



Run Number: 189280,
Event Number: 143576946
Date: 2011-09-14, 11:37:11 CET

EtCut > 0.3 GeV
PtCut > 3.0 GeV
Vertex Cuts:
Z direction < 1cm
Rphi < 1cm

Muon: blue
Cells: Tiles, EMC

alla Ricerca del Bosone di Higgs

Roberto Ferrari
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Liceo Attilio Bertolucci
Parma, 27 febbraio 2015

Persint



argomenti

1. perché ?

2. come ?

3. cosa ?

4. quindi ?

Pubblicità ...
(anche lo sponsor vuole la sua parte)

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



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

INFN

finanzia e coordina
la ricerca in fisica
delle particelle
elementari in Italia



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

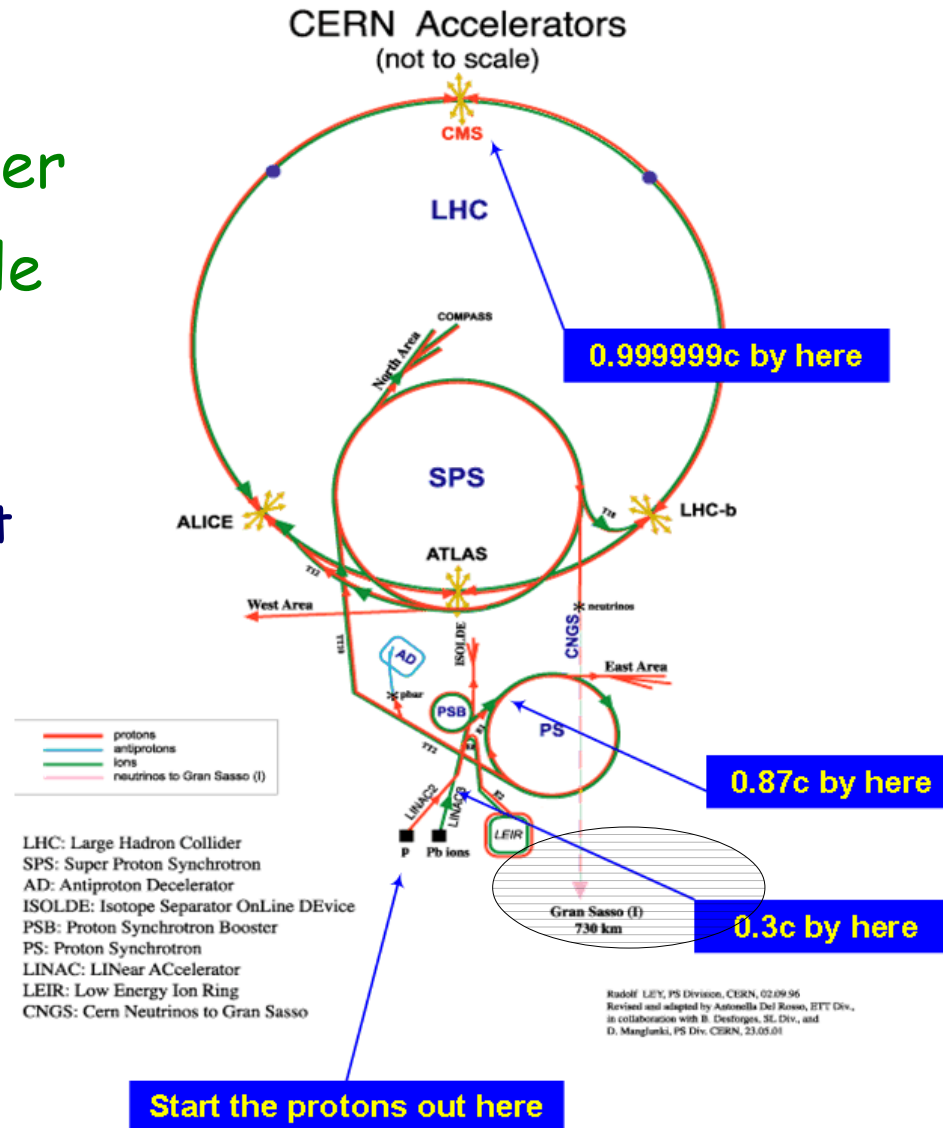
~ 5000 ricercatori, la maggior
parte universitari,
distribuiti in 16 regioni
diverse

CERN

European Organization for Nuclear Research

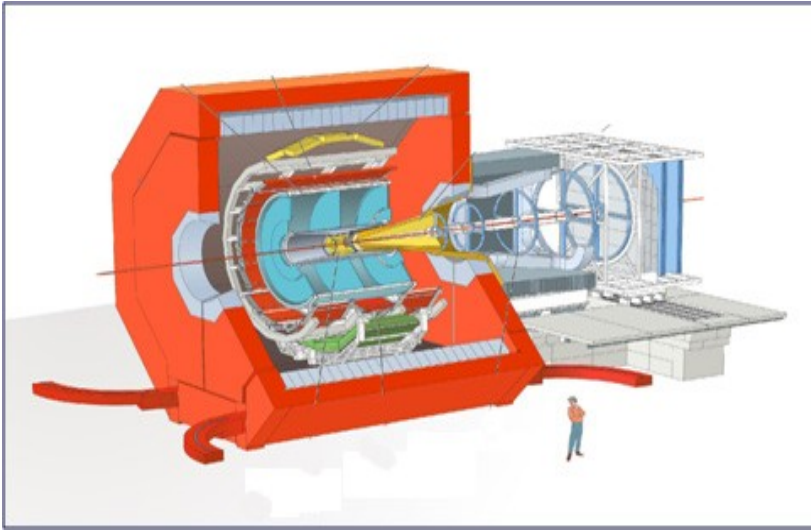
Laboratorio europeo per la fisica delle particelle elementari

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

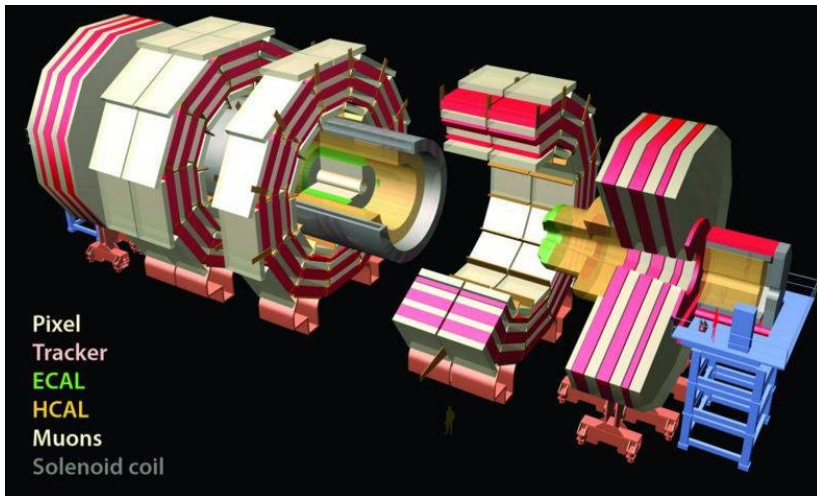


esperimenti @ LHC [portavoce 2011]

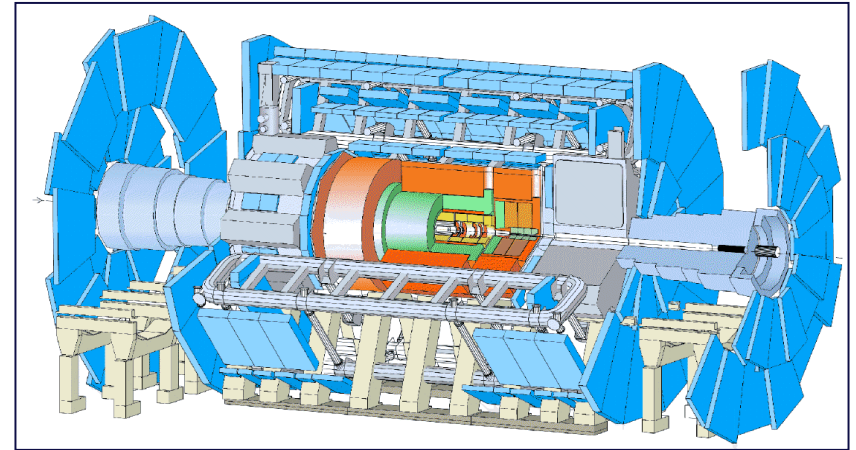
ALICE [Paolo Giubellino]



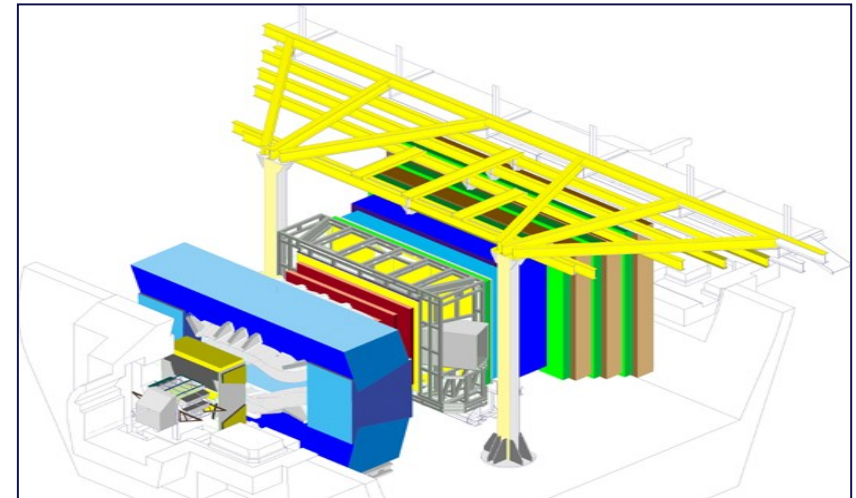
CMS [Guido Tonelli]



ATLAS [Fabiola Gianotti]

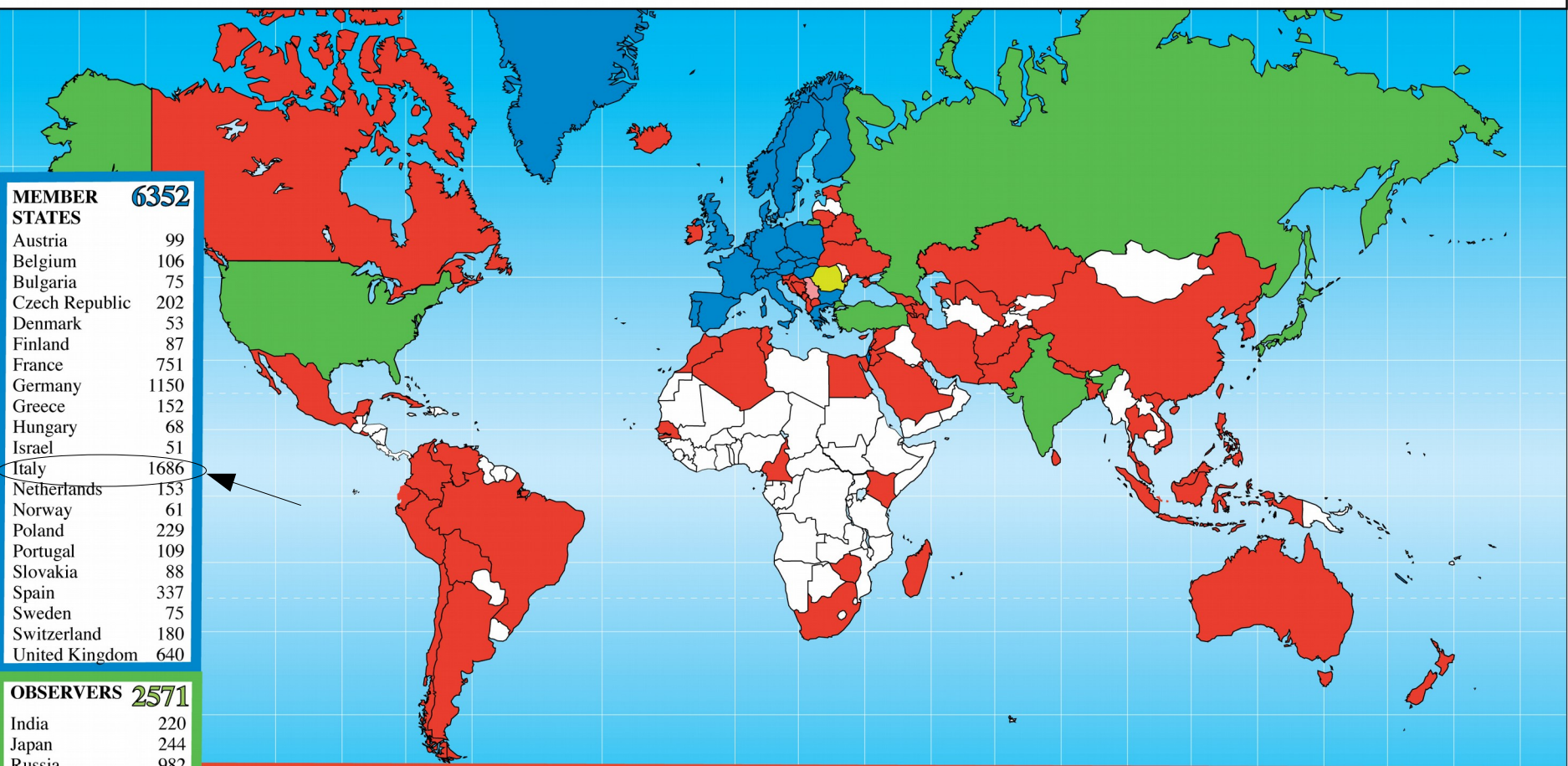


LHCb [Pierluigi Campana]



più Totem e LHCf

Distribution of All CERN Users by Nationality on 14 January 2014



MEMBER STATES	6352
Austria	99
Belgium	106
Bulgaria	75
Czech Republic	202
Denmark	53
Finland	87
France	751
Germany	1150
Greece	152
Hungary	68
Israel	51
Italy	1686
Netherlands	153
Norway	61
Poland	229
Portugal	109
Slovakia	88
Spain	337
Sweden	75
Switzerland	180
United Kingdom	640

OBSERVERS	2571
India	220
Japan	244
Russia	982
Turkey	146
USA	979

CANDIDATE FOR ACCESSION	
Romania	118

ASSOCIATE MEMBERS IN THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP	
Serbia	41

OTHERS	Bolivia	3	Cuba	7	Iran	28	Madagascar	4	Philippines	1	Tunisia	6	
Afghanistan	1	Bosnia & Herzegovina	1	Cyprus	16	Ireland	22	Malaysia	15	Saudi Arabia	3	Ukraine	55
Albania	2	Brazil	108	Ecuador	3	Jordan	2	Mauritius	1	Senegal	1	Uzbekistan	4
Algeria	8	Cameroon	1	Egypt	19	Kazakhstan	1	Mexico	64	Singapore	2	Venezuela	9
Argentina	11	Canada	134	El Salvador	1	Kenya	1	Montenegro	3	Sint Maarten	2	Viet Nam	9
Armenia	25	Cape Verde	1	Estonia	16	Korea, D.P.R.	1	Morocco	12	Slovenia	27	Zimbabwe	2
Australia	25	Chile	12	Georgia	36	Korea Rep.	117	Nepal	5	South Africa	16		
Azerbaijan	8	China	280	Gibraltar	1	Kuwait	1	New Zealand	7	Sri Lanka	5		
Bangladesh	4	China (Taipei)	45	Hong Kong	1	Lebanon	12	Pakistan	41	Syria	2		
Belarus	47	Colombia	30	Iceland	4	Lithuania	19	Palestine (O.T.)	4	Thailand	12		
		Croatia	35	Indonesia	1	Luxembourg	4	Peru	8	T.F.Y.R.O.M.	1		

1415

qualche giovane che potreste avere incontrato ...



