

# Aperitivo con il Bosone di Higgs

(la ricerca del Bosone di Higgs a LHC)

Roberto Ferrari

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Parma Linux User Group

Parma, 15 settembre 2012

# Sommario

1: il modello standard

2: l'acceleratore (LHC)

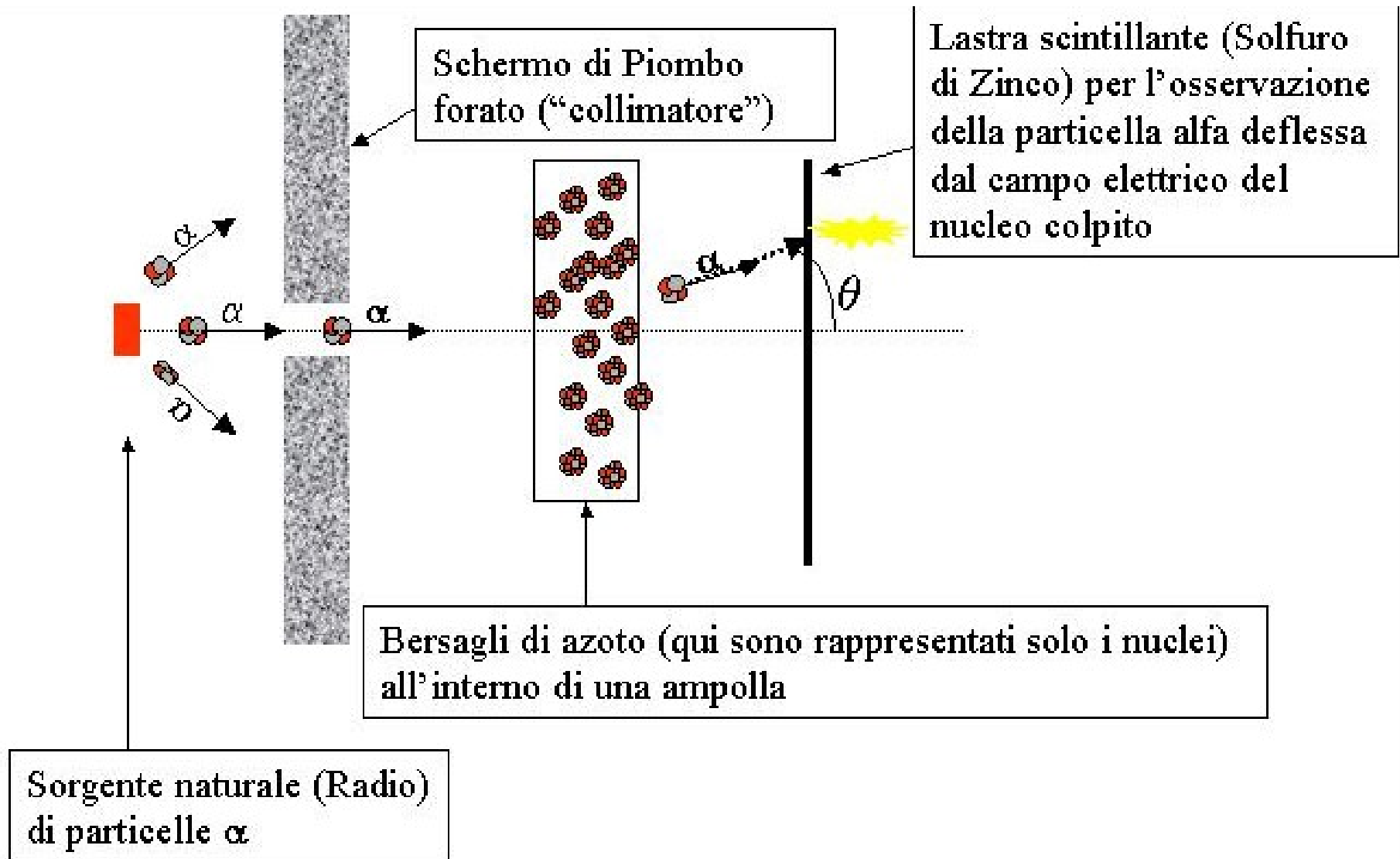
3: l'esperimento (ATLAS)

4: risultati

5: aspetti sociologici

# 1. il modello standard

# L'esperienza di Rutherford



# La struttura dell'atomo

- 1 o più elettroni "orbitano" attorno ad un nucleo
- massa concentrata nel nucleo
  - raggio orbite  $\sim 0.1$  nanometri
  - raggio nucleo  $\sim 1$  femtometro

Se l'atomo fosse un campo da calcio

→ il nucleo sarebbe una biglia di 1 mm al centro del campo.

Legame atomico: cariche e forze elettromagnetiche

(energie  $\sim 1$  eV)

# Il modello atomico

Fine secolo XIX, inizi secolo XX:

- scoperta dell'elettrone, del fotone, spettroscopia atomici

~1910: nucleo atomico

~1920: protone, numero atomico

~1932: neutrone

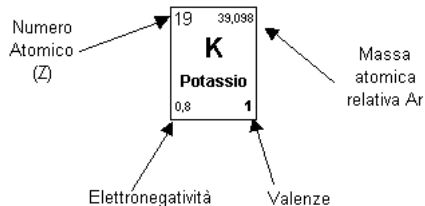
~1900-1930: Meccanica Quantistica

\* Decadimenti nucleari  $\beta$  (beta)

1930: energia mancante ! Pauli ipotizza il neutrone (neutrino)

# TAVOLA PERIODICA degli ELEMENTI

1	IA										GRUPPO 0								
1	1,0079 <b>H</b> Idrogeno 2,1 1											2 4,00260 <b>He</b> Elio -							
2	3 6,941 <b>Li</b> Litio 1 1	4 9,01218 <b>Be</b> Berillio 1,5 2											5 10,81 <b>B</b> Boro 2 3	6 12,011 <b>C</b> Carbonio 2,5 2,4	7 14,0067 <b>N</b> Azoto 3 2,3,4,5	8 15,9994 <b>O</b> Ossigeno 3,5 1,2	9 18,99840 <b>F</b> Fluoro 4 1	10 20,179 <b>Ne</b> Neon -	
3	11 22,98977 <b>Na</b> Sodio 0,9 1	12 24,305 <b>Mg</b> Magnesio 1,2 2											13 26,98154 <b>Al</b> Alluminio 1,5 3	14 28,086 <b>Si</b> Silicio 1,8 4	15 30,97376 <b>P</b> Fosforo 2,1 3,4,5	16 32,06 <b>S</b> Zolfo 2,5 2,4,6	17 35,453 <b>Cl</b> Cloro 3 1,3,5,7	18 39,948 <b>Ar</b> Argo -	
4	19 39,098 <b>K</b> Potassio 0,8 1	20 40,08 <b>Ca</b> Calcio 1 2	21 44,9559 <b>Sc</b> Scandio 1,3 3	22 47,90 <b>Ti</b> Titanio 1,5 3,4	23 50,9414 <b>V</b> Vanadio 1,6 2,3,4,5	24 51,996 <b>Cr</b> Cromo 1,6 2,3,6	25 54,938 <b>Mn</b> Manganese 1,5 2,3,4,6,7	26 55,847 <b>Fe</b> Ferro 1,8 2,3	27 58,9332 <b>Co</b> Cobalto 1,8 2,3	28 58,70 <b>Ni</b> Nichelio 1,8 2,3	29 63,546 <b>Cu</b> Rame 1,9 1,2	30 65,38 <b>Zn</b> Zinco 1,6 2	31 69,72 <b>Ga</b> Gallio 2 1,6	32 72,59 <b>Ge</b> Germanio 1,8 4	33 74,9216 <b>As</b> Arsenico 2 3,5	34 78,96 <b>Se</b> Selenio 2,4 2,4,6	35 79,904 <b>Br</b> Bromo 2,8 1,5	36 83,80 <b>Kr</b> Kripto -	
5	37 85,4678 <b>Rb</b> Rubidio 0,8 1	38 87,62 <b>Sr</b> Stronzio 1 2	39 88,9059 <b>Y</b> Ittrio 1,3 3	40 91,22 <b>Zr</b> Zirconio 1,4 4	41 92,9064 <b>Nb</b> Niobio 1,6 3,5	42 95,94 <b>Mo</b> Molibdeno 1,8 2,3,4,5,6	43 (97) <b>Tc</b> Tecnecio 1,9 7	44 101,07 <b>Ru</b> Rutenio 2,2 2,3,4,6,8	45 102,9055 <b>Rh</b> Rodio 2,2 2,3,4	46 106,4 <b>Pd</b> Palladio 2,2 2,4	47 107,868 <b>Ag</b> Argento 1,9 1	48 112,40 <b>Cd</b> Cadmio 1,7 2	49 114,82 <b>In</b> Indio 1,7 3	50 118,69 <b>Sn</b> Stagno 1,8 2,4	51 121,76 <b>Sb</b> Antimonio 1,9 3,5	52 127,60 <b>Te</b> Tellurio 2,1 2,4,6	53 126,9045 <b>I</b> Iodio 2,5 1,5,7	54 131,30 <b>Xe</b> Xeno -	
6	55 132,9054 <b>Cs</b> Cesio 0,7 1	56 137,34 <b>Ba</b> Bario 0,9 2	57 138,9055 <b>La</b> Lantanio 1,1 3	72 178,49 <b>Hf</b> Afnio 1,3 4	73 180,9479 <b>Ta</b> Tantalio 1,5 5	74 183,85 <b>W</b> Tungsteno 1,7 2,3,4,5,6	75 186,207 <b>Re</b> Renio 1,9 1,2,4,6,7	76 190,2 <b>Os</b> Osmio 2,2 2,3,4,6,8	77 192,22 <b>Ir</b> Iridio 2,2 2,3,4,6	78 195,09 <b>Pt</b> Platino 2,2 2,4	79 196,9665 <b>Au</b> Oro 2,4 1,3	80 200,59 <b>Hg</b> Mercurio 1,9 1,2	81 204,37 <b>Tl</b> Tallio 1,8 1,3	82 207,2 <b>Pb</b> Piombo 1,8 2,4	83 208,9804 <b>Bi</b> Bismuto 1,9 3,5	84 [209] <b>Po</b> Polonio 2 2,4	85 [210] <b>At</b> Astatio 2,2 1,3,5,7	86 [222] <b>Rn</b> Radon -	
7	87 223 <b>Fr</b> Francio 0,7 1	88 226,0254 <b>Ra</b> Radio 0,9 2	89 [227] <b>Ac</b> Attinio 1,1 3											98 251 <b>Cf</b> Californio - 3	99 (254) <b>Es</b> Einsteinio -	100 [257] <b>Fm</b> Fermio -	101 [258] <b>Md</b> Mendelevio -	102 [259] <b>No</b> Nobelio -	103 [260] <b>Lw</b> Lawrencio -



- GAS
- LIQUIDI
- SOLIDI
- PREPARATI ARTIFICIALMENTE
- ELEMENTI DI TRANSIZIONE

58 140,12 <b>Ce</b> Cerio 1,1 3,4	59 140,9077 <b>Pr</b> Praseodimio 1,1 3,4	60 144,24 <b>Nd</b> Neodimio 1,2 3	61 (145) <b>Pm</b> Prometeo - 3	62 150,4 <b>Sm</b> Samario 1,2 2,3	63 151,96 <b>Eu</b> Europio - 2,3	64 157,25 <b>Gd</b> Gadolinio 1,1 3	65 158,9254 <b>Tb</b> Terbio 1,2 3,4	66 162,50 <b>Dy</b> Disprobio - 3	67 164,9304 <b>Ho</b> Olmio 1,9 3	68 167,26 <b>Er</b> Erbio 1,2 3	69 168,9342 <b>Tm</b> Tullio 1,2 2,3	70 173,04 <b>Yb</b> Itterbio 1,1 2,3	71 174,27 <b>Lu</b> Lutezio 1,2 3
90 232,0381 <b>Th</b> Torio 1,3 4	91 231,0369 <b>Pa</b> Protoattinio 1,5 4,5	92 238,029 <b>U</b> Uranio 1,7 3,4,5,6	93 237,0482 <b>Np</b> Nettunio 1,3 3,4,5,6	94 (244) <b>Pu</b> Plutonio 1,3 3,4,5,6	95 (243) <b>Am</b> Americio 1,3 3,4,5,6	96 (247) <b>Cm</b> Curio - 3	97 (247) <b>Bk</b> Berkelio - 3,4	98 (251) <b>Cf</b> Californio - 3	99 (254) <b>Es</b> Einsteinio -	100 [257] <b>Fm</b> Fermio -	101 [258] <b>Md</b> Mendelevio -	102 [259] <b>No</b> Nobelio -	103 [260] <b>Lw</b> Lawrencio -

by Bottasso & Riba ©

# Nucleo Atomico

$N$  protoni +  $(A-N)$  neutroni

- $N$  = numero atomico;  $A$  = peso atomico

cosa li tiene assieme ?

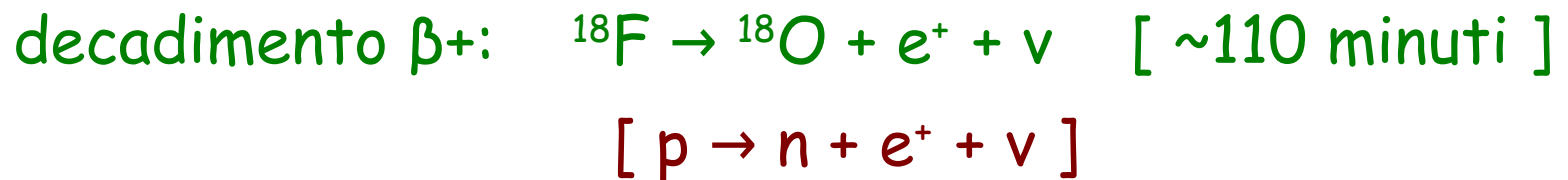
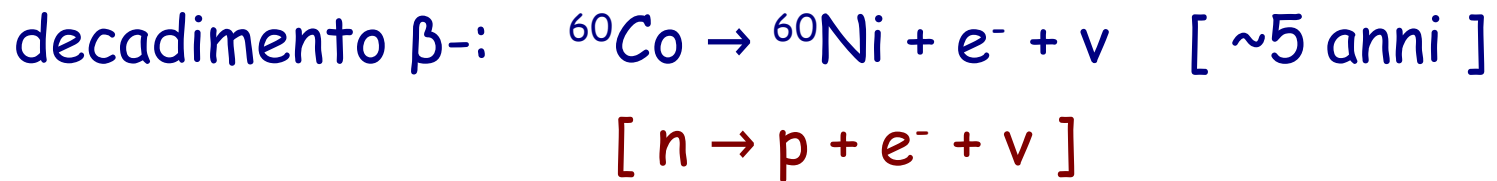
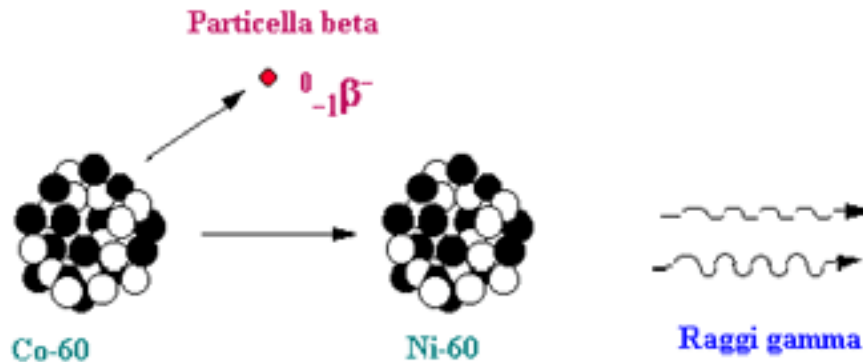
- Legame nucleare: carica e forza forte (energie  $\sim 1$  MeV)
- Teoria di Yukawa (1935)

decadimenti nucleari  $\beta$ :

- Carica e forza debole (energie  $\sim 1$  MeV)
- Teoria di Fermi (1933, neutrino di Pauli)
- velocità  $\sim 1000$  volte più lenti dei processi e.m.



# I decadimenti $\beta^\pm$



**\* PET \***

$e^+$  (1932) = positrone = antiparticella dell'elettrone

# Bosoni e Fermioni

Due categorie di particelle a seconda del momento angolare (spin)

- spin intero (0, 1, ...) : statistica di Bose-Einstein

→ Bosoni

fotoni (1), particelle  $\alpha$  (0),  $^{12}\text{C}$  (0),  $^6\text{Li}$  (1)

spin 0 = bosoni scalari

spin 1 = bosoni vettoriali

- spin semi-intero (1/2, 3/2, ...) : statistica di Fermi-Dirac

→ Fermioni

(principio di esclusione di Pauli)

elettroni, protoni, neutroni, neutrini (tutti con spin  $\frac{1}{2}$ )

<<Cari Signore e Signori Radioattivi,

Come latore di queste righe [...] cercherò di spiegarmi in modo più esatto, considerando le statistiche 'false' dei nuclei dell' $N-14$  e del  $Li-6$ , così come lo spettro  $\beta$  continuo. Ho escogitato un rimedio disperato per salvare il "teorema dello scambio" di statistiche e il teorema dell'energia. Vale a dire [c'è] la possibilità che possano esistere nei nuclei particelle elettricamente neutre che mi piace chiamare **neutroni**, le quali hanno uno spin di  $1/2$  e obbediscono al principio di esclusione e, in più, differiscono dai quanti di luce nel senso che non viaggiano alla velocità della luce: la massa del neutrone deve essere dello stesso ordine di grandezza della massa dell'elettrone e, in ogni caso, non superiore a  $0,01$  della massa del protone. Lo spettro  $\beta$  continuo diventerebbe allora comprensibile in base al presupposto che nel decadimento  $\beta$  un neutrone venga emesso insieme all'elettrone, in modo tale che la somma delle energie del neutrone e dell'elettrone resti costante. [...]

Ma non mi sento abbastanza sicuro di pubblicare qualcosa riguardo a questa idea, così per prima mi rivolgo con fiducia a voi, cari radioattivi, con una questione in merito alla situazione concernente la prova sperimentale di un tale neutrone, se abbia qualcosa come circa 10 volte la penetrante capacità di un raggio  $\gamma$

Ammetto che il mio rimedio può sembrare di avere un piccola probabilità a priori, perché i neutroni, se esistono, probabilmente sarebbero stati visti molto tempo fa. Tuttavia, solo chi scommette può vincere, e la gravità della situazione dello spettro  $\beta$  continuo può essere resa in modo chiaro con il detto del mio onorato predecessore in carica, Mr. Debye, [...]

"È meglio non pensarci affatto, come le nuove tasse." [...]

Così, cari radioattivi, mettetelo alla prova e sistematelo nel modo giusto. [...]

Con tanti saluti a voi, anche a Mr. Back, il vostro devoto servitore »

# LA RICERCA SCIENTIFICA

ED IL PROGRESSO TECNICO NELL'ECONOMIA NAZIONALE

## Tentativo di una teoria dell'emissione dei raggi "beta"

Nota del prof. ENRICO FERMI

**Riassunto:** Teoria della emissione dei raggi  $\beta$  delle sostanze radioattive, fondata sull'ipotesi che gli elettroni emessi dai nuclei non esistano prima della disintegrazione ma vengano formati, insieme ad un neutrino, in modo analogo alla formazione di un quanto di luce che accompagna un salto quantico di un atomo. Confronto della teoria con l'esperienza.

Mi propongo di esporre qui i fondamenti di una teoria dell'emissione dei raggi  $\beta$  che, benchè basata sopra ipotesi delle quali manca al momento presente qualsiasi conferma sperimentale, sembra tuttavia capace di dare una rappresentazione abbastanza accurata dei fatti e permette una trattazione quantitativa del comportamento degli elettroni nucleari che, se pure le ipotesi fondamentali della teoria dovessero risultare false, potrà in ogni caso servire di utile guida per indirizzare le ricerche sperimentali.

E' ben noto che nel cercare di costruire una teoria dei raggi  $\beta$  si incontra una prima difficoltà dipendente dal fatto che i raggi  $\beta$  escono dai nuclei radioattivi con una distribuzione continua di velocità che si estende fino a una certa velocità massima: ciò che a prima vista non sembra conciliabile col principio della conservazione dell'energia. Una possibilità qualitativa di spiegare i fatti senza dovere abbandonare il principio della conservazione dell'energia consiste, secondo Pauli, nell'ammettere l'esistenza del così detto « neutrino », e cioè di un corpuscolo elettricamente neutro con massa dell'ordine di grandezza di quella dell'elettrone o minore. In ogni disintegrazione  $\beta$  si avrebbe emissione simultanea di un elettrone e di un neutrino; e l'energia liberata nel processo si ripartirebbe comunque tra i due corpuscoli in modo appunto che l'energia dell'elettrone possa prendere tutti i valori da 0 fino ad un certo massimo. Il neutrino d'altra parte, a causa della sua neutralità elettrica e della piccolissima massa, avrebbe un potere penetrante così elevato da sfuggire praticamente ad ogni attuale metodo di osservazione. Nella teoria che ci proponiamo di esporre ci metteremo dal punto di vista della ipotesi dell'esistenza del neutrino.

# Mediatori

Forza → lavoro = trasferimento energia

Azione a distanza ? No → mediatori interazione

- interazione e.m. : fotoni
- interazione nucleare forte : pioni  
[ previsione: 1935 → scoperta: 1947 ]
- interazione nucleare debole : W/Z  
[ previsione: ~1965 → scoperta: 1983 ]

# Mediatori (2)

Si cerca il pione ... e si trova anche il muone (1936-1945):



“E questo da dove viene ? Chi mai l'ha ordinato ?”

- Isidor Rabi -

Muone: fratello “grasso” dell'elettrone (207 volte più pesante)

Uno o due neutrini diversi ?  $\nu_e + \nu_\mu$  ?

[  $\nu_e$  : scoperto nel 1956 ]

[  $\nu_\mu$  : scoperto nel 1962 ]

# Particelle "strane"

- 1947-1960, nei raggi cosmici vengono scoperte varie famiglie di particelle instabili

- parecchie di queste particelle

1. sono prodotte (a coppie) in interazioni forti

2. decadono (separatamente) con decadimenti deboli

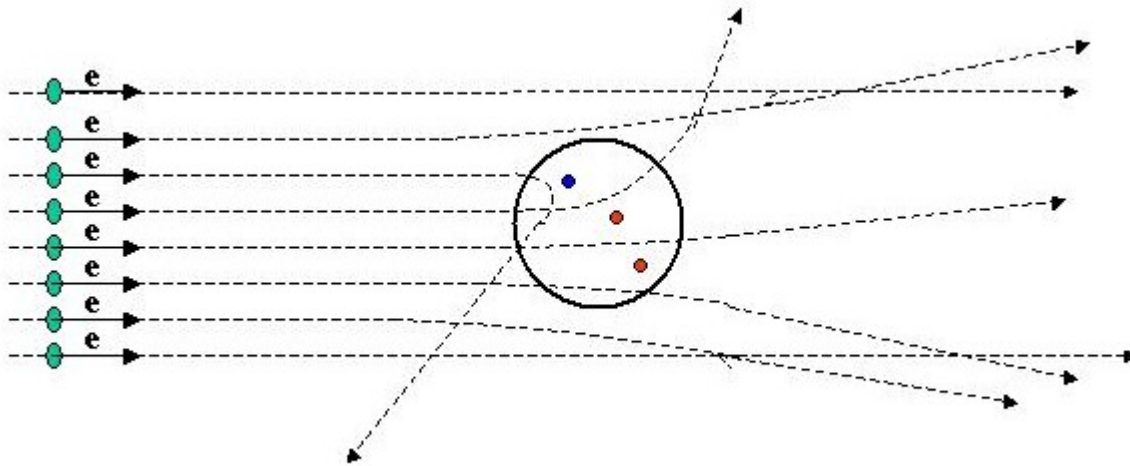


Viene definita la carica di "stranezza" (?)

# I Quark

1969 Stanford Linear Accelerator (SLAC)

Scattering (urti) inelastici (il protone si rompe) di fasci di elettroni su bersagli (protoni)



3 quark: u,d,s    protone: uud    neutrone: udd

decadimenti deboli: d,s  $\leftrightarrow$  u



# La Cromodinamica Quantistica

Nuova (più) fondamentale interazione forte:

carica e forza di colore

Mediatori: gluoni (previsione: ~1965 → scoperta: 1979)

$$e^+ e^- \rightarrow q \bar{q} g$$

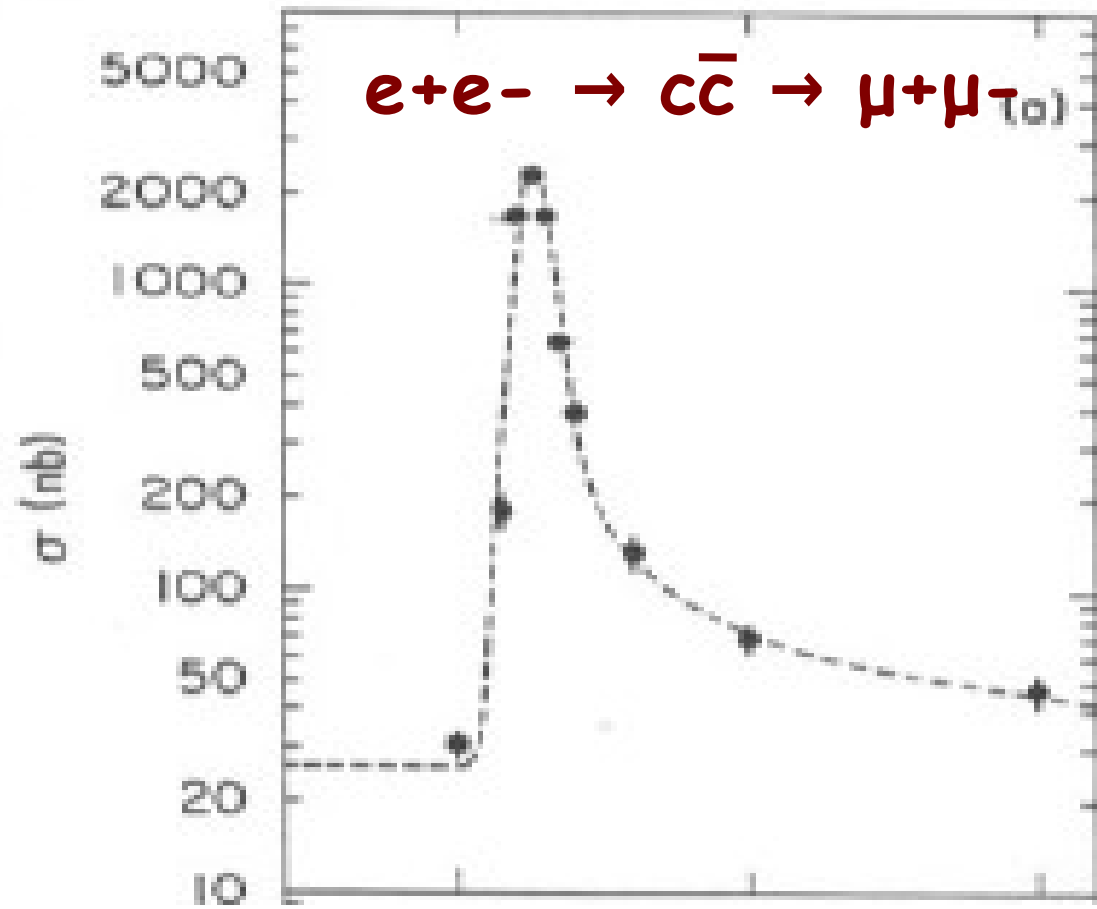
3 quark [ u, d, s ] → 4 quark [ + c (1974) ]

catena di decadimenti deboli:  $c \rightarrow s/d \rightarrow u$

# Ahhh ... Adone !

1974:  $J/\psi$  (stato legato  $c\bar{c}$ )

Quando la  
sfiga ...



SLAC  $e+e^-$  ring (SPEAR)

# Adone (LNF)



# Il Modello Standard

(~1960-1968-1974)

tutte le interazioni seguono uno stesso schema  
("simmetria di gauge")

a) 4 quark (u, d, c, s) + 4 leptoni ( $\nu_e$ , e,  $\nu_\mu$ ,  $\mu$ )

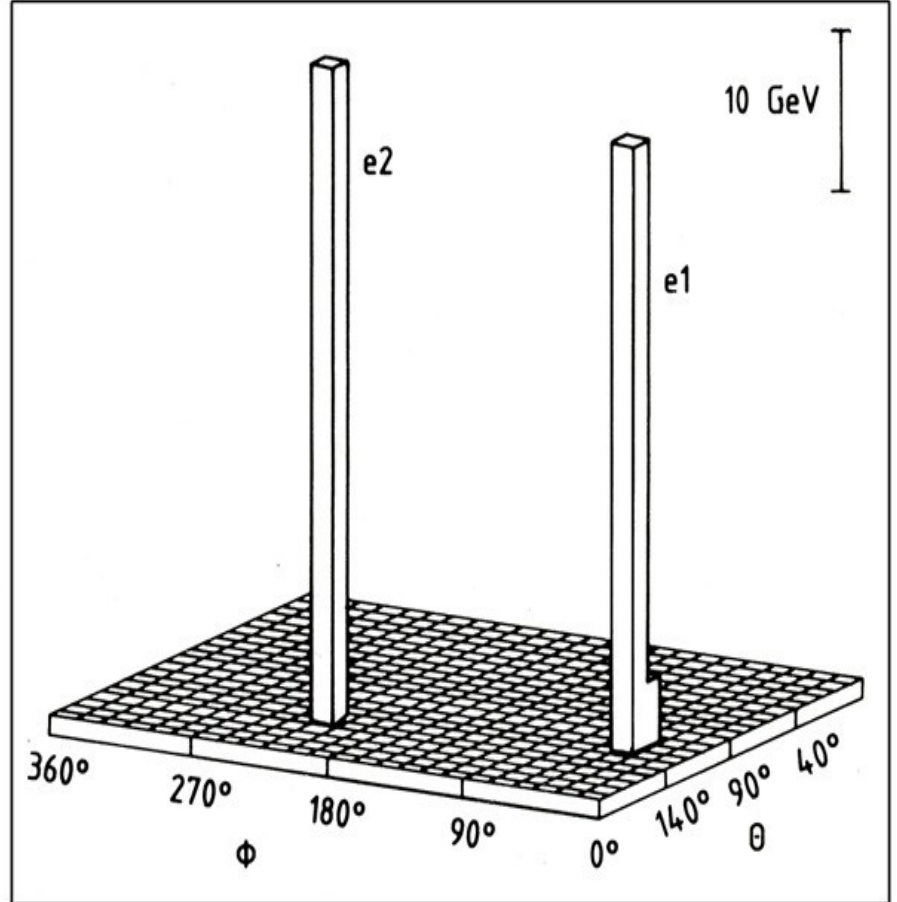
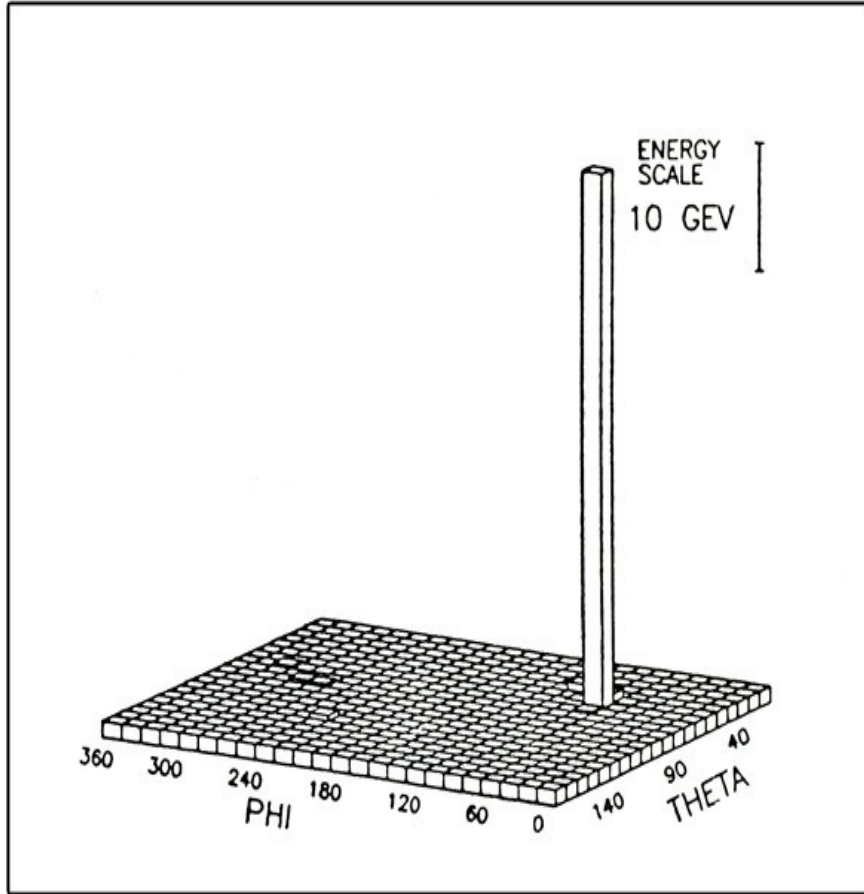
b) interazioni deboli + elettromagnetismo + cromodinamica  
quantistica

non arriva "a gratis" :

+ interazioni deboli neutre [  $Z^0$  ] (1973, CERN PS)

+ campo di Higgs (bosone di Higgs, 2012, CERN LHC)

# I bosoni vettoriali $W^\pm/Z^0$ (1983)



CERN  $p\bar{p}$  Collider

# La Massa (!)

- a) le interazioni deboli agiscono solo su particelle "sinistre" (e su antiparticelle "destre") violando sorprendentemente una simmetria ritenuta fondamentale (riflessione spaziale o parità);
- b) la massa mescola in modo irreparabile particelle "destre" e "sinistre" → non può essere inclusa nella teoria;

\* le equazioni diventano incoerenti e inutilizzabili \*

Soluzione:

- + nuova forza [ campo di Higgs ] (\*)
- + (almeno) un nuovo mediatore associato ad essa, è un bosone, ha gli stessi numeri quantici del "vuoto" [ bosone di Higgs ]

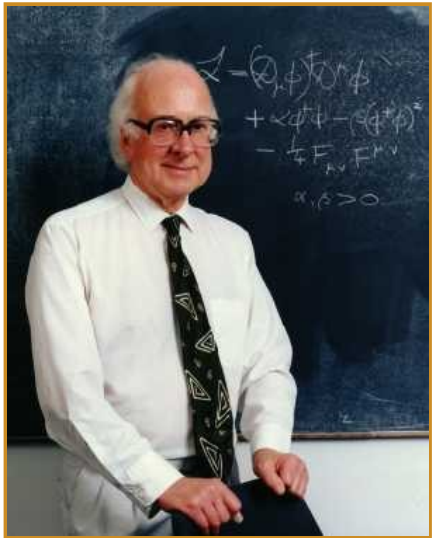
(\*) P.W. Anderson (1962); F. Englert e R. Brout; G. Guralnik, C. R. Hagen e T. Kibble; P. Higgs (1964);

# Meccanismo di Higgs

- a) il campo di Higgs permea lo spazio ovunque uniformemente
- b) le diverse particelle sono più o meno note al campo (più sono note = più fortemente interagiscono)

- immaginate il campo di Higgs come la folla ad una fiera
- immaginate le altre particelle come persone più o meno famose che attraversano la folla:
  - più sono famose e più lentamente riusciranno a passare → più massa acquisteranno.

# 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

- trasportato 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





# Ultime cose

## Quark:

- bottom (Fermilab, 1977)

[  $b \rightarrow c \rightarrow s \rightarrow u$  ]

- top (Fermilab, 1995)

[  $t \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow s \rightarrow u$  ]

## Leptoni:

-  $\tau$  (SLAC, ~1975): "elettrone" ancora più "grasso",  
~3500 volte più pesante

-  $\nu_\tau$  (Fermilab, 2000): ultimo neutrino ?

