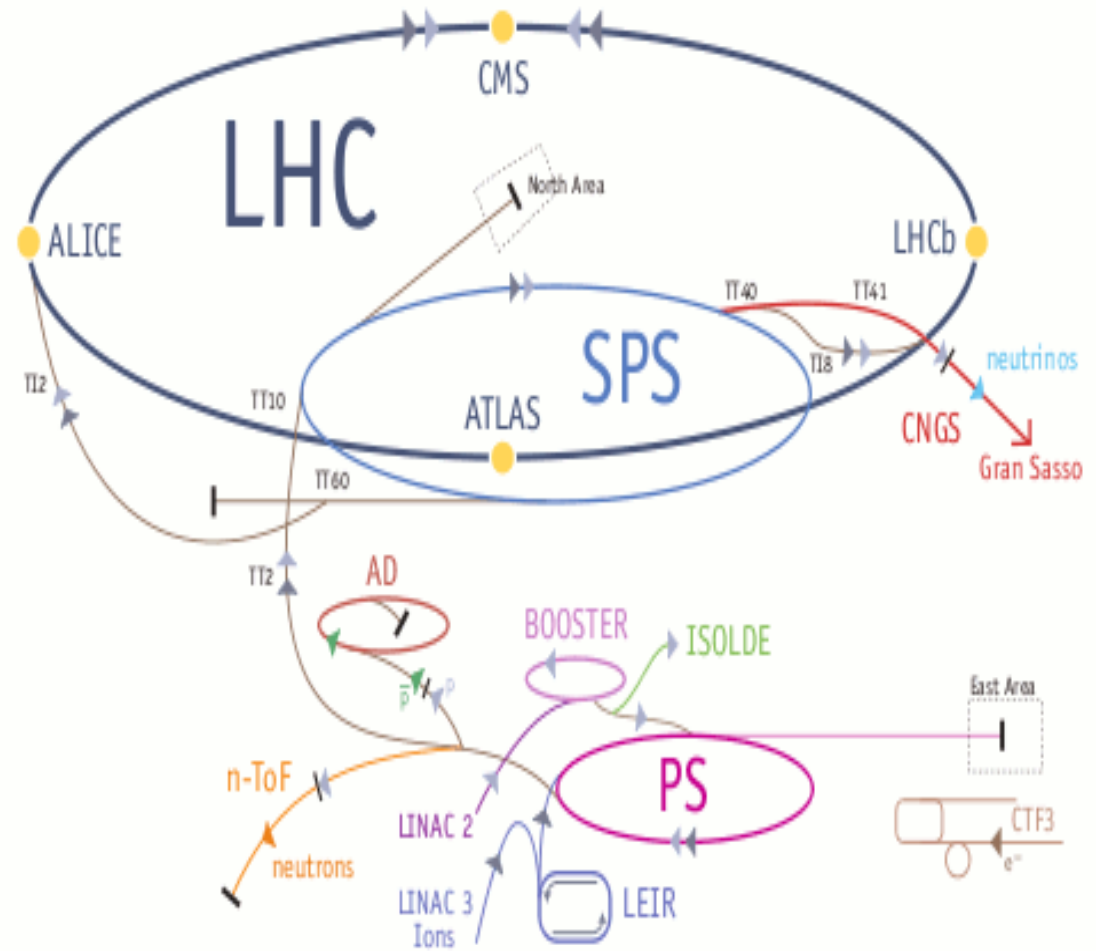
# 1. l'acceleratore (LHC)



# CERN

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

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



# 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):

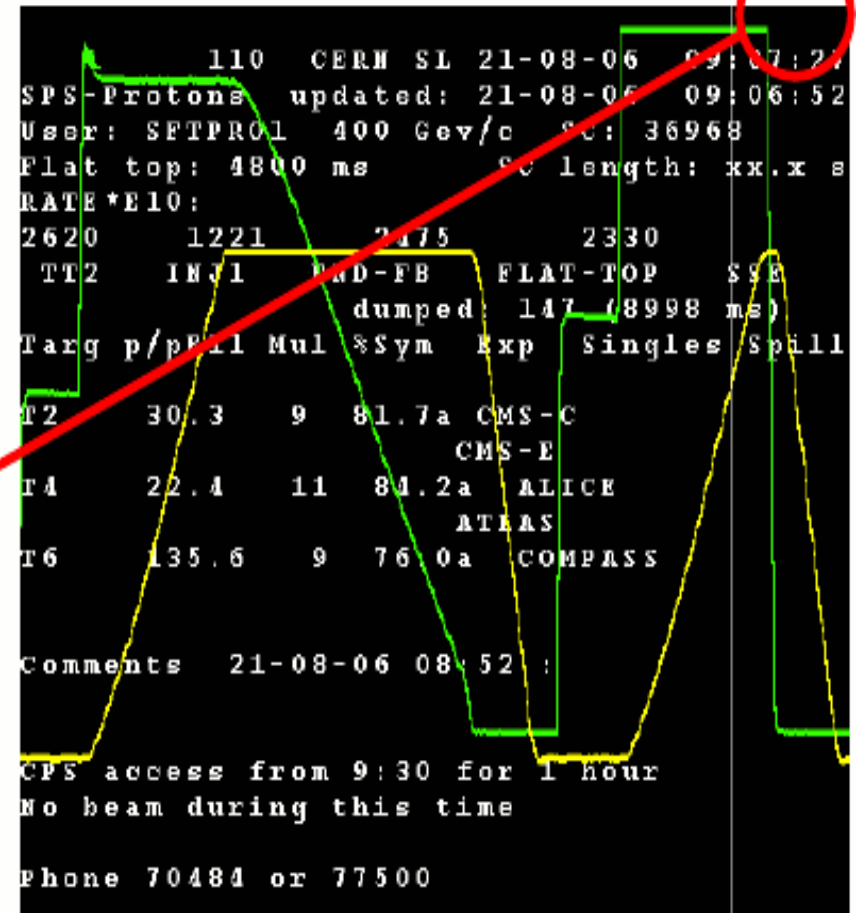
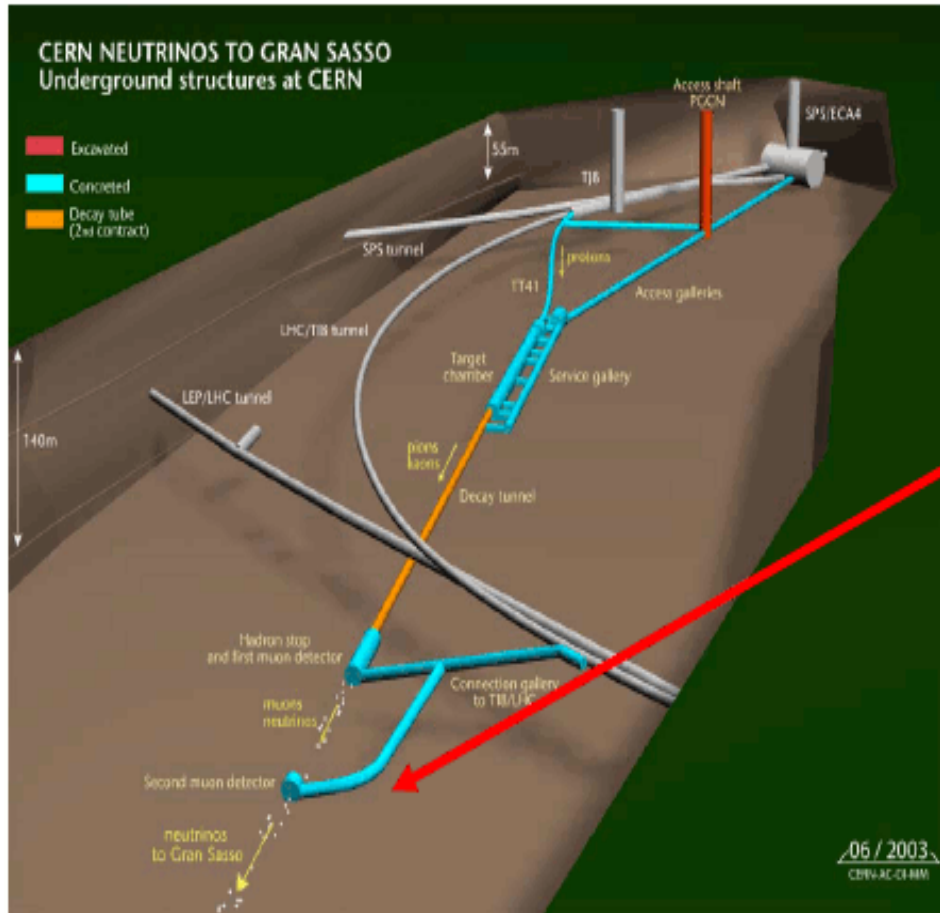
immaginate le catene del calcinulo

Campi elettromagnetici (cavità a radiofrequenza):

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

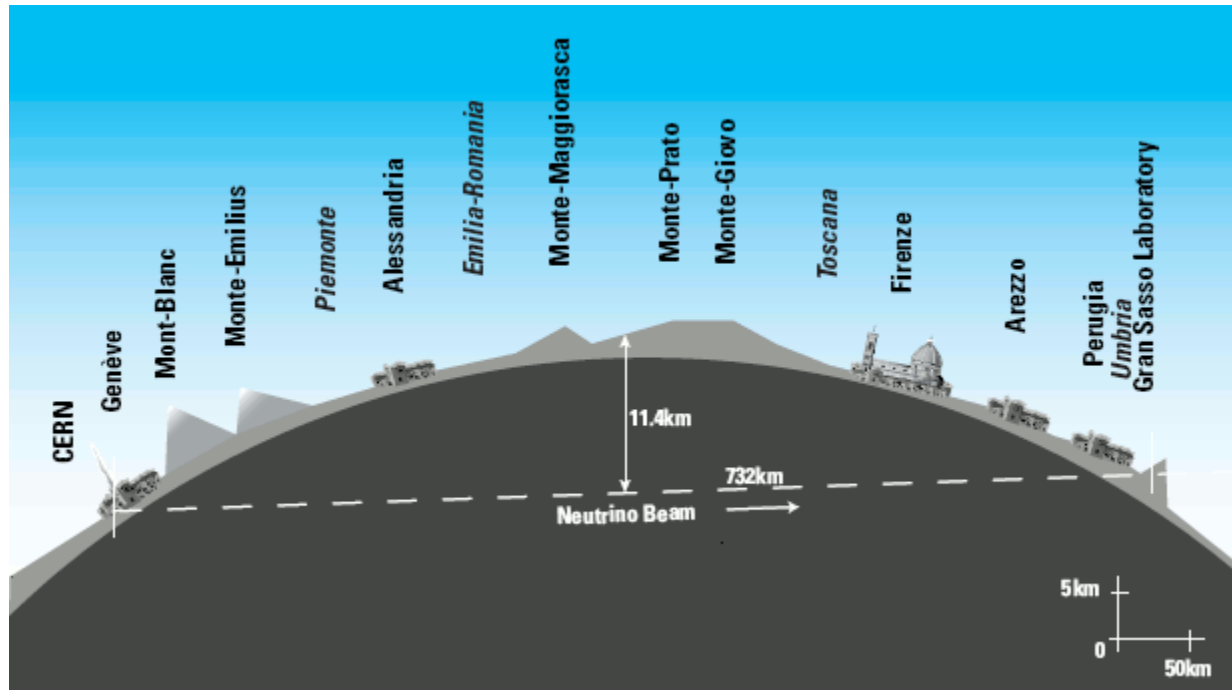
spinge più forte chi va più piano !

# CERN - SPS → Gran Sasso





# Verso il Gran Sasso



Il fascio di neutrini per il Gran Sasso passa sotto il Monte Maggiore (confine Parma-Piacenza-Genova)

# I Collisionatori

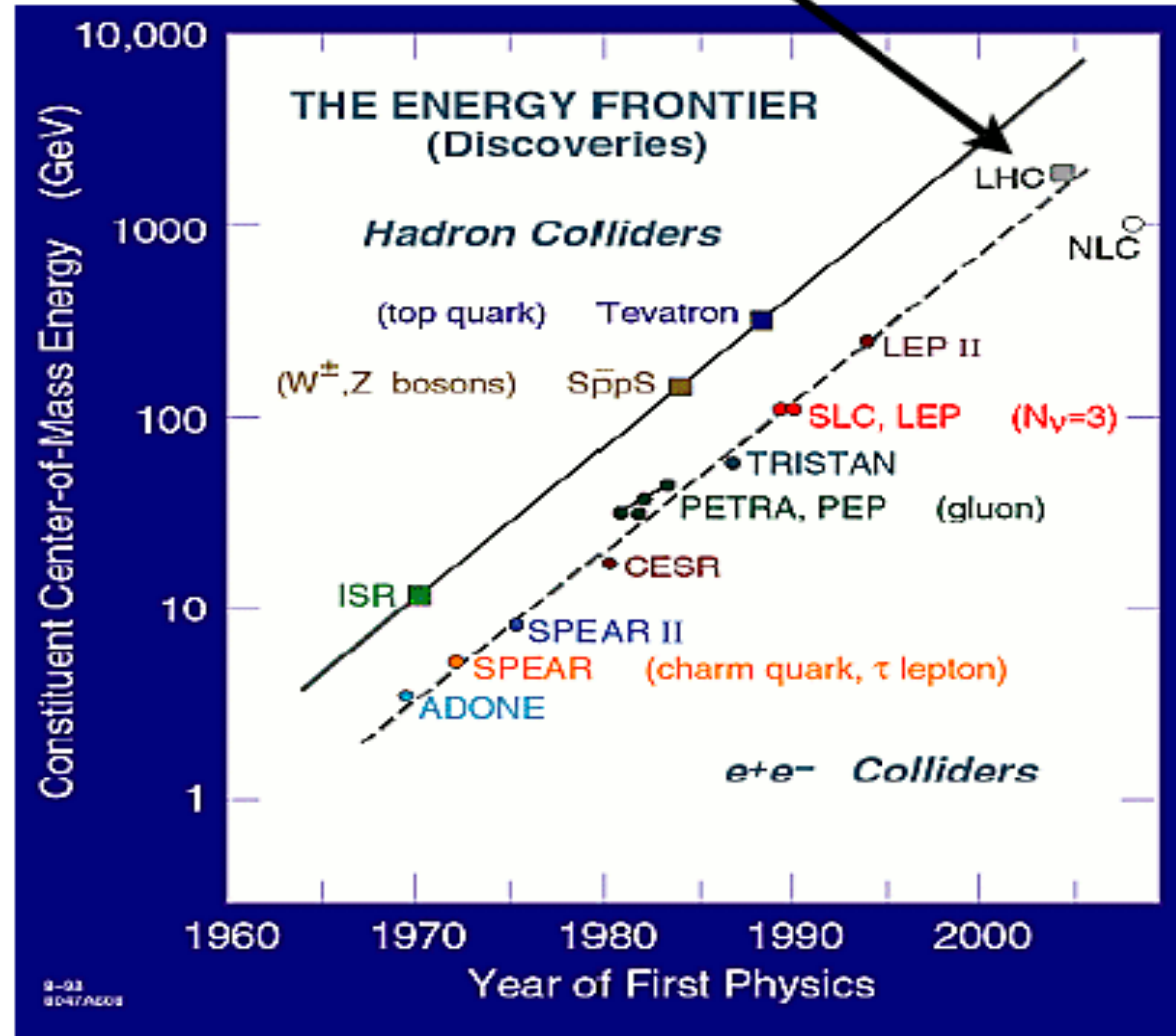
Due categorie:

$e^+e^-$  [1]

$pp/ppbar$  [2]

[1]=pallettoni da  
cinghiale

[2]=pallottole per  
quaglie

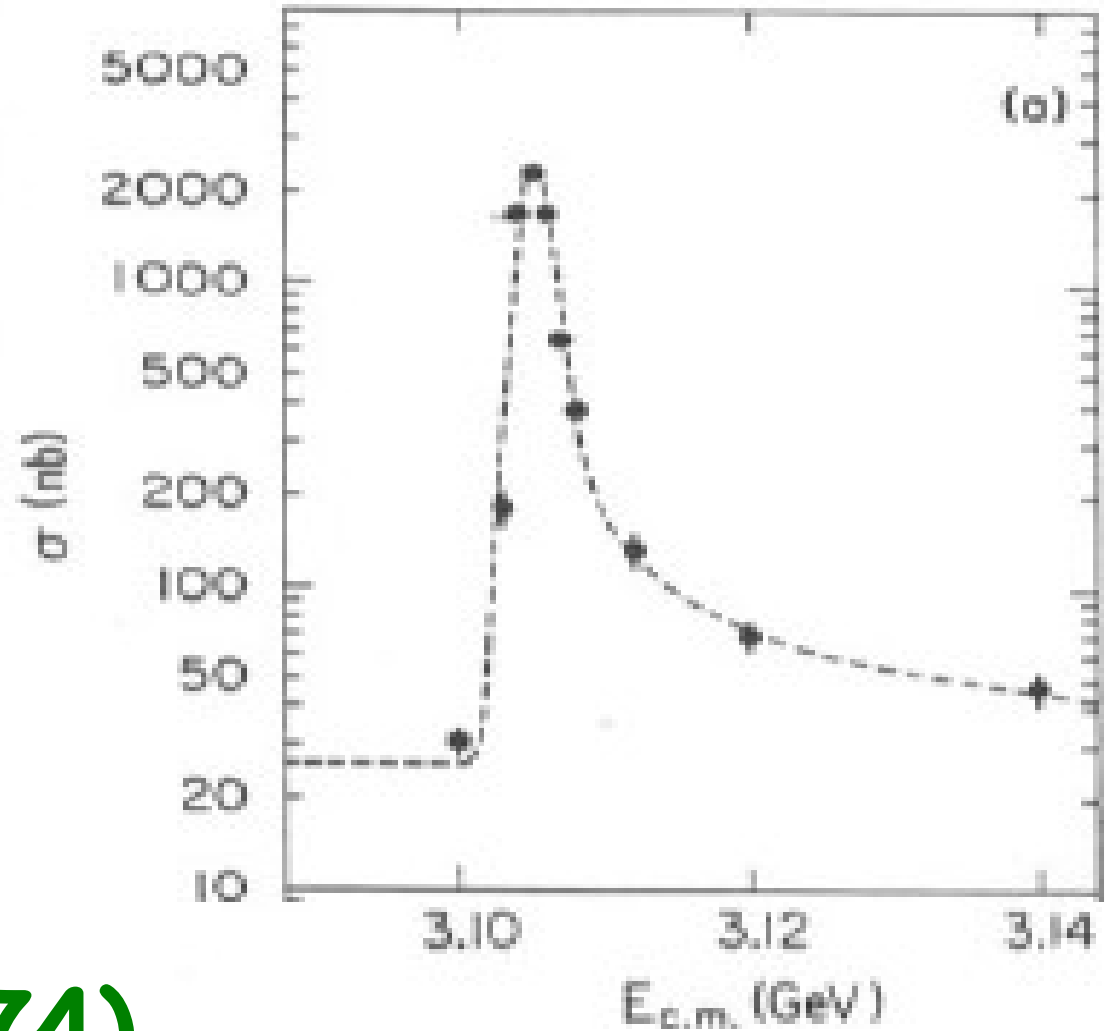


# ADONE (LNF)



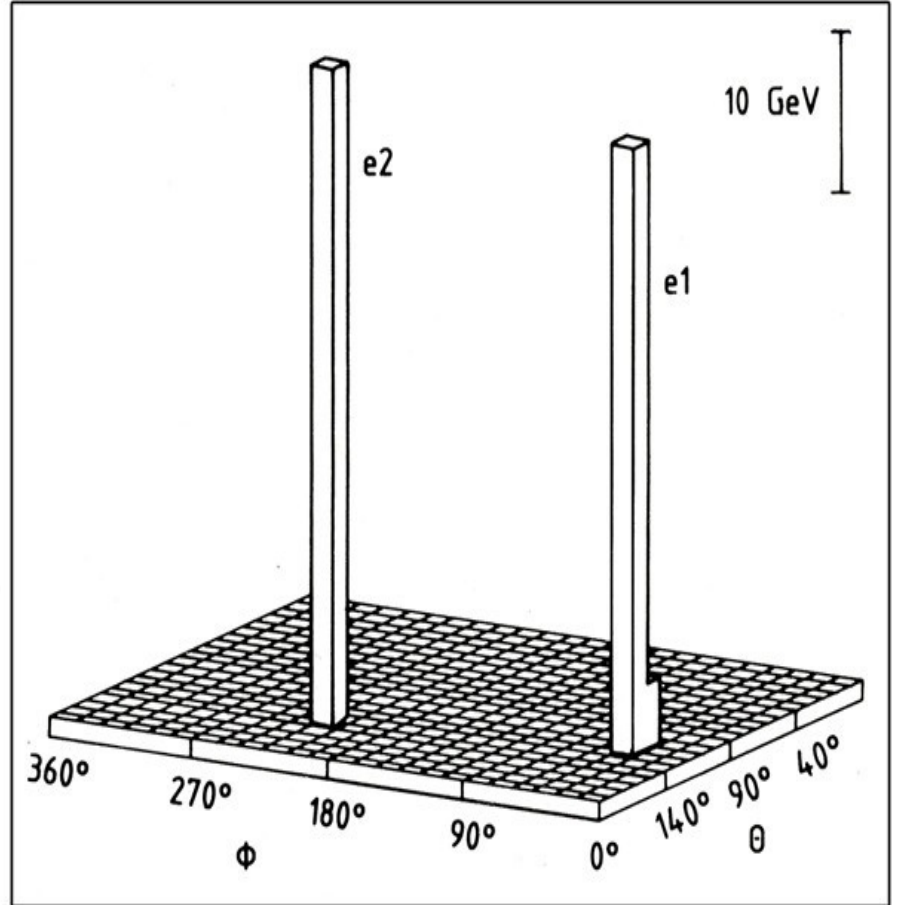
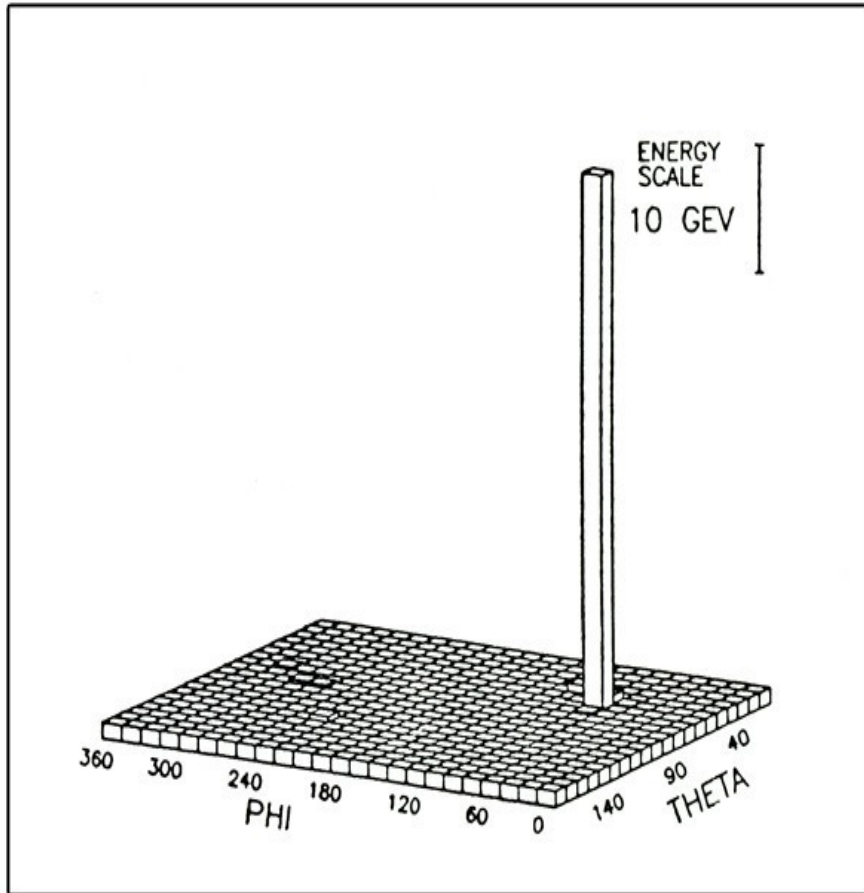
# Ahhh ... Adone !

Quando la  
sfiga ....



J/Psi (1974)

# CERN p-pbar Collider



**W/Z (1983)**

# Qualche Parametro importante ...

1) Energia → cosa può essere "creato"

2) Intensità → quante volte

ma anche:

3) Frequenza → velocità di risposta  
dell'esperimento

==> in LHC tutte e 3 sono portate al massimo possibile

# Autoscontro LHC

1) Energia: 14 TeV [ ora 7 TeV ]

2) Intensità: 1 miliardo/s [ ora 10 milioni/s ]

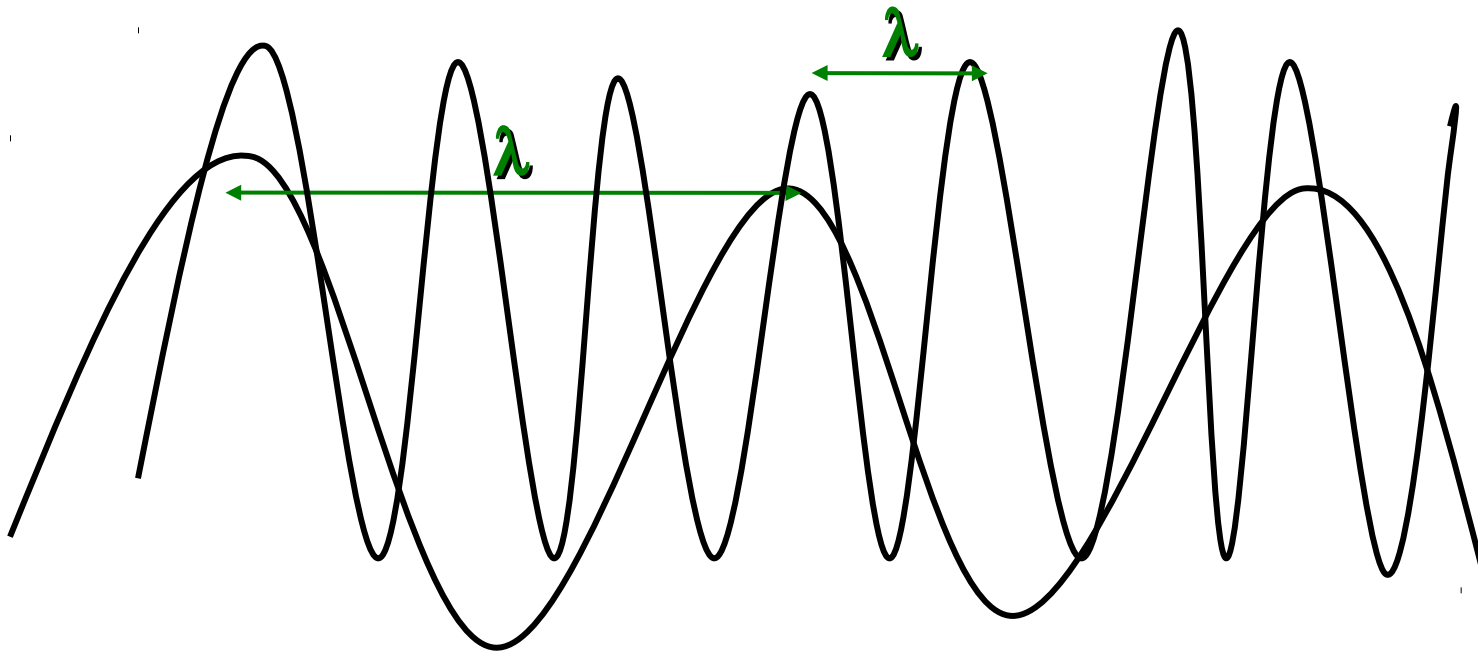
3) Frequenza: 40 milioni/s [ ora 4 milioni/s ]

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

# Energia e lunghezza

lunghezza d'onda \* frequenza = velocità della luce

energia : frequenza = costante di Planck



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

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



# Microscopio per Particelle

Maggiore energia degli urti

→ migliore capacità di risoluzione

del "microscopio":

LHC →  $\sim 10^{-20}$  m

come se guardassimo un campo da calcio dai confini dell'universo

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

nuove particelle ?

sottostruttura dei quark ?

dimensioni extra ?

stringhe ?

