

La Ricerca a LHC

(acceleratori di particelle e buchi neri)

Roberto Ferrari
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Istituto Bertrand Russell
Guastalla, 13 marzo 2010

Sommario

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

1. L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

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



I.N.F.N.

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

A cosa serve la ricerca fondamentale?

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

....

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

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

La Nascita



Origini dell'INFN

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

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



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



L'INFN Oggi



ENTE DISTRIBUITO SU TUTTO IL TERRITORIO

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

Raggruppa 5000 ricercatori, la maggior parte universitari.

sezione
gruppo
laboratorio

FORTEMENTE INTEGRATO CON IL SISTEMA UNIVERSITARIO

L'Organizzazione

5 linee di ricerca coordinate dalle
"Commissioni Scientifiche Nazionali"

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

2: astro-particelle (raggi cosmici)

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

4: fisica teorica

5: ricerca tecnologica

Attività "senza frontiere"

L'INFN nella fisica delle "alte energie":

FermiLab (USA) → TeVatron

SLAC (USA) → PEP II

Desy (Germania) → HERA

GSI (Germania) → FAIR

PSI (Svizzera) → Proton Acc.

CERN → SPS, LHC

INFN (Frascati) → DAΦNE

Astro - Particelle

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

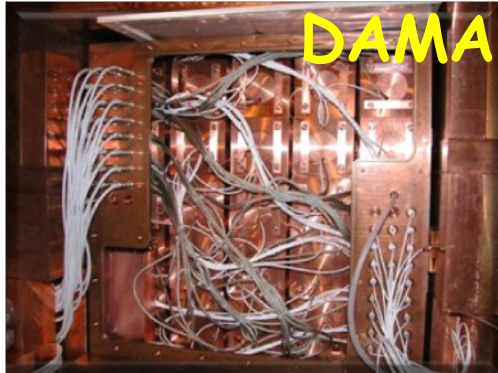
Sotto terra: *Opera, Warp, Dama, Cuore, ...*

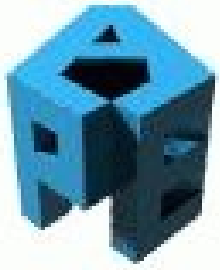
In cielo: *Agile, Boomerang, Fermi-Glast, ...*

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

**c'è chi sceglie posti ancora più originali (a ~ 2 km di profondità, nel ghiaccio del polo Sud): Amanda, IceCube*

Astro - Particelle

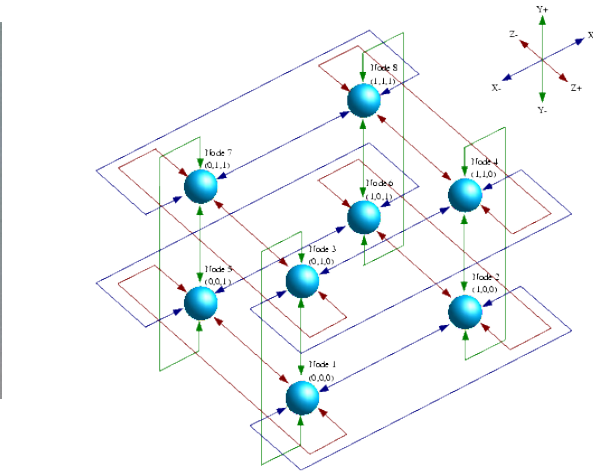




Dalla Fisica Teorica (!) al Super-Computing ovvero il progetto APE



N. Cabibbo



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



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



Adroterapia Oncologica

L'INFN entra nella vita di tutti i giorni:

Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO)

A Pavia, 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

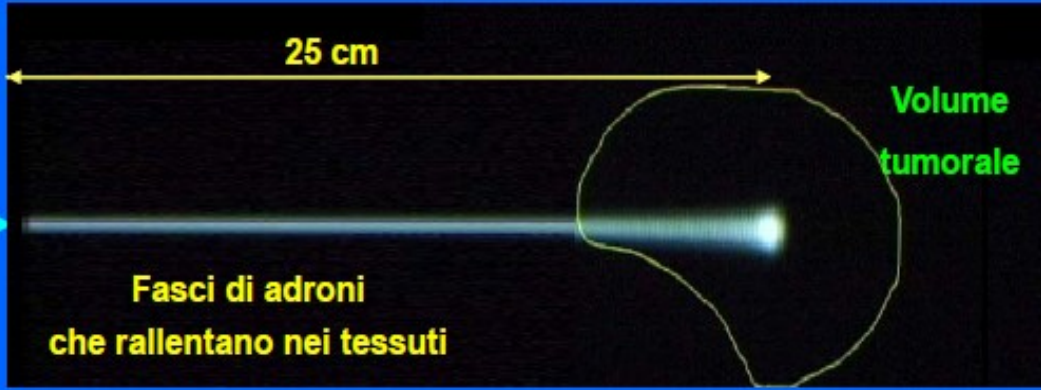
Tutta la parte di generazione e controllo dei fasci è sviluppata dall'INFN.

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

Adro Terapia

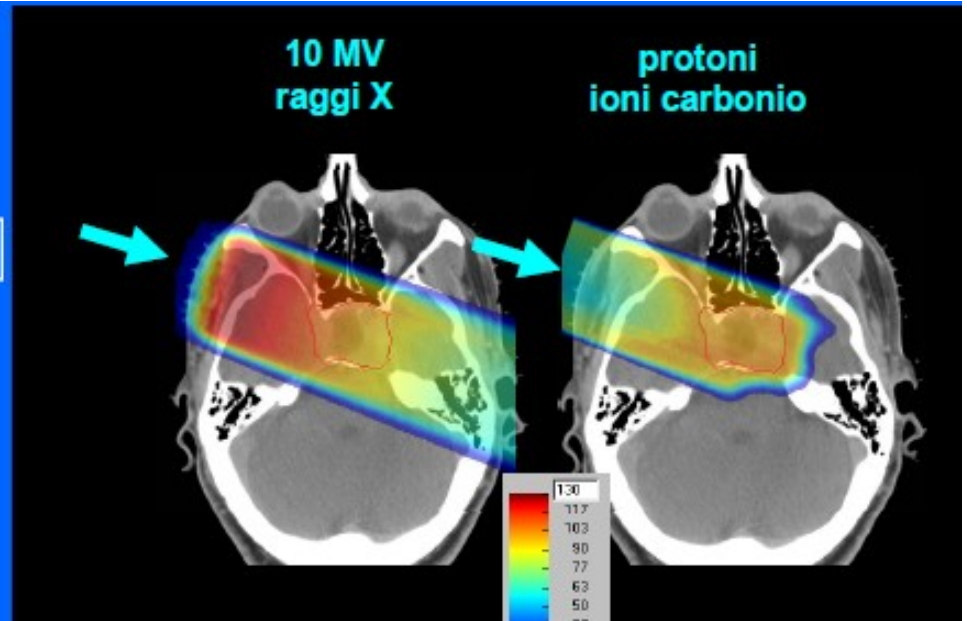
Per il controllo
dei tumori
radioresistenti
ioni carbonio
400 MeV*A

protoni
200 MeV

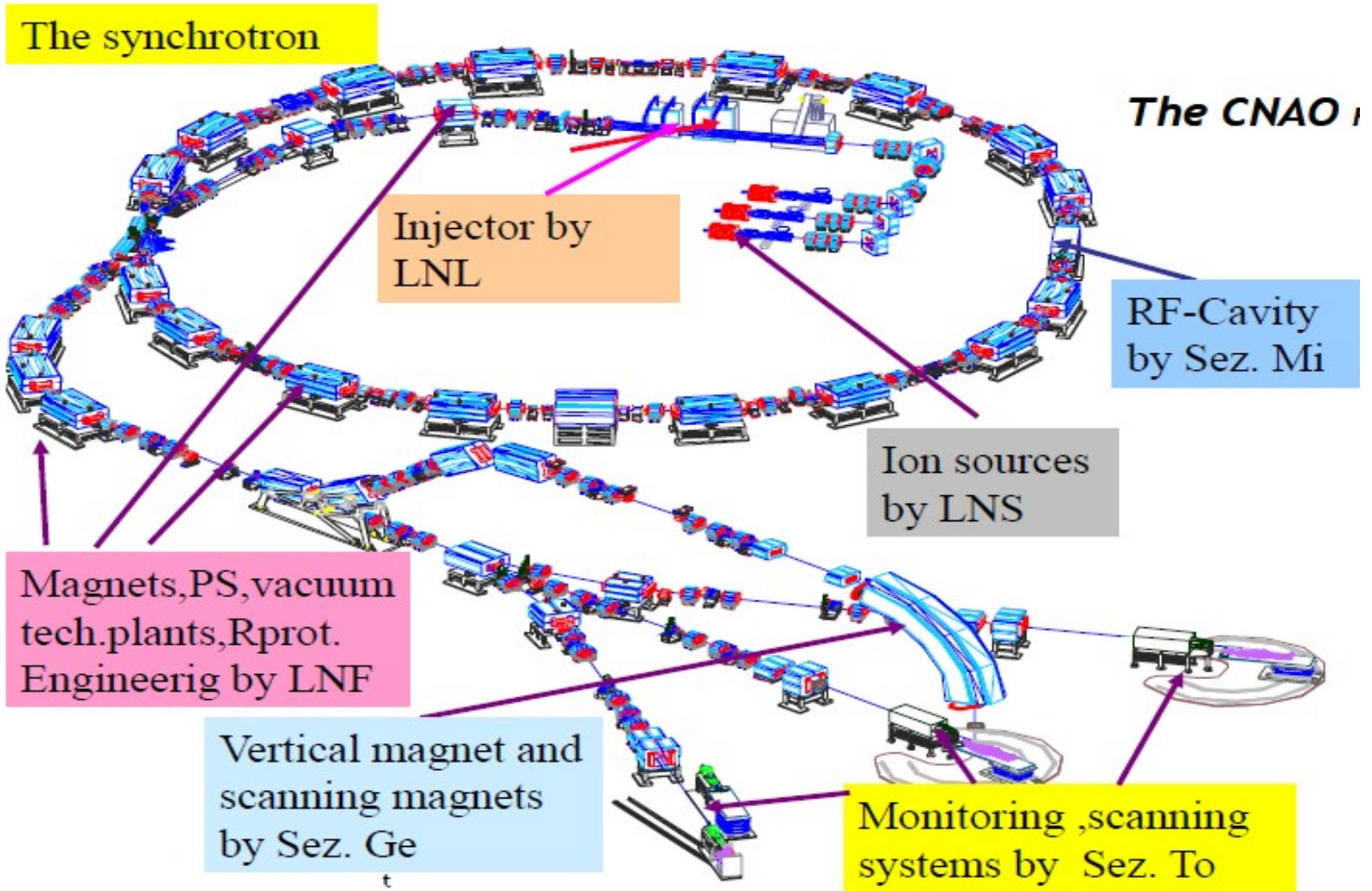


Vantaggi
Macroscopici:

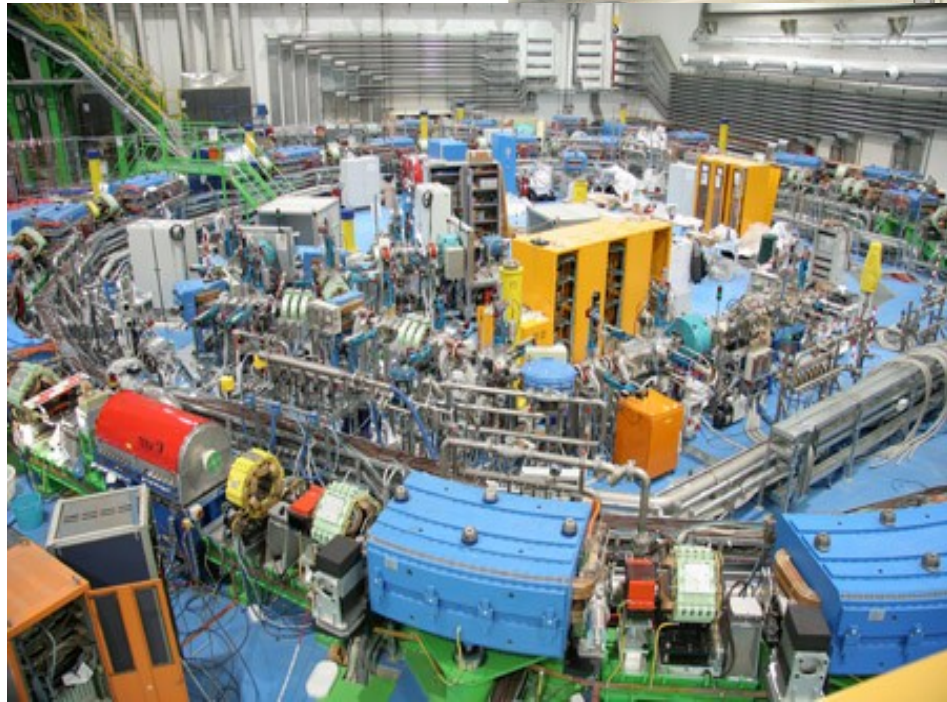
Confronto tra fasci singoli



CNAO / INFN



CNAO



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 TREATED



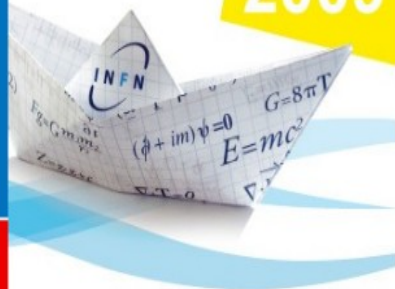
Divulgazione scientifica

Fisica in barca 2009
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



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

2009



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

**Fisica
in barca**

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



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.



Multimedia Group
INFN BO - CNAF



INFN Multimedia Group - INFN sez. BO - CNAF

[Home](#)

[Partecipanti](#)

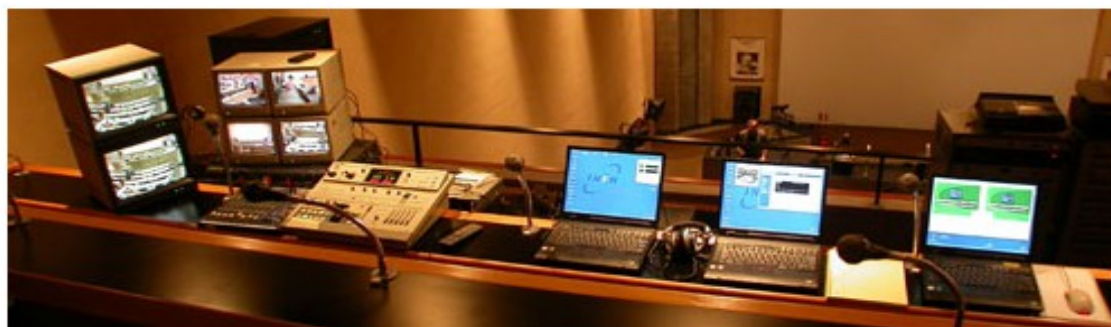
[Archivio Filmati](#)

[Video streaming](#)

[Video on demand](#)

[Prossimi eventi in diretta](#)

[Storia del gruppo](#)

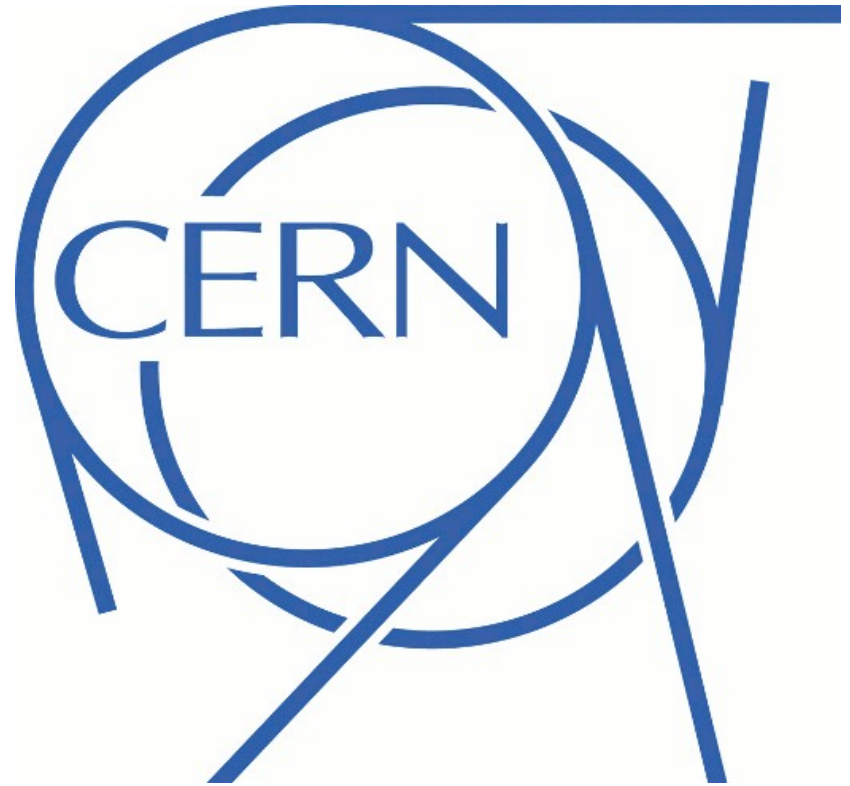


L' *INFN Multimedia Group* di Bologna è nato nel 1999 per sopperire all'esigenza dell' INFN di trasmettere su WEB in diretta e registrare eventi di carattere scientifico e divulgativo.

2. II CERN

<http://www.cern.ch>

European
Organization for
Nuclear Research



CERN

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

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

→ piu' grande del mondo nel settore

Dati 2007:

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

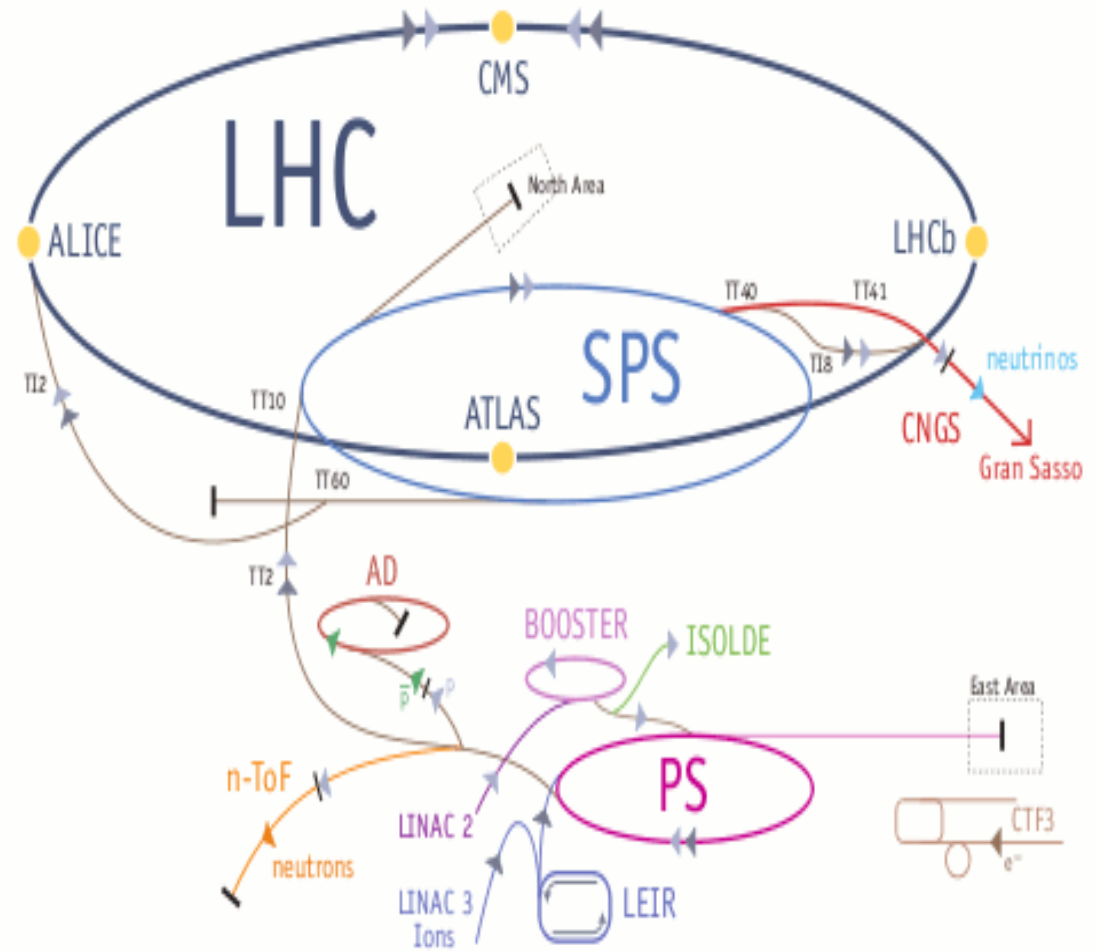
Stati membri contribuiscono proporzionalmente al proprio prodotto interno lordo (Italia ~ 13%)



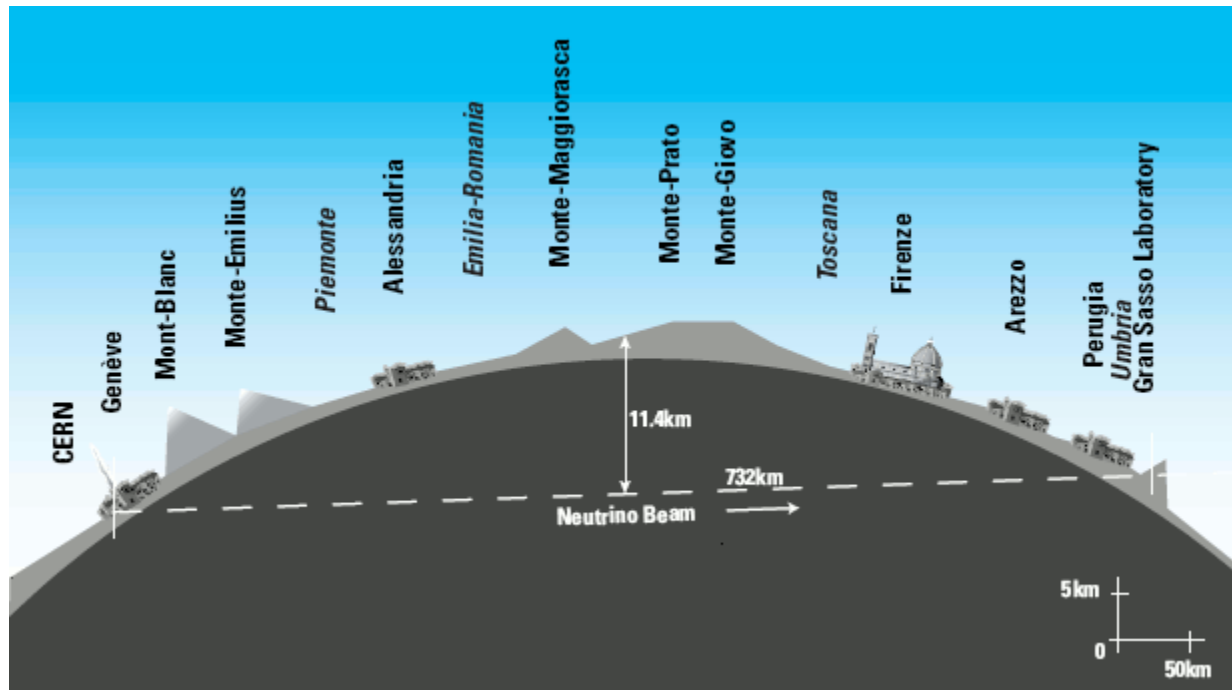
CERN (2)

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

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



Verso il Gran Sasso



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

CERN (3)

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

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

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

Il Web

The screenshot shows a web browser window with the address bar containing the URL <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 text about the invention of the World Wide Web by Tim Berners-Lee at CERN in 1990. A sidebar on the left lists various topics, with "Where the web was born" highlighted. The footer of the page reads "Copyright CERN 2008 - Web Communications, DSU-CO".