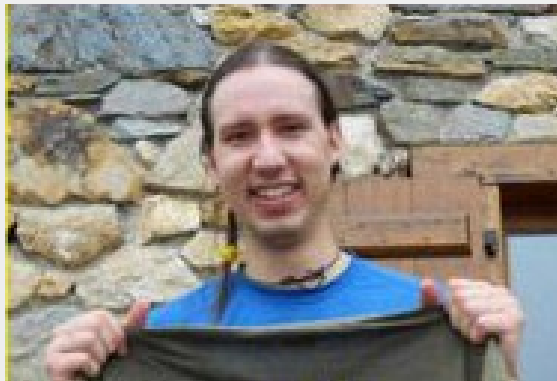
Giulia - liceo sc. Ulivi
ingegnere delle
telecomunicazioni (PR)



Alberto - ITIS Sassuolo
fisico (PI e SNS)



Wainer - ITIS Sassuolo
fisico (PR)



Leo - ITC Fossati (SP)
ingegnere
informatico (PR)



Martino - liceo sc. Marconi
ingegnere
informatico (PR)

Primi contatti possibili (iniziative per scuole superiori):

Masterclasses / stages (INFN):

<http://masterclass.infn.it/>

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

Beam Line for Schools (CERN):

<http://beamline-for-schools.web.cern.ch/>

Divulgazione:

<http://home.web.cern.ch/students-educators>

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

... università e siti infn ...

+ visite al CERN, università, laboratori ...

offerte (CERN) per studenti universitari

<https://jobs.web.cern.ch/join-us/students>

Stage @ CERN:

- 1) openlab students (2 months)
- 2) summer students (2-3 m)
- 3) technical students (6-12 m)
- 4) doctoral students (3-36 m)

Scuole (fra molte altre):

- 1) European school of high-energy physics (2 weeks)
- 2) CERN school of computing (2 w)
- 3) CERN accelerator school (2 w)
- 4) International School of Trigger and Data Acquisition (1 w)

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?

Bob Wilson, fondatore del Fermilab,
al comitato sull'energia atomica (1969):

"... Non ha nulla a che fare direttamente
con la difesa militare del nostro paese,
ma lo rende degno di essere difeso."

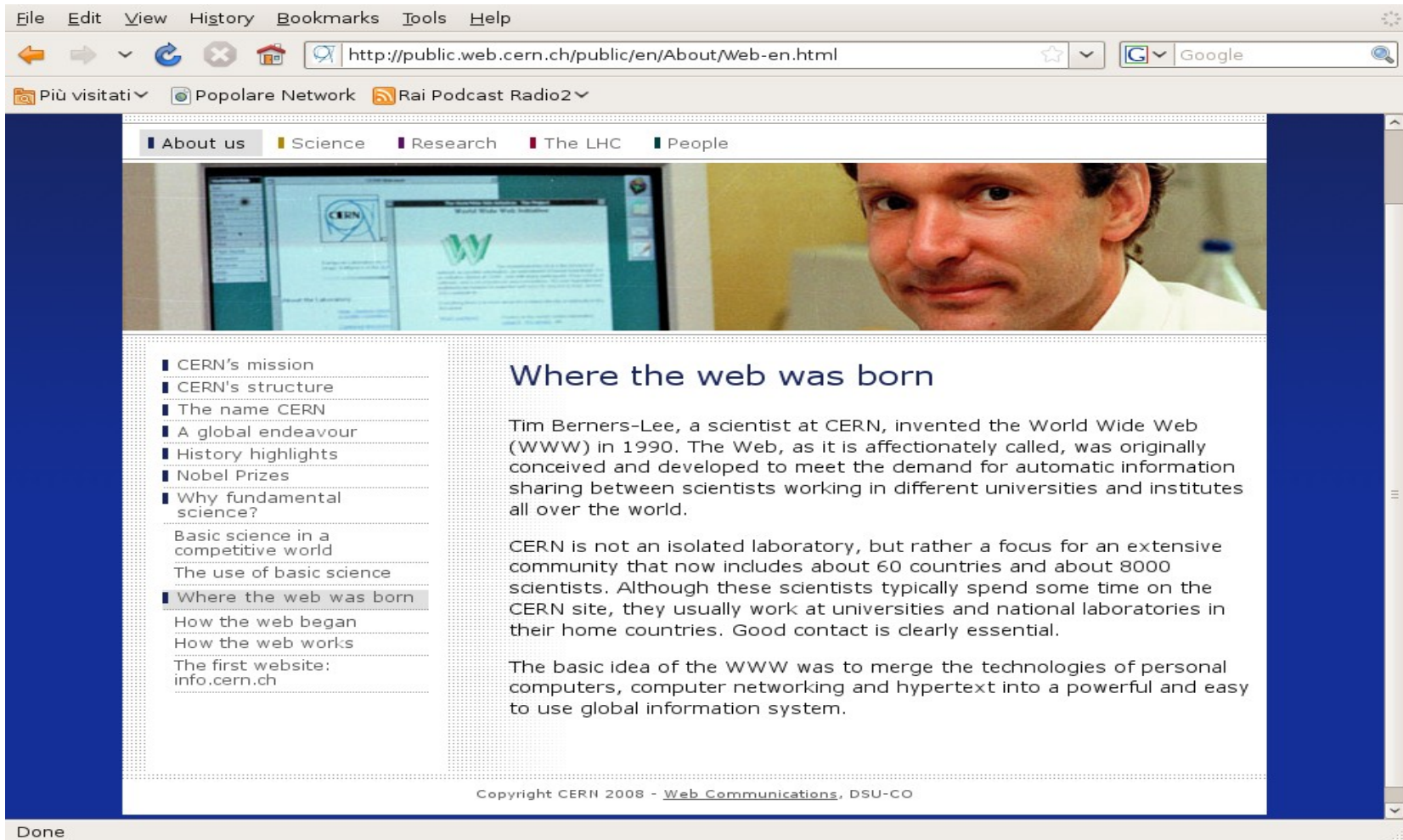
Faraday (1821, sulla induzione e.m.):

"Non so a cosa serva, ma prima o poi
ci metteranno una tassa sopra"

**il motore è la curiosità,
l'obiettivo la conoscenza ...**

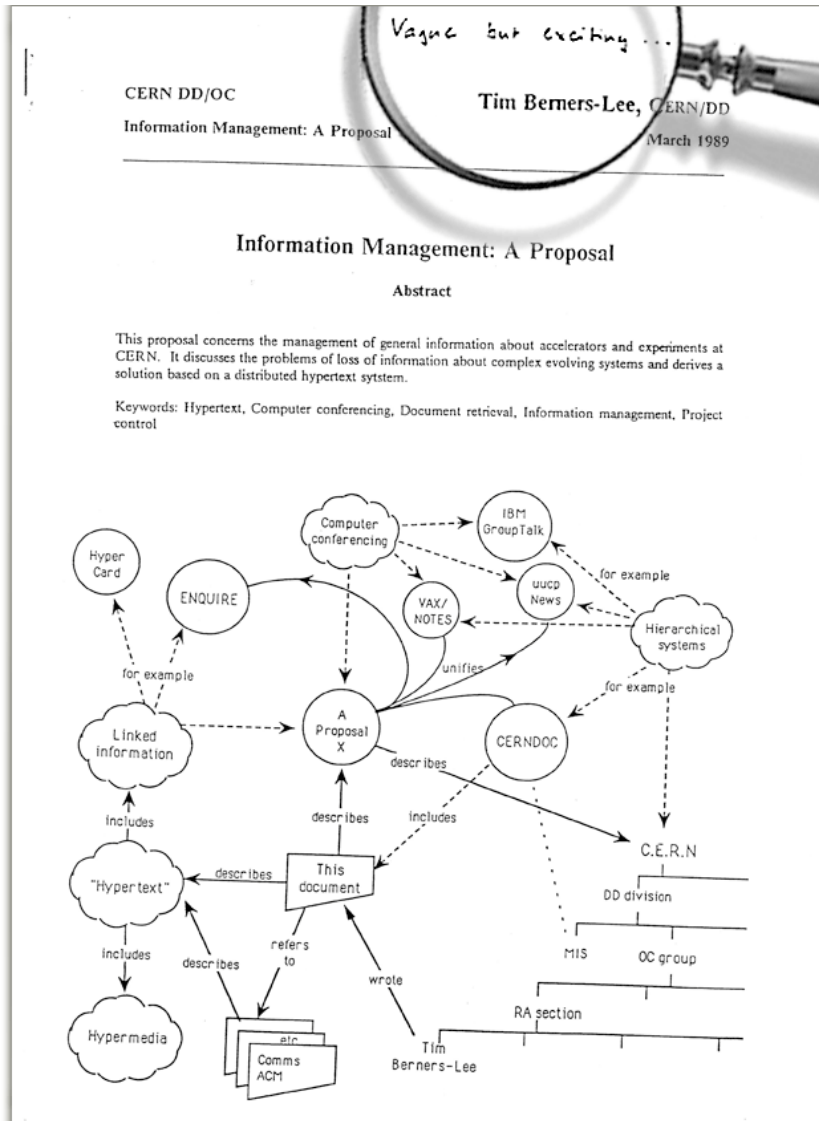
effetti collaterali →

dove è nato il Web ?



nel 2009 ha festeggiato i 20 anni
<http://info.cern.ch/www20>

la proposta iniziale ...



1989

"vague but exciting"

<http://first-website.web.cern.ch/>

30 aprile 2013:

Vent'anni di web aperto e libero:

"On 30 April 1993 CERN published a statement that made World Wide Web technology available on a royalty free basis, allowing the web to flourish"

curare i tumori: C.N.A.O. (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.

MedAustron: centro simile in costruzione in Austria con la collaborazione di CERN, INFN, CNAO ...

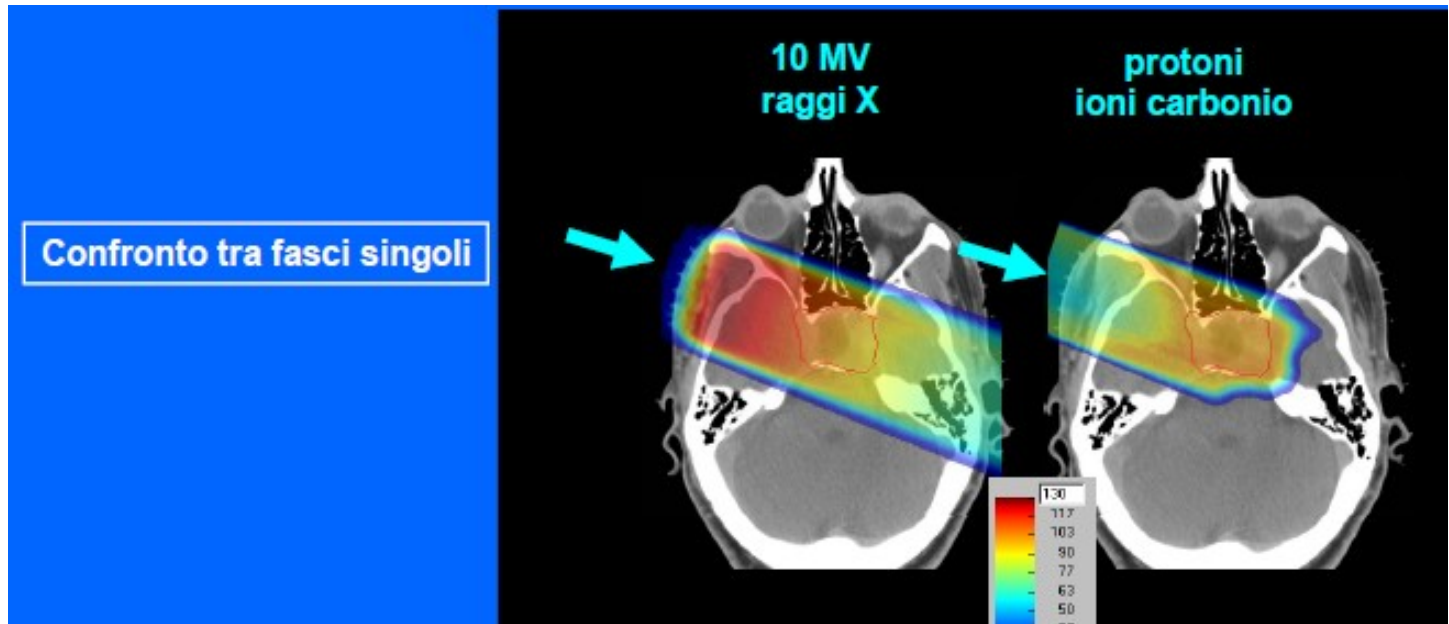


adroterapia oncologica



proposta da
Bob Wilson
nel 1946

Vantaggi
macroscopici:



veniamo al sodo

1. perché ?

la fisica delle particelle

ricerca dei mattoni e delle leggi fondamentali
all'origine della nascita ed evoluzione dell'universo

ovvero:

di cosa è fatto il mondo (osservabile) ?

cosa lo tiene assieme e lo trasforma ?