# Macchina del Tempo

Negli urti piombo-piombo, densità (pressioni)  
e temperature come solo pochi istanti  
dopo il Big Bang:

$T \sim 1800$  miliardi di gradi  
 $\sim T(\text{interno del sole}) \times \text{centomila}$

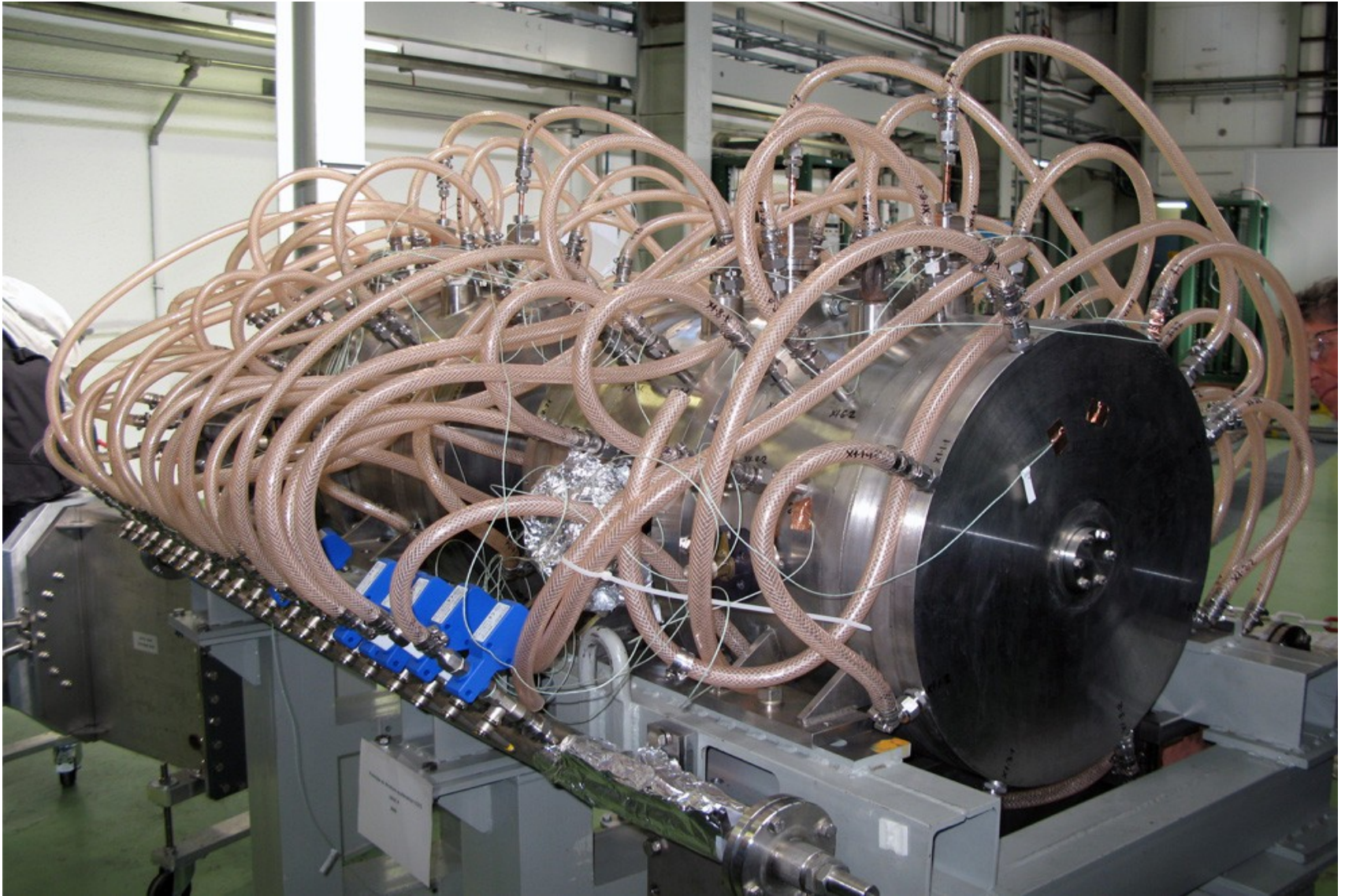
materia ordinaria (protoni, neutroni, nuclei)  
completamente "fusa"

→ nuovo stato della materia

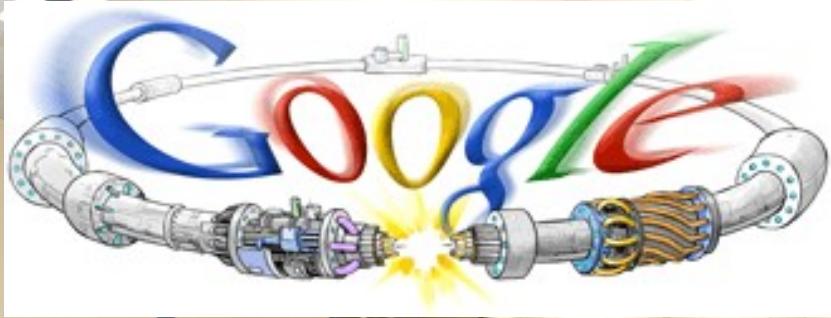
# I Dipoli



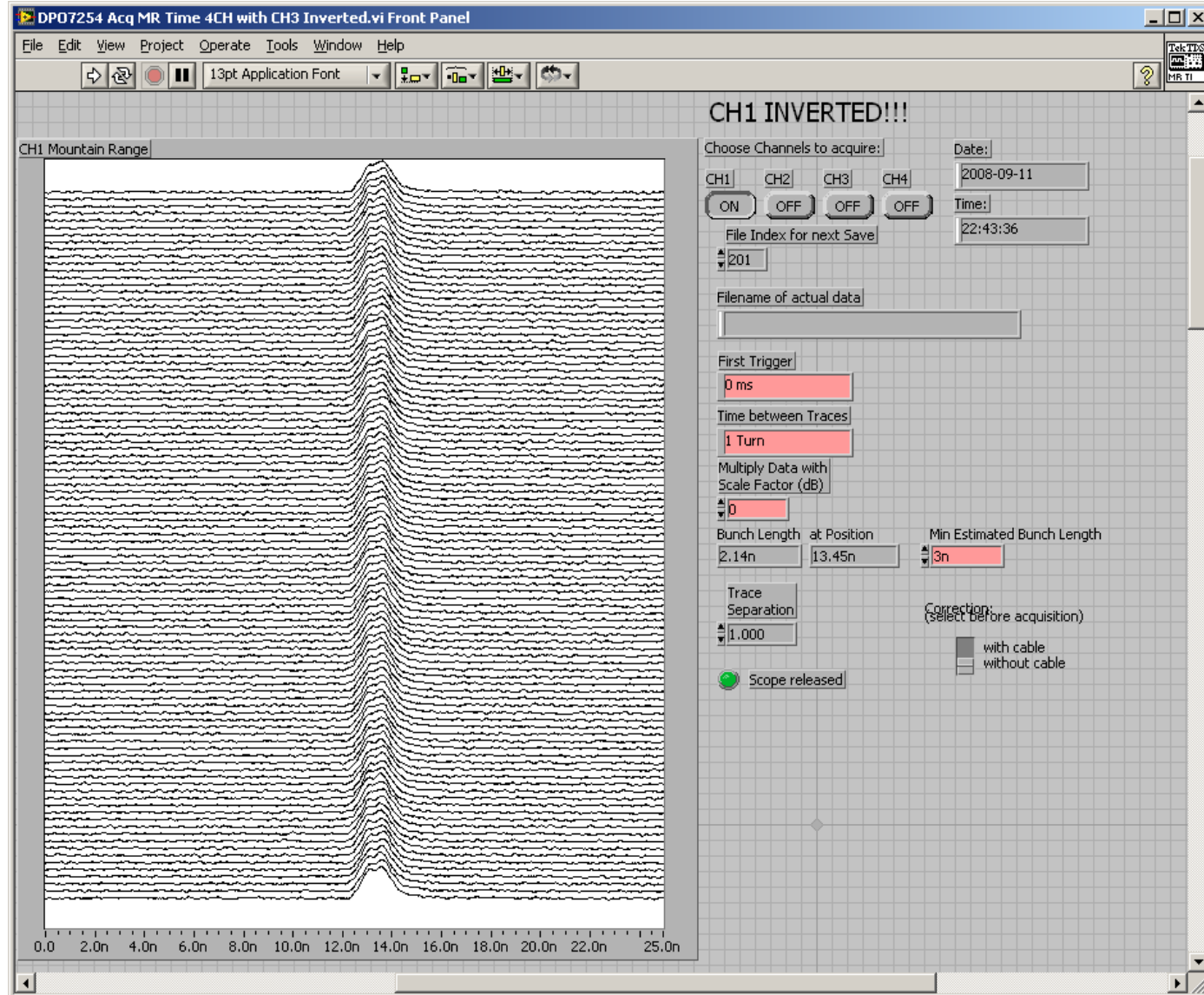
# Le Cavità a RadioFrequenza



# Il Giorno 1 - 10.09.08 10:00'



# Il Giorno 2



# Il Giorno 7

## Estote Parati (siate pronti)

“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
- 3) Danni alla linea dell'elio liquido
- 4) Fuoriuscita ad alta pressione
- 5) Danni in 700 m di tunnel

Un anno di fermo macchina



## Dopo l'incidente





# Il Problema

Alti campi magnetici → alte correnti [ ~ 12000 ampere ]

→ magneti superconduttori [ T ~ -271°C → He liquido ]

→ saldature con bassissima resistenza

necessario:  $R < 1 \text{ n}\Omega$

trovato:  $R \sim 220 \text{ n}\Omega$

==>

1) aggiunti monitoraggi, controlli, protezioni

2) riparate connessioni cattive accessibili

3) necessari ~ 18 mesi di stop per sistemarle tutte !

4) per ora corrente massima ~ 6000 ampere

# Si riparte ...

## novembre-dicembre 2009



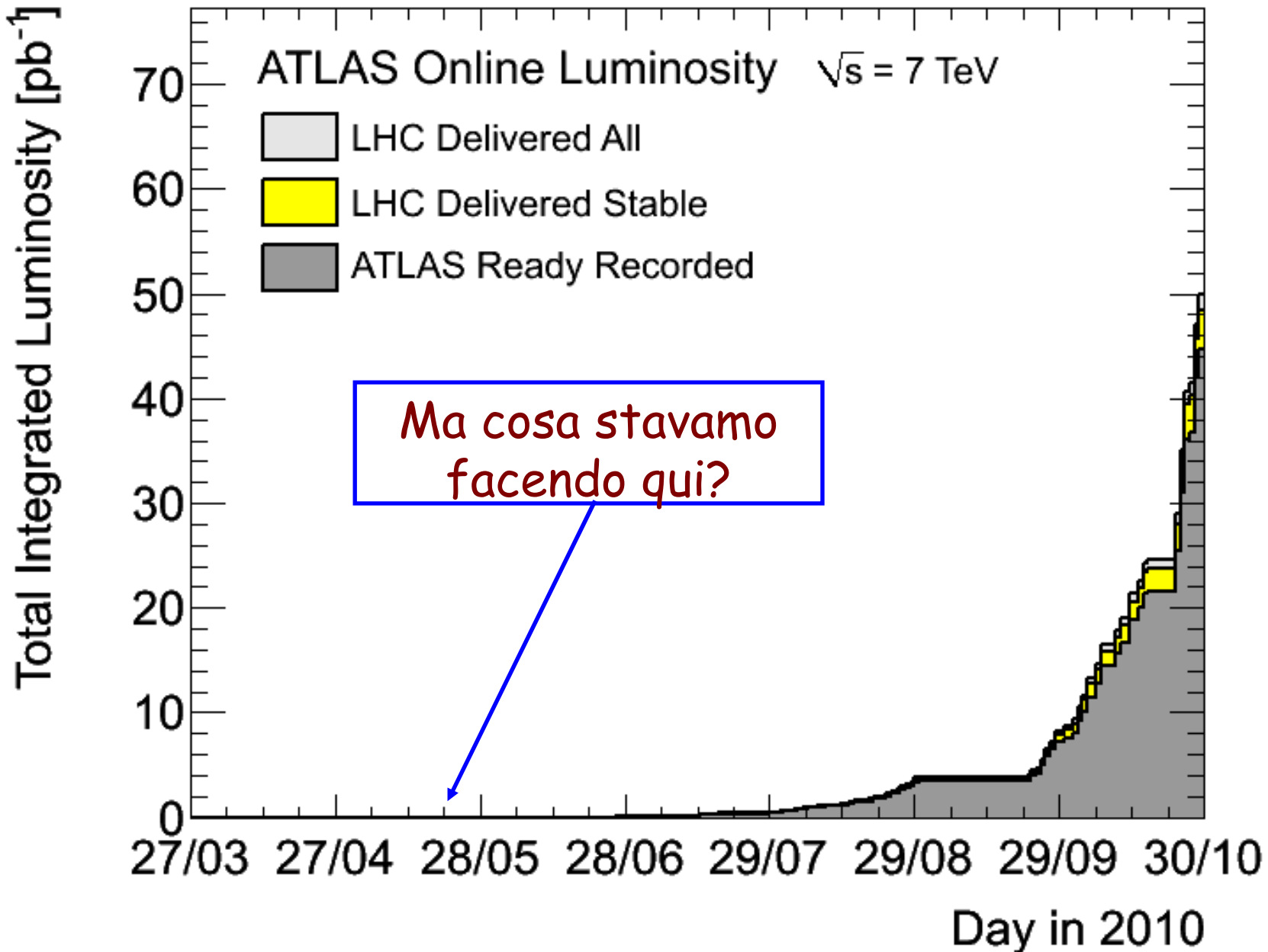
Since 20<sup>th</sup> November 2009,  
a fantastic escalation!!!

5 weeks of beam operation, whole ATLAS detector

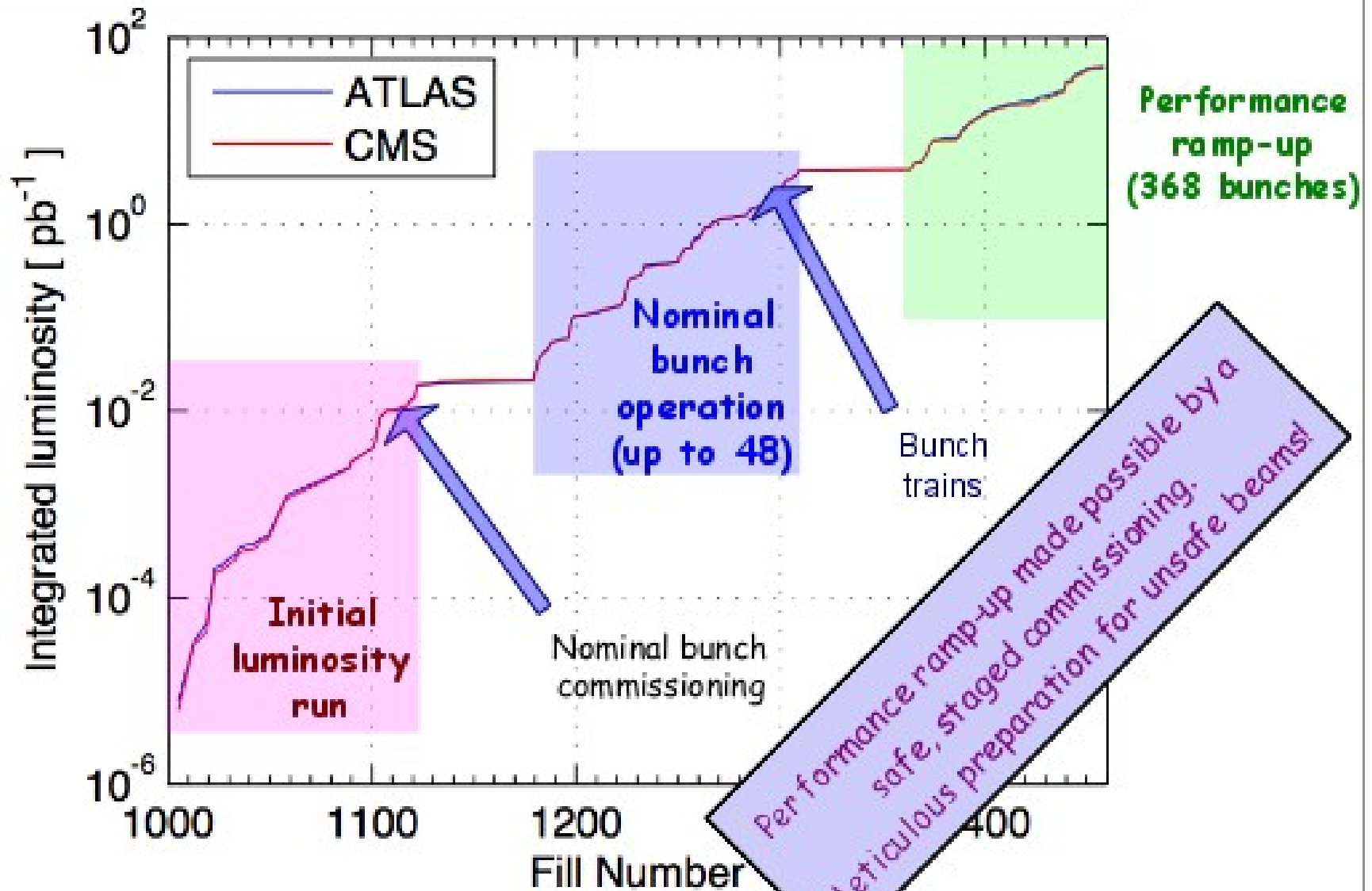


- ✓ 23 Nov: First collisions @ 900 GeV
- ✓ 6 Dec: Stable beams  $\Rightarrow$  nominal voltage
- ✓ 8,14,16 Dec: Collisions @ 2.36 TeV

# p-p nel 2010

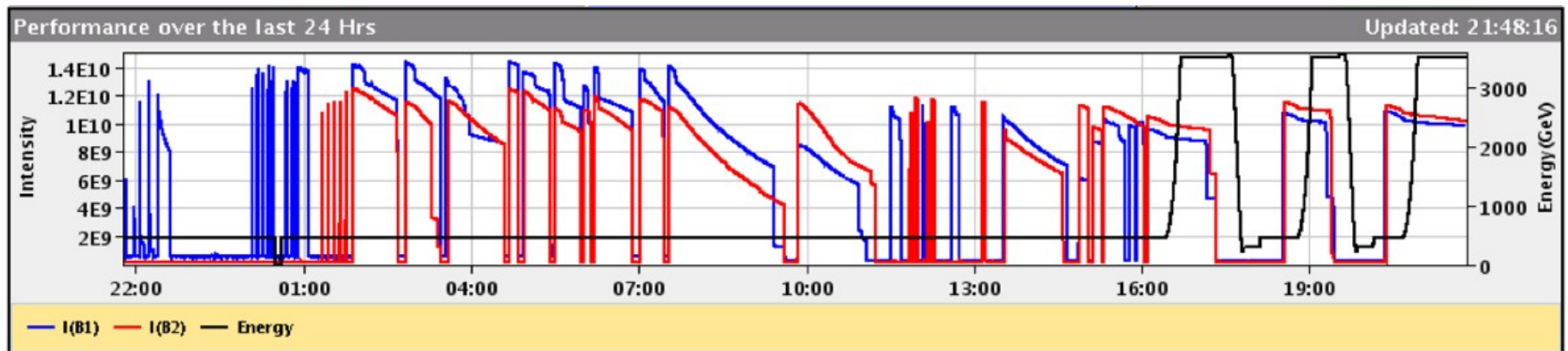


# 3 periodi di presa dati



# Collisioni pb-pb

**1 giorno**



Beam 1 Inj.,  
Circ.  
& Capture

Beam 2  
Inj., Circ.  
& Capture

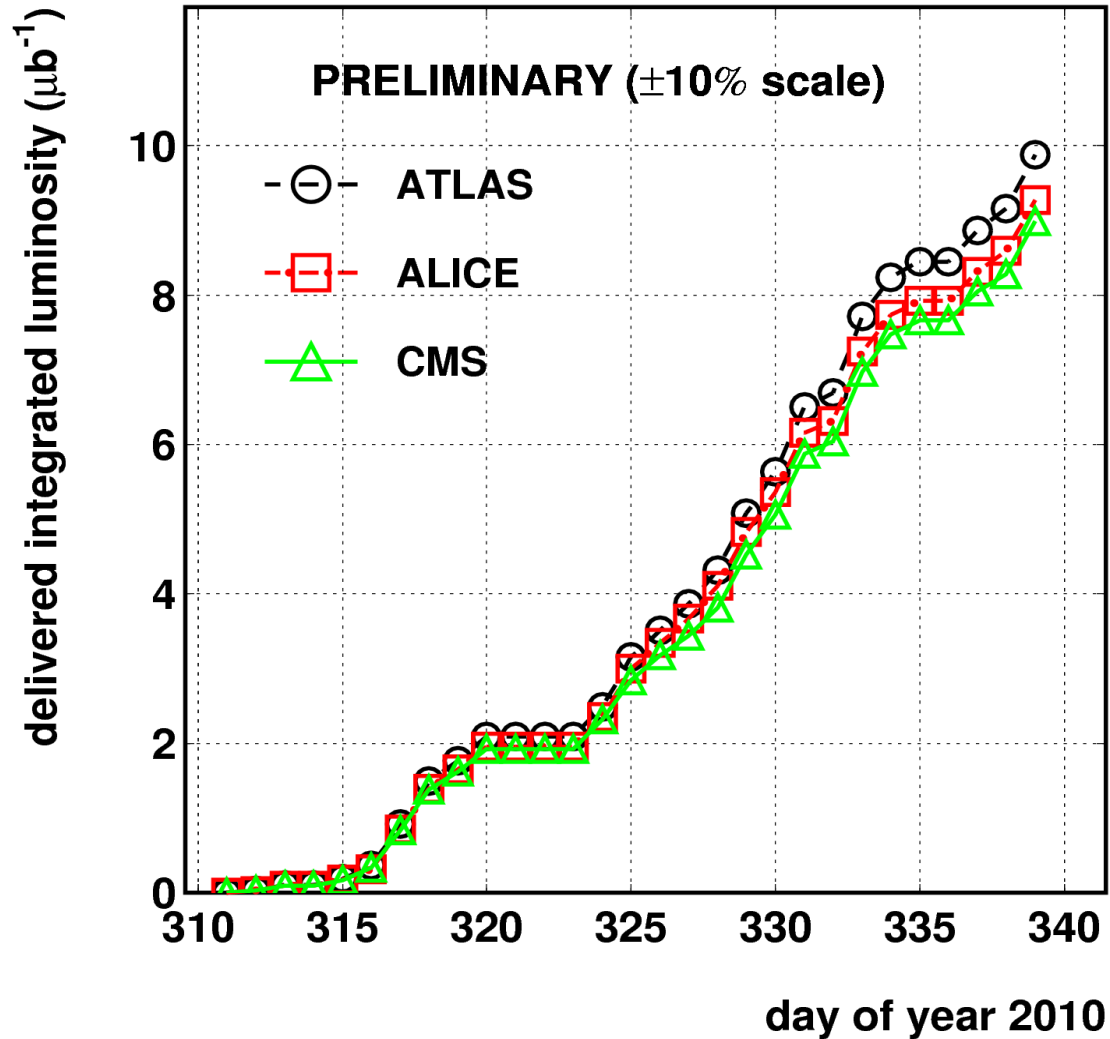
Optics Checks  
BI Checks  
Collimation Checks

First Ramp  
Collimation Checks  
Squeeze

**Prime collisioni dopo soli 3 giorni !**

# Un mese di pb-pb

LHC 2010 HI RUN (3.5 Z TeV/beam)



# Ieri notte ...

LHC Page1

Fill: 1719

E: 450 GeV

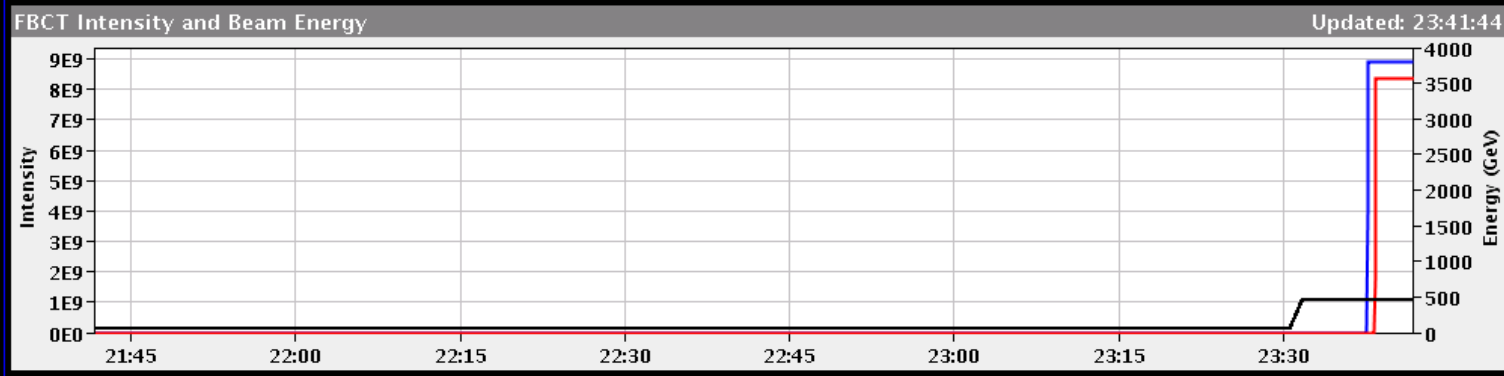
17-04-2011 23:41:45

## PROTON PHYSICS: INJECTION PROBE BEAM

BCT TI2: 0.00e+00   
 I(B1): 1.02e+10   
 BCT TI8: 0.00e+00   
 I(B2): 8.14e+09

TED TI2 position: BEAM   
 TDI P2 gaps/mm   
 up: 11.36   
 down: 12.93

TED TI8 position: BEAM   
 TDI P8 gaps/mm   
 up: 9.01   
 down: 9.70



Comments 17-04-2011 23:31:07 :

preparing for injection

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

AFS: 50ns\_336b+1small\_322\_12\_288\_72bpi7inj

PM Status B1 ENABLED

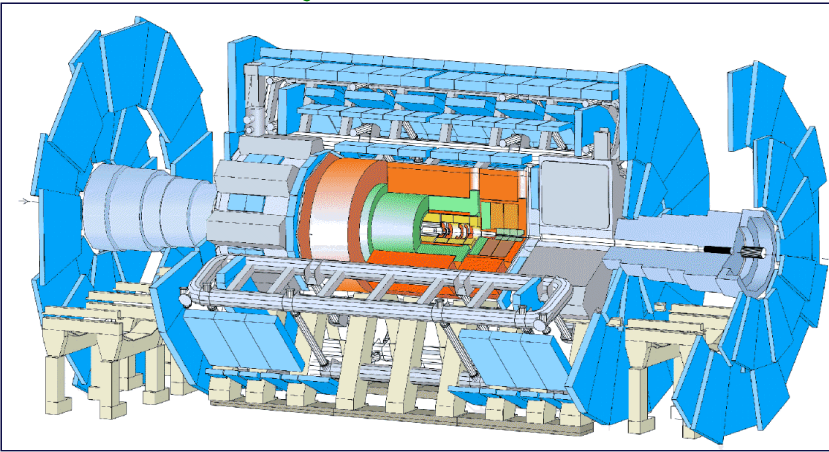
PM Status B2 ENABLED

## 2. l'esperimento (ATLAS)

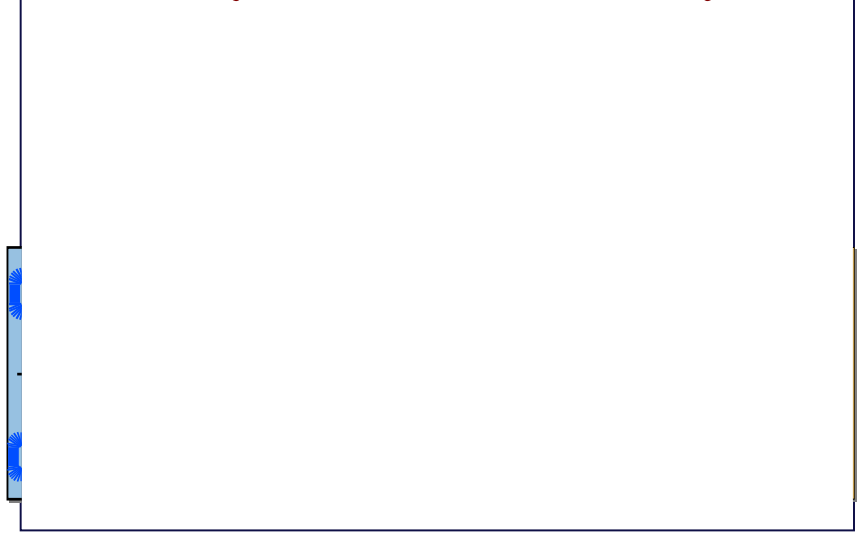


# I 4+2 Moschettieri

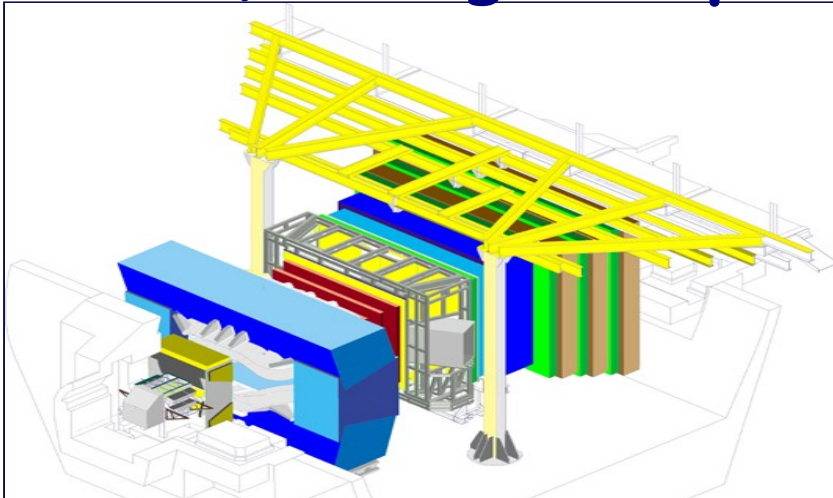
## ATLAS (Fabiola Gianotti)



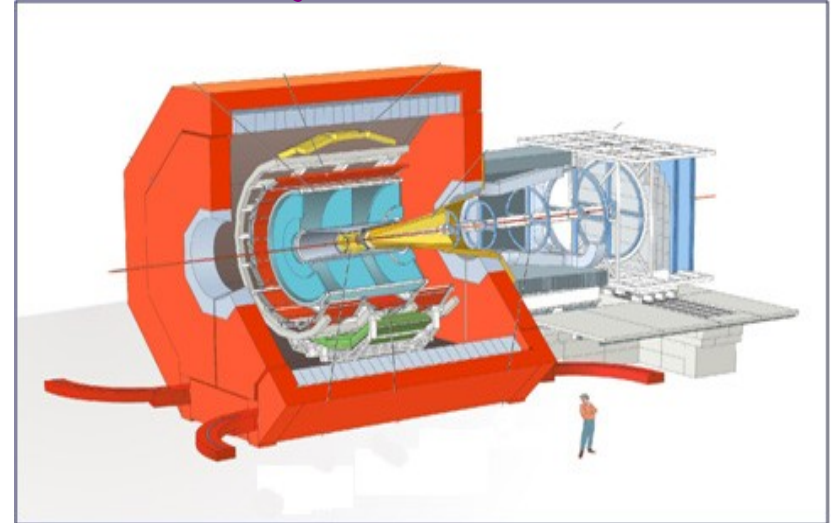
## CMS (Guido Tonelli)



## LHCb (Pierluigi Campana)



## ALICE (Paolo Giubellino)



più Totem e LHCf

~ 3000 scienziati di 174 istituti da 38 paesi diversi  
più di 1000 studenti di dottorato!