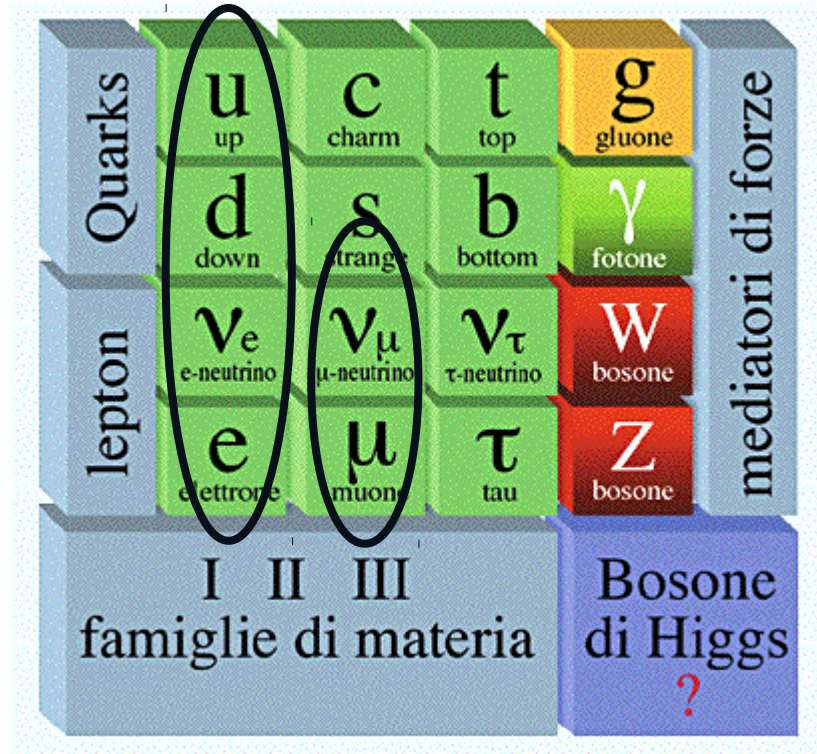
[  $\tau \rightarrow e + \nu_e + \nu_\tau$  ]

# La nuova Tavola Periodica

- particelle "materia" e particelle "forza" (+ relative antiparticelle)
- tre famiglie (?)
- mondo conosciuto 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  $\rightarrow ?$
- (\*) Rapporti masse  $\rightarrow ?$
- (\*) Gravitazione  $\rightarrow ?$
- (\*) Materia Oscura  $\rightarrow ?$

# Le Masse ?

Quark (MeV):

u( $\sim 2$ )  $\rightarrow$  d( $\sim 5$ )  $\rightarrow$  s(104)  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  c(1270)  $\rightarrow$  b(4200)  $\rightarrow$  t (171000)

Leptoni carichi (MeV):

e(0.511)  $\rightarrow$   $\mu$ (106)  $\rightarrow$   $\tau$ (1780)

Neutrini:

ancora ignote, ma frazioni di eV

W, Z (GeV):  $\sim 80$ ,  $\sim 90$

Three generations of matter (fermions)

	I	II	III	
mass $\rightarrow$	2.4 MeV/c <sup>2</sup>	1.27 GeV/c <sup>2</sup>	171.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
charge $\rightarrow$	2/3	2/3	2/3	0
spin $\rightarrow$	1/2	1/2	1/2	1
name $\rightarrow$	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b><math>\gamma</math></b> photon
	4.8 MeV/c <sup>2</sup>	104 MeV/c <sup>2</sup>	4.2 GeV/c <sup>2</sup>	0
	-1/3	-1/3	-1/3	0
	1/2	1/2	1/2	1
Quarks	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> gluon
	<2.2 eV/c <sup>2</sup>	<0.17 MeV/c <sup>2</sup>	<15.5 MeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>
	0	0	0	0
	1/2	1/2	1/2	1
	<b><math>\nu_e</math></b> electron neutrino	<b><math>\nu_\mu</math></b> muon neutrino	<b><math>\nu_\tau</math></b> tau neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> Z boson
	0.511 MeV/c <sup>2</sup>	105.7 MeV/c <sup>2</sup>	1.777 GeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	1/2	1/2	1/2	1
Leptons	<b>e</b> electron	<b><math>\mu</math></b> muon	<b><math>\tau</math></b> tau	<b>W<sup><math>\pm</math></sup></b> W boson
				Gauge bosons

$\rightarrow$  rapporti relativi non rispettano nessuna regola ovvia

# Domande aperte

Quante sono le particelle ?

Quali sono davvero elementari ?

Quali e quante sono le interazioni fondamentali ?

MASSA, GRAVITÀ, CARICA ELETTRICA, NUMERO, ...

ad oggi non abbiamo alcuna spiegazione

Materia oscura ?

# ... il "Problema"

Universo (interazioni gravitazionali)

--> Relatività Generale

Particelle (interazioni elettrodeboli e forti)

--> Meccanica Quantistica Relativistica

1. Entrambe le teorie funzionano

egregiamente nei rispettivi campi

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

# 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:  $\sim 10^{-25} \text{ m}$  → 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.

:-)

→ segnale formidabile di nuova fisica !

→ ponte fra fisica delle particelle e teoria della gravitazione !!

# Paura ?

Raggi cosmici di bombardano terra, pianeti e stelle, da miliardi di anni con

energie anche 1 milione di volte più grandi

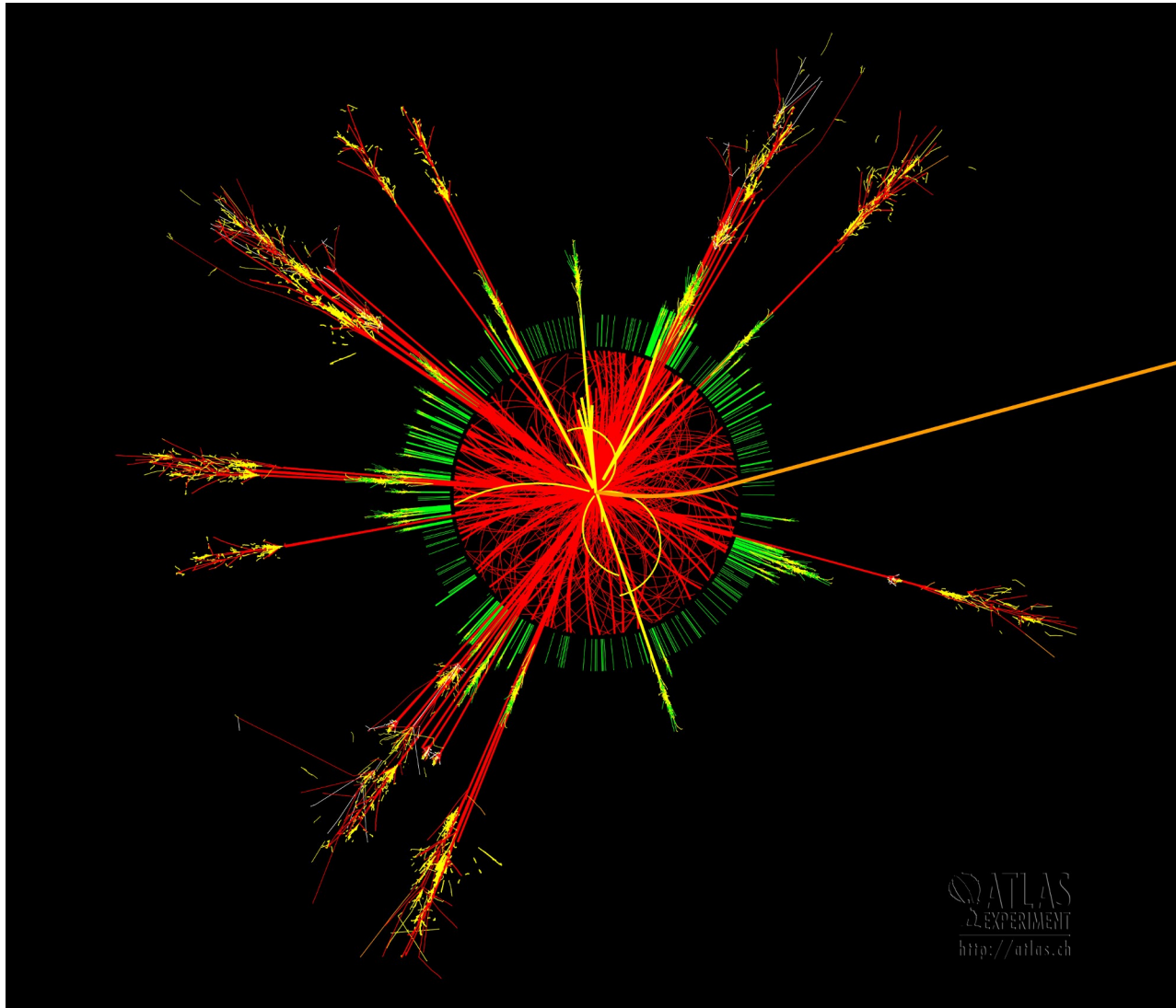
senza effetti macroscopici apparenti.

## Conclusione

eventuali buchi neri evaporano senza avere possibilità di stabilizzarsi [ radiazione di Hawking ]



# Buchi Neri



## 2. l'acceleratore (LHC)

# *Les Horribles Cernettes*



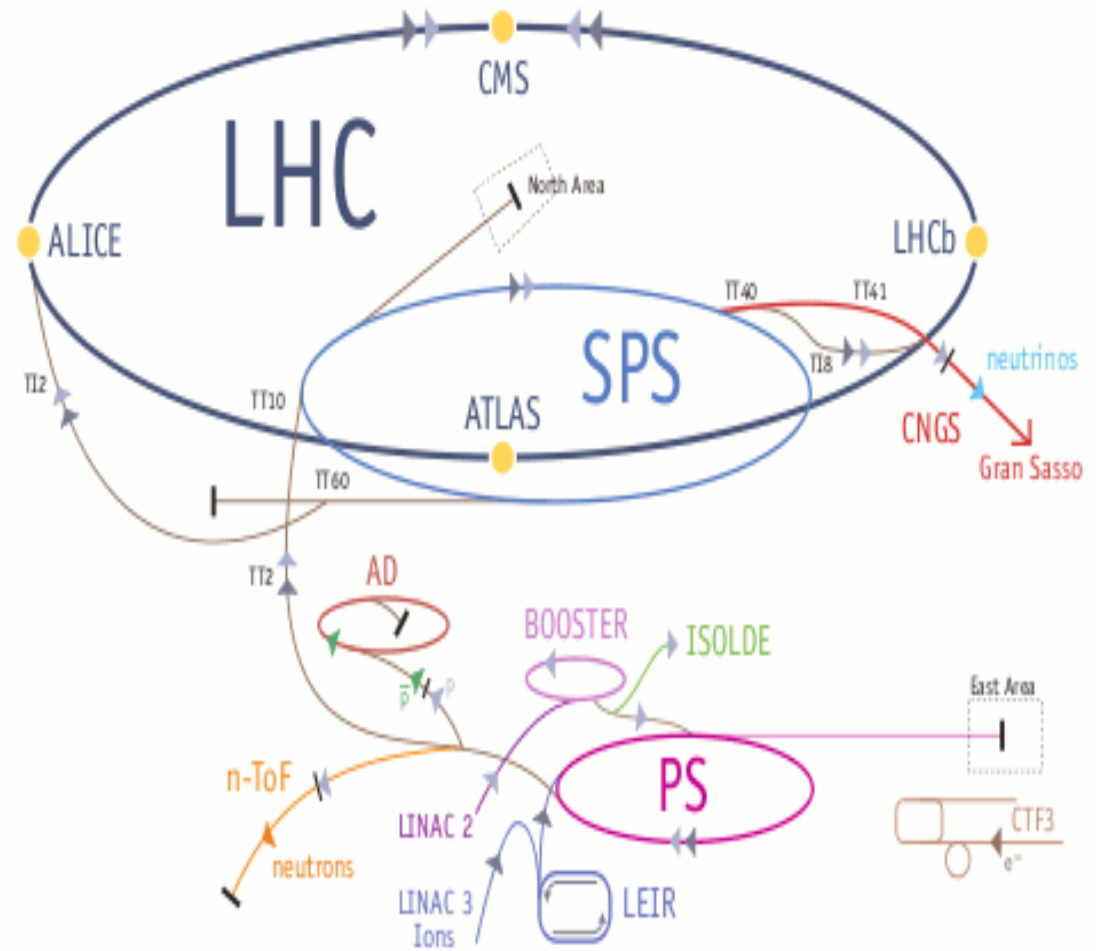
Dal 1992 al CERN Hardronic Festival ...



# 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):

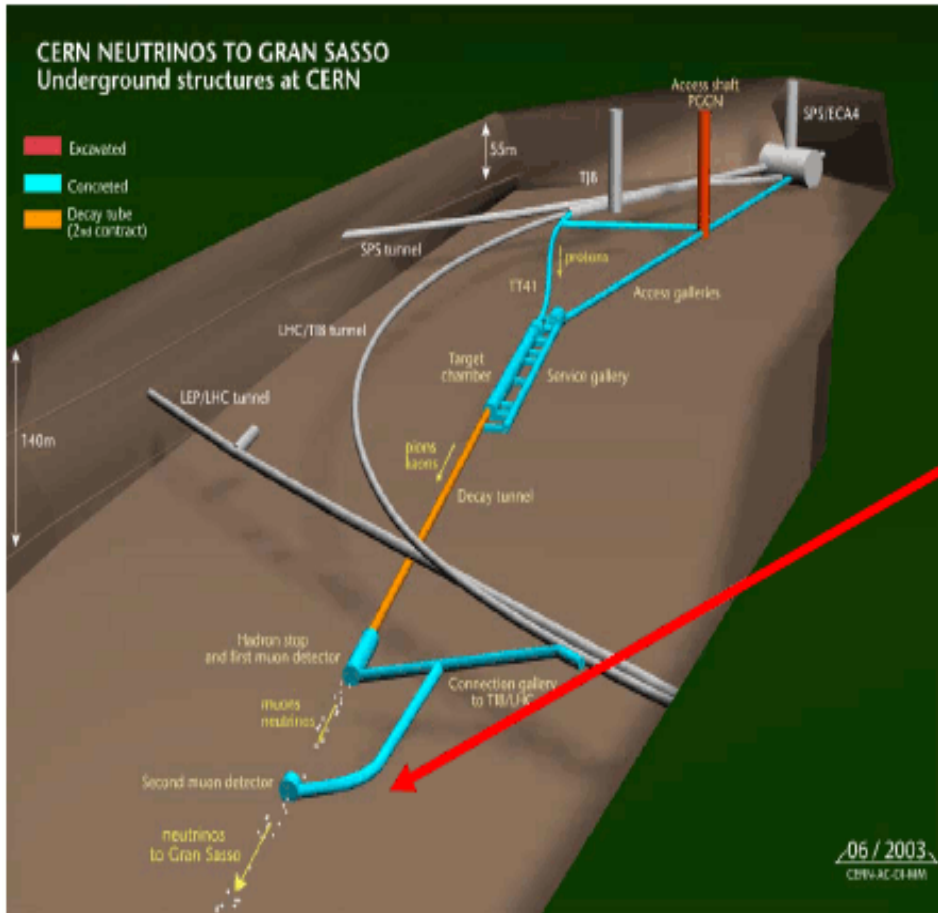
immaginate le catene del calcinulo

Campi elettromagnetici (cavità a radiofrequenza):

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

spinge più forte chi va più piano !

# CERN - SPS → Gran Sasso



```

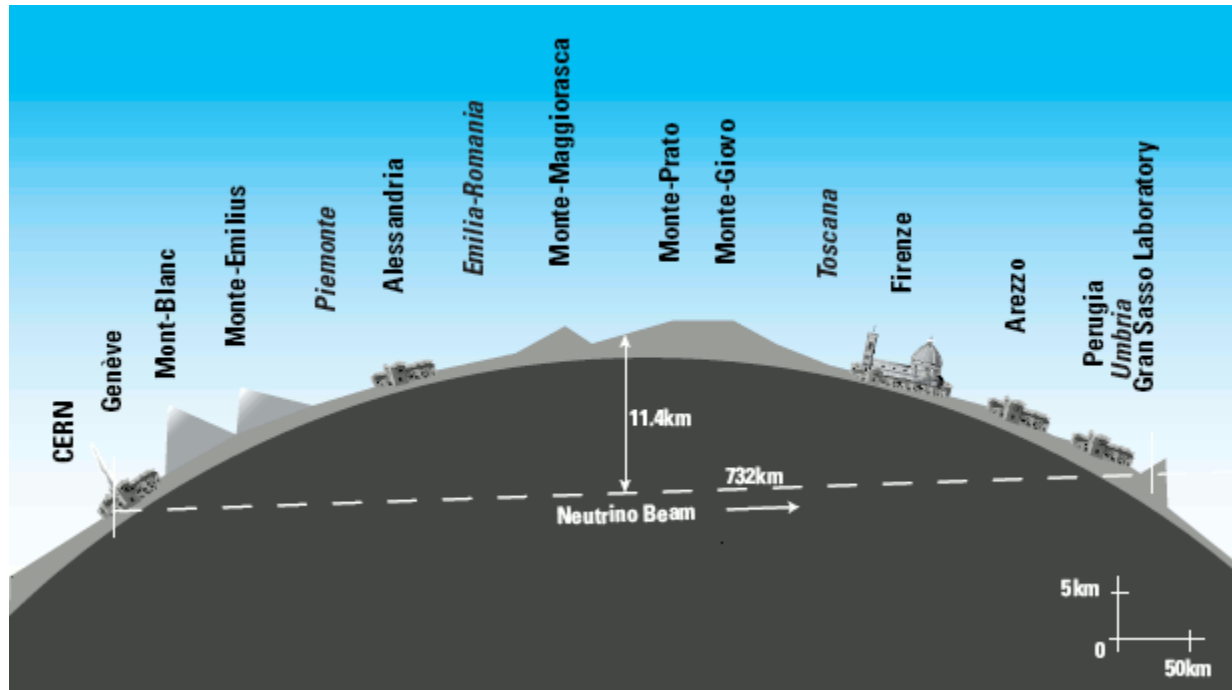
110 CERN SL 21-08-06 09:07:21
SPS-Protons updated: 21-08-06 09:06:52
User: SFTPRO1 400 GeV/c SC: 36968
Flat top: 4800 ms SC length: xx.x s
RATE *E10:
2620 1221 2475 2330
TT2 INJ1 END-FB FLAT-TOP SSB
dumped: 147 (8998 ms)
Targ p/p#11 Mul %Sym Exp Singles Spill
T2 30.3 9 81.7a CMS-C
CMS-E
T4 22.4 11 81.2a ALICE
ATLAS
T6 135.6 9 76.0a COMPASS

Comments 21-08-06 08:52:
CPS access from 9:30 for 1 hour
No beam during this time

Phone 70484 or 77500
    
```



# Verso il Gran Sasso



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

# I Collisionatori

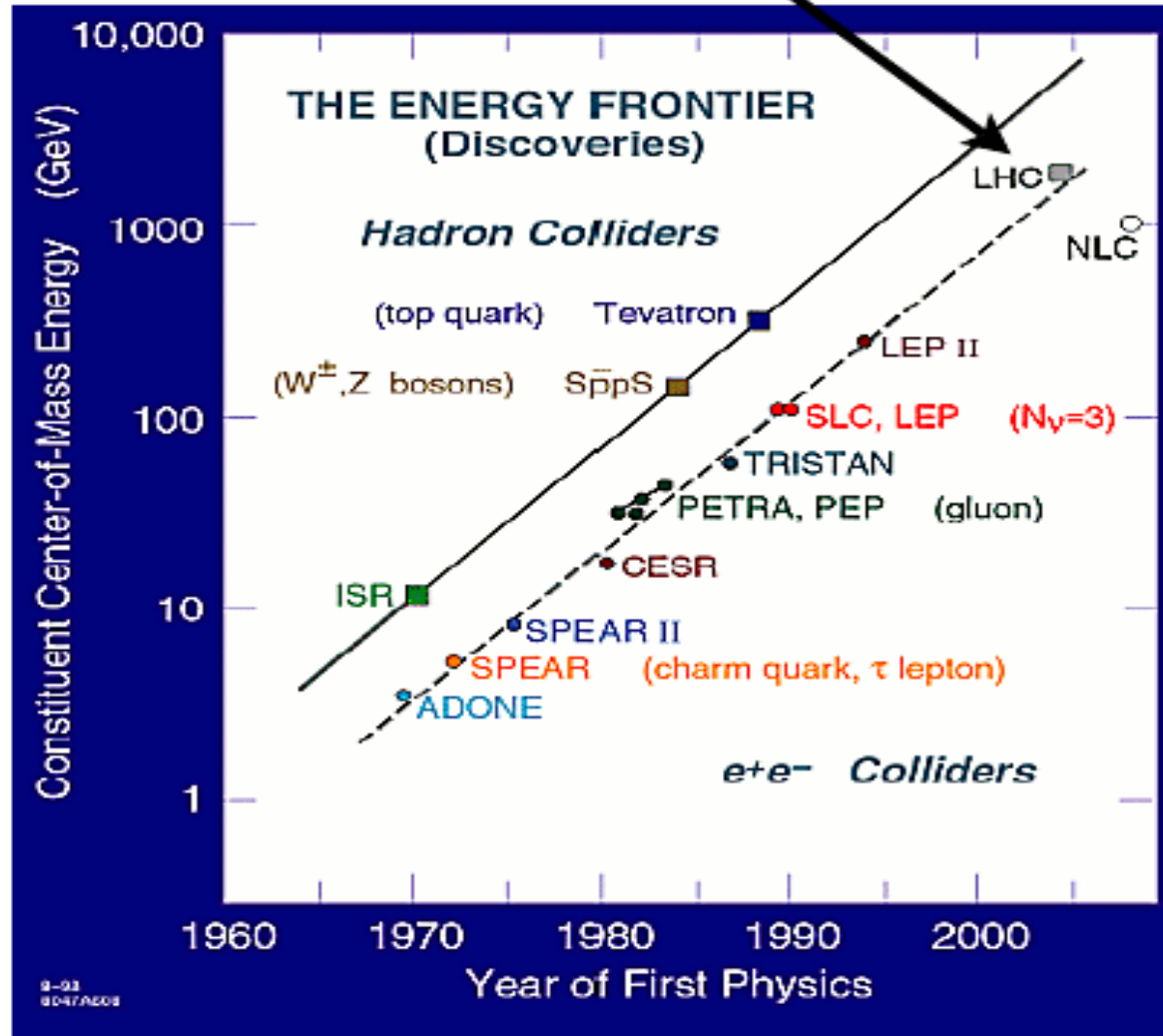
Due categorie:

$e^+e^-$  [1]

$pp/pp\bar{p}$  [2]

[1]=pallettoni da  
cinghiale

[2]=pallottole per  
quaglie (tanti pallini)



# qualche parametro importante ...

1) Energia → cosa può essere "creato"

2) Intensità → quante volte

ma anche:

3) Frequenza urti → velocità di risposta dell'esperimento

→ in LHC tutti e 3 sono portati al massimo possibile

# la giostra LHC

1) Energia: 14 TeV [ ora 8 TeV ]

2) Intensità: 1 miliardo/s

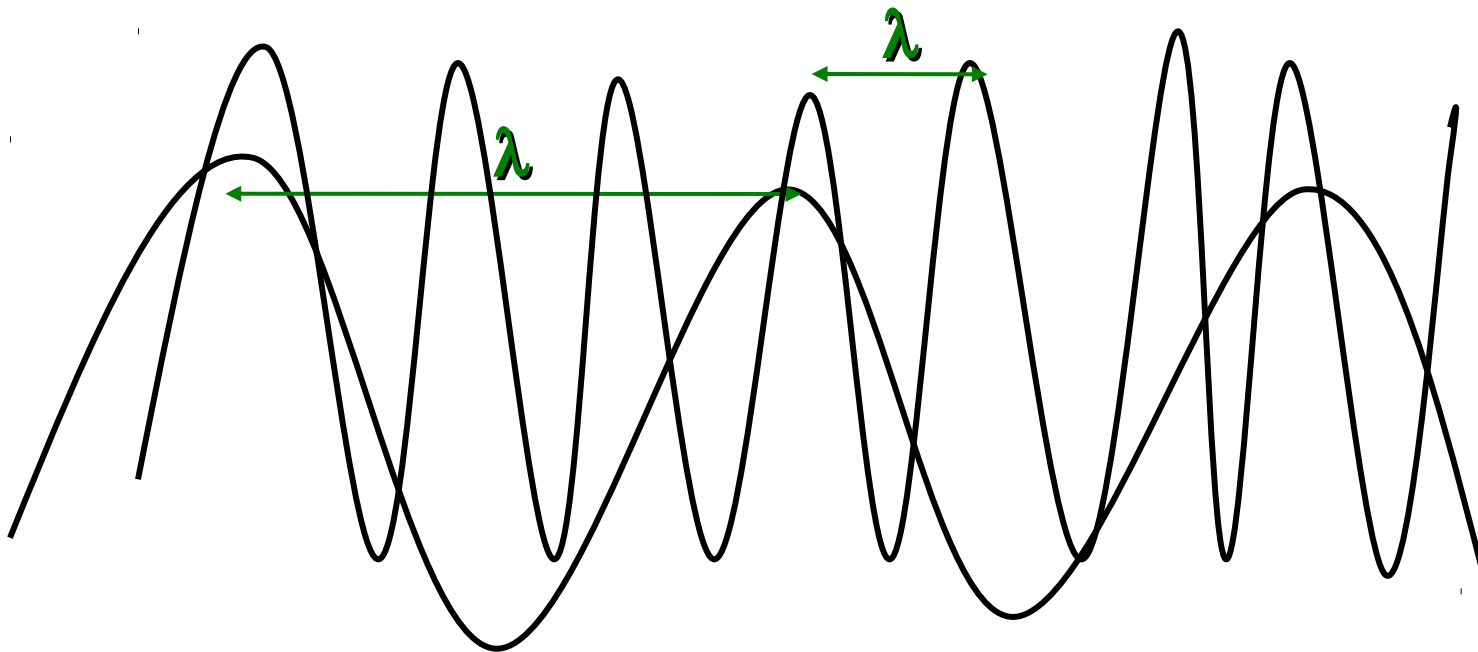
3) Frequenza: 40 milioni/s [ ora 20 milioni/s ]

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 ?

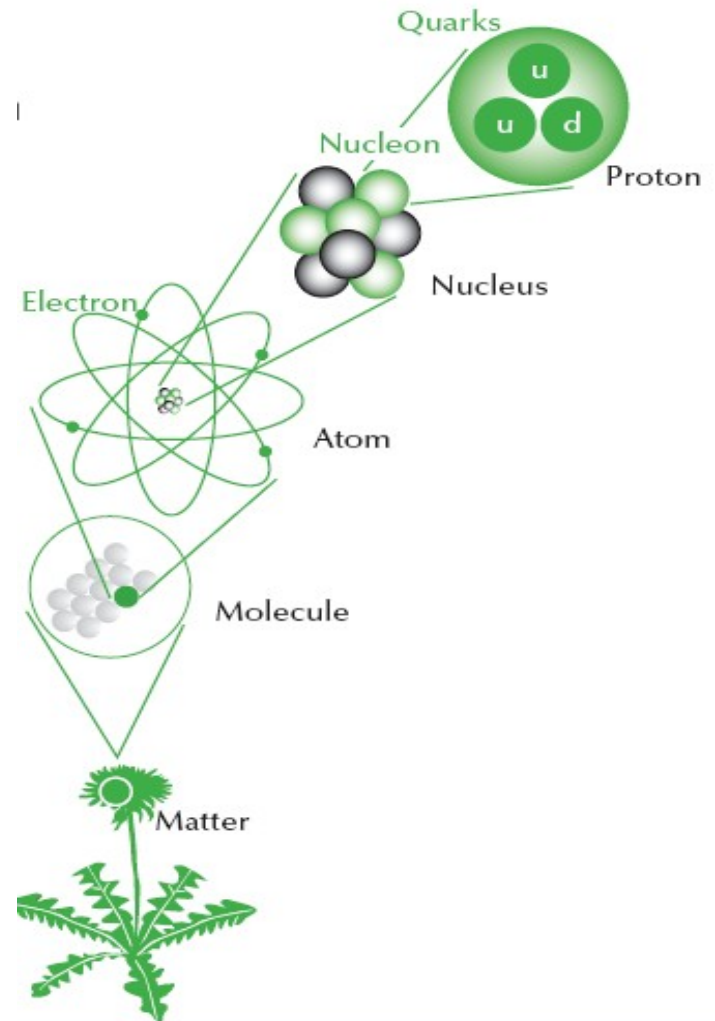
sottostruttura dei quark ?

dimensioni extra ?

stringhe ?

# Dimensioni

- 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)**



# 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  
 $\sim T(\text{interno del sole}) \times \text{centomila}$

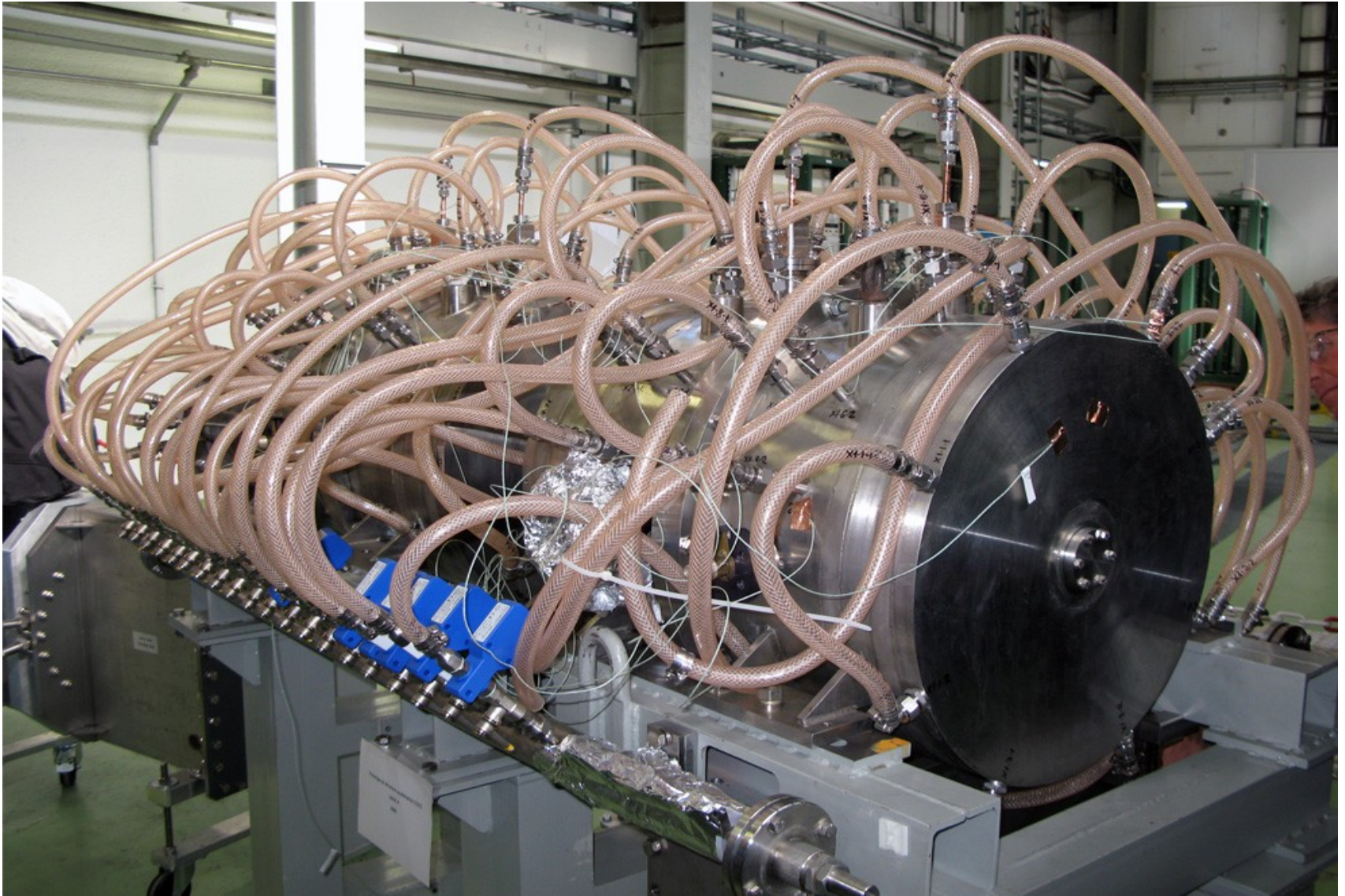
materia ordinaria (protoni, neutroni, nuclei)  
completamente "fusa"

→ nuovo stato della materia

# I Dipoli



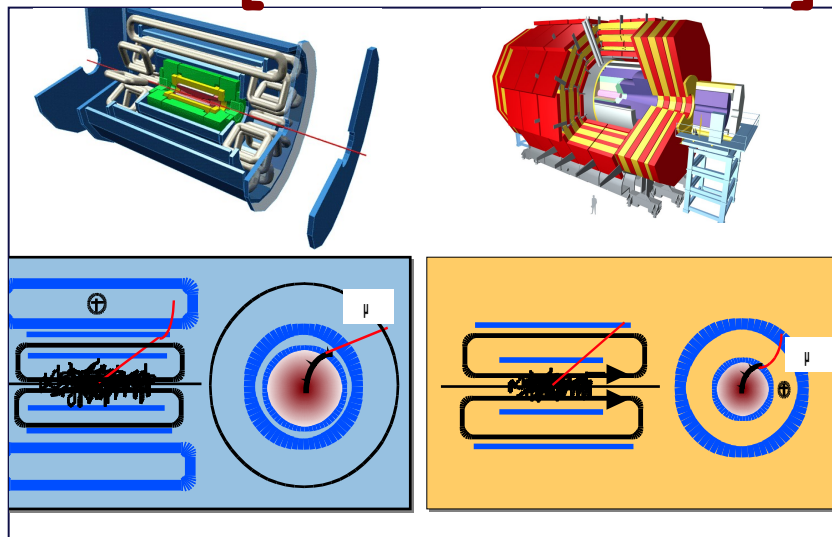
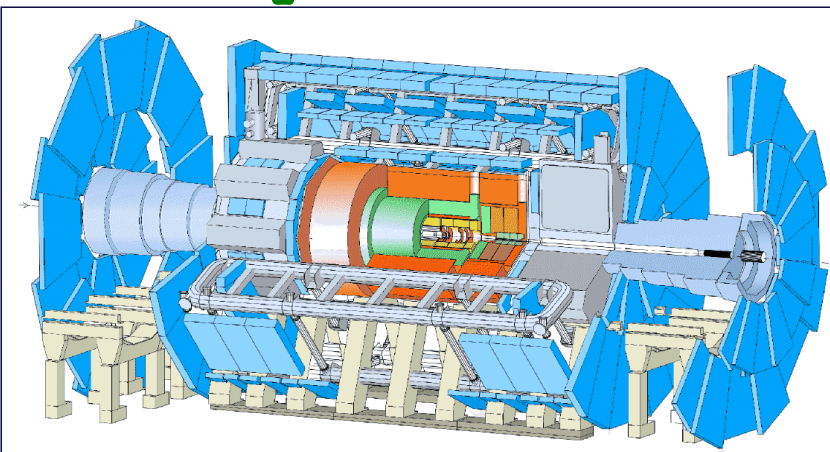
# Le Cavità a RadioFrequenza



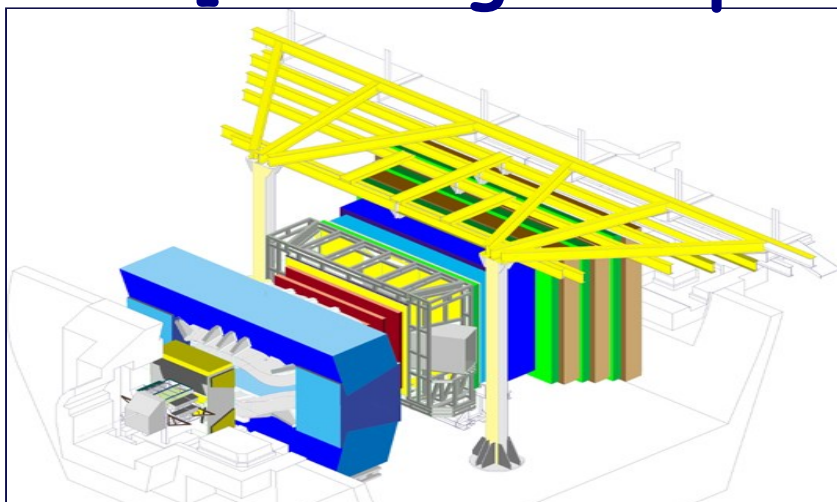
I 4+2 Moschettieri [ portavoce 2011 ]

ATLAS [ Fabiola Gianotti ]