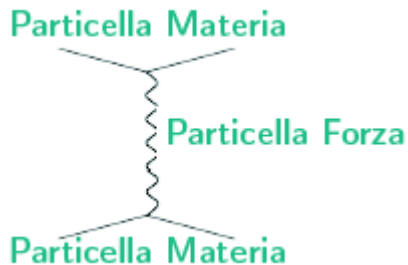
... domande antiche quasi come l'uomo ...

particelle & forze → interazioni

particelle & forze → interazioni

Forza (o interazione) → lavoro ovvero trasferimento energia

Azione a distanza ? No → si sfruttano dei mediatori ...



le Particelle Materia emettono e assorbono Particelle Forza creando un campo di interazione

quante forze (fondamentali) esistono ?

- 1) forza di gravità (massa) → gravitone (bosone tensore) ?
 - agisce su tutti i corpi, ha effetti macroscopici
- 2) forza elettromagnetica (cariche e.m.) → fotone (bosone vettoriale)
 - legami atomici e molecolari ... effetti macroscopici
- 3) forza nucleare debole (cariche deboli) → W e Z (bosoni vettoriali)
 - responsabile dei decadimenti nucleari "deboli" ... della fusione nucleare
- 4) forza nucleare forte (cariche di colore) → gluoni (bosoni vettoriali)
 - responsabile dei legami (sub-)nucleari ...
- 5) forza di Brout-Englert-Higgs → mediatore: bosone (scalare) di Higgs ?
 - responsabile della massa delle particelle elementari

3, 4 e 5 → osservabili solo su scala (sub-)nucleare

il modello standard

Particelle materia (3 + 3 famiglie)

- Quark (carica forte e debole): (u, d), (c, s), (t, b)
- Leptoni (solo carica debole): (ν_e , e), (ν_μ , μ), (ν_τ , τ)

(principio di Pauli → statistica di Fermi-Dirac → fermioni)

Particelle forza (4 forze)

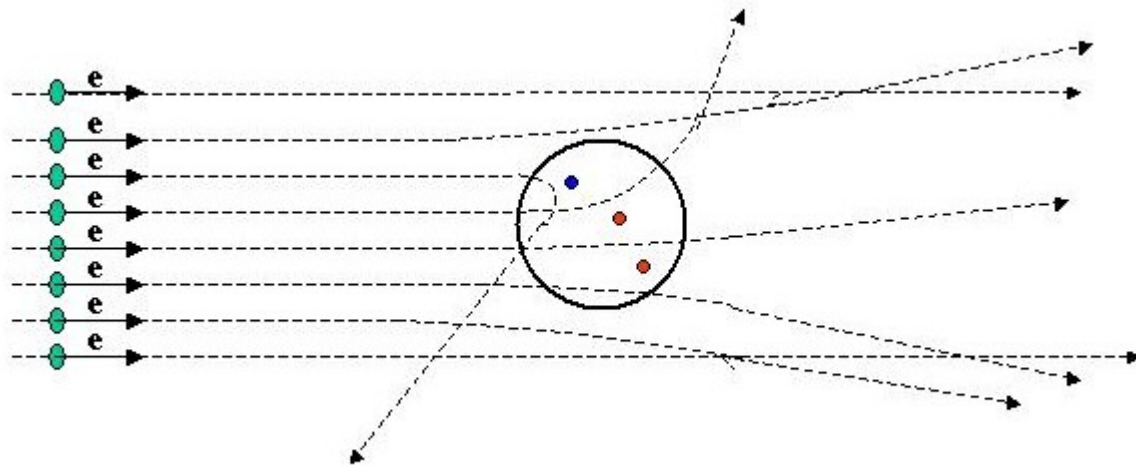
- fotone (γ): nessuna carica
- W^+ , W^- , Z^0 : carica debole (W anche elettrica)
- gluoni (g): carica forte
- bosone di Higgs (H): massa

(no principio di Pauli → statistica di Bose-Einstein → bosoni)

nucleo \rightarrow nucleoni \rightarrow quark

1969 Stanford Linear Accelerator (SLAC)

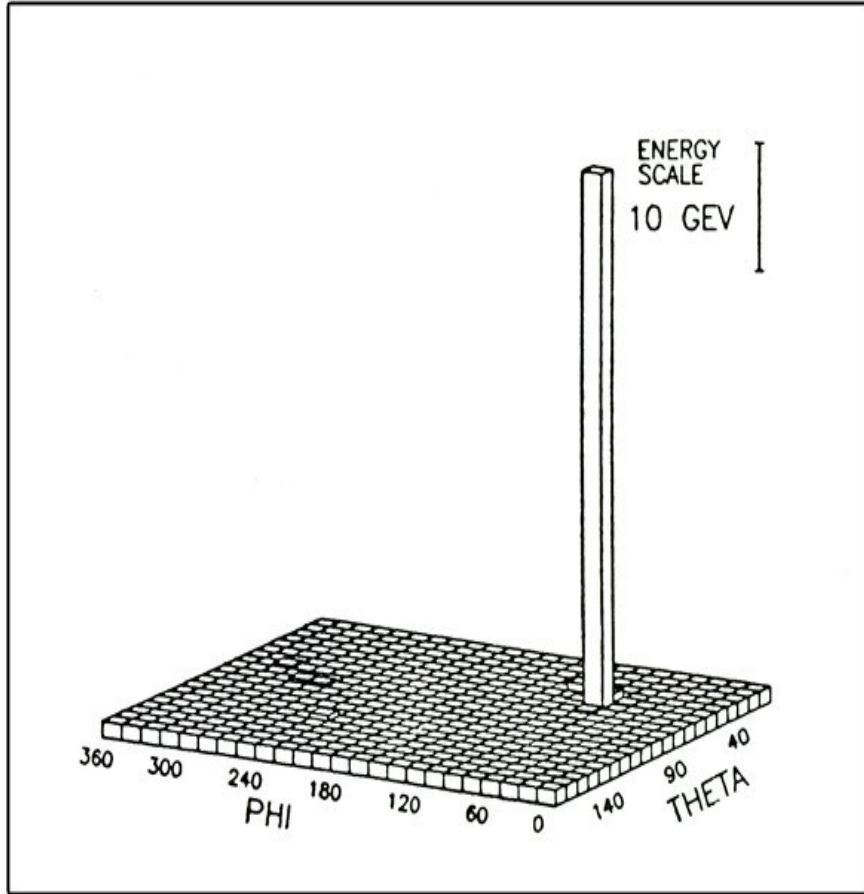
Scattering (urti) inelastici (il protone si rompe) di fasci di elettroni su bersagli (protoni)



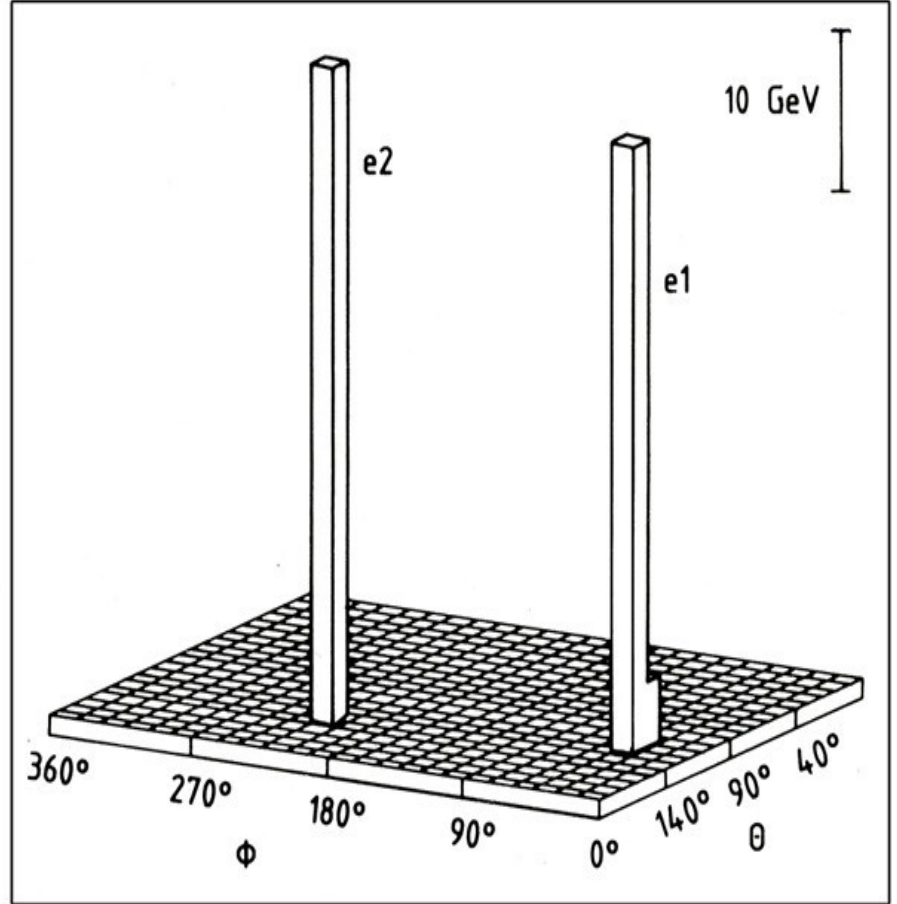
Si parte con 3 quark: u,d,s

protone: uud neutrone: udd

i bosoni vettoriali W^\pm/Z^0 (1983)



$$p\bar{p} \rightarrow W^\pm \rightarrow e^\pm \nu$$



$$p\bar{p} \rightarrow Z \rightarrow e^+e^-$$

CERN $p\bar{p}$ Collider

la massa dei bosoni W/Z ?

$$M_W \sim 80 M_{\text{protone}}$$

$$M_Z \sim 90 M_{\text{protone}}$$

quasi due volte la massa di un nucleo di ferro

→ il campo debole non si propaga alla velocità della luce

BEL PROBLEMA !

i modelli teorici non stanno in piedi: le predizioni teoriche violano un principio fondamentale [una cosa che si chiama "unitarietà"]

possibile soluzione: aggiungere una nuova forza e (almeno) un nuovo mediatore associato

meccanismo di Brout-Englert-Higgs

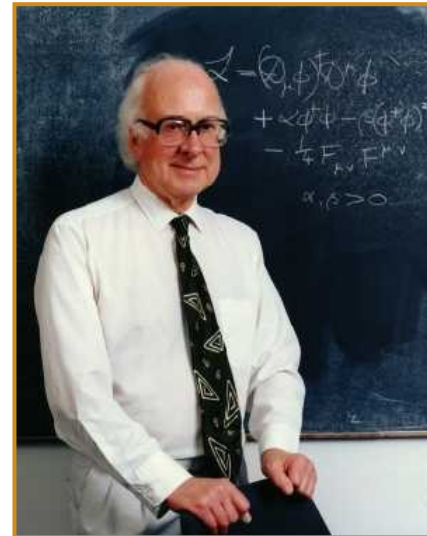
- un campo frena le particelle, come la gelatina frena un proiettile



- rallentare una particella equivale a farle acquisire una massa

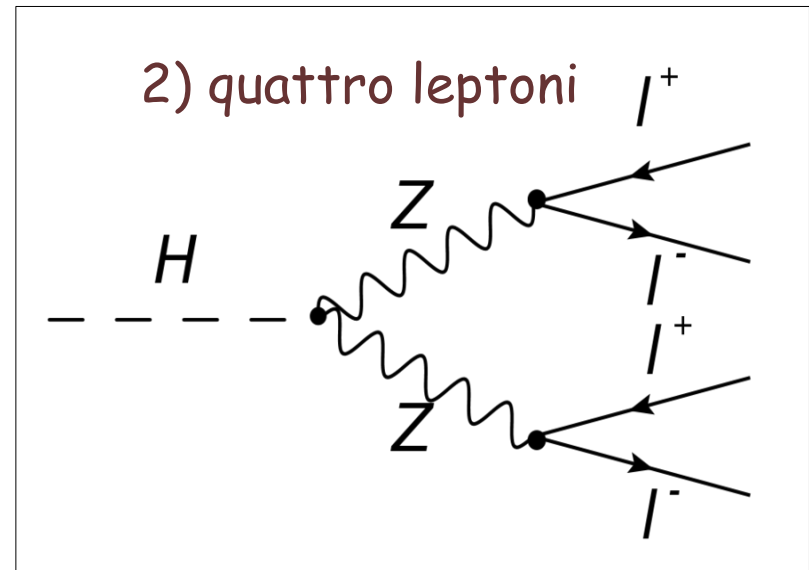
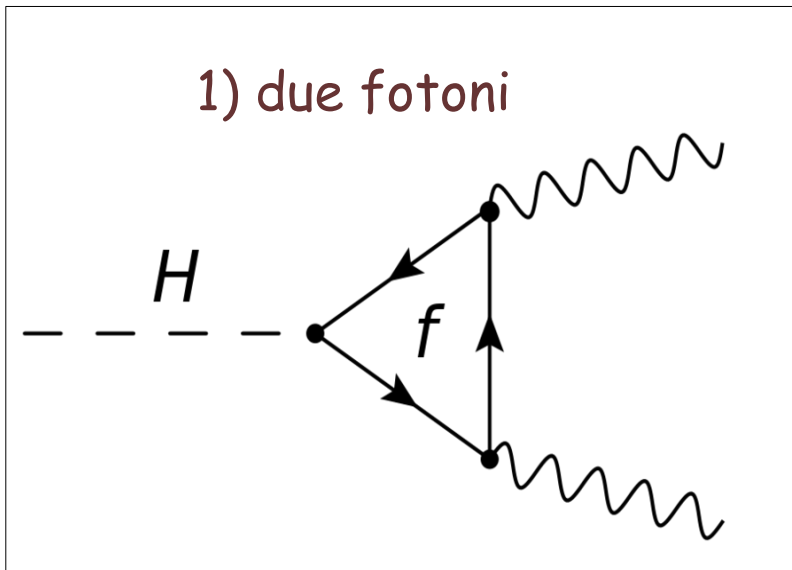
- particelle indifferenti a questo campo di forza restano di massa zero