Argentina	Morocco
Armenia	Netherlands
Australia	Norway
Austria	Poland
Azerbaijan	Portugal
Belarus	Romania
Brazil	Russia
Canada	Serbia
Chile	Slovakia
China	Slovenia
Colombia	South Africa
Czech Republic	Spain
Denmark	Sweden
France	Switzerland
Georgia	Taiwan
Germany	Turkey
Greece	UK
Israel	USA
Italy	CERN
Japan	JINR

**ATLAS**  
**Collaboration**



# 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

# L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



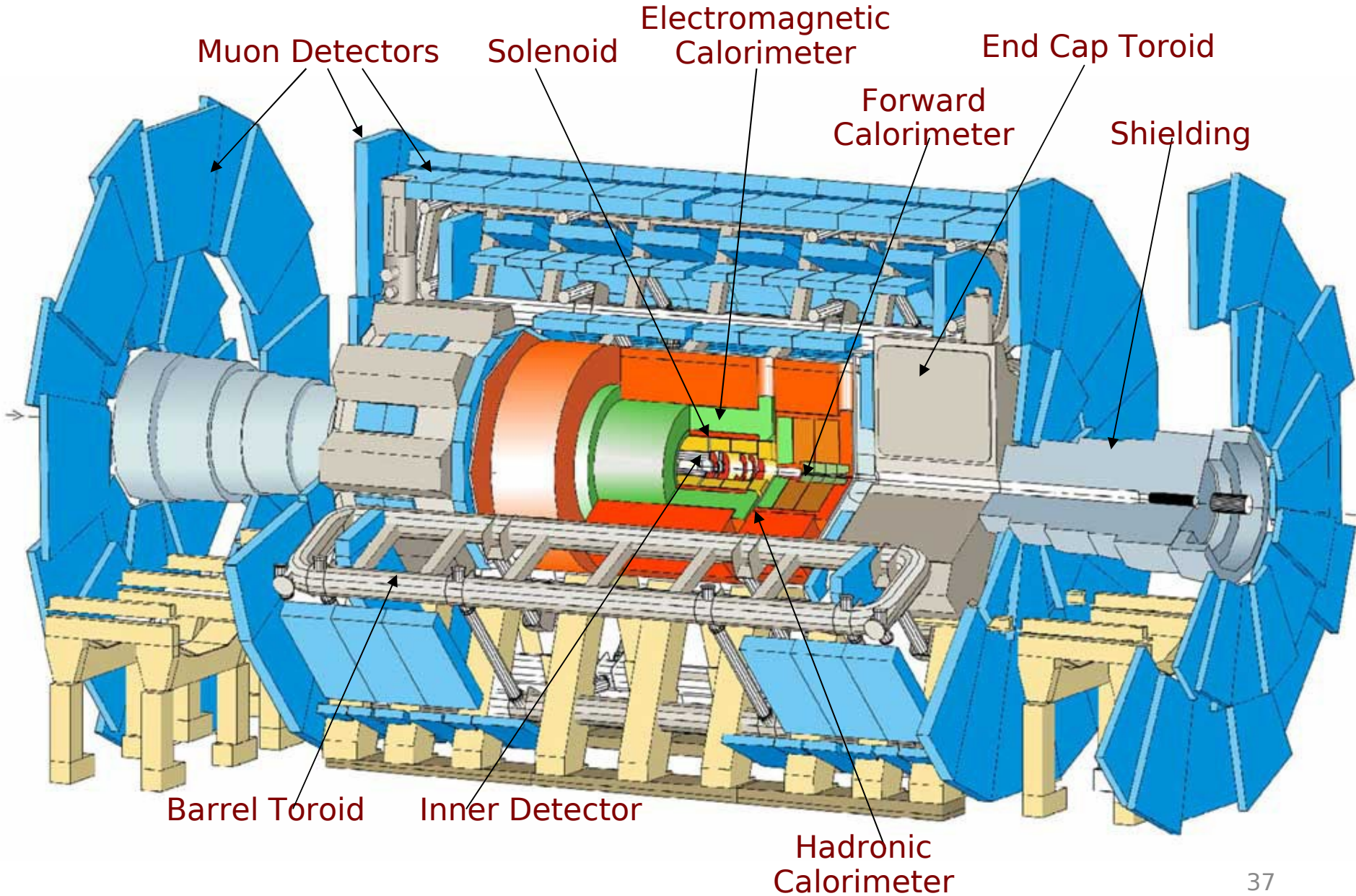
sezione  
gruppo  
laboratorio

19 sezioni, 11 gruppi,  
4 laboratori  
nazionali,  
1850 dipendenti.

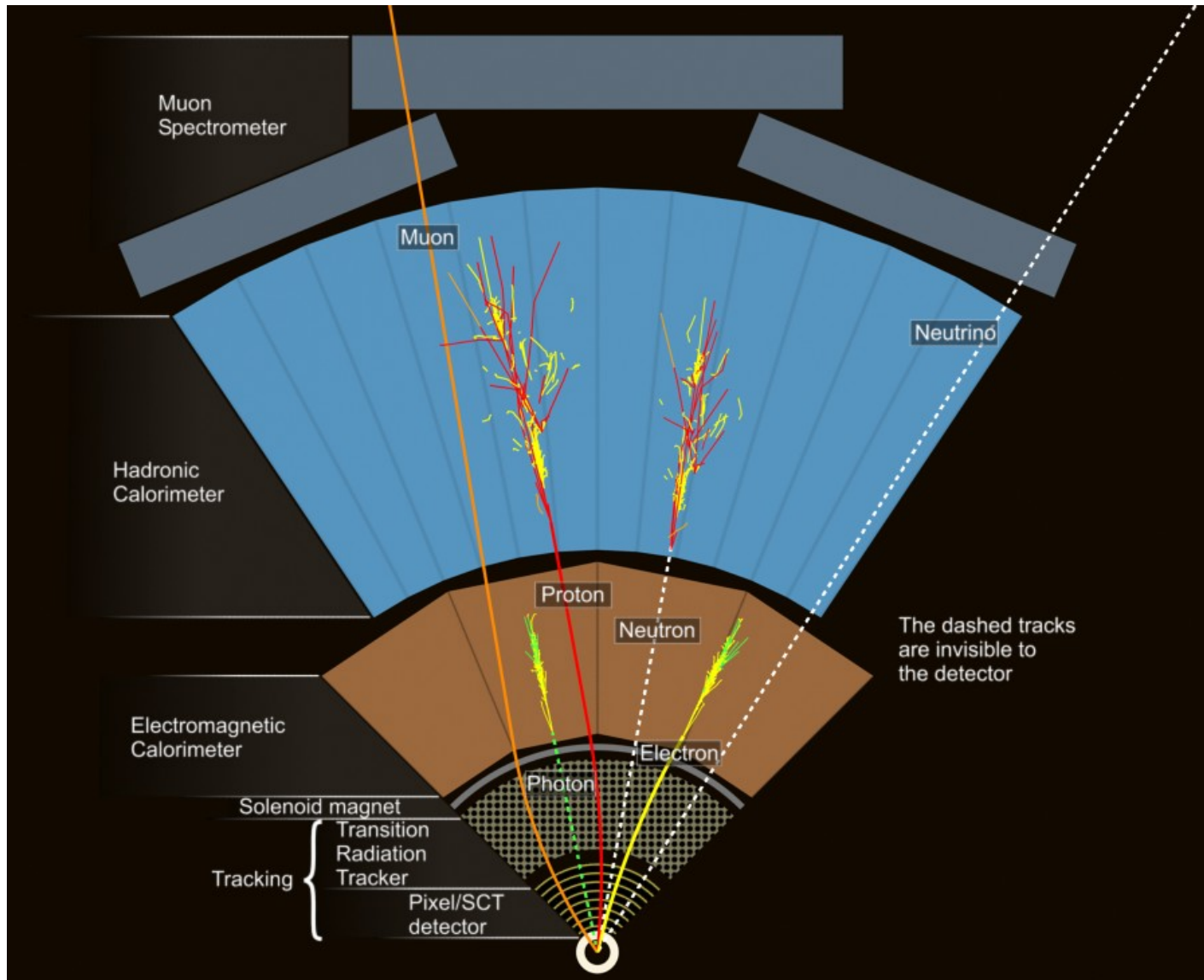
~ 5000 ricercatori,  
la maggior parte  
universitari,  
distribuiti in 16  
regioni diverse

Fortemente integrato con il  
sistema universitario

# ATLAS: un microscopio alto 22 e lungo 46 m



# Tante (Diverse) Macchine Fotografiche

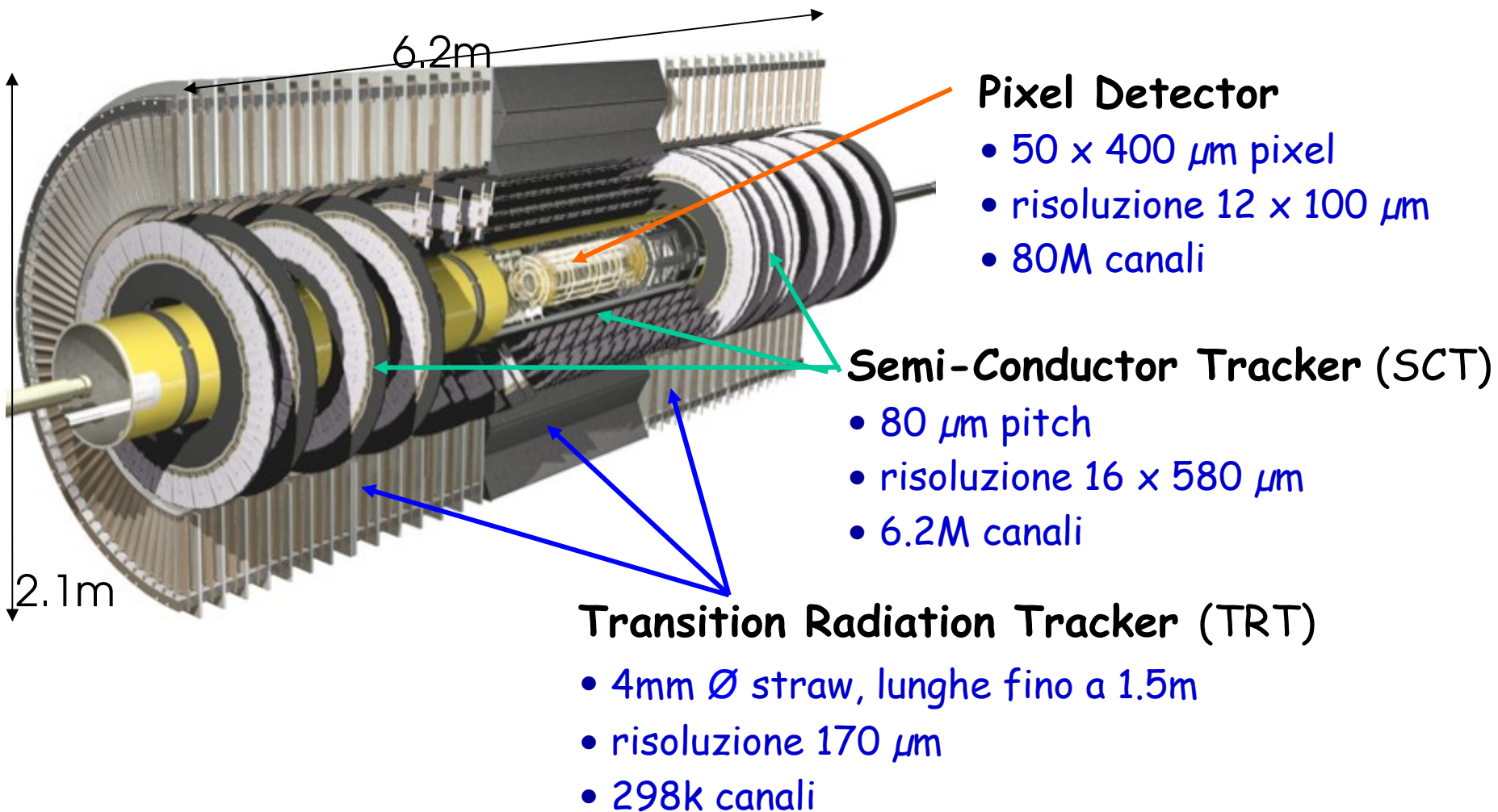


# Come funziona ?

- 1) si fermano le particelle di bassa "energia"  
(solenoidi superconduttore)
- 2) si identificano tutte le altre (cariche, neutre,  
leggere, pesanti) !!!
- 3) si misura la loro energia

Poche proprietà fondamentali  
determinano il comportamento  
di ogni particella "quasi stabile"

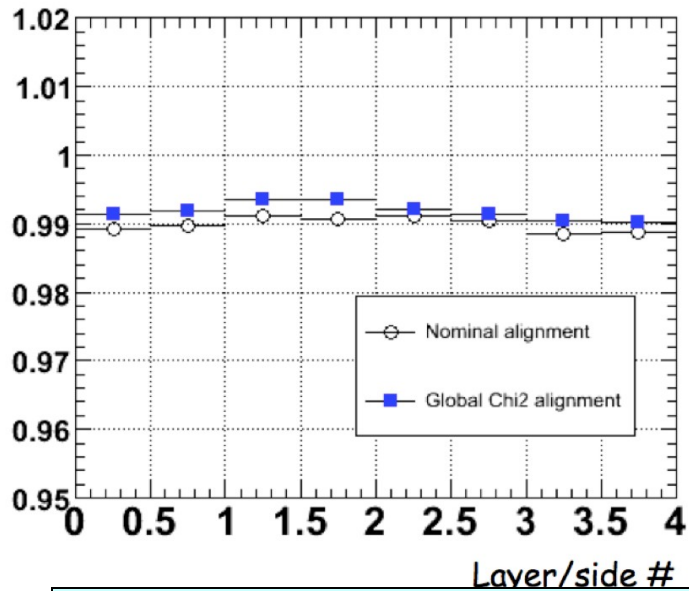
# Il Tracciatore Interno



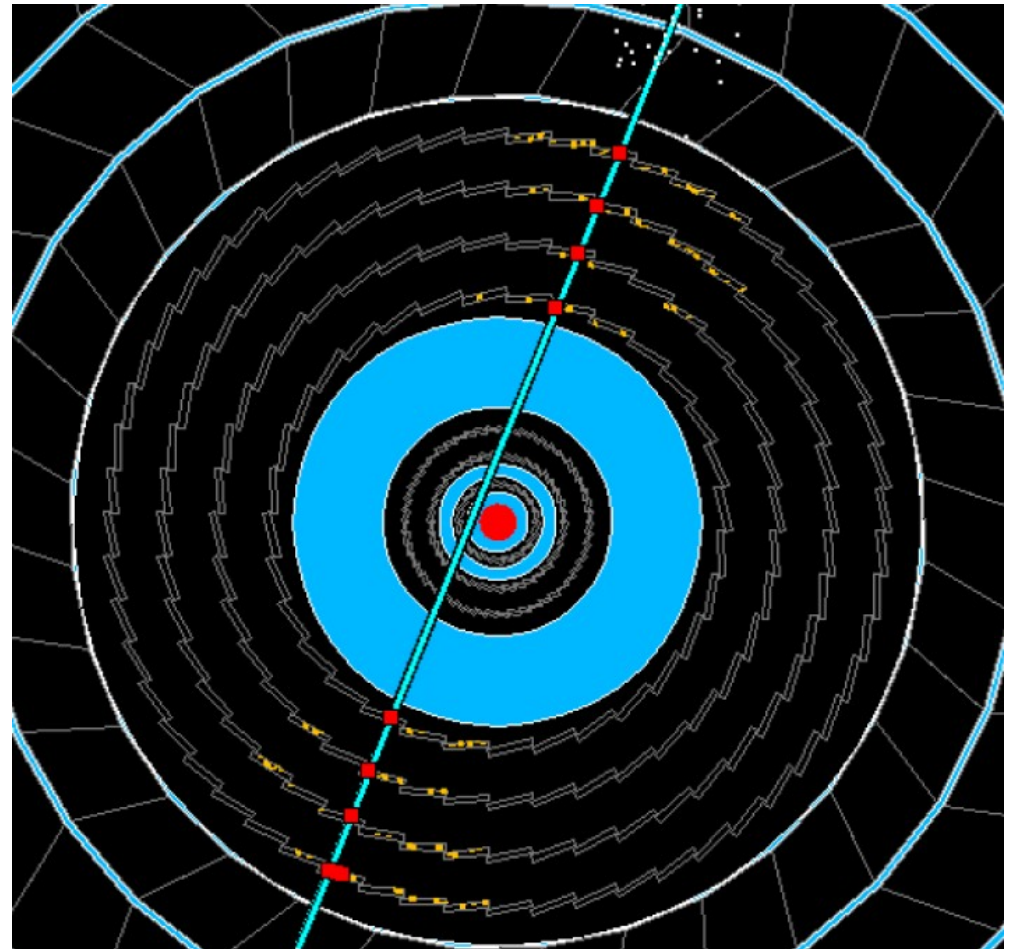


# Raggi Cosmici nel SCT

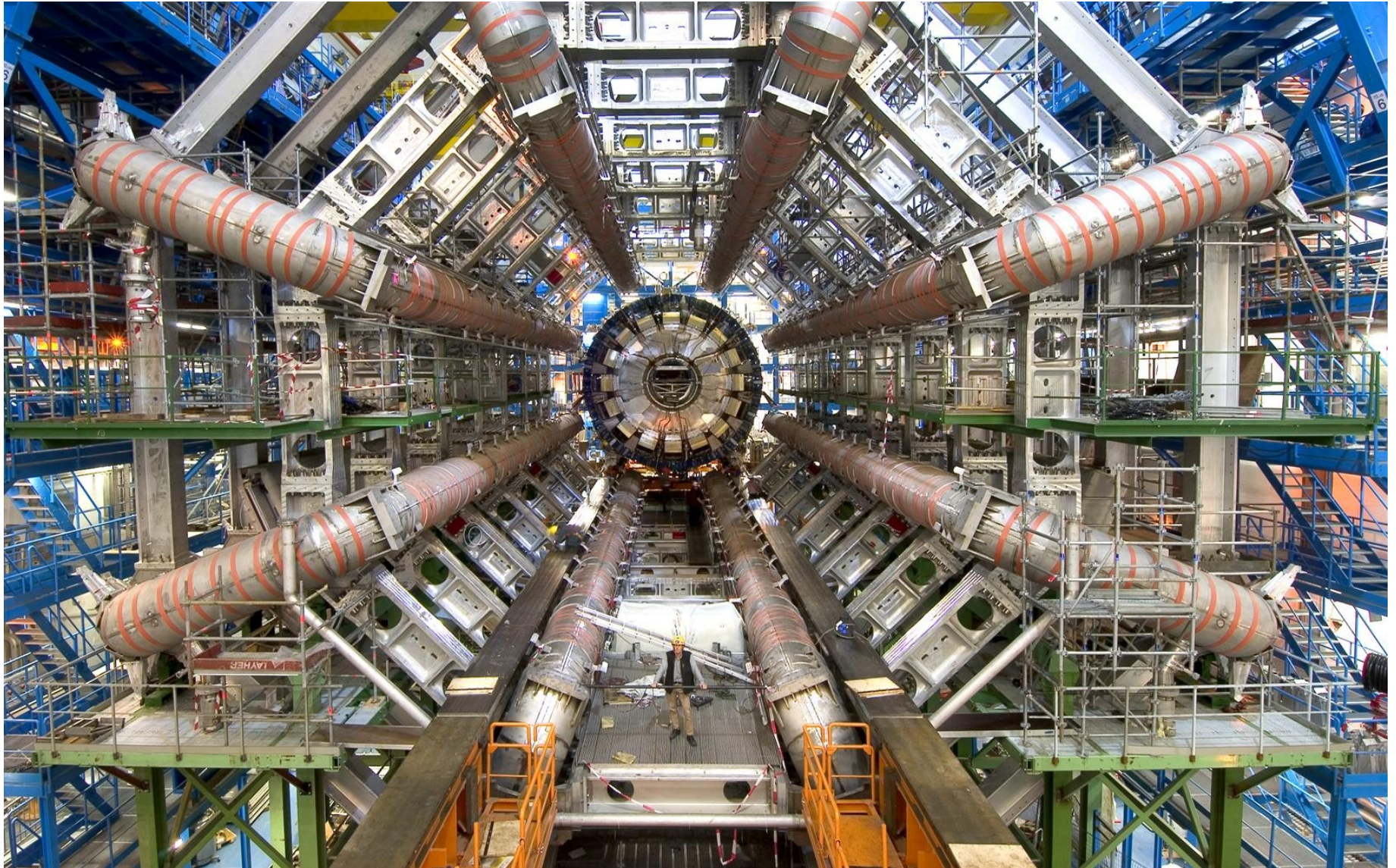
10 milioni di eventi (500 mila di raggi cosmici)



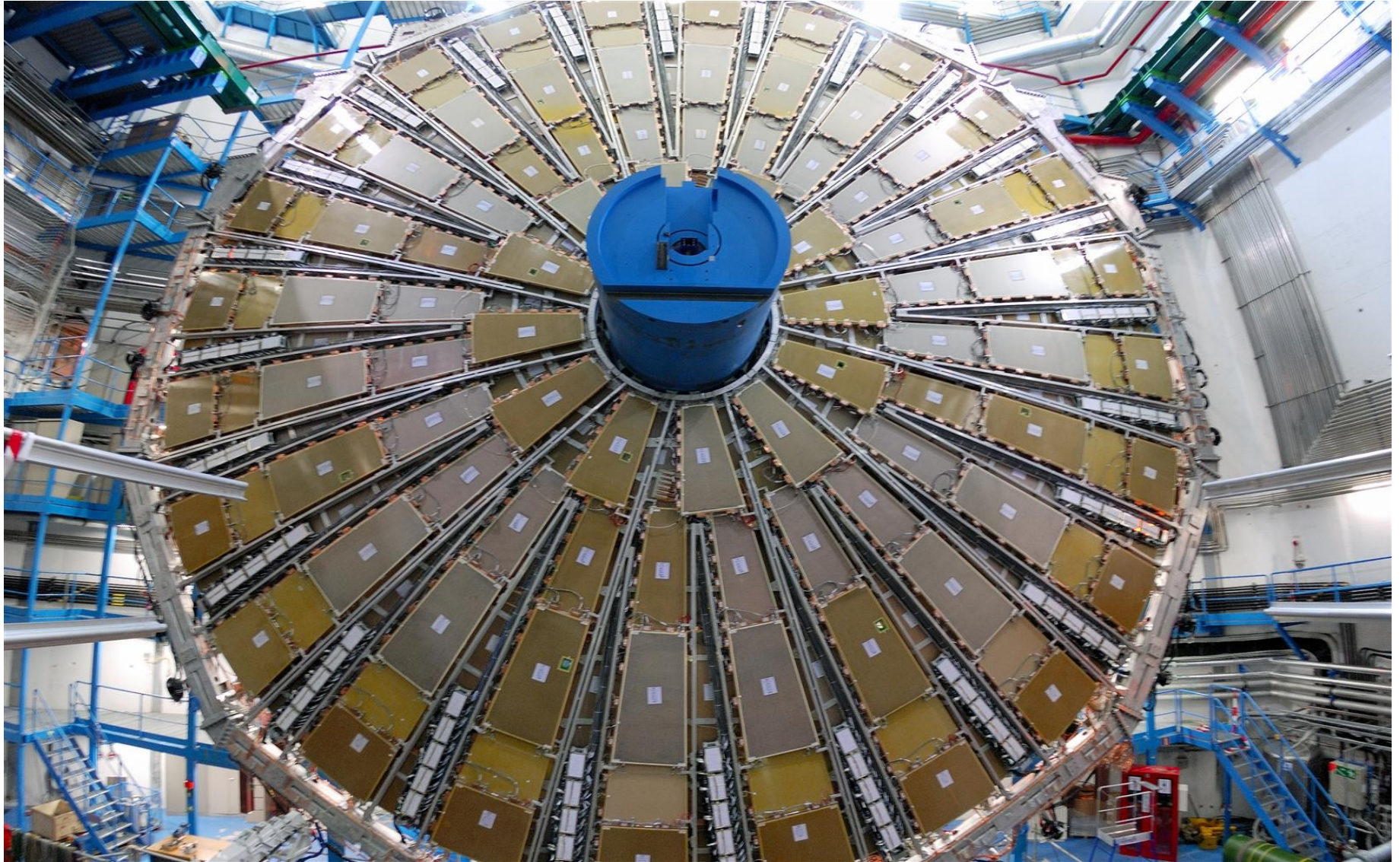
Efficiienza >99%



# Il Toroide Centrale (Barrel)



# la prima di 8 grandi ruote



# Per fare cosa ?

Eventi interessanti (rarissimi) contengono:

- a) 1,2,3,4,... elettroni, muoni, fotoni, getti di grande energia
- b) grande energia mancante

Ad esempio, il bosone di Higgs può decadere in:

$4e, 4\mu, 2e2\mu, 2e2\nu, 2\mu2\nu, 1e1\mu2\nu, 2e2j, 2\mu2j, 2\gamma, \dots$

"Golden channels" :  $H \rightarrow 4e, 4\mu, 2e2\mu$

**~ 1 Higgs ogni 300 mila miliardi di urti .. se va bene !**

# Selezione Eventi

- ogni secondo avvengono 40 milioni di scontri
- bisogna selezionare i 200 più interessanti per analizzarli con calma

a) un primo sistema si preoccupa solo di segnalare se ritiene ci sia almeno 1 elettrone o 1 muone di alta energia, selezionando in media ~ 100 mila eventi

- cercate un granello di sabbia: avevate 20 campi da calcio da ispezionare → rimanete con un campo da tennis

b) un secondo sistema analizza un pò meglio i 100 mila eventi e segnala i 3 mila più interessanti

- → del campo da tennis rimangono 2 tavoli da ping pong

c) un terzo sistema analizza molto meglio i 3 mila restanti e segnala i 200 più interessanti

- → dei 2 tavoli da ping pong, rimane una scacchiera di 70 cm di lato

### 3. cosa si cerca e perché

# 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

Quante sono ?