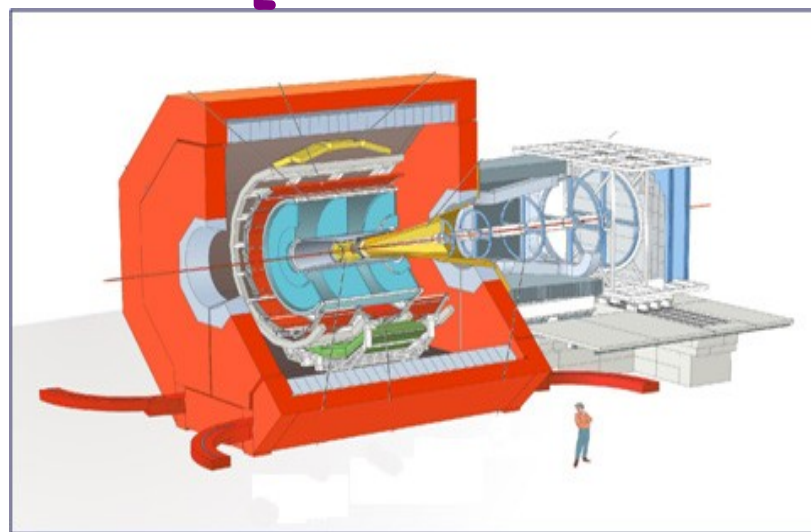
CMS [ Guido Tonelli ]



LHCb [ Pierluigi Campana ]

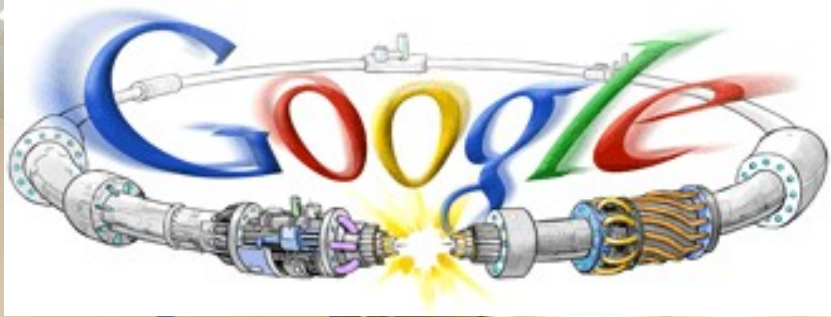


ALICE [ Paolo Giubellino ]

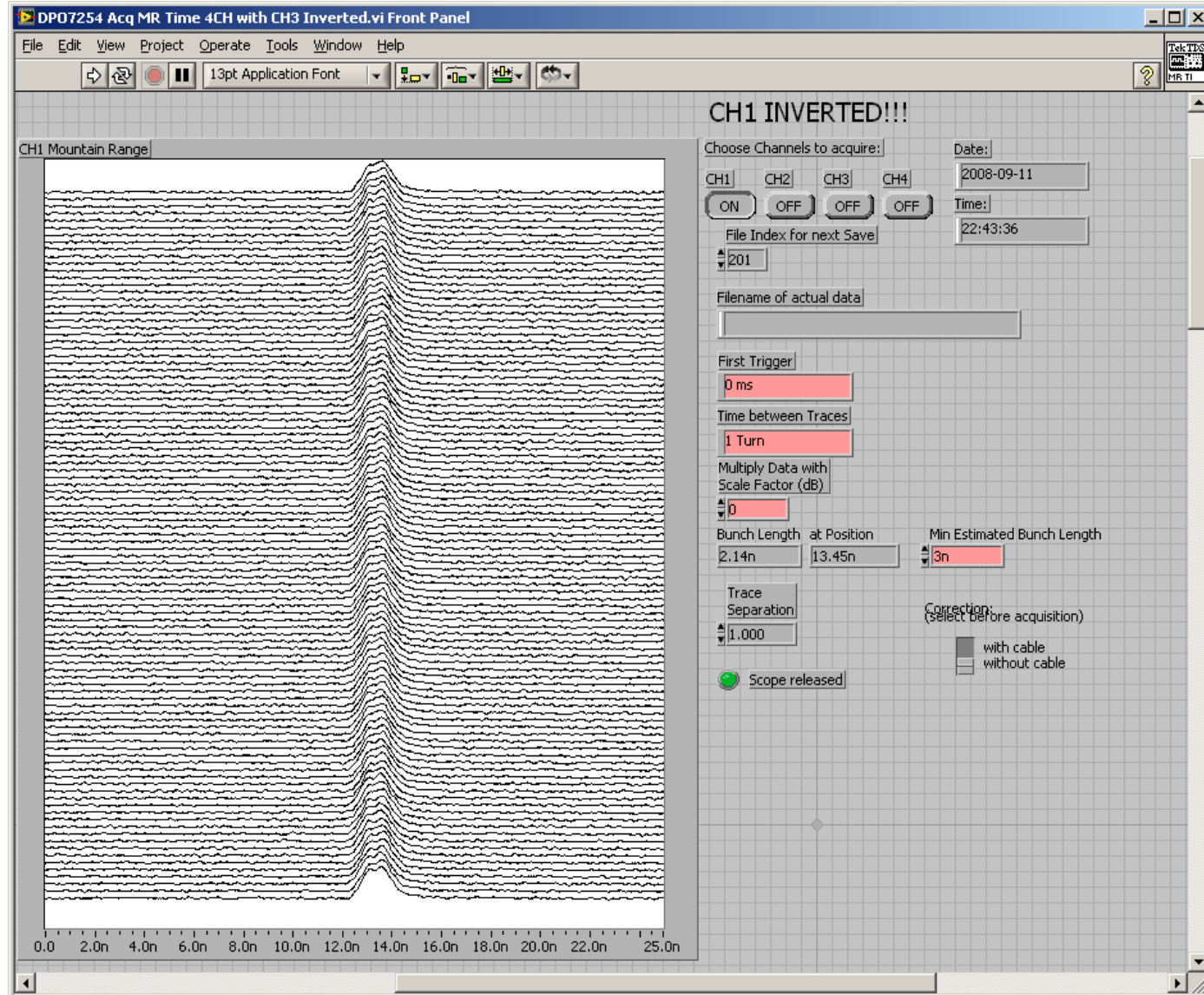


più Totem e LHCf

# 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



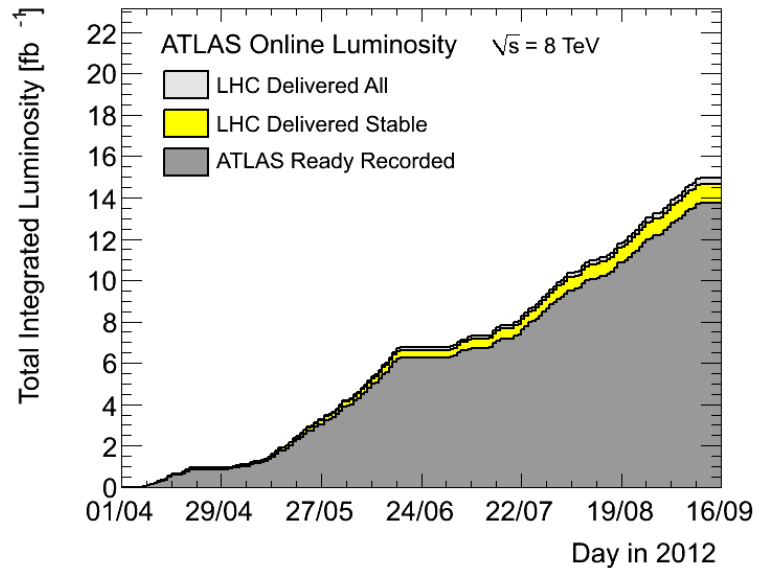
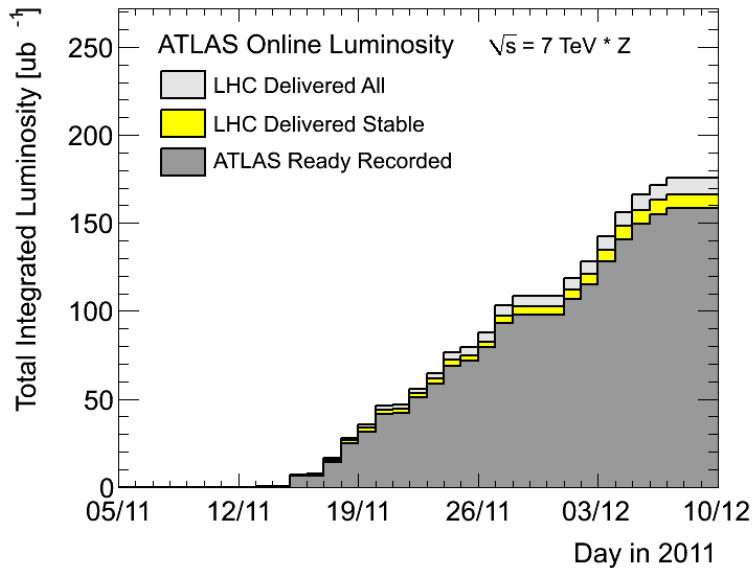
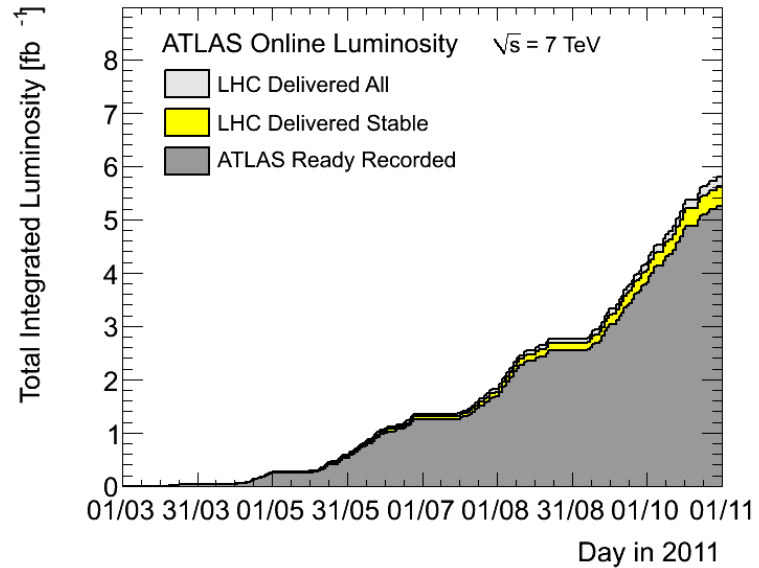
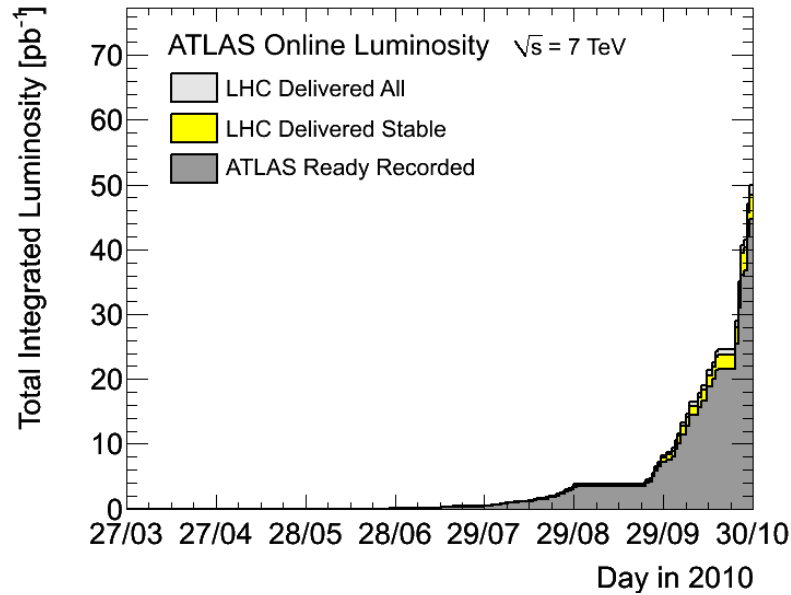
Since 20<sup>th</sup> November 2009,  
a fantastic escalation!!!

5 weeks of beam operation, whole ATLAS detector

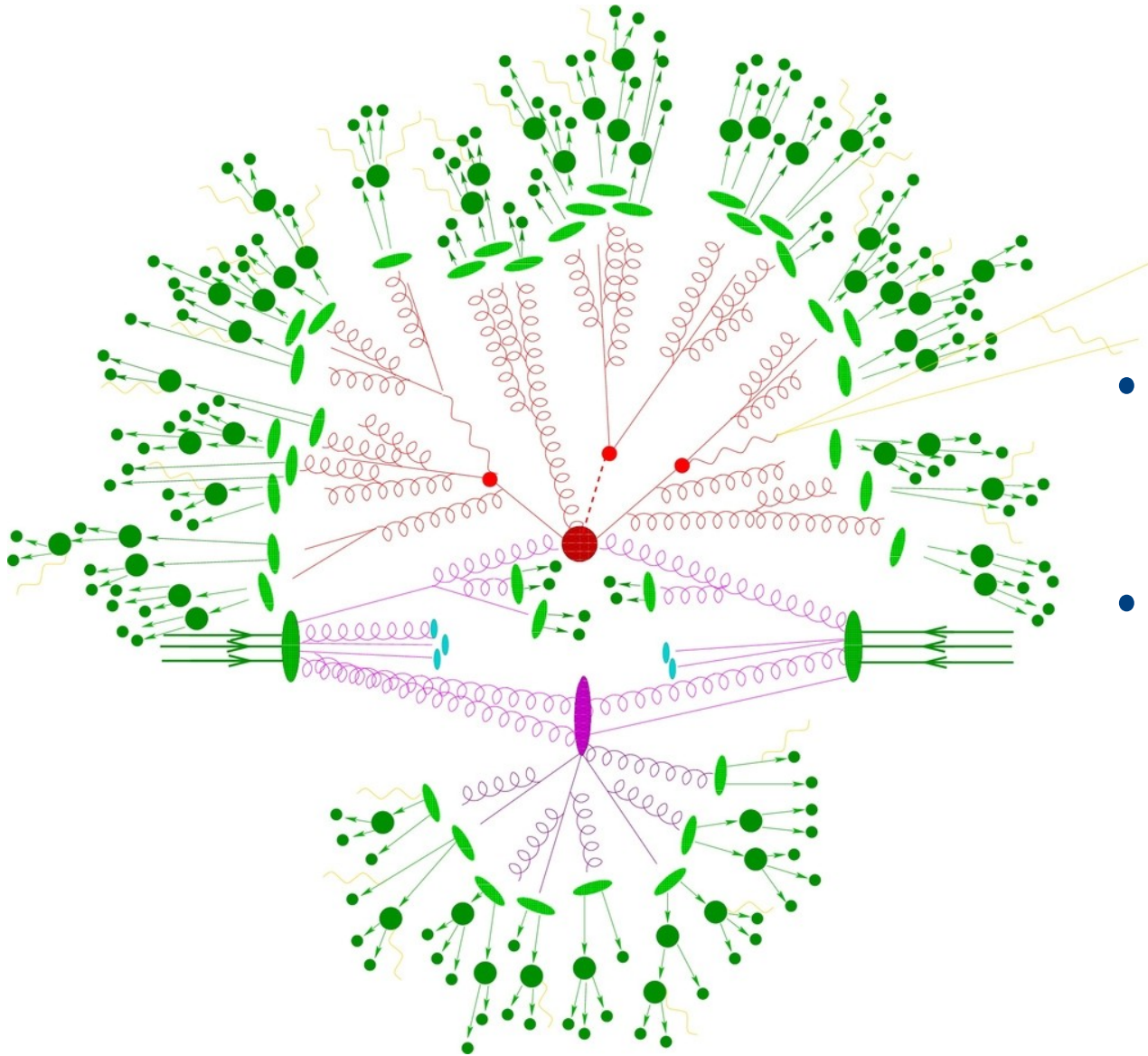


- ✓ 23 Nov: First collisions @ 900 GeV
- ✓ 6 Dec: Stable beams  $\Rightarrow$  nominal voltage
- ✓ 8,14,16 Dec: Collisions @ 2.36 TeV

# 3 anni di presa dati



# Un evento a LHC



- 30-50 interazioni pp di questo tipo per "bunch crossing"
- 20 milioni di "bunch crossing" al secondo (uno ogni 50 ns)

# Questa notte ...

LHC Page1

Fill: 3063

E: 450 GeV

15-09-12 03:11:40

## PROTON-NUCLEUS PHYSICS: INJECTION PROBE BEAM

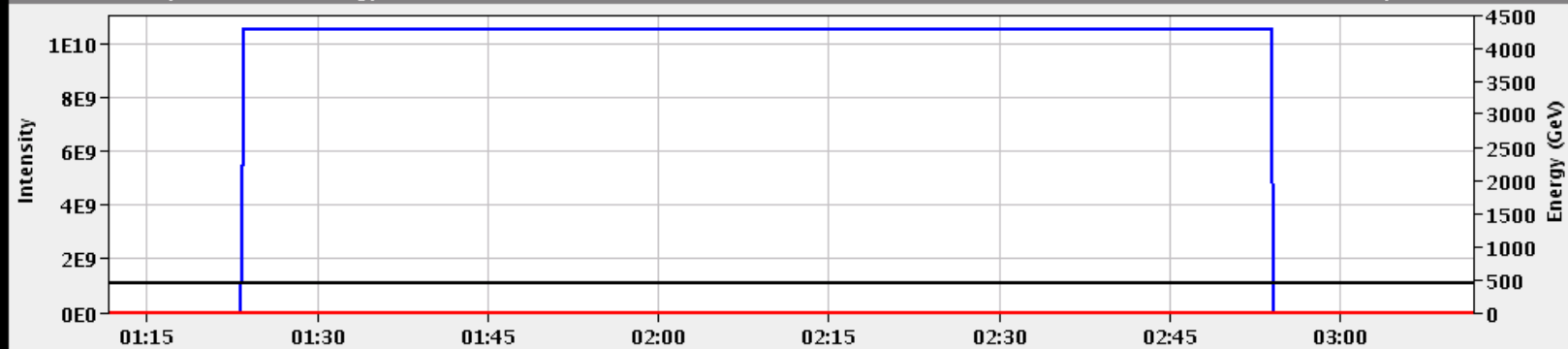
BCT TI2: 0.00e+00 I(B1): 0.00e+00 BCT TI8: 0.00e+00 I(B2): 0.00e+00

TED TI2 position: **BEAM** TDI P2 gaps/mm up: 10.72 down: 8.58

TED TI8 position: **BEAM** TDI P8 gaps/mm up: 9.93 down: 9.22

FBCT Intensity and Beam Energy

Updated: 03:11:40



Comments 15-09-2012 01:41:29 :

BIS status and SMP flags

B1 B2

BPM interlock problem

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

Global Beam Permit **false** **false**

Setup Beam **true** **true**

Beam Presence **false** **false**

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

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

p-Pb MD: injection, ramp and dump  
no stable beams

AFS: Pilot\_7201\_7201

PM Status B1

**ENABLED**

PM Status B2

**ENABLED**

# A mezzogiorno ...

LHC Page1      Fill: 3064      E: 60 GeV      15-09-12 12:24:52

## PROTON PHYSICS: NO BEAM

**BCT TI2:** 0.00e+00    **I(B1):** 0.00e+00    **BCT TI8:** 0.00e+00    **I(B2):** 6.63e+08

**TED TI2 position:**    **DUMP**    **TDI P2 gaps/mm**    up: 10.71    down: 8.59

**TED TI8 position:**    **DUMP**    **TDI P8 gaps/mm**    up: 9.92    down: 9.22

**Comments 15-09-2012 12:03:34 :**

BIS status and SMP flags

B1    B2

Now: access for RF to intervene on  
line 2B1 and kicker expert for MKI-B2

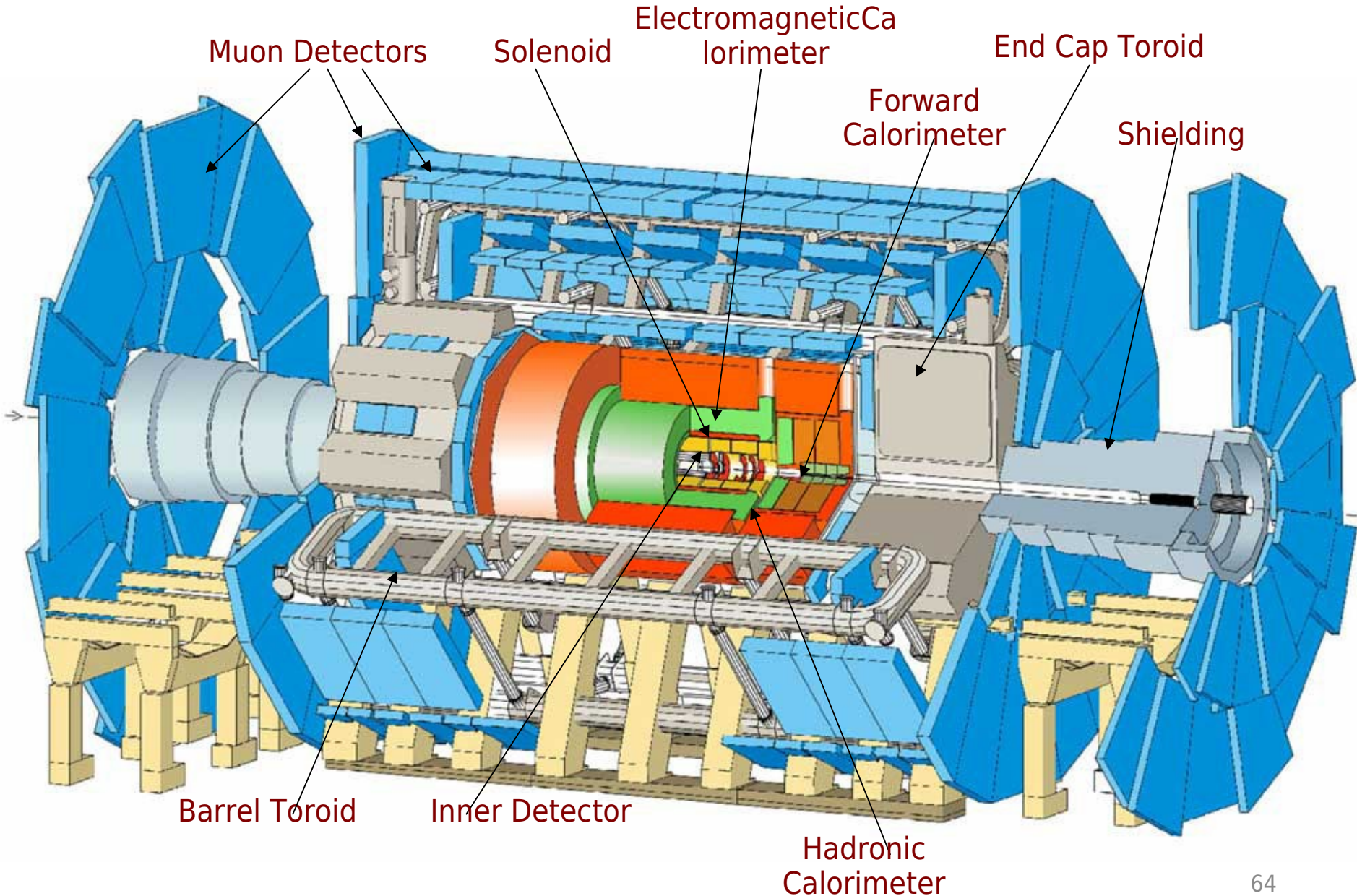
Link Status of Beam Permits	false	false
Global Beam Permit	false	false
Setup Beam	true	true
Beam Presence	false	false
Moveable Devices Allowed In	false	false
Stable Beams	false	false

AFS: Pilot\_6051\_6051

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

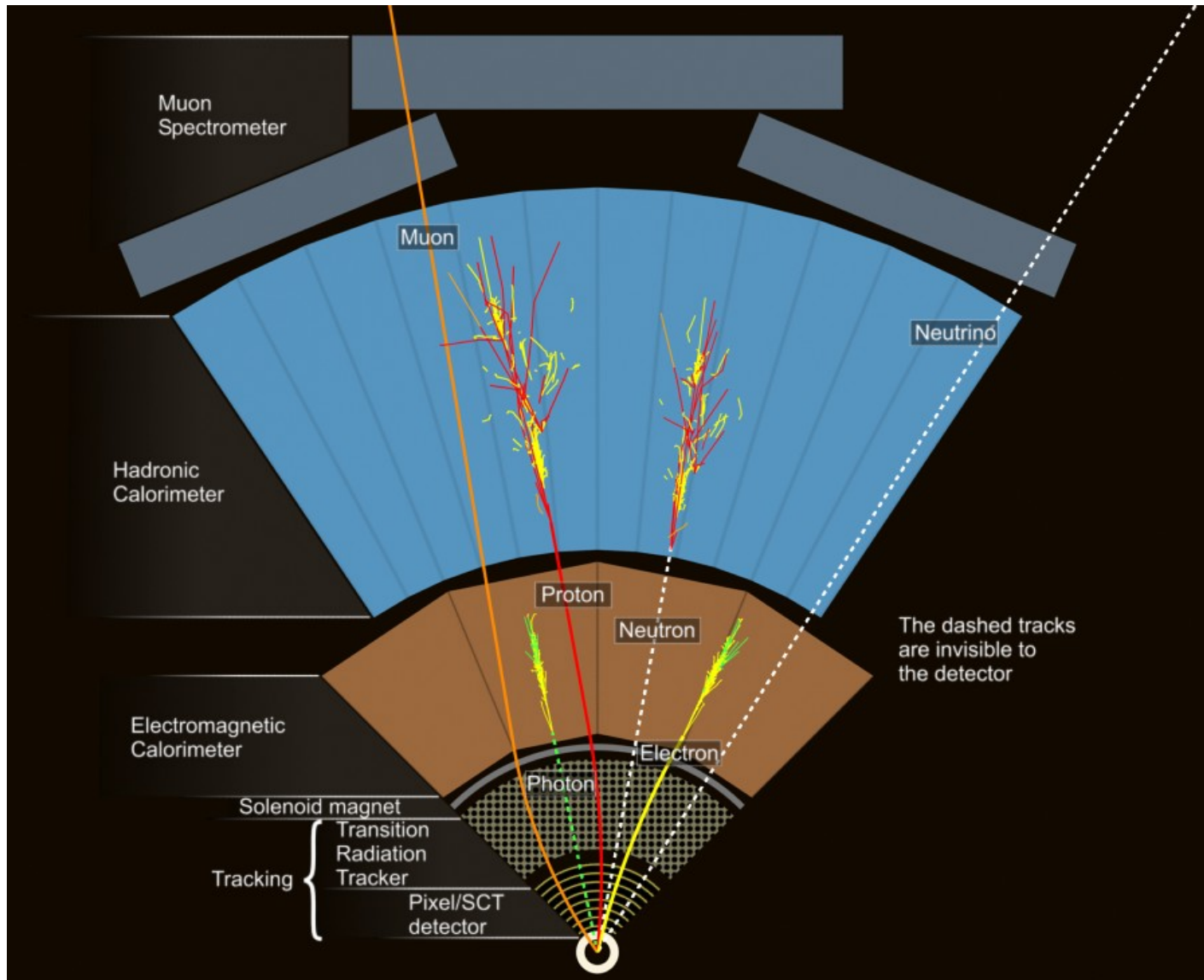
### 3. l'esperimento (ATLAS)

# ATLAS: un microscopio alto 22 e lungo 46 m





# Tante (Diverse) Macchine Fotografiche

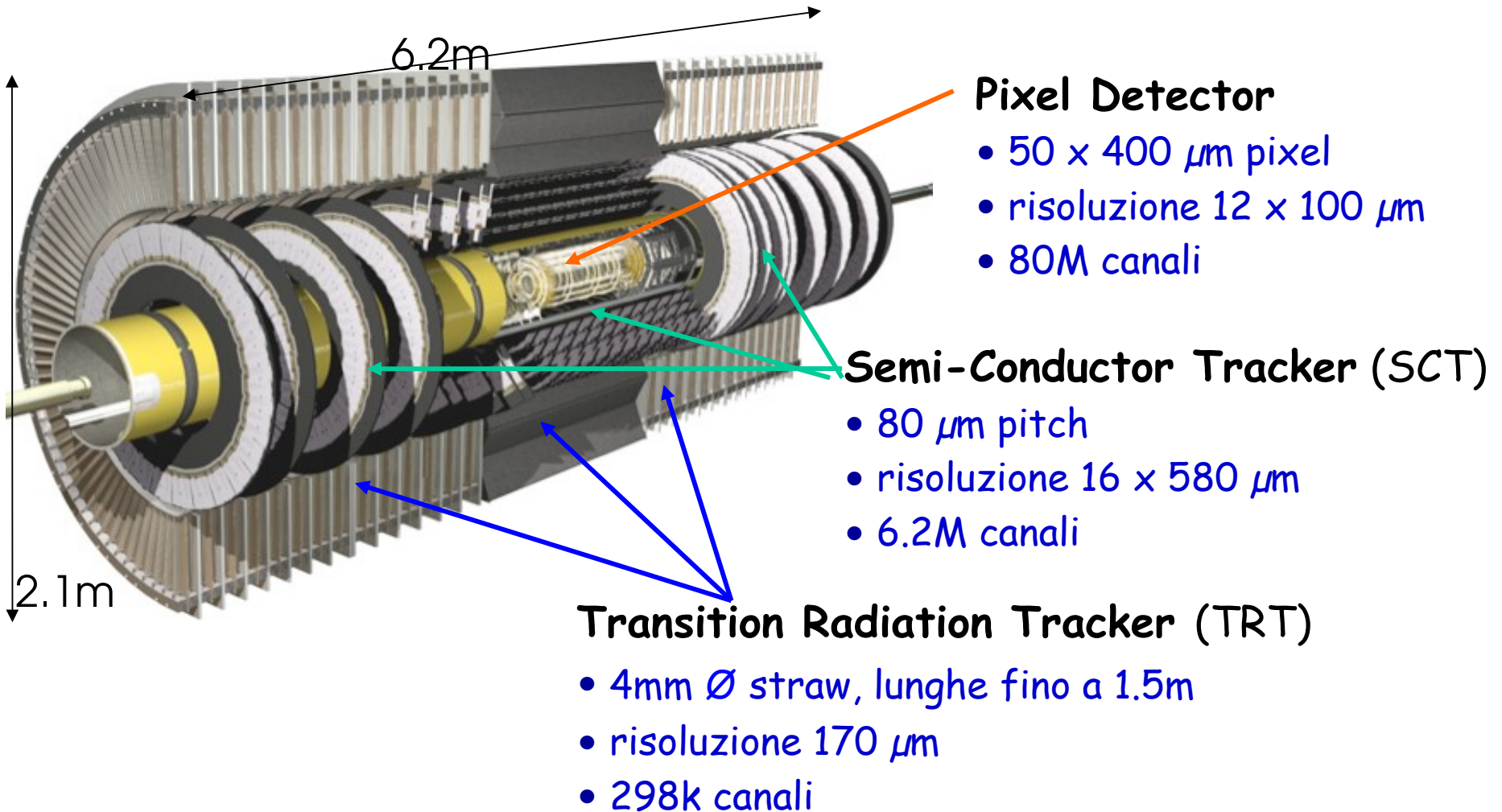


# Come funziona ?

- 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

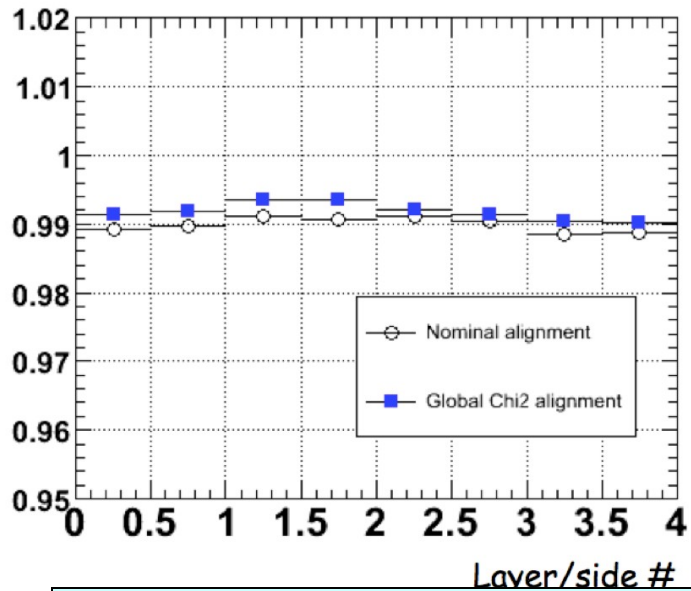
Poche proprietà fondamentali  
determinano il comportamento  
di ogni particella "quasi stabile"

# Il Tracciatore Interno

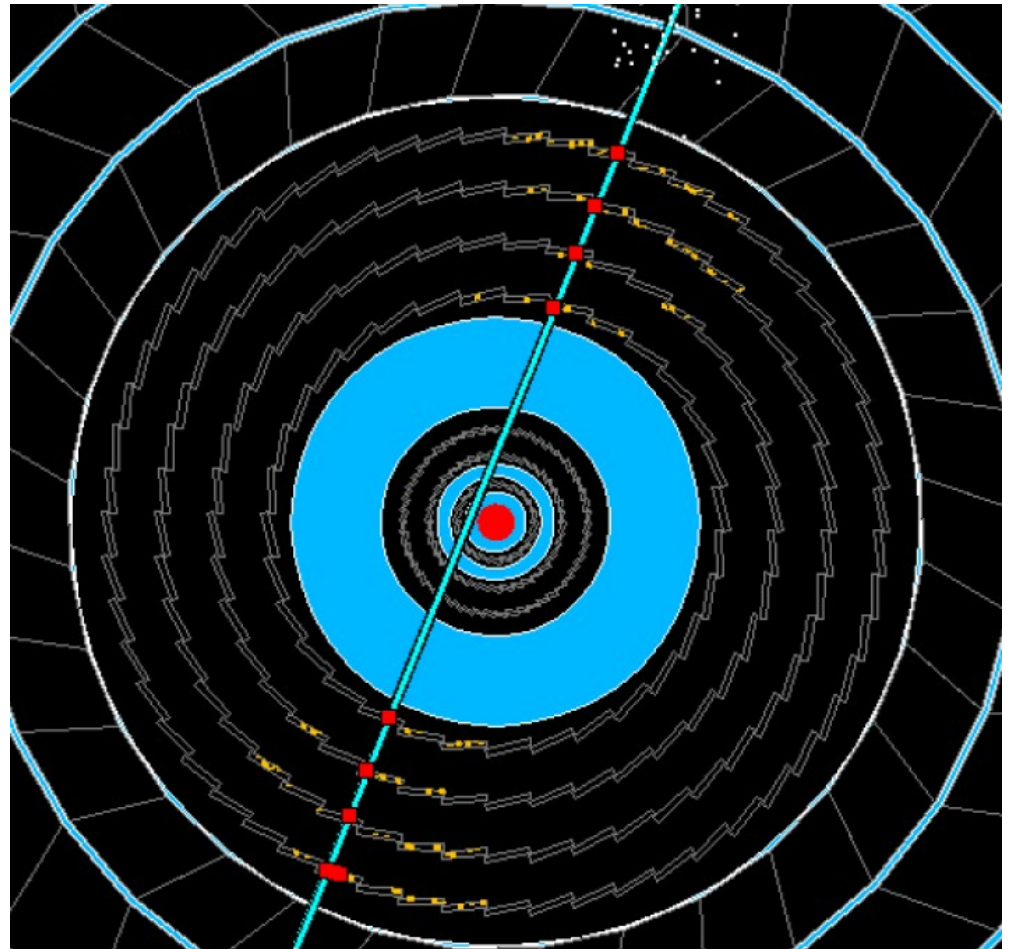


# Semi-Conductor Tracker (SCT)

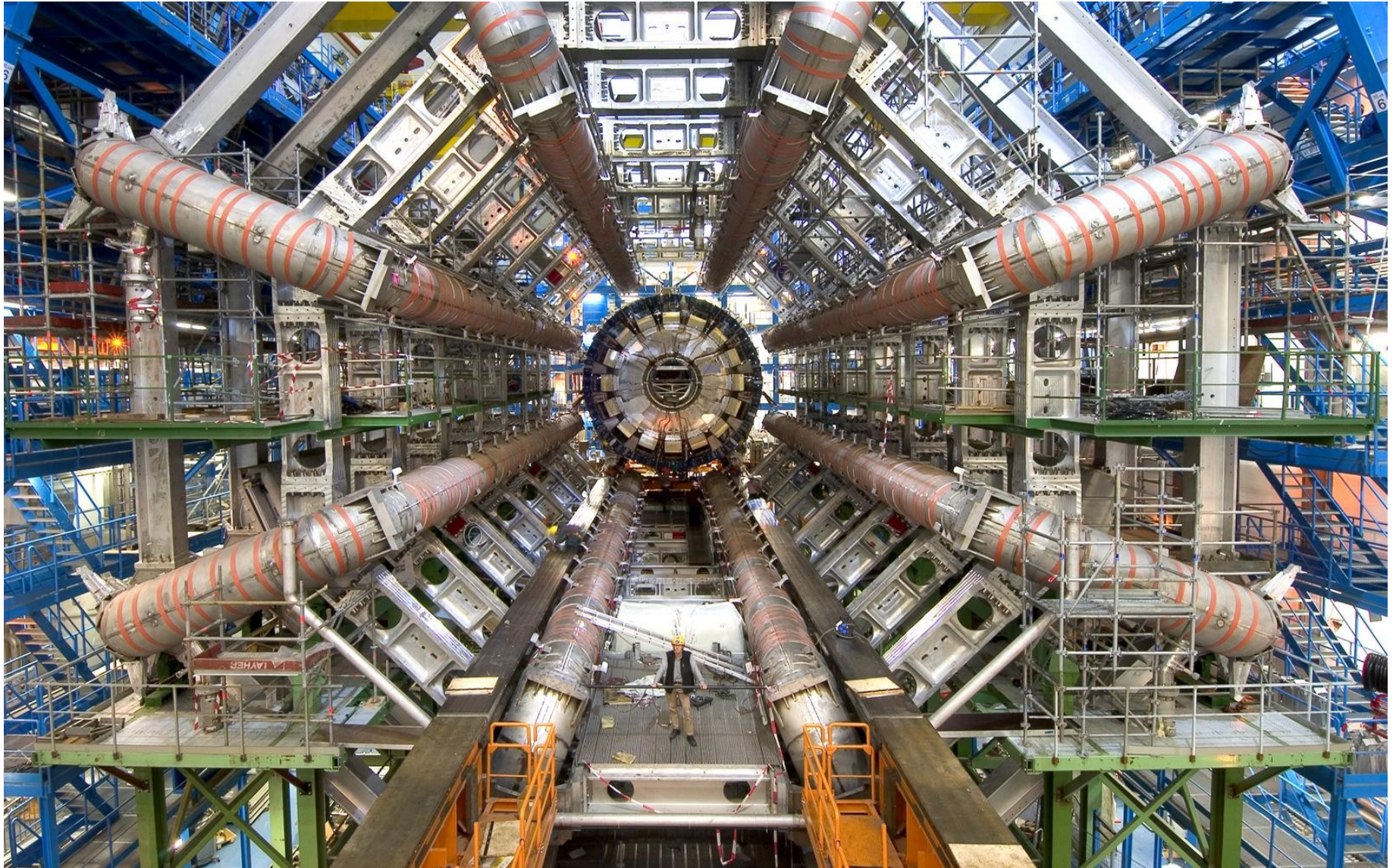
10 milioni di eventi (500 mila di raggi cosmici)



