



la scoperta del Bosone di Higgs

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

Roberto Ferrari
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Bardi, 13 dicembre 2014



Persint

Indice

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 ...





Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC^{1,2}

ATLAS Collaboration^a

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

ARTICLE INFO

Article history:
Received 31 July 2012
Received in revised form 8 August 2012
Accepted 11 August 2012
Available online 14 August 2012
E-mail: W. D. Sereno

ABSTRACT

A search for the Standard Model Higgs boson in proton–proton collisions with the ATLAS detector at the LHC is presented. The dataset corresponds to an integrated luminosity of approximately 4.8 fb⁻¹ collected at $\sqrt{s} = 7$ TeV in 2011 and 5.8 fb⁻¹ at $\sqrt{s} = 8$ TeV in 2012. Individual searches in the channels $H \rightarrow ZZ^{(0)} \rightarrow 4\ell$, $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow WW^{(0)} \rightarrow e\nu\mu\nu$ 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 analyses 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 5.9 standard deviations, corresponding to a background fluctuation probability of 1.7×10^{-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 programmes.

Indirect limits on the SM Higgs boson mass of $m_H < 158$ GeV at 95% confidence level (CL) have been set using global fits to precision electroweak results [12]. Direct searches at LEP [13], the Tevatron [14–16] and the LHC [17,18] have previously excluded, at 95% CL, a SM Higgs boson with mass below 500 GeV, apart from some mass regions between 116 GeV and 127 GeV.

Both the ATLAS and CMS Collaborations reported searches 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 (σ), 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 significance for $m_H = 125$ GeV are 2.7 σ for CDF [14], 1.1 σ for D0 [15] and 2.8 σ for their combination [16].

The previous ATLAS searches in 4.5–4.8 fb⁻¹ of data at $\sqrt{s} = 7$ TeV are combined here with new searches for $H \rightarrow ZZ^{(0)} \rightarrow 4\ell$,³ $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow WW^{(0)} \rightarrow e\nu\mu\nu$ in the 5.8–5.9 fb⁻¹ of pp collision data taken at $\sqrt{s} = 8$ TeV between April and June 2012.

The data were recorded with instantaneous luminosities up to 6.8×10^{33} cm⁻²s⁻¹; 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 $H \rightarrow WW^{(0)} \rightarrow e\nu\mu\nu$ channel, the increased pile-up deteriorates the event mixing transverse momentum, E_T^{miss} , resolution, which results in significantly larger Drell–Yan background in the same-flavour final states. Since the $e\mu$ 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 constructed 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 analysis of the $H \rightarrow ZZ^{(0)} \rightarrow 4\ell$, $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow WW^{(0)} \rightarrow e\nu\mu\nu$ 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 asymmetric 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 (pseudorapidity⁴ $|\eta| < 1.475$) 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 η to facilitate e/γ separation from π^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 region ($3.2 < |\eta| < 4.9$) is 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/μ 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 gg^f), vector-boson fusion ($qq^* \rightarrow gg^f H$, denoted VBF) and Higgs-strahlung ($qq^* \rightarrow WH, ZH$, denoted WH/ZH^s). The small contribution from the associated production with a b pair ($gg^f \rightarrow b\bar{b}H$, denoted $b\bar{b}H$) is taken into account only in the $H \rightarrow \gamma\gamma$ analysis.

For the gg^f 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. *PYTHIA indicates the PYTHIA6 and PYTHIA8 are used for simulation at $\sqrt{s} = 7$ TeV and $\sqrt{s} = 8$ TeV, respectively.

Process	Generator
gg^f, VBF	POWHEG [27,28] + PYTHIA
$WH, ZH, b\bar{b}H$	PYTHIA
$W + jets, Z/\gamma^* + jets$	ALPGEN [29] + HERWIG
$t\bar{t}, W, Z$	MC@NLO [30] + HERWIG
$t\bar{t}$	AceMC [31] + PYTHIA
$B \rightarrow WW$	MC@NLO + HERWIG
$B \rightarrow WZ$	ggMCW [32] + HERWIG
$B \rightarrow ZZ$	POWHEG [33] + PYTHIA
$EE \rightarrow ZZ$	ggZZ [34] + HERWIG
WZ	MadGraph + PYTHIA, HERWIG
$W\gamma + jets$	ALPGEN + HERWIG
$W\gamma^* (G)$	MadGraph + PYTHIA
$W/Z \rightarrow e/\mu$	SHiP

leading order (NLO) electroweak (EW) corrections are applied [29, 30], as well as QCD soft-gluon re-summation at up to next-to-next-to-leading order (NNLL) [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 gg^f process follows the k_T^2 calculation [36], which includes QCD corrections at NLO and QCD soft-gluon re-summation up to NNLL; the effects of finite 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 $b\bar{b}H$ 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 PROSPERITY [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], PYTHIA6 [59] (for 7 TeV samples) and 8 TeV samples produced with MadGraph [70,71] or AcerMC or PYTHIA8 [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 PYTHIA6 or HERWIG are used, TAUOLA [76] and PHOTOS [77] are employed to describe b and c lepton decays and additional photon radiation from charged leptons, respectively.

The following parton distribution function (PDF) sets are used: CT10 [78] for the POWHEG, MC@NLO, ggZZW and ggZZZ samples; CTEQ6.1 [79] for the PYTHIA6, ALPGEN, AcerMC, MadGraph, HERWIG and SHERPA samples; and MST2MC1 [80] for the PYTHIA8 samples.

Acceptances and efficiencies are obtained mostly from full simulations of the ATLAS detector [81] using GEANT4 [82]. These simulations include a realistic modelling of the pile-up conditions observed in the data. Corrections obtained from measurements in

^a © CERN for the benefits of the ATLAS Collaboration.
^b E-mail address: atlas.physics@cern.ch.

0520-0818/\$ – see front matter © Elsevier B.V. All rights reserved.
http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2012.08.020

¹ The system $\bar{t}t$ search for electrons or muons.

² ATLAS uses a right-handed coordinate system with its origin at the nominal interaction point (IP), 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 ATLAS ring, and the y -axis points upwards. Pseudorapidity coordinates η, θ are used in the transverse plane, θ being the azimuthal angle around the beam-line. Coordinates denoted “transverse” are projections into the x - y plane. The pseudorapidity is defined in terms of the polar angle θ as $\eta = -\ln \tan(\theta/2)$.

gli autori della scoperta (ATLAS)

3000 "miei" collaboratori + altrettanti in CMS

A small, dense list of names, likely representing a subset of the ATLAS collaboration members.A small, dense list of names, likely representing a subset of the ATLAS collaboration members.A small, dense list of names, likely representing a subset of the ATLAS collaboration members.A small, dense list of names, likely representing a subset of the ATLAS collaboration members.A small, dense list of names, likely representing a subset of the ATLAS collaboration members.A small, dense list of names, likely representing a subset of the ATLAS collaboration members.A small, dense list of names, likely representing a subset of the ATLAS collaboration members.A small, dense list of names, likely representing a subset of the ATLAS collaboration members.A small, dense list of names, likely representing a subset of the ATLAS collaboration members.A small, dense list of names, likely representing a subset of the ATLAS collaboration members.A small, dense list of names, likely representing a subset of the ATLAS collaboration members.A small, dense list of names, likely representing a subset of the ATLAS collaboration members.

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



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

ATLAS
Collaboration



Paradiso e Inferno

Il Paradiso è dove:

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

L'Inferno è dove:

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

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.