Quali sono davvero elementari ?

Come interagiscono ?

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

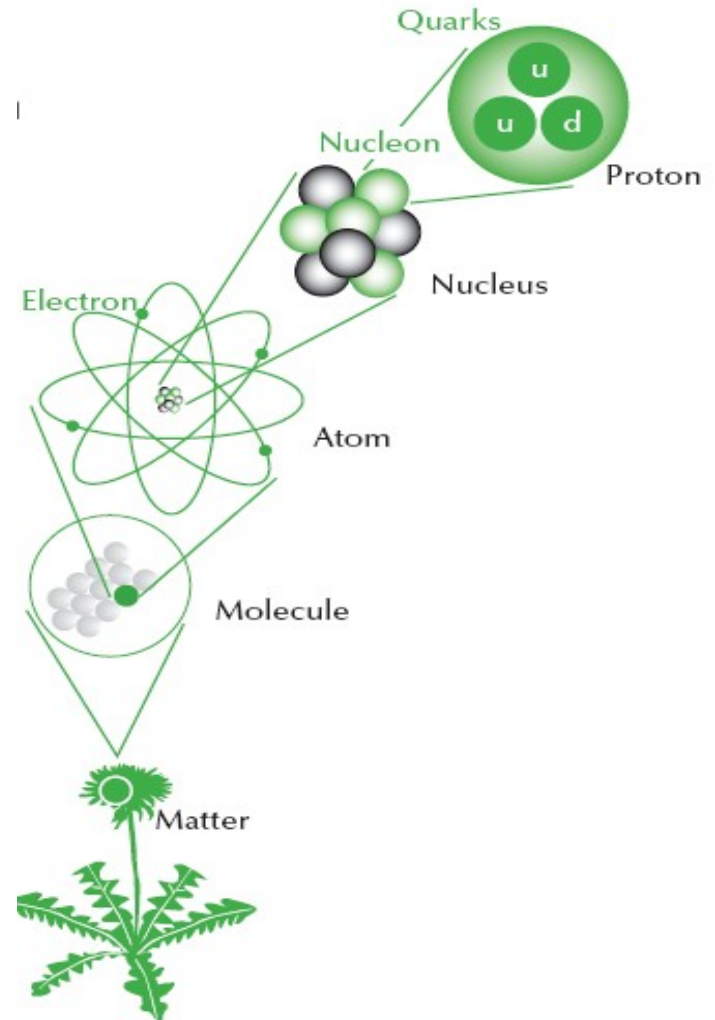
ad oggi non abbiamo alcuna spiegazione

Materia oscura ?



# 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 ...

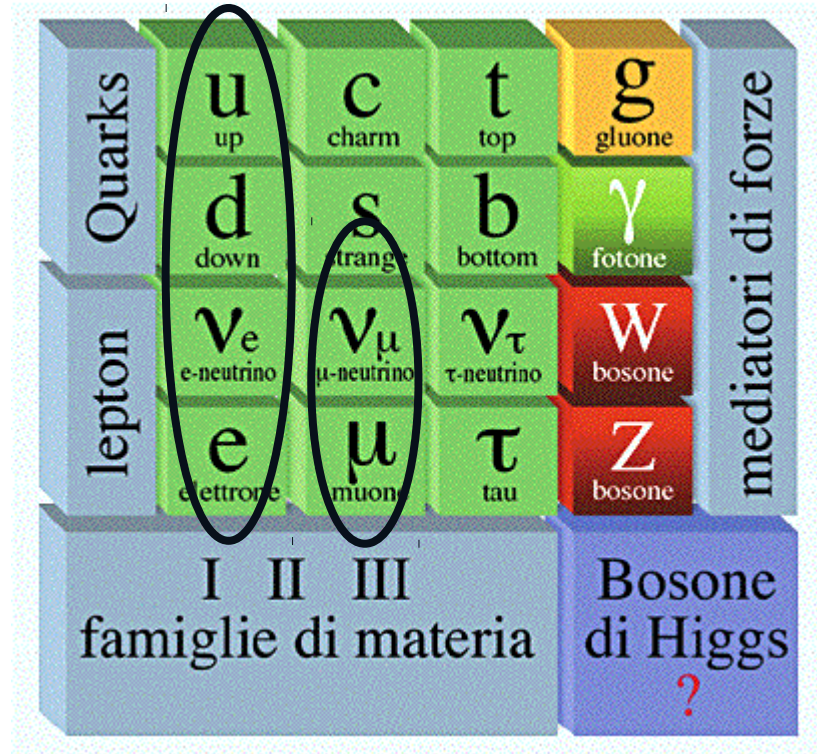
- Particelle "materia" e particelle "forza" (+ relative antiparticelle)

- 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)



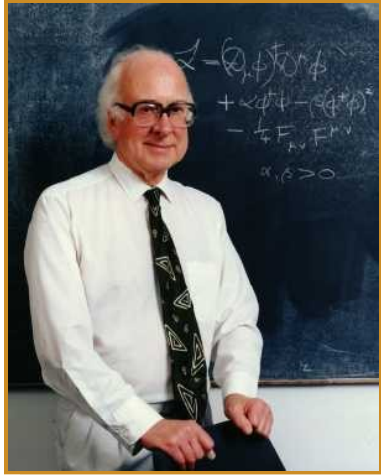
(\*) Rapporti cariche elettriche  $\rightarrow$  NO

(\*) Rapporti masse  $\rightarrow$  NO

(\*) Gravitazione  $\rightarrow$  NO

(\*) Materia Oscura  $\rightarrow$  NO

# Il Bosone di Higgs



- particelle senza massa si muovono alla velocità della luce

- (Peter Higgs) un campo di forza permea tutto e frena le particelle, come la gelatina frena un proiettile

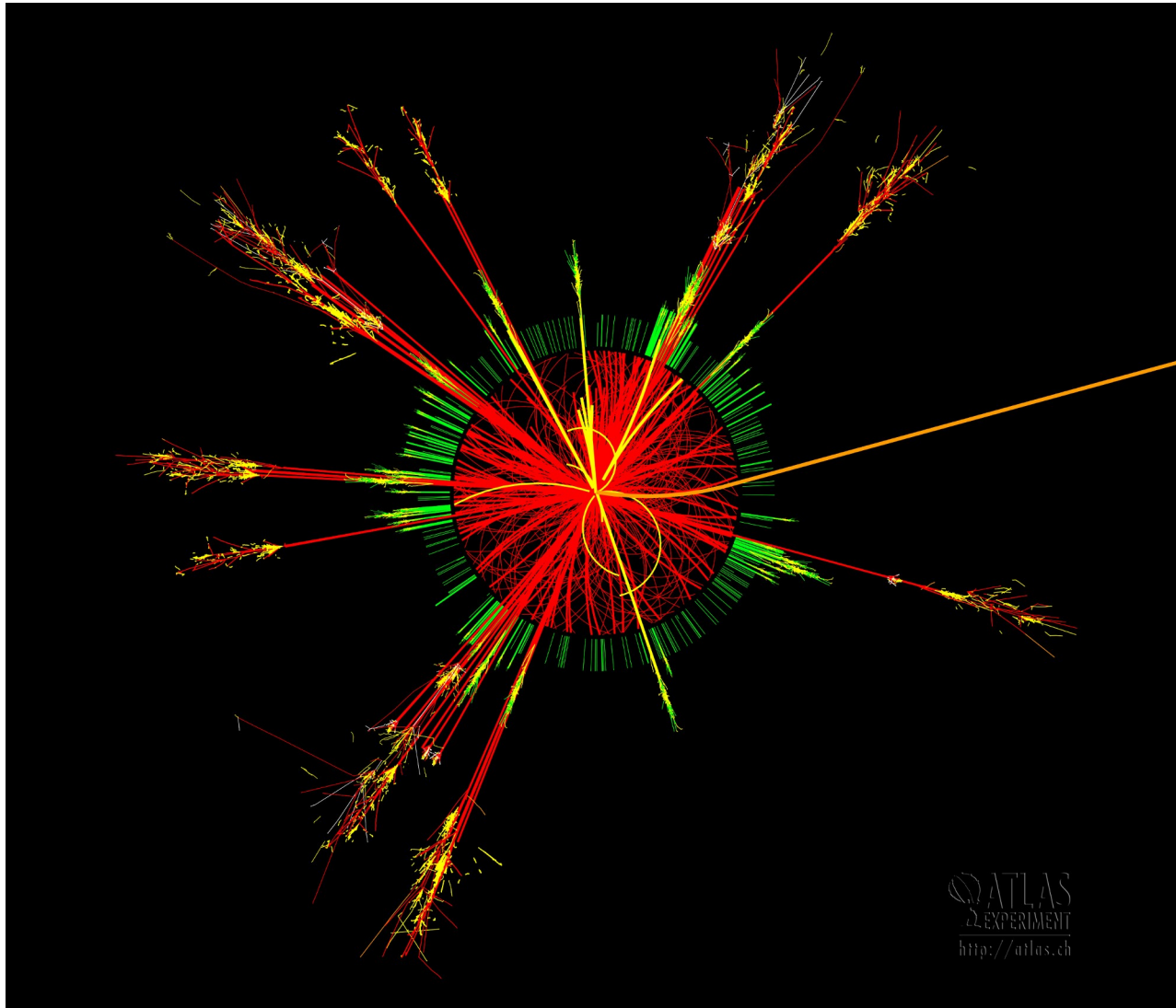
- generato da una particella nuova:  
**il bosone di Higgs**

- rallentare una particella equivale a farle acquisire una massa

- particelle indifferenti a questo campo di forza restano di massa zero



# Buchi Neri



# ... 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 \*\*\*

# Buchi Neri

Regioni dello spazio da cui nulla può uscire ...

Soluzioni a "sorpresa" della eq. di Einstein (Schwarzschild):

velocità di fuga > velocità della luce

Succede quando la materia è concentrata in una regione di raggio:

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

**Osservati sperimentalmente!**

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

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

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

# I Buchi Neri

Secondo la relatività generale, a LHC servono miliardi di miliardi di anni prima di 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:

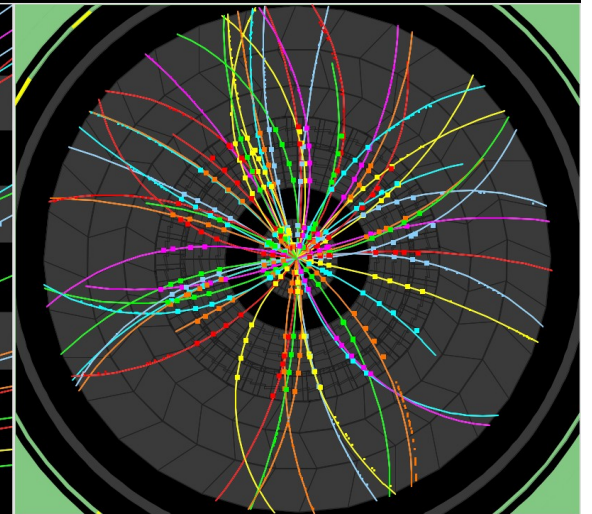
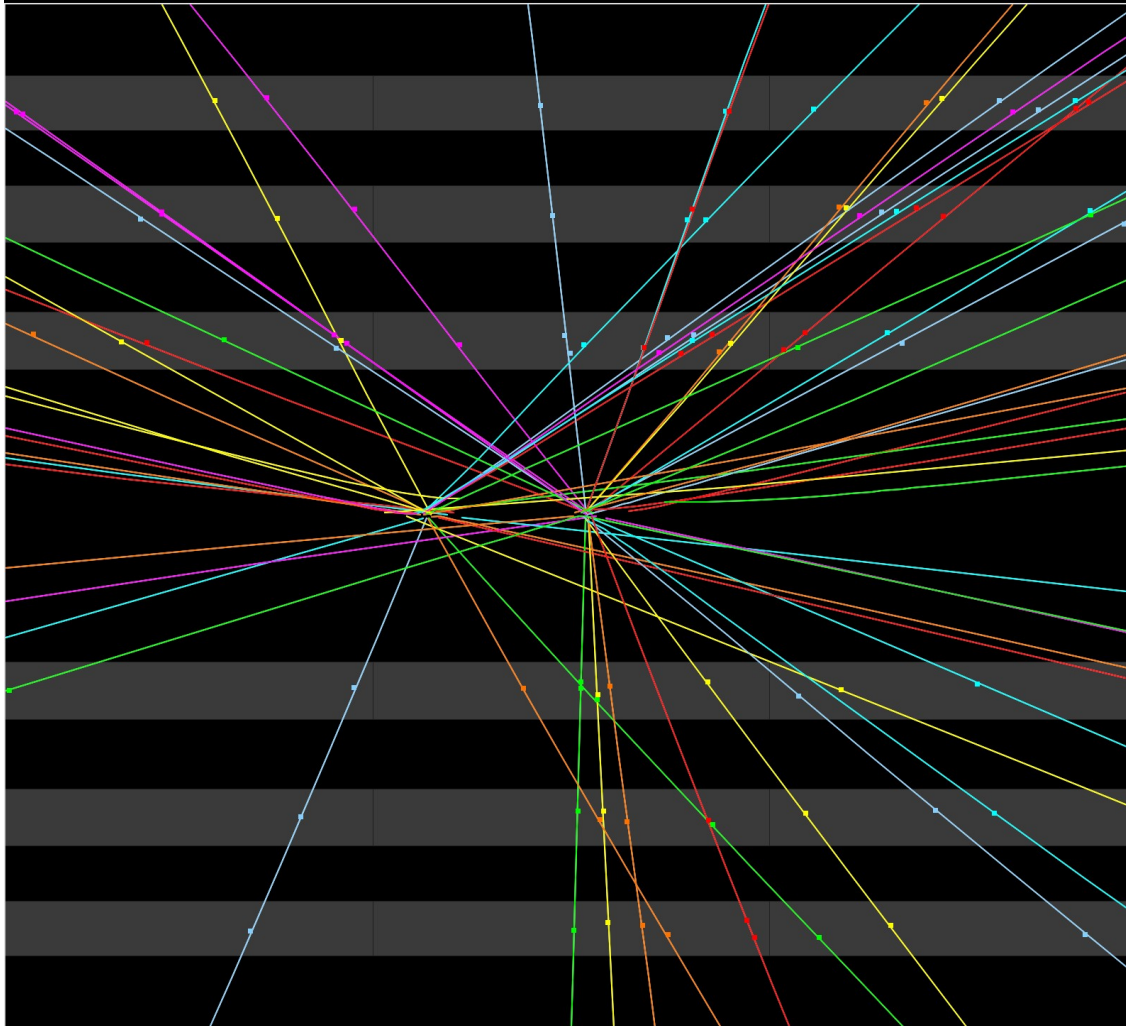
**Energie anche 1 milione di volte più grandi !**