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://public.web.cern.ch/public/en/About/Web-en.html

Più visitati Popolare Network Rai Podcast Radio2

About us Science Research The LHC People

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.

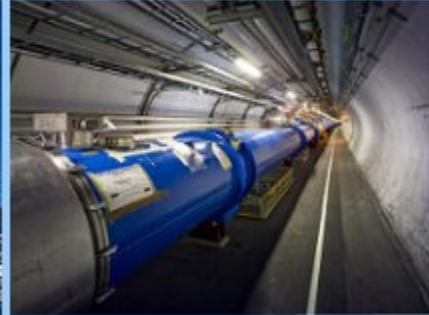
Copyright CERN 2008 - [Web Communications](#), DSU-CO

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

La PET: tomografia a positroni



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.



European Network for LIGht ion Hadron Therapy

Diverse attività in collaborazione fra centri di ricerca in fisica nucleare (CERN, INFN, dipartimenti di fisica ...) e ospedali, dipartimenti di medicina, centri di ricerca medica

Il CERN disponibile a configurarsi come centro di coordinamento

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. L'Universo e la Forza di Gravità

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

specifici sui buchi neri

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

http://www.pd.astro.it/planet/L23_045.html

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

http://antwrp.gsfc.nasa.gov/htmltest/gifcity/bh_pub_faq.html

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 dà loro la massa (bosone di Higgs) ?
- Come si manifesta la gravità ?
- 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)

--> Relatività Generale

Particelle (interazioni elettrodeboli e forti)

--> Meccanica Quantistica Relativistica

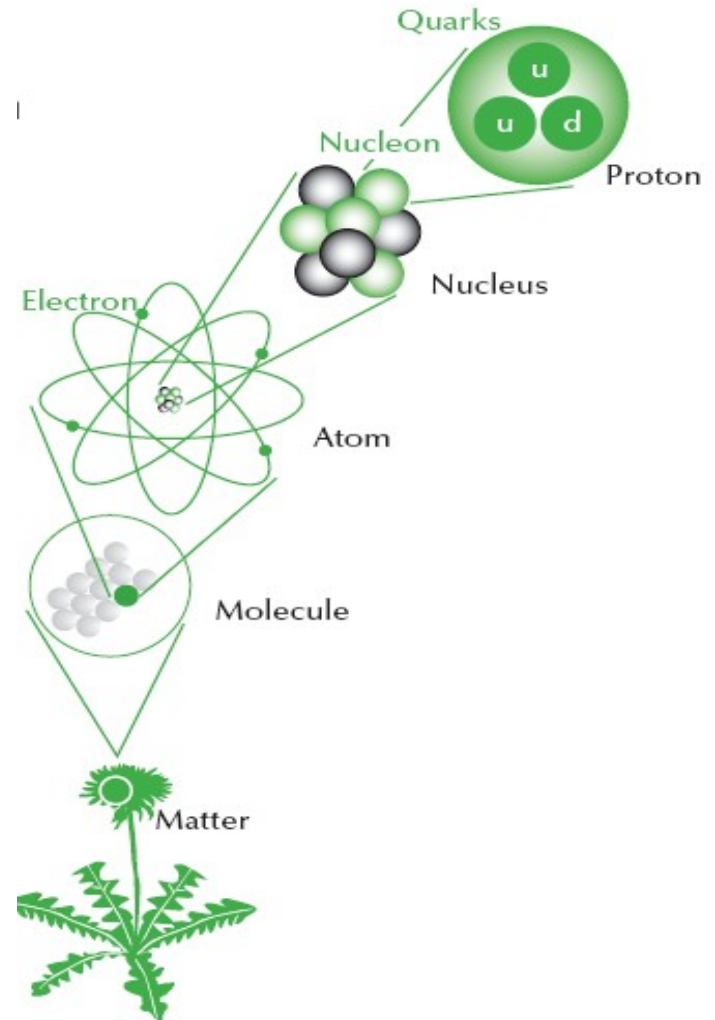
1. Entrambe le teorie funzionano

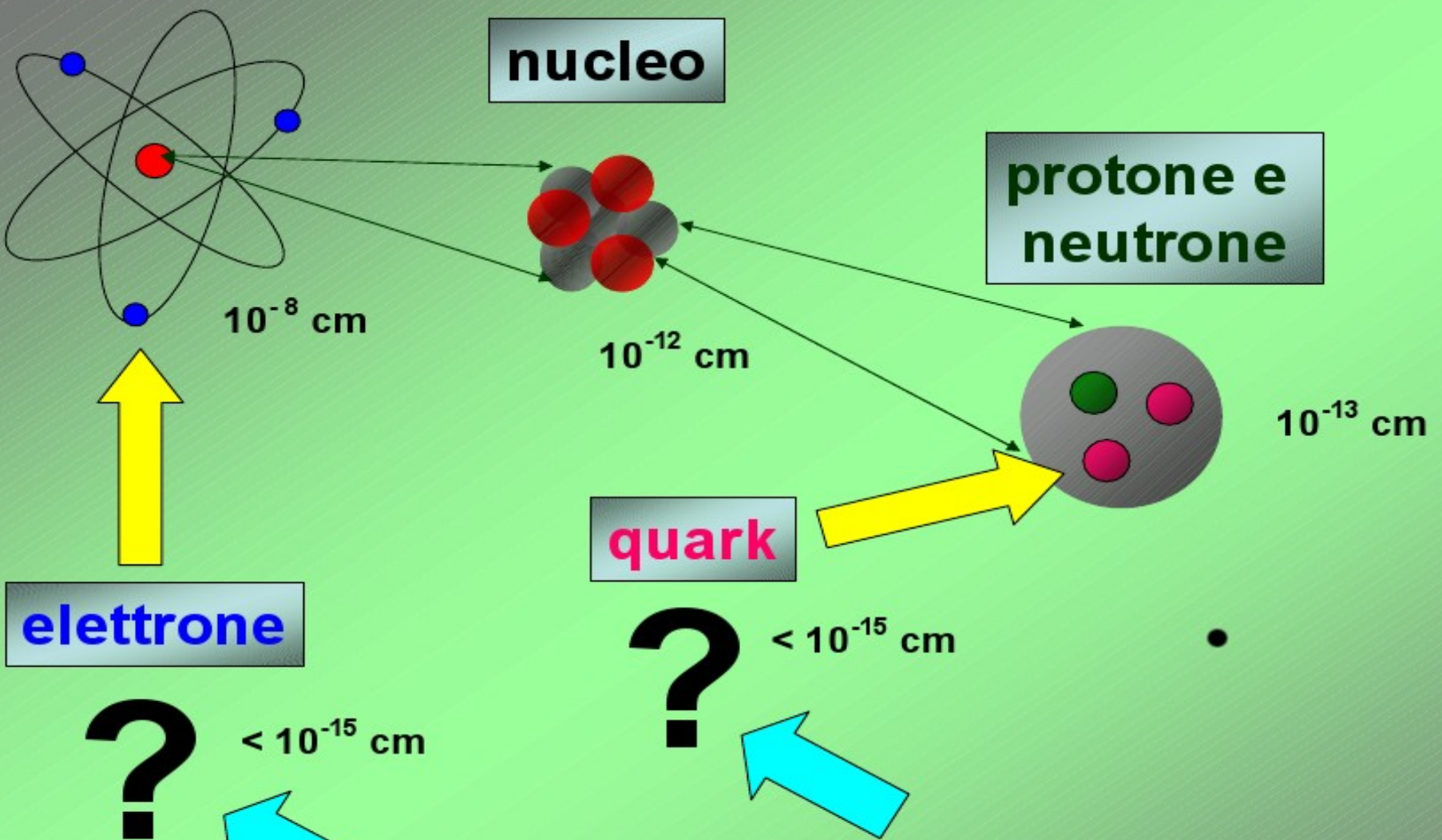
egregiamente nei rispettivi campi

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)





elettrone

nucleo

protone e neutrone

quark

A tutt'oggi non si hanno evidenze sperimentali di ulteriori strutture interne

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 \sim Uomo : Quark (o quasi) !

Come lo misuriamo

Distanze → metri (m)

Tempi → secondi (s)

Energie e Masse → elettron-Volt (eV)

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

[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 (?) ...

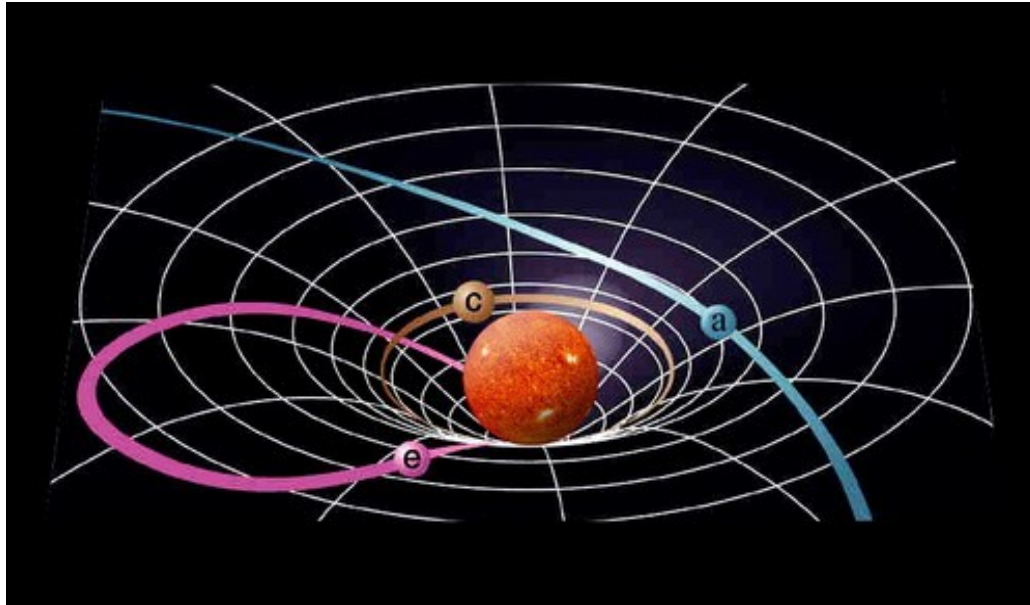
Einstein (interpretazione geometrica della forza di gravità):

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

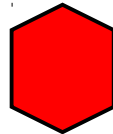
$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

spazio-tempo materia-energia

Spazio Tempo e Materia



La materia dice allo spazio-tempo come curvarsi

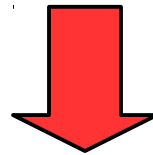


La curvatura dello spazio-tempo dice alla materia come muoversi

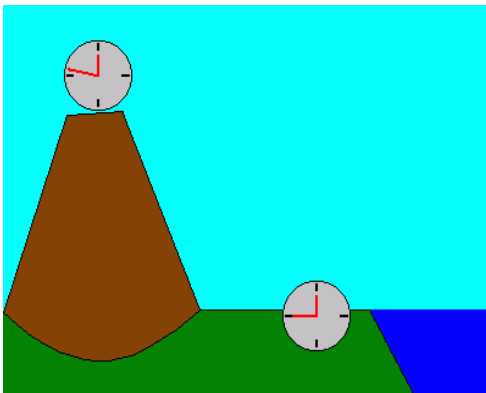
Alcune conseguenze

Il campo gravitazionale non è costante

Esempio: sulla terra diminuisce all'aumentare
dell'altitudine

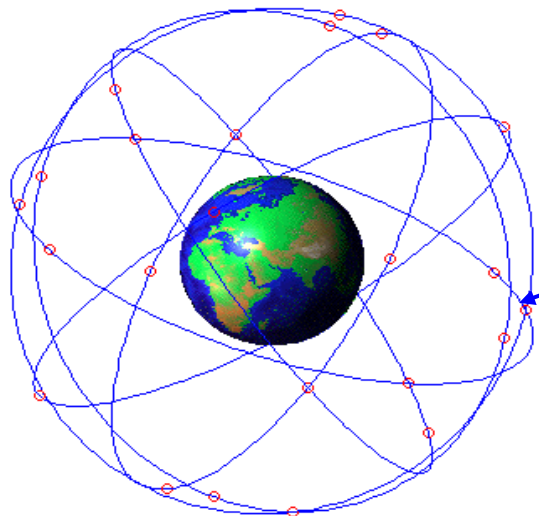


Dove la gravità è più forte, il tempo scorre più lento



Orologi più veloci in montagna
Vivere a Guastalla allunga la vita

GPS: global positioning system



24 satelliti

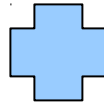
Altitudine: 20000 km

Periodo di rotazione: 12 ore

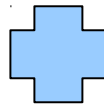
Precisione: ~5 metri

Funzionamento GPS

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



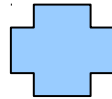
Ogni satellite ha un orologio atomico



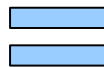
Il ricevitore GPS compara i segnali degli orologi di diversi satelliti per usare poi il metodo del posizionamento sferico

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!

4. Lo Studio delle Particelle "Elementari"

<http://www.particleadventure.org>

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

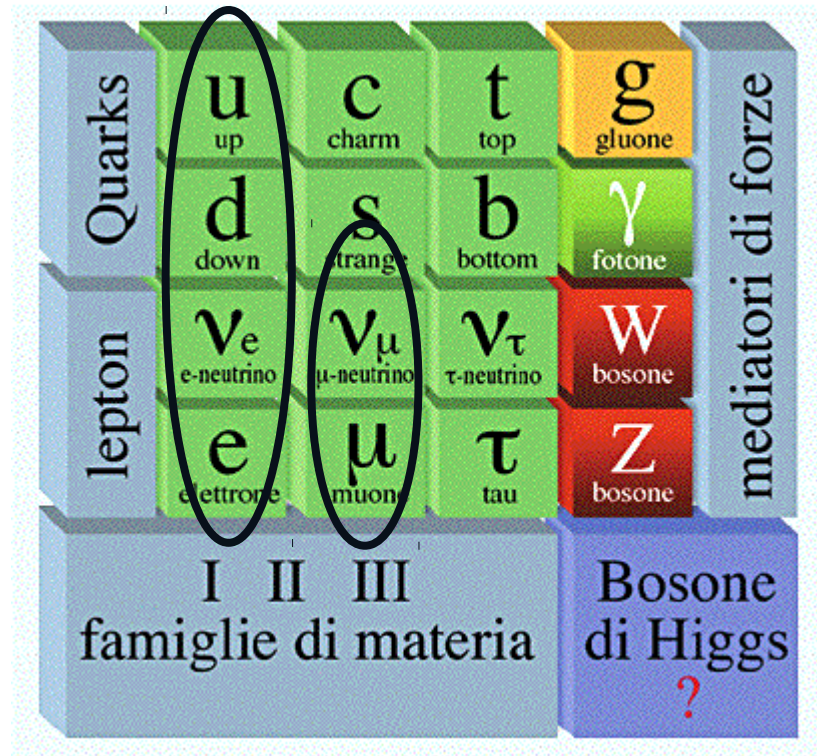
<http://microcosm.web.cern.ch>

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 (intensità relativa):

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



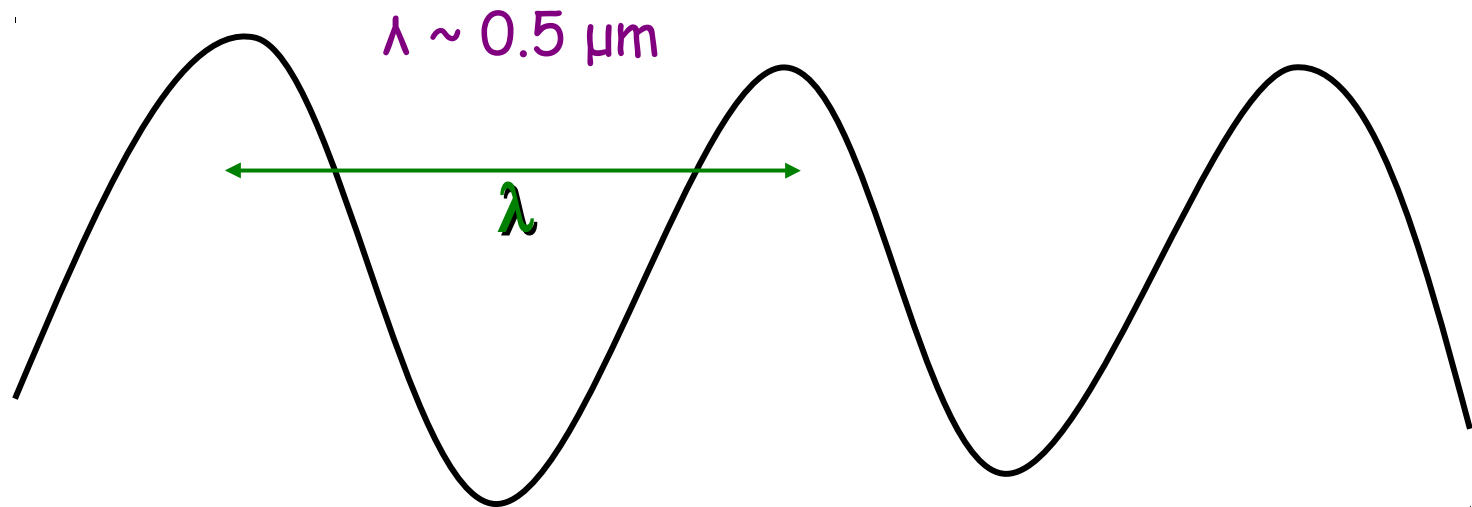
- (*) Materia Oscura \rightarrow NO
- (*) Quantizzazione della carica \rightarrow NO
- (*) Relazioni fra masse dei fermioni \rightarrow NO
- (*) Gravitazione \rightarrow NO

Strumenti di indagine ...

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

Microscopio³ $\sim 10^{-12}$ m ???

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

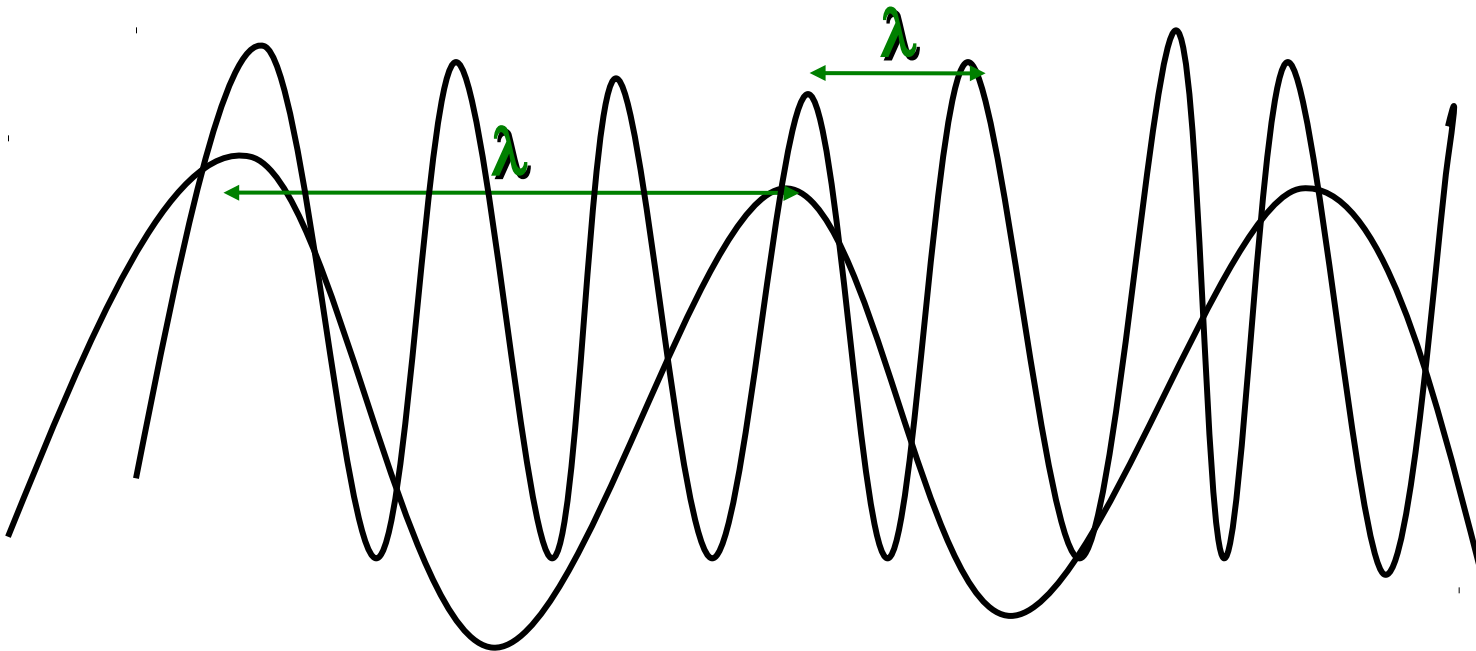


~ 5000 atomi entro una sola lunghezza d'onda
impossibile vedere ("risolvere") un singolo atomo
e la sua struttura interna !