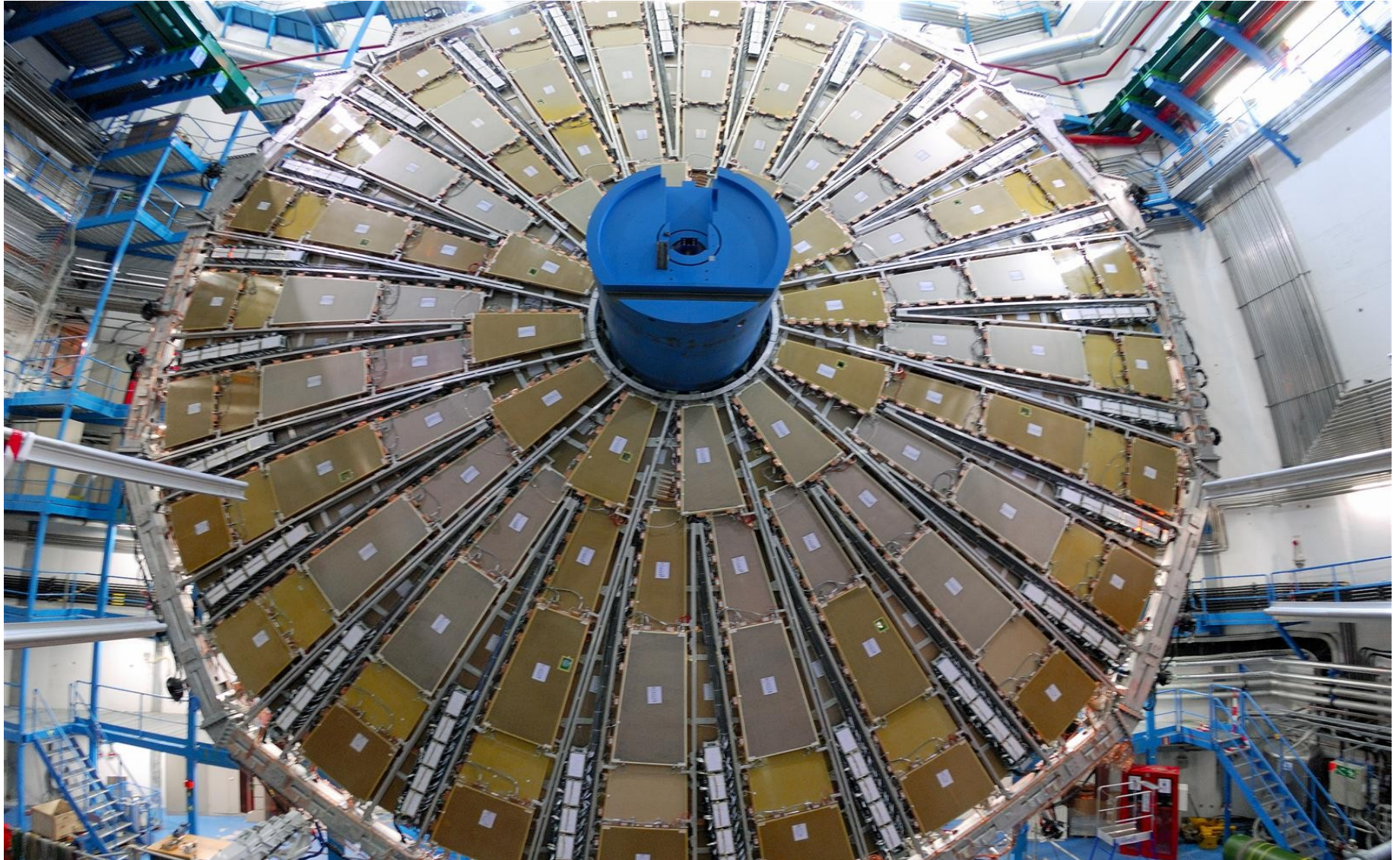
Efficiienza >99%



# Il Toroide Centrale (Barrel)



# la prima di 8 grandi ruote



# 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

# un ago in un pagliaio

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:

$4e$ ,  $4\mu$ ,  $2e2\mu$ ,  $2e2\nu$ ,  $2\mu2\nu$ ,  $e\mu2\nu$ ,  $2e2j$ ,  $2\mu2j$ ,  $2\gamma$ , ...

"Golden channels" :  $H \rightarrow 4e$ ,  $4\mu$ ,  $2e2\mu$  [  $m_H \sim 150-500 \text{ GeV}$  ]

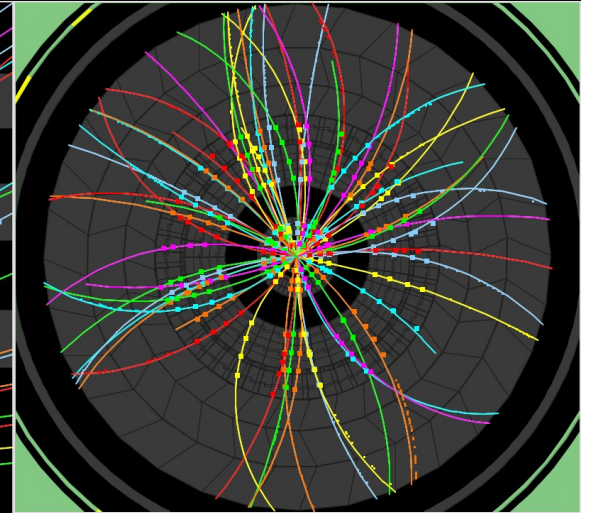
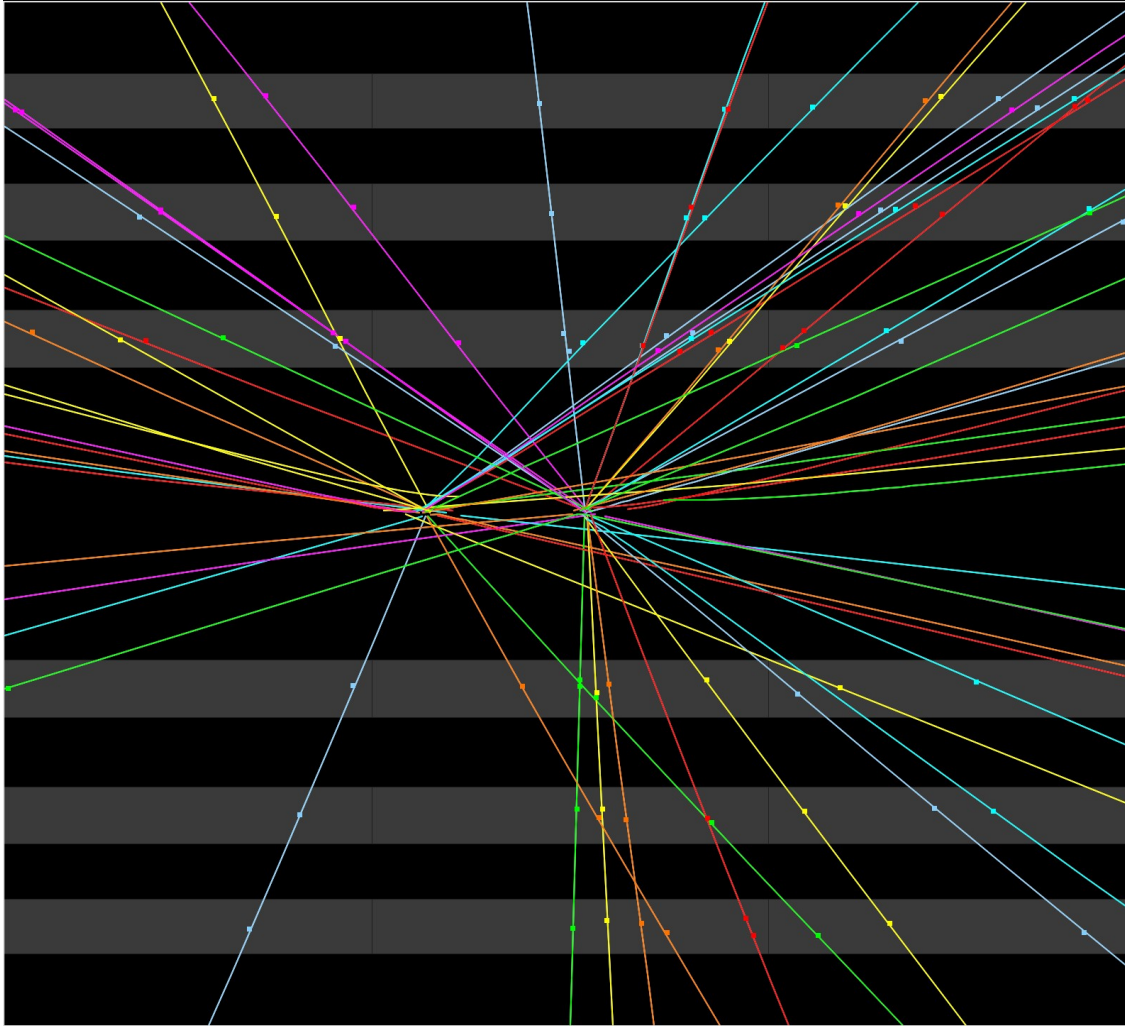
$\sim 1$  Higgs ogni 300 mila miliardi di urti .. se va bene !



# 4. risultati

# Collisione doppia

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

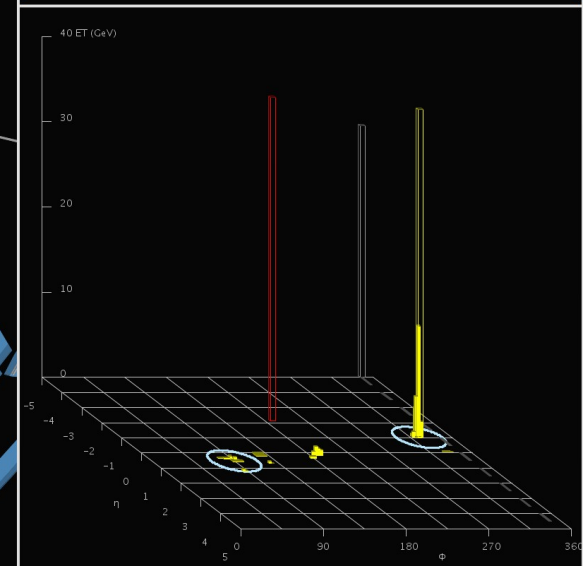
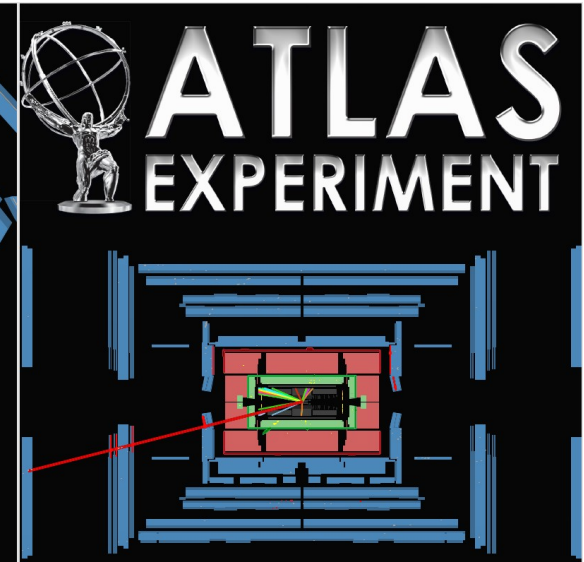
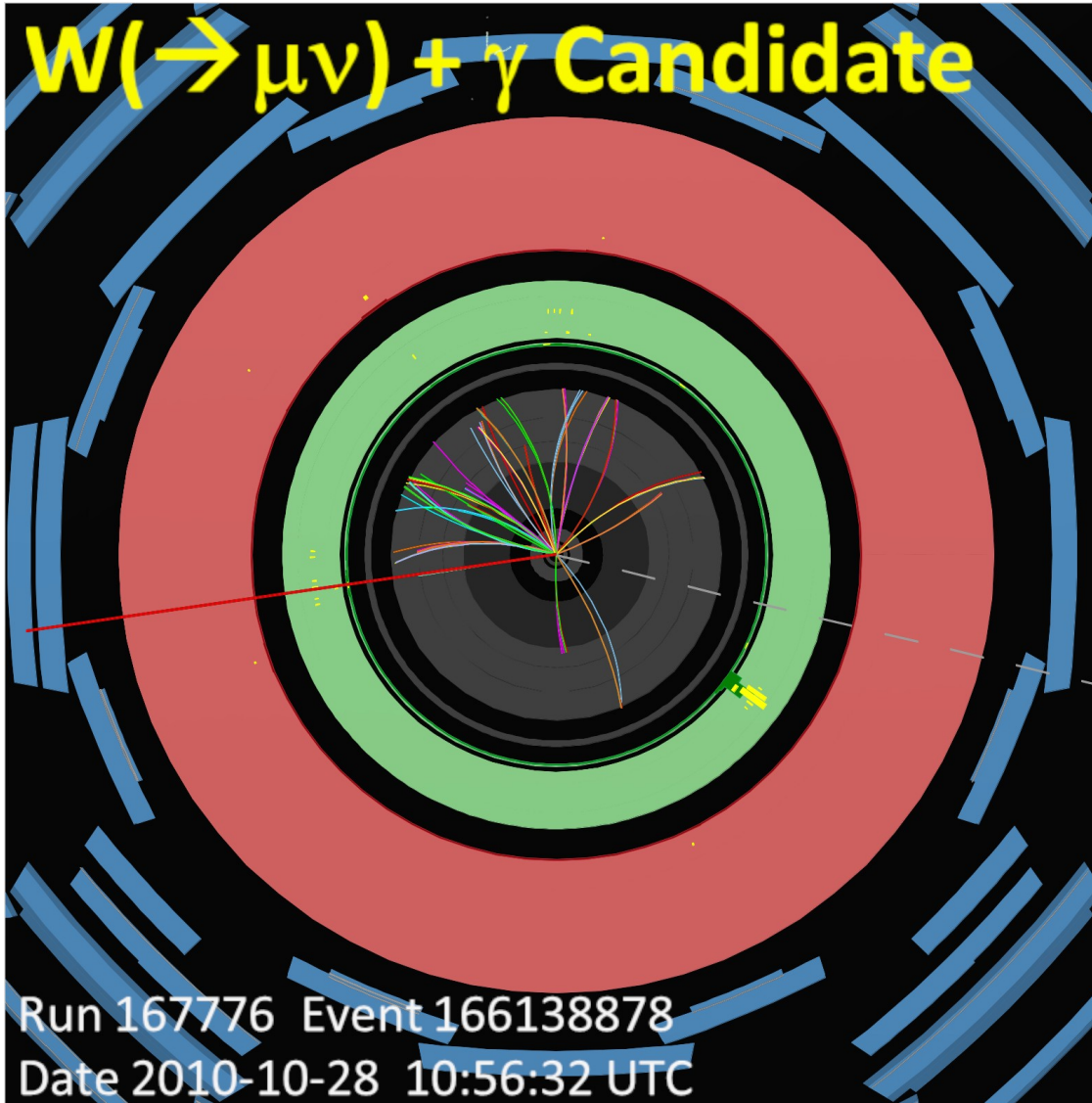


Run Number: 152166, Event Number: 467774

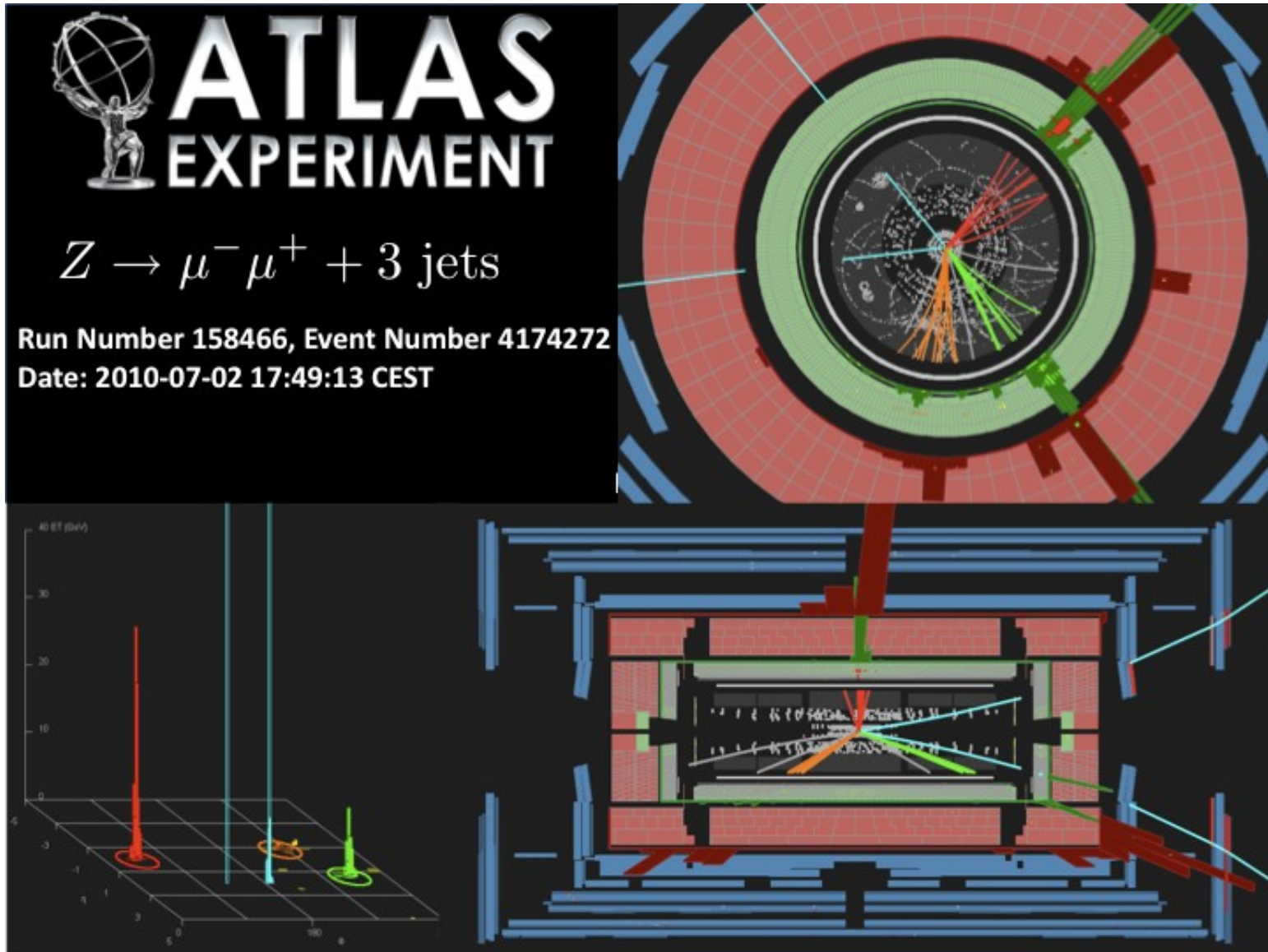
Date: 2010-03-30 13:31:46 CEST

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

# Muone, Neutrino, Fotone

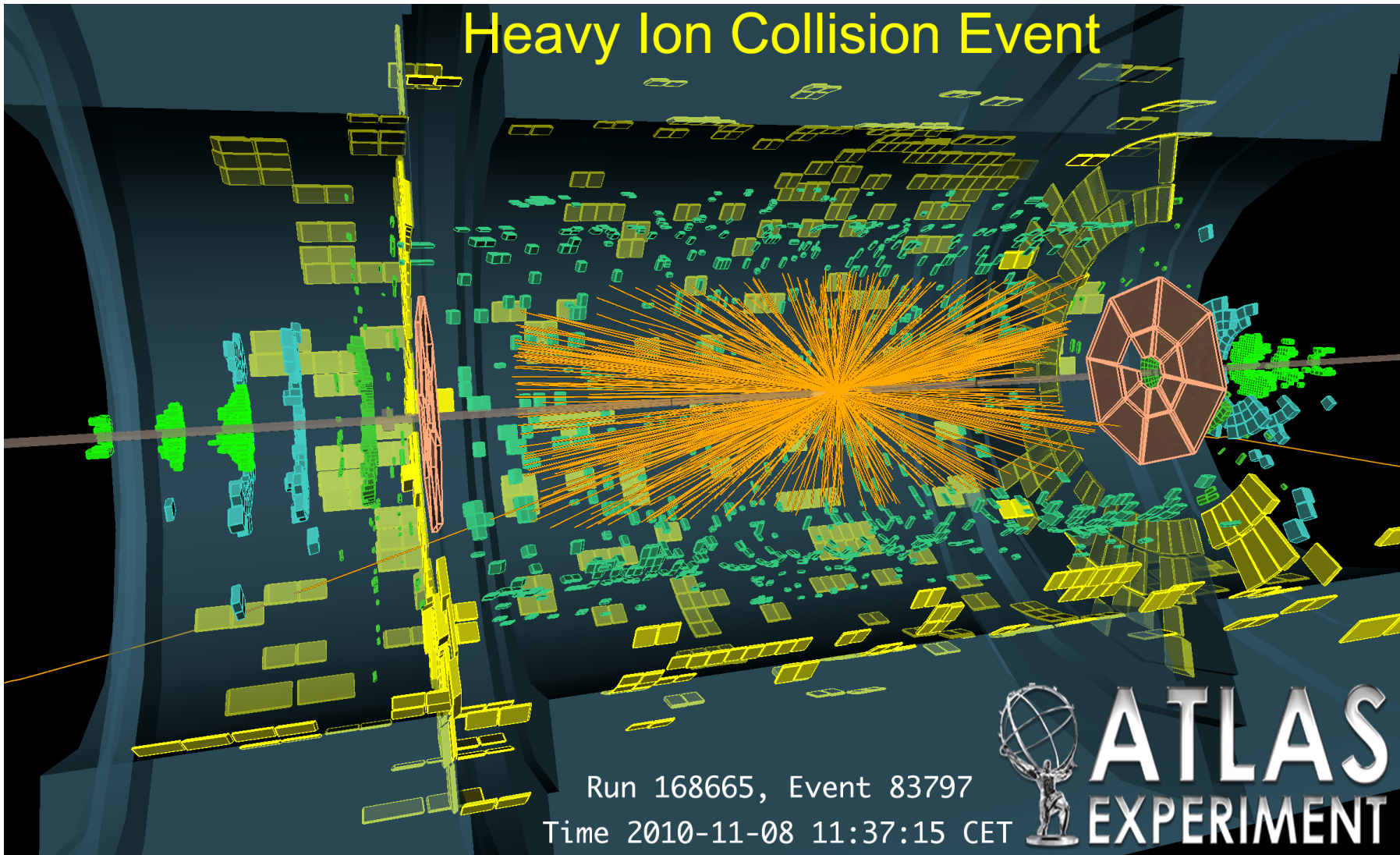


# Evento con 2 Muoni e 3 Getti (?)

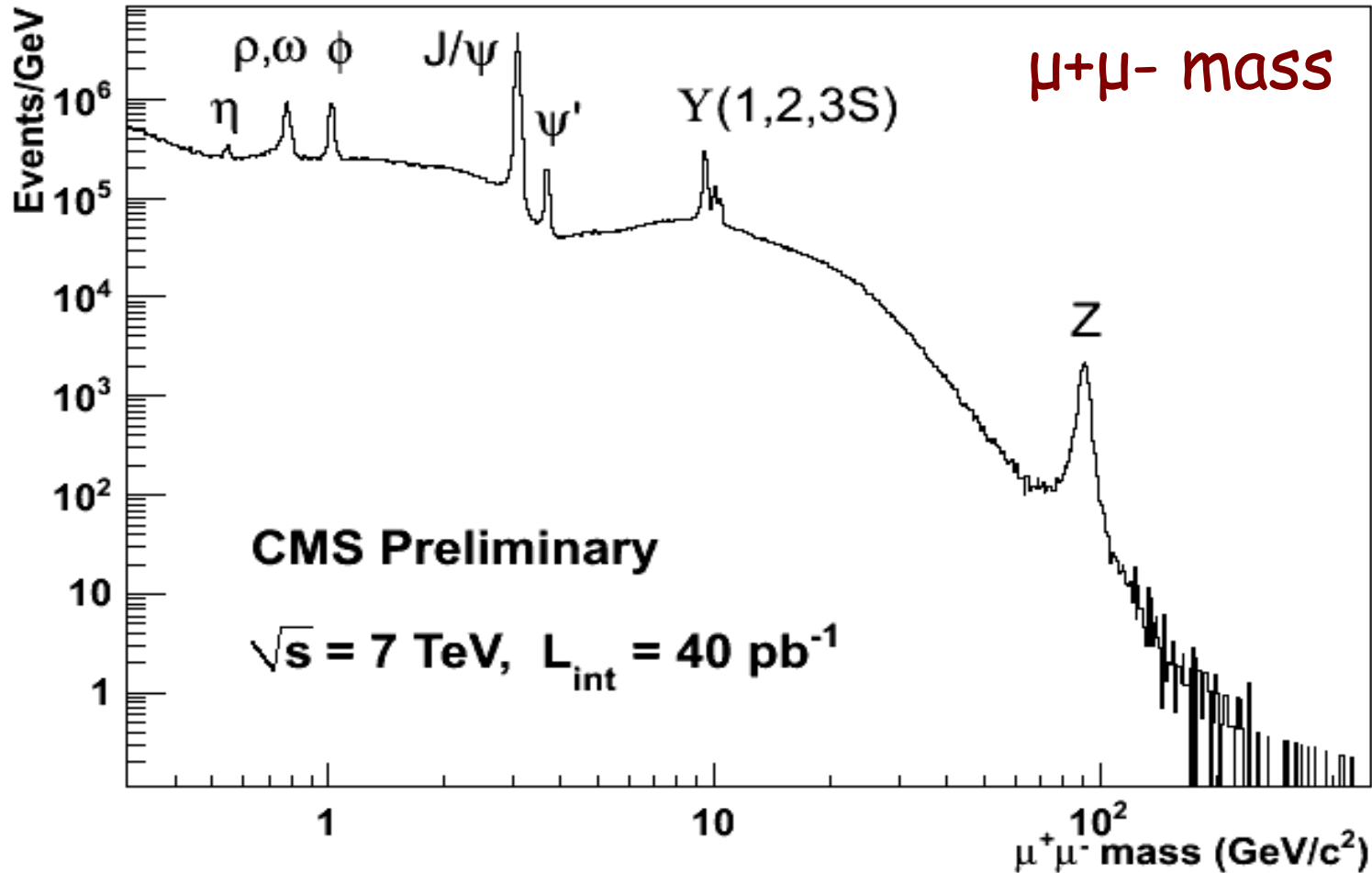


# Evento pb-pb

## Heavy Ion Collision Event



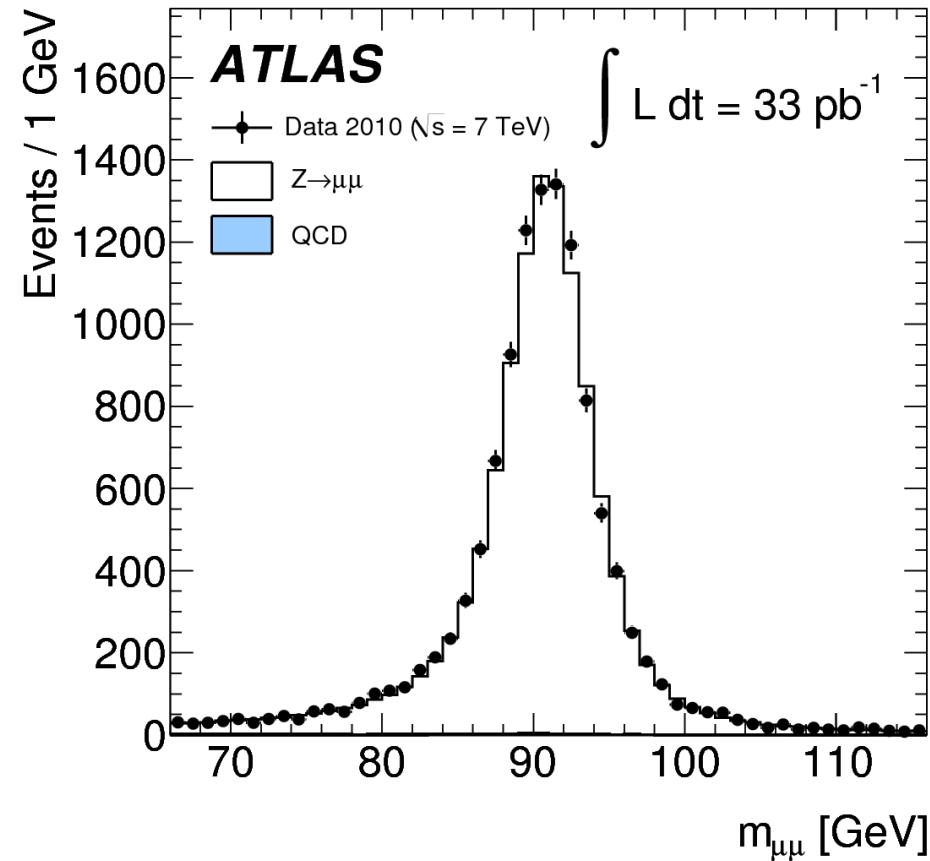
# La Riscoperta del Modello Standard



# W/Z

Canali di riferimento fondamentali (Z !) per capire:

- rivelatore
- **selezione**
- ricostruzione degli eventi



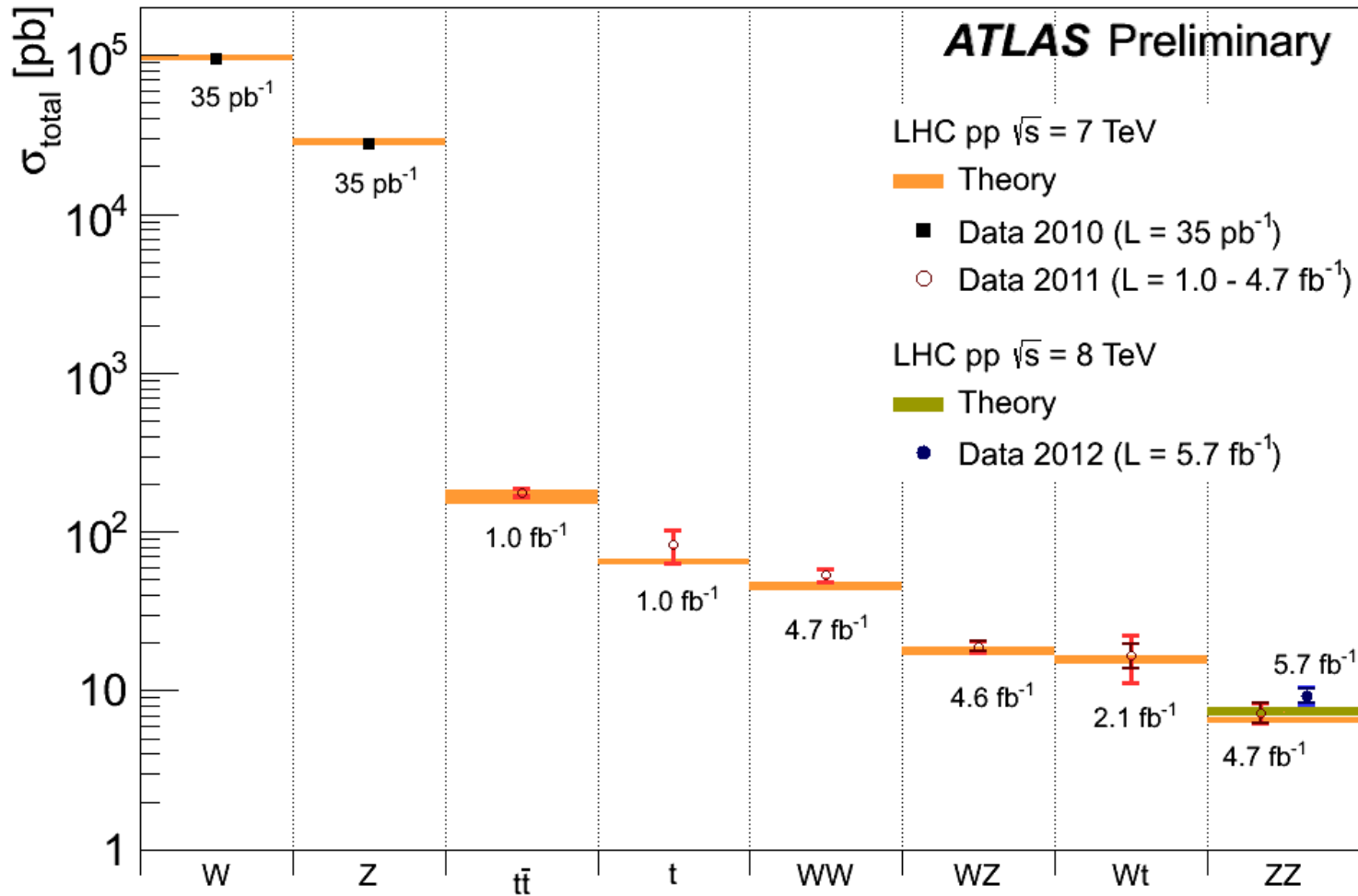
**ATLAS 2010:**

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

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

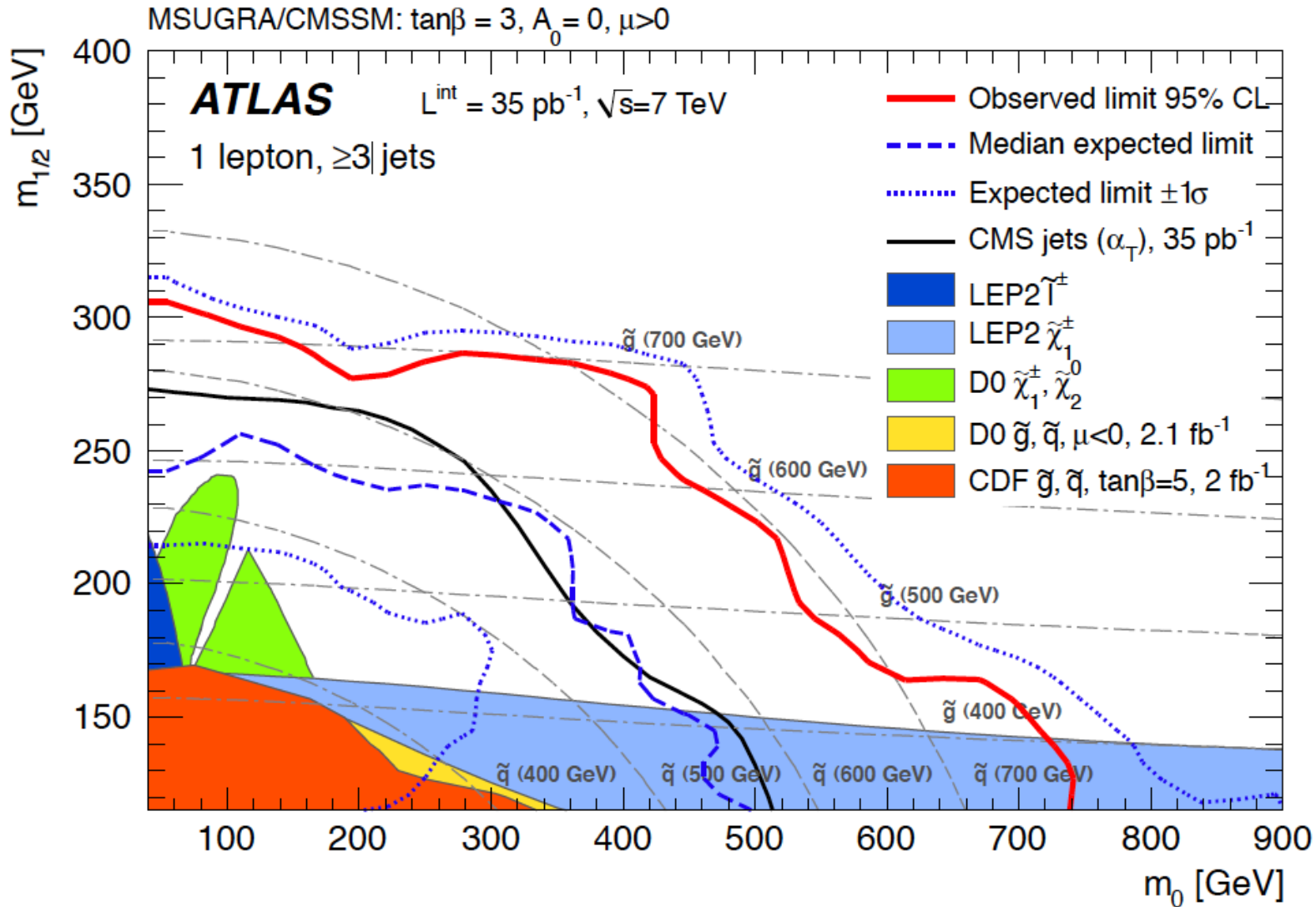
$\rightarrow 50$  volte meno di CDF o D0