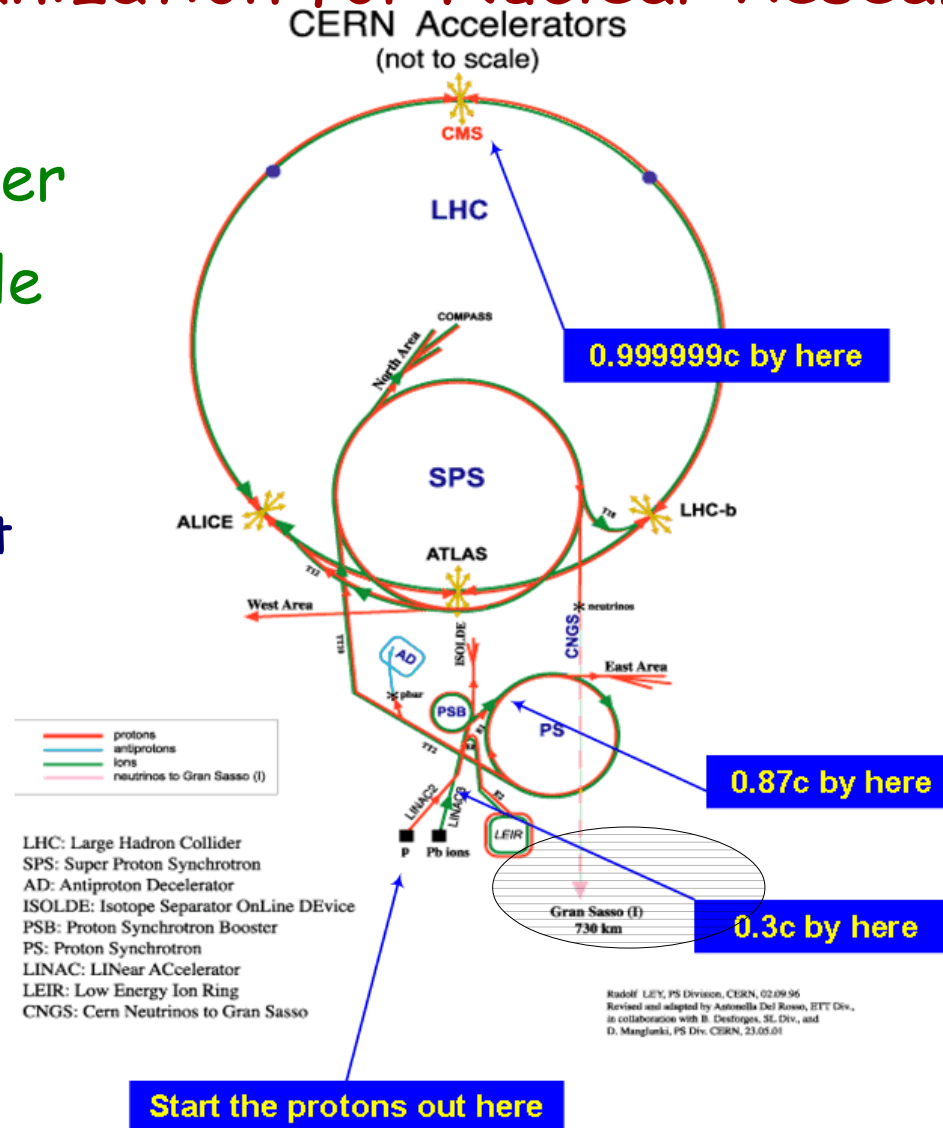
~ 5000 ricercatori, la maggior
parte universitari,
distribuiti in 16 regioni
diverse

CERN

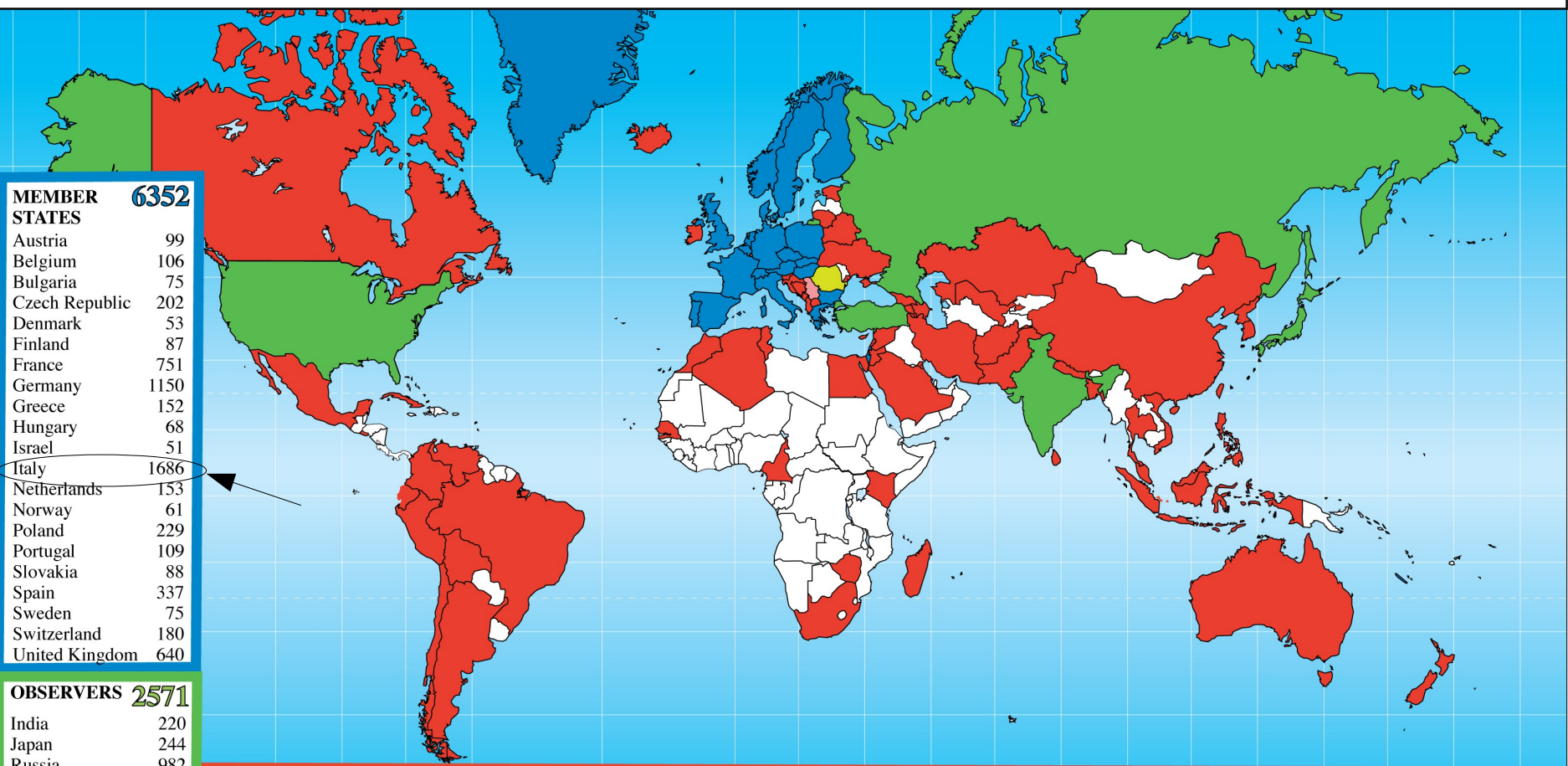
European Organization for Nuclear Research

Laboratorio europeo per la fisica delle particelle elementari

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



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

OTHERS

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

CANDIDATE FOR ACCESSION

Romania	118
---------	-----

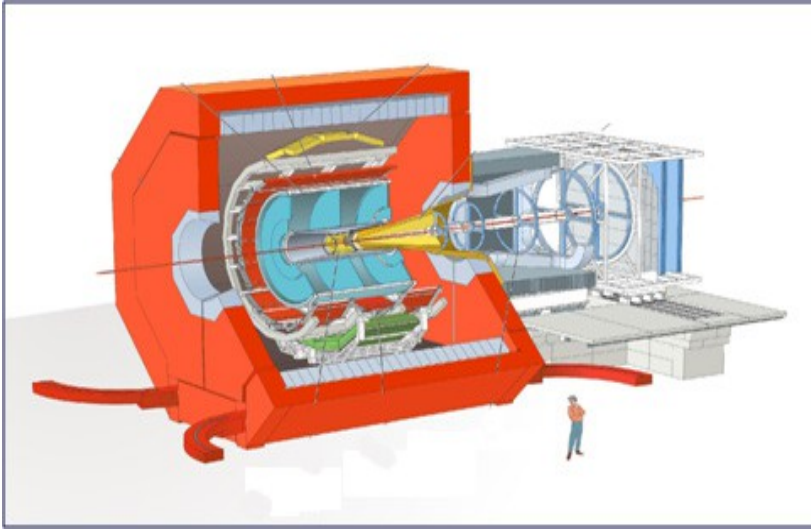
ASSOCIATE MEMBERS IN THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP