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

## 4. i primi risultati

# Collisione doppia

## Collision Event at 7 TeV with 2 Pile Up Vertices



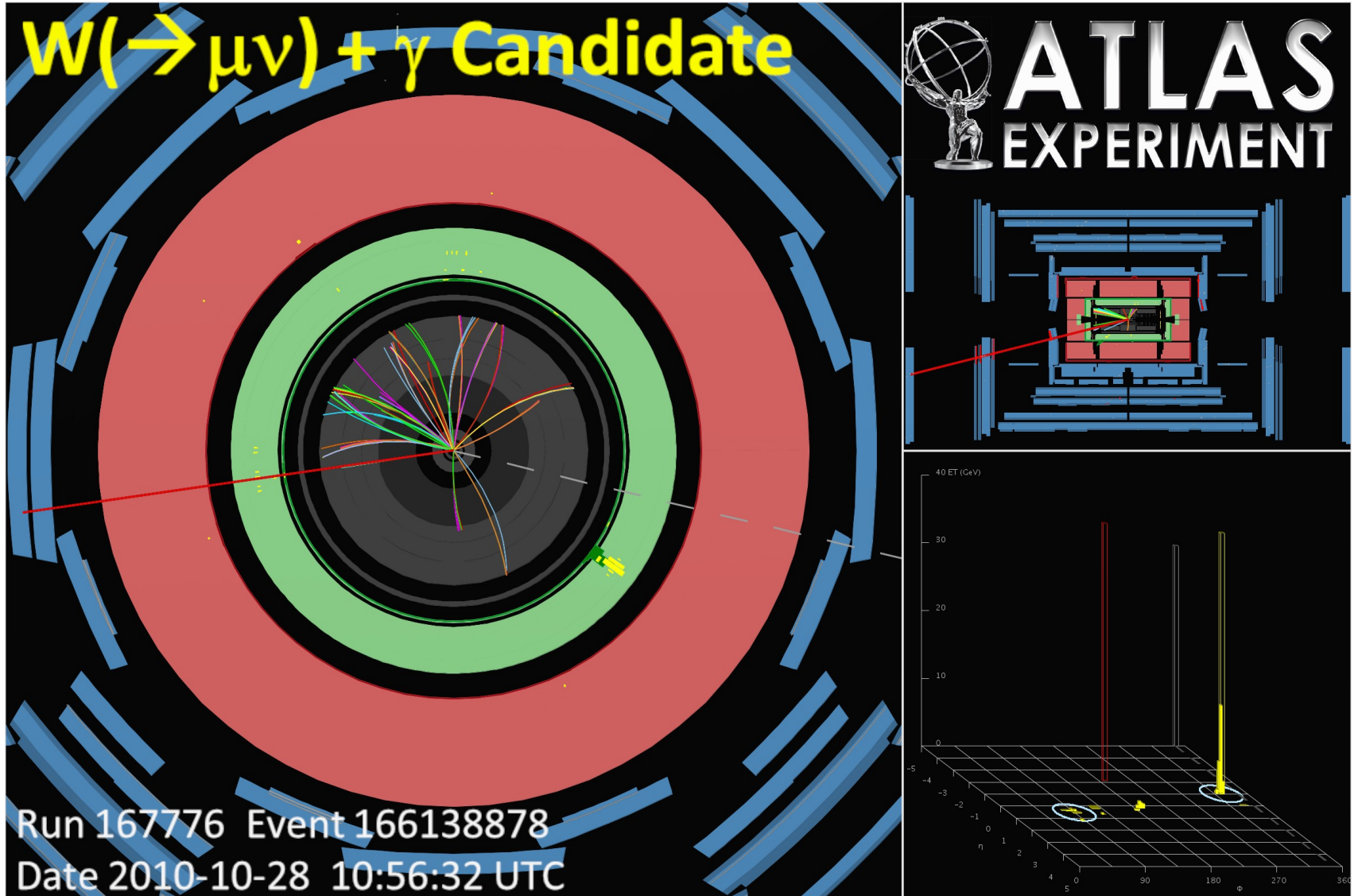
**ATLAS**  
**EXPERIMENT**

Run Number: 152166, Event Number: 467774

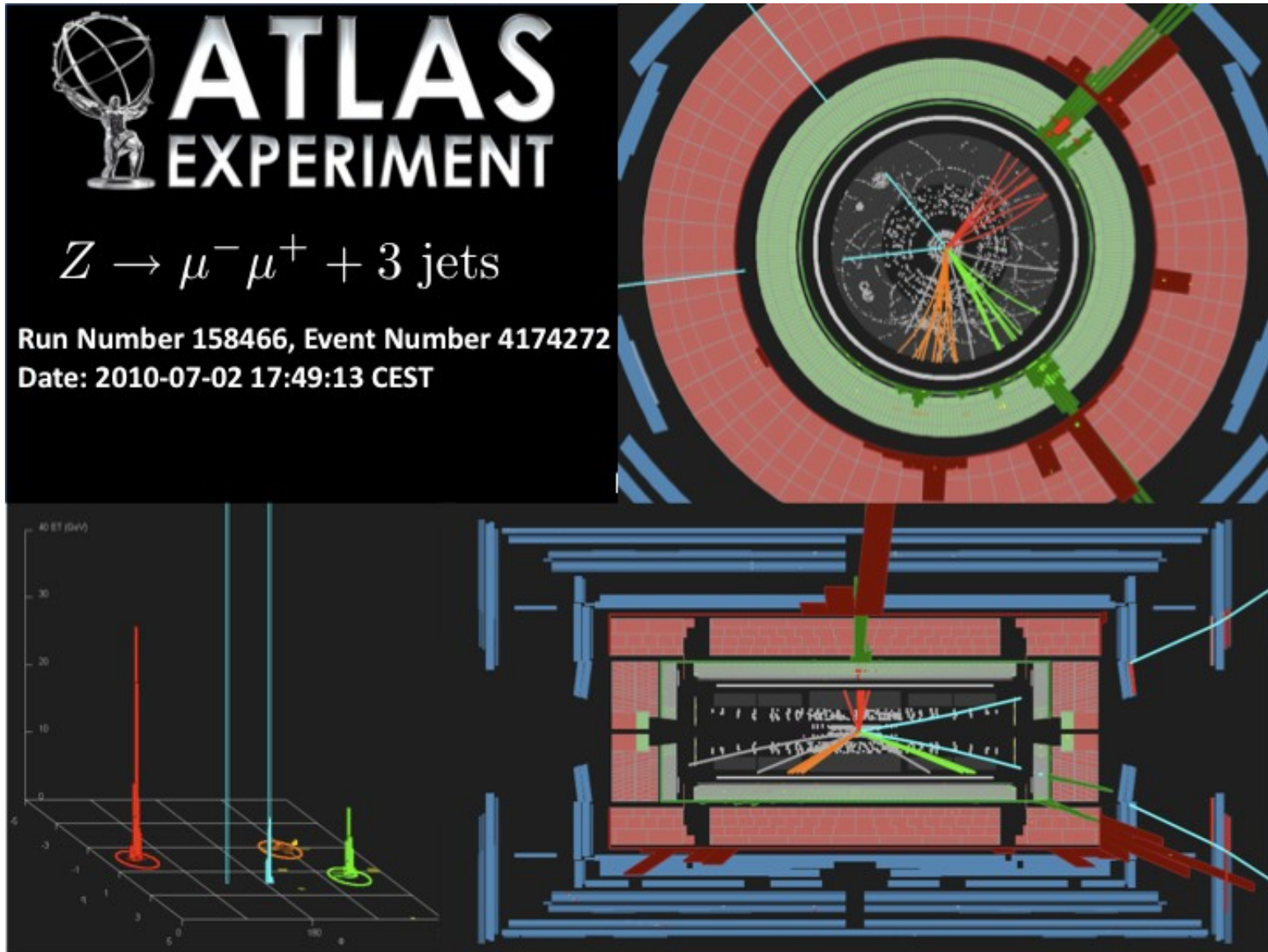
Date: 2010-03-30 13:31:46 CEST

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

# Muone, Neutrino, Fotone

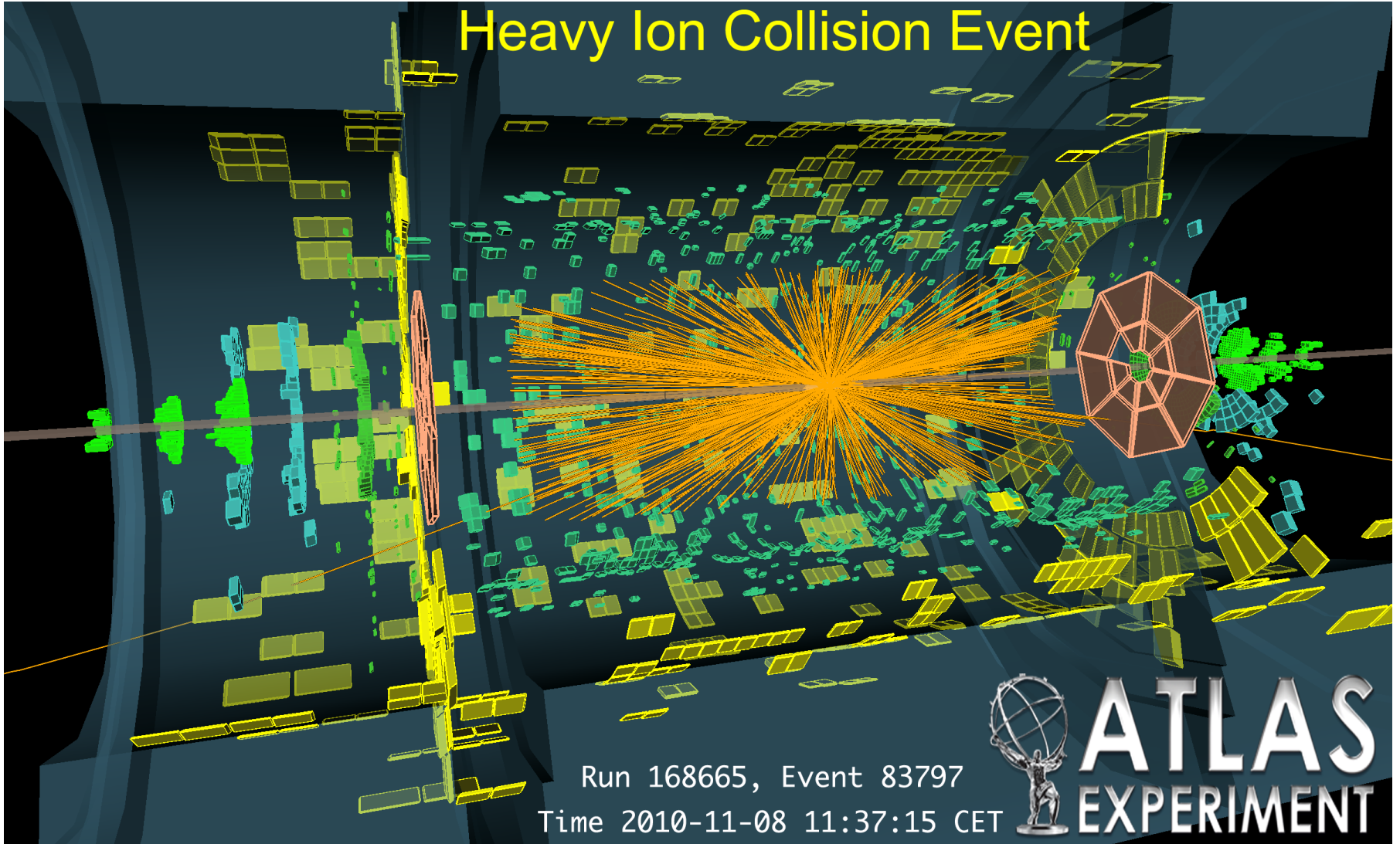


# Evento con 2 Muoni e 3 Getti (?)

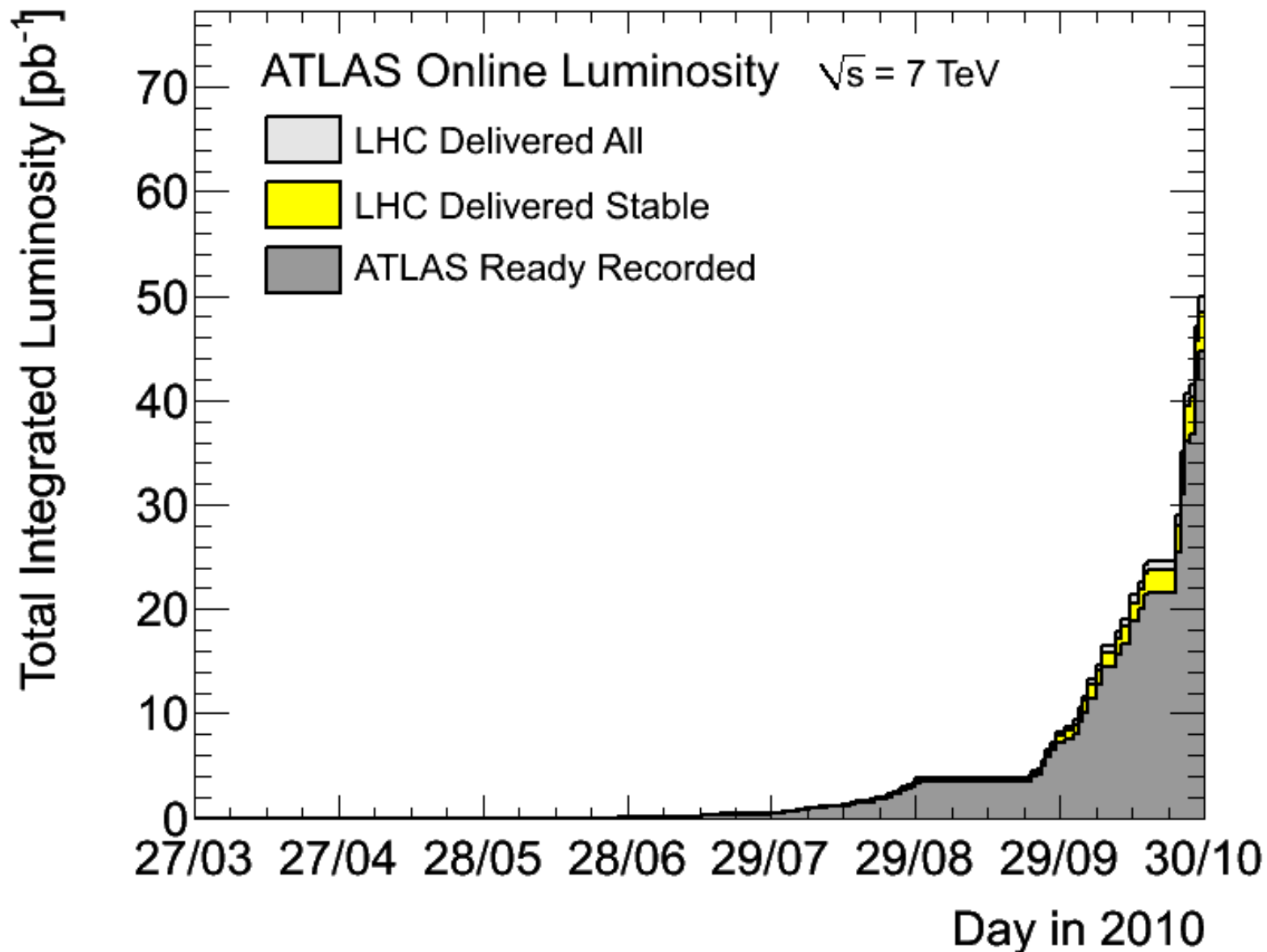


# Evento pb-pb

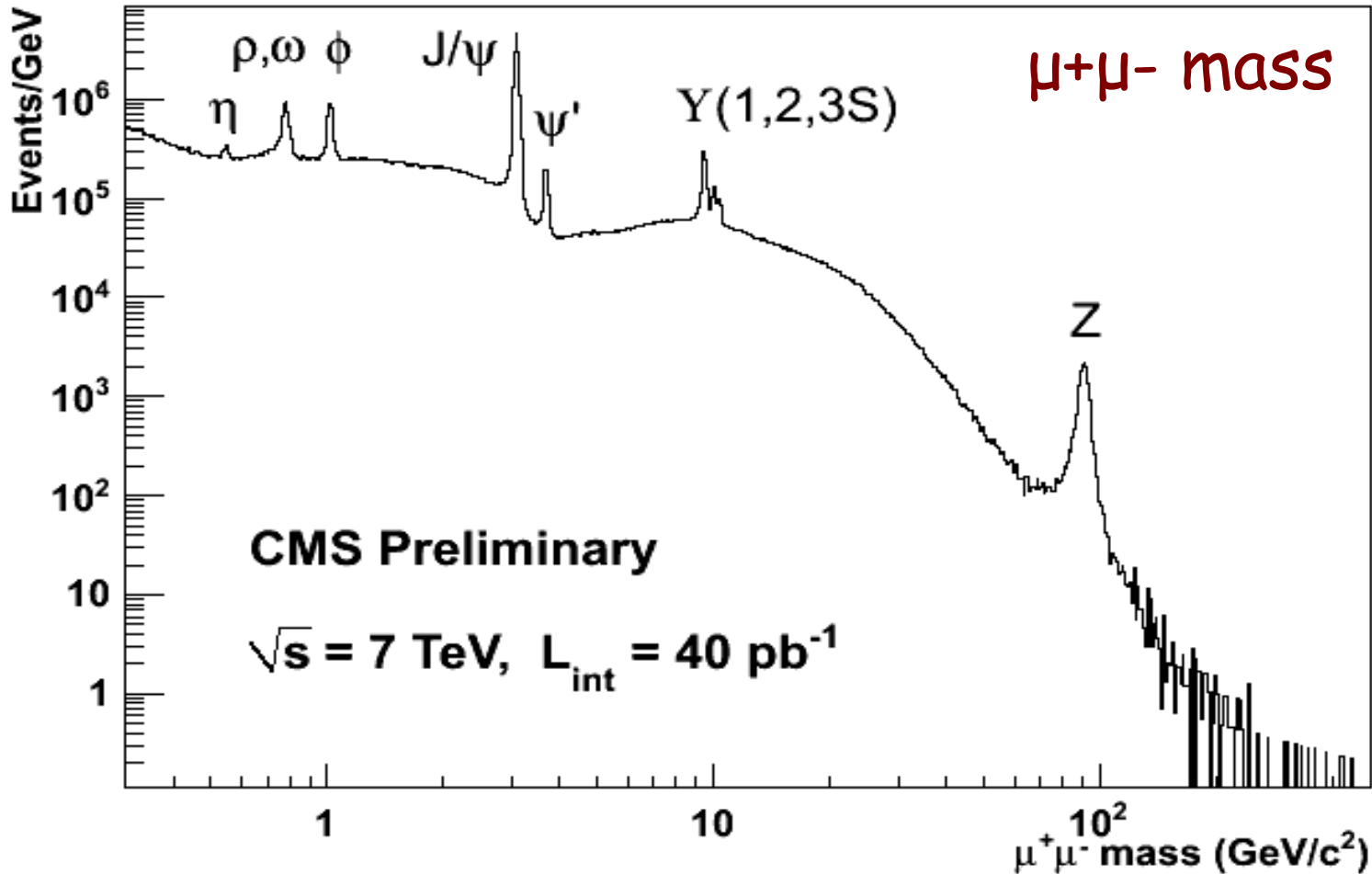
## Heavy Ion Collision Event



# Preso dati 2010



# La Riscoperta del Modello Standard

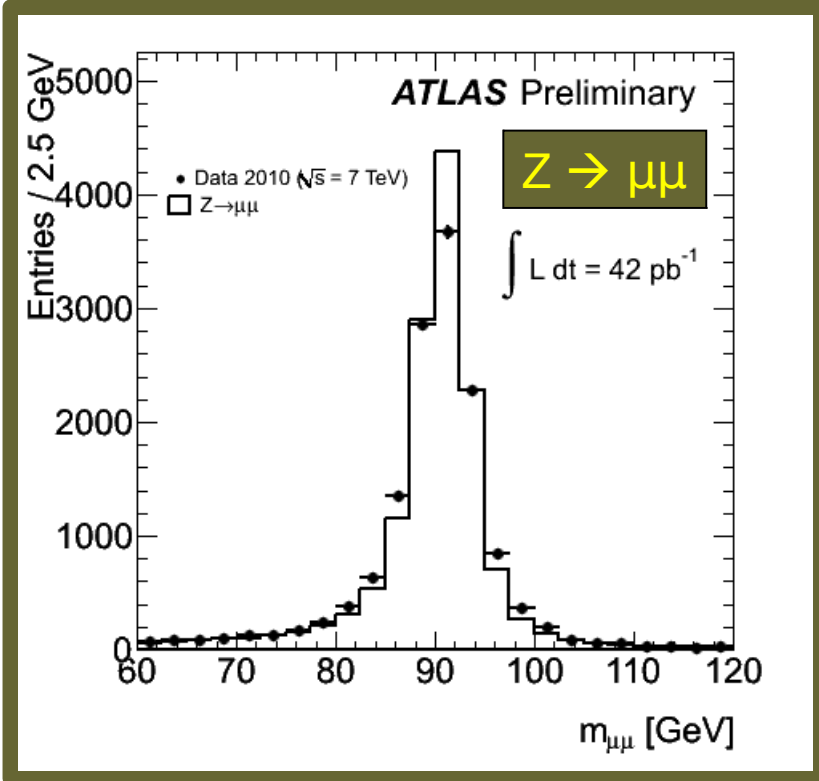




# W/Z

Canali di riferimento fondamentali (Z !) per capire:

- rivelatore
- selezione
- ricostruzione degli eventi



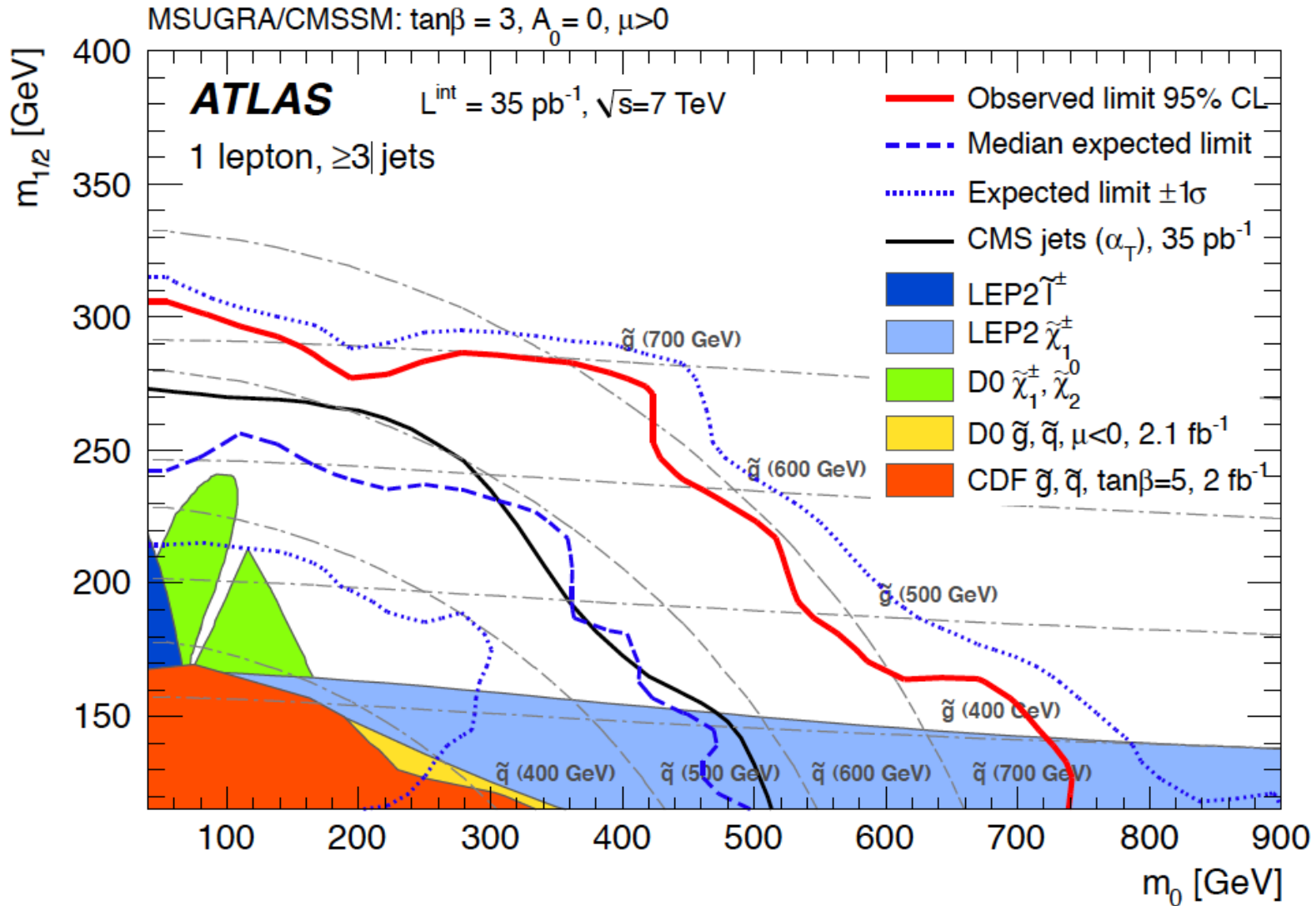
ATLAS 2010:

$\sim 250\text{k } W \rightarrow \mu\nu, e\nu$

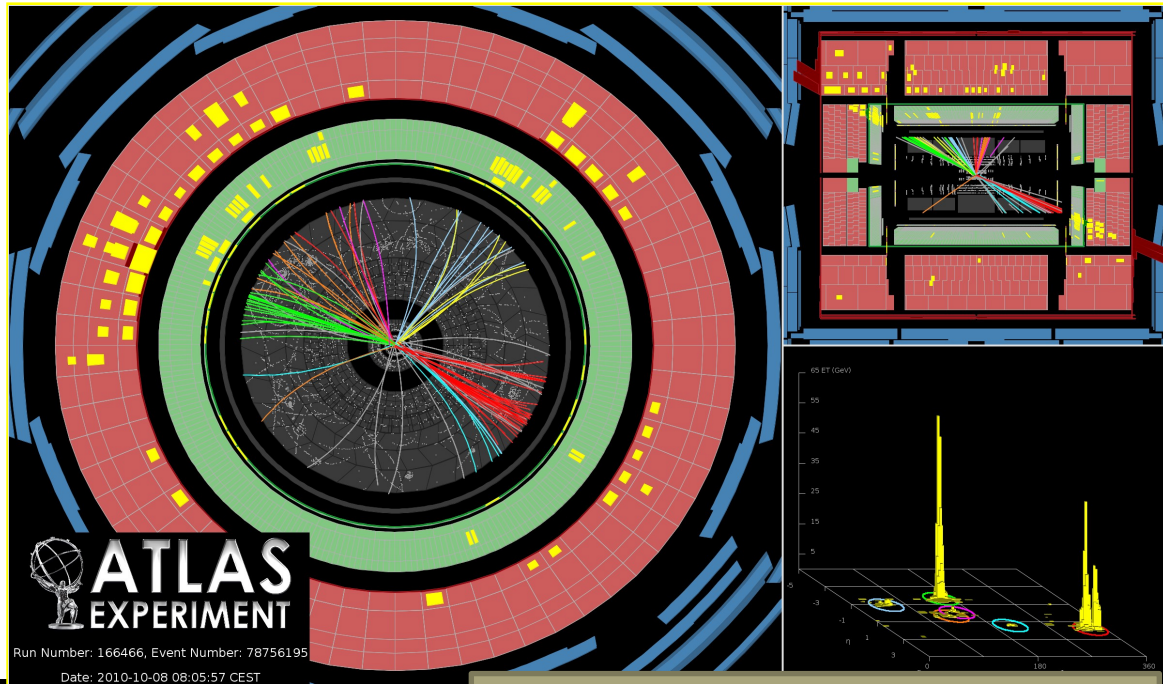
$\sim 23\text{k } Z \rightarrow \mu\mu, ee$

$\rightarrow 50$  volte meno di CDF o D0

# SuSy



# Notevoli ...

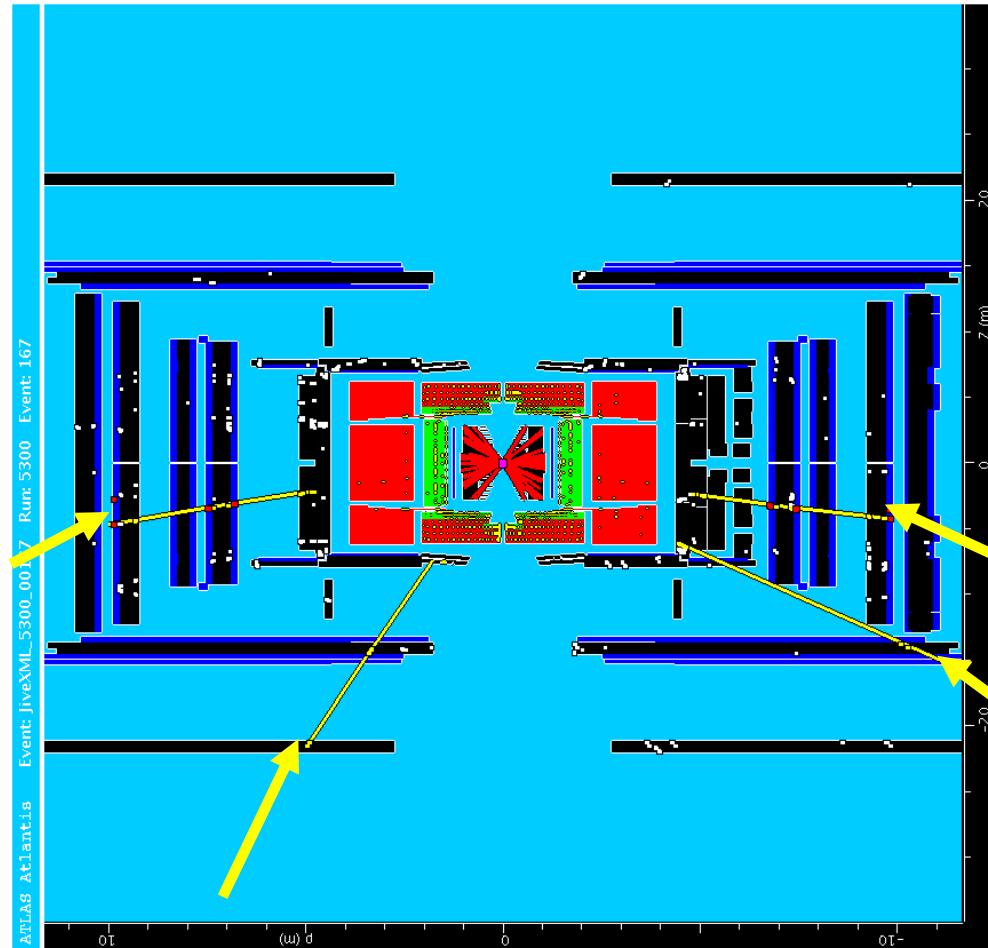
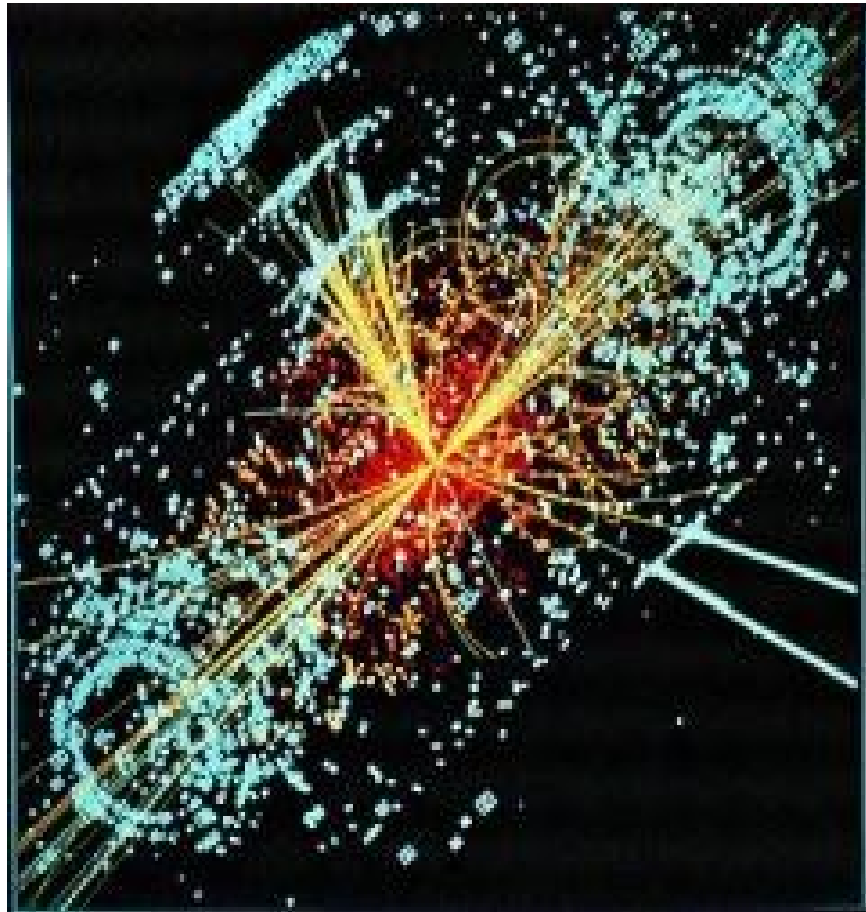


CMS  
il primo  $ZZ \rightarrow 4 \mu$

ATLAS  
2 jet  
Massa  $\sim 3.7$  Tev

# La Ricerca del Bosone di Higgs

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

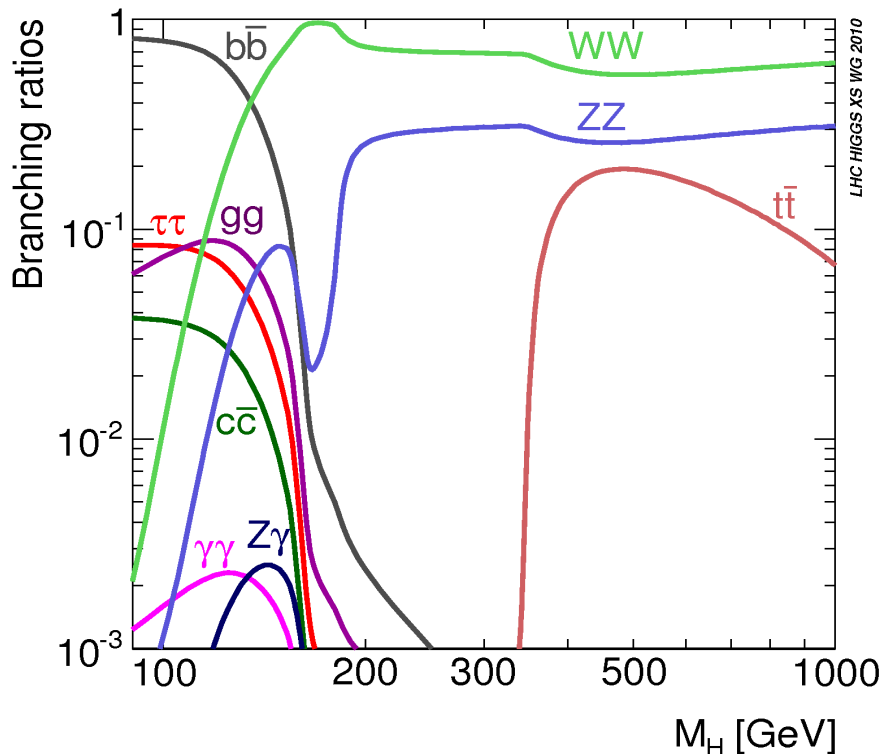


# Higgs ?

Ammesso che esista, non ne conosciamo la massa

- produzione e decadimento dipendono dalla massa
- ricerca in tutto l'intervallo possibile

## Decadimenti



Dati attuali favoriscono:  
 $M < 200 \text{ GeV}$

Canale più "facile":  
 $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \text{ "leptoni"}$

# Higgs $\rightarrow$ ZZ $\rightarrow$ 4 "leptoni"

- 2 coppie ( $e^+e^-$ ,  $\mu^+\mu^-$ )
- almeno una coppia con massa  $\sim Z$
- picco nella massa del sistema
- rapporto segnale/fondo buono

Serve statistica ma non così tanta !

# H → γγ

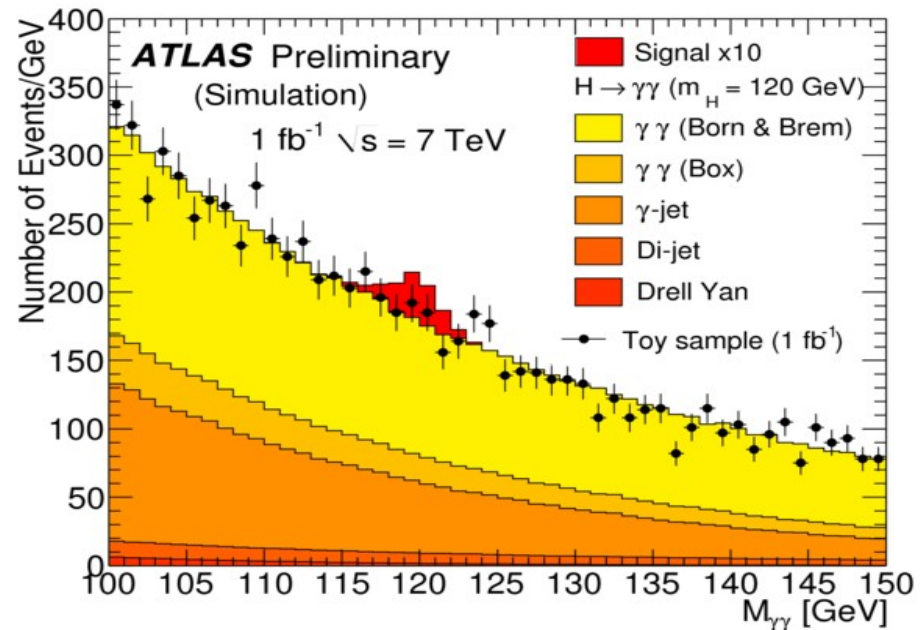
- miglior canale a bassa massa
- rapporto segnale/rumore comunque pessimo:
  - immaginate di cercare di riconoscere una nota musicale nella confusione di una fiera
- precisione di misura fondamentale

Necessari vari anni di presa dati:

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

**Prob(S > 5) < 3 \* 10<sup>-7</sup>**

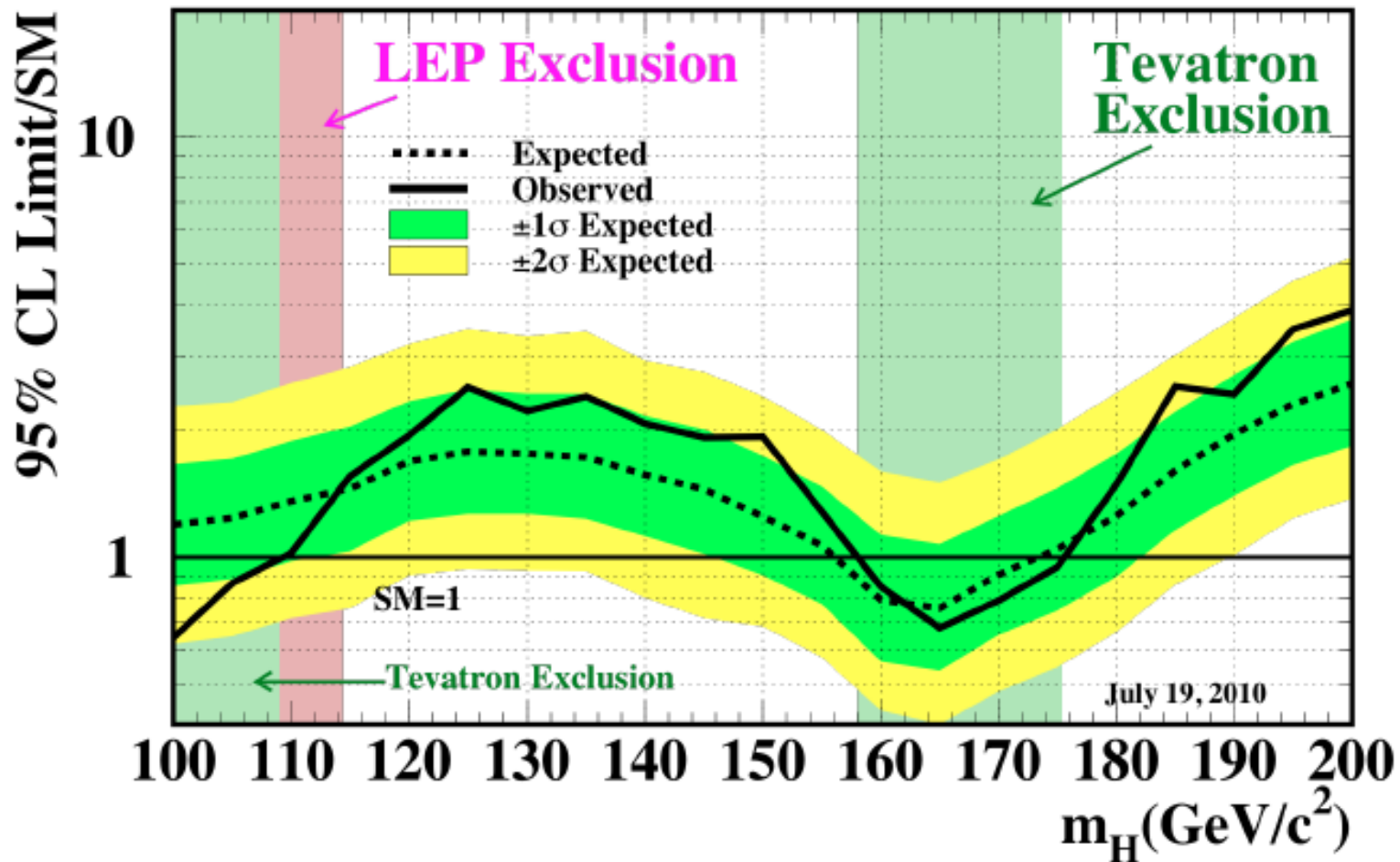
**→ Scoperta**



# cosa sappiamo in questo momento ...

limiti da Lep e da Tevatron

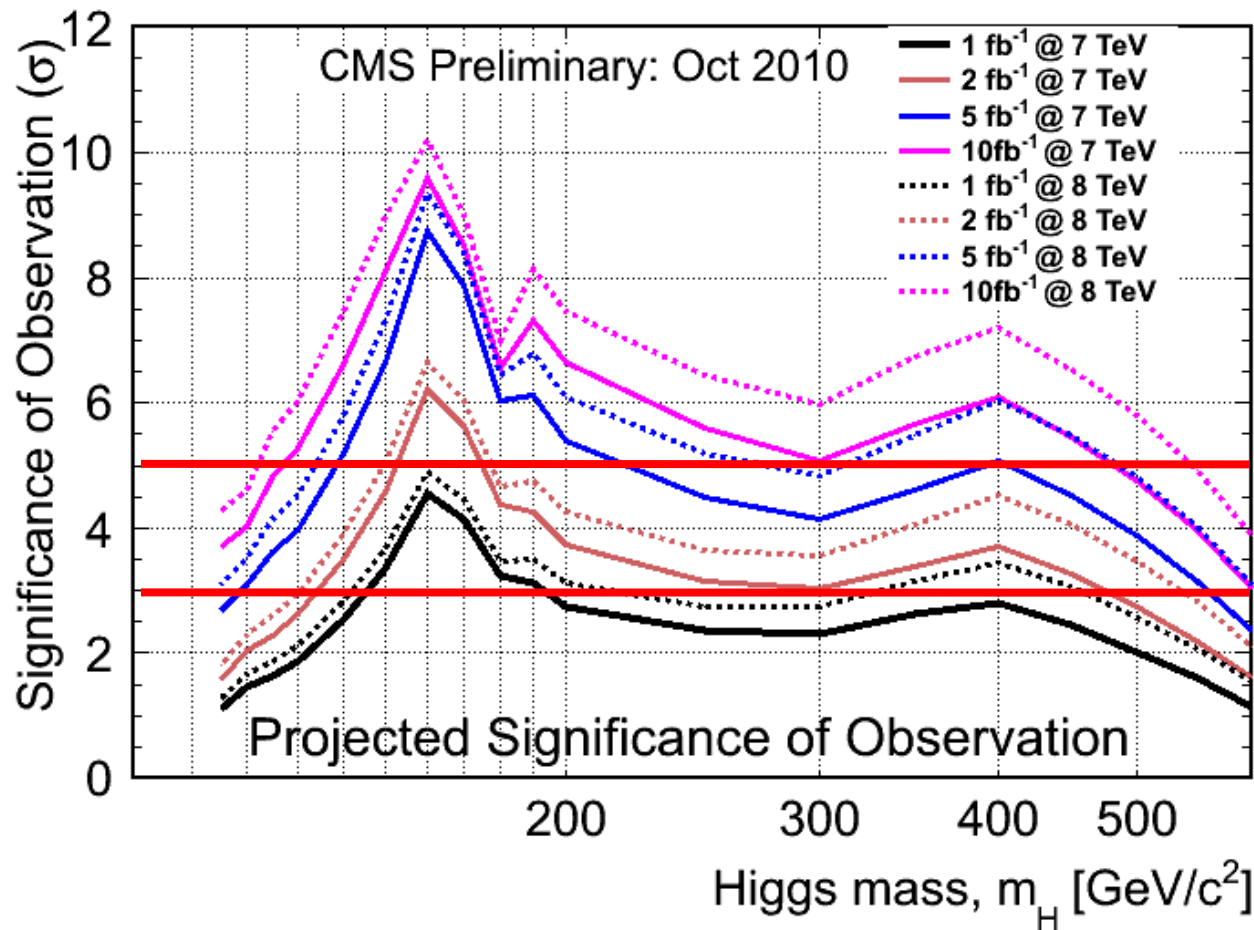
Tevatron Run II Preliminary,  $\langle L \rangle = 5.9 \text{ fb}^{-1}$





# 2011

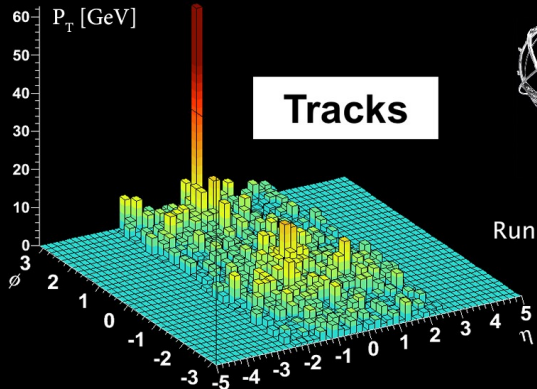
Scoperta ?  
... dipende ...



scoperta

osservazione

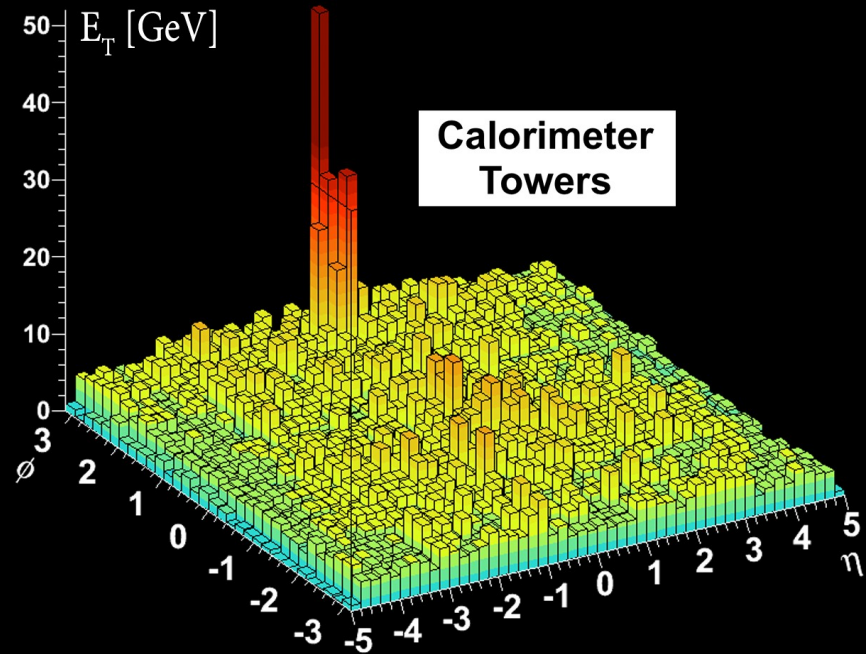
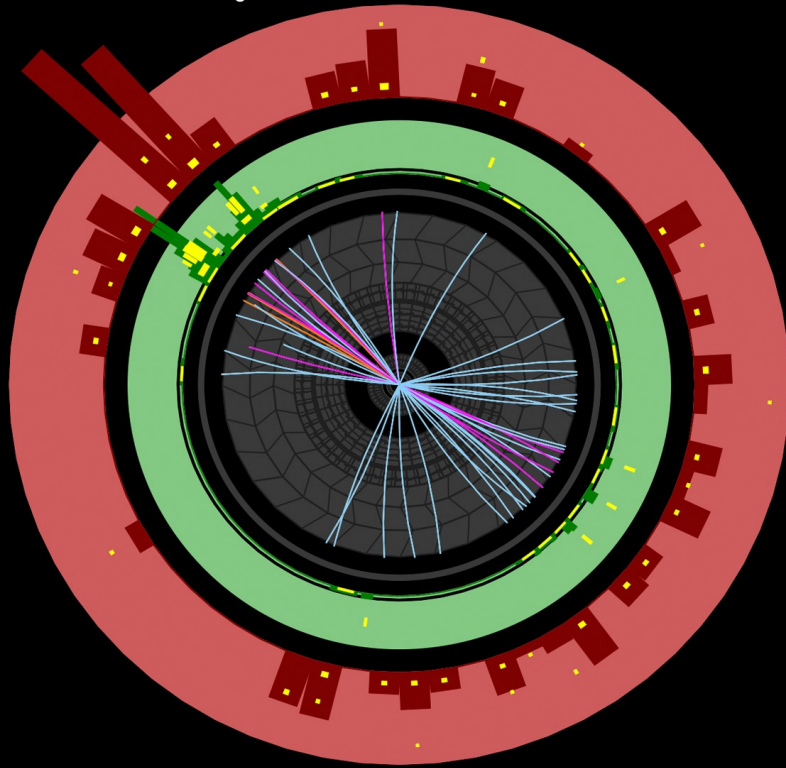
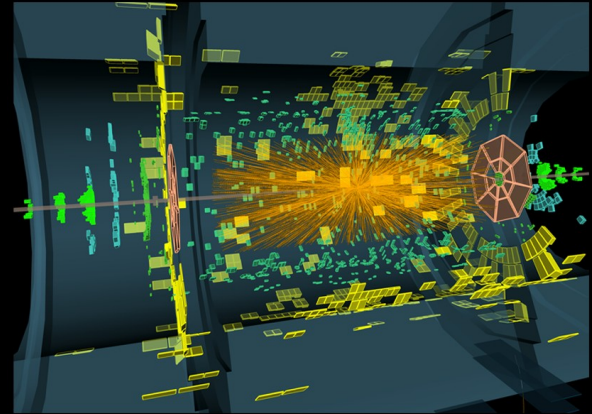
# Evento pb-pb asimmetrico



**ATLAS**  
EXPERIMENT

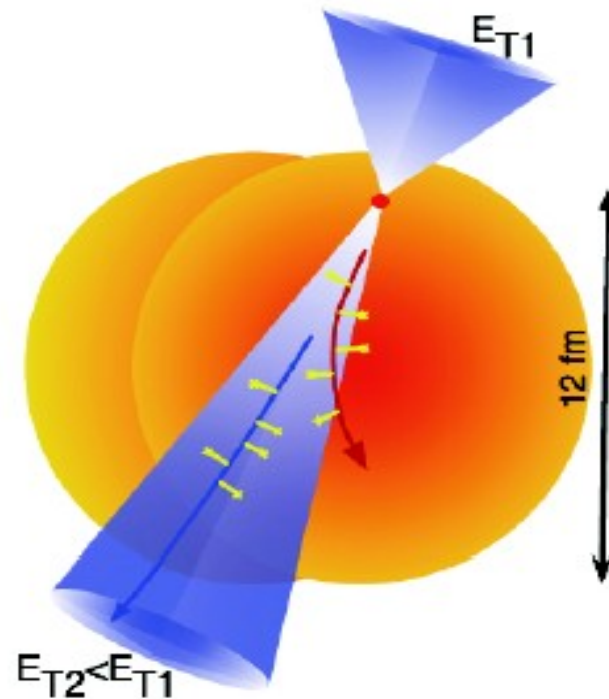
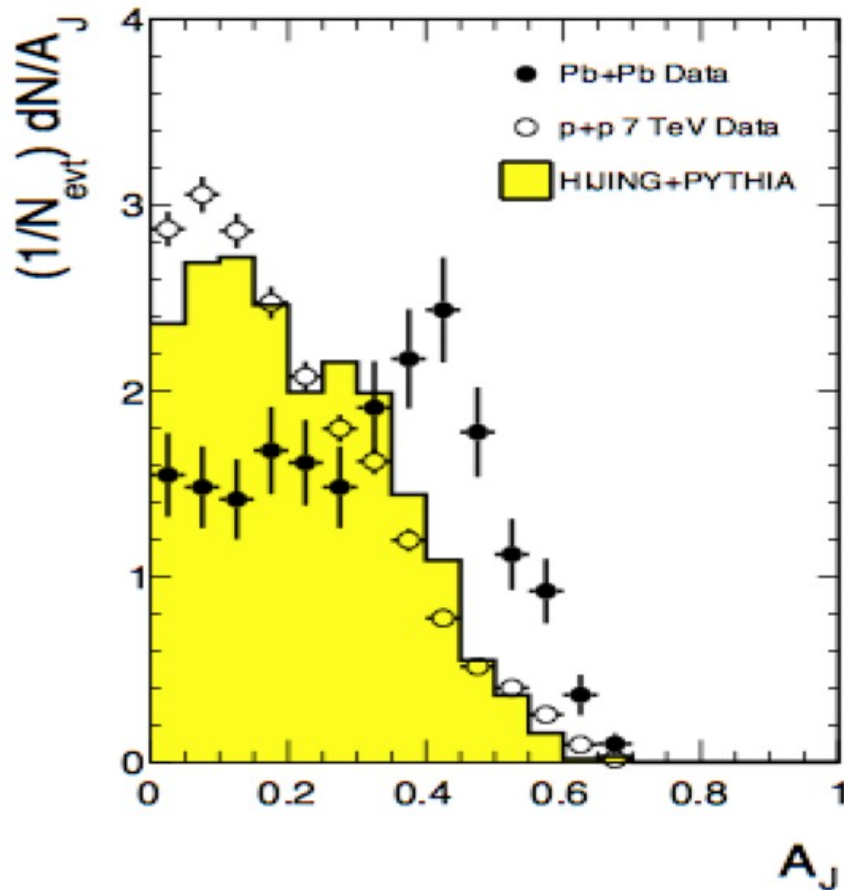
Run Number: 169045, Event Number: 1914004

Date: 2010-11-12 04:11:44 CET



# Il mondo ai tempi del big-bang

Asimmetria → "soffocamento" di un jet  
→ plasma di quark e gluoni



## 5. effetti collaterali

# A che serve la ricerca fondamentale?

Possibile risposta:

“Non ha nulla a che fare direttamente con la difesa militare del nostro paese, se non per il fatto che lo rende degno di essere difeso.”

**un paio di 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.

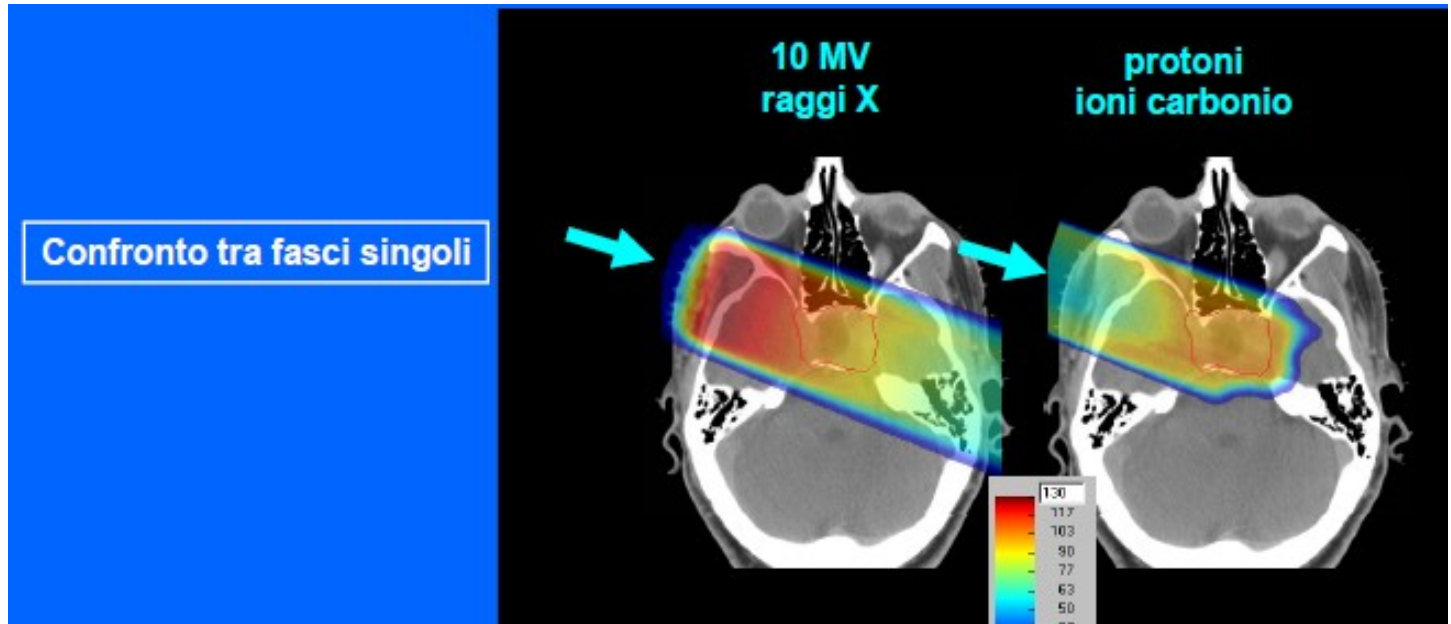
Copyright CERN 2008 - [Web Communications](#), DSU-CO

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

# Adroterapia Oncologica



**Vantaggi  
Macroscopici:**



# 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, ...

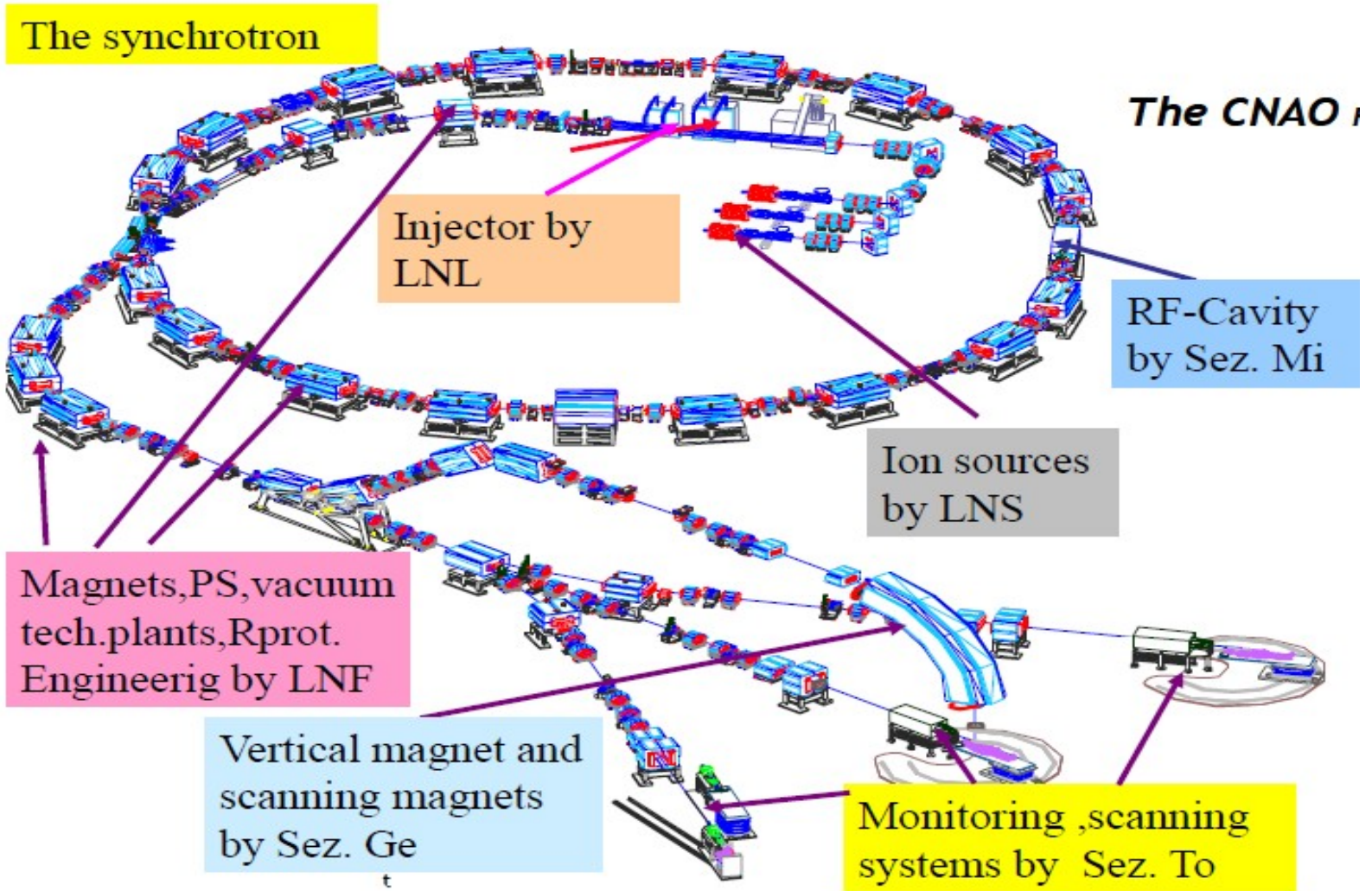
3 sale, ~20000 sedute per ~3000 pazienti l'anno

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

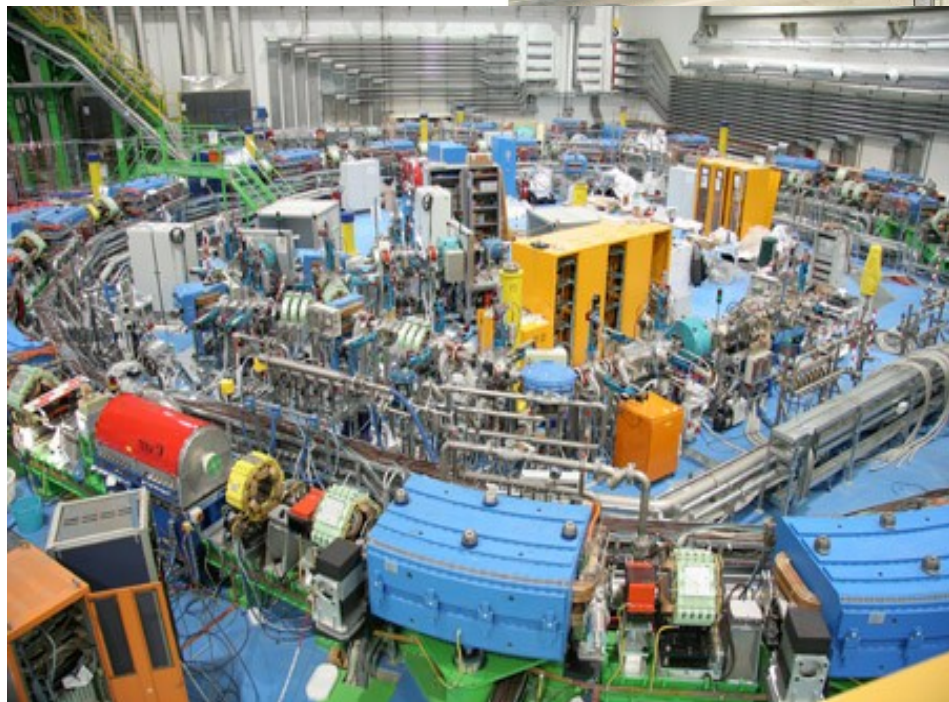
Centro simile in costruzione in Austria (in collaborazione con CNAO, INFN, CERN, ...)



# 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 diapositive)  
all'indirizzo:

<http://www.pv.infn.it/~ferrari/bologna180411.html>

# 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)

# 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

# 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 ]

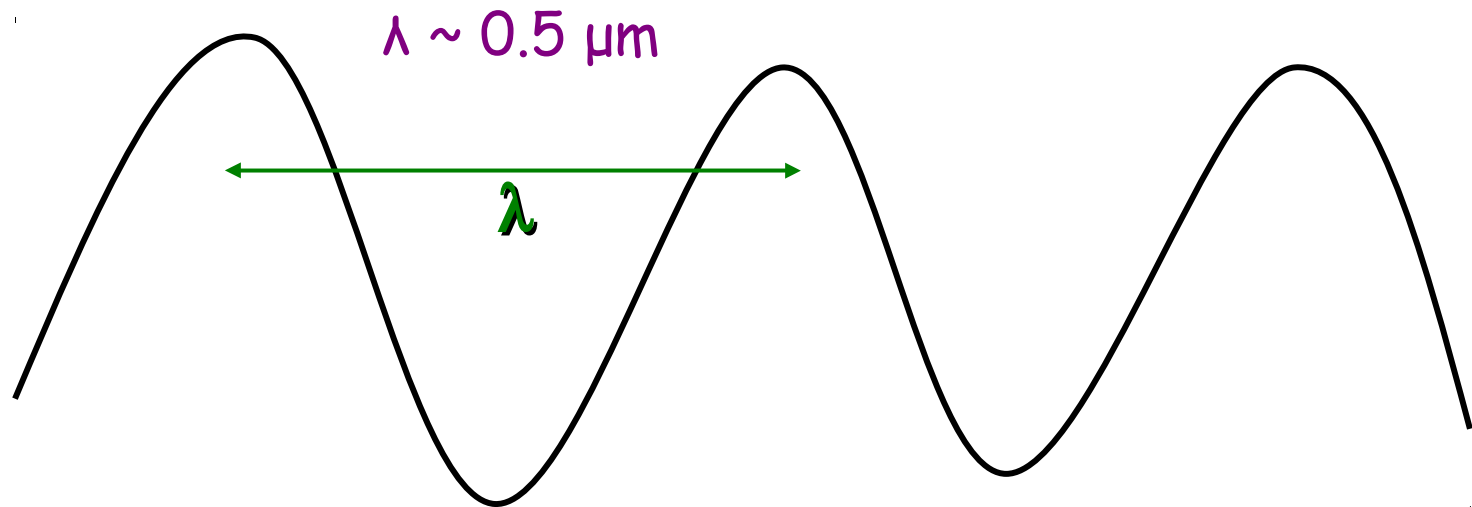
$10^{27}$  eV ~ 5 litri di benzina

# 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 !

# Osservare le Particelle

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

per investigarne la struttura

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

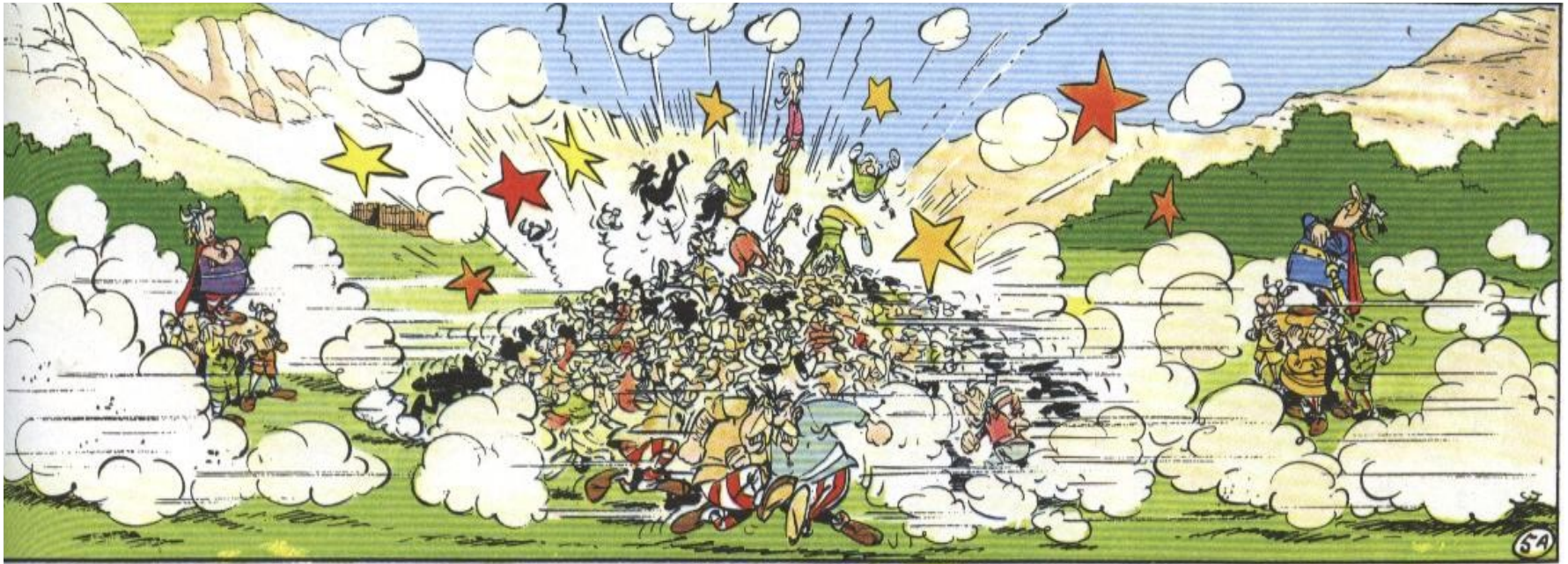
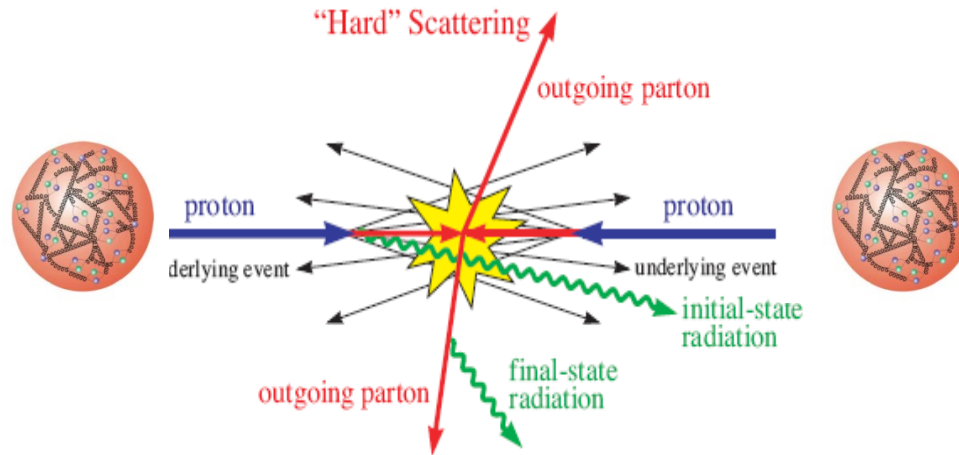
massa protone ( $E = mc^2$ )  $\sim 1000 \text{ MeV}$

ovvero

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

Per capire come è fatto un protone, bisogna romperlo

# Urti Profondamente Inelastici



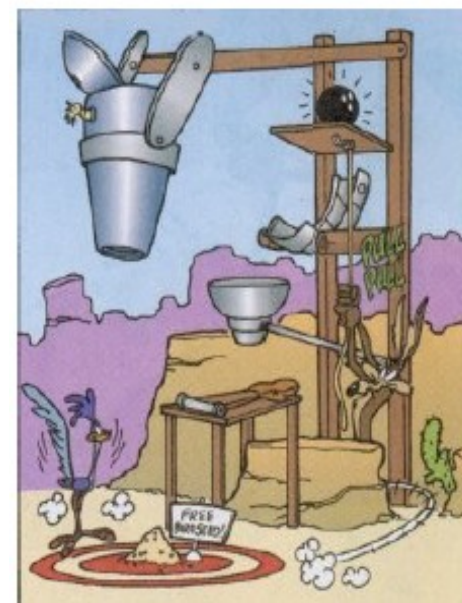


# Il futuro prossimo (?)

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"