# Verifiche del Modello Standard

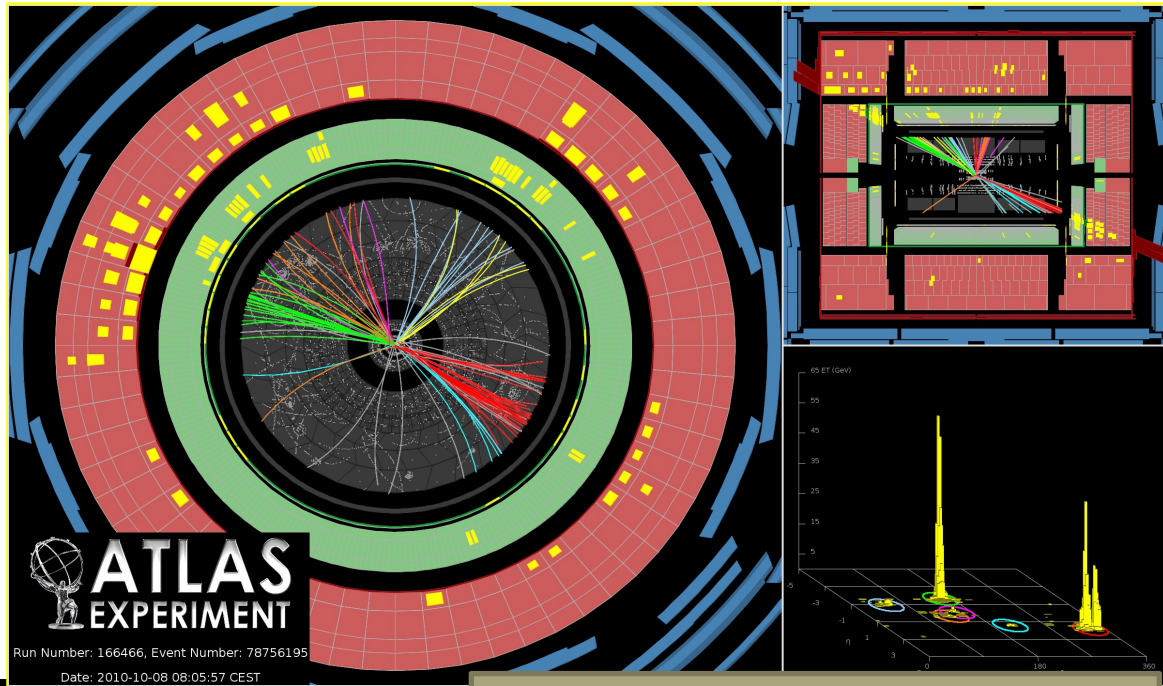




# Ricerca delle Supersimmetrie



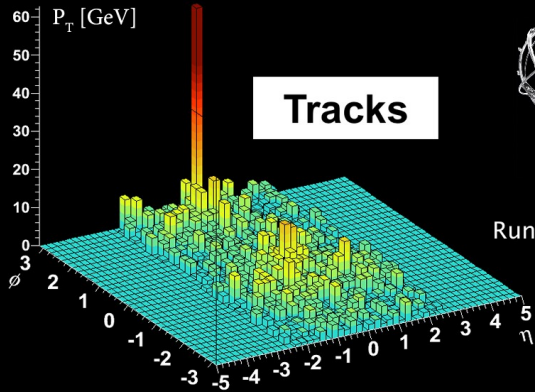
# Notevoli ...



CMS  
il primo  $ZZ \rightarrow 4 \mu$

ATLAS  
2 jet  
Massa  $\sim 3.7$  Tev

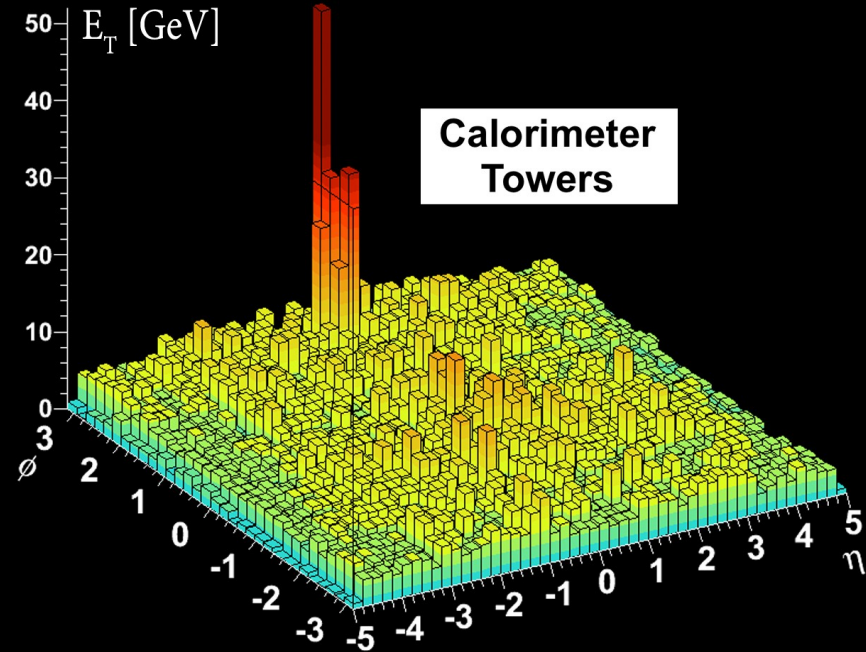
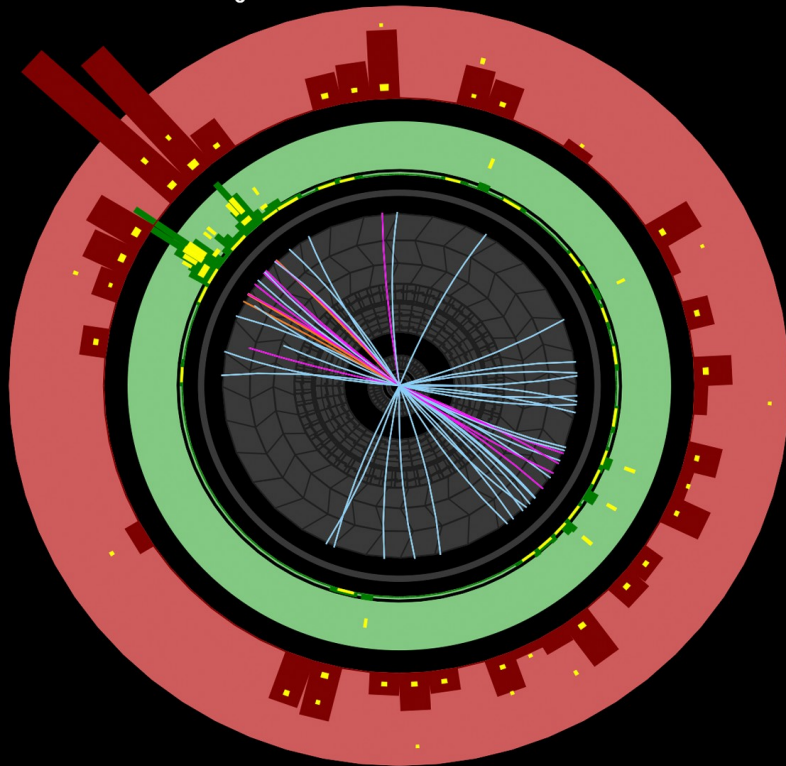
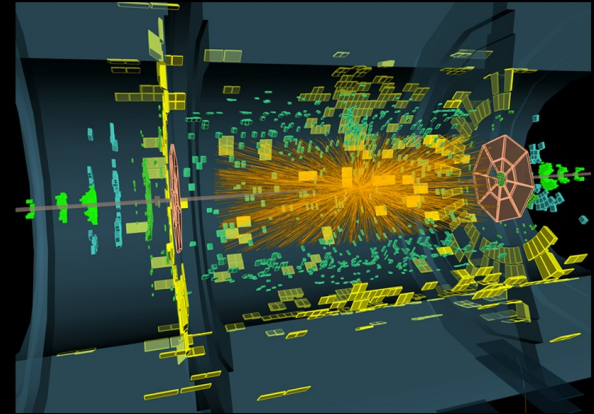
# Evento Pb-Pb asimmetrico



**ATLAS**  
EXPERIMENT

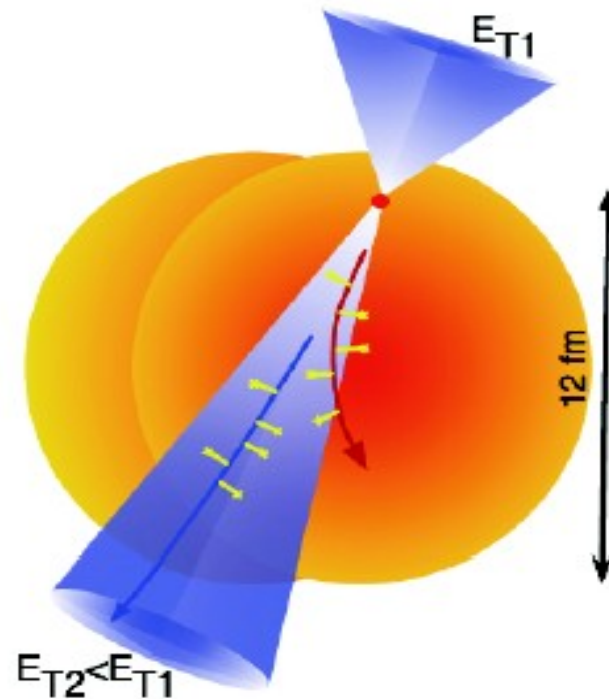
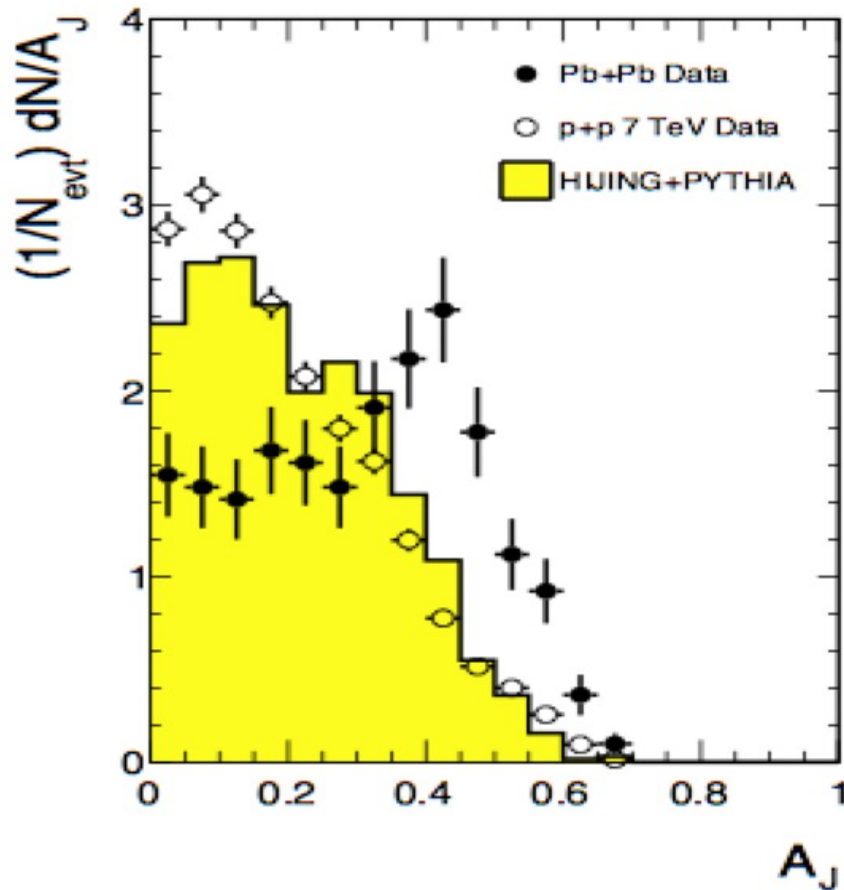
Run Number: 169045, Event Number: 1914004

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



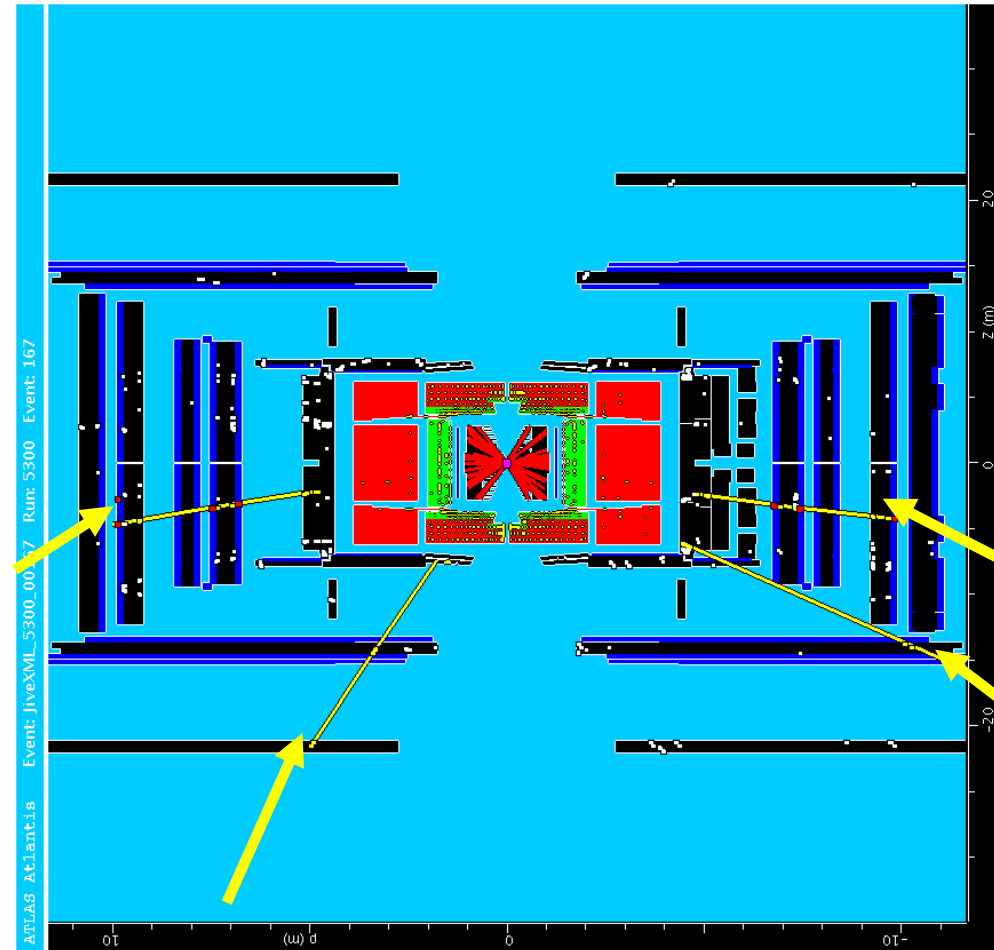
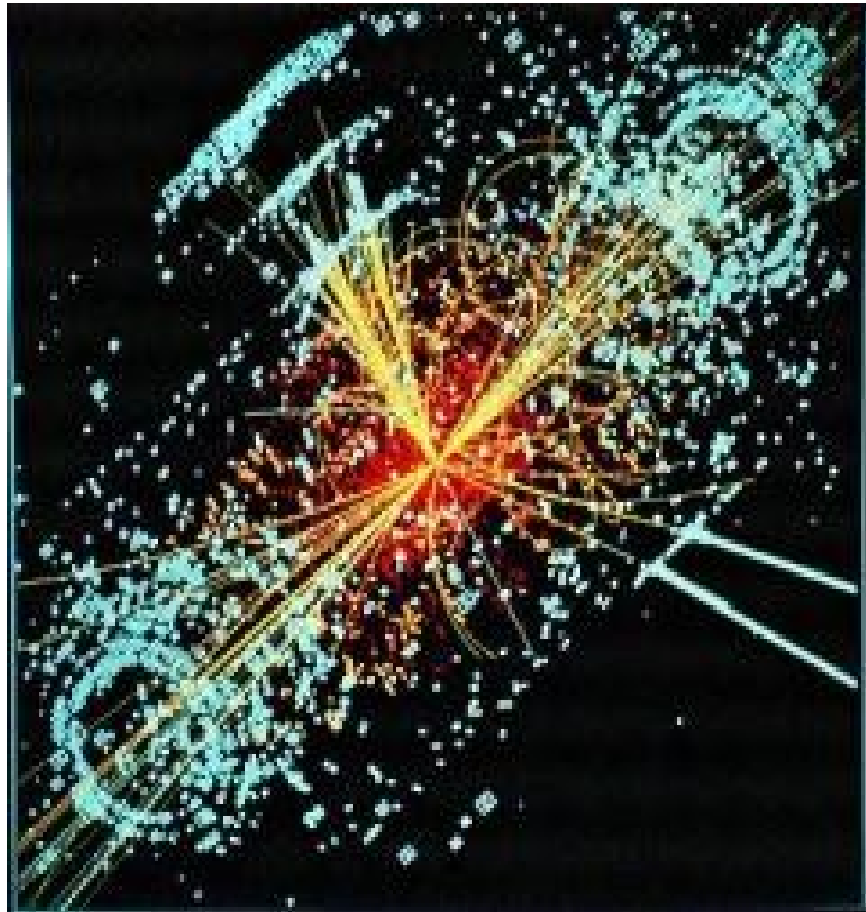
# Il mondo ai tempi del big-bang

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

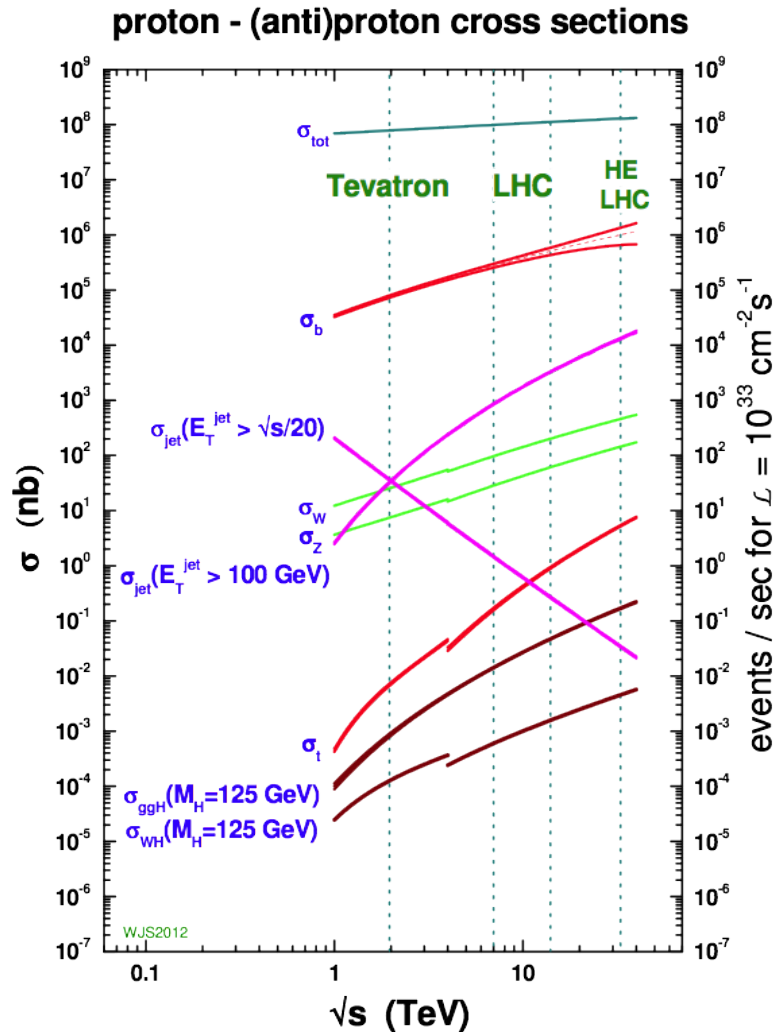


# Il Bosone di Higgs

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



# Quanto è probabile un "Higgs" ?



- La produzione di un bosone di Higgs ha una probabilità MOLTO piccola
- Eventi di "fondo" (soprattutto QCD) sono estremamente più probabili
- Occorre una "reiezione" molto alta  $O(10^{-7})$

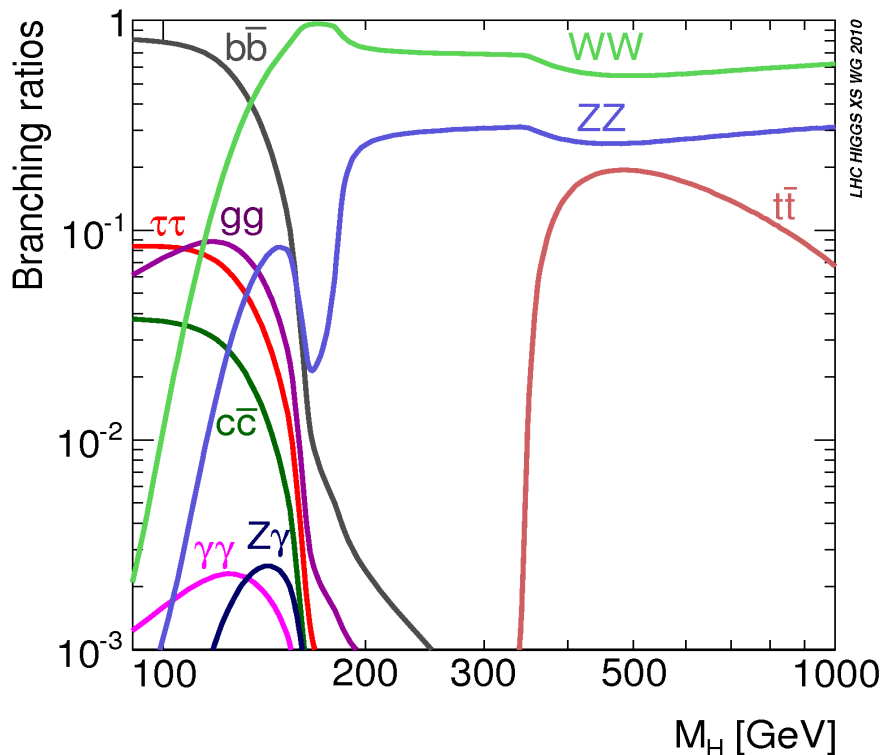
Probabilità  $\sim 10^{-10}$  volte più piccola rispetto ad un evento "qualsiasi"

# Massa dell'Higgs ?

Non prevedibile dal Modello Standard

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

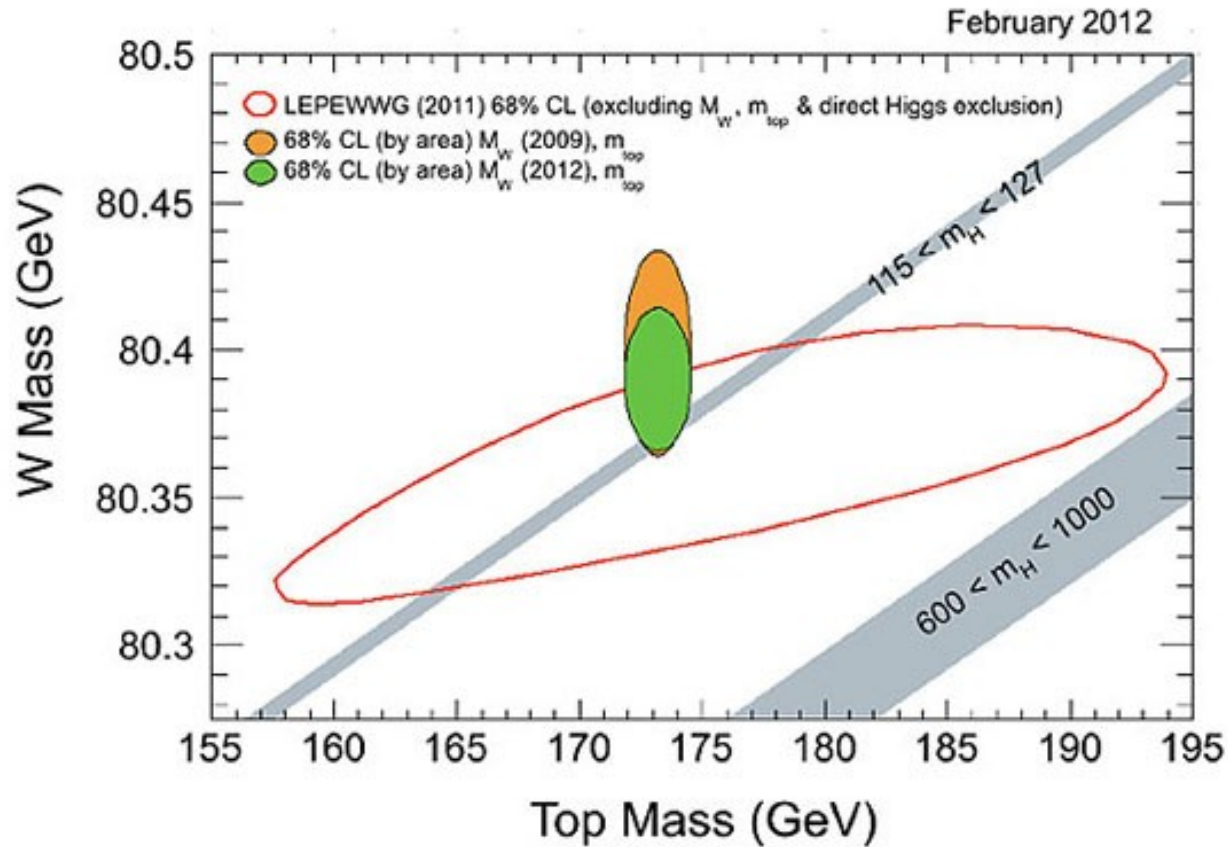
## Decadimenti



Dati puntano a:  
 $M < 200$  GeV

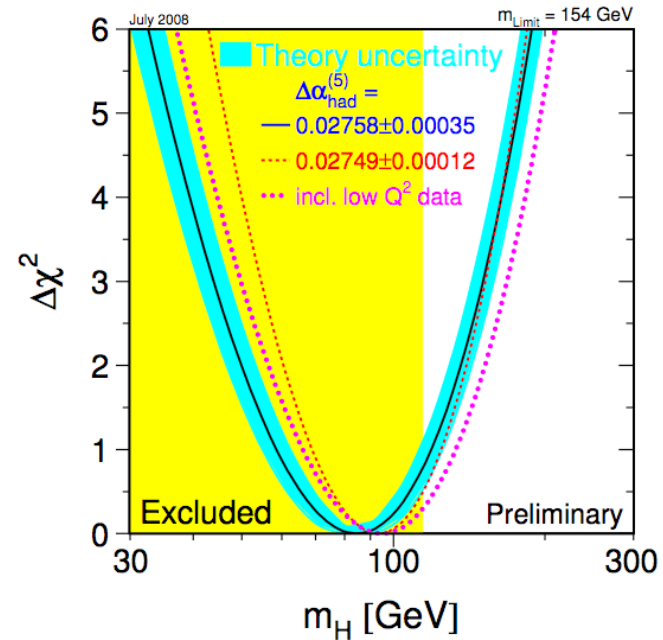
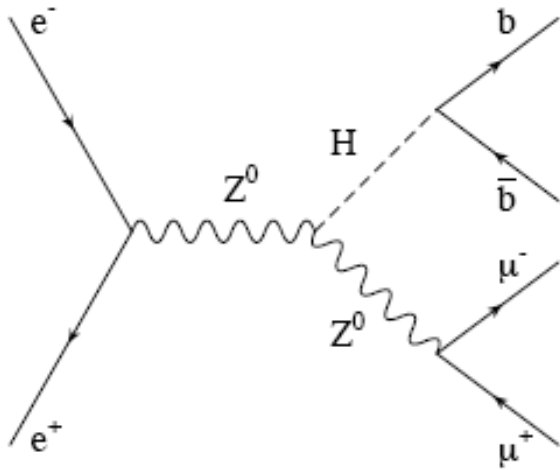
Canale più "facile":  
 $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4$  "leptoni"

# The $M(W)$ - $M(\text{top})$ - $M(\text{Higgs})$ connection





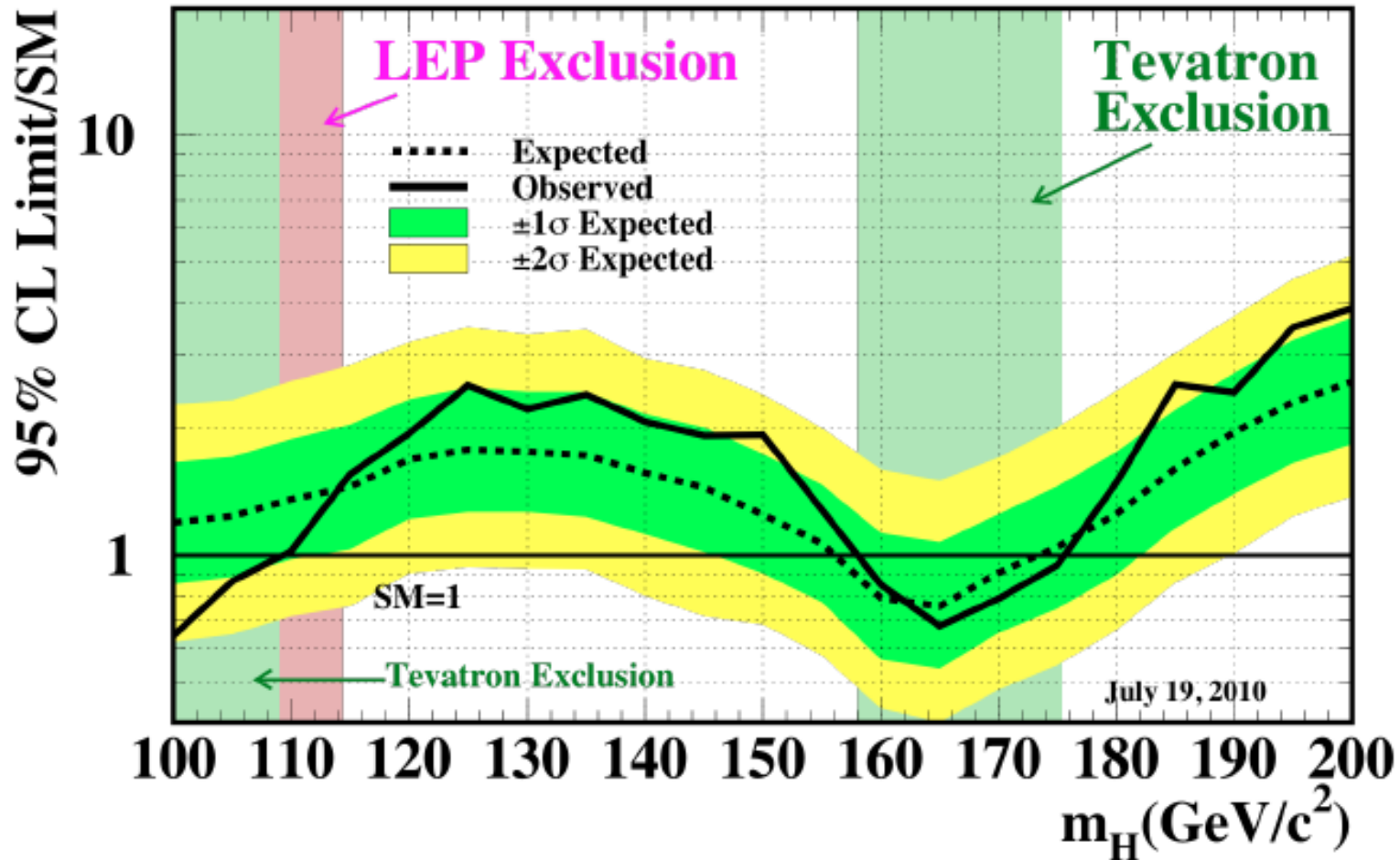
# Ricerca diretta a Lep



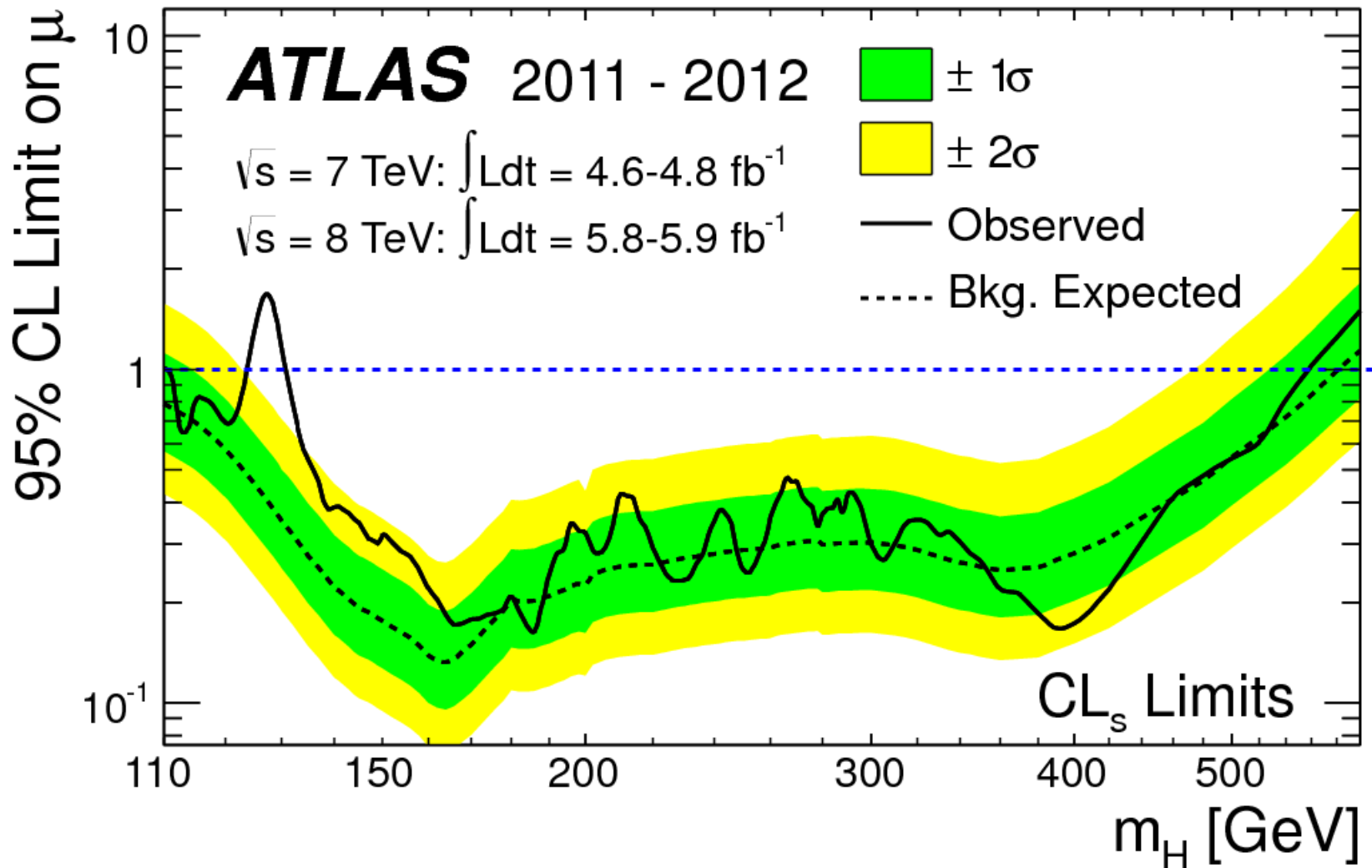
$m(\text{Higgs}) > \sim 114 \text{ GeV}$