Serbia	41
--------	----

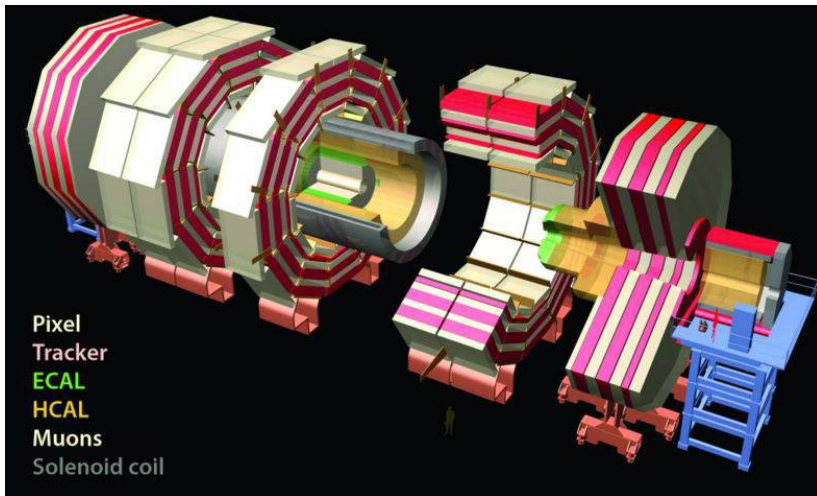
1415

esperimenti @ LHC [portavoce 2011]

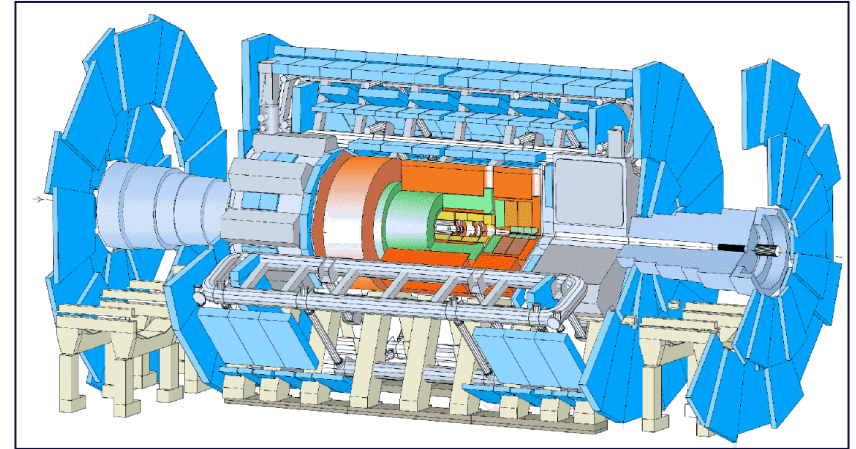
ALICE [Paolo Giubellino]



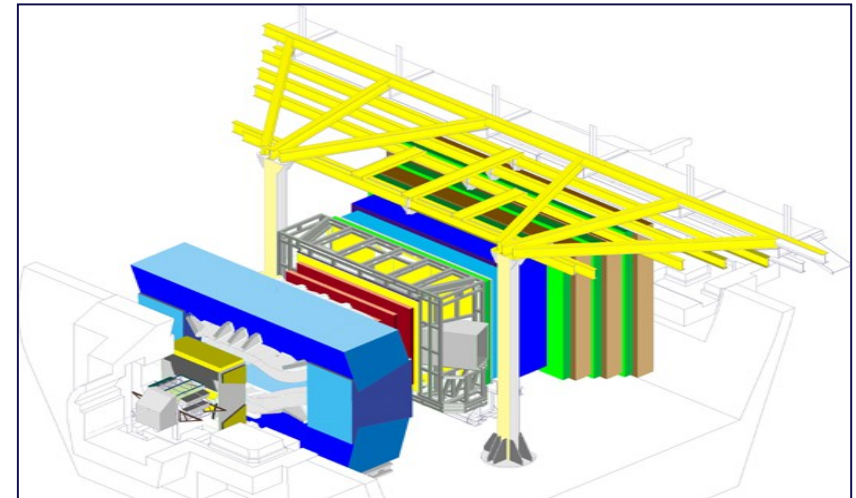
CMS [Guido Tonelli]



ATLAS [Fabiola Gianotti]



LHCb [Pierluigi Campana]



c'è anche qualche strajè ...



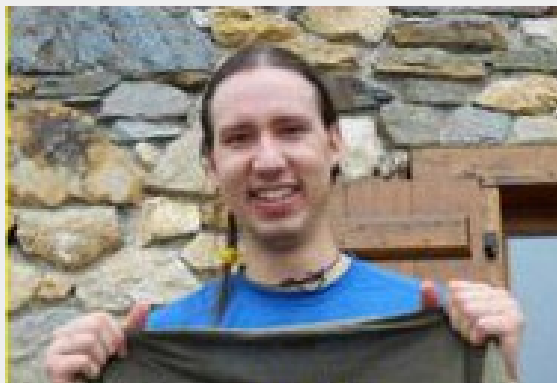
Giulia - liceo sc. Ulivi
ingegnere delle
telecomunicazioni (PR)



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)

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."

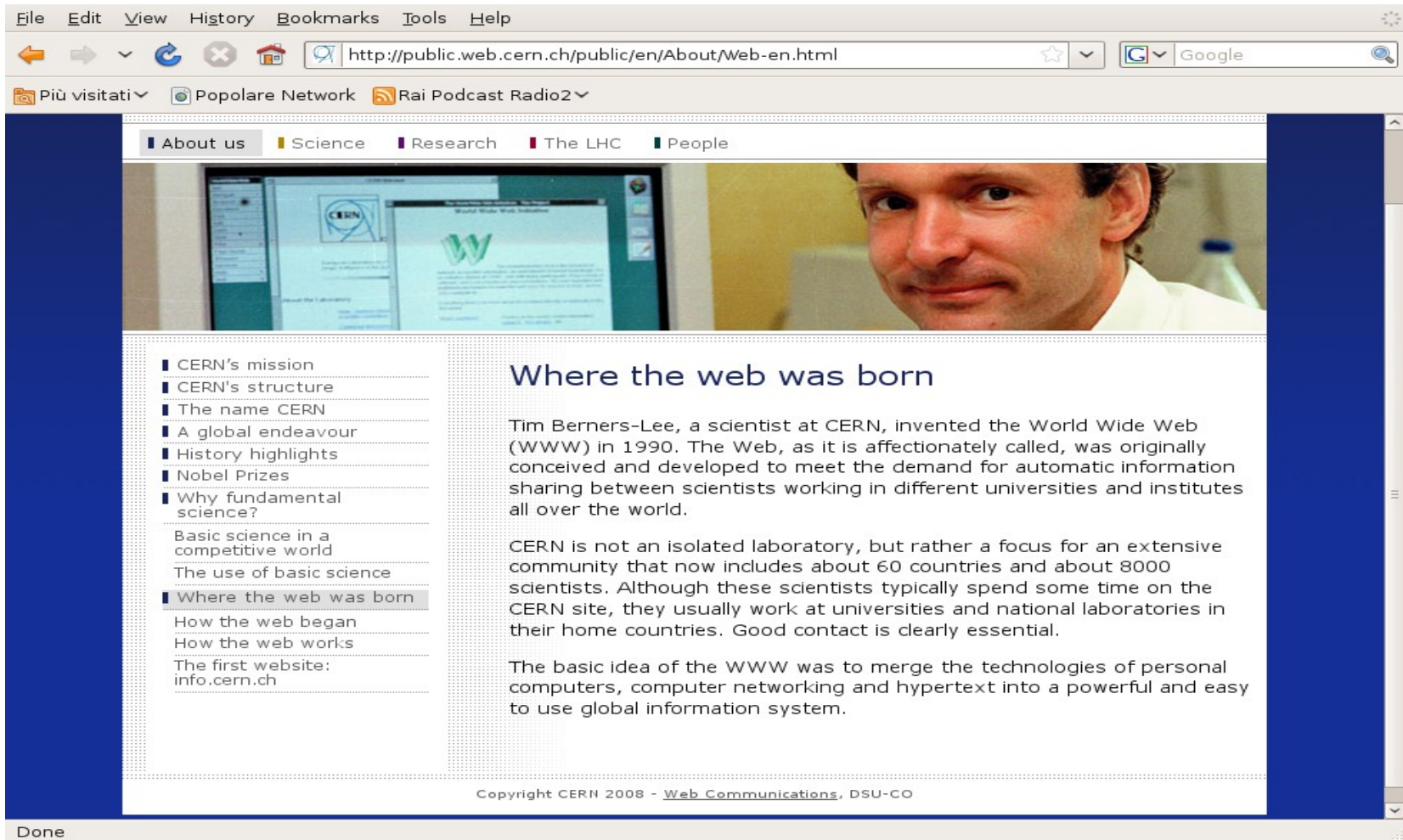
Faraday (1821, sulla induzione e.m.):