- la "forza" è trasportata da una particella nuova (mediatore):
il bosone di Higgs



una vita spericolata

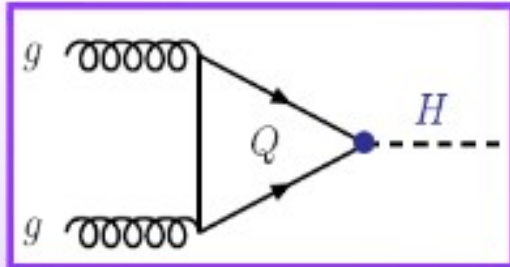
- massa grande ($> 110 \text{ GeV}$) ma sconosciuta !
- decade immediatamente in particelle più leggere
- molte possibilità (secondo il Modello Standard)
 - fra le più importanti:



- come tutte le particelle molto instabili, viene riconosciuto e ricostruito dai (possibili) prodotti dei decadimenti

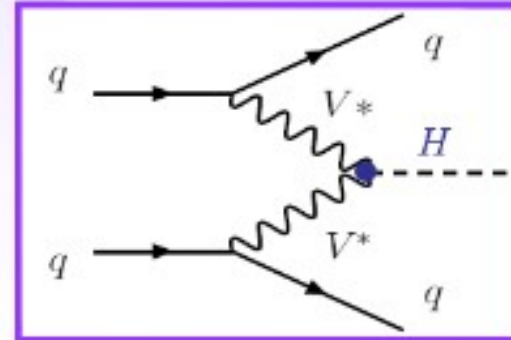
meccanismi di creazione ("produzione")

GLUON GLUON FUSION:



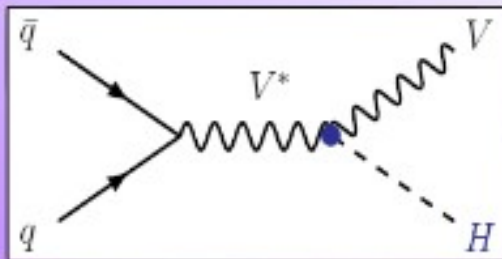
$$gg \rightarrow H$$

WEAK VECTOR BOSON FUSION:



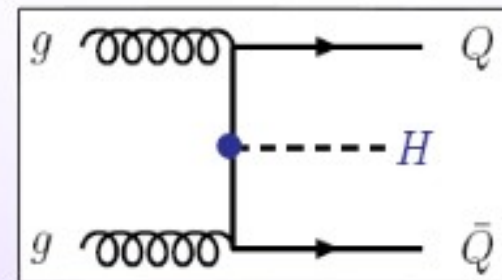
$$qq \rightarrow V^*V^* \rightarrow qq + H$$

PRODUZIONE ASSOCIATA CON W E Z



$$q\bar{q} \rightarrow V + H$$

PRODUZIONE ASSOCIATA CON t, b



$$gg \rightarrow Q\bar{Q} + H$$

carta d'identità del bosone di Higgs

Cognome Bosone
Nome Higgs
nato il $\sim 10^{-30}$ s dopo il BigBang
(atto n. P. S.)
a Ovunque (.....)
Cittadinanza Nostro universo
Residenza Ovunque
Via.....
Stato civile Assai poligamo
Professione Spacciatore di massa

CONNOTATI E CONTRASSEGNI SALIENTI

Statura Da 125 GeV a V
Spin 0
Parità +1

Segni particolari Sfuggente
Accoppiamento con le particelle
proporzionale alla loro massa



Firma del titolare Decado in YY, WW, ZZ, bb, cc, tt, ecc

Impronta del dito indice sinistro

IL SINDACO Peter Higgs



2. come ?

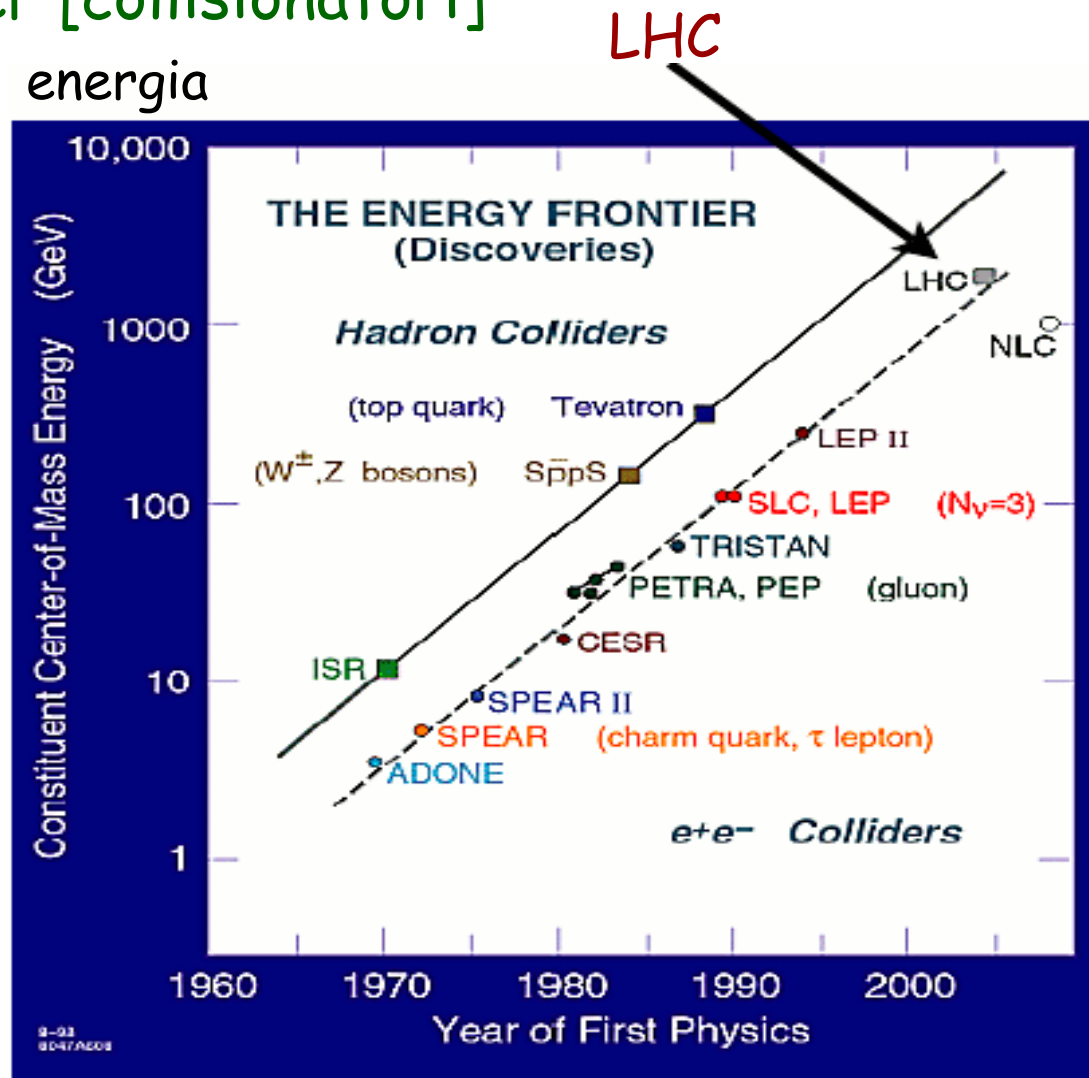
per scoprirlo bisogna prima crearlo $\rightarrow E = mc^2$

acceleratori \rightarrow collider [collisionatori]

due categorie:

e^+e^-

$pp/pp\bar{p}$



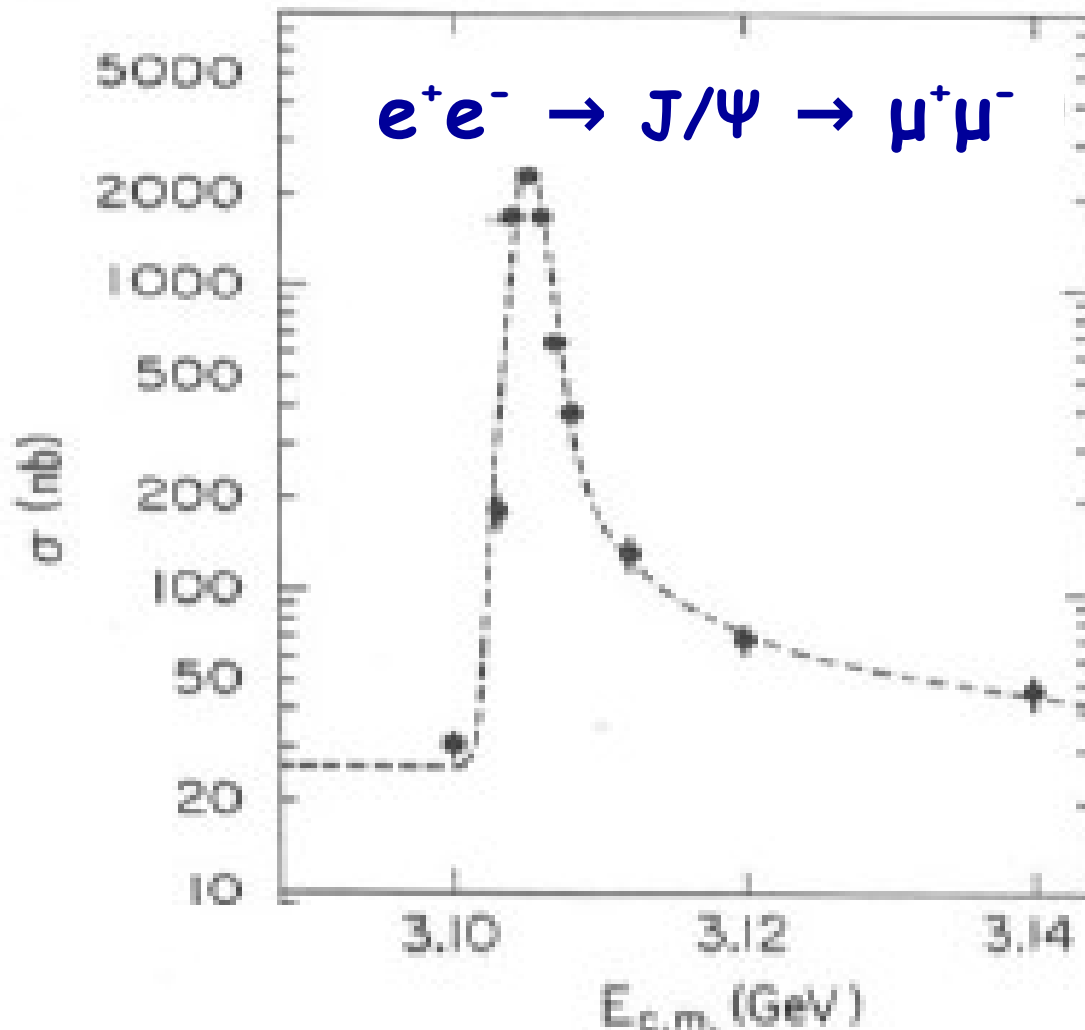
anno

Adone (LNF)



1974: il quark charm

SLAC e^+e^- ring (SPEAR)



distribuzione della
energia nel centro di
massa di coppie $\mu^+\mu^-$

J/ψ (stato legato $\bar{c}c$)

... quando la
sfiga ...



elementi di un acceleratore (sincrotrone)

Campi magnetici (dipoli):

immaginate le catene del calcincolo

Campi elettrici (elettromagnetici → cavità a radiofrequenza):

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

spinge più forte chi va più piano !

Microscopio per particelle

Maggiore energia degli urti

→ migliore capacità di risoluzione
del "microscopio"

LHC ($\sim 10^{-20}$ m) microscopio più potente mai costruito !

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

nuove particelle ?

sottostruttura dei quark ?