# Lep e Tevatron

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



# Sensibilità sperimentale





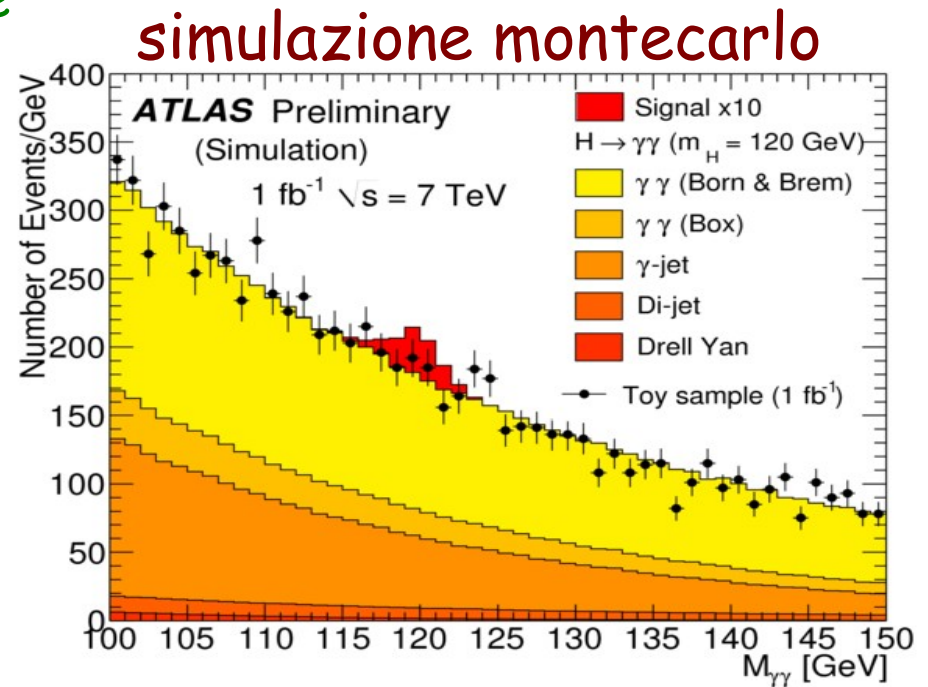
- miglior canale a bassa massa
- rapporto segnale/rumore comunque pessimo:
  - immaginate di cercare di riconoscere una nota musicale nella confusione di una fiera
- precisione di misura fondamentale

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

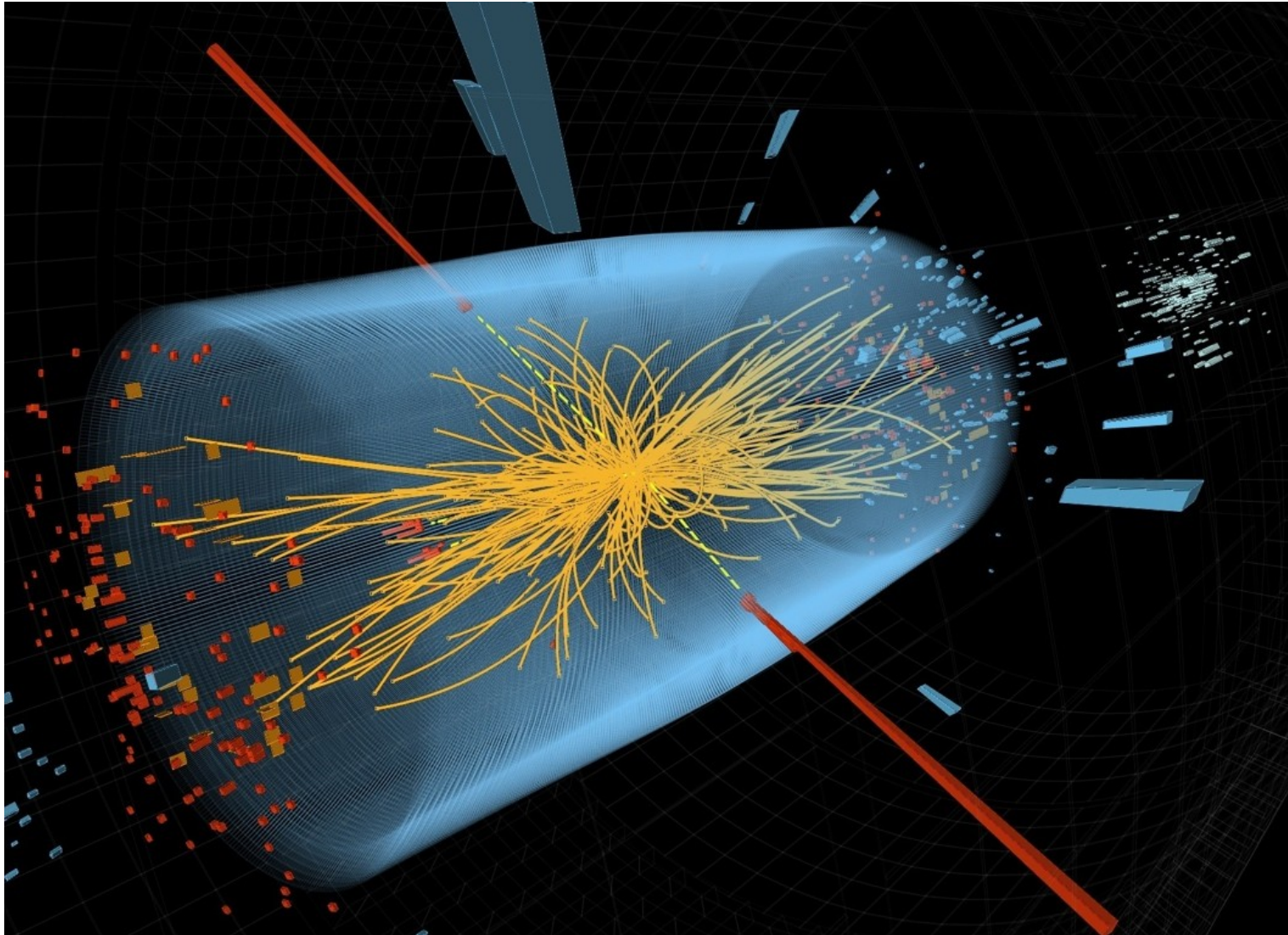
$$\text{Prob}(S > 5) < 3 \cdot 10^{-7}$$

→ Scoperta

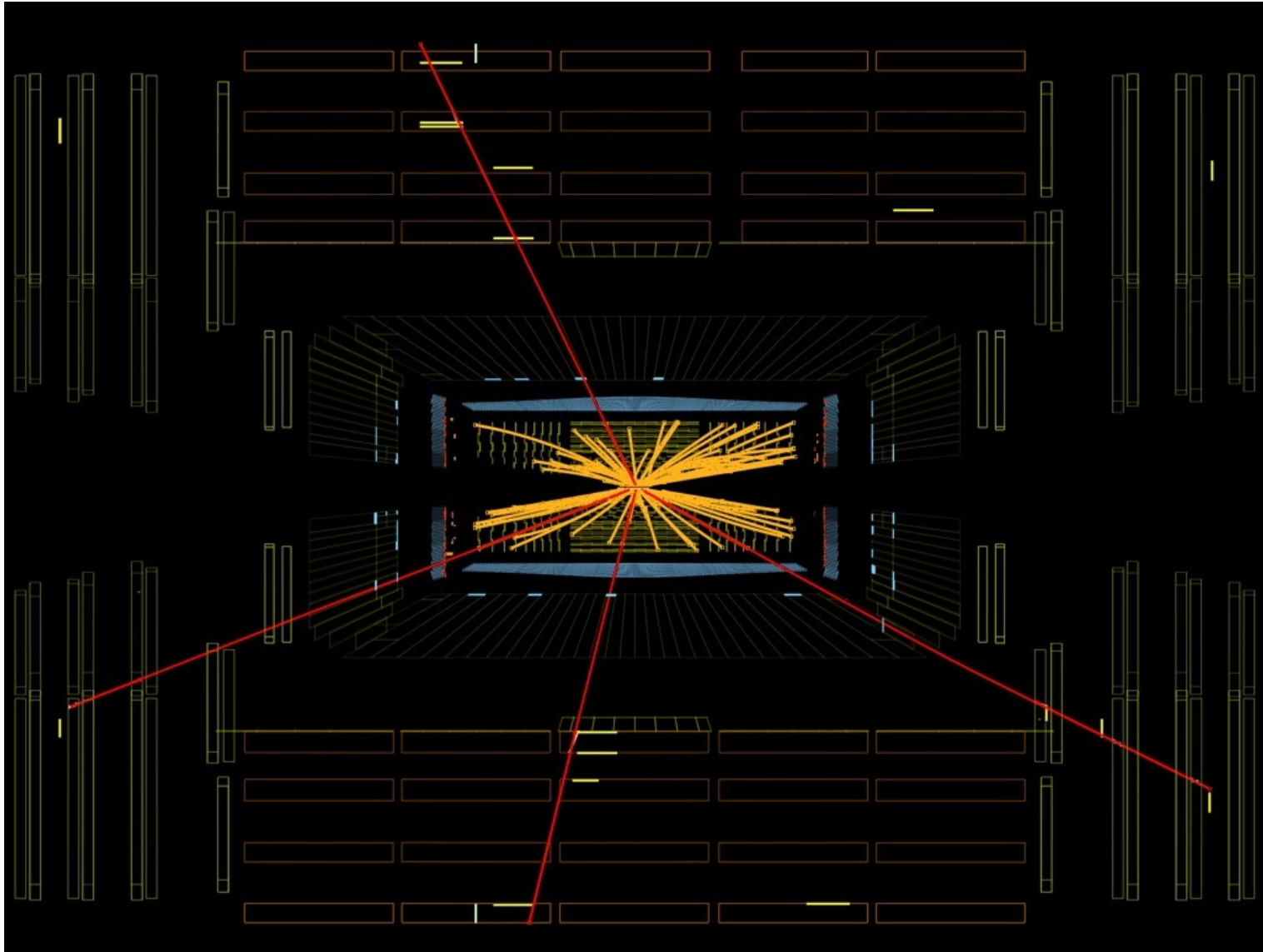
necessari anni di presa dati (?)



# evento candidato $H \rightarrow \gamma\gamma$

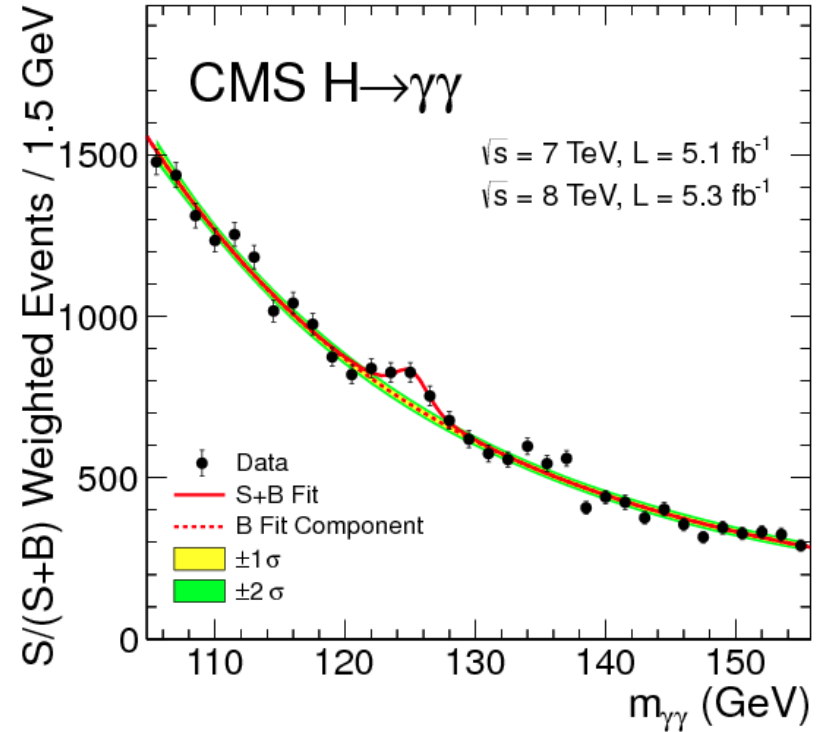
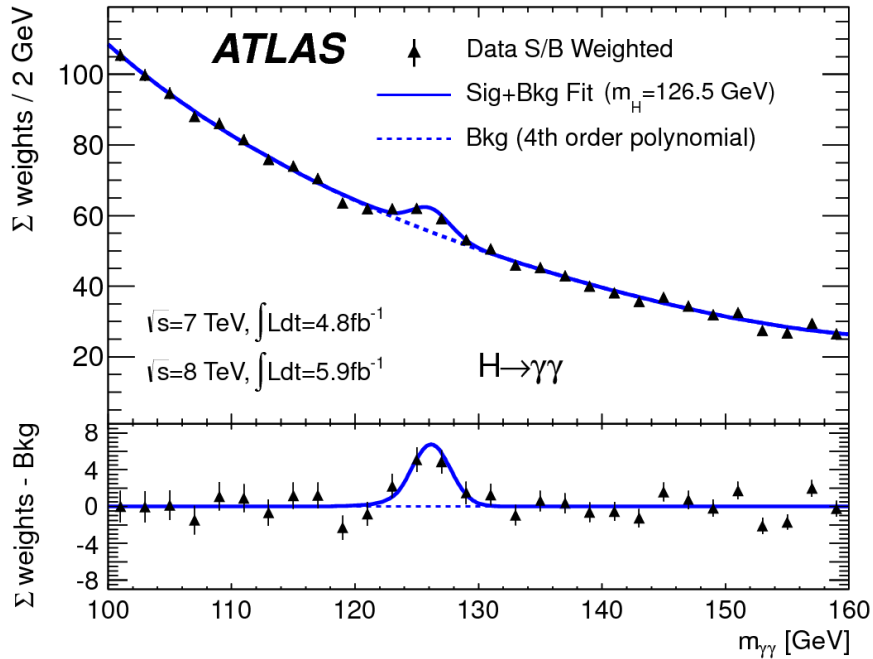


# evento candidato $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\mu$



# eventi con 2 fotoni (dati 2012)

$$m_{\gamma\gamma} = \sqrt{2E_1E_2(1 - \cos \alpha)}$$

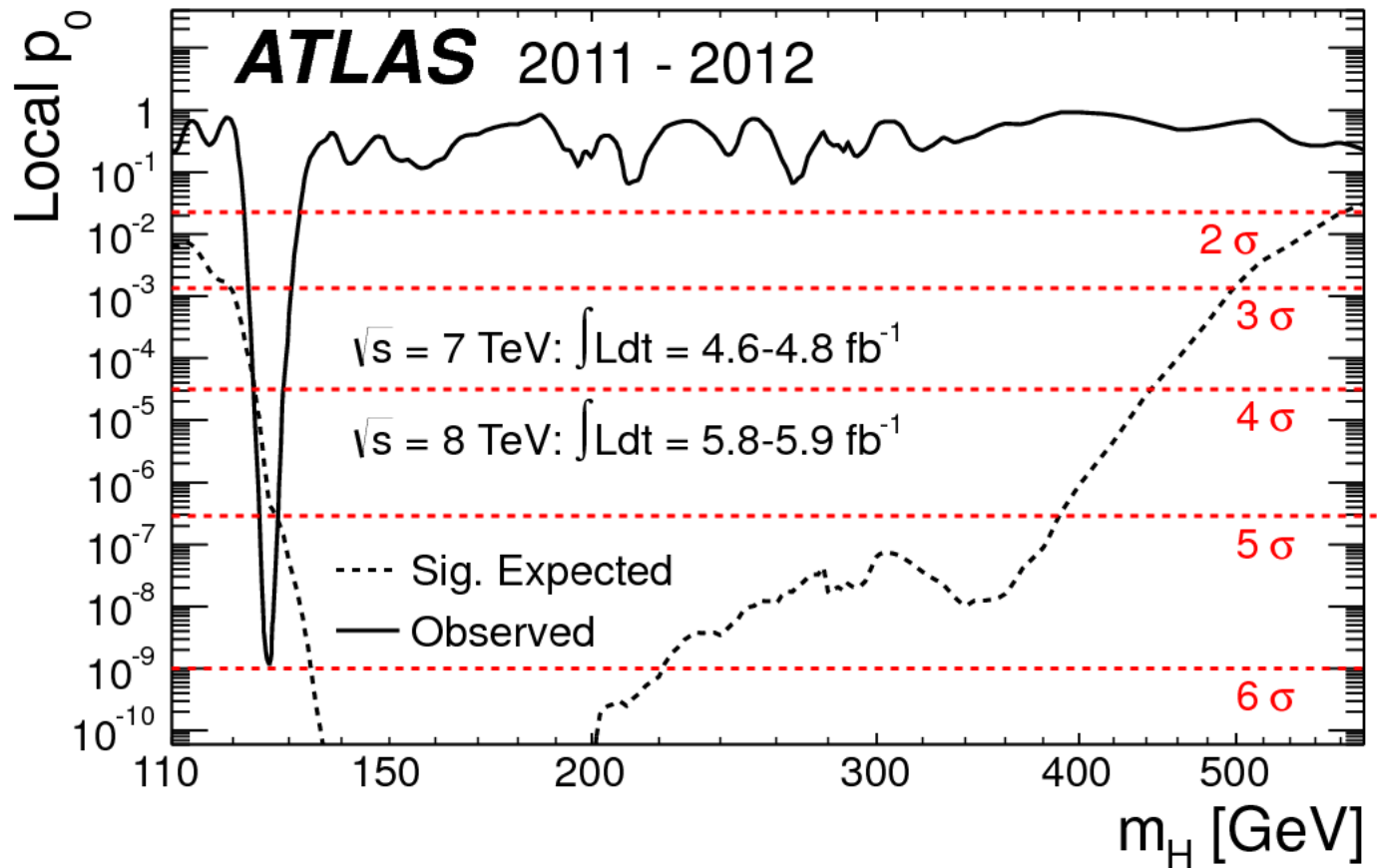


Regione con un "picco":

~170 eventi in eccesso  
 ~6340 eventi di fondo

# c'e' qualcosa di nuovo ?

Probabilità di ottenere il risultato osservato, con solo i processi già conosciuti



Eccesso casuale ? Statisticamente incompatibile !

Bosone di Higgs del M.S. ? Statisticamente compatibile !

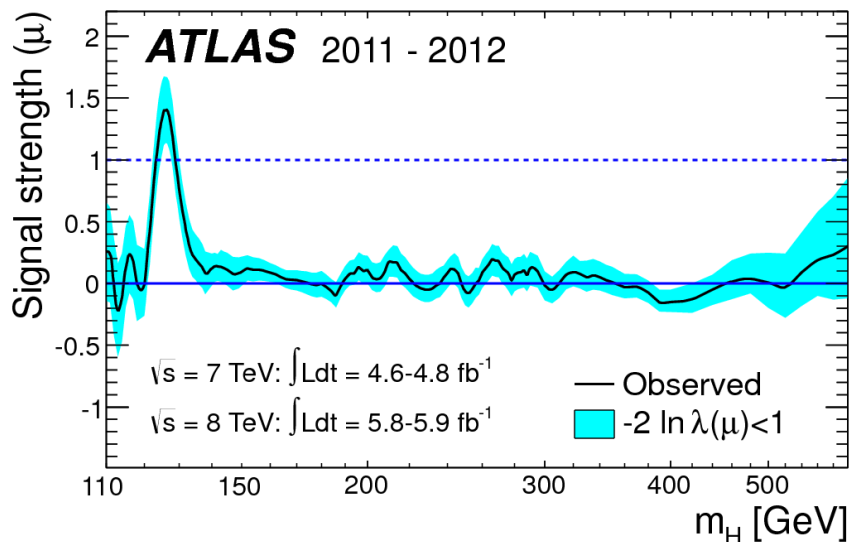


# verifica predizioni Modello Standard

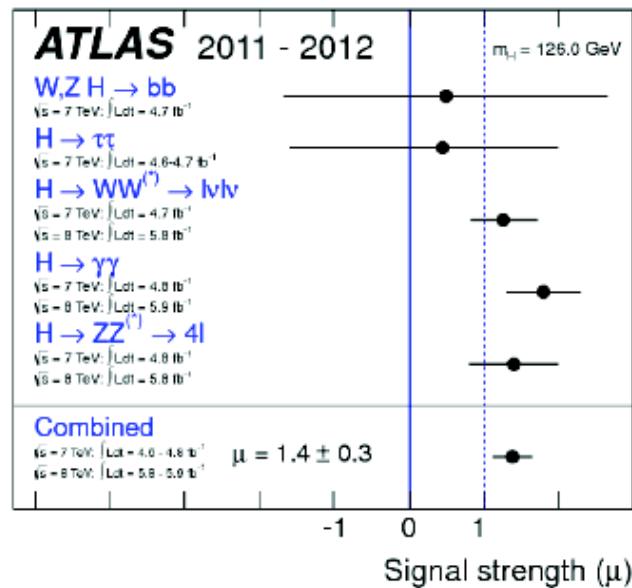
Signal Strength:

0 = solo fondo MS      1 = fondo MS + Higgs  
 [ fondo : processi già conosciuti ]

tutti gli eventi



per categoria



## Conclusioni

ATLAS e CMS indipendentemente trovano che:

- c'è una nuova particella
- è un bosone (decade in 2 fotoni)
- non è un bosone vettoriale (decade in 2 fotoni)
- è compatibile con il bosone di Higgs del Modello Standard

Se lo è, è molto gentile ad essere lì, perché a LHC sarà possibile studiarlo in molti canali di decadimento:

$$\gamma\gamma, ZZ^* \rightarrow 4l, WW^* \rightarrow l\nu l\nu, bb, \tau\tau$$



# Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC<sup>1,2</sup>

ATLAS Collaboration<sup>3</sup>

This paper is dedicated to the memory of our ATLAS colleague who did not live to see the full impact and significance of their contributions to the experiment.

## ARTICLE INFO

**Article history:**  
Received 21 July 2012  
Received in revised form 8 August 2012  
Accepted 11 August 2012  
Available online 14 August 2012  
Editor: W. L. Stenzer

## ABSTRACT

A search for the Standard Model Higgs boson in proton–proton collisions with the ATLAS detector at the LHC is presented. The datasets used correspond to integrated luminosities of approximately 4.8 fb<sup>-1</sup> collected at  $\sqrt{s} = 7$  TeV in 2011 and 5.8 fb<sup>-1</sup> at  $\sqrt{s} = 8$  TeV in 2012. Individual searches in the channels  $H \rightarrow ZZ^{(0)} \rightarrow 4\ell$ ,  $H \rightarrow \gamma\gamma$  and  $H \rightarrow WW^{(0)} \rightarrow \nu\bar{\nu}\nu$  in the 8 TeV data are combined with previously published results of searches for  $H \rightarrow ZZ^{(0)}$ ,  $WW^{(0)}$ ,  $b\bar{b}$  and  $\tau^+\tau^-$  in the 7 TeV data and results from improved analysis of the  $H \rightarrow ZZ^{(0)} \rightarrow 4\ell$  and  $H \rightarrow \gamma\gamma$  channels in the 7 TeV data. Clear evidence for the production of a neutral boson with a measured mass of 126.0 ± 0.4 (stat) ± 0.4 (sys) GeV is presented. This observation, which has a significance of 5.0 standard deviations, corresponding to a background fluctuation probability of  $1.7 \times 10^{-9}$ , is compatible with the production and decay of the Standard Model Higgs boson.

© 2012 CERN. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

## 1. Introduction

The Standard Model (SM) of particle physics [1–4] has been tested by many experiments over the last four decades and has been shown to successfully describe high energy particle interactions. However, the mechanism that breaks electroweak symmetry in the SM has not been verified experimentally. This mechanism [5–10], which gives mass to massive elementary particles, implies the existence of a scalar particle, the SM Higgs boson. The search for the Higgs boson, the only elementary particle in the SM that has not yet been observed, is one of the highlights of the Large Hadron Collider [11] (LHC) physics programme.

Indirect limits on the SM Higgs boson mass of  $m_H < 158$  GeV at 95% confidence level [12], have been set using global fits to precision electroweak results [12]. Direct searches at LEP [13], the Tevatron [14–16] and the LHC [7,18] have previously excluded, at 95% CL, a SM Higgs boson with mass below 600 GeV, apart from some mass regions between 116 GeV and 127 GeV.

Both the ATLAS and CMS Collaborations reported evidence of events in their 2011 datasets of proton–proton (pp) collisions at centre-of-mass energy  $\sqrt{s} = 7$  TeV at the LHC, which were compatible with SM Higgs boson production and decay in the mass region 124–126 GeV, with significances of 2.9 and 3.1 standard deviations ( $\sigma$ ), respectively [17,18]. The CDF and D0 experiments at the Tevatron have also recently reported a broad excess in the mass region

120–135 GeV, using the existing LHC constraints, the observed local significances for  $m_H = 125$  GeV are 2.7 $\sigma$  for CDF [14], 1.3 $\sigma$  for D0 [15] and 2.8 $\sigma$  for their combination [16].

The previous ATLAS searches in 4.6–4.8 fb<sup>-1</sup> of data at  $\sqrt{s} = 7$  TeV are combined here with new searches for  $H \rightarrow ZZ^{(0)} \rightarrow 4\ell$ ,  $H \rightarrow \gamma\gamma$  and  $H \rightarrow WW^{(0)} \rightarrow \nu\bar{\nu}\nu$  in the 5.8–5.9 fb<sup>-1</sup> of pp collision data taken at  $\sqrt{s} = 8$  TeV between April and June 2012.

The data were recorded with instantaneous luminosities up to  $6.8 \times 10^{33}$  cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>; they are therefore affected by multiple pp collisions occurring in the same or neighbouring bunch crossings (pile-up). In the 7 TeV data, the average number of interactions per bunch crossing was approximately 10; the average increased to approximately 20 in the 8 TeV data. The reconstruction, identification and isolation criteria used for electrons and photons in the 8 TeV data are improved, making the  $H \rightarrow ZZ^{(0)} \rightarrow 4\ell$  and  $H \rightarrow \gamma\gamma$  searches more robust against the increased pile-up. These analyses were re-optimised with simulation and frozen before looking at the 8 TeV data.

In the  $H \rightarrow WW^{(0)} \rightarrow \ell\nu\bar{\nu}$  channel, the increased pile-up deteriorates the event mixing transverse momenta,  $p_T^{\text{miss}}$  resolution, which results in significantly larger Drell–Yan background in the same-flavour final state. Since the  $\nu\bar{\nu}$  channel provides most of the sensitivity of the search, only this final state is used in the analysis of the 8 TeV data. The kinematic region in which a SM Higgs boson with a mass between 110 GeV and 140 GeV is

searched for was kept blinded during the analysis optimisation, until satisfactory agreement was found between the observed and predicted numbers of events in control samples dominated by the principal backgrounds.

This Letter is organised as follows. The ATLAS detector is briefly described in Section 2. The simulation samples and the signal predictions are presented in Section 3. The analyses of the  $H \rightarrow ZZ^{(0)} \rightarrow 4\ell$ ,  $H \rightarrow \gamma\gamma$  and  $H \rightarrow WW^{(0)} \rightarrow \nu\bar{\nu}\nu$  channels are described in Sections 4–6, respectively. The statistical procedure used to analyse the results is summarised in Section 7. The systematic uncertainties which are correlated between datasets and search channels are described in Section 8. The results of the combination of all channels are reported in Section 9, while Section 10 provides the conclusions.

## 2. The ATLAS detector

The ATLAS detector [19–21] is a multipurpose particle physics apparatus with forward-backward symmetric cylindrical geometry. The inner tracking detector (ID) consists of a silicon pixel detector, a silicon microstrip detector (SCT), and a straw-tube transition radiation tracker (TRT). The ID is surrounded by a thin superconducting solenoid which provides a 2 T magnetic field, and by high-granularity liquid-argon (LAr) sampling electromagnetic calorimetry. The electromagnetic calorimeter is divided into a central barrel (pseudorapidity<sup>1</sup>  $|\eta| < 1.675$ ) and end-cap regions on either end of the detector ( $1.375 < |\eta| < 2.5$  for the outer wheel and  $2.5 < |\eta| < 3.2$  for the inner wheel). In the region matched to the ID ( $|\eta| < 2.5$ ), it is radially segmented into three layers. The first layer has a fine segmentation in  $\eta$  to facilitate  $e/\gamma$  separation from  $\pi^0$  and to improve the resolution of the shower position and direction measurements. In the region  $|\eta| < 1.8$ , the electromagnetic calorimeter is preceded by a presampler detector to correct for upstream energy losses. An iron-scintillator/tile calorimeter gives hadronic coverage in the central rapidity range ( $|\eta| < 1.7$ ), while a LAr hadronic end-cap calorimeter provides coverage over  $1.5 < |\eta| < 3.2$ . The forward regions ( $3.2 < |\eta| < 4.9$ ) are instrumented with LAr calorimeters for both electromagnetic and hadronic measurements. The muon spectrometer (MS) surrounds the calorimeters and consists of three large air-core superconducting magnets providing a toroidal field, each with eight coils, a system of precision tracking chambers, and fast detectors for triggering. The combination of all these systems provides charged particle measurements together with efficient and precise lepton and photon measurements in the pseudorapidity range  $|\eta| < 2.5$ . Jets and  $E_{\text{miss}}^{\text{reco}}$  are reconstructed using energy deposits over the full coverage of the calorimeters,  $|\eta| < 4.9$ .

## 3. Signal and background simulation samples

The SM Higgs boson production processes considered in this analysis are the dominant gluon fusion ( $gg \rightarrow H$ , denoted  $ggF$ ), vector-boson fusion ( $q\bar{q} \rightarrow q\bar{q}H$ , denoted  $VBF$ ) and Higgs-strahlung ( $q\bar{q} \rightarrow W^+W^-\cancel{q}\bar{q}$ , denoted  $WH/ZH$ ). The small contribution from the associated production with a  $b\bar{b}$  pair ( $q\bar{q}/gg \rightarrow b\bar{b}H$ , denoted  $bH$ ) is taken into account only in the  $H \rightarrow \gamma\gamma$  analysis.

For the  $ggF$  process, the signal cross section is computed at up to next-to-next-to-leading order (NNLO) in QCD [22–28]. Next-to-

**Table 1**  
Event generators used to model the signal and background processes. “PHTH” indicates the PTHMG and PTHMR are used for simulations at  $\sqrt{s} = 7$  TeV and  $\sqrt{s} = 8$  TeV data, respectively.

Process	Generator
$ggF$ , $VBF$	POWHEG (2.0) + PHTH
$WH$ , $ZH$ , $bH$	PHTH
$H \rightarrow \mu\mu$ , $Z/\gamma^* \rightarrow \mu\mu$	ALPGEN (2.0) + HERWIG
$t\bar{t}$ , $W^+W^-$ , $tt$	MCFMLO (2.0) + HERWIG
$q\bar{q}$	AceMC (2.0) + PHTH
$q\bar{q} \rightarrow WW$	MCFMLO + HERWIG
$q\bar{q} \rightarrow W^+W^-$	ggZWW (5.0) + HERWIG
$q\bar{q} \rightarrow ZZ$	POWHEG (2.0) + PHTH
$WZ$	ggZ (5.0) + HERWIG
$W\gamma \rightarrow \mu\mu$	ALPGEN + HERWIG
$W\gamma^* \rightarrow \mu\mu$	MadGraph + PHTH
$SHERPA \rightarrow \gamma\gamma$	SHERPA

leading order (NLO) electroweak (EW) corrections are applied [29, 30], as well as QCD soft-gluon re-normalisations at up to next-to-next-to-leading order (NNLO) [31]. These calculations, which are described in Refs. [32–35], assume factorisation between QCD and EW corrections. The transverse momentum,  $p_T$ , spectrum of the Higgs boson in the  $ggF$  process follows the  $\text{Re}^2$  calculation [36], which includes QCD corrections at NLO and QCD soft-gluon re-normalisations up to NNLL, the effects of these quark masses are also taken into account [37].

For the  $VBF$  process, full QCD and EW corrections up to NLO [38–41] and approximate NNLO QCD corrections [42] are used to calculate the cross section. Cross sections of the associated  $WH/ZH$  processes ( $VH$ ) are calculated including QCD corrections up to NNLO [43–45] and EW corrections up to NLO [46]. The cross sections for the  $bH$  process are estimated up to NLO QCD [47–51].

The total cross sections for SM Higgs boson production at the LHC with  $m_H = 125$  GeV are predicted to be 17.5 pb for  $\sqrt{s} = 7$  TeV and 22.3 pb for  $\sqrt{s} = 8$  TeV [52,53].

The branching ratios of the SM Higgs boson as a function of  $m_H$ , as well as their uncertainties, are calculated using the HDECAY [54] and PROPHET4F [55,56] programs and are taken from Refs. [52,53]. The interference in the  $H \rightarrow ZZ^{(0)} \rightarrow 4\ell$  final states with identical leptons is taken into account [55,56,53].

The event generators used to model signal and background processes in samples of Monte Carlo (MC) simulated events are listed in Table 1. The normalisations of the generated samples are obtained from the state of the art calculations described above. Several different programs are used to generate the hard-scattering processes. To generate parton showers and their hadronisation, and to simulate the underlying event [56–58], PHTHMG [59] for 7 TeV samples and 8 TeV samples produced with MadGraph [70,71] or AceMC [60] or PTHMR [72] (for other 8 TeV samples) are used. Alternatively, HERWIG [73] or SHERPA [74] are used to generate and hadronise parton showers, with the HERWIG underlying event simulation performed using JIMMY [75]. When PHTHMG or HERWIG are used, DJANGO [76] and PHOTOS [77] are employed to describe tau lepton decays and additional photon radiation from charged leptons, respectively.

The following parton distribution function (PDF) sets are used: CT10 [78] for the POWHEG, MCFMLO, ggZWW and ggZZ samples; CT9Q1.1 [79] for the PTHMR, ALPGEN, AceMC, MadGraph, HERWIG and SHERPA samples; and MST2MC [80] for the PTHMG samples.