"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 →

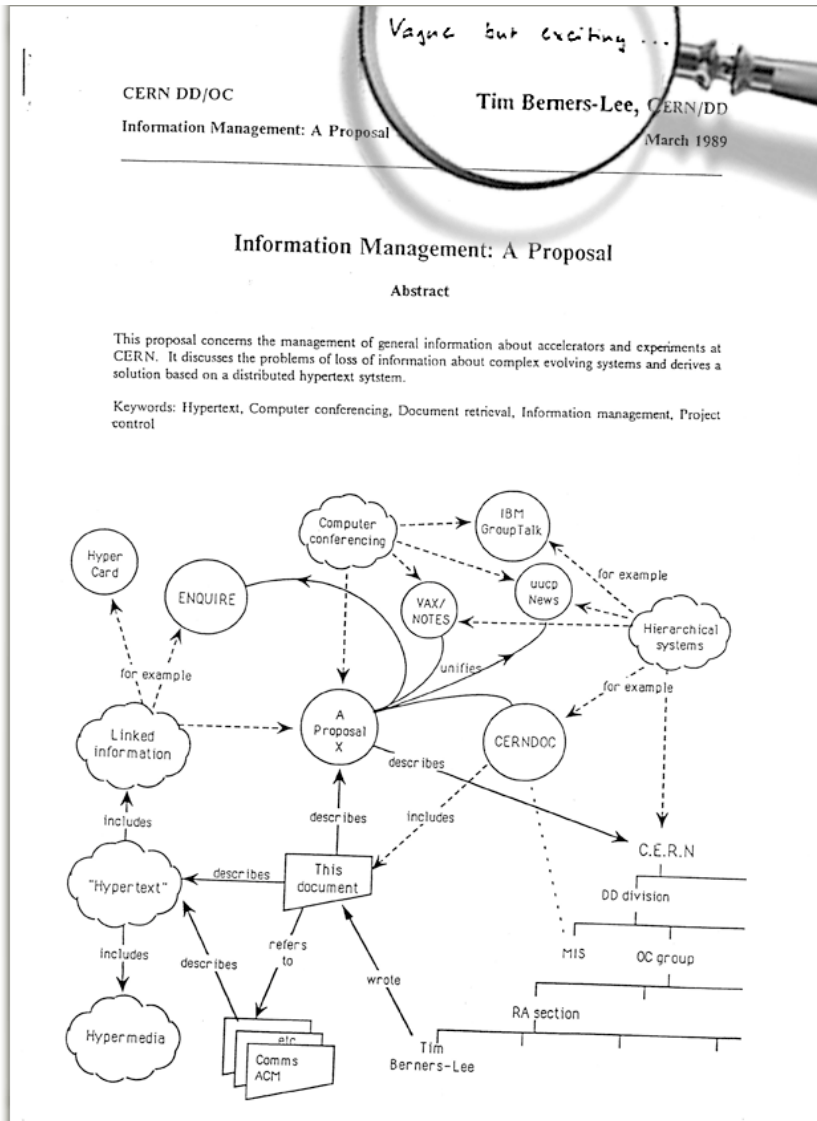
dove è nato il Web ?



The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying <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 icons and a list of visited sites including 'Più visitati', 'Popolare Network', and 'Rai Podcast Radio2'. The main content area features a navigation menu with links for 'About us', 'Science', 'Research', 'The LHC', and 'People'. A large image shows a man in a white shirt 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 content area has the heading 'Where the web was born' and 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.' At the bottom of the page, it says 'Copyright CERN 2008 - Web Communications, DSU-CO'. The browser's status bar at the bottom left shows 'Done'.

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"

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.