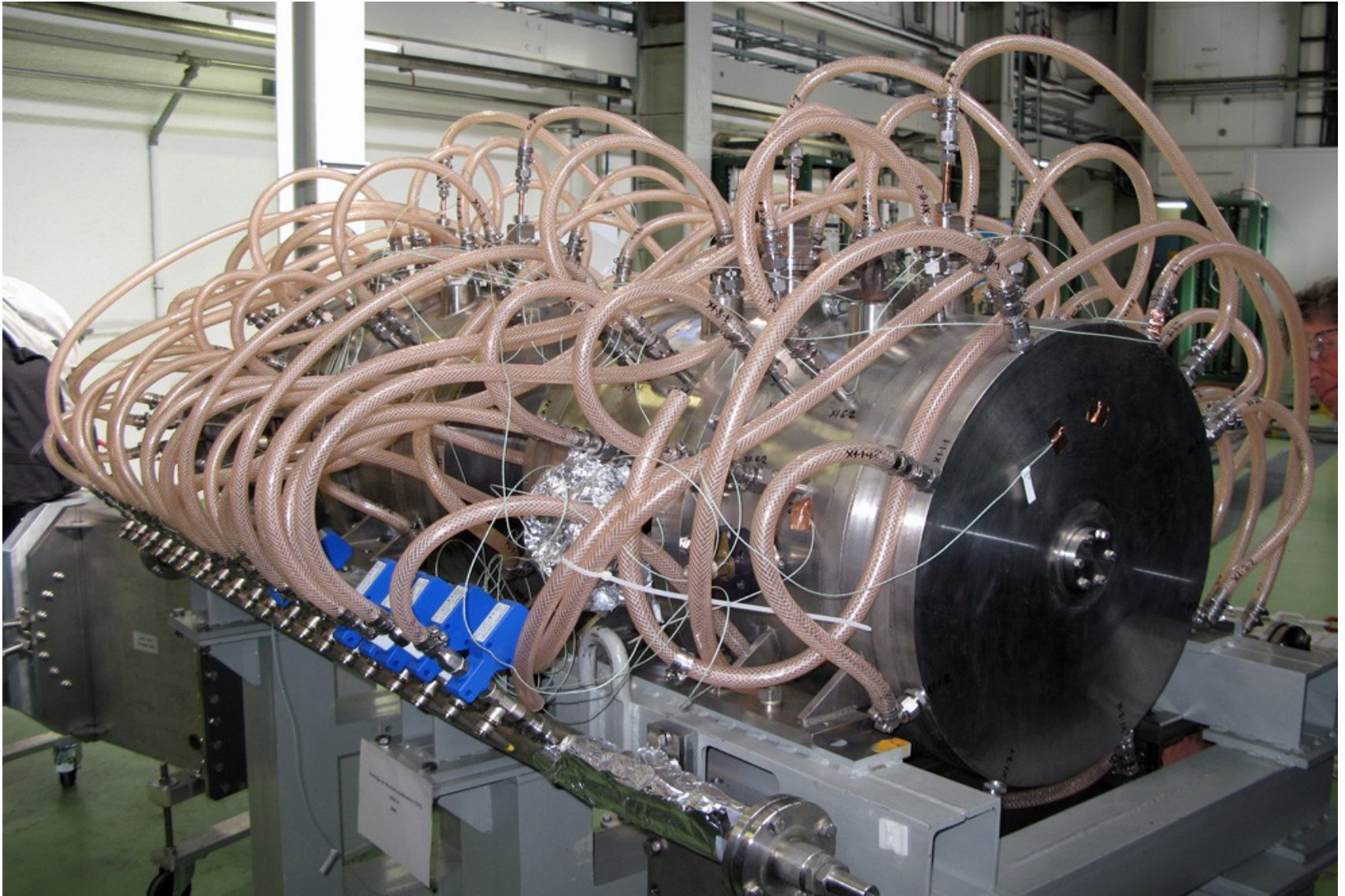
dimensioni extra ?

stringhe ?

i dipoli



le cavità a radiofrequenza



... e se si crea, bisogna poi identificarlo ...

1) probabilità di creazione di un bosone di Higgs:

~ uno ogni 10 miliardi di urti

2) stragrande maggioranza degli urti non contiene informazioni interessanti (o non siamo in grado di identificarle)

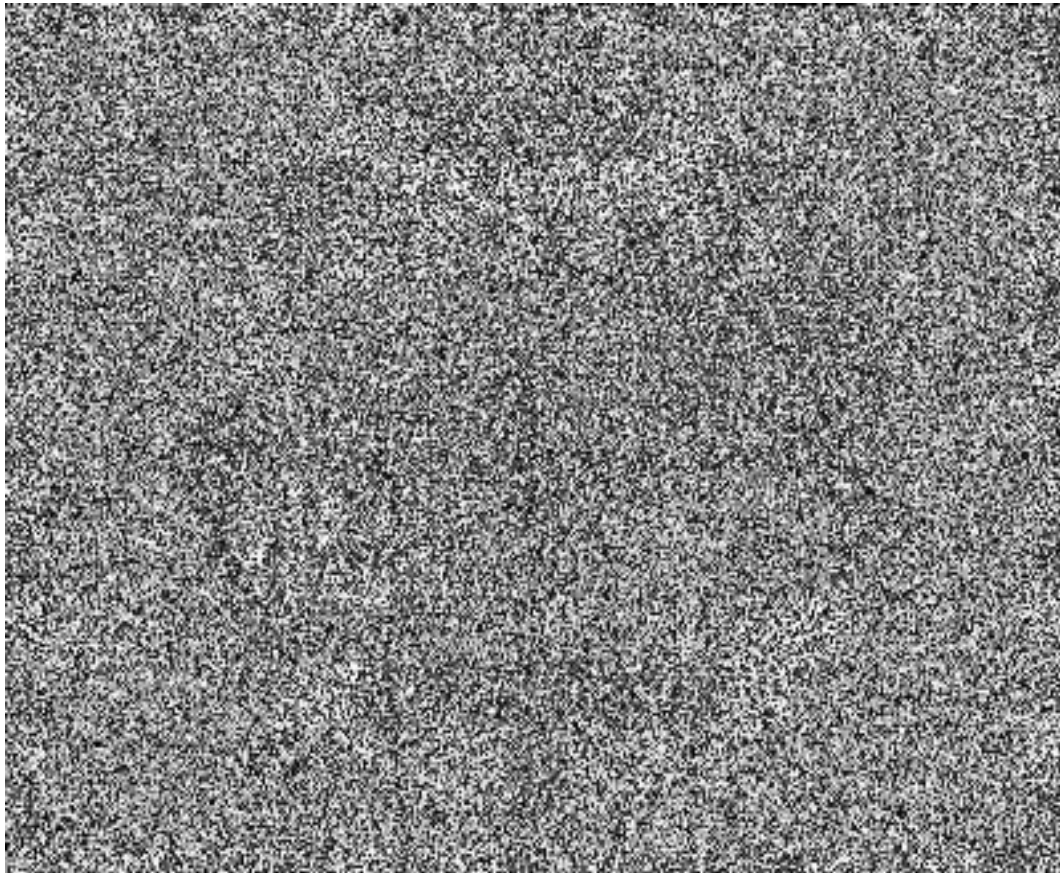
3) maggior parte dei decadimenti non rivelabili

4) eventi di "fondo" con le stesse caratteristiche ("rumore") sono estremamente più probabili

→ occorre una capacità di "selezione" molto efficace, ma non basta ...

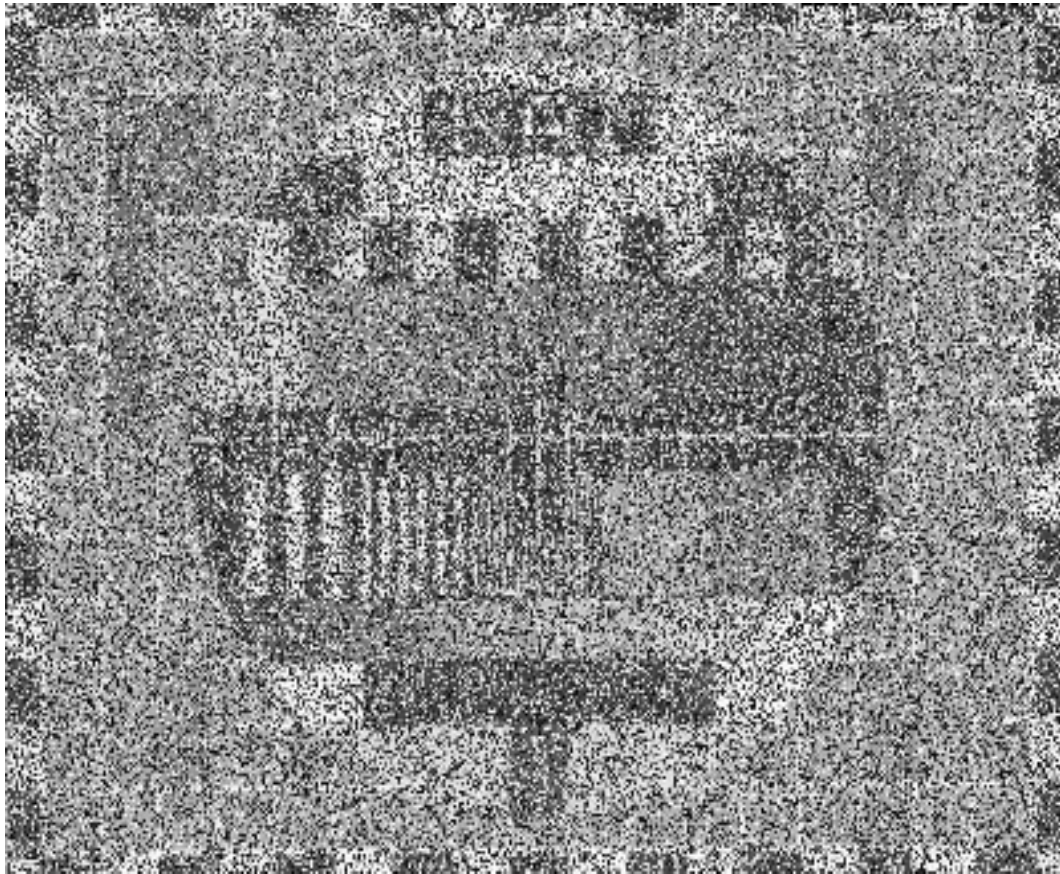
segnale e rumore (1)

- Il segnale c'è ma è completamente nascosto dal rumore di fondo



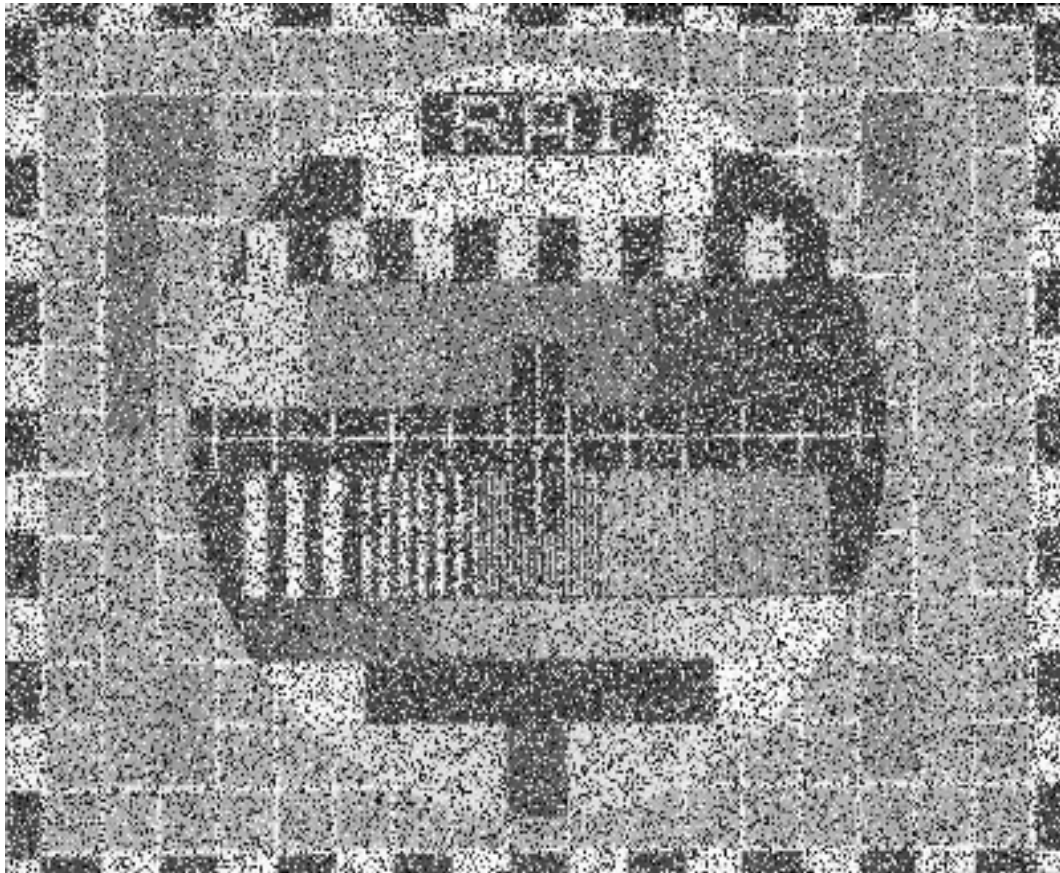
segnale e rumore (2)

- Se sommo ("integrò") tante schermate il rapporto segnale/rumore migliora



segnale e rumore (3)

- Aumentando ancora la "statistica" (integrando più a lungo) il segnale diventa riconoscibile



$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

- miglior canale a bassa massa
- rapporto segnale/rumore comunque pessimo:
 - precisione di misura fondamentale

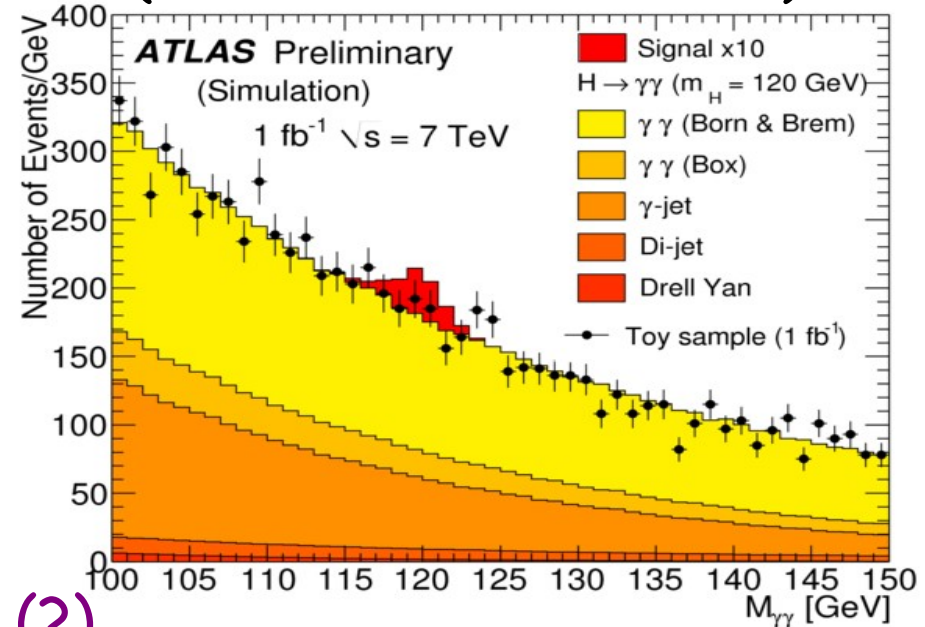
Separazione segnale/fondo su base statistica:

Scoperta di un nuovo "segnale" quando la prob. che la "discrepanza" che si osserva venga da una fluttuazione casuale del fondo è