Acceptances and efficiencies are obtained mostly from full simulations of the ATLAS detector [81] using GARNET [82]. These simulations include a realistic modelling of the pile-up conditions observed in the data. Corrections obtained from measurements in

<sup>1</sup> ATLAS uses a right-handed coordinate system with its origin at the centre interaction point ( $0, 0, 0$ ) in the centre of the detector, and the  $z$  axis along the beam line. The  $x$  axis points from the IP to the centre of the LHC ring, and the  $y$  axis points upwards. Pseudorapidity coordinates  $\eta$ ,  $\phi$  are used in the transverse plane,  $\phi$  being the azimuthal angle around the beam line. Observations concern “transverse” are projected onto the  $xy$  plane. The pseudorapidity is defined in terms of the polar angle  $\theta$  as  $\eta = -\ln \tan(\theta/2)$ .

<sup>2</sup> © CERN for the benefit of the ATLAS Collaboration.  
<sup>3</sup> E-mail address: atlascollaboration@cern.ch.

<sup>1</sup> The system of units is GeV/c or MeV/c.

## 5. aspetti sociologici

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



# gli autori della scoperta

3000 "miei" collaboratori

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12



# 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



# 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

# A che serve la ricerca fondamentale?

Faraday (1821, sulla induzione e.m.):

"Non lo so ma sicuramente prima o poi  
ci metteranno una tassa sopra"

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

"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 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. The address bar also shows a search engine dropdown set to Google. Below the address bar, there are navigation buttons for 'Più visitati', 'Popolare Network', and 'Rai Podcast Radio2'. The main content area features a navigation menu with '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. Below the image, there is a sidebar with a list of links: 'CERN's mission', 'CERN's structure', 'The name CERN', 'A global endeavour', 'History highlights', 'Nobel Prizes', 'Why fundamental science?', 'Basic science in a competitive world', 'The use of basic science', 'Where the web was born' (highlighted), 'How the web began', 'How the web works', and 'The first website: info.cern.ch'. The main text area is titled 'Where the web was born' and contains the following text:

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

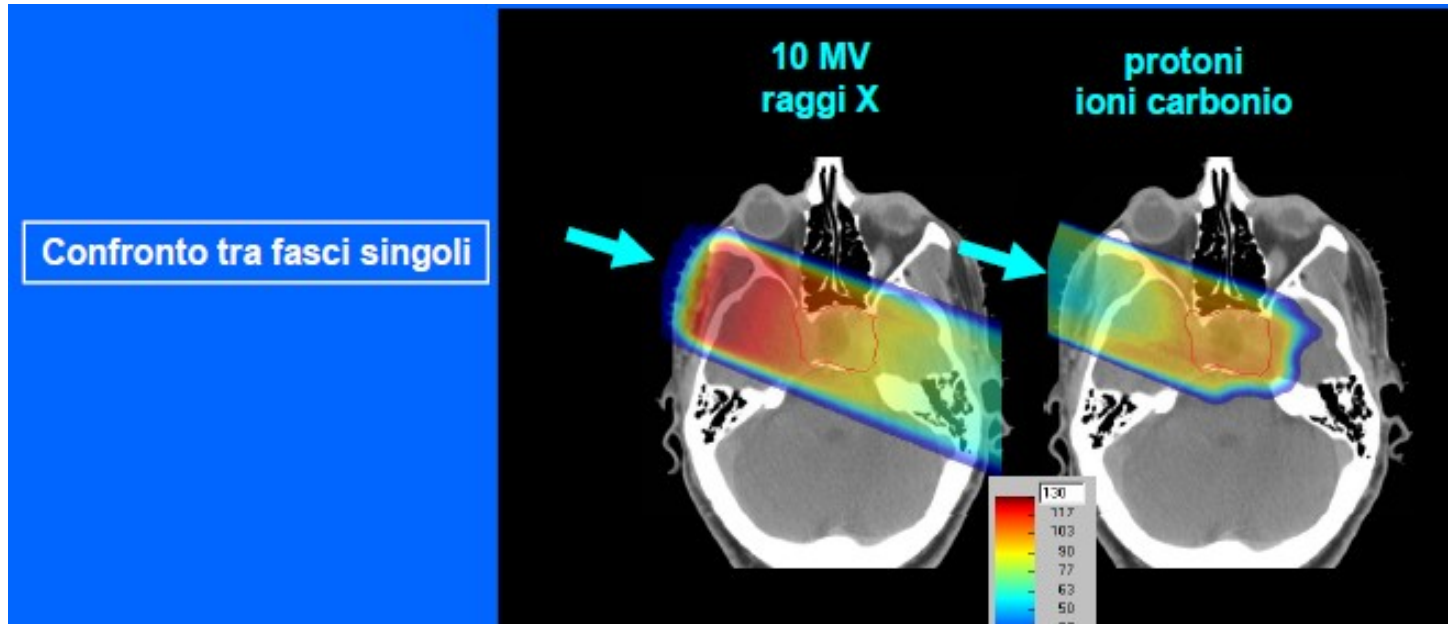
Done

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

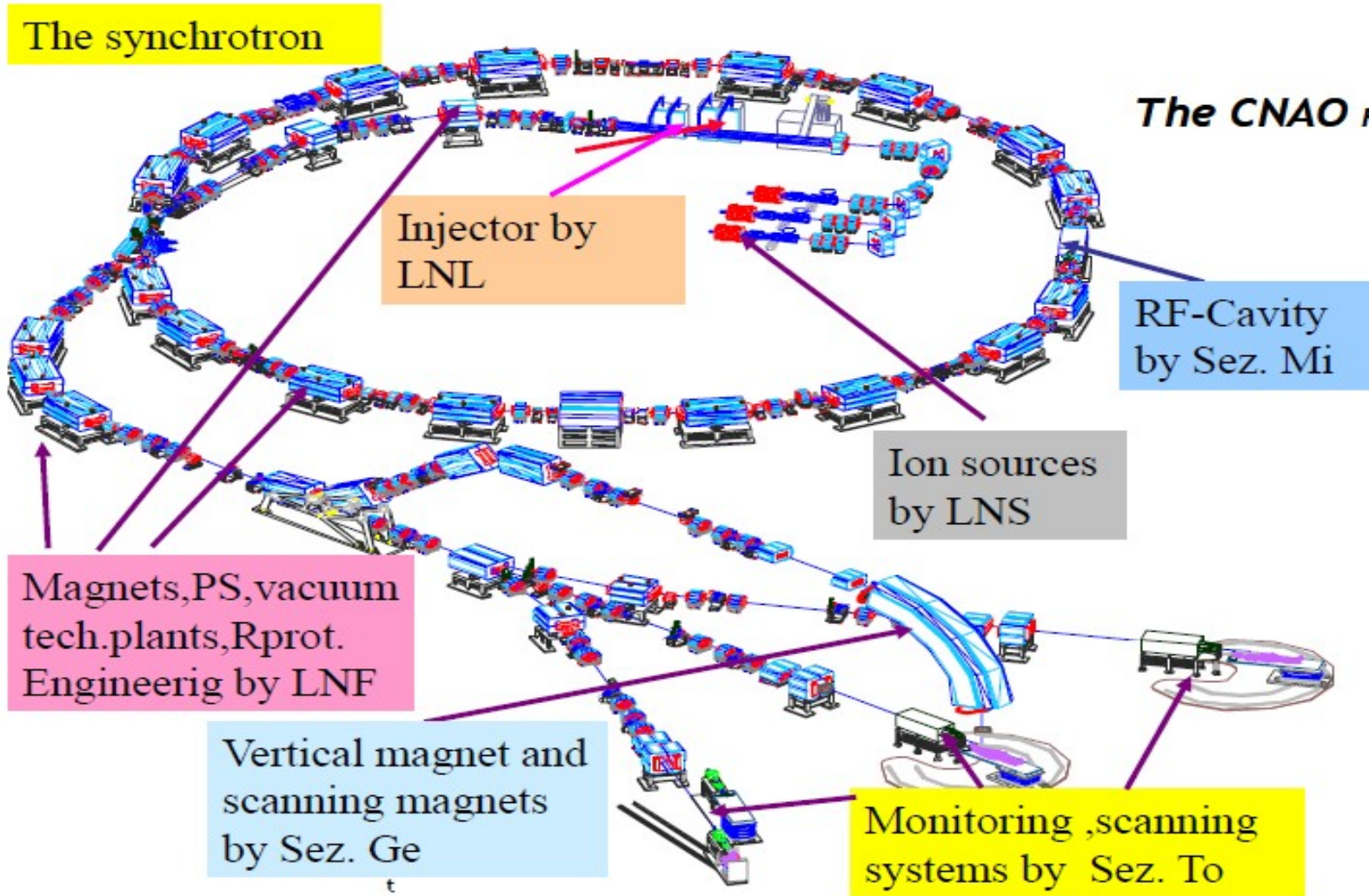
Fasci di particelle (protoni e ioni carbonio) per la cura di tumori difficilmente operabili, radio-resistenti, ...

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

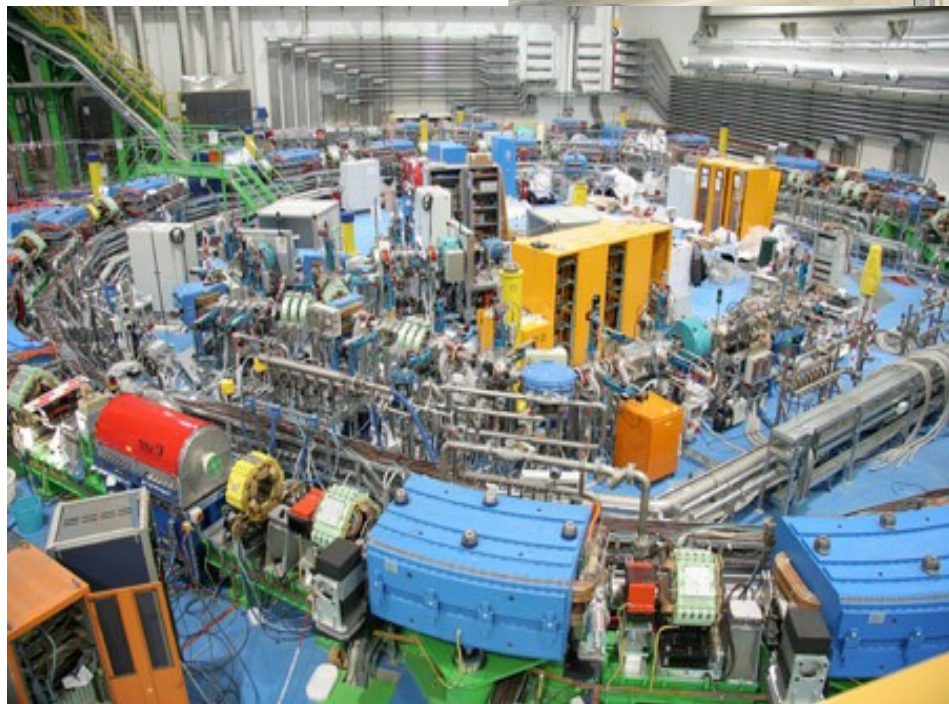
**Tutta la parte di generazione e controllo dei fasci è sviluppata dall'INFN.**

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

# CNAO / INFN



# CNAO



**Grazie per l'attenzione**

Potrete trovare queste diapositive (con qualche informazione bibliografica) all'indirizzo:

<http://www.pv.infn.it/~ferrari/parma150912.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 ]

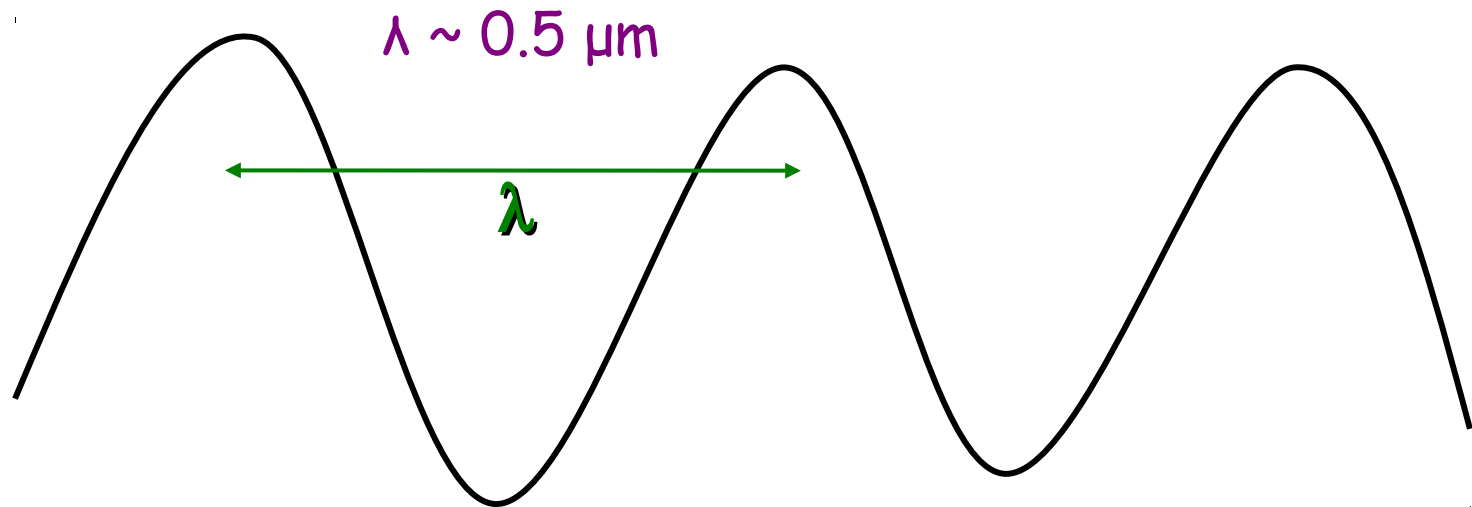
$10^{27}$  eV ~ 5 litri di benzina

# 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

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

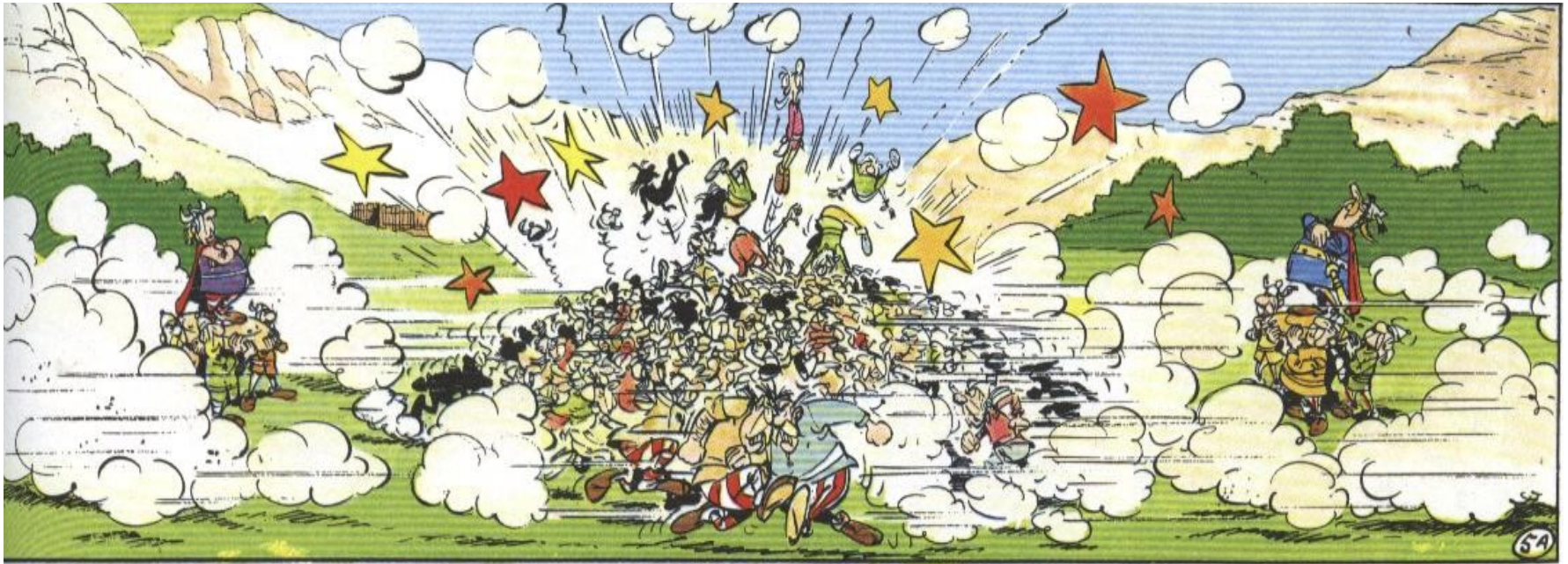
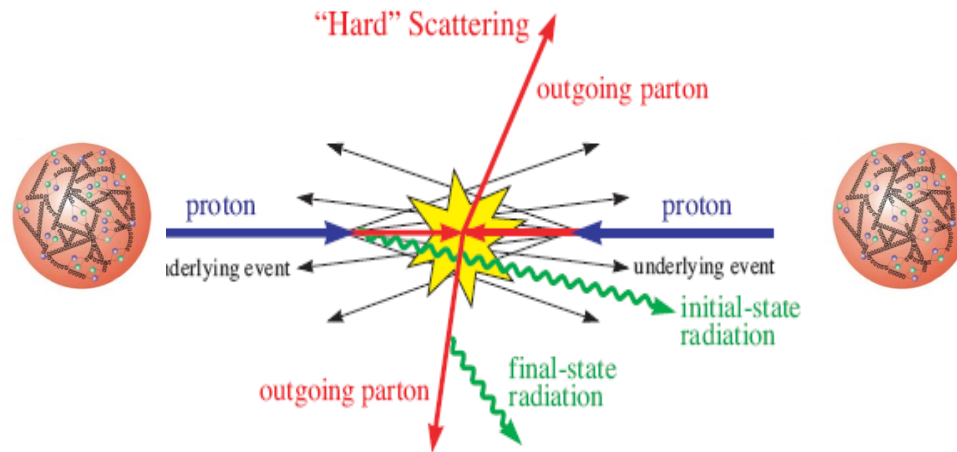
massa protone ( $E = mc^2$ )  $\sim 1000 \text{ MeV}$

ovvero

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

Per capire come è fatto un protone, bisogna romperlo

# Urti Profondamente Inelastici



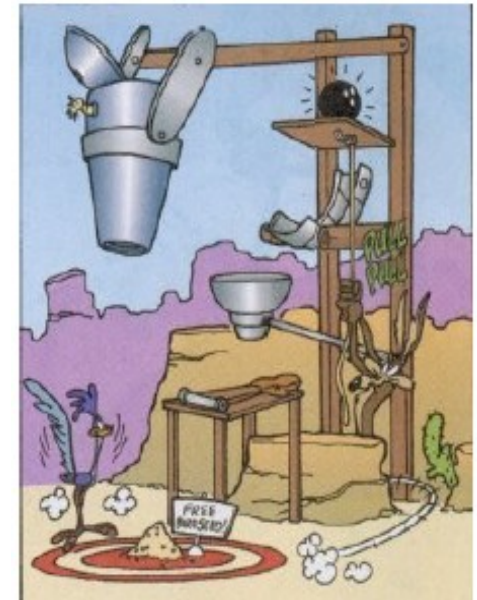
# Il futuro prossimo (?)

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%

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)

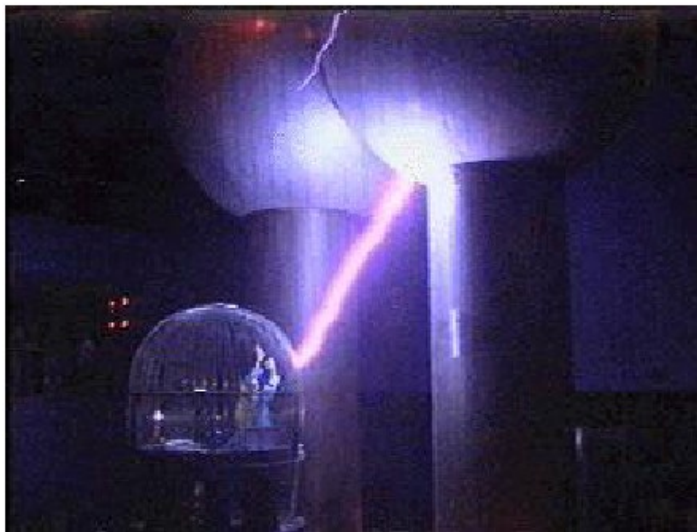
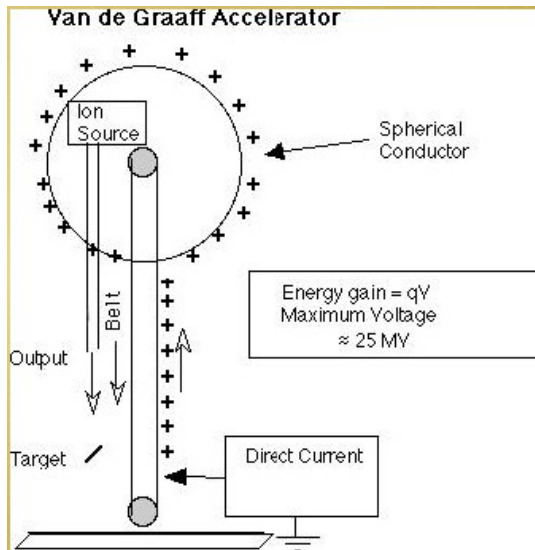
2: astro-particelle (raggi cosmici)

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)

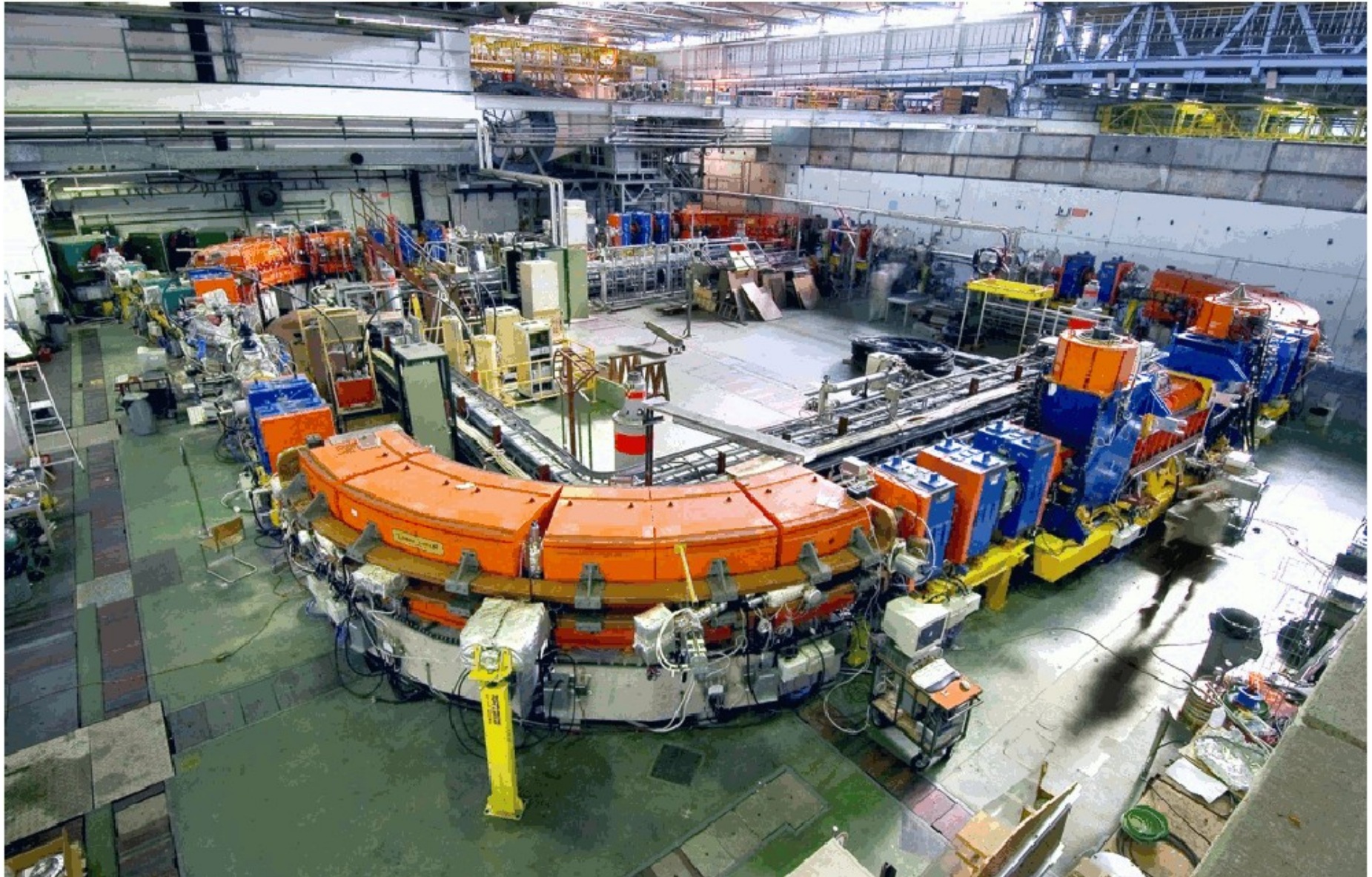
Laboratorio (ma non solo) di ricerca europeo per la fisica delle particelle →  
piu' grande del mondo nel settore

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)

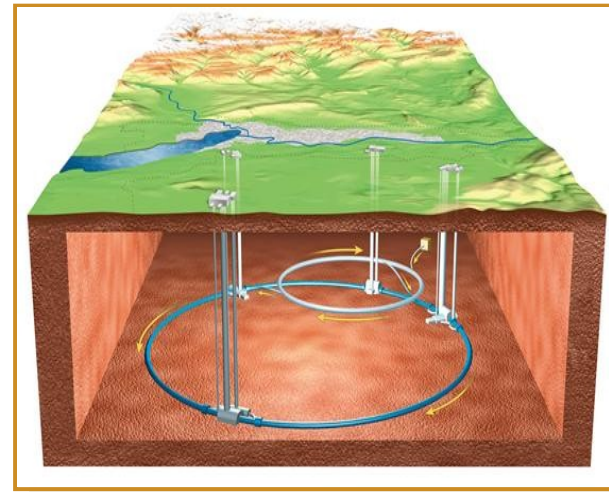
Stati membri contribuiscono proporzionalmente al proprio prodotto interno lordo (Italia ~ 13%)

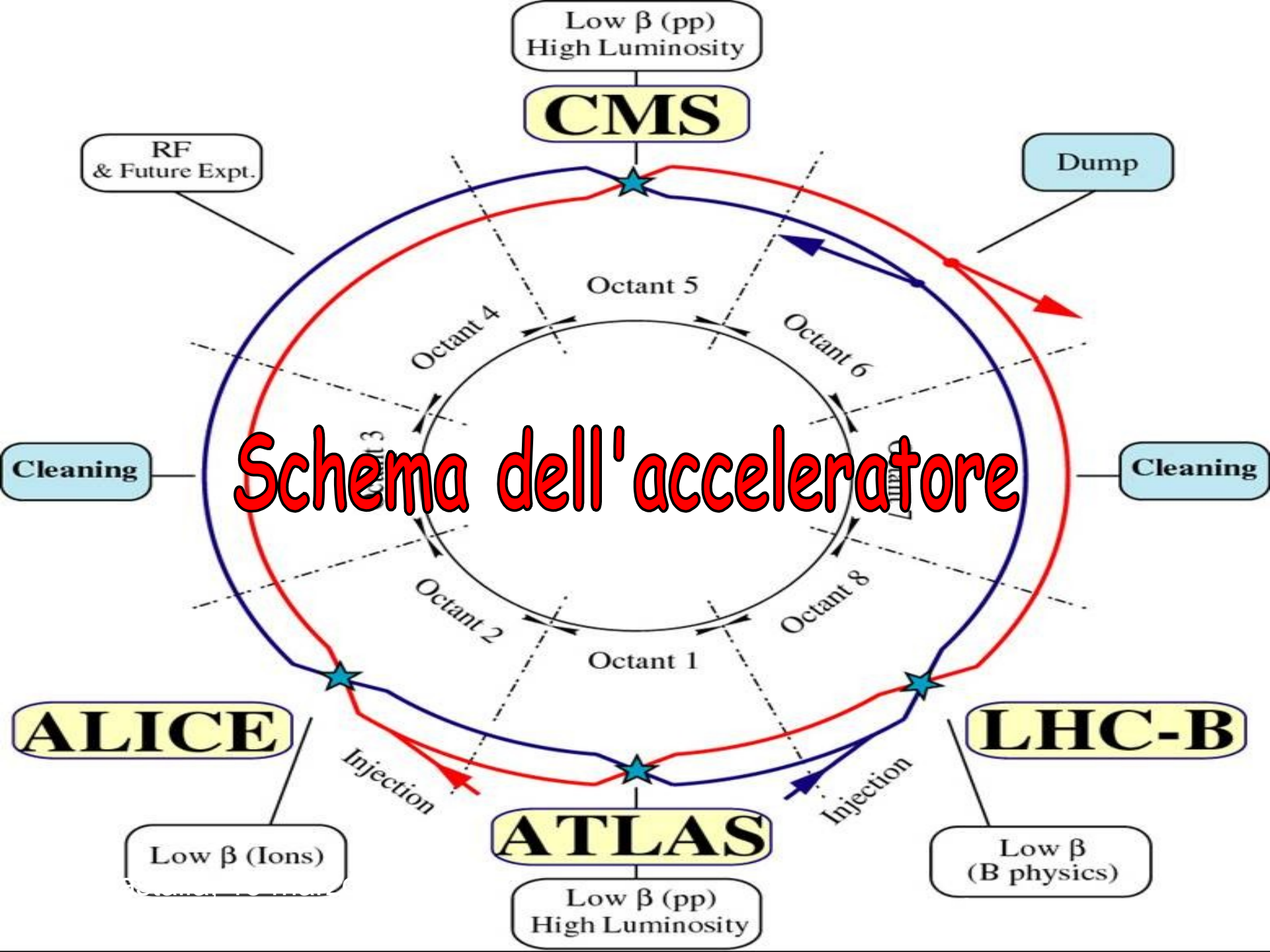
# Low Energy Ion Ring



# 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

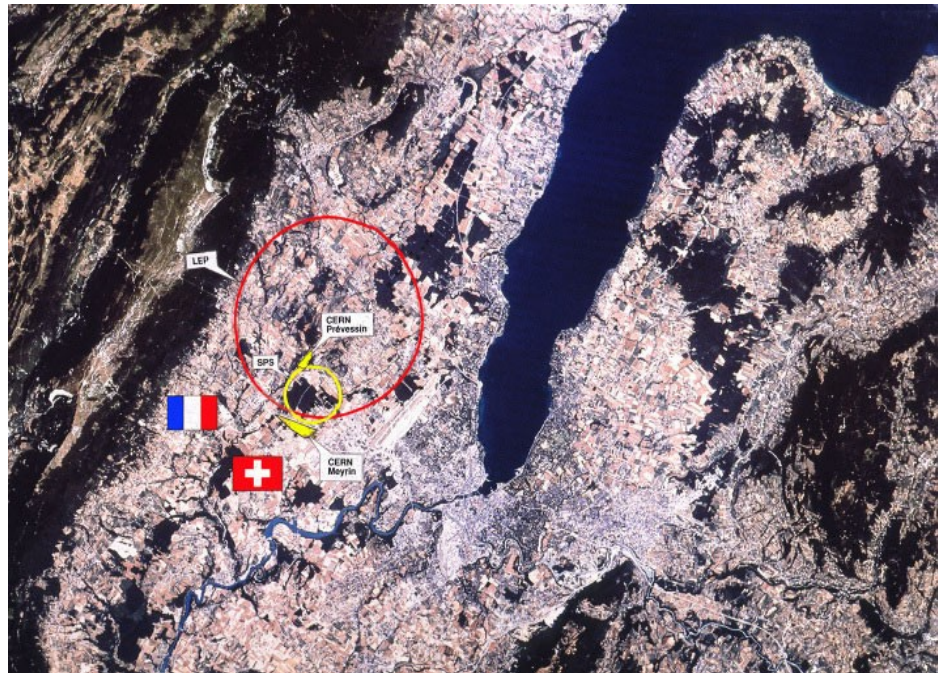
Energia nei fasci di LHC (350 MJ):  $\sim$  quella di un TGV a 150 km/h  
sufficiente a fondere 500 kg di rame

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



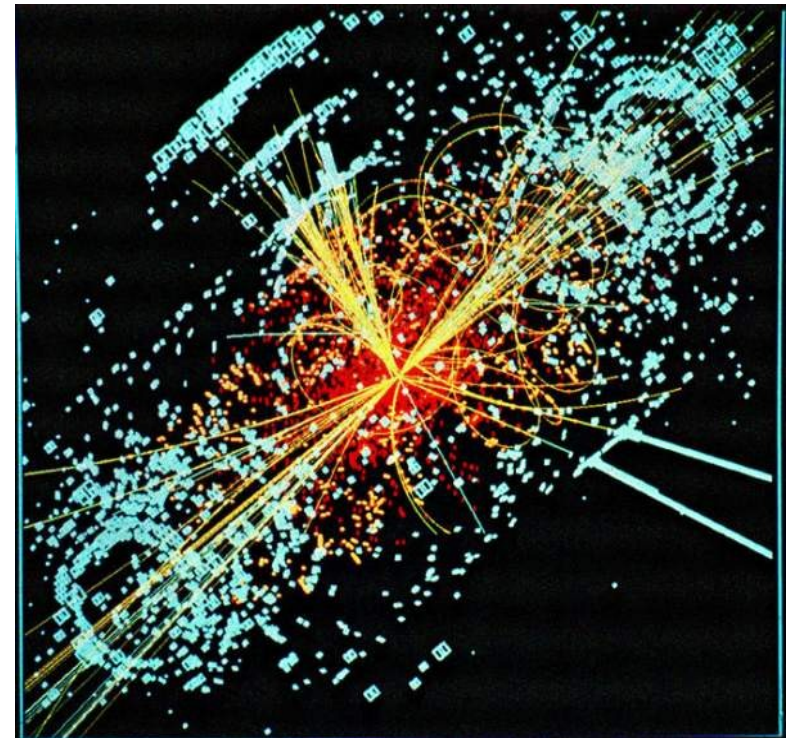
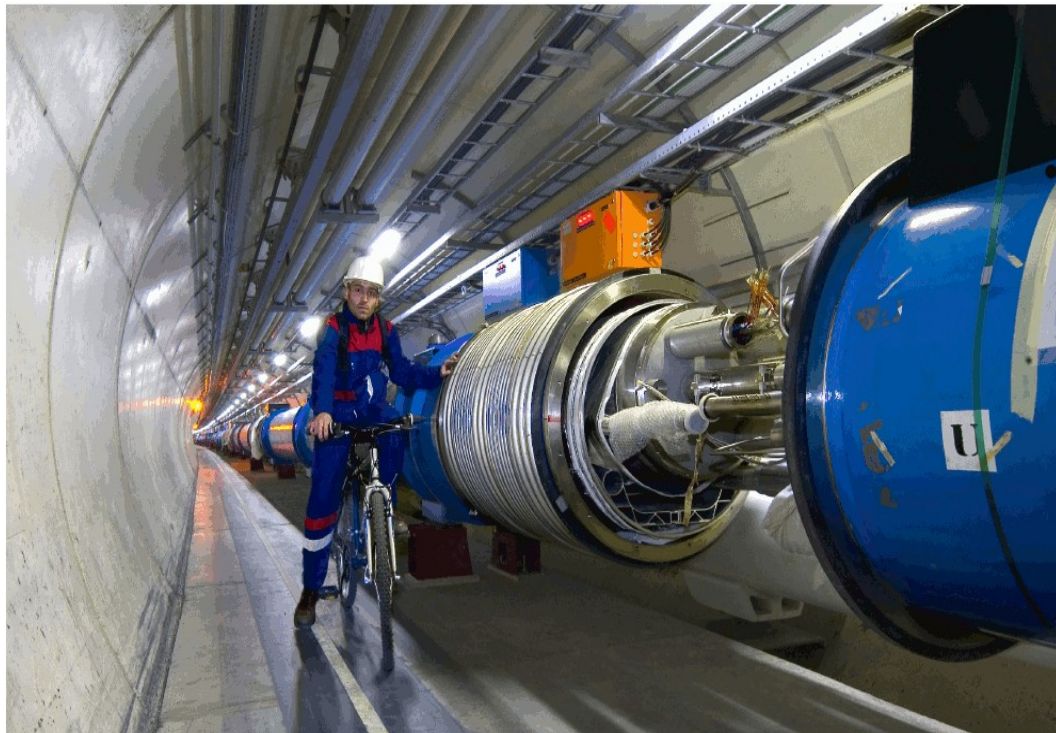
[pubblicità]