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

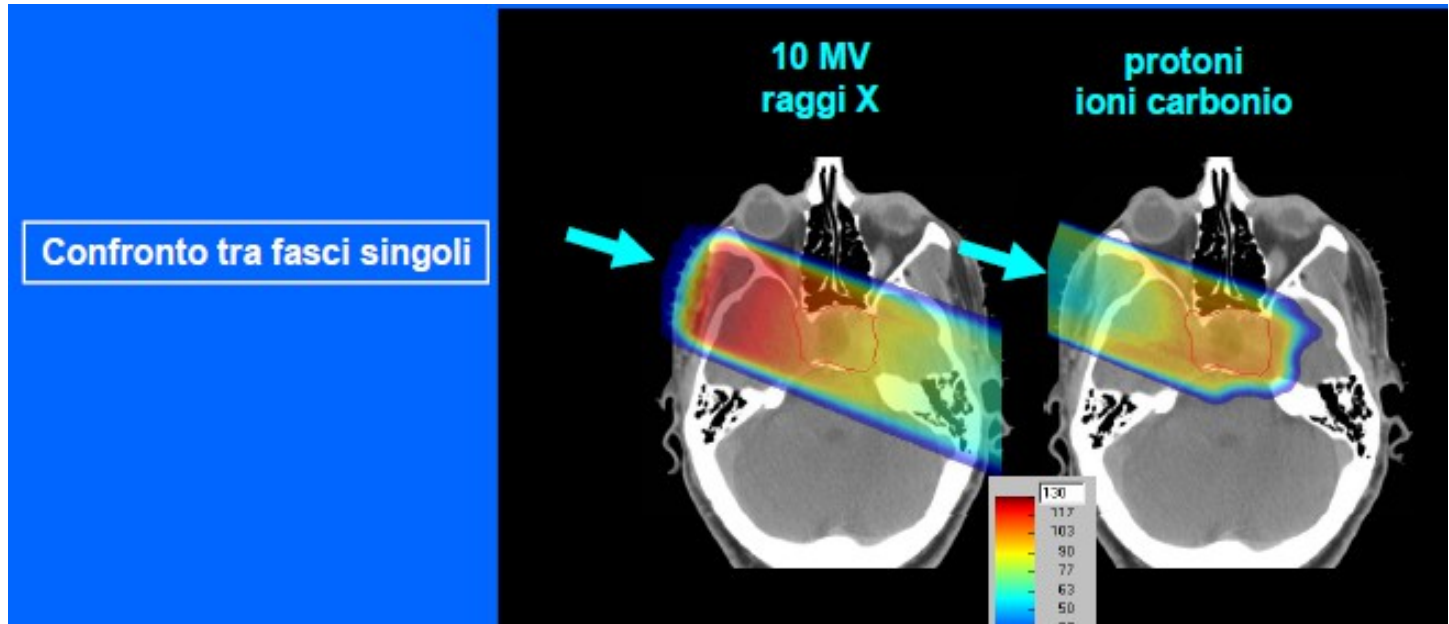


adroterapia oncologica



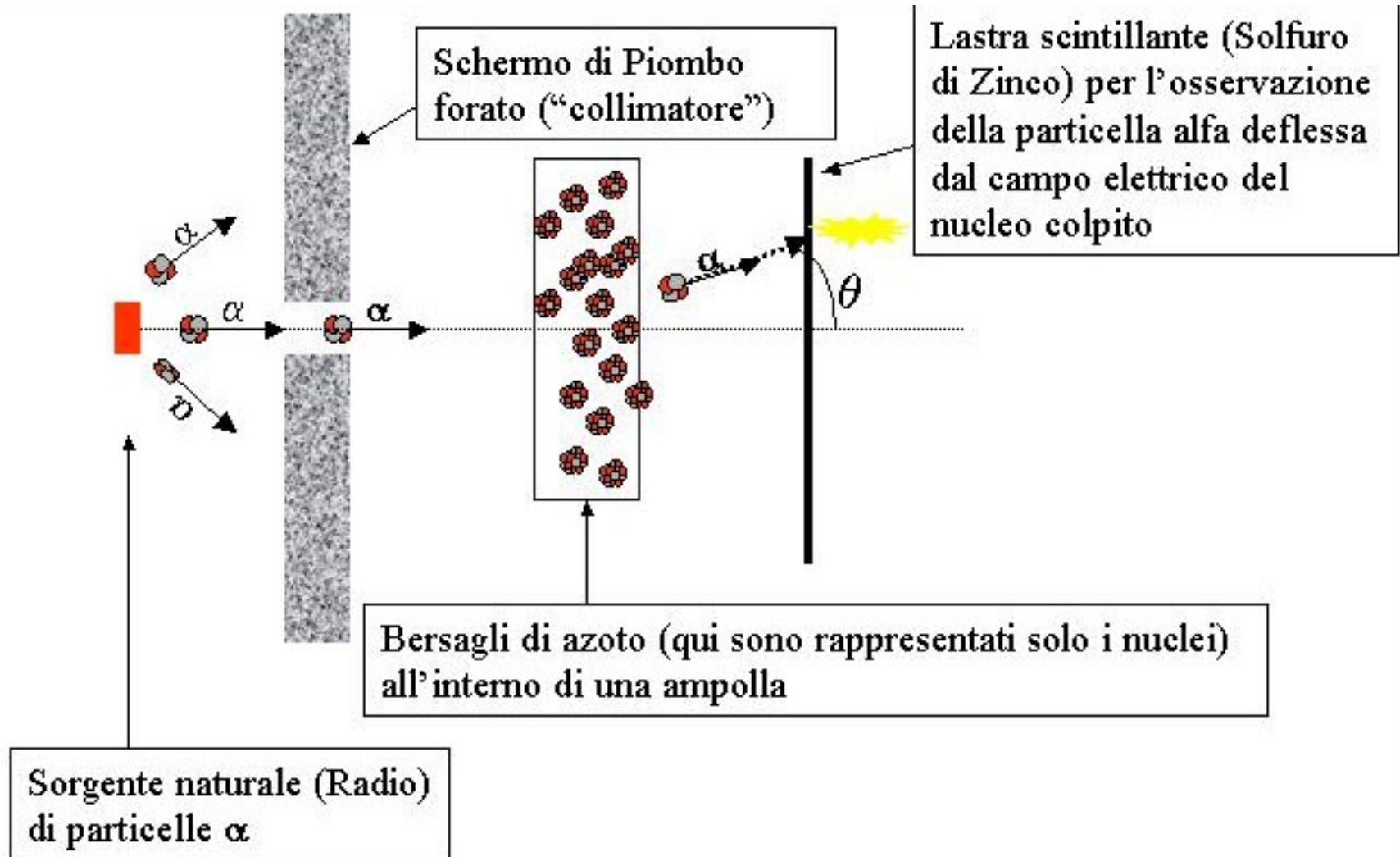
proposta da
Bob Wilson
nel 1946

Vantaggi
macroscopici:



1. perché
(cerchiamo il bosone di Higgs) ?

l'esperimento di Rutherford (1909-1911)



→ struttura dell'atomo

Atomo

Un nucleo pesante, formato da protoni e neutroni

+ una nube di particelle leggerissime (elettroni)

+ una forza (interazione) che li tiene assieme ("campo" elettrico)

→ elettromagnetismo classico → meccanica quantistica

→ Elettrodinamica Quantistica (QED)

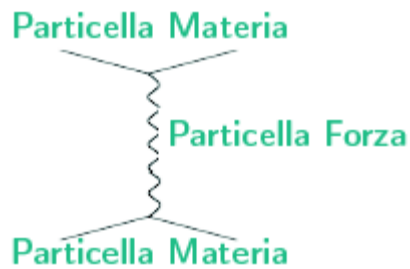
~1900 (Planck) → ~1960 (Feynmann, Schwinger, Tomonaga)

mediatore del campo: fotone

mediatori

Forza (o interazione) → lavoro ovvero trasferimento energia

Azione a distanza ? No → mediatori della forza



es. 1: interazione e.m. : fotoni

es. 2: interazione nucleare forte : pioni

[previsione: 1935 → scoperta: 1947]

es. 3: interazione nucleare debole : W/Z

[previsione: ~1965 → scoperta: 1983]

Nucleo

Nucleoni (protoni e neutroni) + forza (campo) nucleare

- protoni e neutroni sono oggetti compositi
- la forza è il residuo di una interazione più fondamentale

→ mattoni fondamentali: quark (up, down, strange, ...)

→ CromoDinamica Quantistica (QCD)

~1935 (Yukawa) → ~2004 (Gross, Politzer, Wilczek)