Energia e lunghezza

lunghezza d'onda * frequenza = velocità della luce

energia : frequenza = costante di Planck

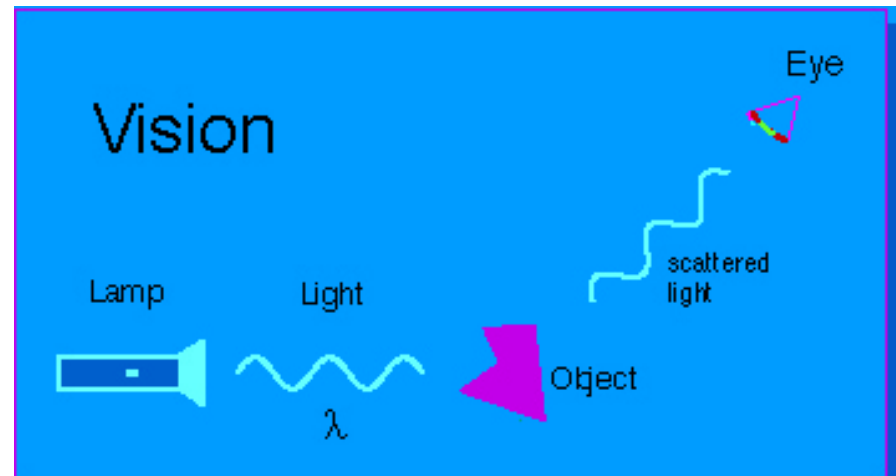


$$\lambda * E = \text{costante}$$

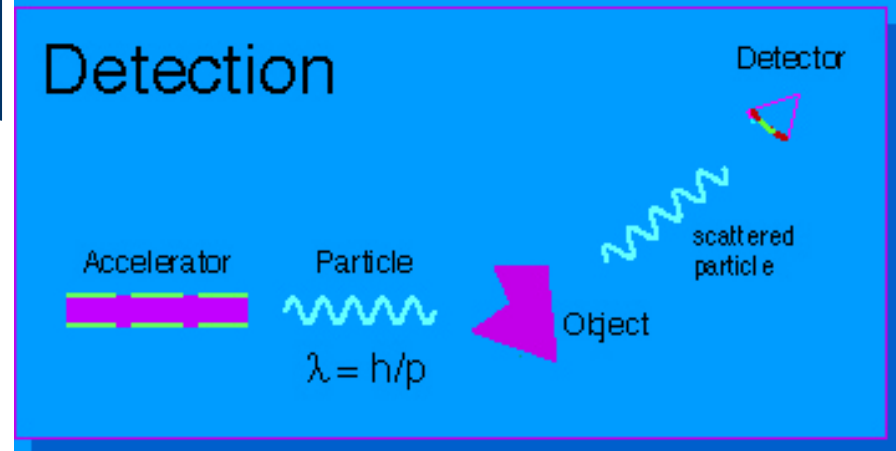
$$(1 \text{ nm} \rightarrow 200 \text{ eV})$$

La Risoluzione

Visione con una lampada e gli occhi.



Visione con un acceleratore ed un rivelatore di particelle.



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

Osservare le Particelle

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

per investigarne la struttura

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

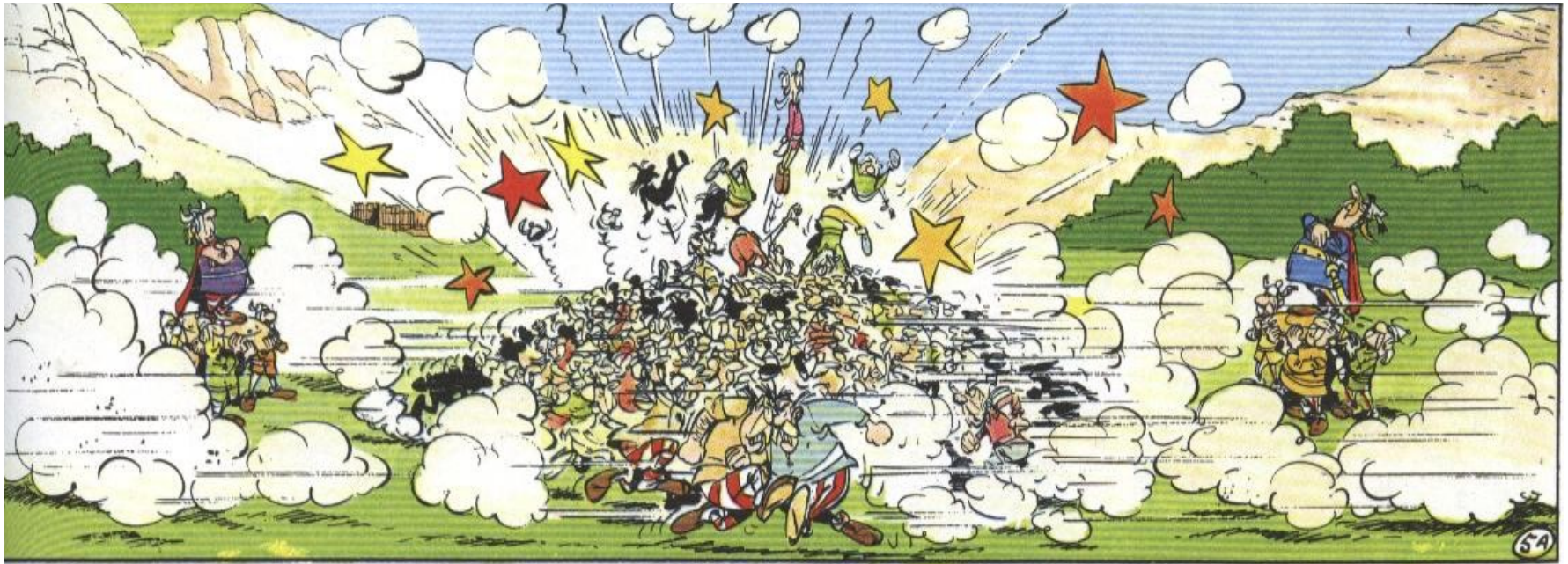
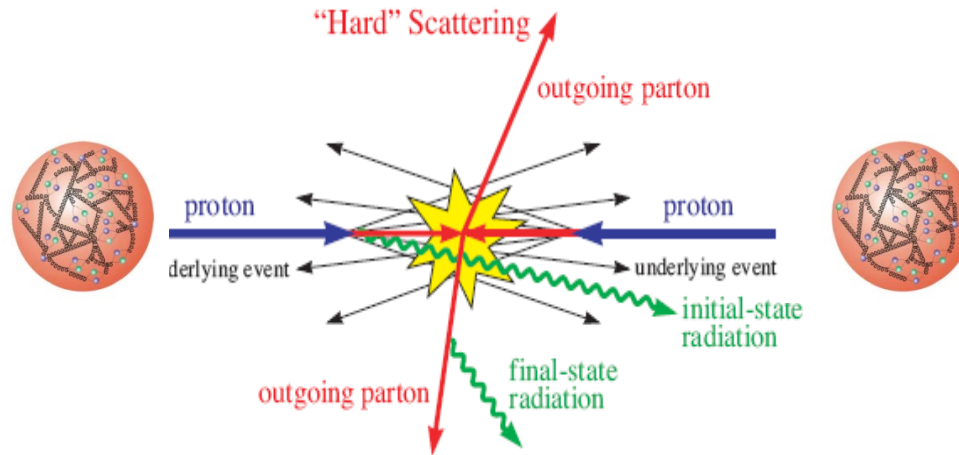
massa protone ($E = mc^2$) $\sim 1000 \text{ MeV}$

ovvero

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

Per capire come è fatto un protone, bisogna romperlo

Urti Profondamente Inelastici



Microscopi per Particelle

Maggiore è l'energia degli urti

→ migliore la capacità di risoluzione del "microscopio":

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

→ $\lambda \sim 10^{-20}$ m

LHC = Microscopio più potente mai costruito !

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

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

Creazione di Particelle

Dal 1905, massa = forma "congelata" di energia:

$$E = mc^2$$

Avendo a disposizione l'energia necessaria si possono produrre particelle sempre più pesanti (ma sempre più "rare"), mai osservate finora.

Ad es. a LHC:

- 1) bosone di Higgs del Modello Standard
- 2) particelle supersimmetriche (SUSY)
- 3) nuovi bosoni vettoriali (extra-dimension)
- 4) leptoquark (G.U.T.)

...

[la lista delle "attese" teoriche è lunga]

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 (?)

L'Inizio (~1910)

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

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

Sorpresa: alcune particelle rimbalzano a grandi angoli

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

I Quark (1969)

- Nel dopo guerra nei raggi cosmici, un numero crescente di particelle "parenti" di protoni e neutroni viene identificata

- Classificazione abbastanza sorprendente e ostica

- Necessarie un sacco di regole "empiriche" per descriverne 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"

Gli Ultimi 40 Anni ...

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

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

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

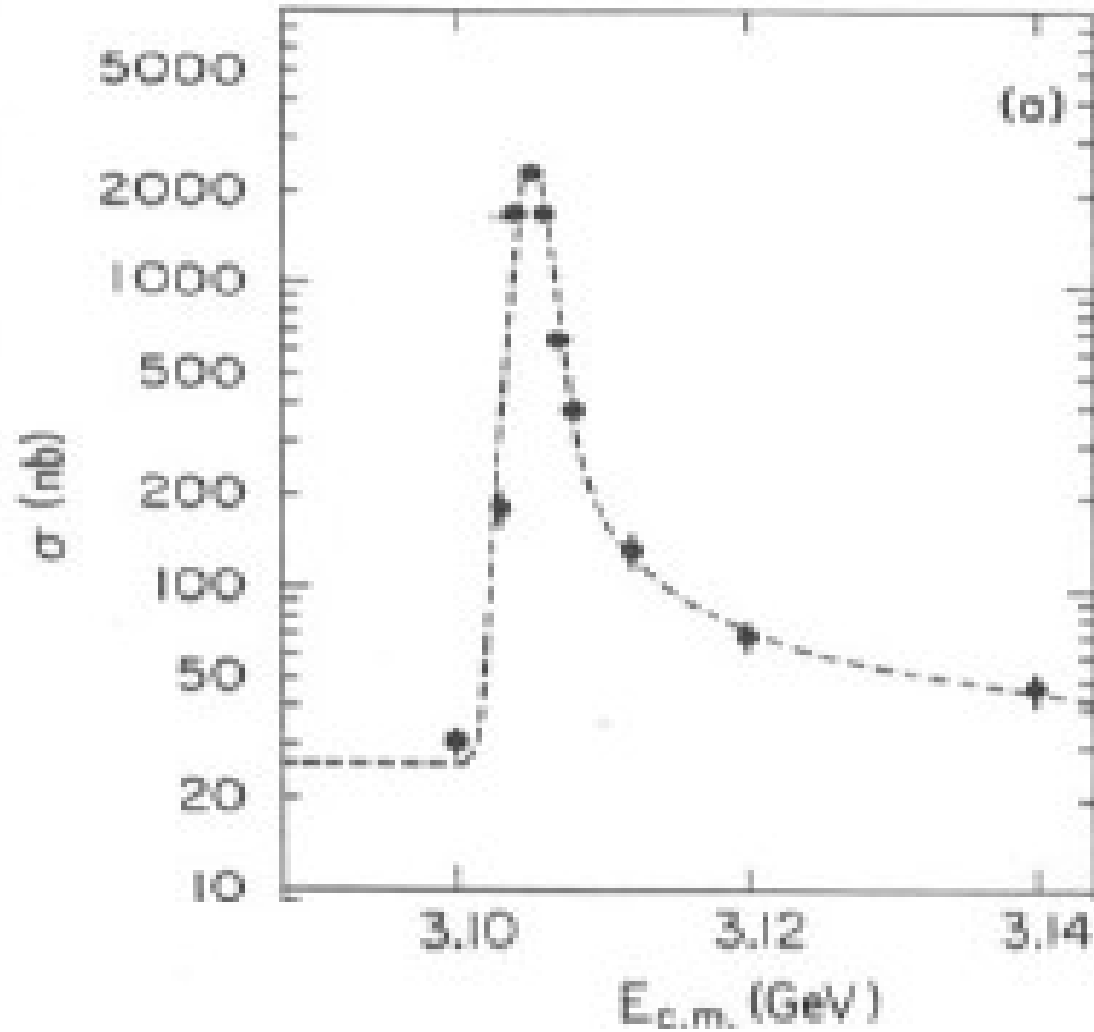
1977 L. Lederman (p-Be, Fermilab) → quark Bottom

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

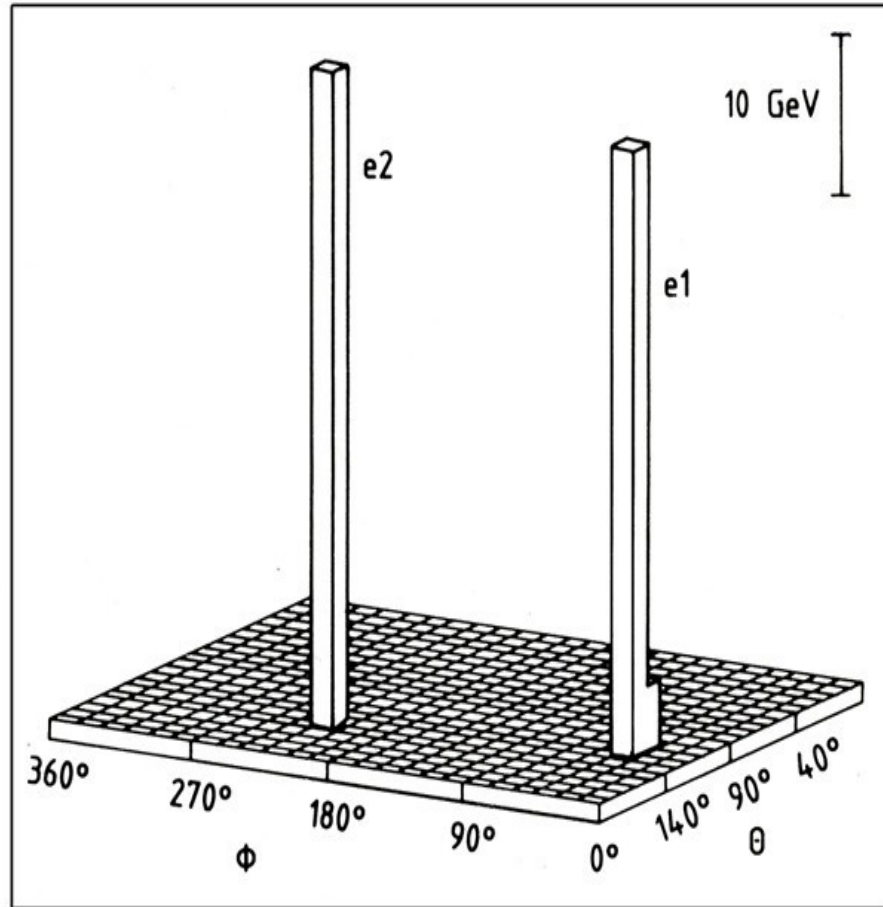
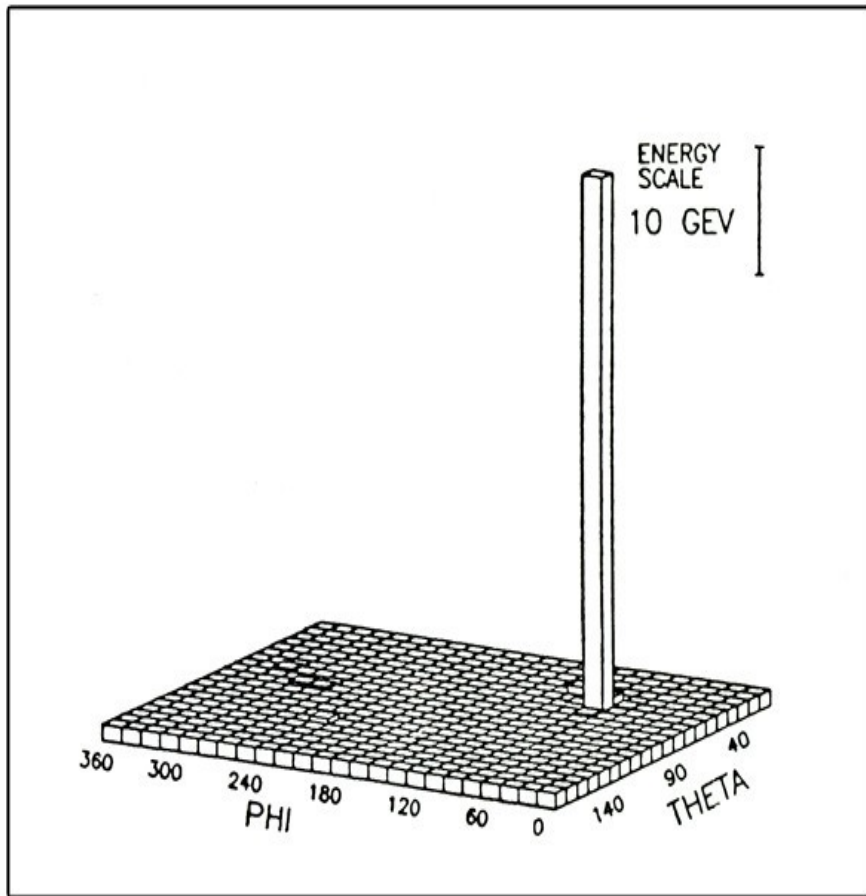
1995 CDF, D0 (p-pbar, Fermilab) → quark Top

*** Nessuna novità da 15 anni ***

J/Psi (1974)



W/Z (1983)

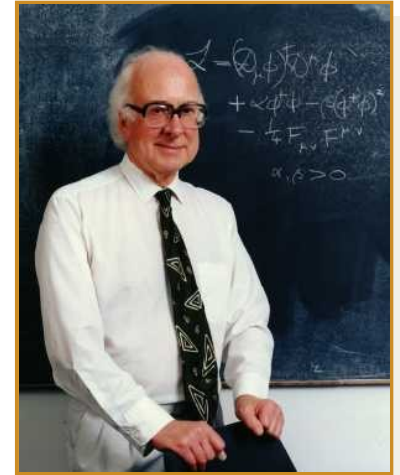


Bosone di Higgs

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

il bosone di Higgs

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



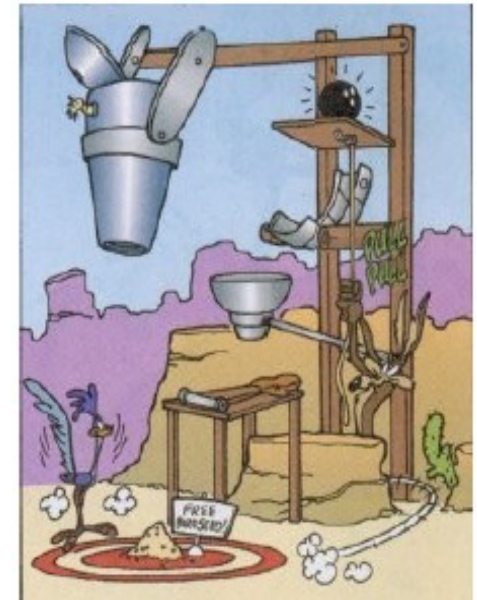
Il futuro prossimo (?)

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"

5. LHC

Large Hadron Collider (Grande Collisore Adronico)

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

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

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

The Large Hadron rap (Katie McAlpine):

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

Les Horribles Cernettes



Dal 1992 al CERN Hardronic Festival ...