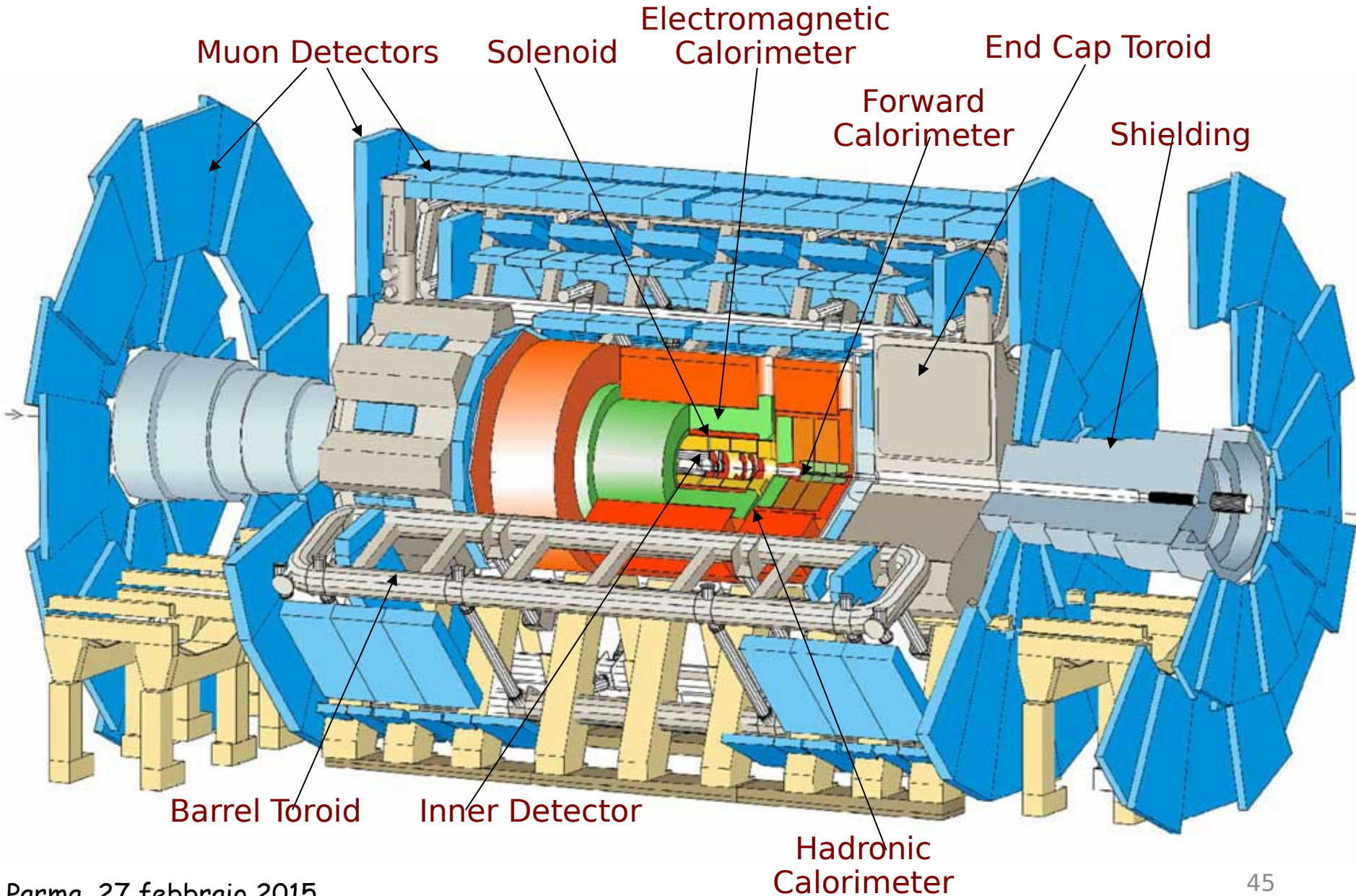
$\llsim 1$ su 3,5 milioni

necessari anni di presa dati (?)

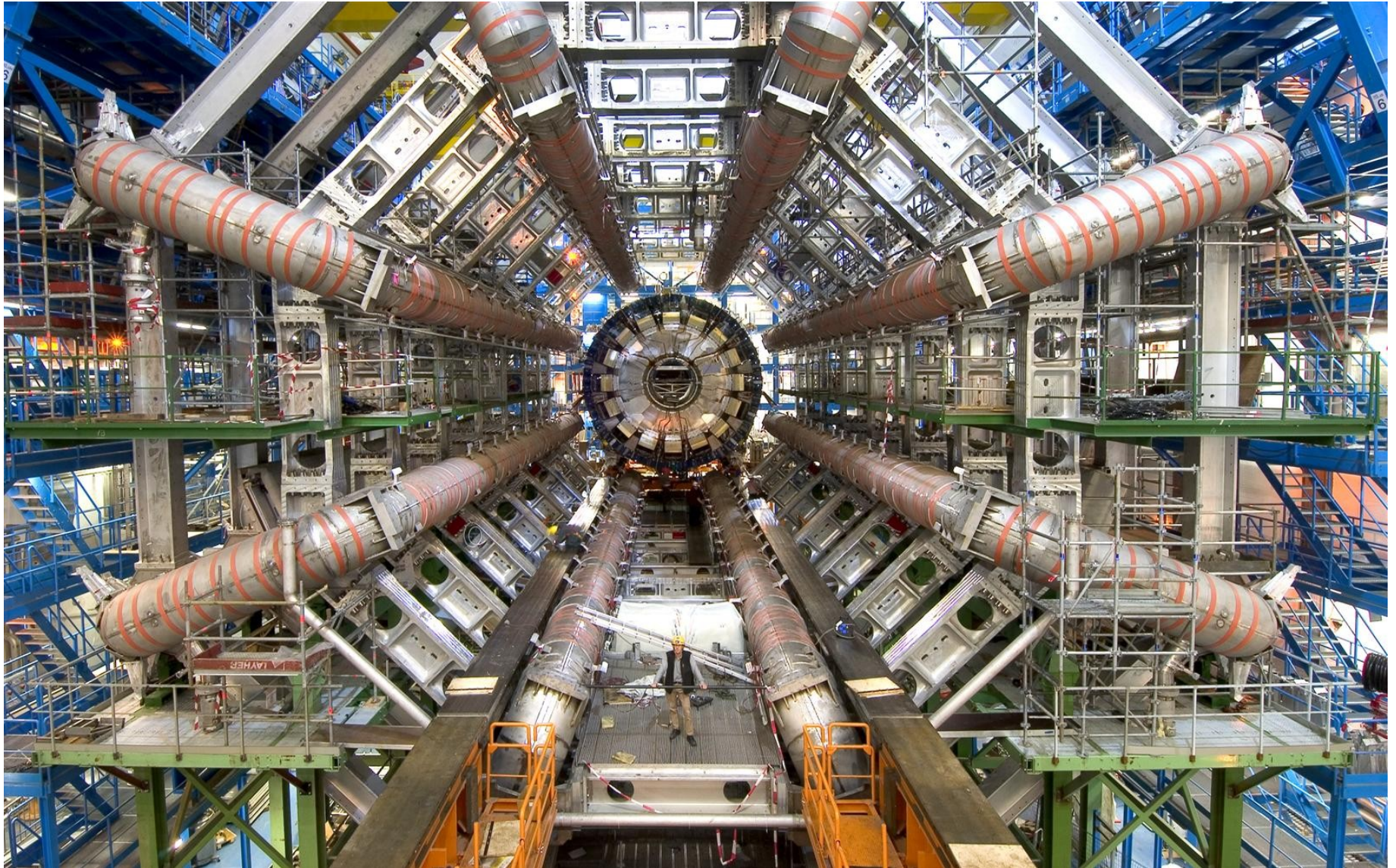
energia nel centro di massa per coppie di fotoni (simulazione montecarlo)



ATLAS: un microscopio alto 25 e lungo 46 m



il toroide centrale (barrel)



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



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

ATLAS
Collaboration



la sua storia

1987-1990 : gruppi di lavoro su LHC

1990-1995 : ricerca e sviluppo per i rivelatori

1994 : si firma l'atto di nascita di ATLAS

1994-1997 : costruzione prototipi

1997-2004 : costruzione rivelatore

2004-2008 : installazione

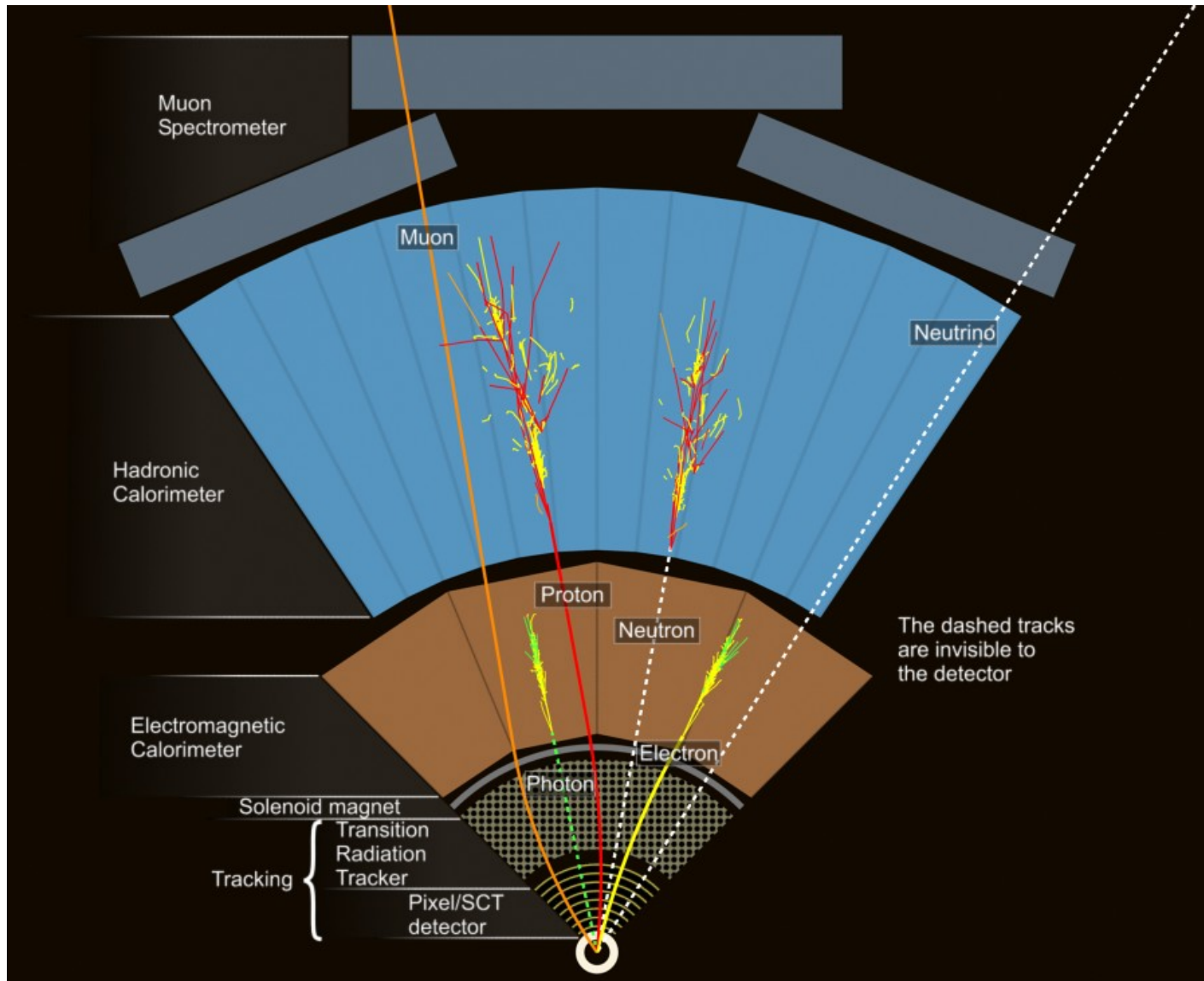
(fine)2009-2012 : presa dati

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"

tante (diverse) macchine fotografiche



selezione eventi

40 milioni di scontri al secondo → solo 200 possono essere salvati e analizzati con calma

L 1: almeno una particella di altissima energia → 100 mila eventi (al secondo)

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

L 2: le particelle di altissima energia sono analizzate nei dettagli (isolamento, identificazione delle particelle) → 3 mila eventi al secondo

→ del campo da tennis rimangono 2 tavoli da ping pong

Event Filter: i 3 mila eventi che rimangono sono analizzati in tutto il rivelatore → i 200 più interessanti sono salvati