carica elettrica → colore

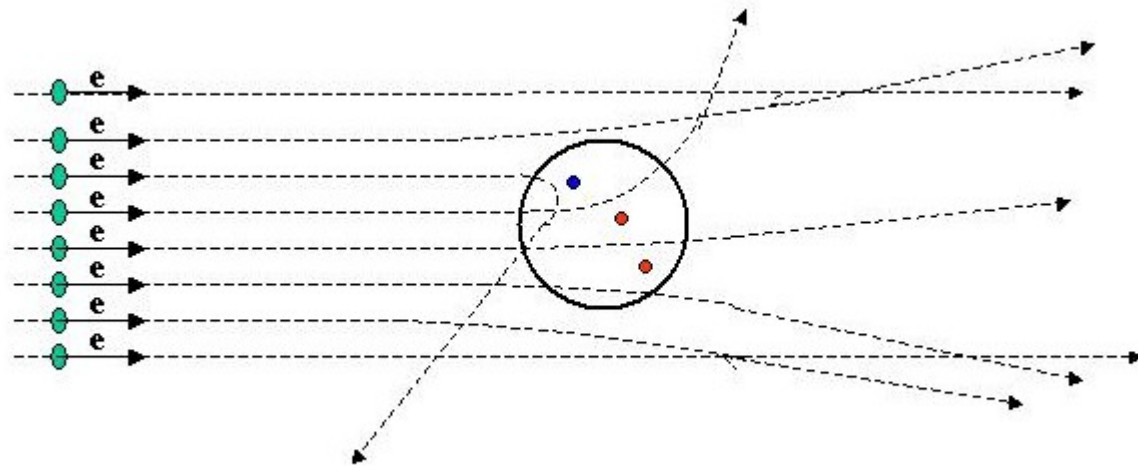
carica di colore \gg carica elettrica

mediatori: fotoni → gluoni

nucleo \rightarrow nucleoni \rightarrow quark

1969 Stanford Linear Accelerator (SLAC)

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

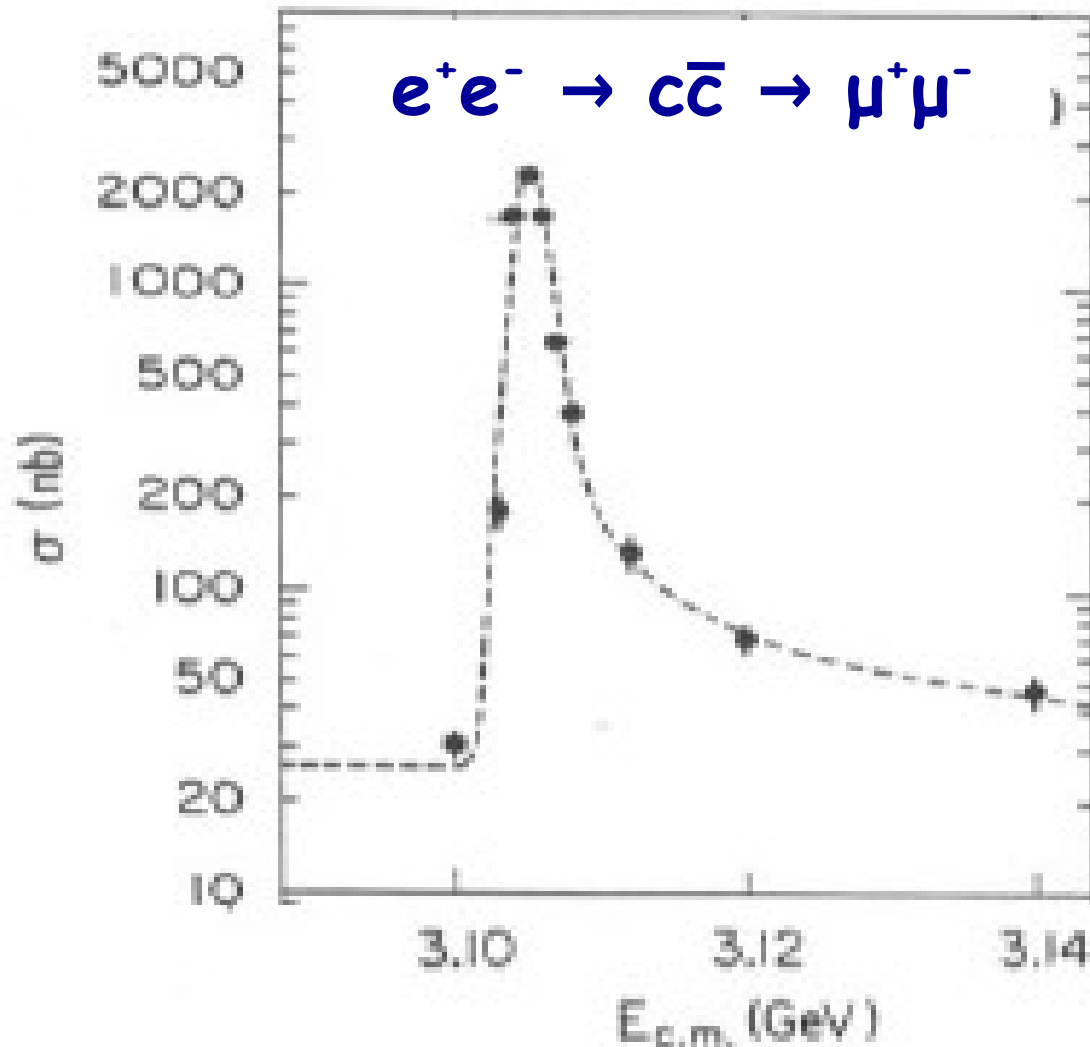


Si parte con 3 quark: u,d,s

protone: uud neutrone: udd

il quark charm

SLAC e^+e^- ring (SPEAR)



1974: J/ψ
(stato legato $c\bar{c}$)

... quando la
sfiga ...

Adone (LNF)



i decadimenti deboli

Classe di fenomeni in cui particelle si trasformano in altre (decadono):

$n \rightarrow p e^- \bar{\nu}$ neutrone (quark down) \rightarrow protone (quark up)

$c \rightarrow s e^+ \nu$ quark charm \rightarrow quark strange

$s \rightarrow u e^- \bar{\nu}$ quark strange \rightarrow quark up

modi e tempi \rightarrow nuova forza (interazione debole) \rightarrow mediatori:
nuove particelle elementari (W^+ e W^-)

Classe di fenomeni simili (1973): correnti neutre $\rightarrow Z^0$

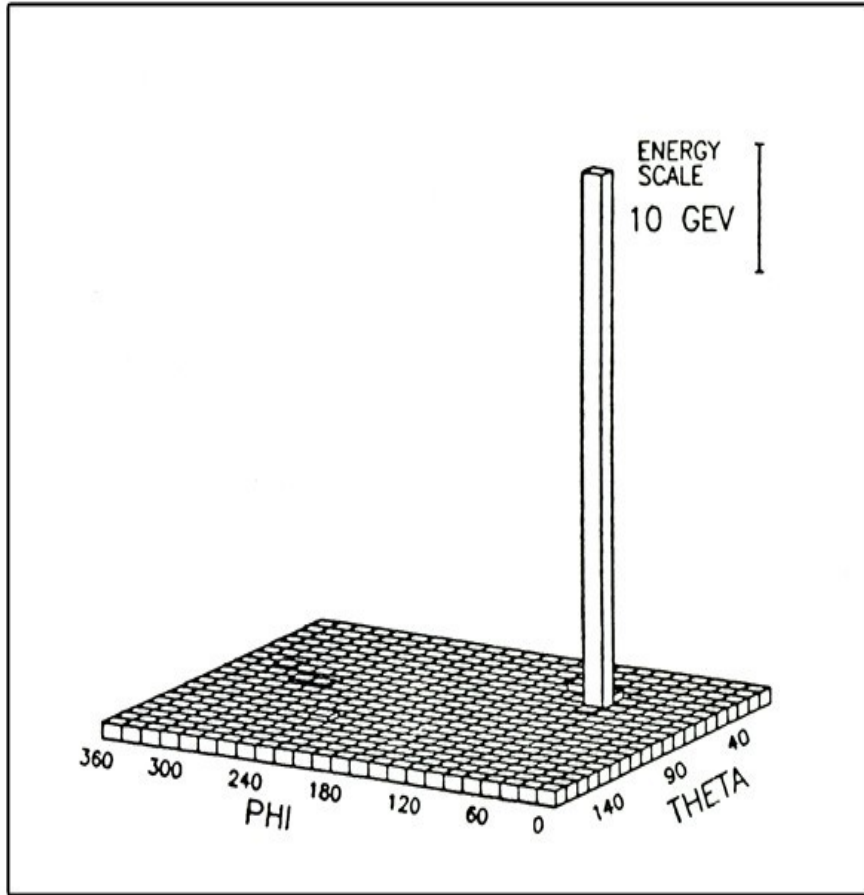
\rightarrow Teoria ElettroDebole (EWT)