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

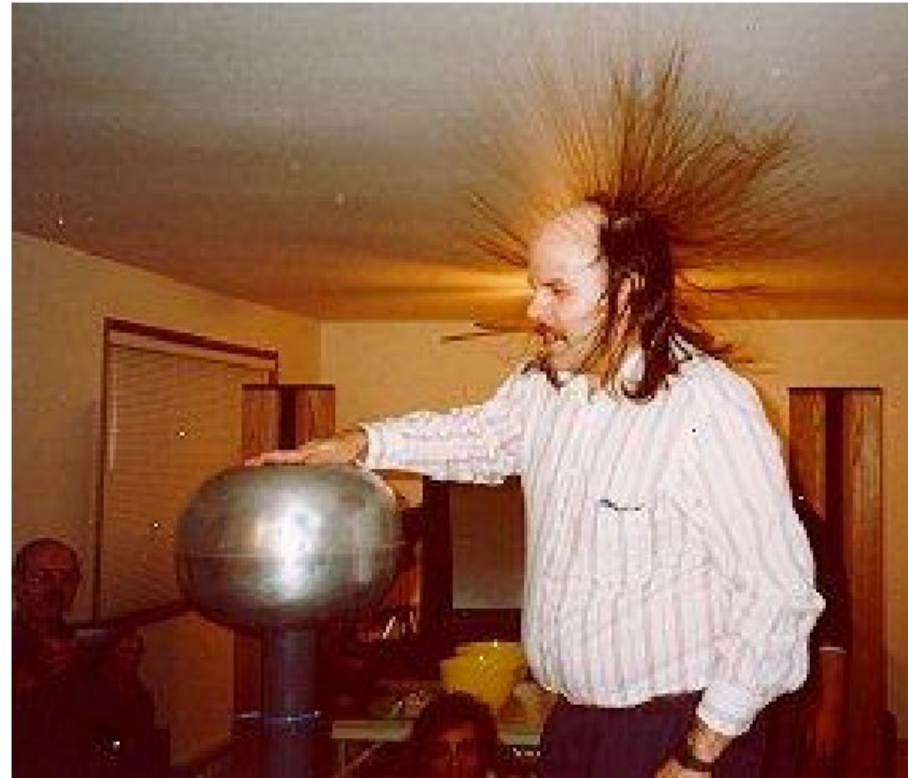
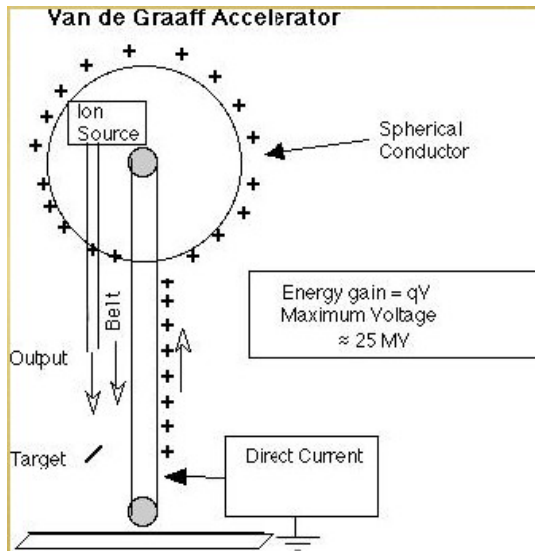
Campi magnetici li catturano e li tengono sulla "giostra"

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)

Acceleratore Van De Graaff (1958)



Elementi di un Acceleratore (sincrotrone)

Campi magnetici (dipoli):

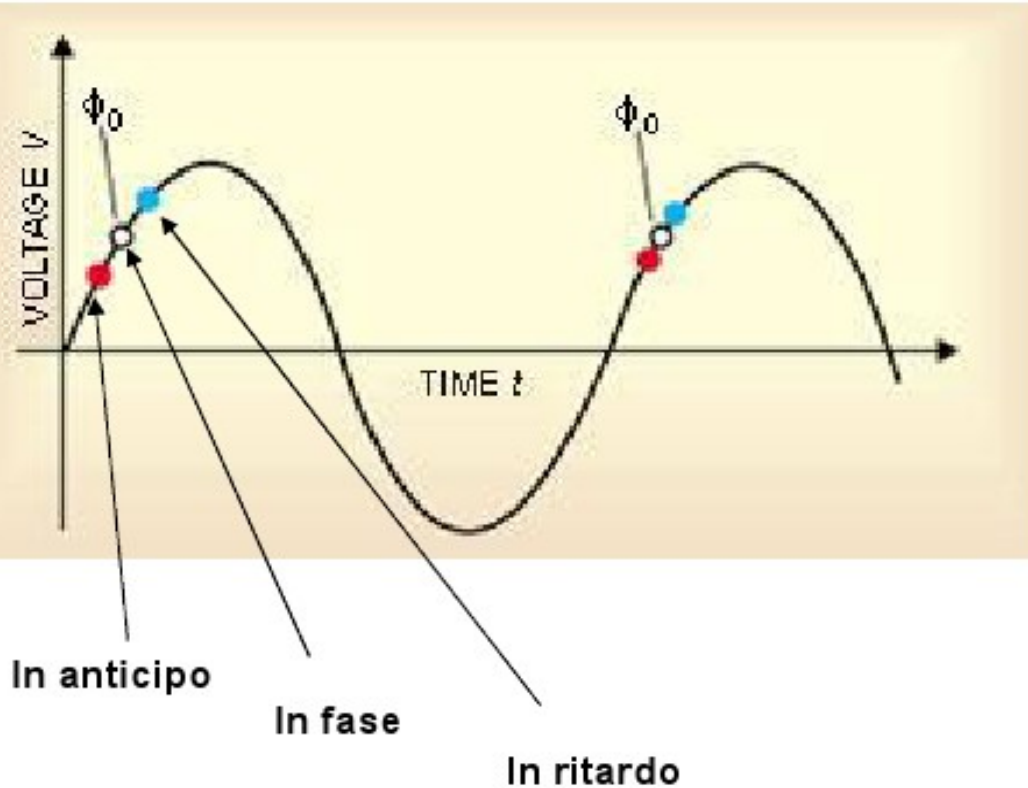
immaginate le catene del calcinulo

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 !

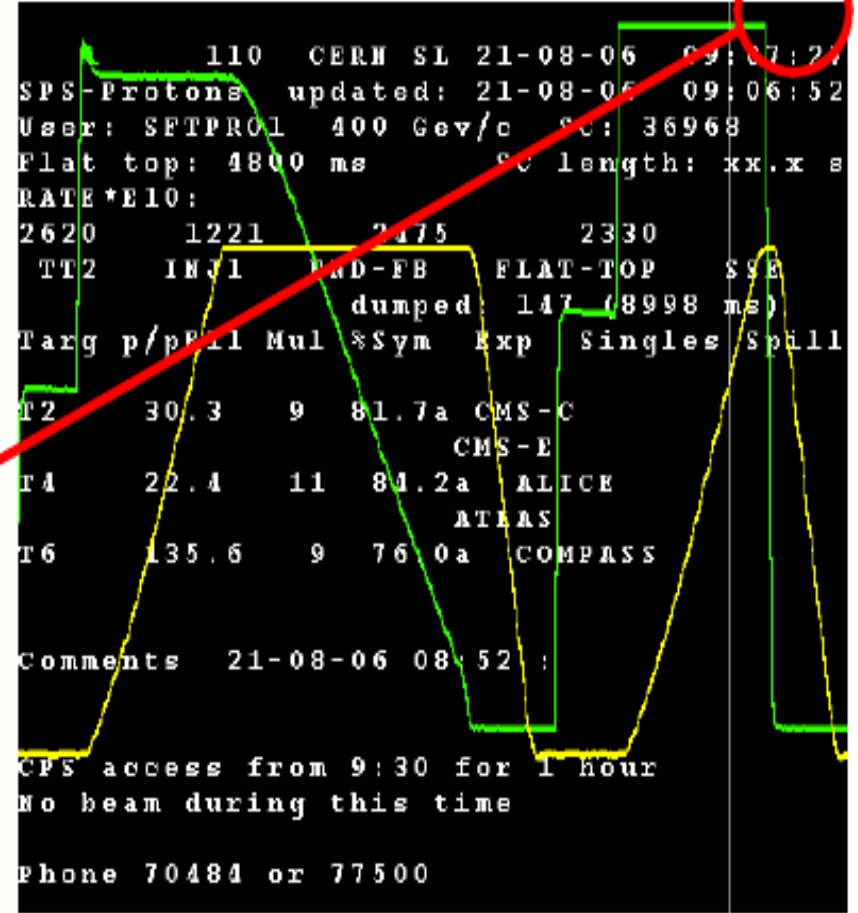
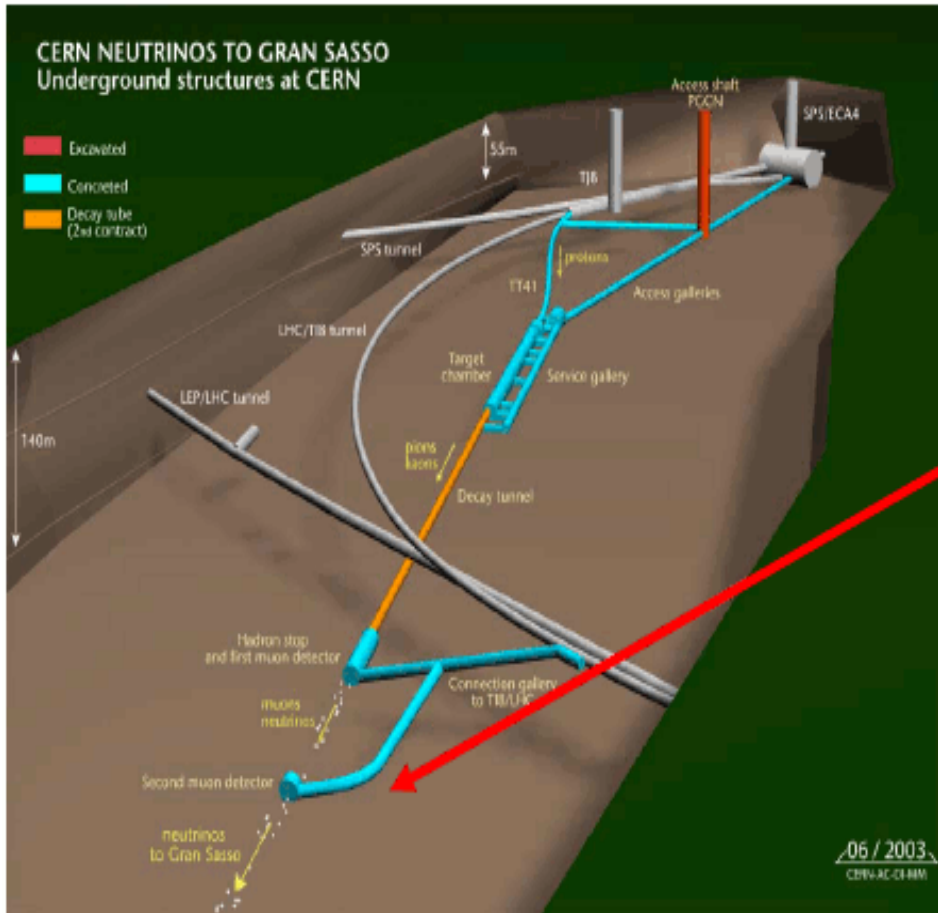
Stabilità di Fase



Le particelle "fuori fase" tendono a raggrupparsi in pacchetti, dopo aver oscillato, in modo smorzato, attorno alla particella "in fase"

A raggio di curvatura e frequenza \sim costanti, il campo magnetico aumenta seguendo l'aumento di energia del fascio

CERN (SPS) → Gran Sasso

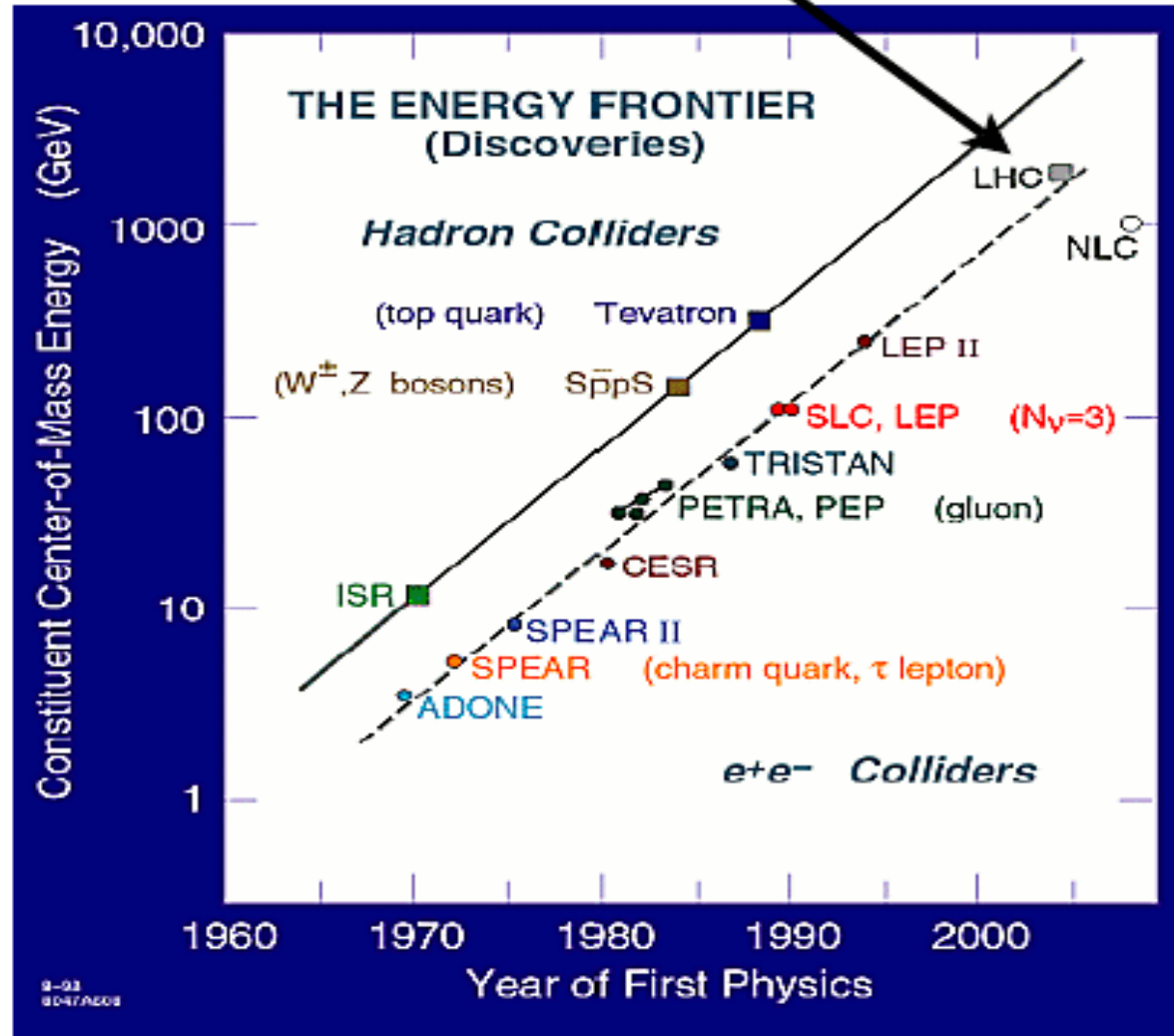


I Collisionatori

Due categorie:

e^+e^-

$pp/ppbar$



ADONE (LNF)



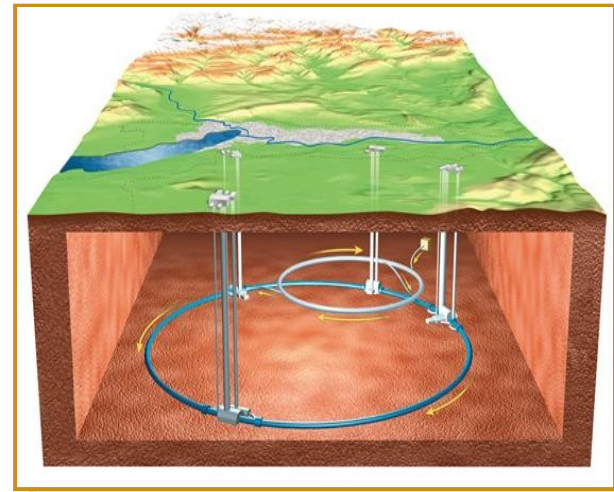
DAΦNE (LNF)

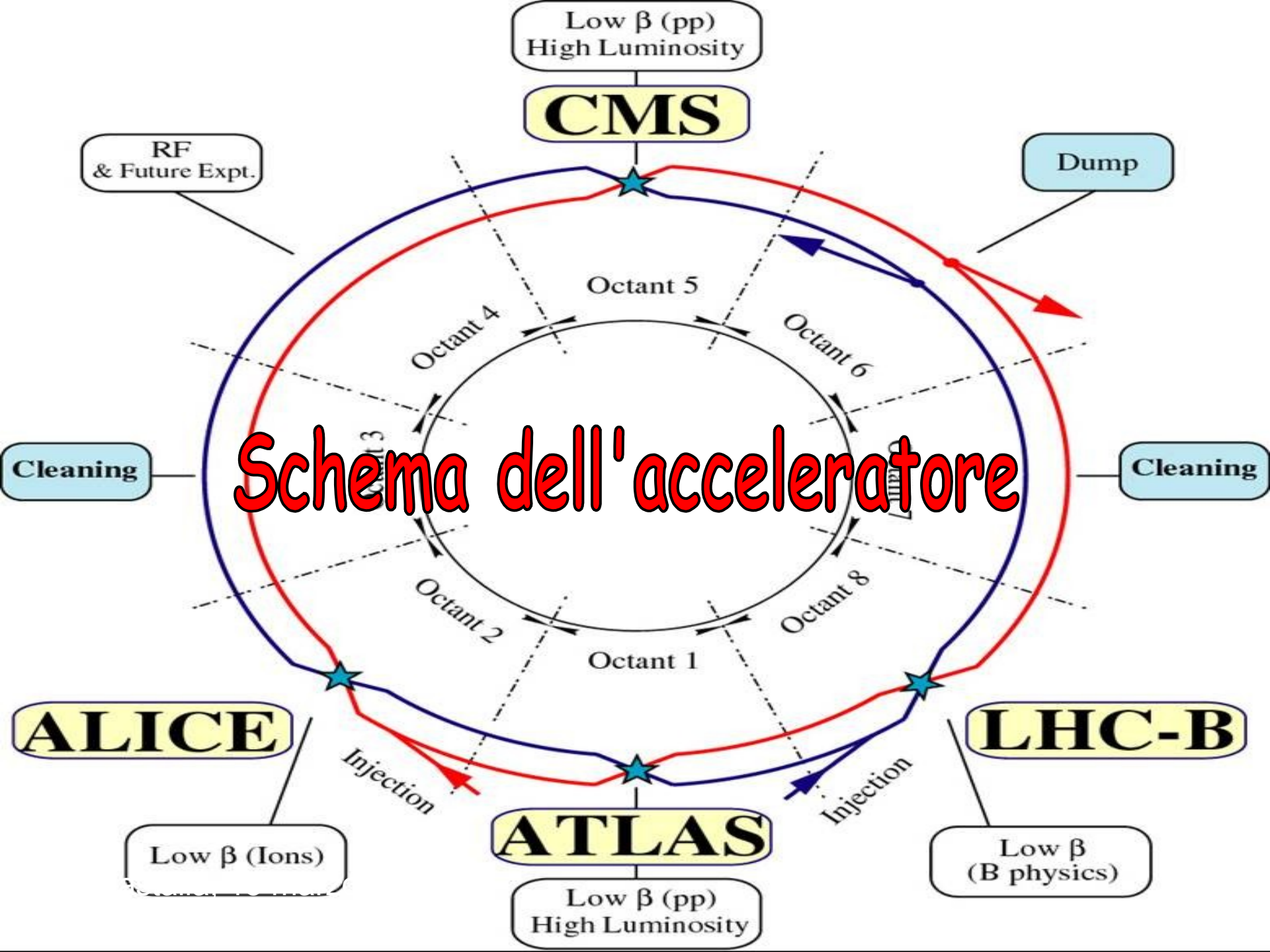


LHC

- 27 km di circonferenza
- (protoni contro protoni) e (piombo contro piombo) ogni 25 ns
- collisioni a 14 TeV (inizialmente ≤ 10 TeV) / 1150 TeV (!)
- consumo ~ 120 MW (metà del totale CERN)
- costo ~ 4 miliardi di Euro (in ~ 10 anni)