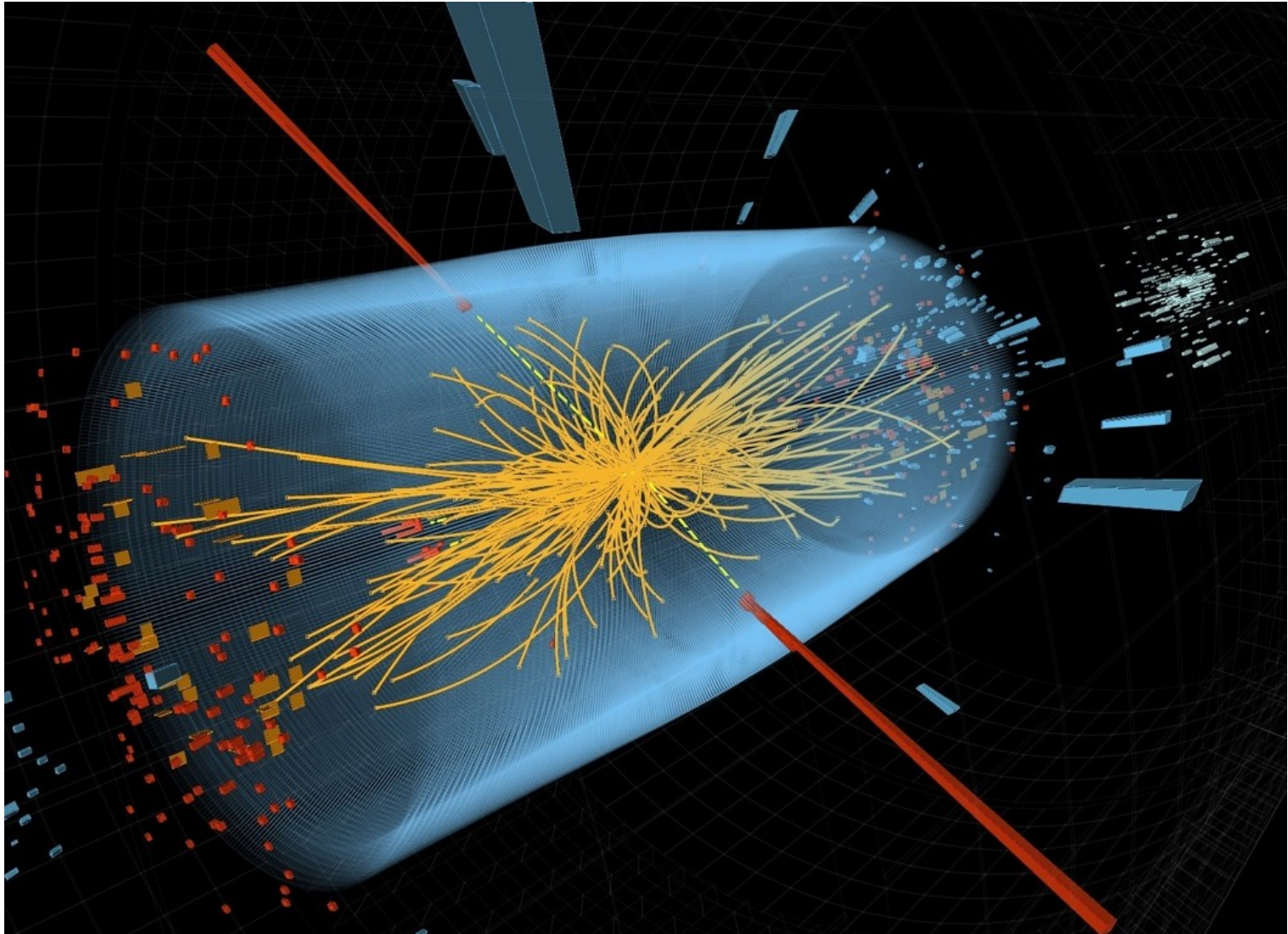
→ dei 2 tavoli da ping pong, rimane una scacchiera di 70 cm di lato

con qualche decina di milioni di queste scacchiere si può pensare di trovare il bosone di Higgs

3. cosa ?

4. quindi ?

evento candidato $H \rightarrow \gamma\gamma$



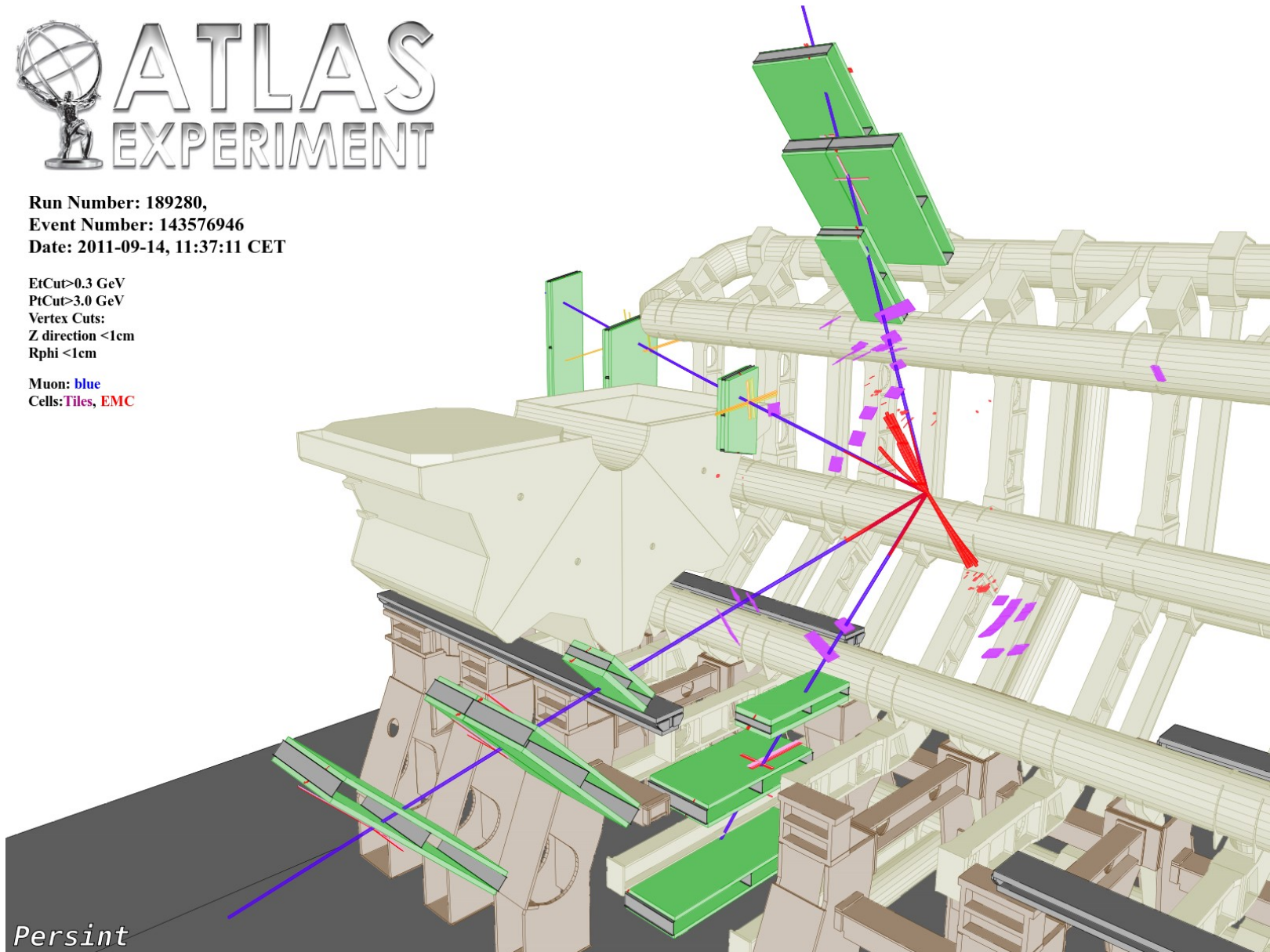
evento candidato $H \rightarrow 4\mu$



Run Number: 189280,
Event Number: 143576946
Date: 2011-09-14, 11:37:11 CET

EtCut > 0.3 GeV
PtCut > 3.0 GeV
Vertex Cuts:
Z direction < 1cm
Rphi < 1cm

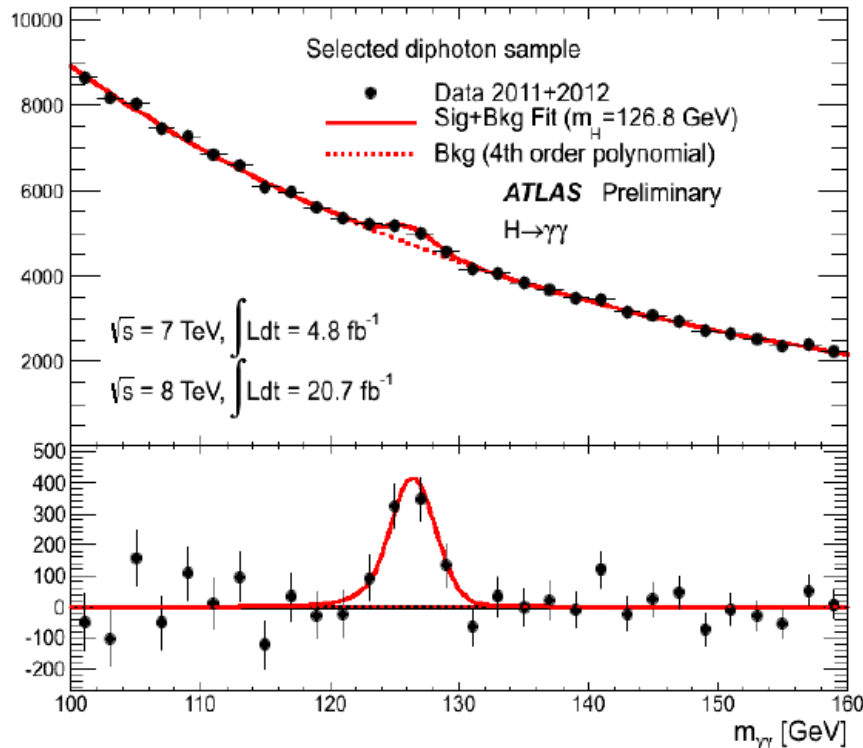
Muon: blue
Cells: Tiles, EMC



Persint

risultati 2010-2012 ATLAS

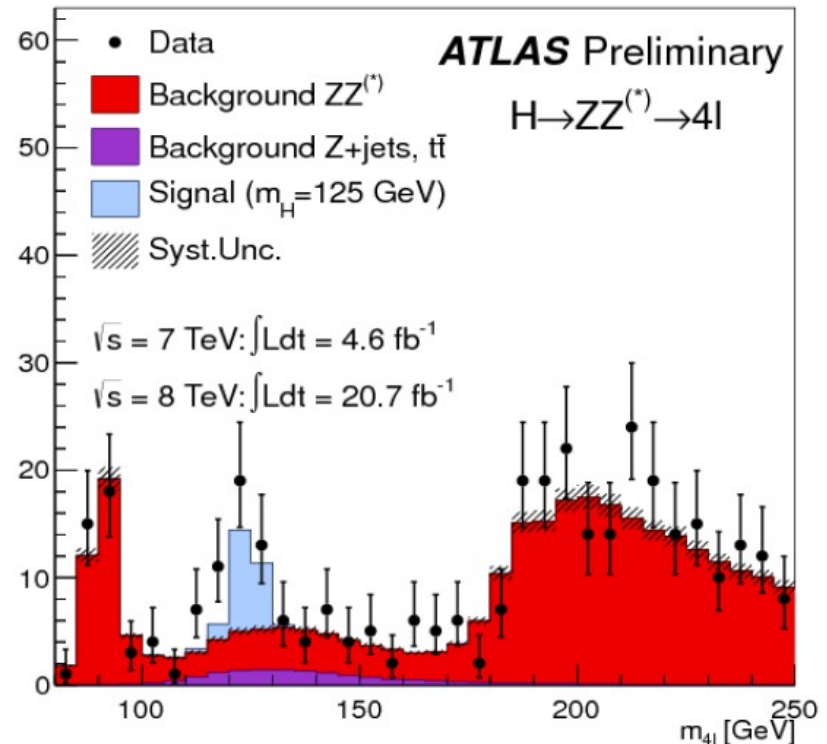
Energia nel centro di massa di coppie di fotoni



“picco”:

~900 eventi in eccesso
~30000 eventi di fondo

Energia nel centro di massa di sistemi con 4 leptoni 4e/4μ/2e2μ



“picco”:

~16 eventi in eccesso
~11 eventi di fondo

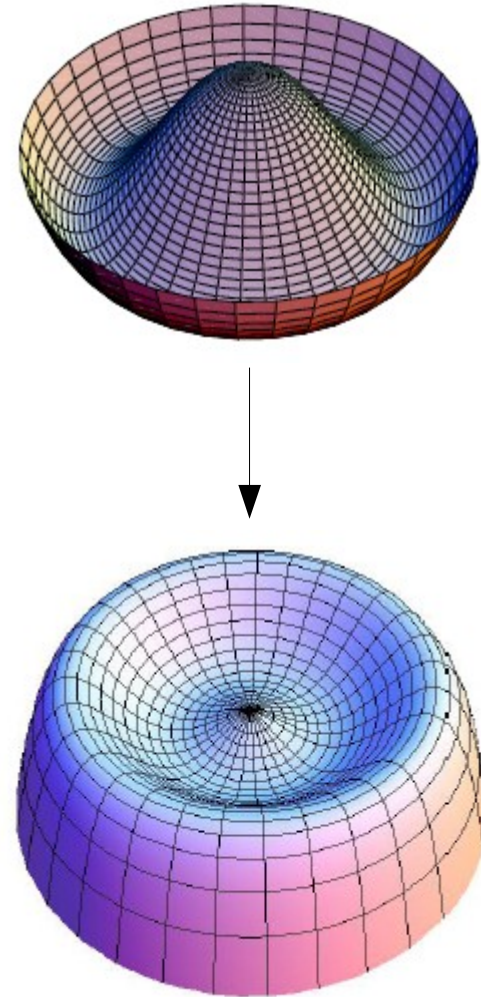
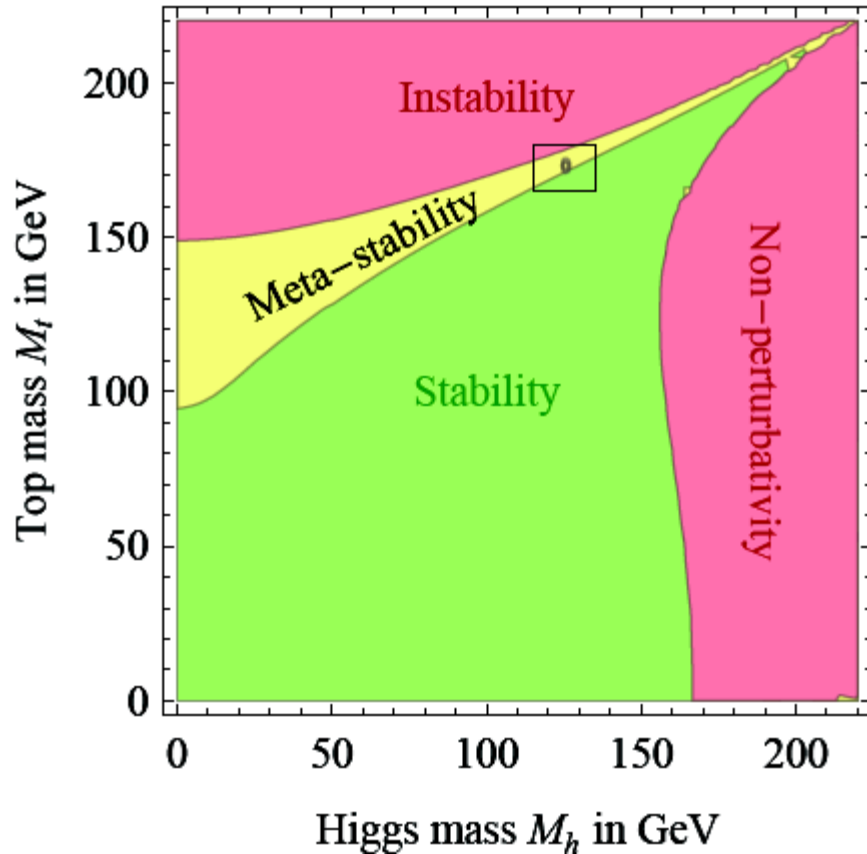
stato dell'arte