carica elettrica \rightarrow carica debole

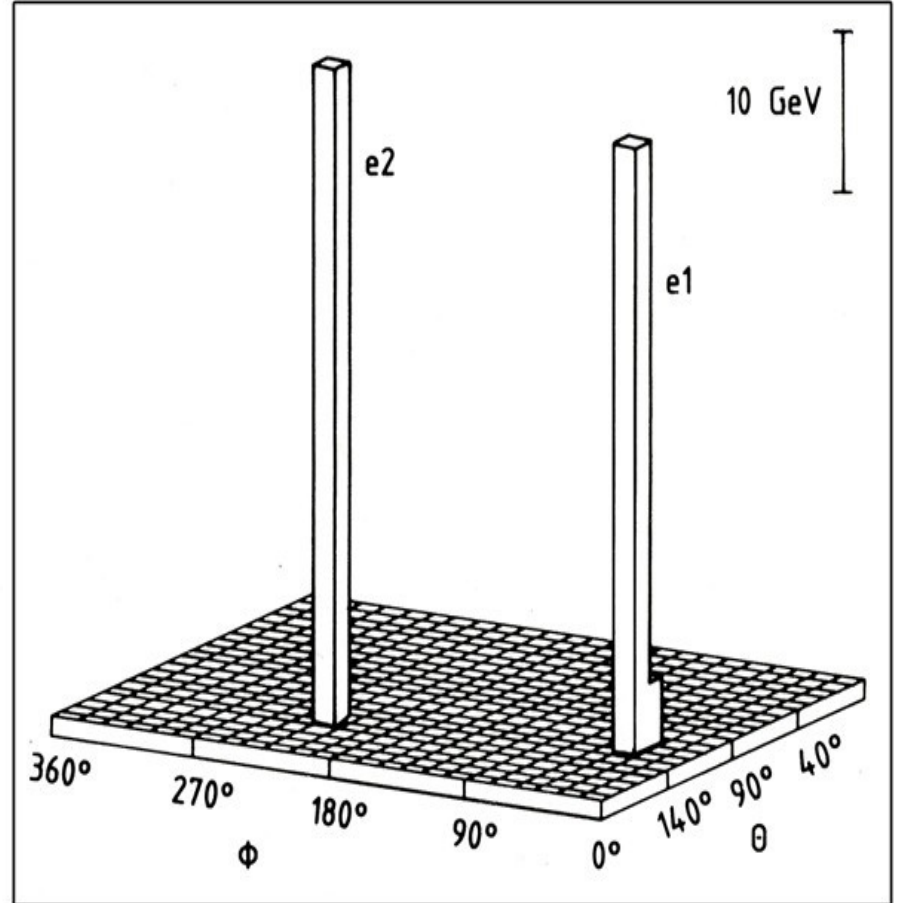
carica debole \sim carica elettrica

mediatori: fotoni $\rightarrow W^\pm/Z^0$

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 e Z ?

W → interazioni cariche: scambio energia ma anche carica elettrica



Z → interazioni neutre: scambio energia ma non carica



parenti delle interazioni elettromagnetiche ... ma:

$$M_W \text{ e } M_Z \gg 0 ! \rightarrow M_W \sim 80 M_{\text{protone}} \quad M_Z \sim 90 M_{\text{protone}}$$

quasi due volte la massa di un nucleo di ferro!

→ il campo debole non si propaga alla velocità della luce!

* le equazioni diventano incoerenti e inutilizzabili *

possibile soluzione: + nuova forza e (almeno) un nuovo mediatore associato ad essa

meccanismo di Brout-Englert-Higgs

1) un campo di forza permea lo spazio ovunque uniformemente

2) le diverse particelle sono più o meno note al campo (più sono note = più fortemente interagiscono)

- immaginate questo campo 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 acquireranno

- particelle senza massa continueranno a muoversi senza freni (alla velocità della luce)

il Bosone di Higgs

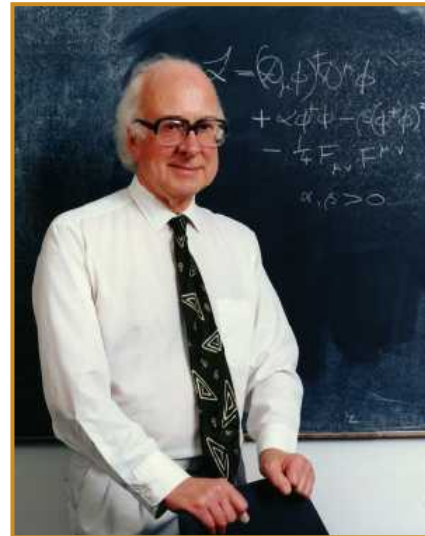
- il campo frena le particelle, come la gelatina frena un proiettile



- 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



il nome del bosone ...

diverse scuole di pensiero:

1) bosone di Higgs

2) bosone BEH (Brout-Englert-Higgs) → premio Nobel

3) bosone BEGHK (Brout-Englert-Higgs-Guralnik-
Hagen-Kibble)

4) bosone scalare del modello standard

ipotizzato per la prima volta nel 1964 (da Peter Higgs)

bosoni / fermioni

Due categorie di particelle:

a) Fermioni: mai più di una particella in ogni stato quantico accessibile (principio di esclusione di Pauli)

→ regole della statistica di Fermi-Dirac:

particelle di tipo "materia" (quark, elettroni, neutrini, ...)

b) Bosoni: qualsiasi numero di particelle in ogni stato quantico accessibile

→ regole della statistica di Bose-Einstein

particelle di tipo "forza" (fotoni, gluoni, W, Z, H, ...)

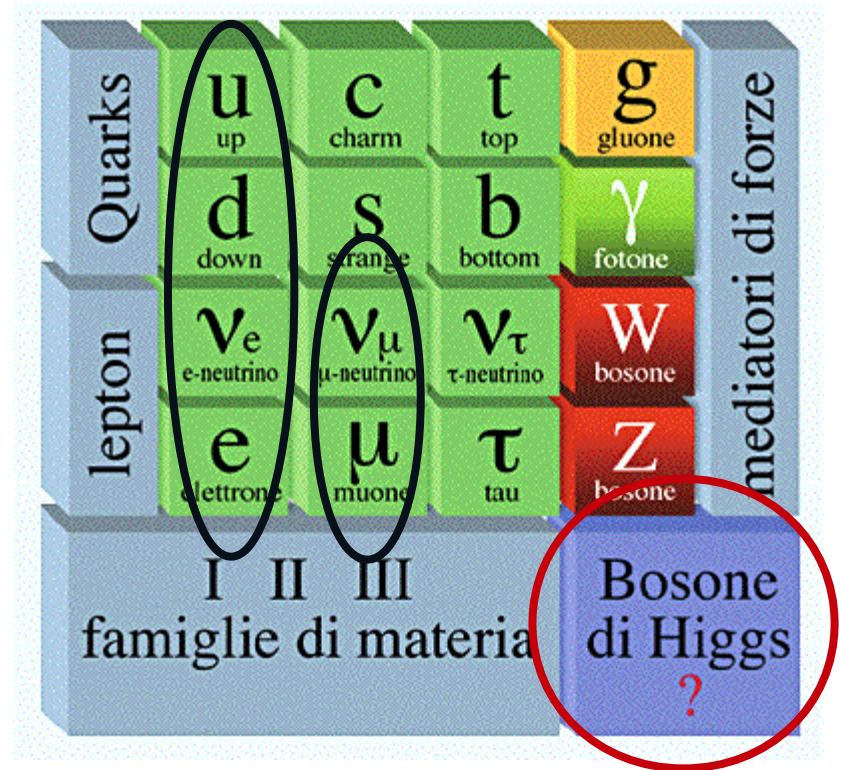
il Modello Standard (tavola periodica degli elementi)

- particelle "materia" e particelle "forza" (+ relative antiparticelle)
- tre famiglie di materia
- mondo conosciuto fatto della prima (e un po' di seconda)

3 forze (intensità relativa):