4 giganteschi apparati sperimentali a ~ 100 m di profondità

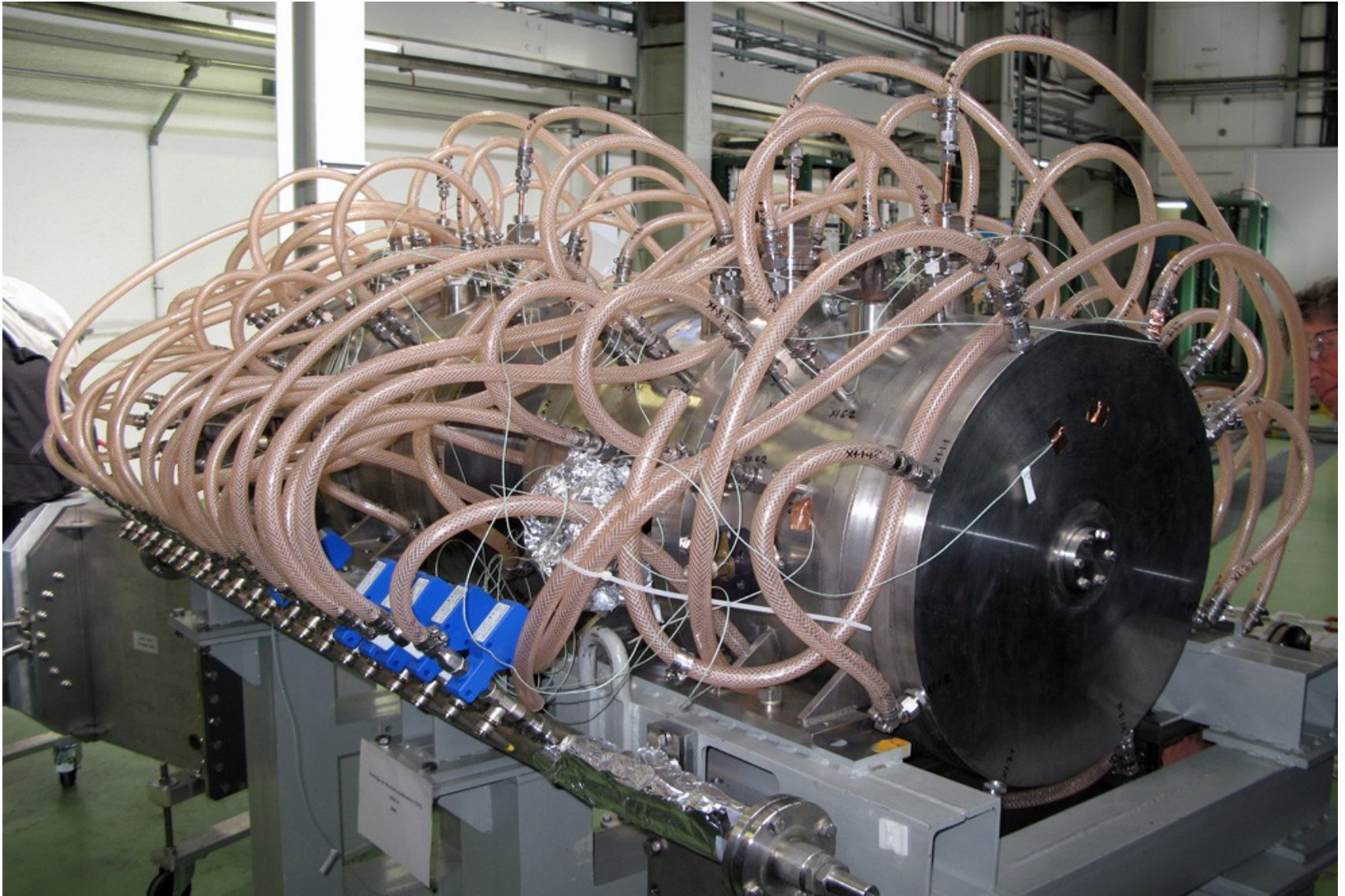




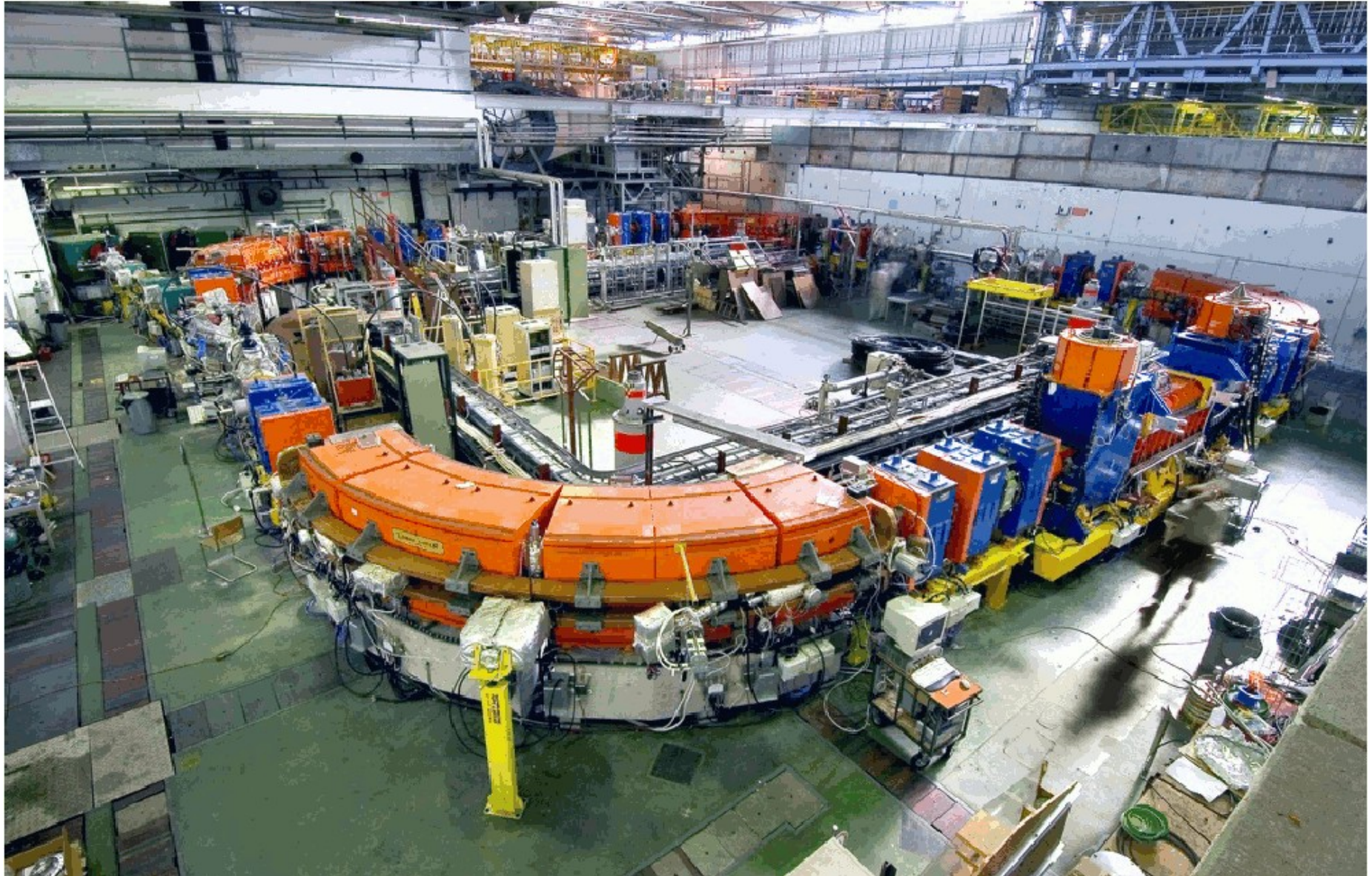
I Dipoli



Le Cavità a RadioFrequenza



Low Energy Ion Ring



Qualche numero ...

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

Campi elettromagnetici: 16 cavità a radiofrequenza

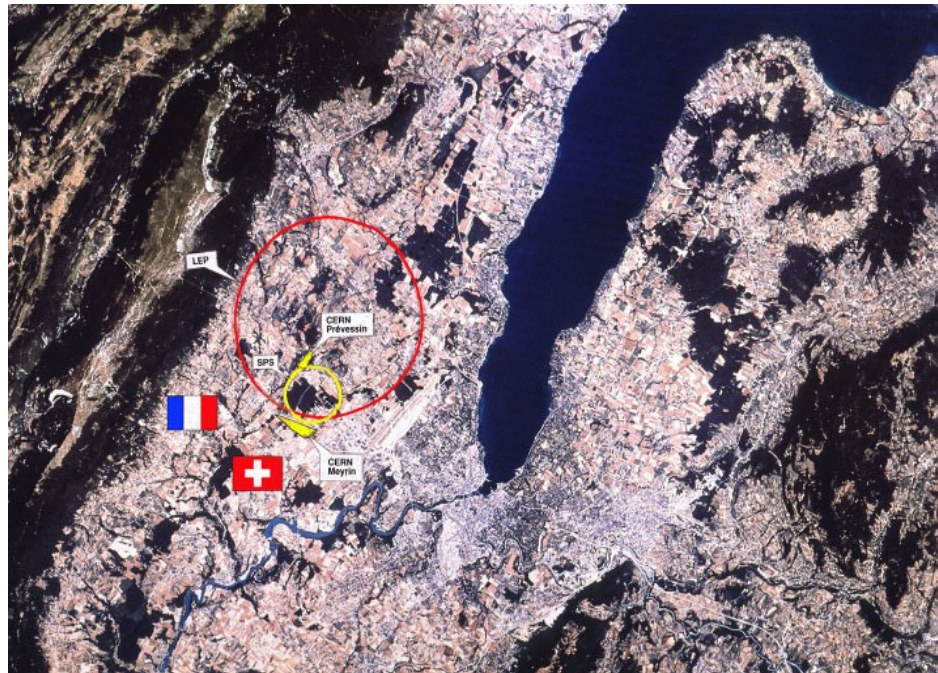
Energia nei fasci di LHC (350 MJ): \sim quella di un TGV a 150 km/h
sufficiente a fondere 500 kg di rame

Nei magneti di LHC: ~ 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



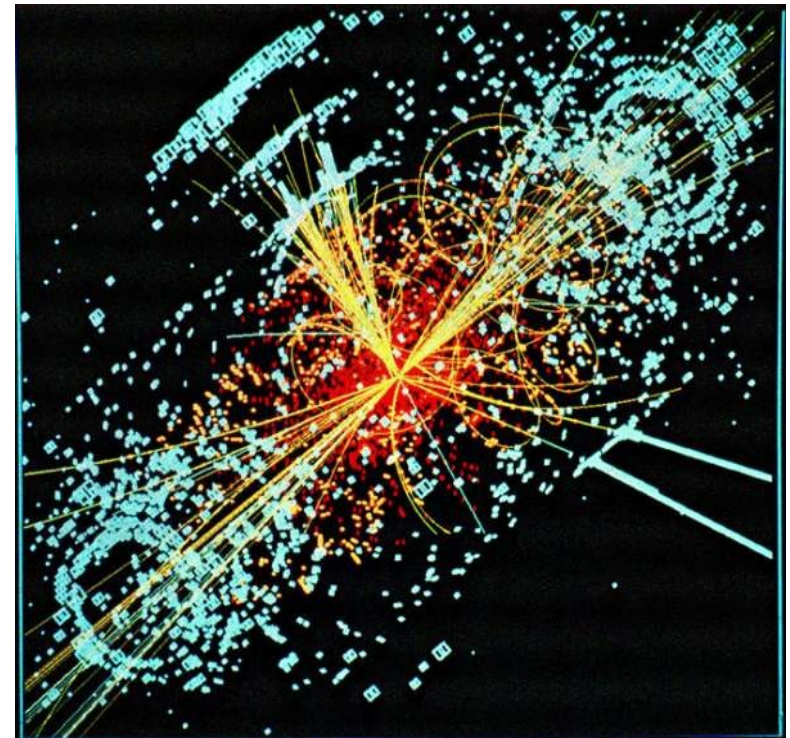
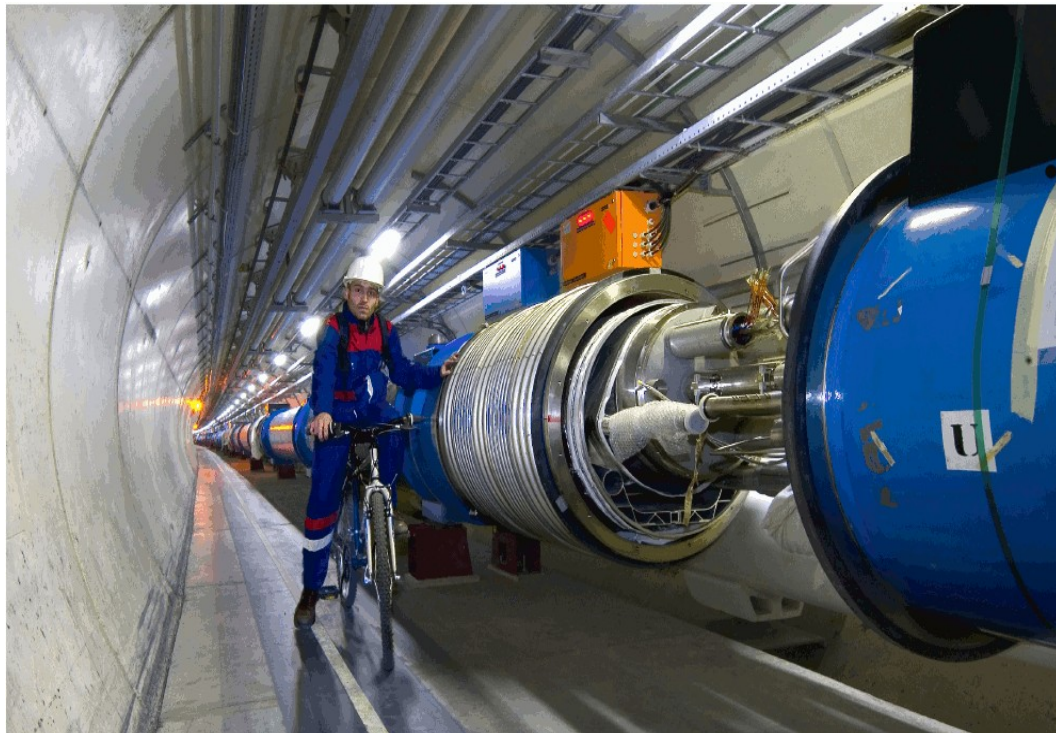
[pubblicità]

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

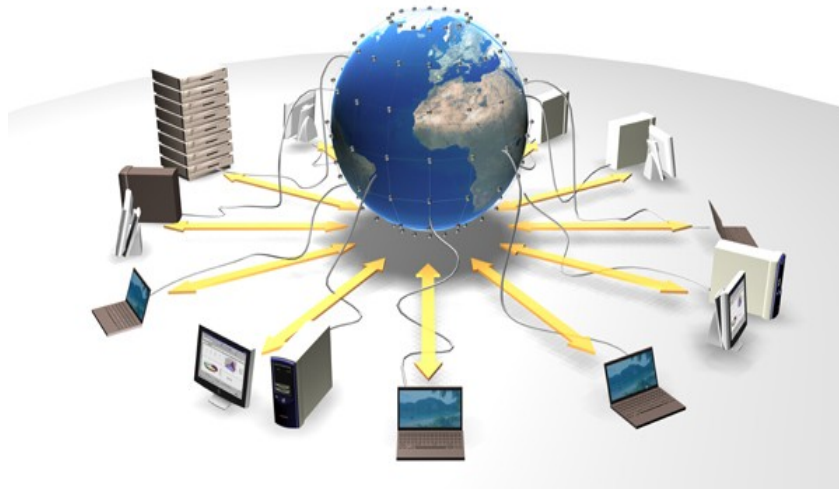
... ma [pubblicità] più freddo dell'Universo

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



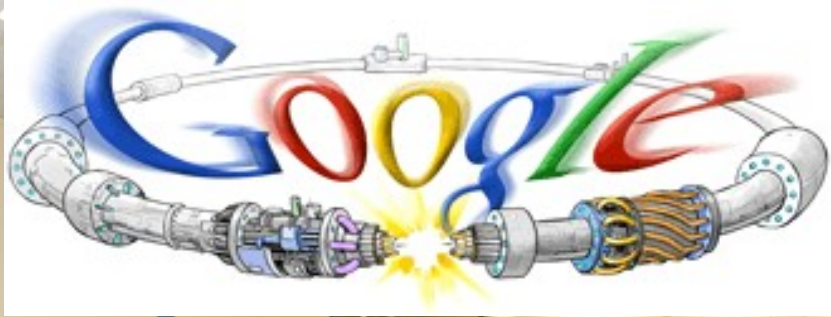
WWW: accesso a informazione archiviata in diverse località geografiche

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

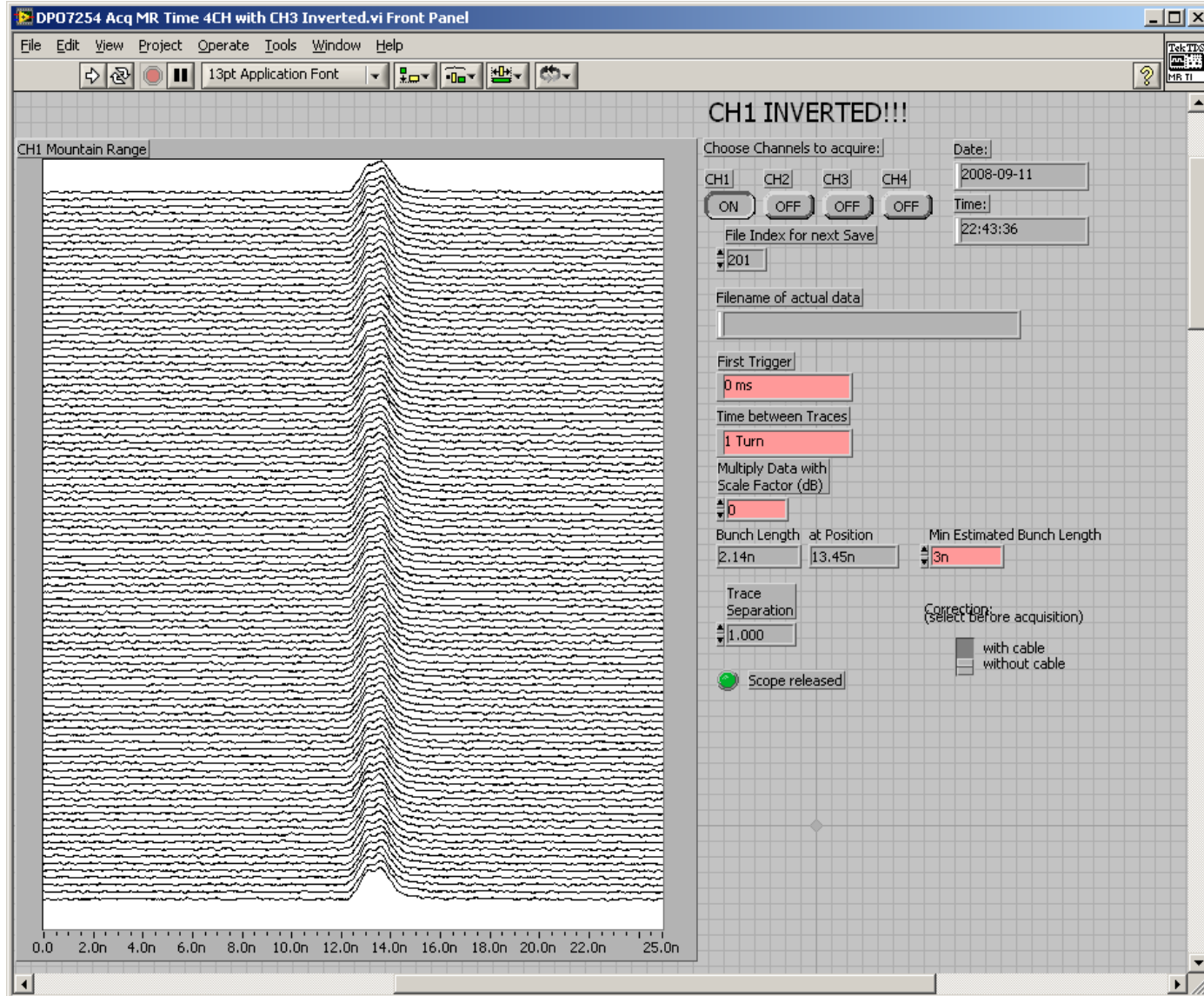
I Nastri (ovvero l'ultimo nascondiglio del bosone di Higgs ?)



Il Giorno 1 - 10.09.08 10:00'



Il Giorno 2



Il Giorno 7

“Estote parati”

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

“I progressi saranno rapidissimi”

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

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

[→ frequenze di interazione ~ 10000 al secondo]

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

Walter Scandale - Pisa, 16/09/2008

Il Giorno 10 - 19.09.08 11:18'

Prima dell'incidente

In rapida sequenza:

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

Un anno di fermo macchina



Dopo l'incidente



Gli Esperimenti

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

ATLAS: A Toroidal Lhc Apparatus (campo magnetico toroidale)

CMS: Compact Muon Solenoid (campo magnetico solenoidale)

Violazione della simmetria materia-antimateria:

LHCb: LHC Beauty (fisica del quark bottom)

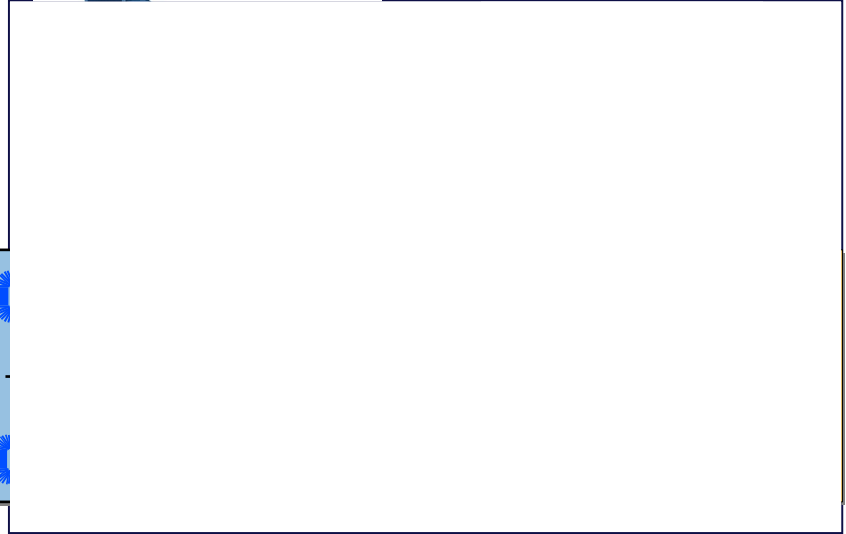
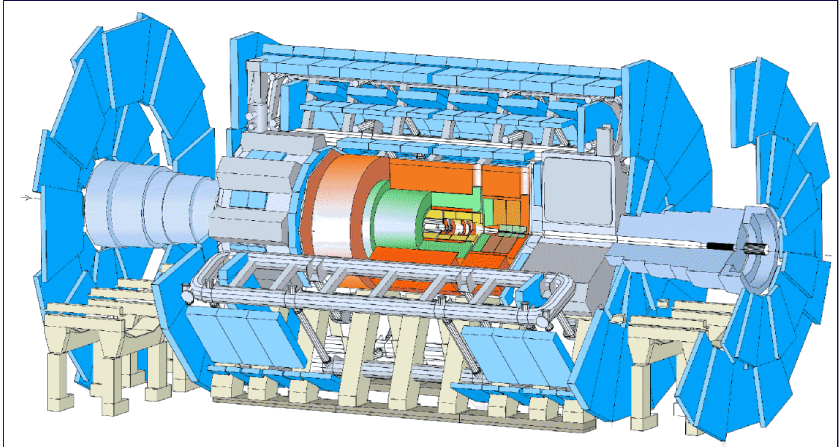
Ricerca sulle origini dell'universo:

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

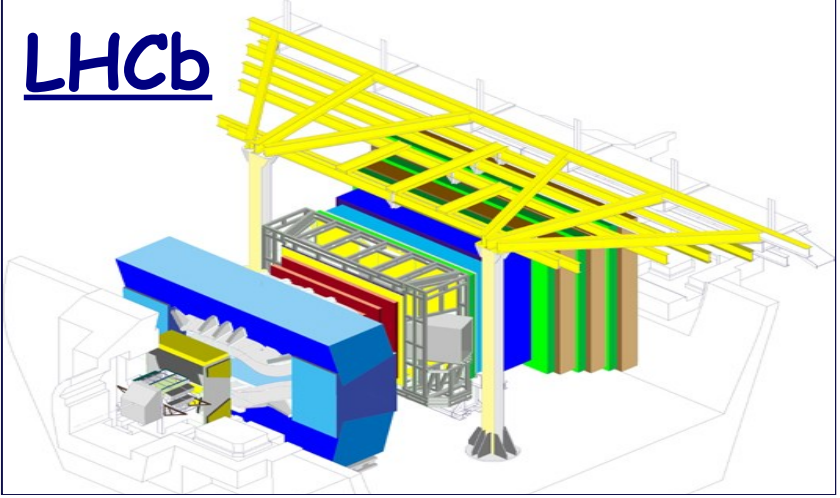
TOTEM: Total Cross Section (sezione d'urto totale)

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

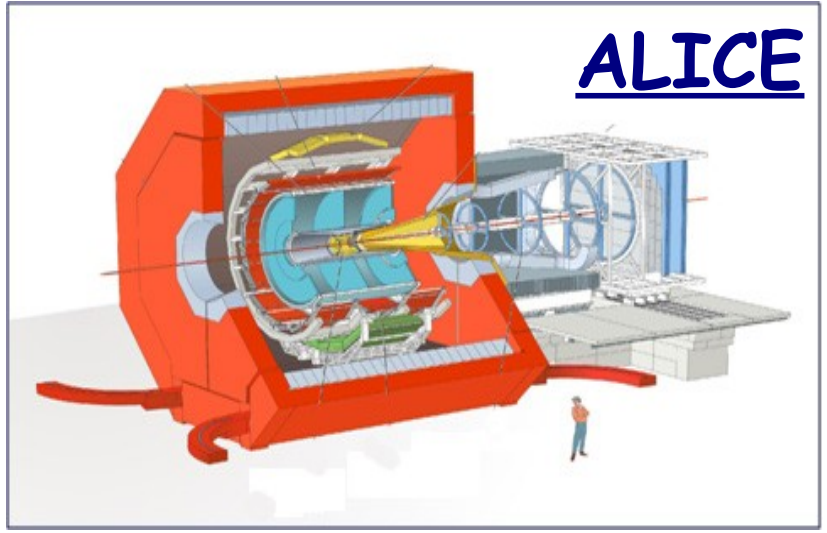
ATLAS



LHCb



ALICE



6. 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:

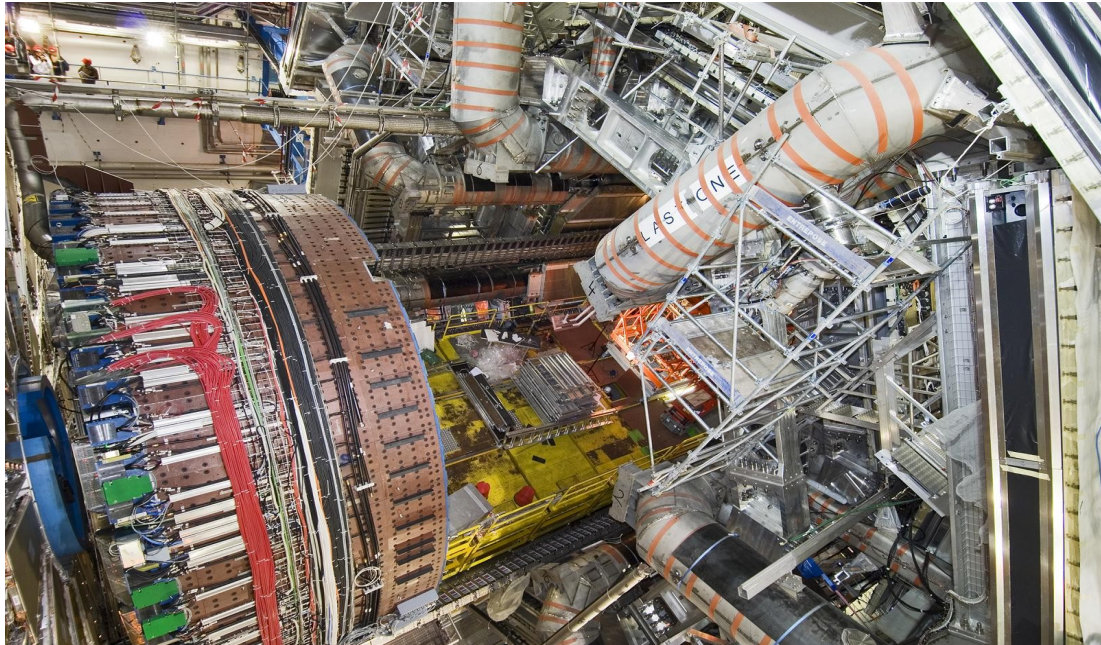
http://virtualvisit.web.cern.ch/VirtualVisit/ATLAS_dev/HTML/VThi.html

ATLAS

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

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

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



ATLAS (2)

Il più 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:

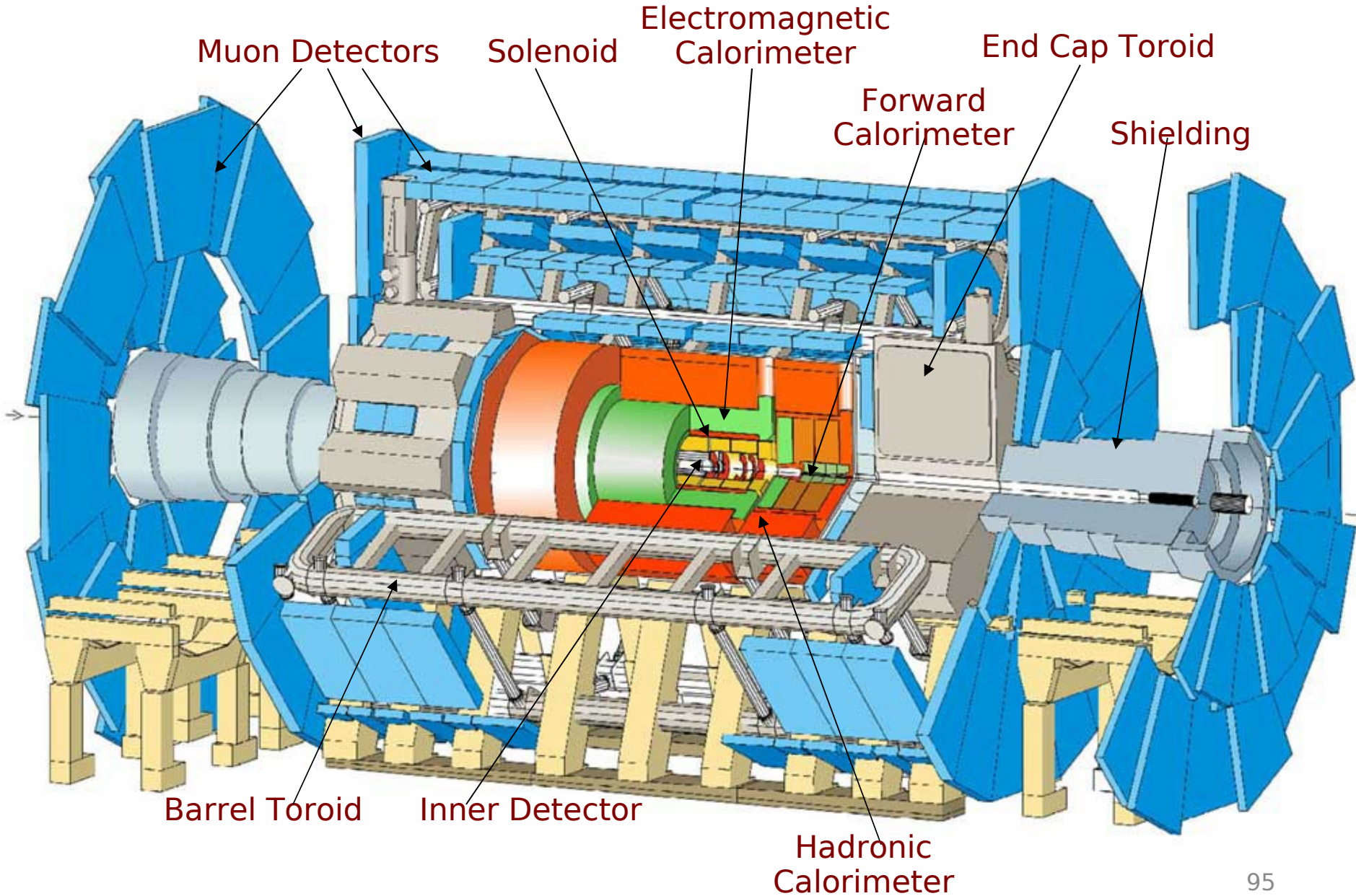
Calorimetro Elettromagnetico (Lar) e Calorimetro Adronico (Tile)

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

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

Ogni "elemento" è sviluppato da una collaborazione internazionale !

Un Microscopio alto 22 m e lungo 46 m



La Sperimentazione

Interazione particelle-materia dipende dal tipo di particella:

Cariche leggere: elettroni

Neutre leggere (1): fotoni

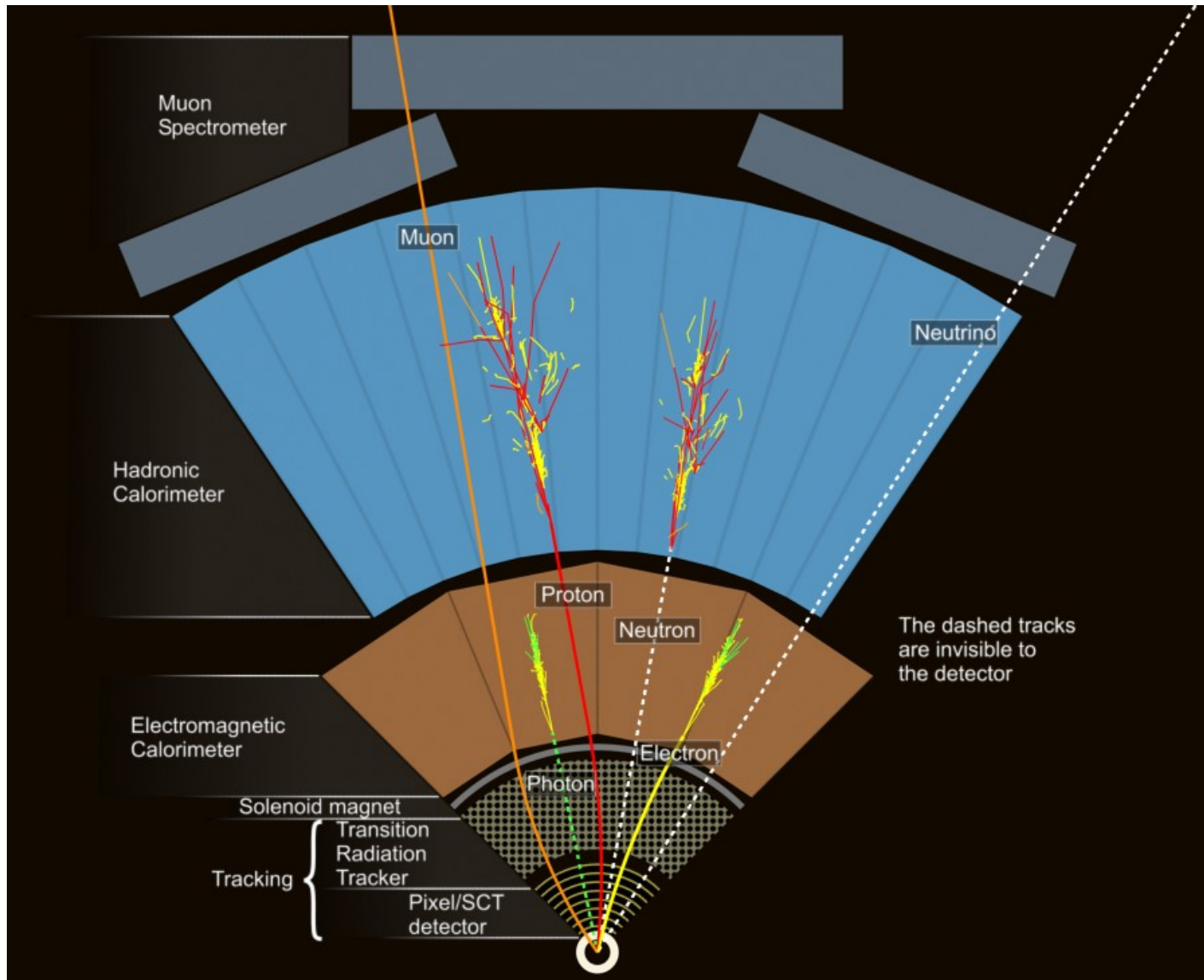
Neutre leggere (2): neutrini, neutralini (?)