ATLAS e CMS indipendentemente (e con forte anticipo rispetto alle attese !) trovano che:

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

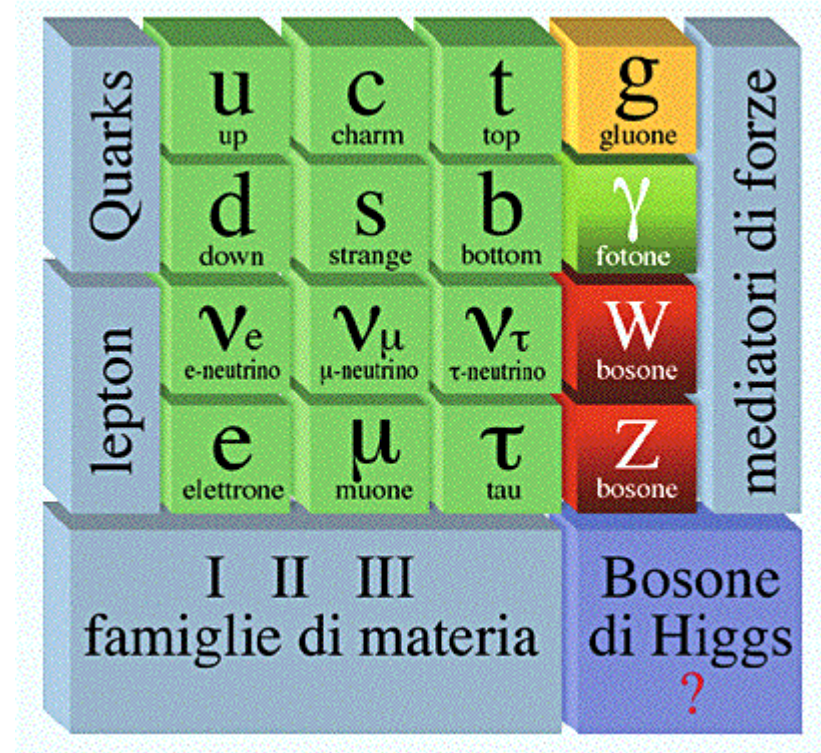
→ fondamentale la misura accurata di tutte le sue proprietà

problema aperto: viviamo pericolosamente ?



domande senza risposta:

- a) Cariche elettriche ?
- b) Masse ?
- c) Numero famiglie ?
- d) Antimateria ?
- e) Materia oscura ?
- f) Energia oscura ?



g) Forza di gravità → non pervenuta!

il Problema !

Universo (interazioni gravitazionali):

Relatività Generale

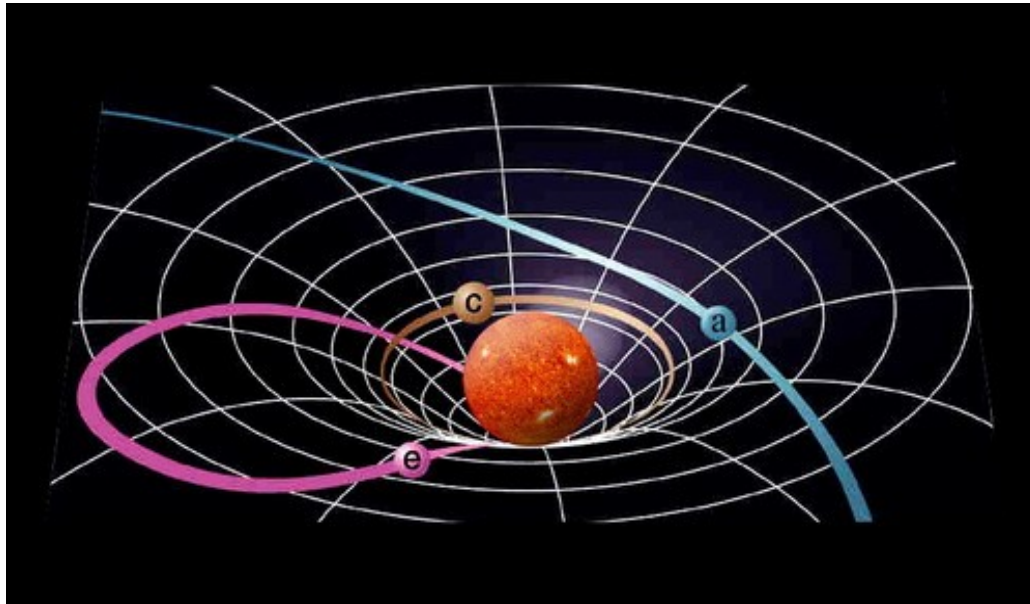
Particelle (interazioni elettrodeboli e forti):

Meccanica Quantistica Relativistica

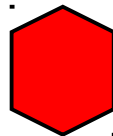
1. entrambe le teorie funzionano alla grande
(fin troppo!) nei rispettivi campi
2. purtroppo, ad oggi sono * INCONCILIABILI *

Relatività generale

Spazio-Tempo e Materia



la materia dice allo spazio-tempo come curvarsi



la curvatura dello spazio-tempo dice alla materia come muoversi

Meccanica Quantistica

Spazio-Tempo e Materia

a) le particelle (la materia) hanno un comportamento probabilistico (non prevedibile a priori, nemmeno disponendo di tutte le informazioni possibili)

b) l'osservazione sperimentale (es. la misura di una posizione) modifica in modo irreversibile la probabilità con cui le particelle si stanno "muovendo"

c) lo spazio-tempo è il contenitore in cui l'evoluzione e le osservazioni avvengono

mettendo assieme le due teorie ...

- 1) la materia deforma lo spazio-tempo
- 2) la materia si comporta in modo probabilistico
- 3) la misura sperimentale cambia le probabilità

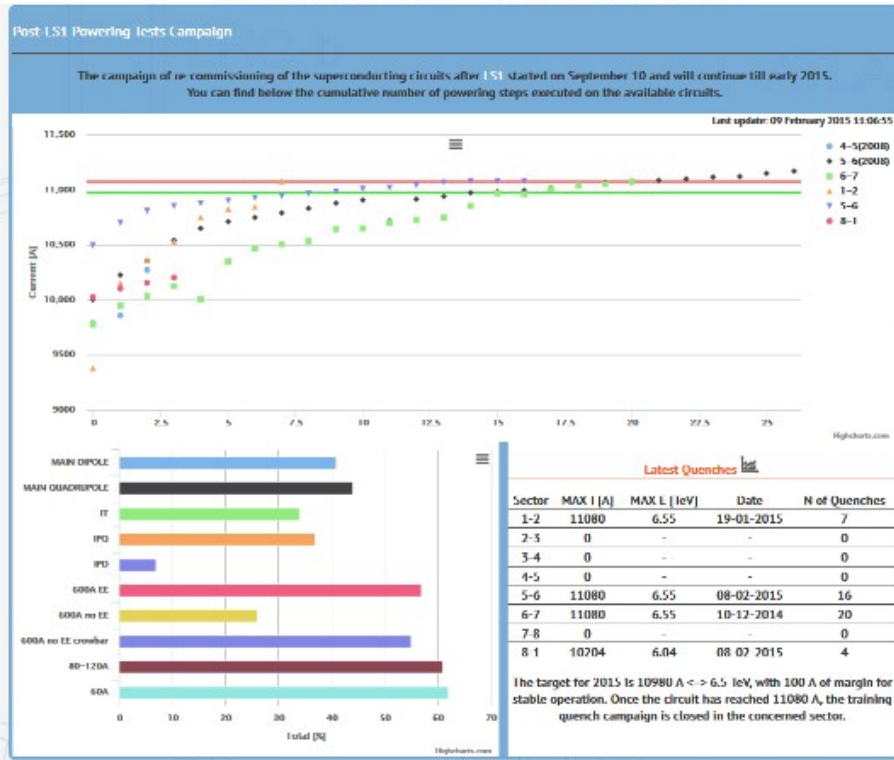


- a) lo spazio tempo è probabilistico
- b) la misura cambia le probabilità per lo spazio-tempo

un bel rompicapo!

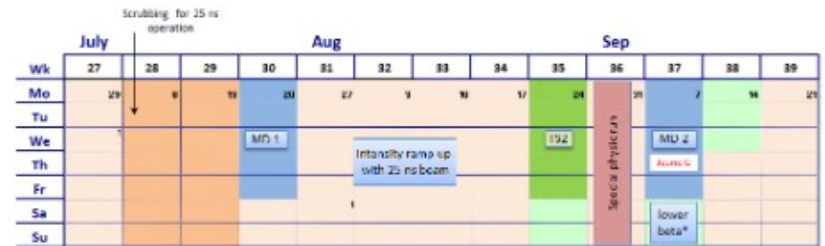
LHC 2015

<http://hcc.web.cern.ch/hcc/index.php>



stato attuale

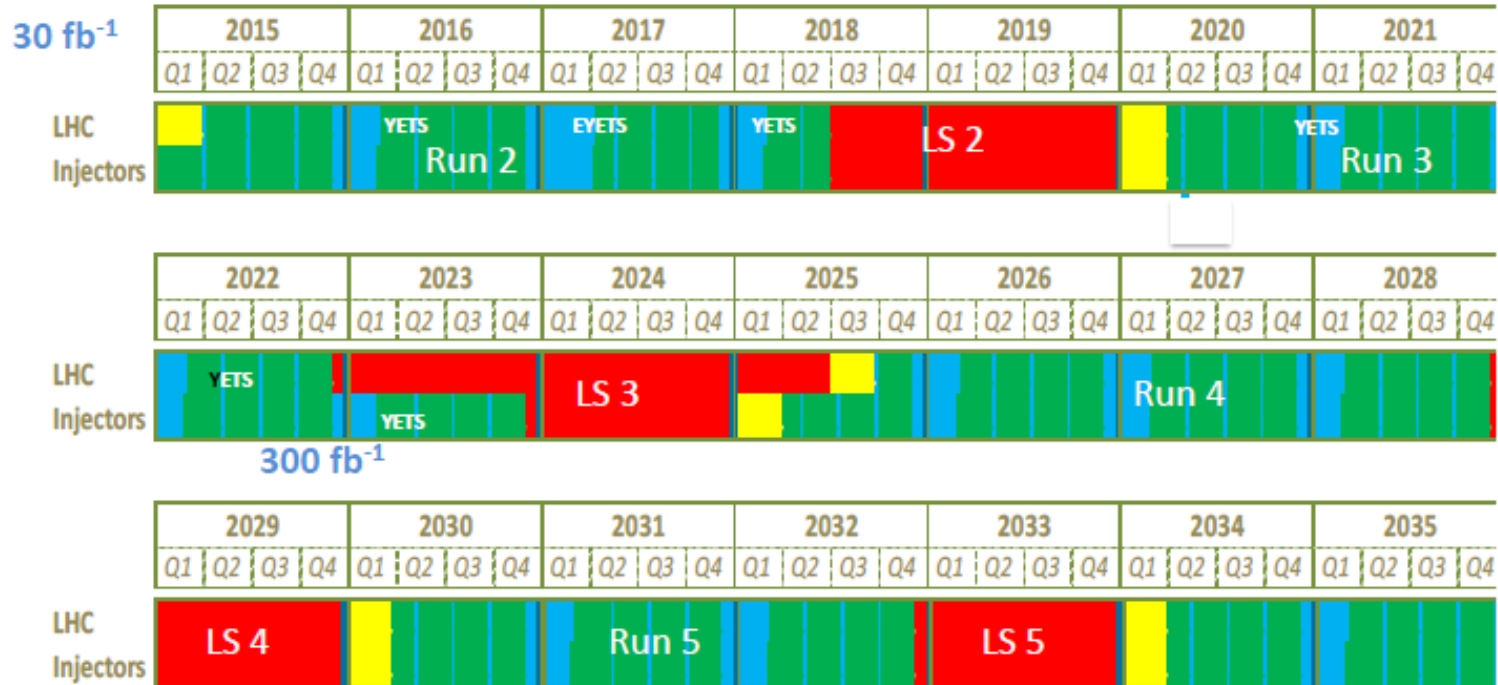
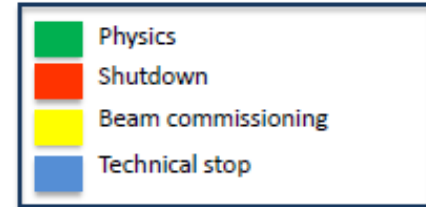
programma 2015



programma fino al 2035

LHC schedule beyond LS1

LS2 starting in 2018 (July) => 18 months + 3 months BC
 LS3 LHC: starting in 2023 => 30 months + 3 months BC
 Injectors: in 2024 => 13 months + 3 months BC



(Extended) Year End Technical Stop: (E)YETS

Goal of 3'000 fb⁻¹ by mid 2030ies



più lontano:

1) ILC: International Linear Collider (Giappone ?)

0.5 - 1 TeV e^+e^-

2) CLIC: Compact Linear Collider (CERN ?)

~ 3 TeV e^+e^-

3) FCC: Future Circular Collider (CERN ? Cina ?)

~ 100 TeV pp

~ 0.5 TeV e^+e^-

FCC Study Kickoff Meeting

Geneva 12-15 Feb. 2014

First FCC Week Conference

Washington (DC) 23-27 March 2015

il lavoro non manca ...
... magari anche per qualcuno di voi

Grazie per la pazienza