# L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

## 5 linee di ricerca:

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

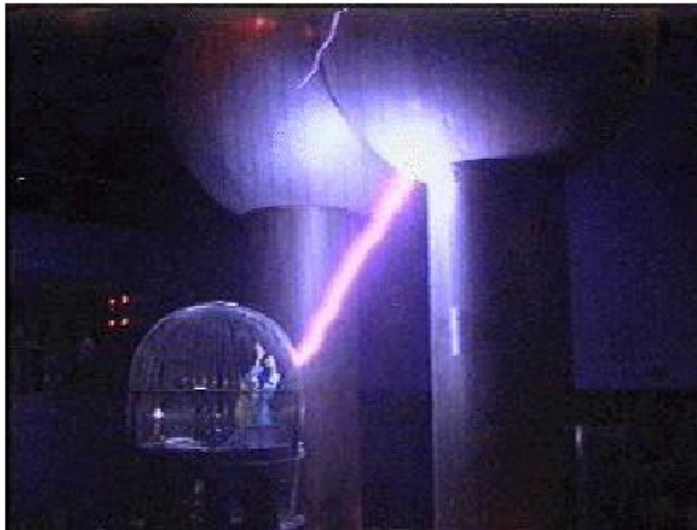
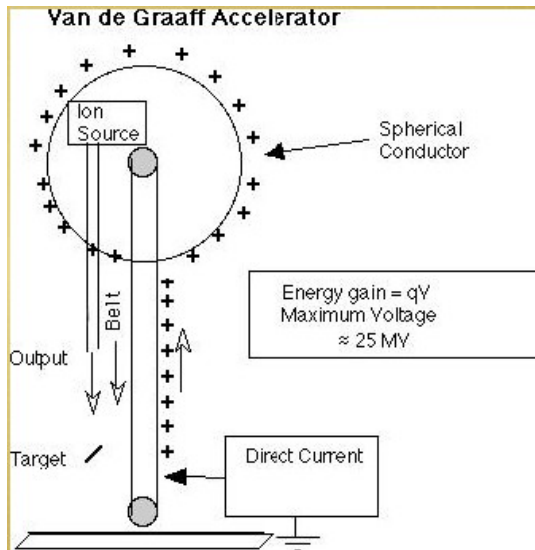
2: astro-particelle (raggi cosmici)

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

4: fisica teorica

5: ricerca tecnologica

# Acceleratore Van De Graaff (1958)



# II CERN

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

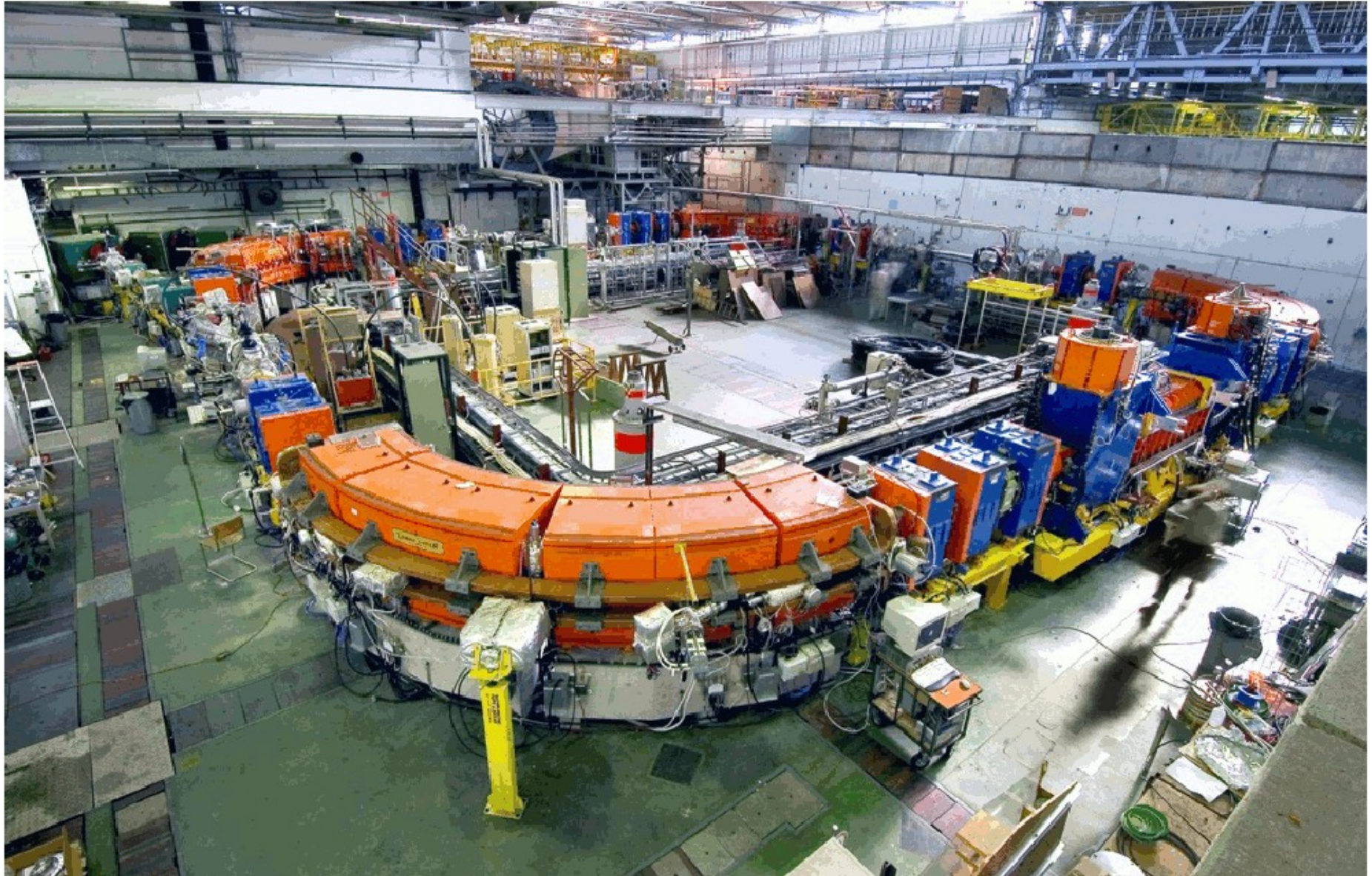
Laboratorio (ma non solo) di ricerca europeo per la fisica delle particelle →  
piu' grande del mondo nel settore

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%)

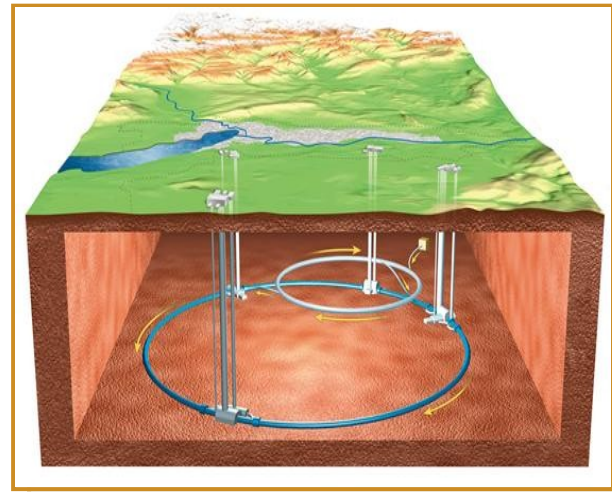
# Low Energy Ion Ring

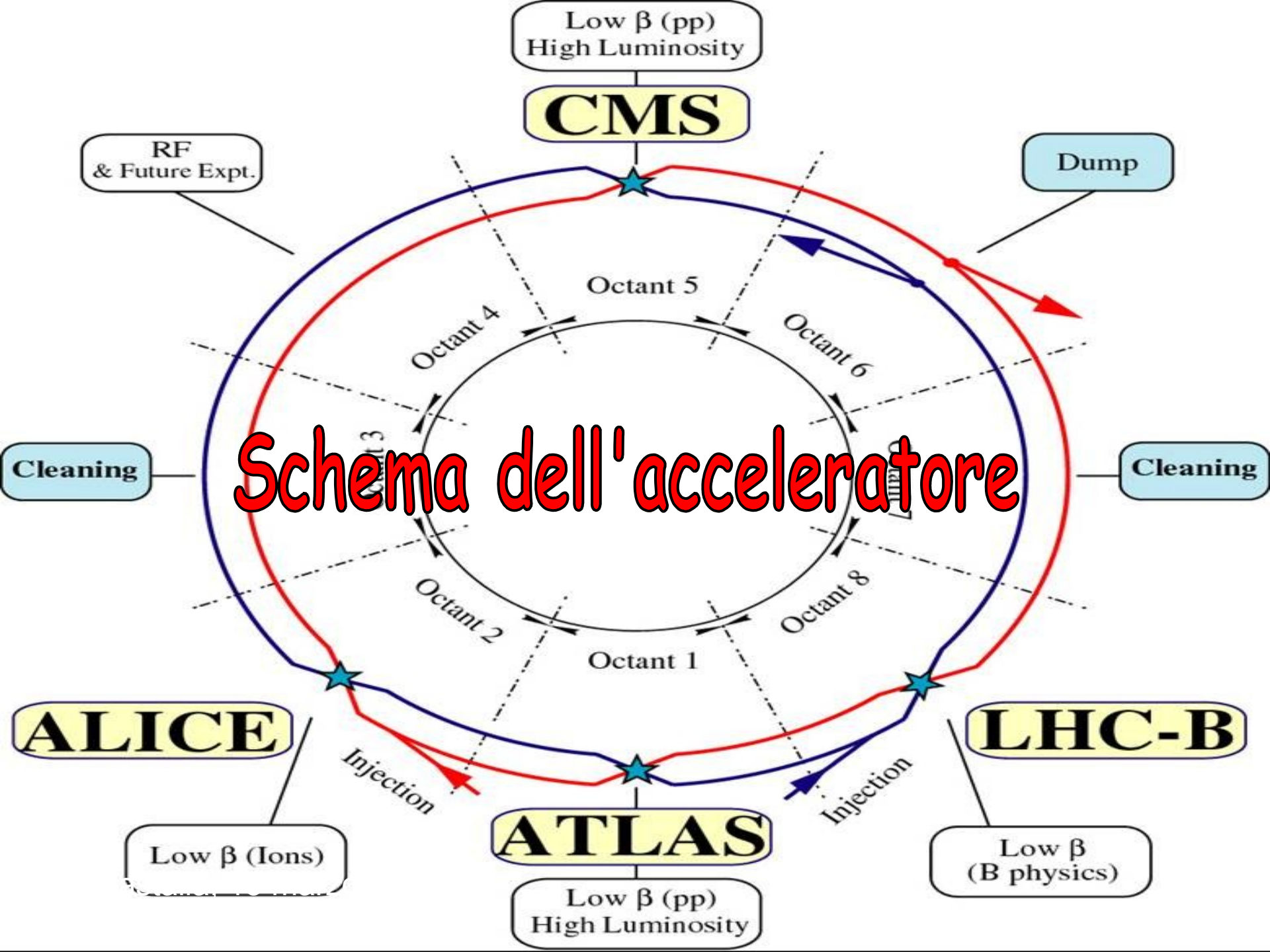


# LHC

- 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







# Qualche numero di LHC ...

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

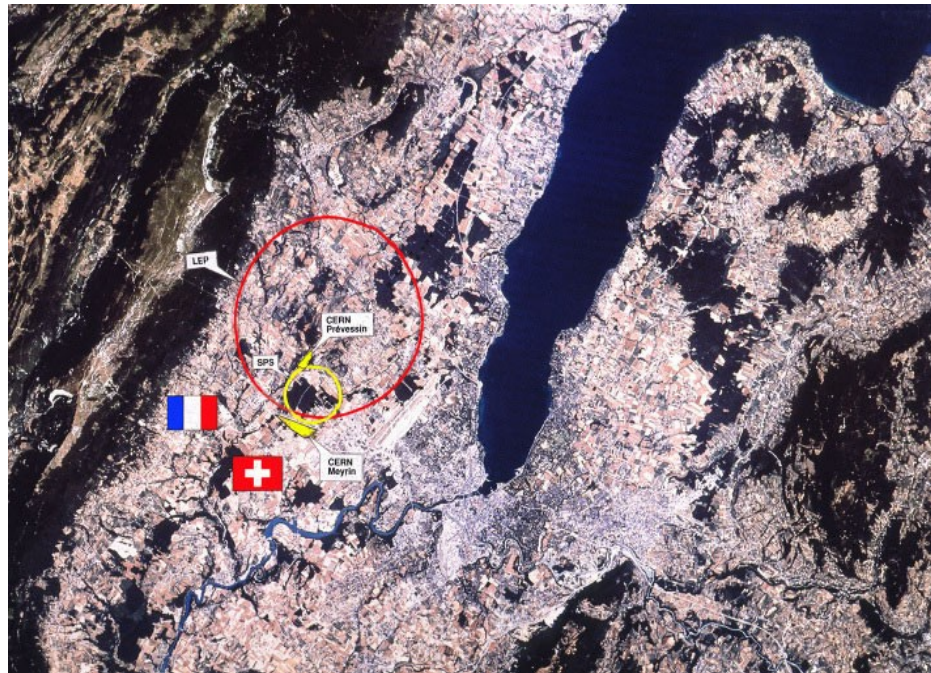
Energia nei fasci di LHC (350 MJ):  $\sim$  quella di un TGV a 150 km/h  
sufficiente a fondere 500 kg di rame

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



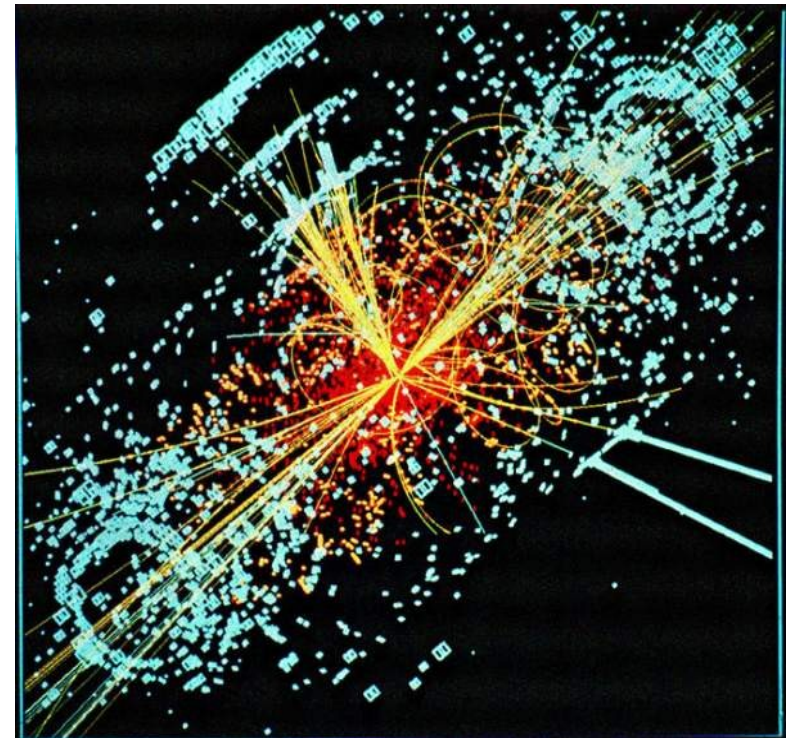
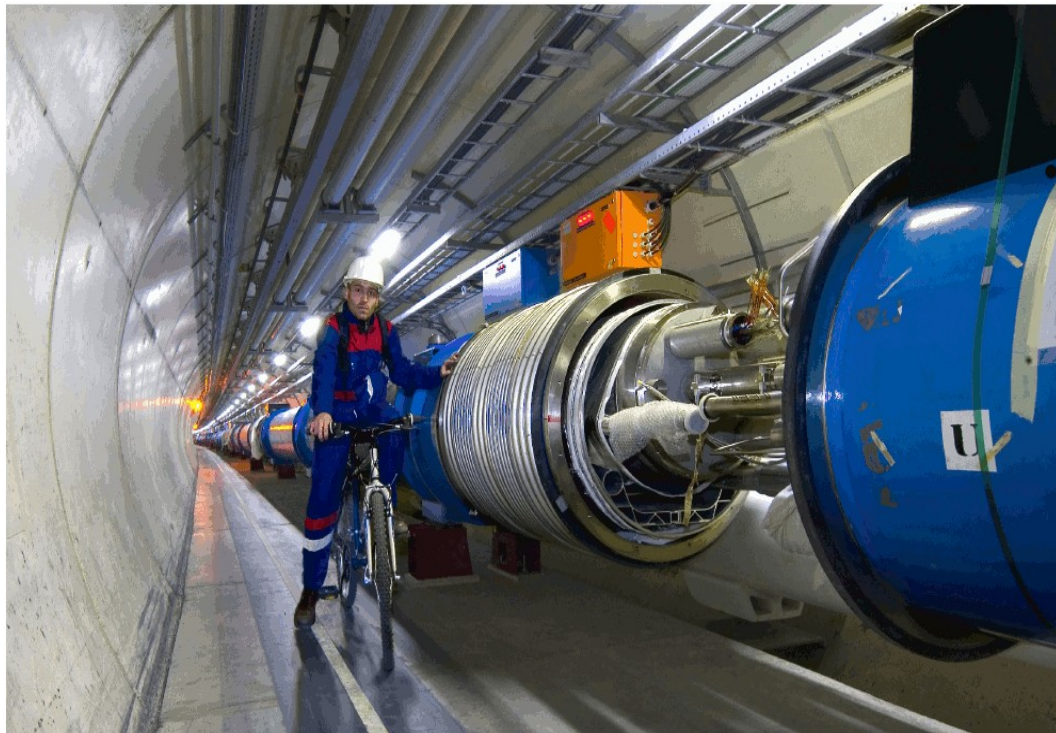
[pubblicità]

## 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

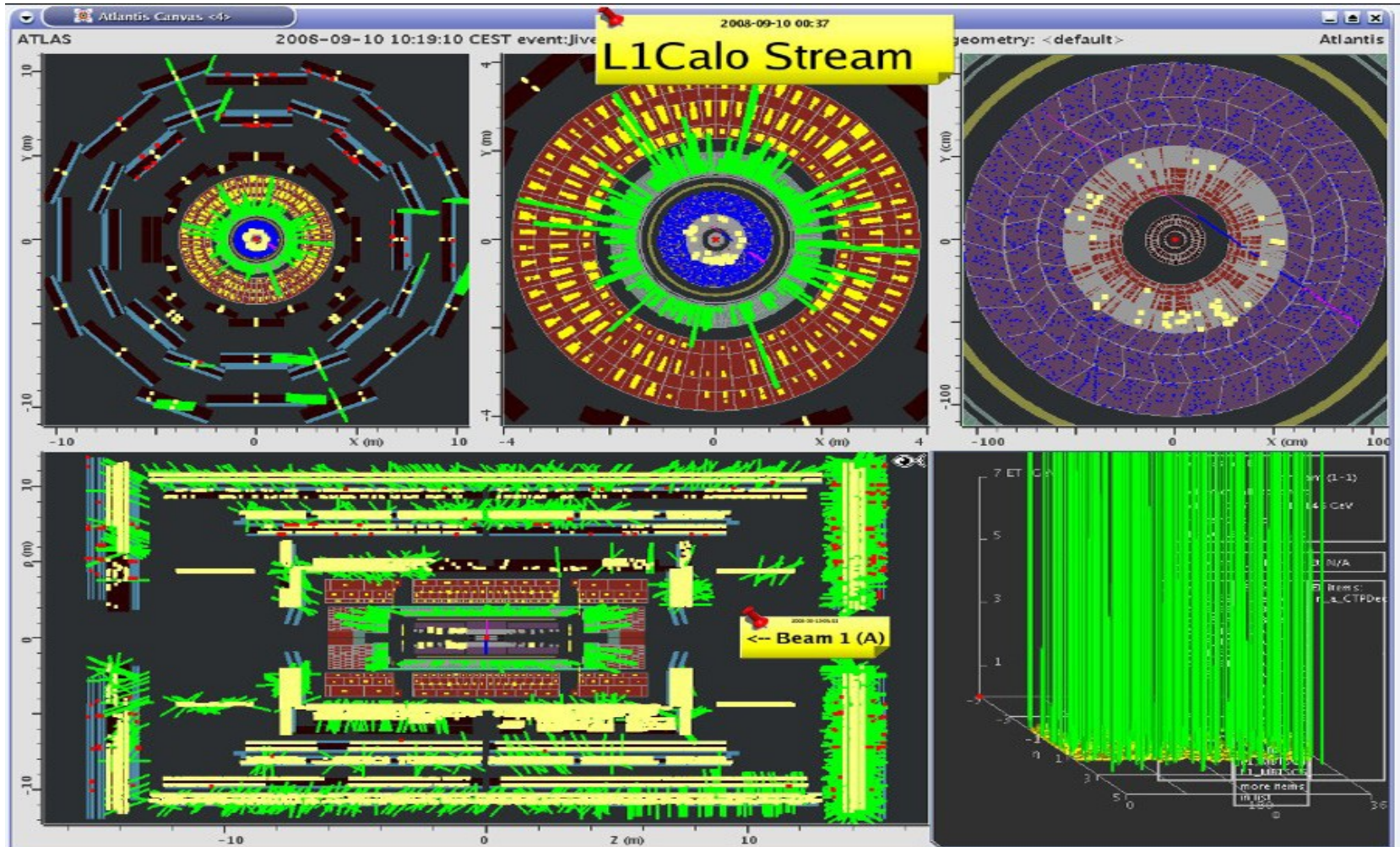
GRID: accesso a risorse di calcolo e di archiviazione dati distribuite su tutto il pianeta



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



# Evento n. 1



# Lhc, la riparazione

## I NUMERI DI LHC



Circonferenza del tunnel	26.659 metri
Magneti	9.593
Dipoli	1.232
Quadrupoli	392
Interconnessioni	2.000

## LA MAPPA DEGLI INTERVENTI

- Installazione nuove porte per fuoriuscita elio
- Miglioramento del sistema di protezione dei magneti
- Pulizia del tubo a vuoto del fascio
- Sostituzione dei magneti dipoli e quadrupoli e riparazione interconnessioni elettriche
- Anello LHC



## LA RIPARAZIONE DI LHC IN DETTAGLIO

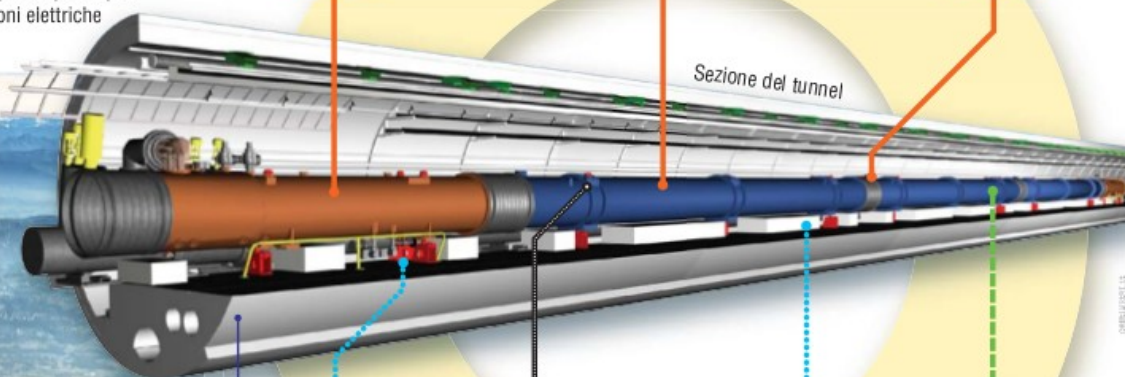
14 magneti quadrupoli sostituiti



39 magneti dipoli sostituiti



204 interconnessioni riparate



Sezione del tunnel

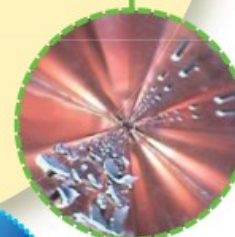
GINEVRA



Luogo dell' incidente



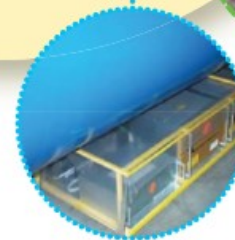
Nuovo sistema di contenimento longitudinale per 50 magneti quadrupoli



Pulizia di oltre 4 km di tubo a vuoto del fascio



Circa 900 nuove porte per fuoriuscita dell'elio installate nella macchina



6500 nuove carte elettroniche aggiunte al sistema di protezione dei magneti, con 250 km di cavi posizionati



# LHC - Problemi da risolvere

... oltre alle giunzioni nel circuito superconduttore

1) UFO (oggetti cadenti non identificati):

provocano improvvise perdite del fascio

probabilmente polvere nella beam-pipe

2) Nuvole di elettroni:

si formano quando pacchetti di protoni sono vicini

limitano il numero di pacchetti nella macchina

**Per entrambi, esistono soluzioni note**

# I Sotto-Rivelatori

Interazione particelle-materia dipende dal tipo di particella:

Cariche leggere: elettroni

Neutre leggere (1): fotoni

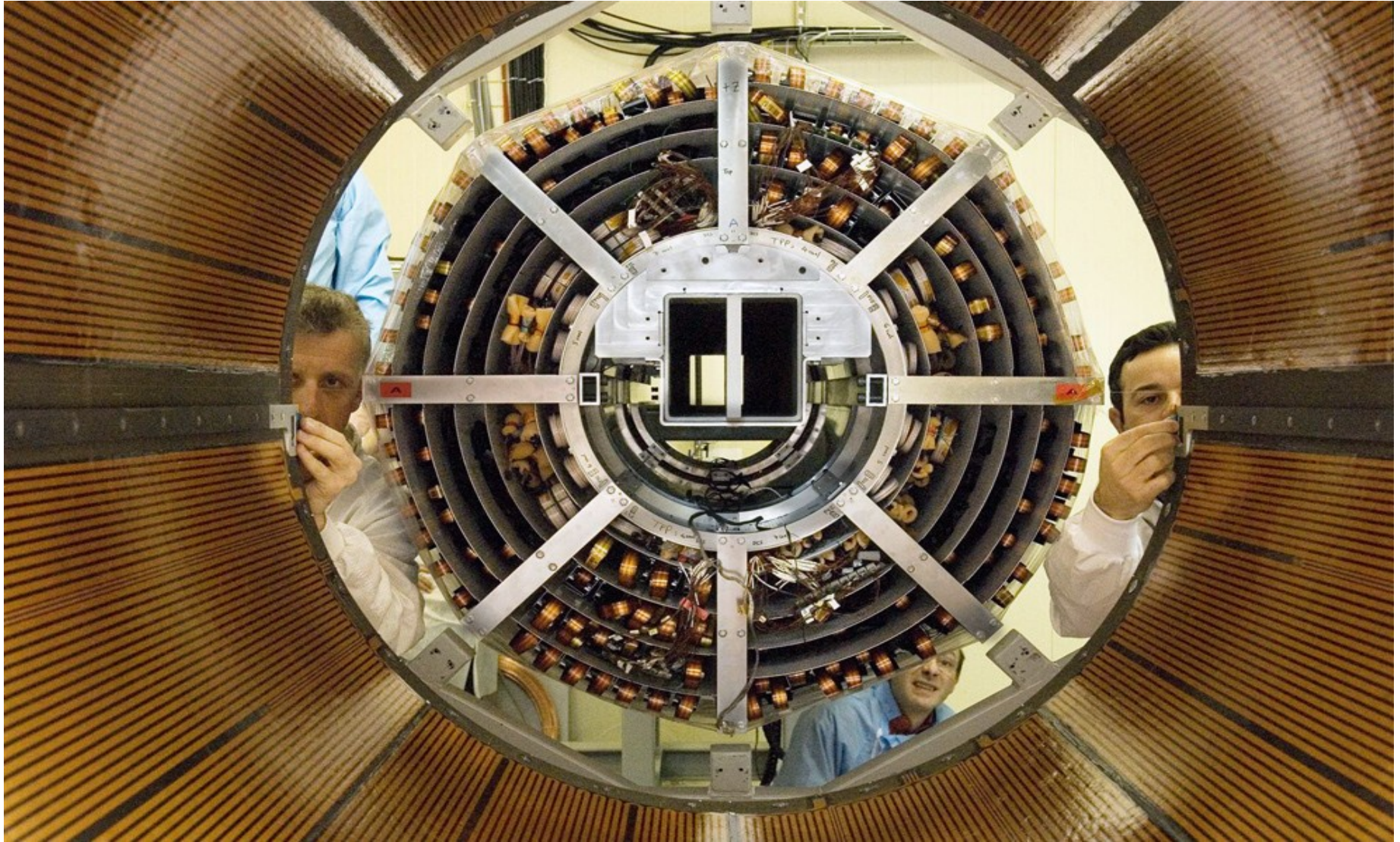
Neutre leggere (2): neutrini, neutralini (?)