Cariche pesanti (1): protoni, mesoni carichi

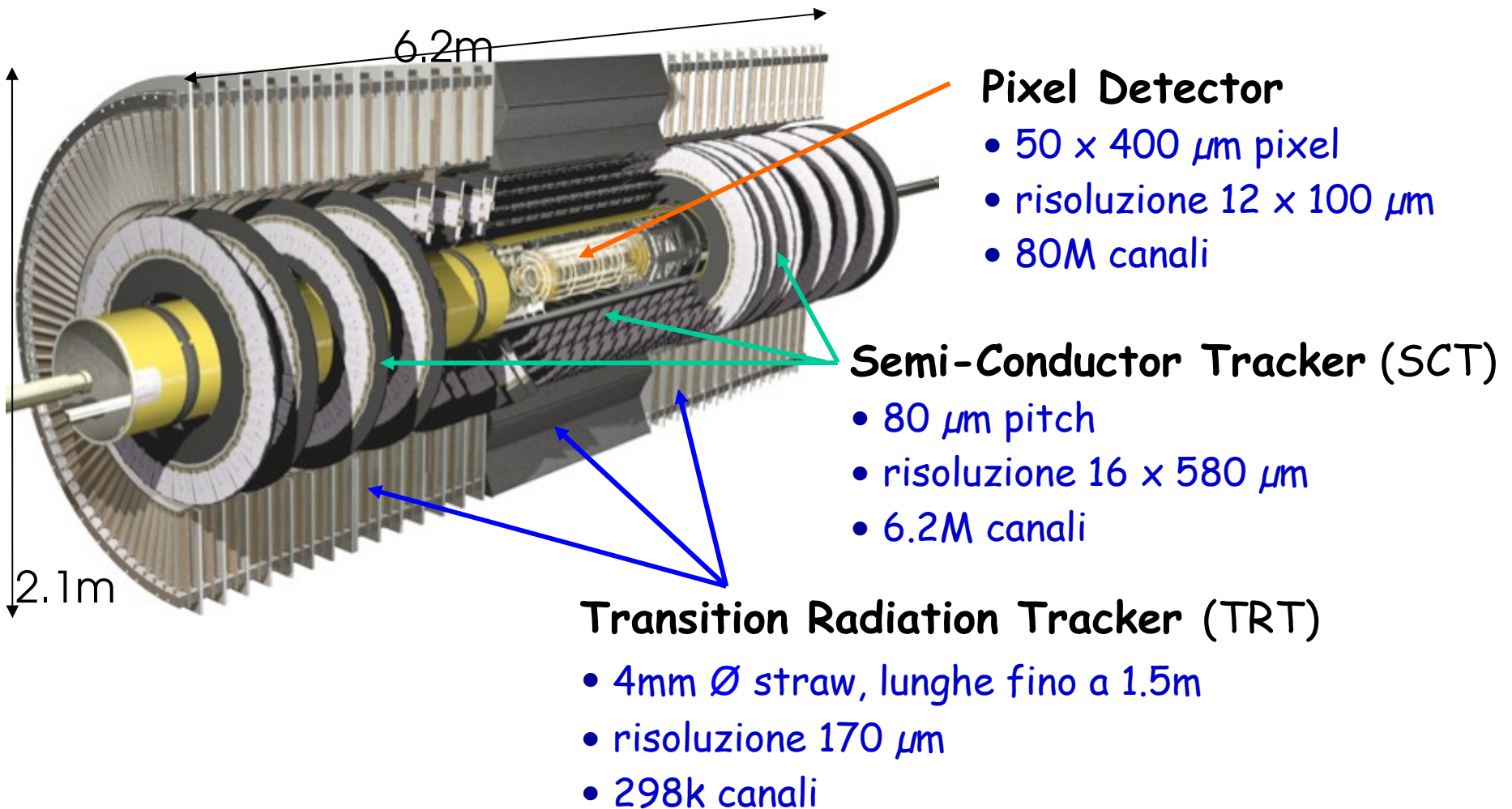
Cariche pesanti (2): muoni

Neutre pesanti: neutroni, mesoni neutri

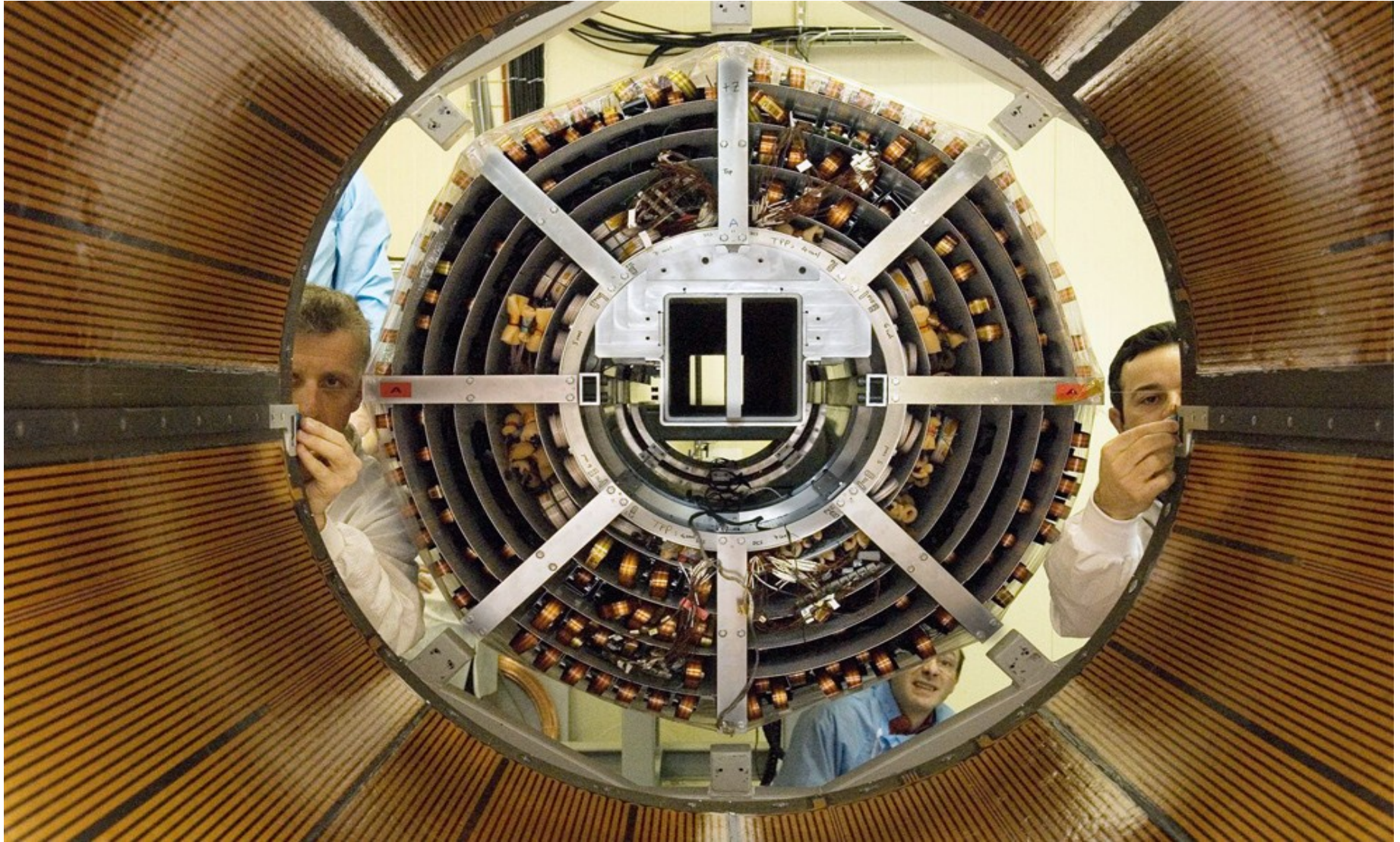
Tante (Diverse) Macchine Fotografiche



Esempio: Tracciatore Interno

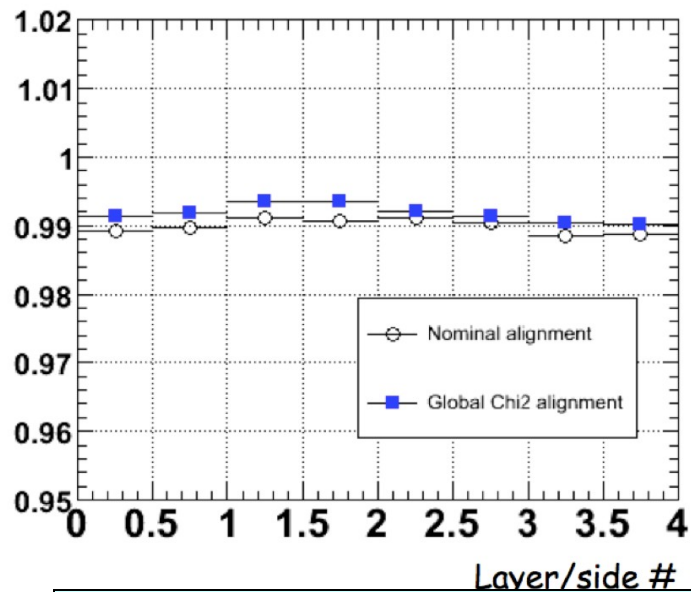


SCT + TRT

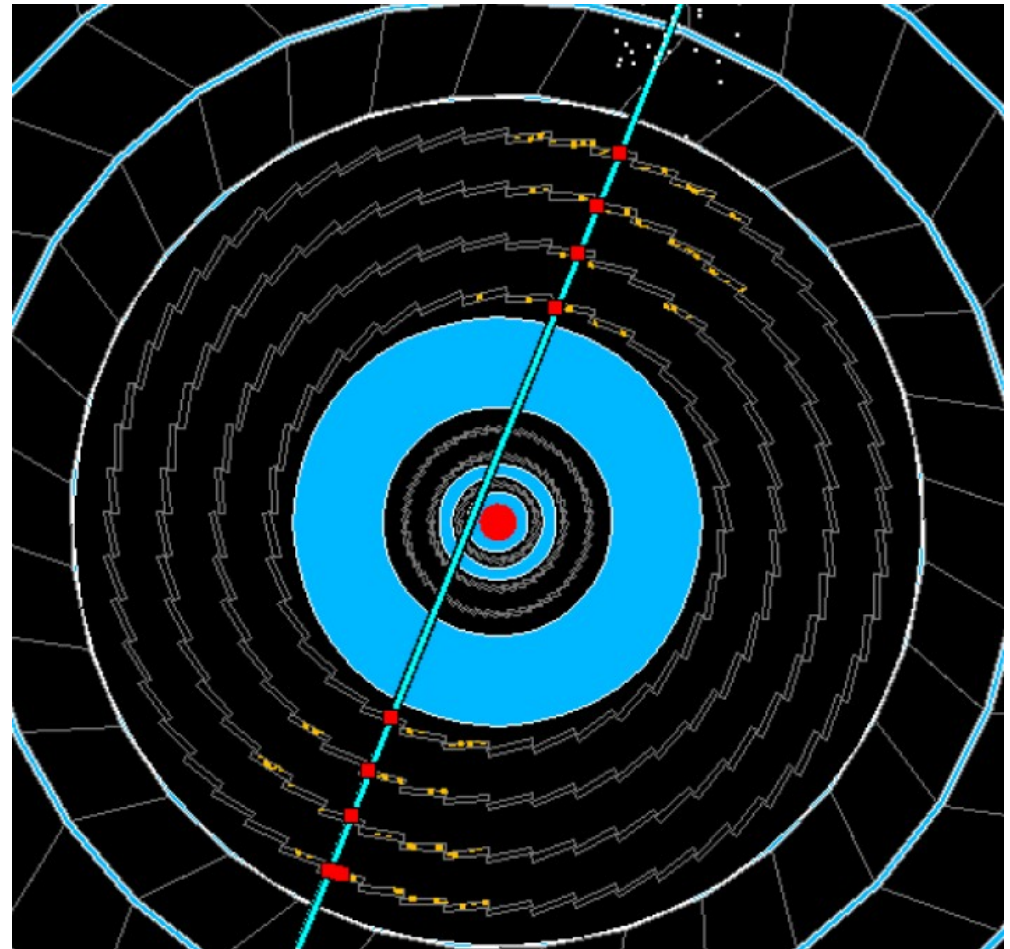


Tracce SCT con Cosmici

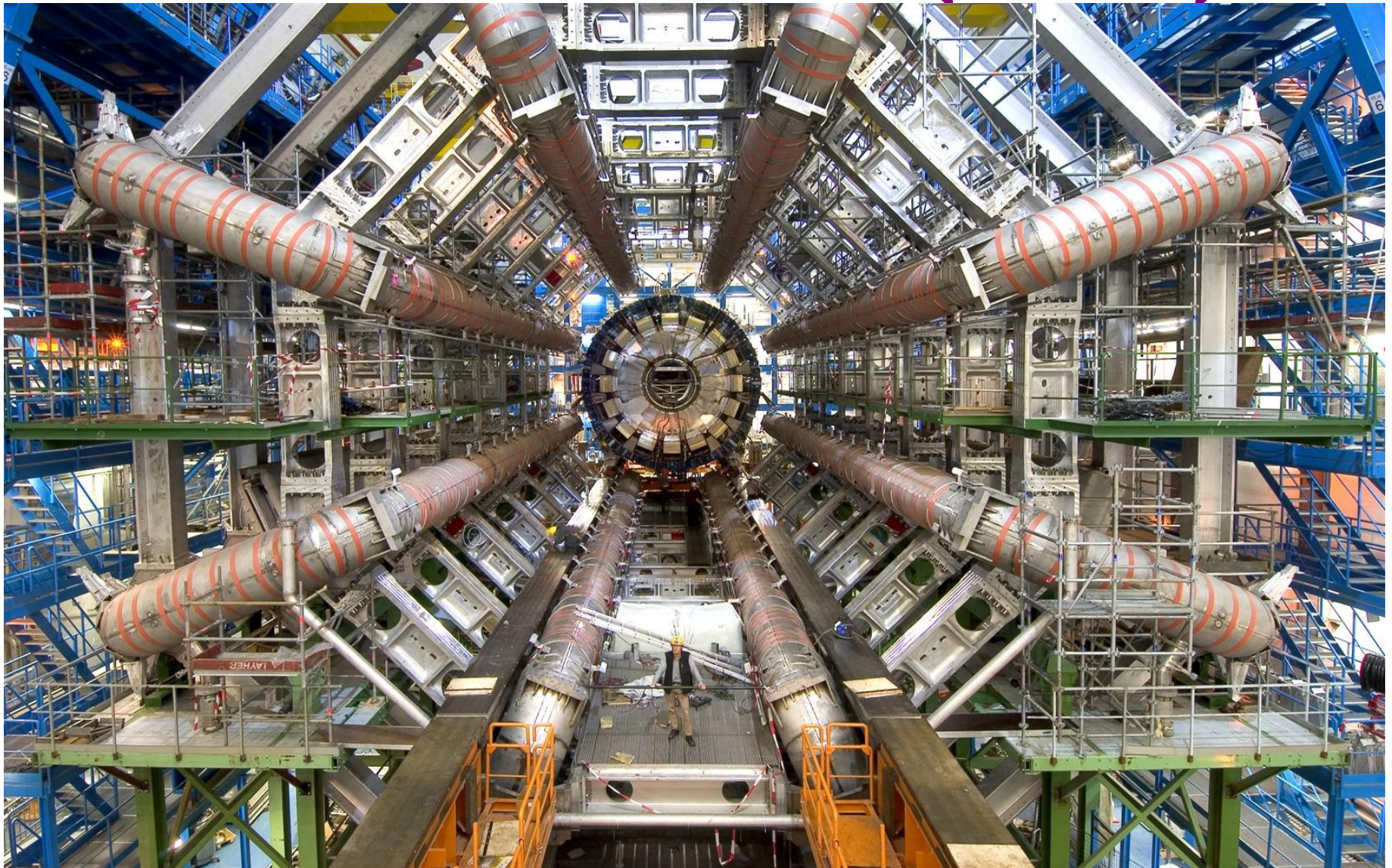
10 milioni di eventi (500 mila di raggi cosmici)



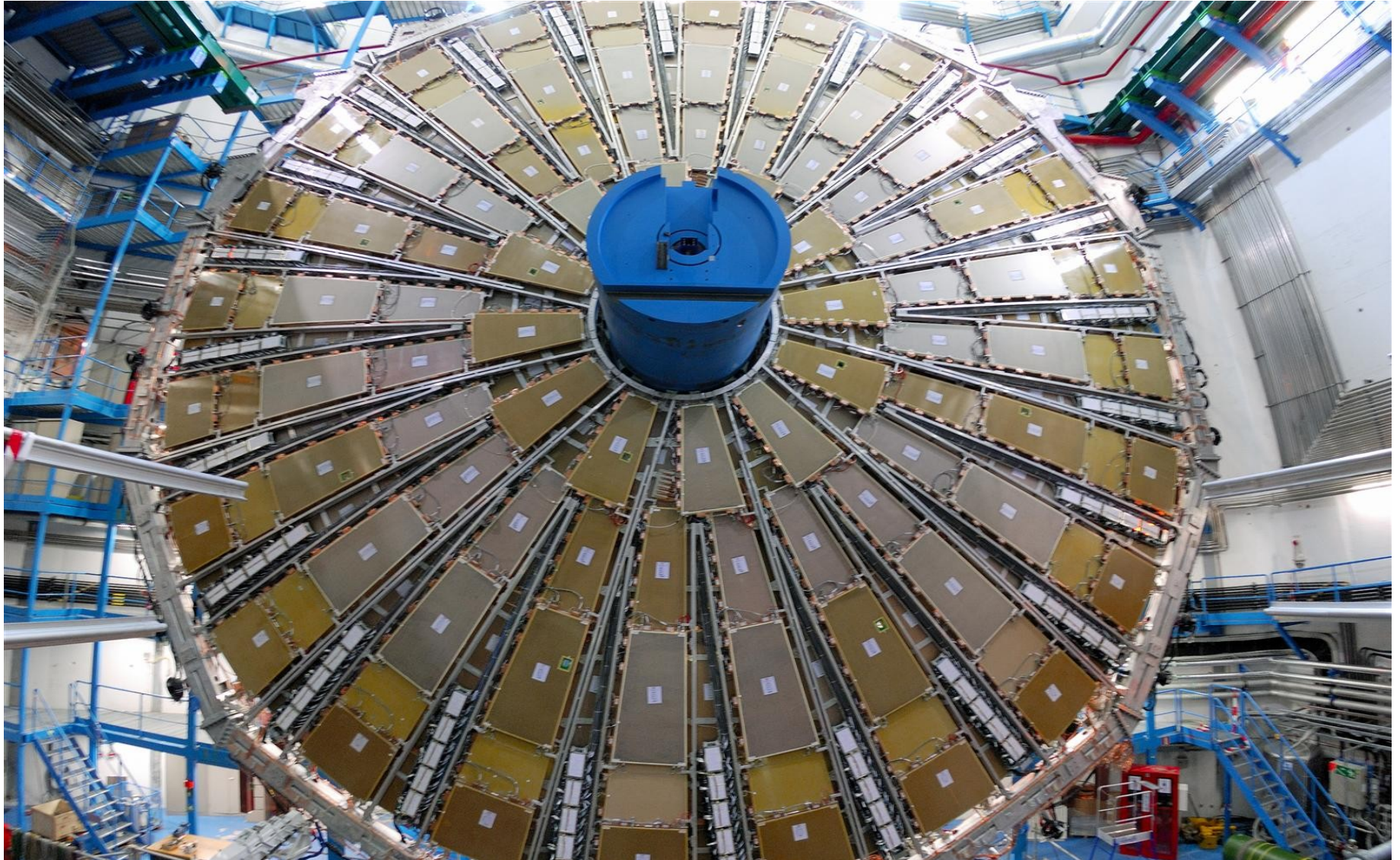
Efficiienza >99%



Il Toroide Centrale (Barrel)



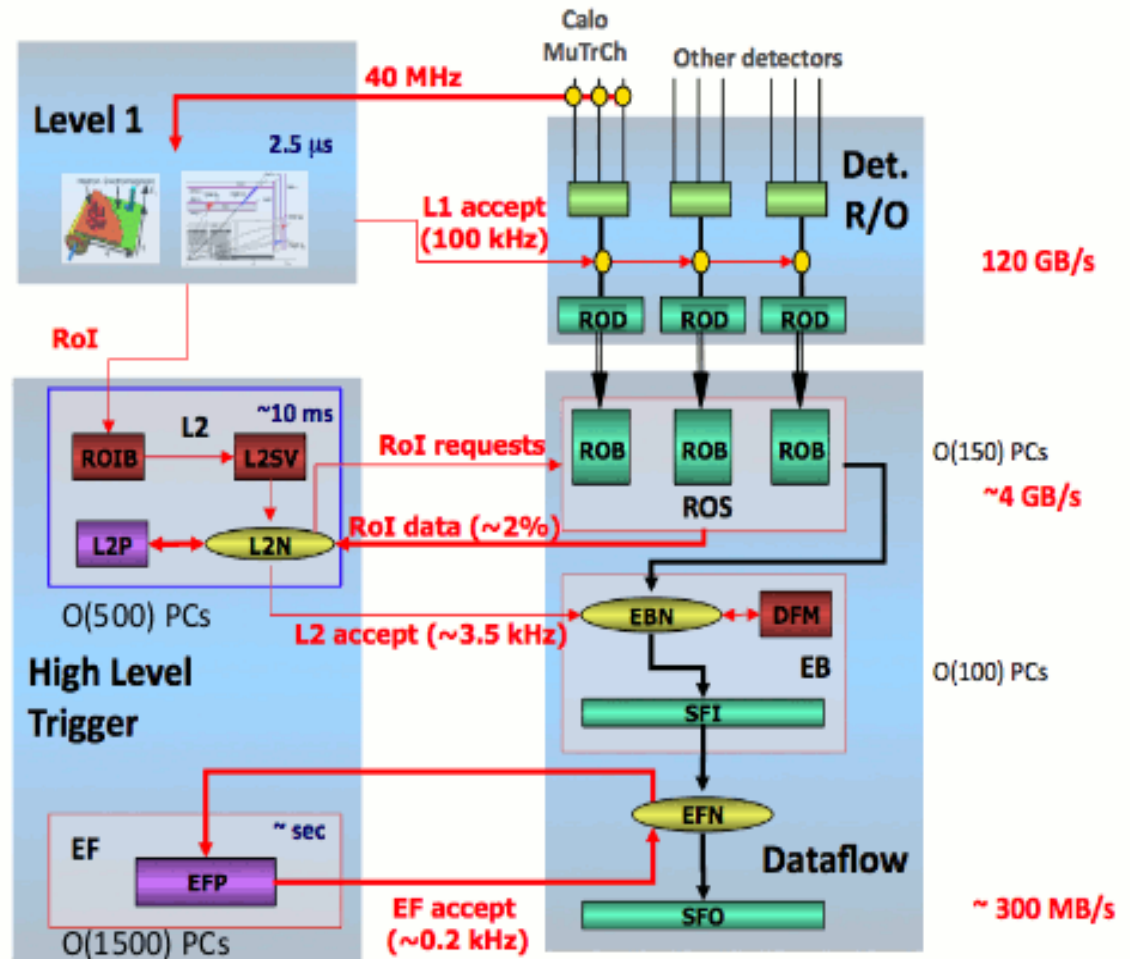
La Prima di 8 Grandi Ruote



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)

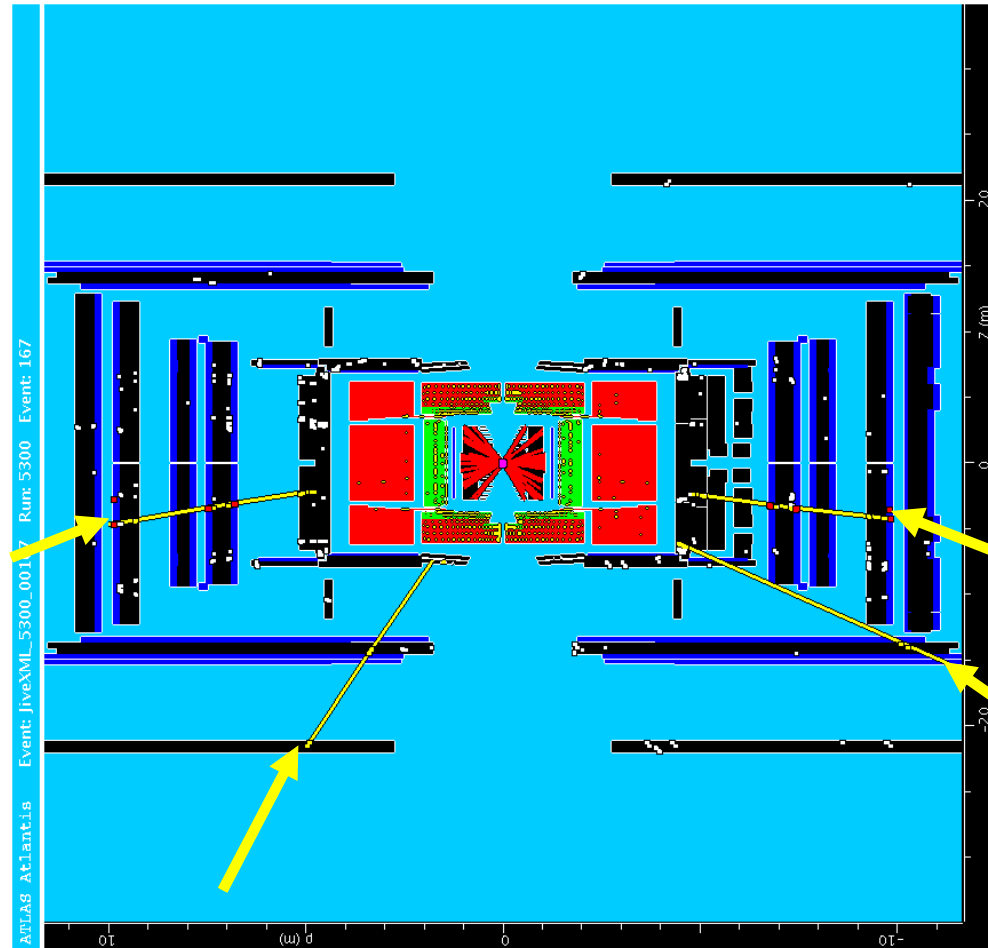
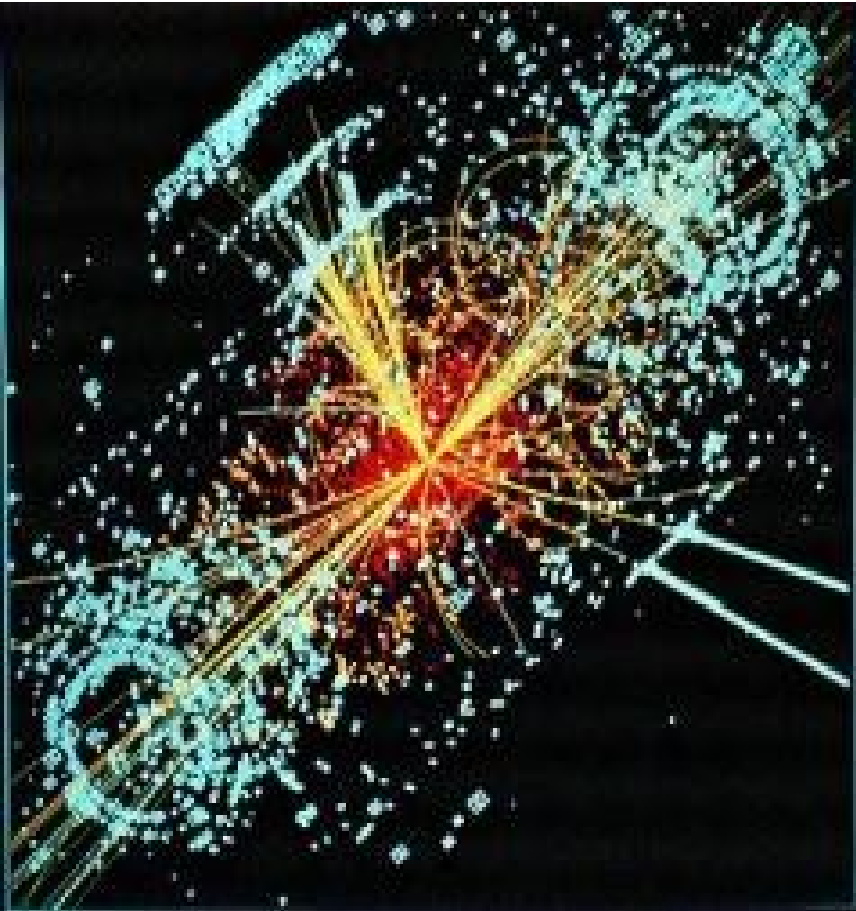
- Immaginate una lotteria che effettui 100 milioni di estrazioni al secondo di un numero casuale di 12 cifre
- Un solo numero (di 1000 miliardi) è quello interessante
- Solo 100 estrazioni al secondo possono essere scritte e analizzate con calma

→ Riduzione del flusso di dati a più livelli

1. un primo sistema controlla 3 cifre di ogni estrazione → in media una sola estrazione su 1000 sopravvive (~ 100mila al secondo)
2. un secondo sistema controlla altre 2 cifre → ~1/100 sopravvive (~ 1000 al secondo)
3. un terzo sistema controlla un'altra cifra → ~1/10 sopravvive (~ 100 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 nel caos di una fiera

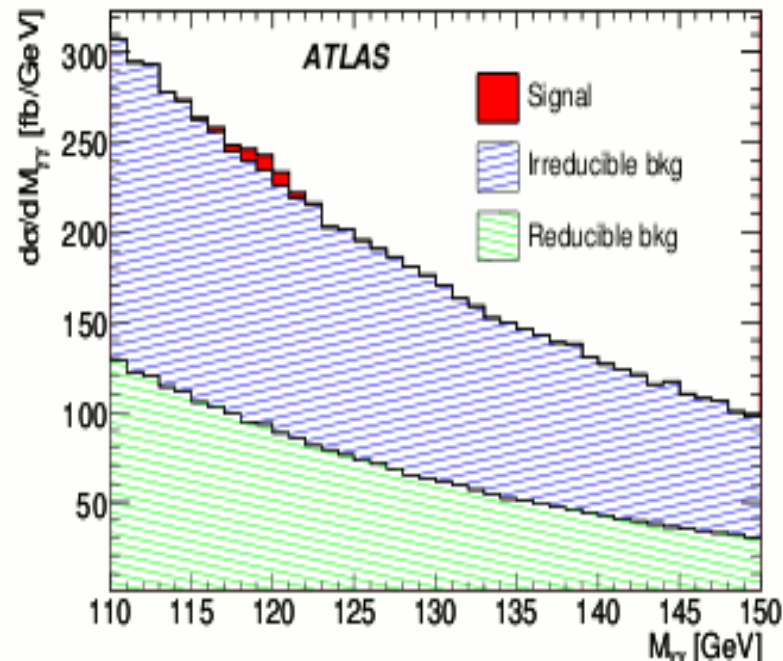
→ precisione di misura fondamentale (energia, direzione, tipo di particelle)

Necessari vari anni di presa dati:

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

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

→ Scoperta



Stato Attuale (LEP+Tevatron)

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

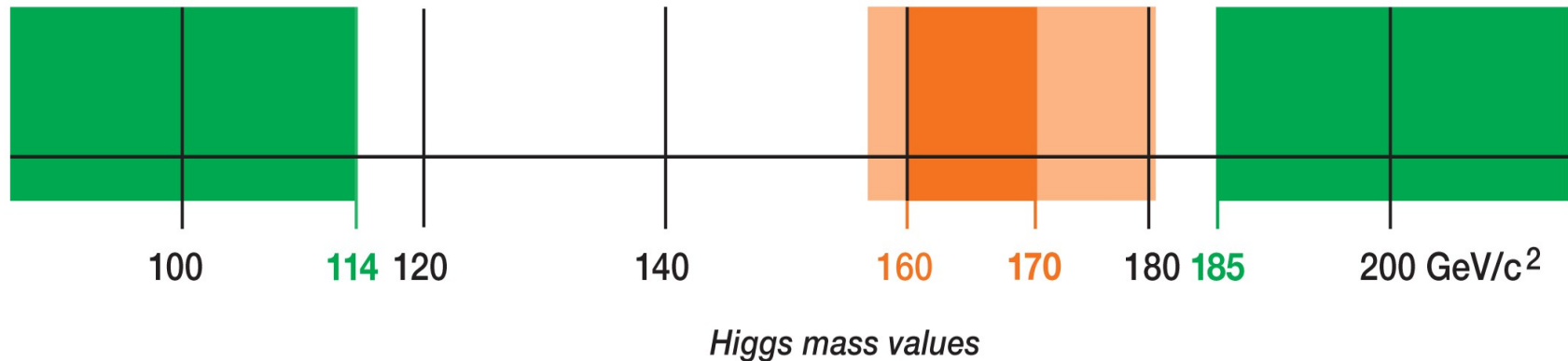
90% confidence level

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 più sarebbe un segnale
formidabile di nuova fisica

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

... ma potrebbero essere pericolosi ?