## 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

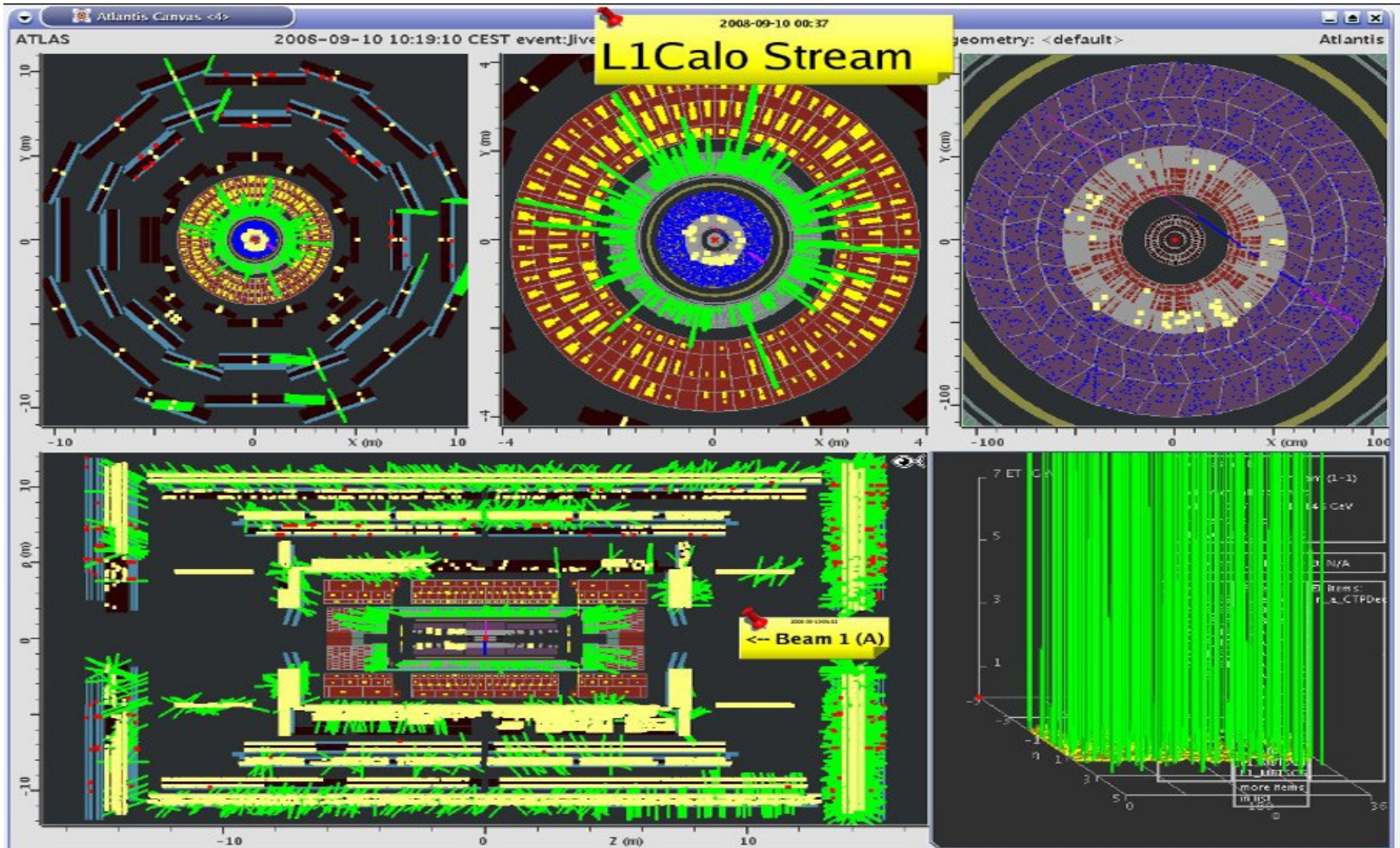
GRID: accesso a risorse di calcolo e di archiviazione dati distribuite su tutto il pianeta



# 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

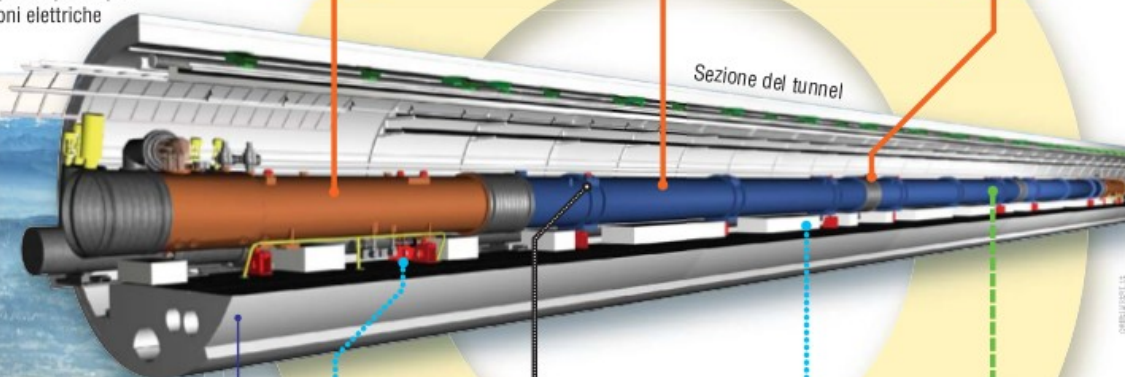
14 magneti quadrupoli sostituiti



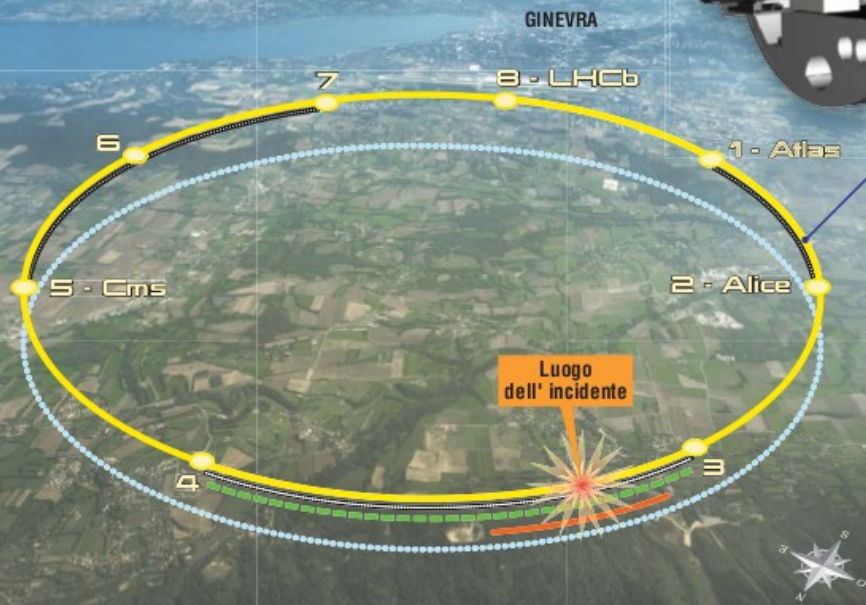
39 magneti dipoli sostituiti



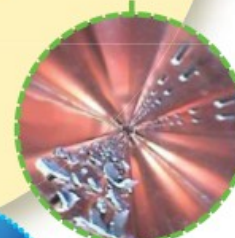
204 interconnessioni riparate



Sezione del tunnel



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

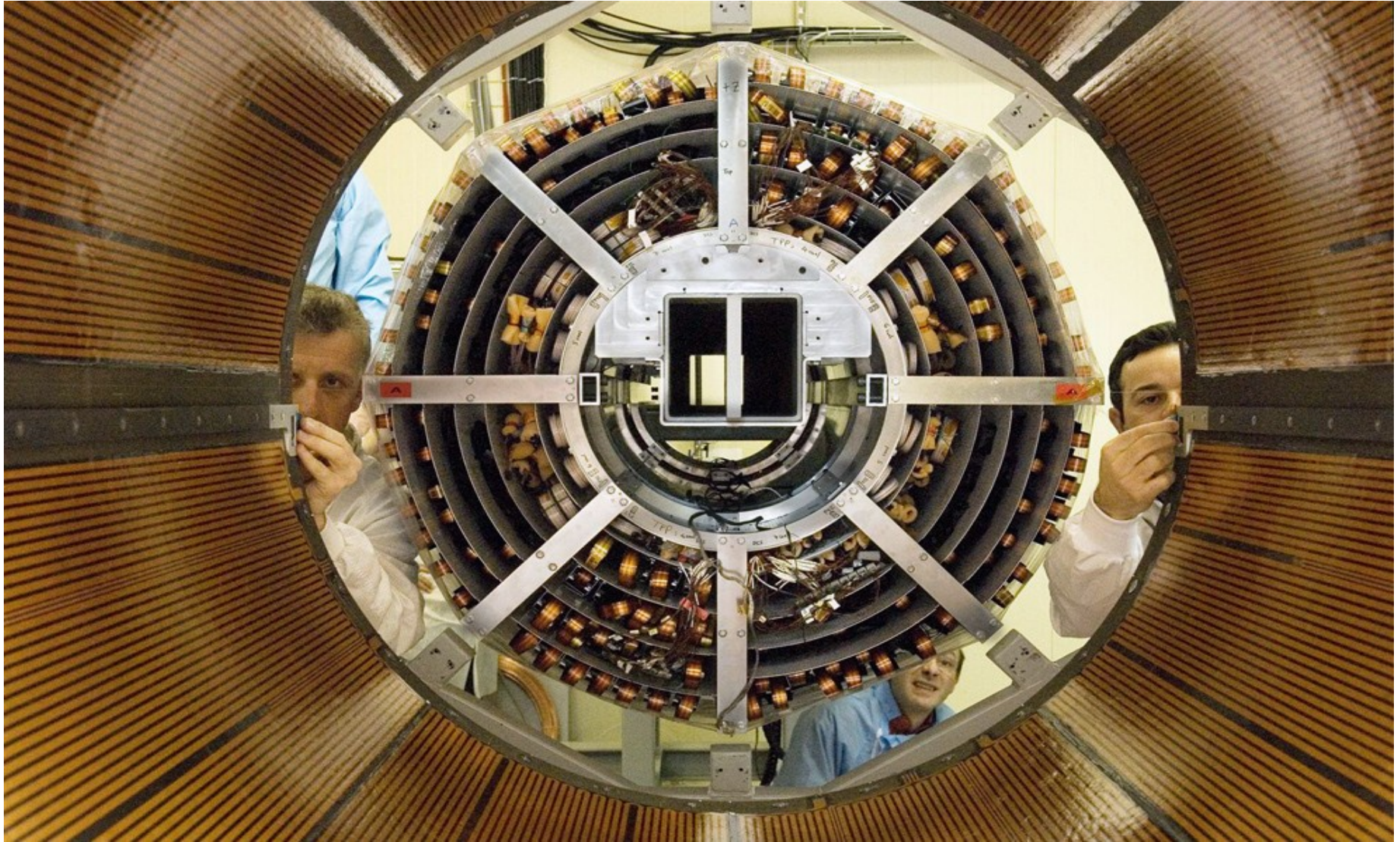
Neutre leggere (2): neutrini, neutralini (?)

Cariche pesanti (1): protoni, mesoni carichi

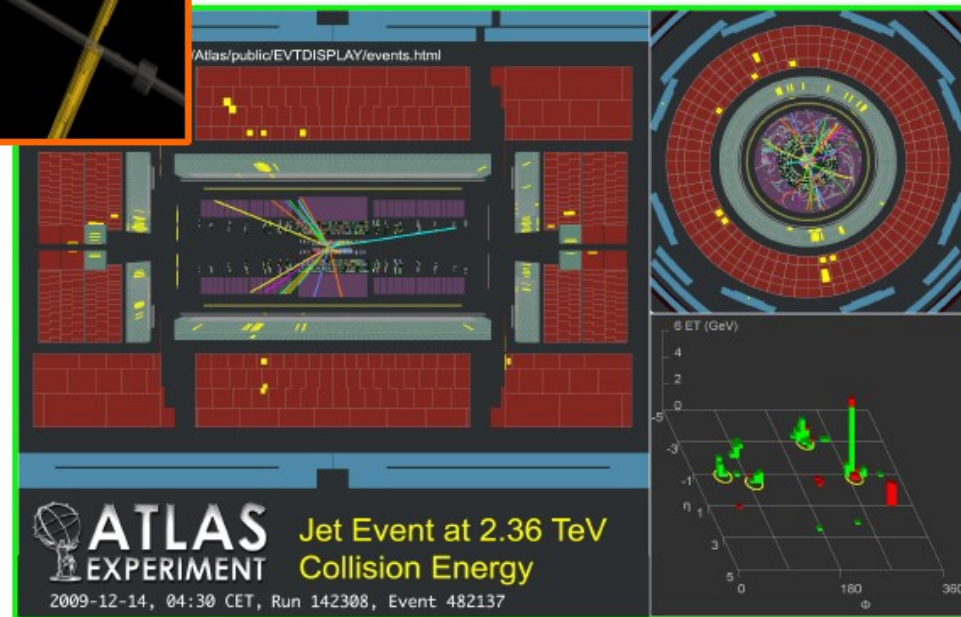
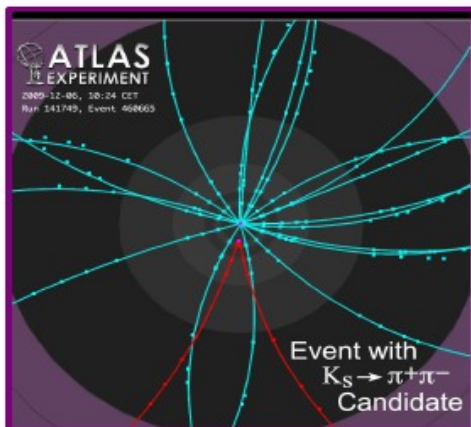
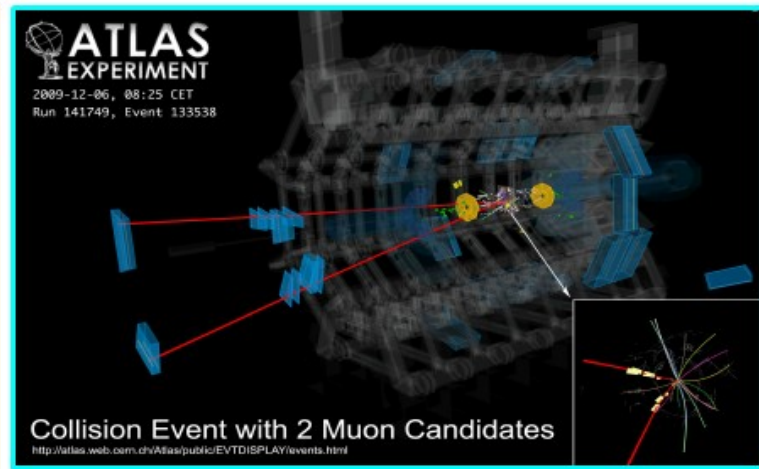
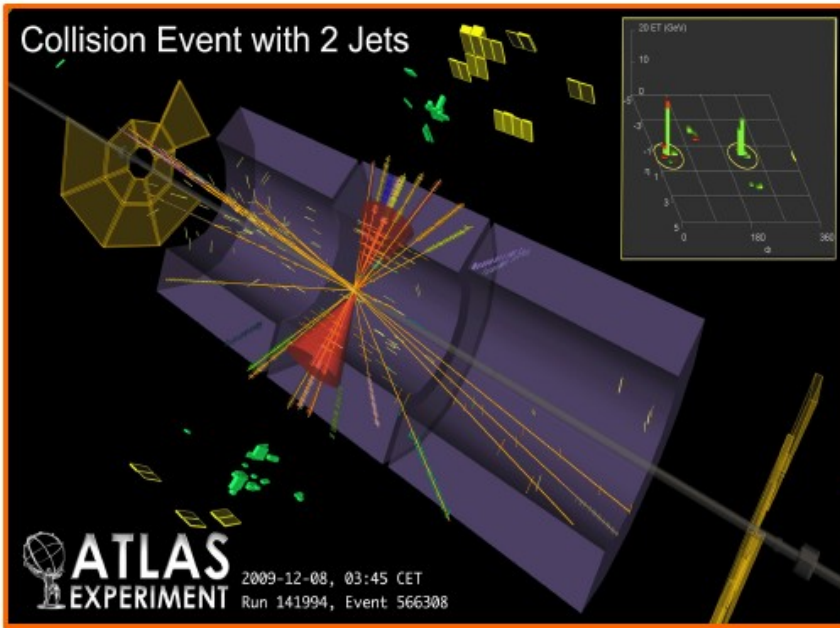
Cariche pesanti (2): muoni

Neutre pesanti: neutroni, mesoni neutri

# SCT + TRT

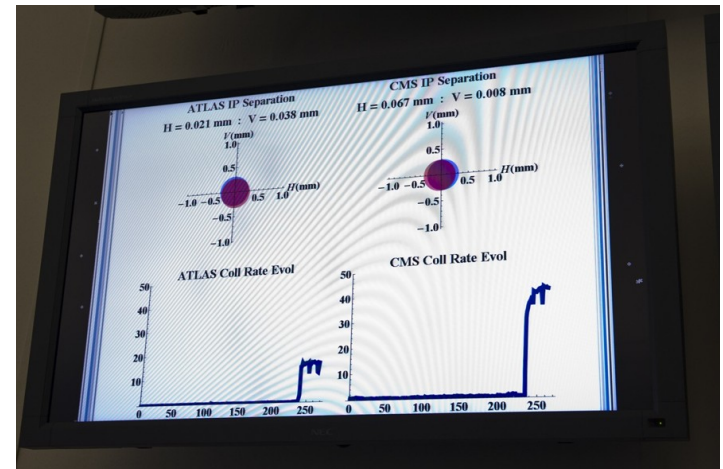


# Le Prime Collisioni



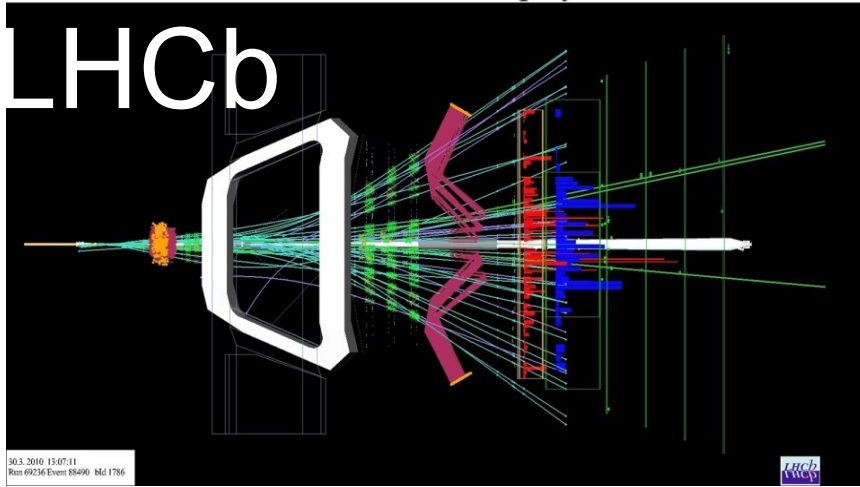


# 30 marzo 2010

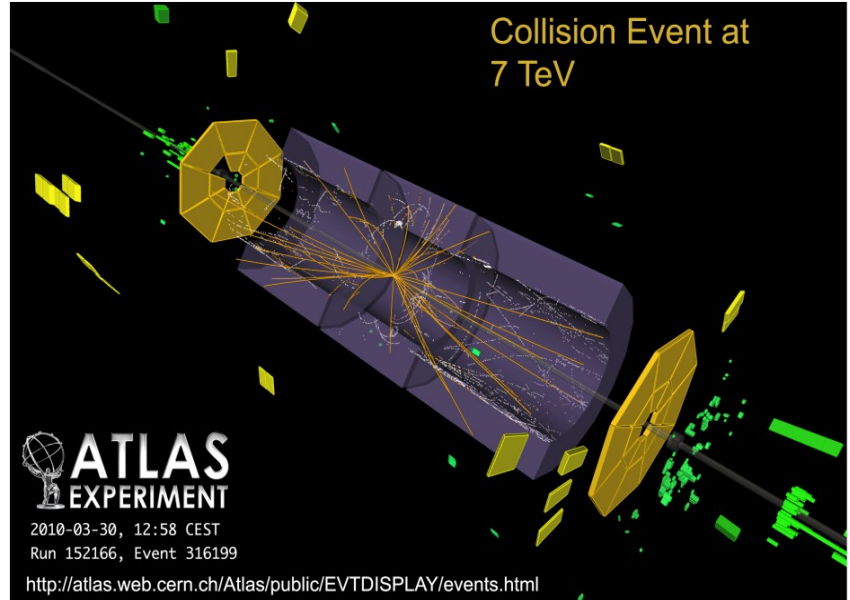


# prime collisioni a 7 TeV

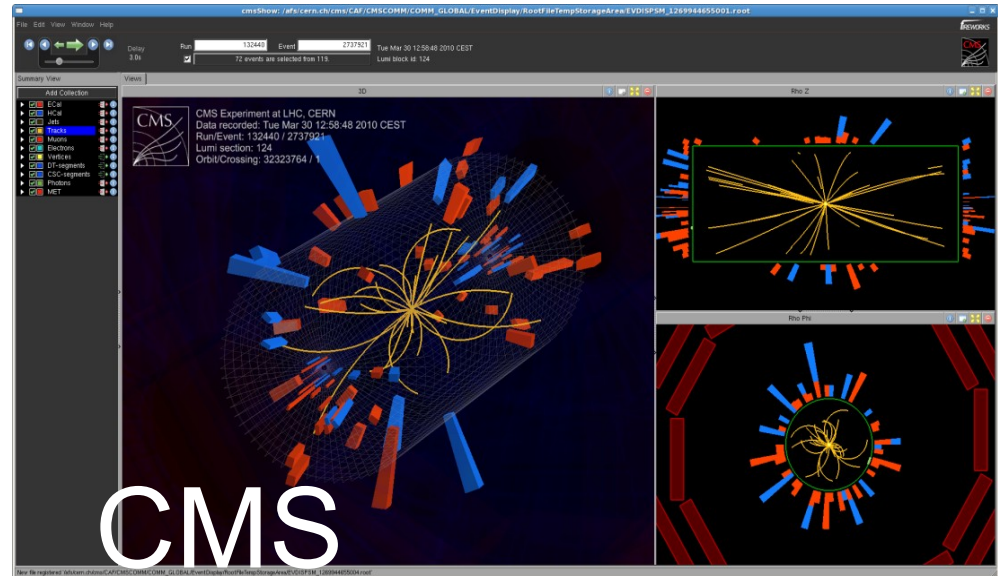
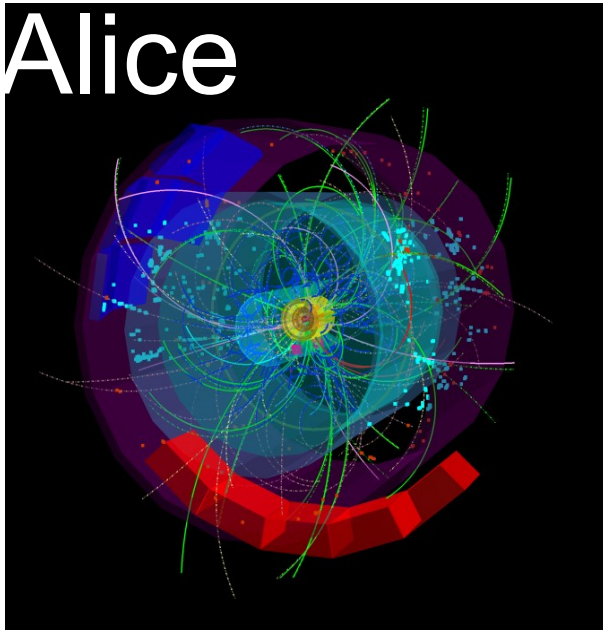
LHCb Event Display



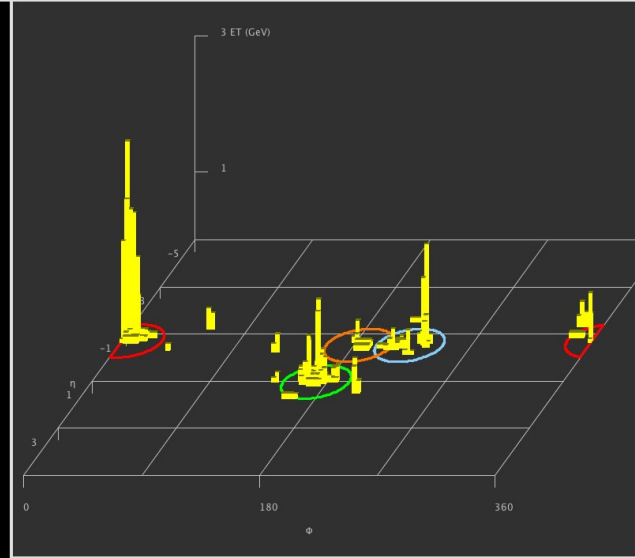
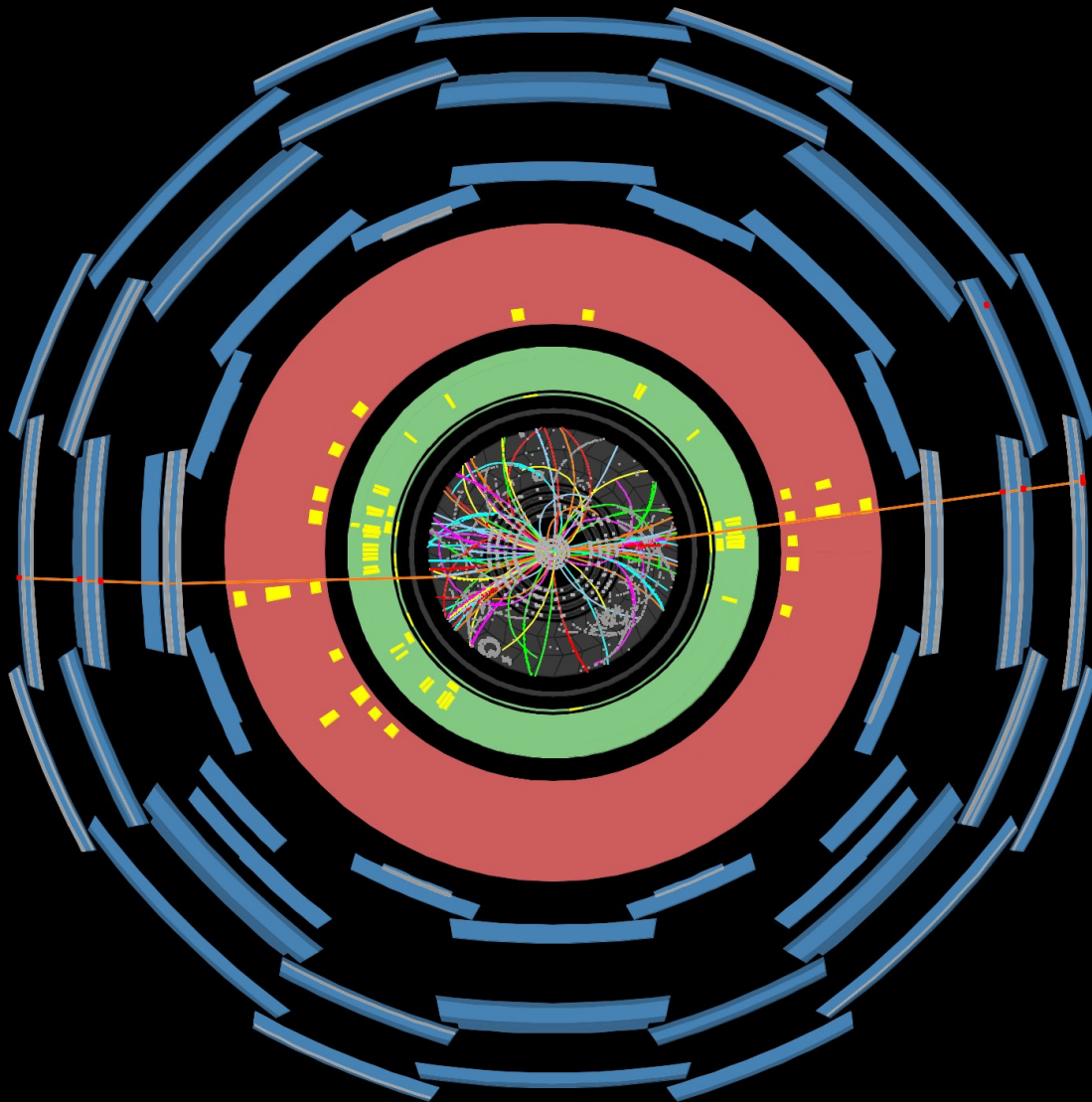
Collision Event at 7 TeV



Alice



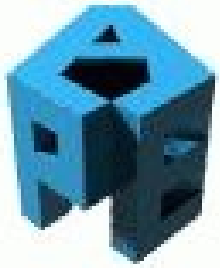
# Evento con 2 Muoni e Getti



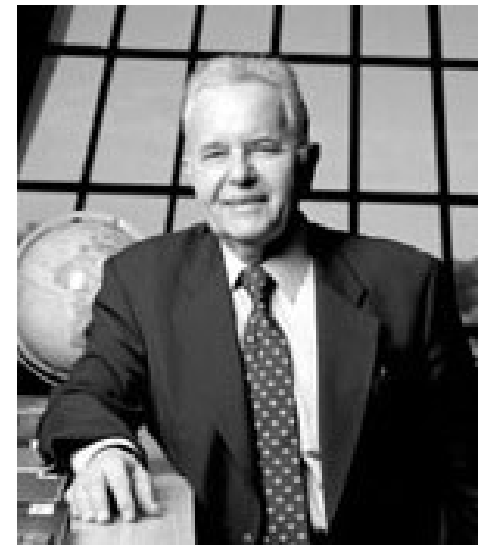
Run Number: 152166, Event Number: 890572

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

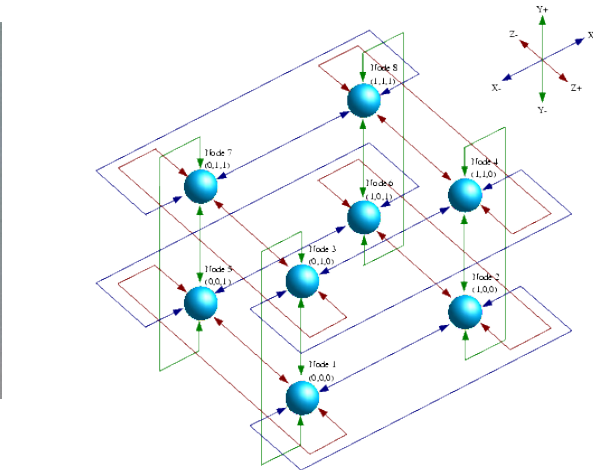
**7 TeV Event with  
Jets and 2 Muons**



# 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](#)



## 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](#)

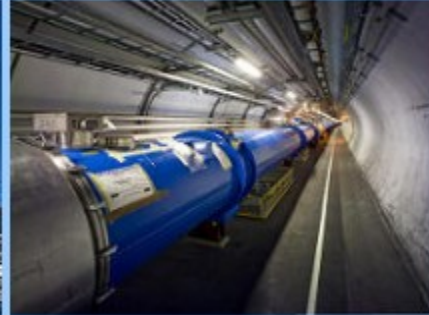
"Fisica in barca" conclude a Trieste il tour 2009.

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 (?) ...

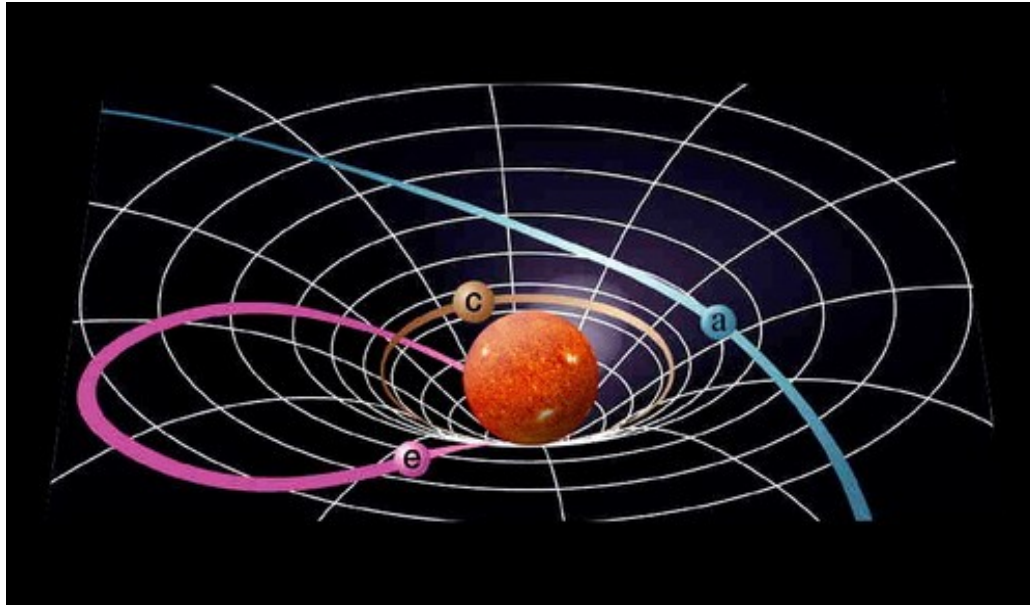
Einstein (interpretazione geometrica della forza di gravità):

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

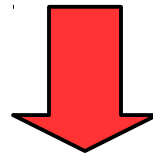


La curvatura dello spazio-tempo dice alla materia come muoversi

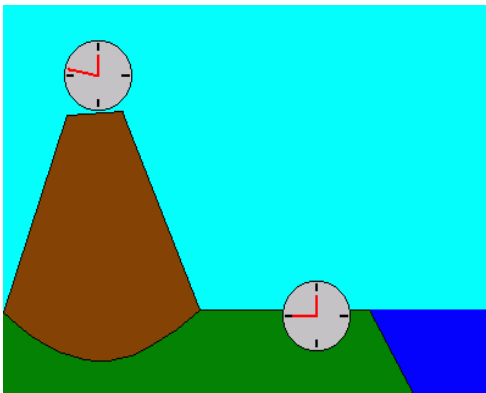
# Alcune conseguenze

Il campo gravitazionale non è costante

Esempio: sulla terra diminuisce all'aumentare dell'altitudine

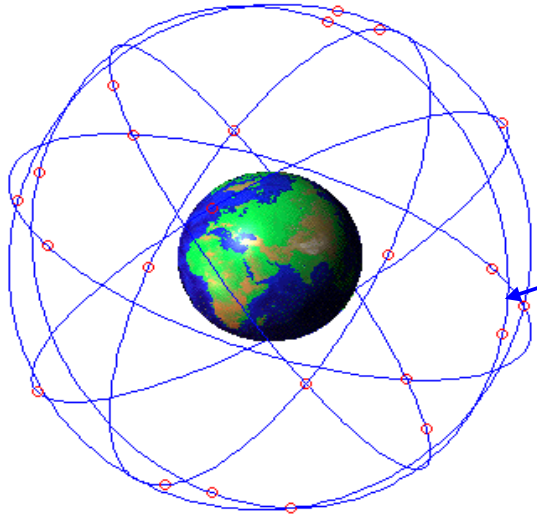


Dove la gravità è più forte, il tempo scorre più lento



Orologi più veloci in montagna  
Vivere nella bassa allunga la vita

# GPS: global positioning system



24 satelliti

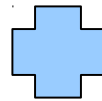
Altitudine: 20000 km

Periodo di rotazione: 12 ore

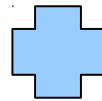
Precisione: ~5 metri

# Funzionamento GPS

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



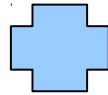
Ogni satellite ha un orologio atomico



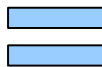
Il ricevitore GPS compara i segnali degli orologi di diversi satelliti per usare poi il metodo del posizionamento sferico

# 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**