Cariche pesanti (1): protoni, mesoni carichi

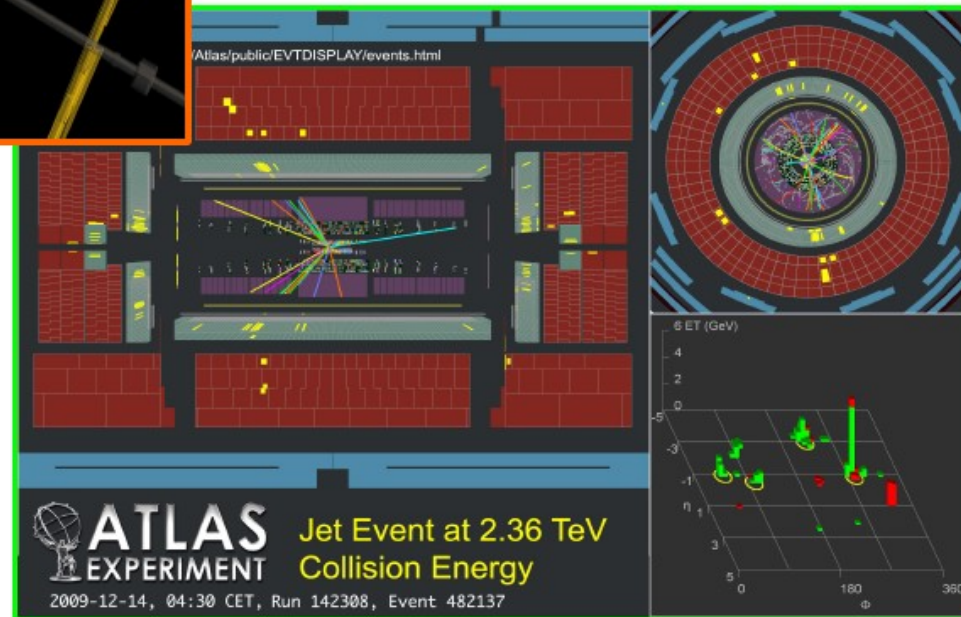
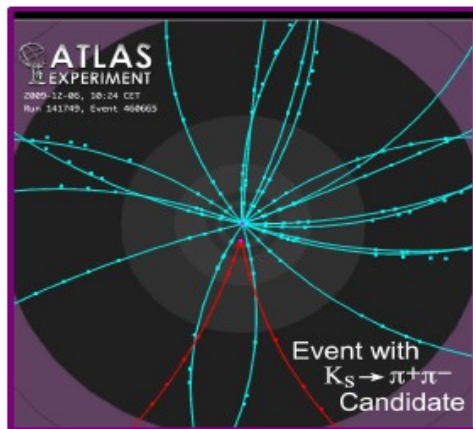
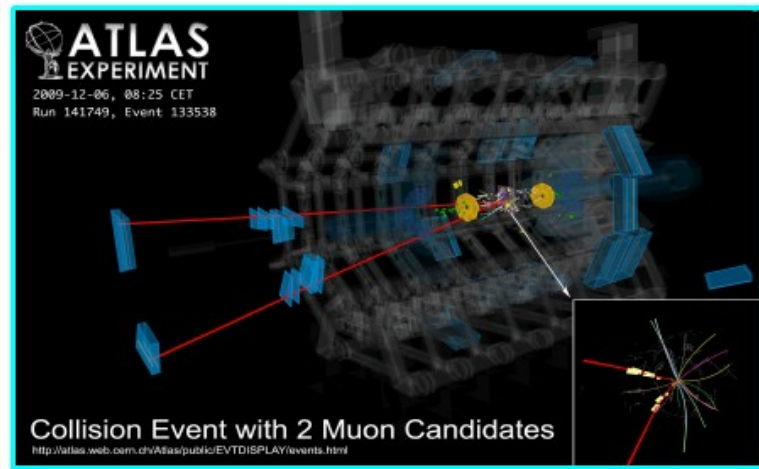
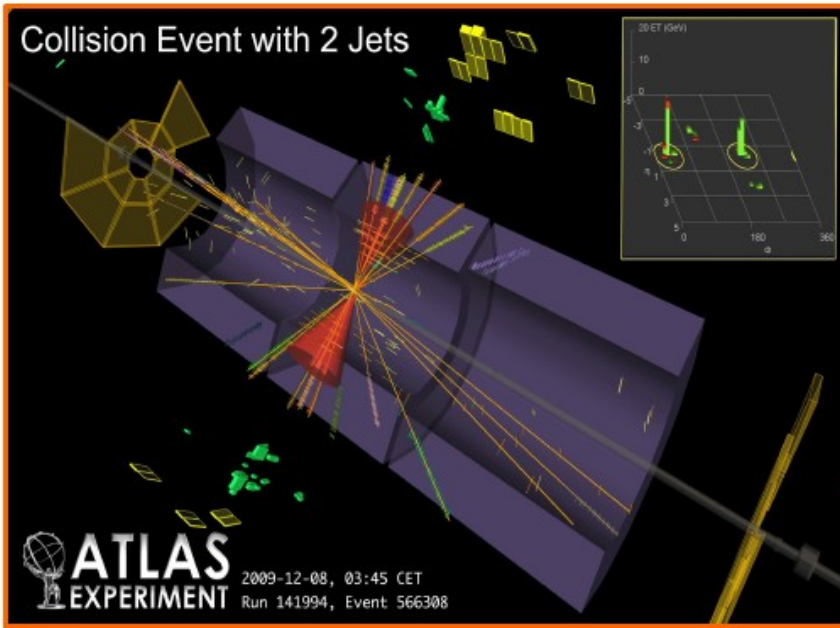
Cariche pesanti (2): muoni

Neutre pesanti: neutroni, mesoni neutri

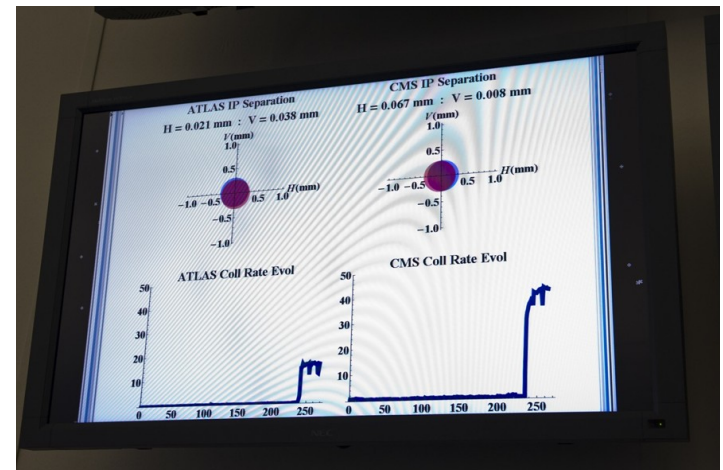
# SCT + TRT



# Le Prime Collisioni

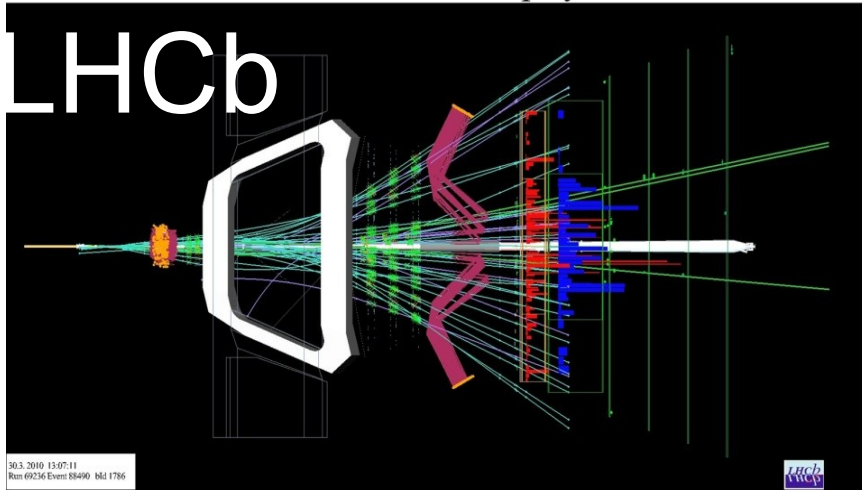


# 30 marzo 2010

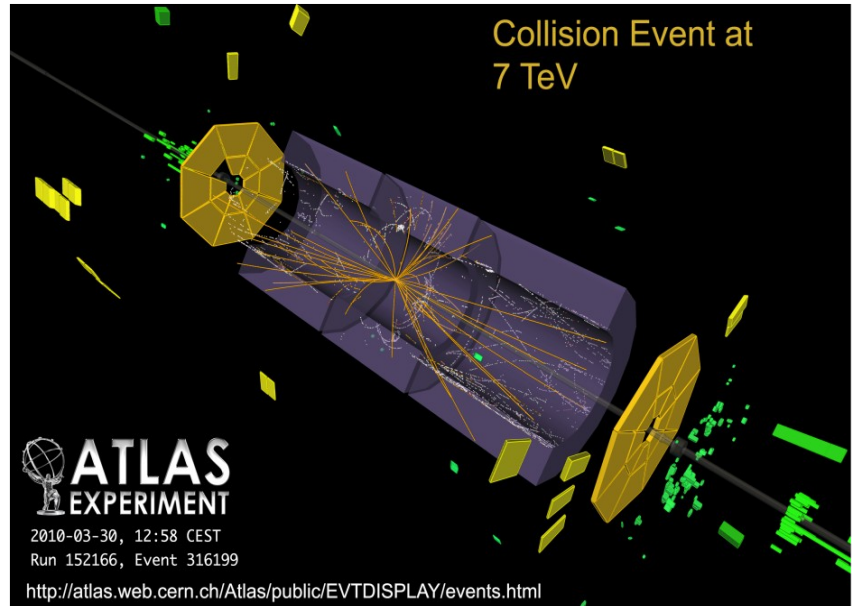


# prime collisioni a 7 TeV

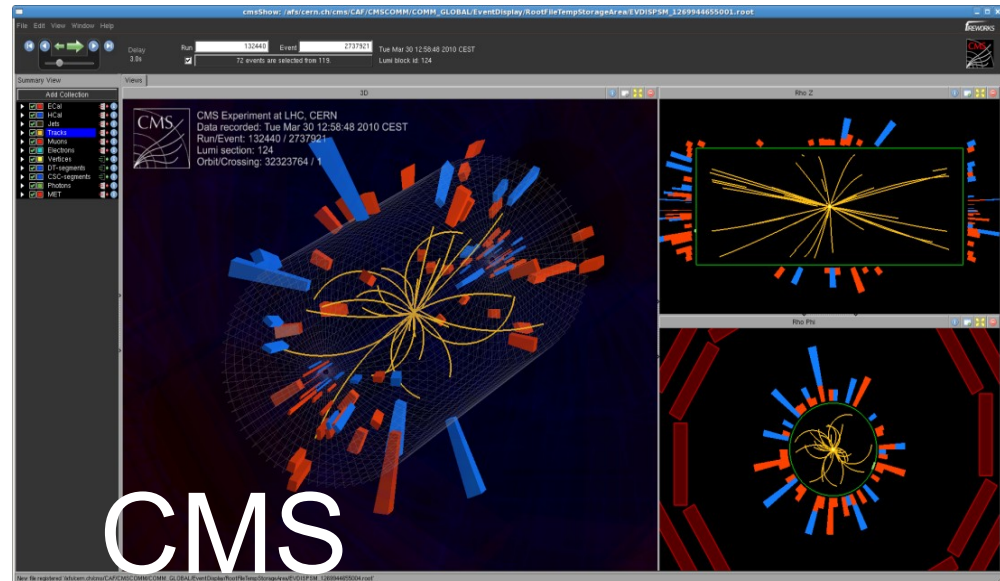
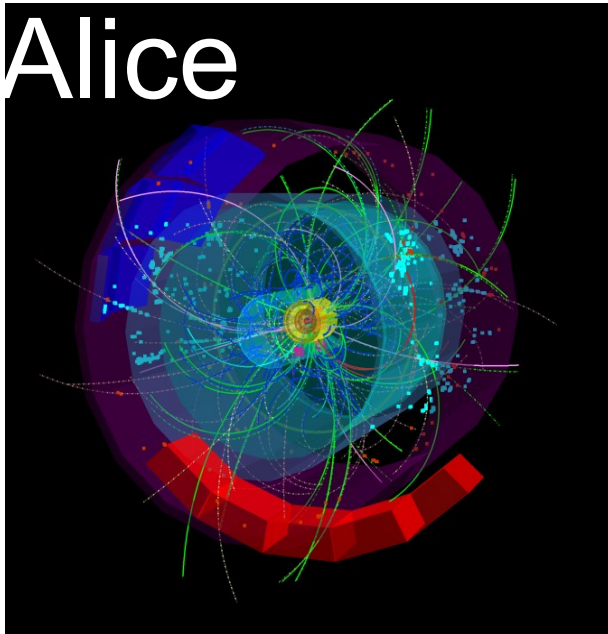
LHCb Event Display



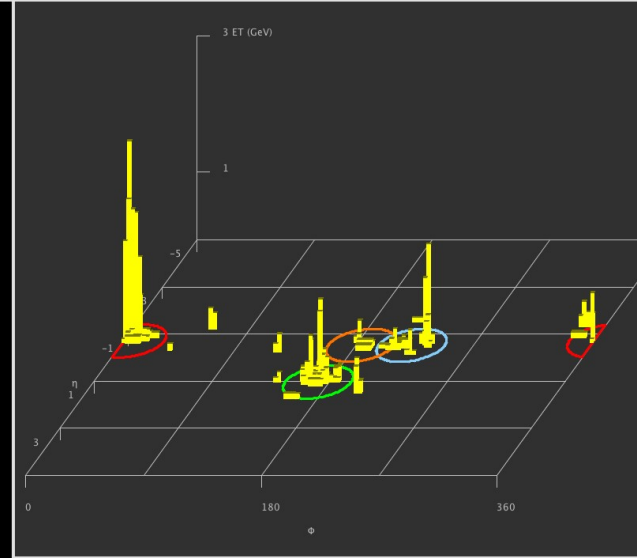
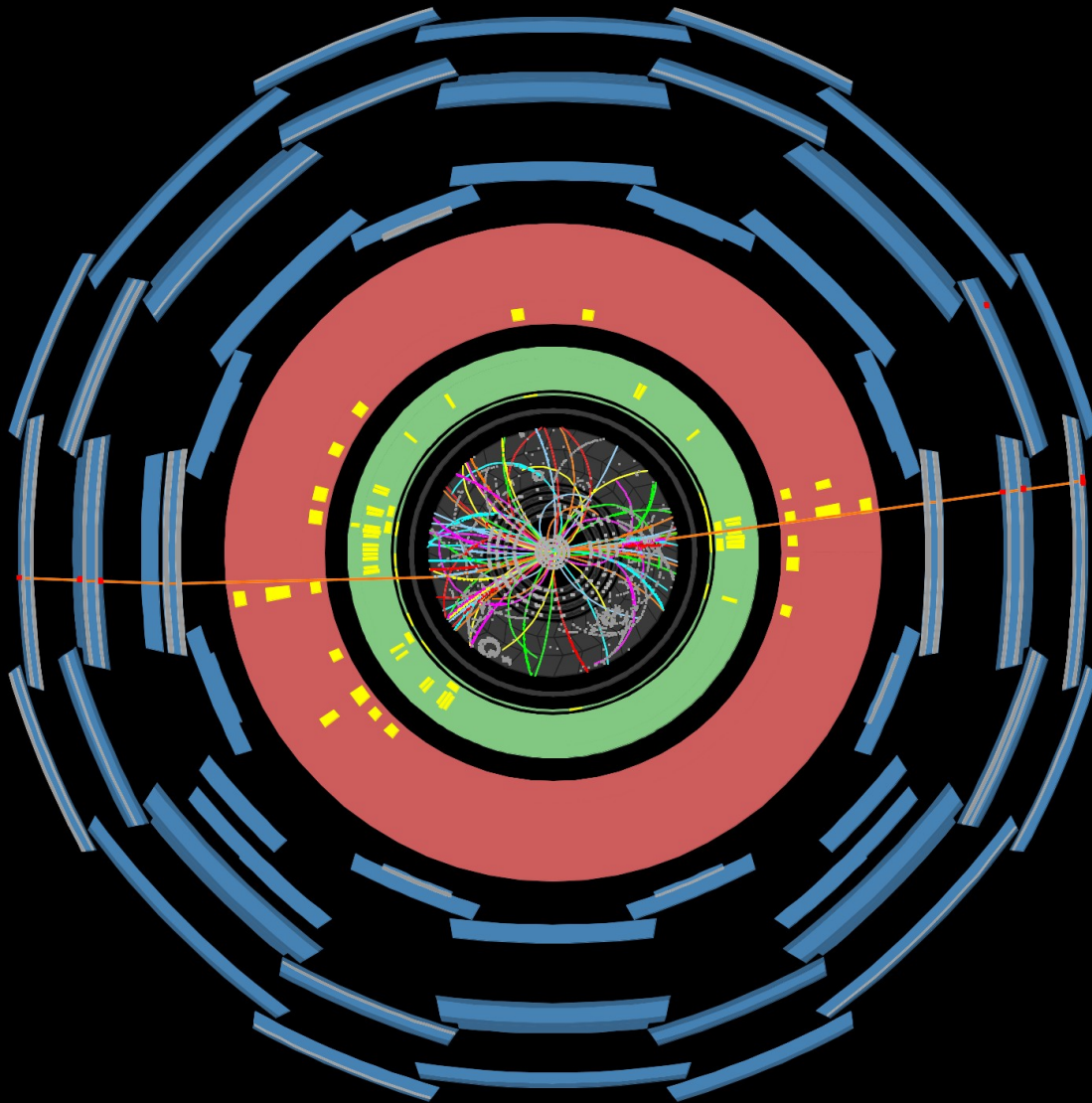
Collision Event at 7 TeV



Alice



# Evento con 2 Muoni e Getti



Run Number: 152166, Event Number: 890572

Date: 2010-03-30 15:19:40 CEST

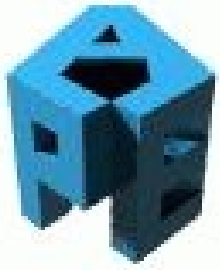
**7 TeV Event with  
Jets and 2 Muons**

# *Les Horribles Cernettes*

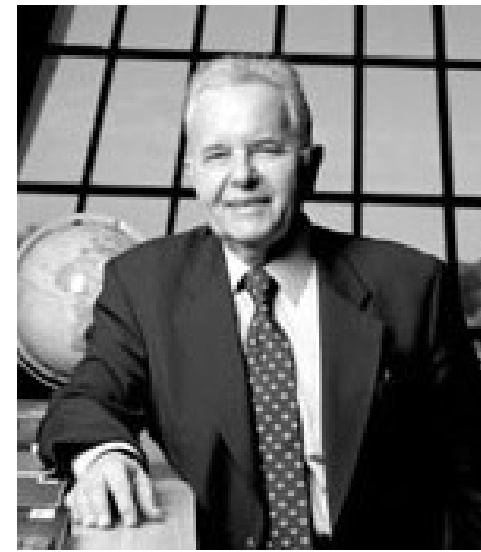


Dal 1992 al CERN Hardronic Festival ...

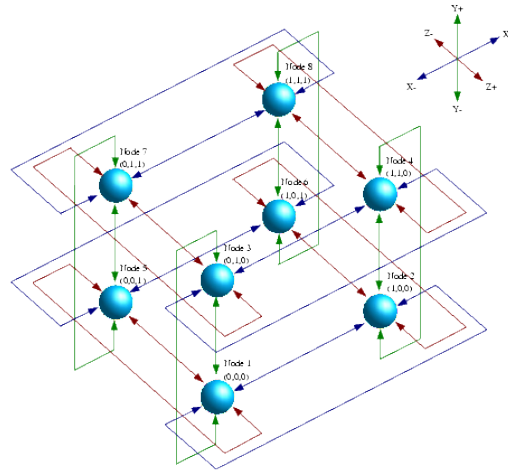




# Dalla Fisica Teorica (!) al Super-Computing ovvero il progetto APE



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

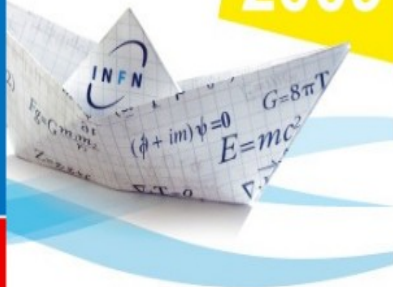
**Fisica in barca 2009**  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



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](#)

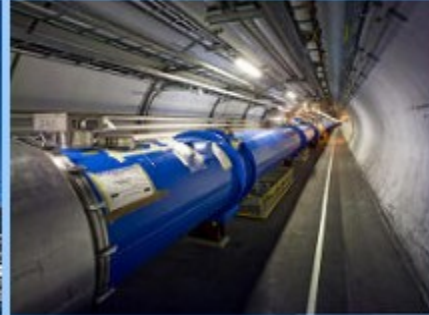
"Fisica in barca" conclude a Trieste il tour 2009.

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



# A Catania (LNS) dal 2002

<http://Insweb.Ins.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**



# 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 (?) ...

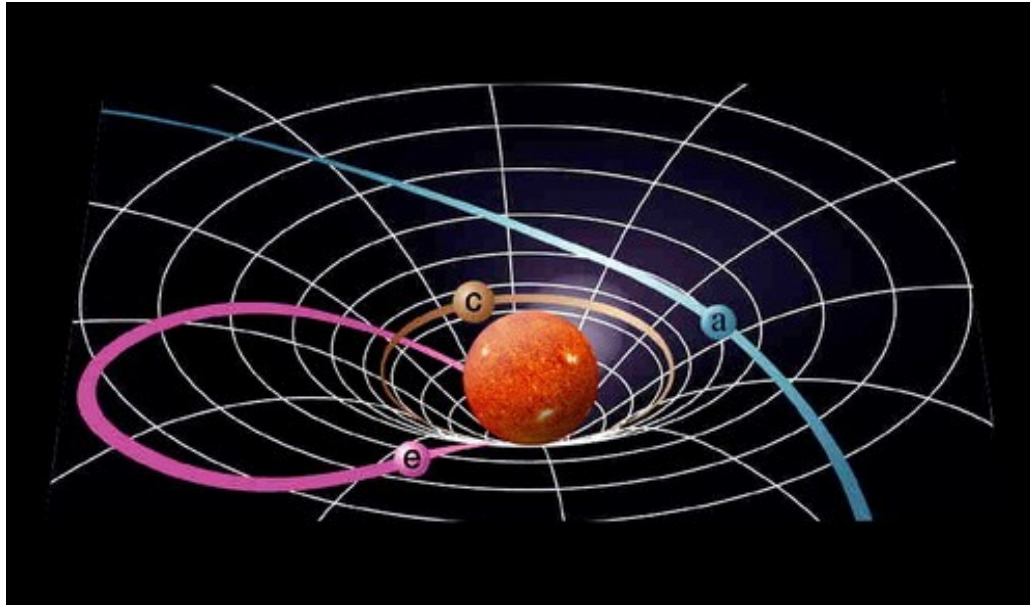
Einstein (interpretazione geometrica della forza di gravità):

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

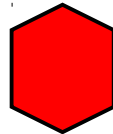
$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

spazio-tempo      materia-energia

# Spazio Tempo e Materia



La materia dice allo spazio-tempo come curvarsi



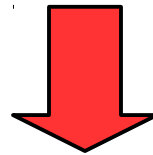
La curvatura dello spazio-tempo dice alla materia come muoversi



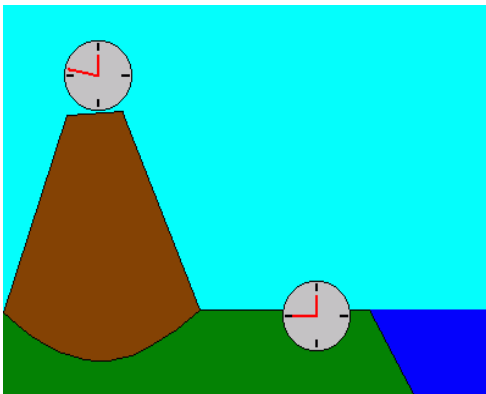
# Alcune conseguenze

Il campo gravitazionale non è costante

Esempio: sulla terra diminuisce all'aumentare  
dell'altitudine

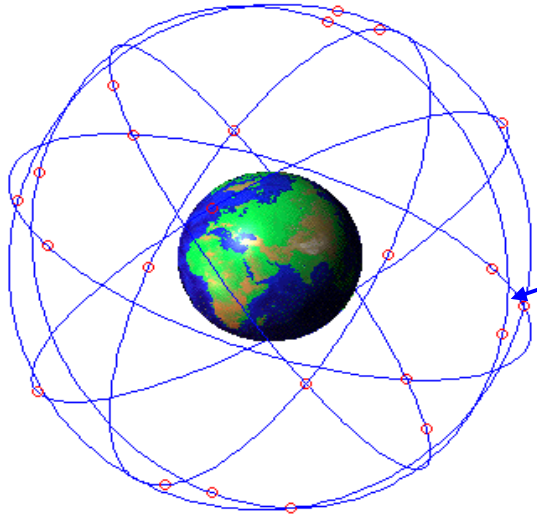


Dove la gravità è più forte, il tempo scorre più lento



Orologi più veloci in montagna  
Vivere nella bassa allunga la vita

# GPS: global positioning system



24 satelliti

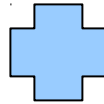
Altitudine: 20000 km

Periodo di rotazione: 12 ore

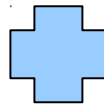
Precisione: ~5 metri

# Funzionamento GPS

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



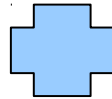
Ogni satellite ha un orologio atomico



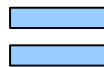
Il ricevitore GPS compara i segnali degli orologi di diversi satelliti per usare poi il metodo del posizionamento sferico

# Senza Einstein ...

**Relatività ristretta - dilatazione dei tempi**  
rispetto a chi sta sulla Terra, gli orologi sui satelliti  
sono 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**