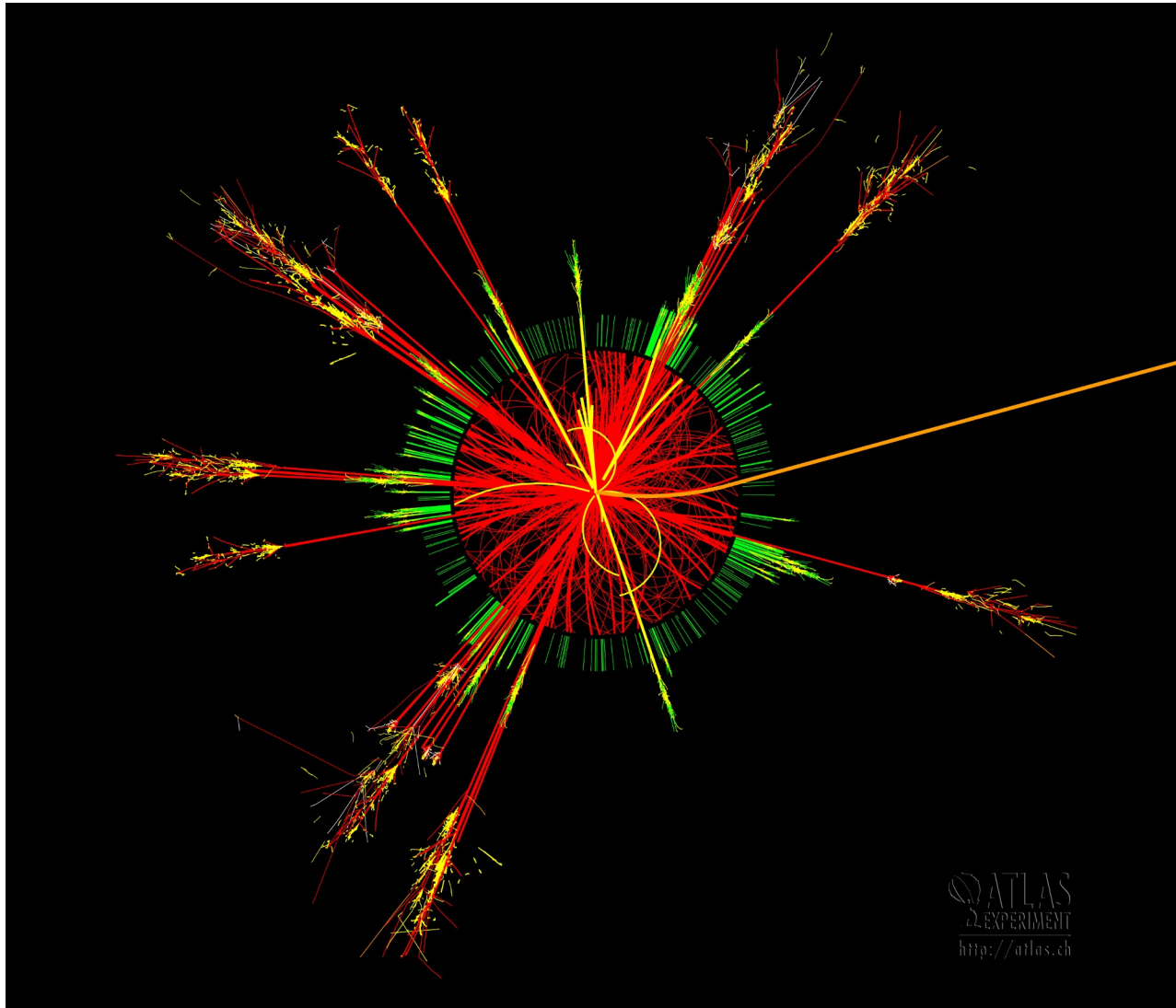
La Natura fa gia' di meglio ...

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

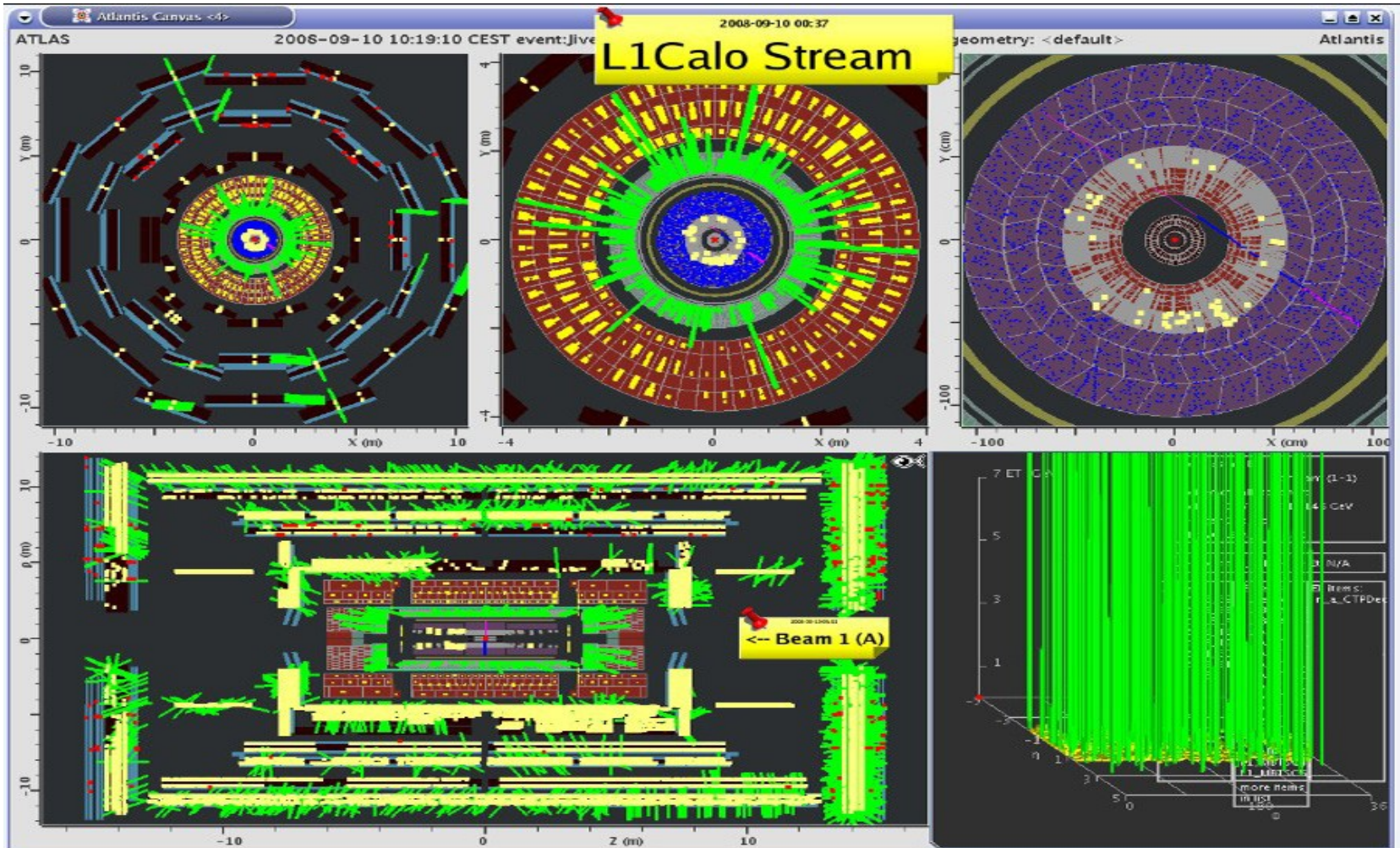


La Presa Dati



Settembre 2008

Evento n. 1





Novembre-Dicembre 2009

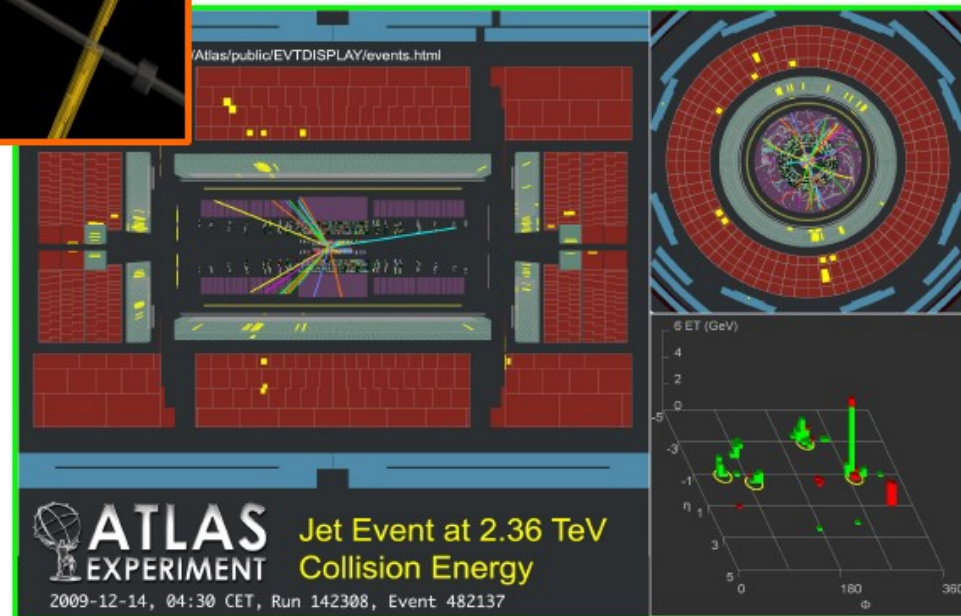
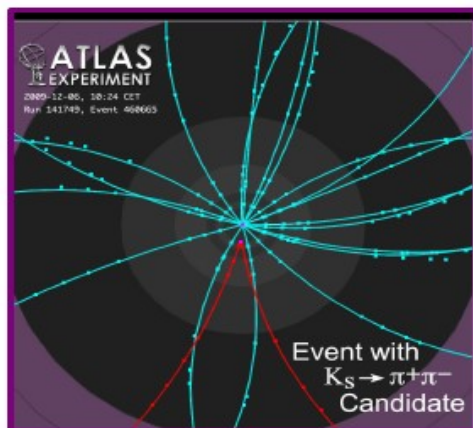
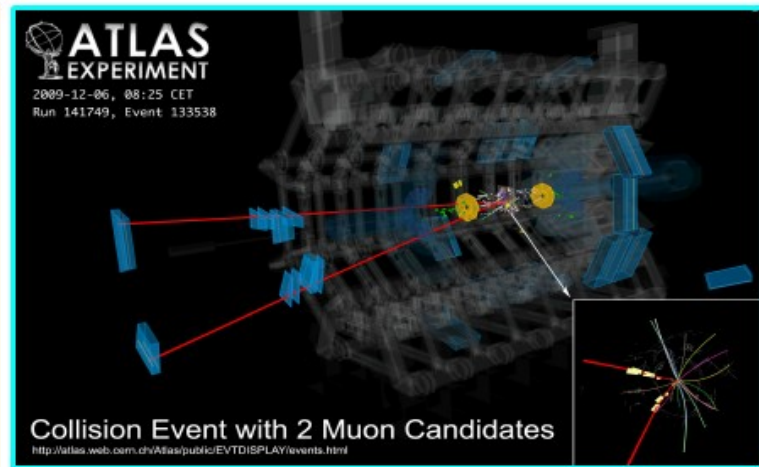
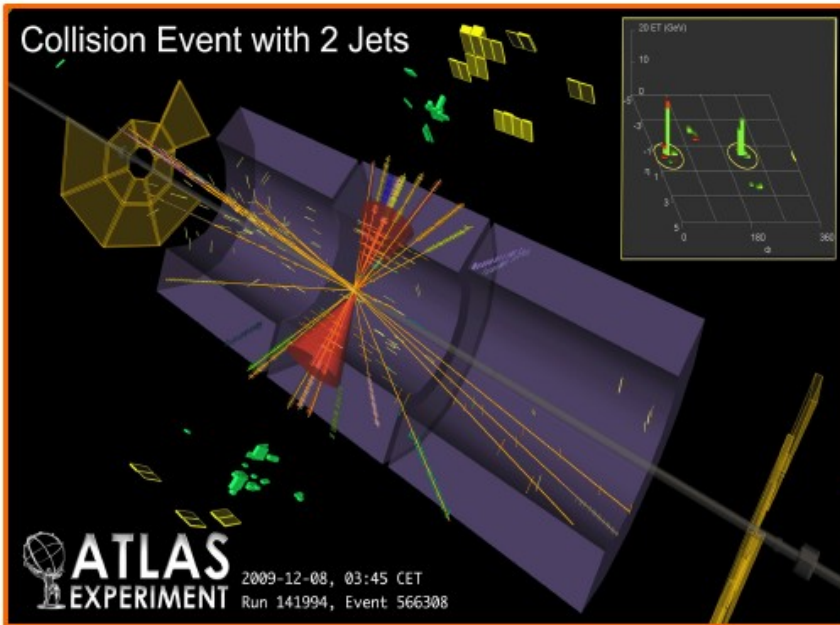


Since 20th November 2009,
a fantastic escalation!!!
5 weeks of beam operation, whole ATLAS detector

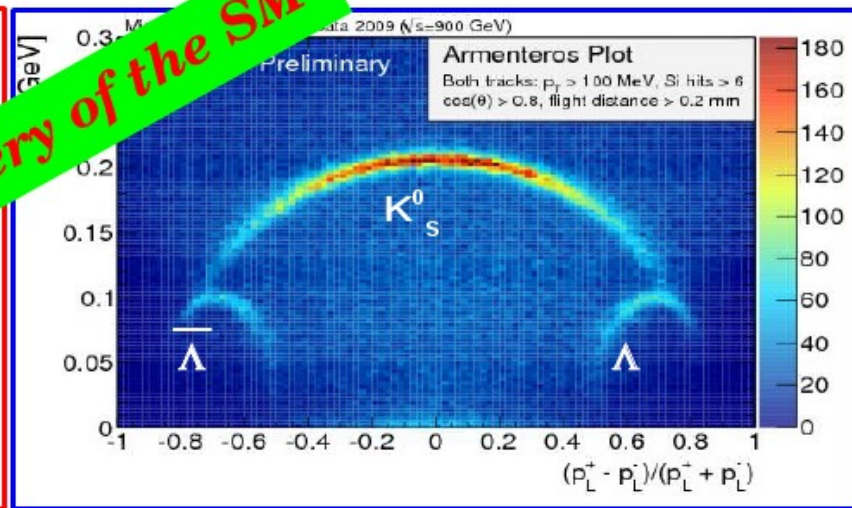
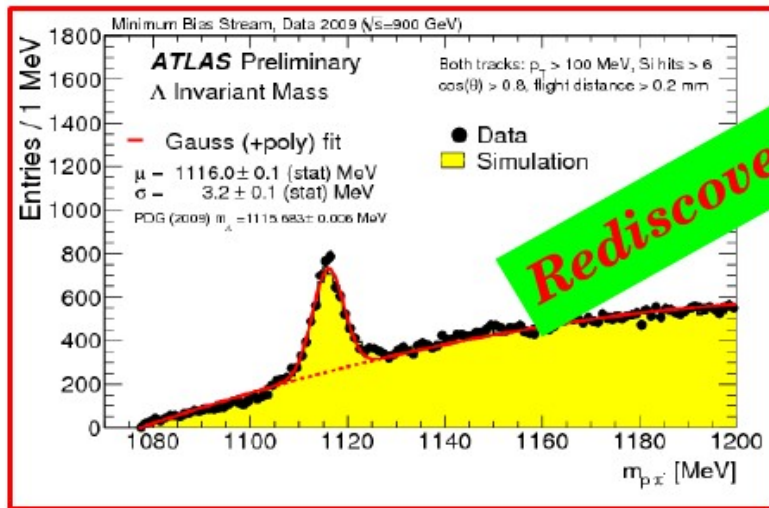
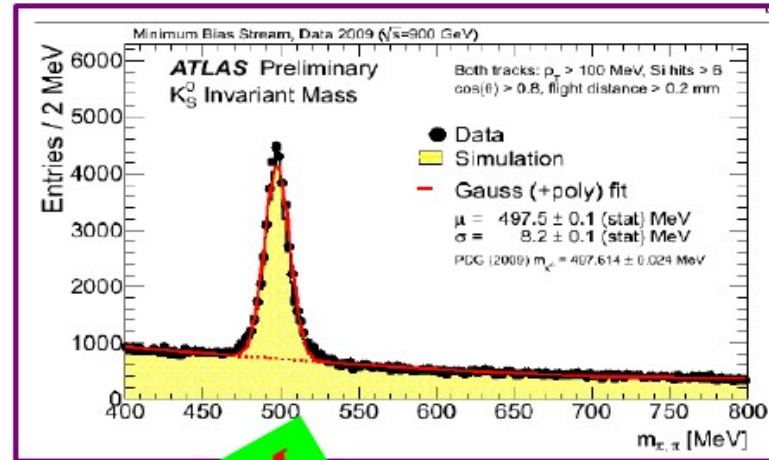
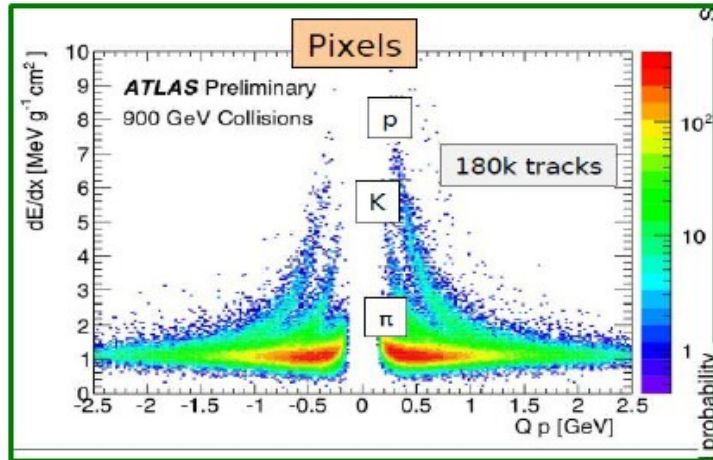


- ✓ 23 Nov: First collisions @ 900 GeV
- ✓ 6 Dec: Stable beams \Rightarrow nominal voltage
- ✓ 8,14,16 Dec: Collisions @ 2.36 TeV

Le Prime Collisioni



I Primi Risultati



Rediscovery of the SM

Il Prossimo Futuro

LHC Performance Workshop

Chamonix 25-29 gennaio 2010

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

dopo di che: ... la fisica di scoperta

La Schedula Corrente

Phase	Days	
Circulating beams	2	Essential checks
450 GeV re-commissioning	7	Injection, tune, Q', C-, orbit, collimators, LBDS, instrumentation
450 optics checks	3	Beating, energy matching optimization
450 two beams	1	bumps as standard set-up, adjust TDI etc
450 GeV collisions	1	experiments on at 450 GeV
Ramp to 3.5 TeV	5	commission essential machine protection, experiments' dipoles on in ramp, orbit and tune feedback
3.5 TeV	7	machine protection (beam dumps, collimation etc.) optics
Pilot collisions un-squeezed	3-5	Safe beams at 3.5 TeV, test procedures etc.
Commission squeeze	4	feedbacks, collimation, aperture, bumps, machine protection checks, beam dumps etc.
Collisions squeezed – safe, stable beams	7	Stable beams up to safe beam limit

~ Next week ?

Concludendo

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



... cittadini del mondo ...

Grazie per l'attenzione

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

<http://www.pv.infn.it/~ferrari/guastalla13032010.html>

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

Al di là dei luoghi comuni, mettere assieme mentalità e culture diverse non è banale ma quello che si può imparare e i risultati che si possono ottenere

SONO UNICI

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

Risorse Web (3)

Sui buchi neri:

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

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