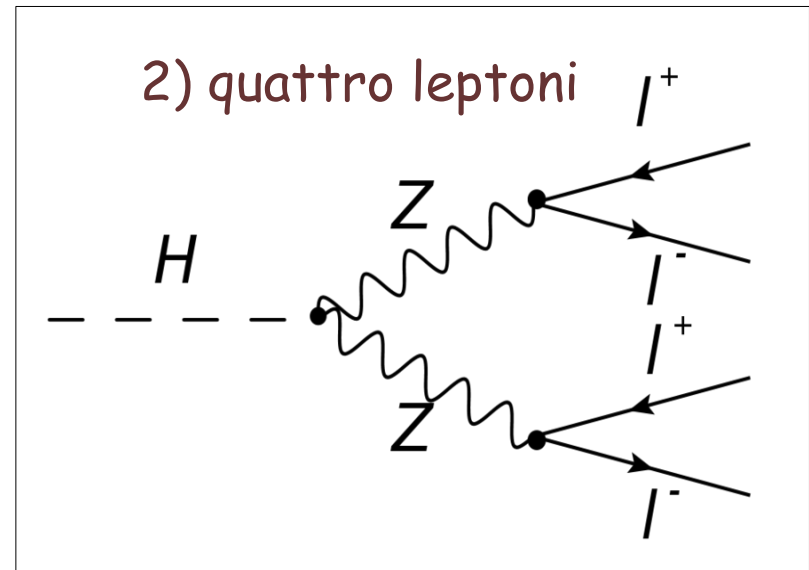
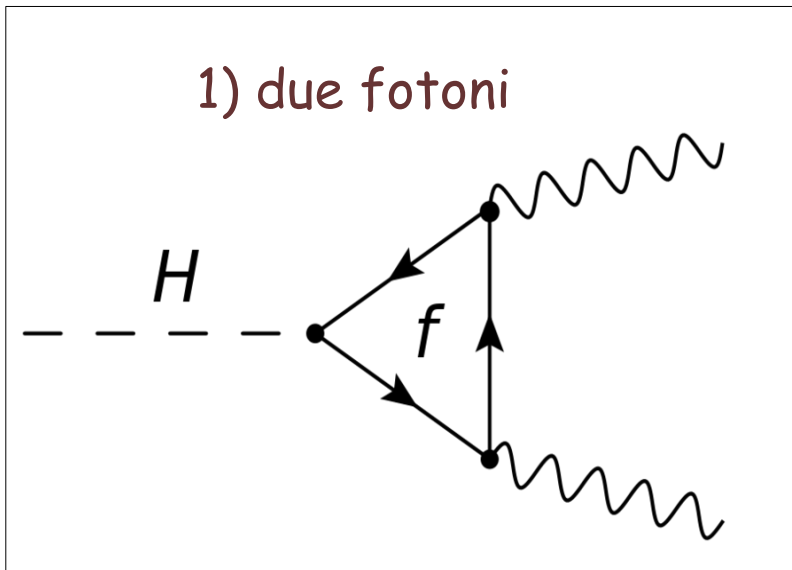
- Forza nucleare forte (1)
- Forza nucleare debole (10^{-5})
- Forza elettromagnetica (10^{-2})

- *Non pervenuta: Gravità (10^{-36})*



la vita (spericolata) del Bosone di Higgs

- 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

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
(cerchiamo il bosone di Higgs) ?

prima di tutto bisogna crearlo ...

... fosse facile ...

Serve energia libera sufficiente a dargli la massa [$E = mc^2$]:
un collisionatore di particelle!

- a) particelle accelerate ad altissima energia
- b) urti violentissimi ("urti profondamente inelastici")



cos'è un collider?

- Macchina che provoca scontri frontali tra particelle cariche accelerate ad alta energia



- Due serbatoi di energia:
 - cinetica [di movimento]
 - massa [$E = mc^2$]

cos'è un collider?

- Le particelle (o pezzi di esse) si annichilano ...

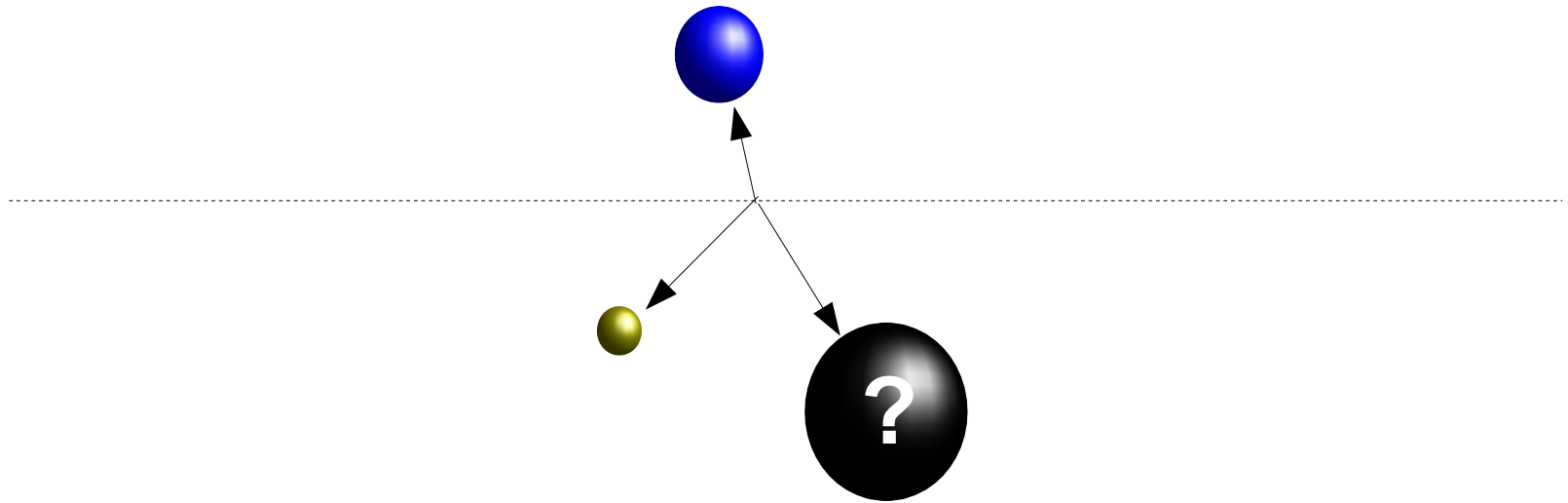


Annichilazione:

una coppia particella-antiparticella (ad es. elettrone-positrone) si fondono e liberano tutta la propria energia (inclusa la parte congelata nella massa)

cos'è un collider?

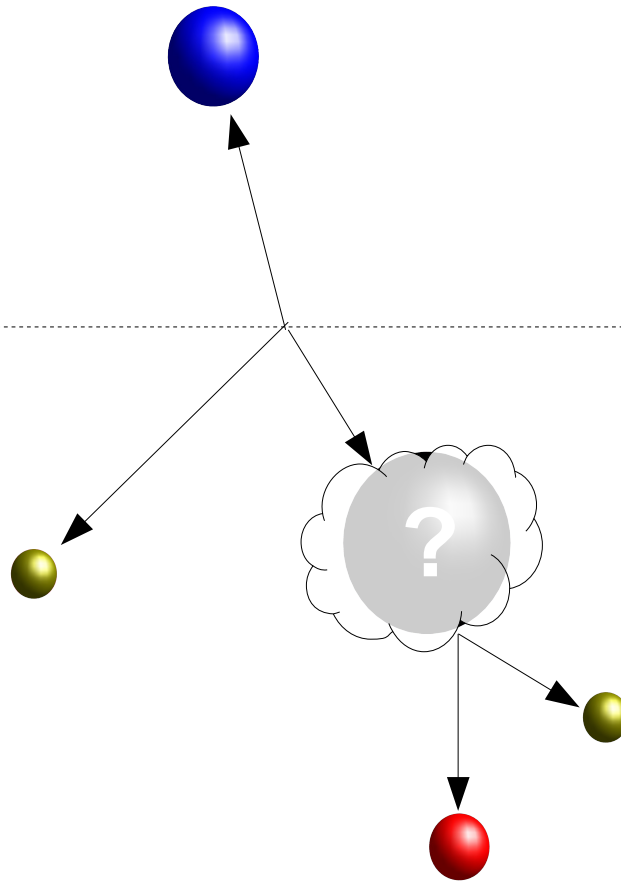
- ... l'energia così liberata può creare altre particelle, più pesanti e più rare (* se e quando tutte le regole della natura lo permettono *)



- aumenta l'energia degli urti → si apre la possibilità di creare particelle mai create prima ...

cos'è un collider?

- che - tipicamente - decadono subito in particelle più leggere, più stabili e ... già note



collider

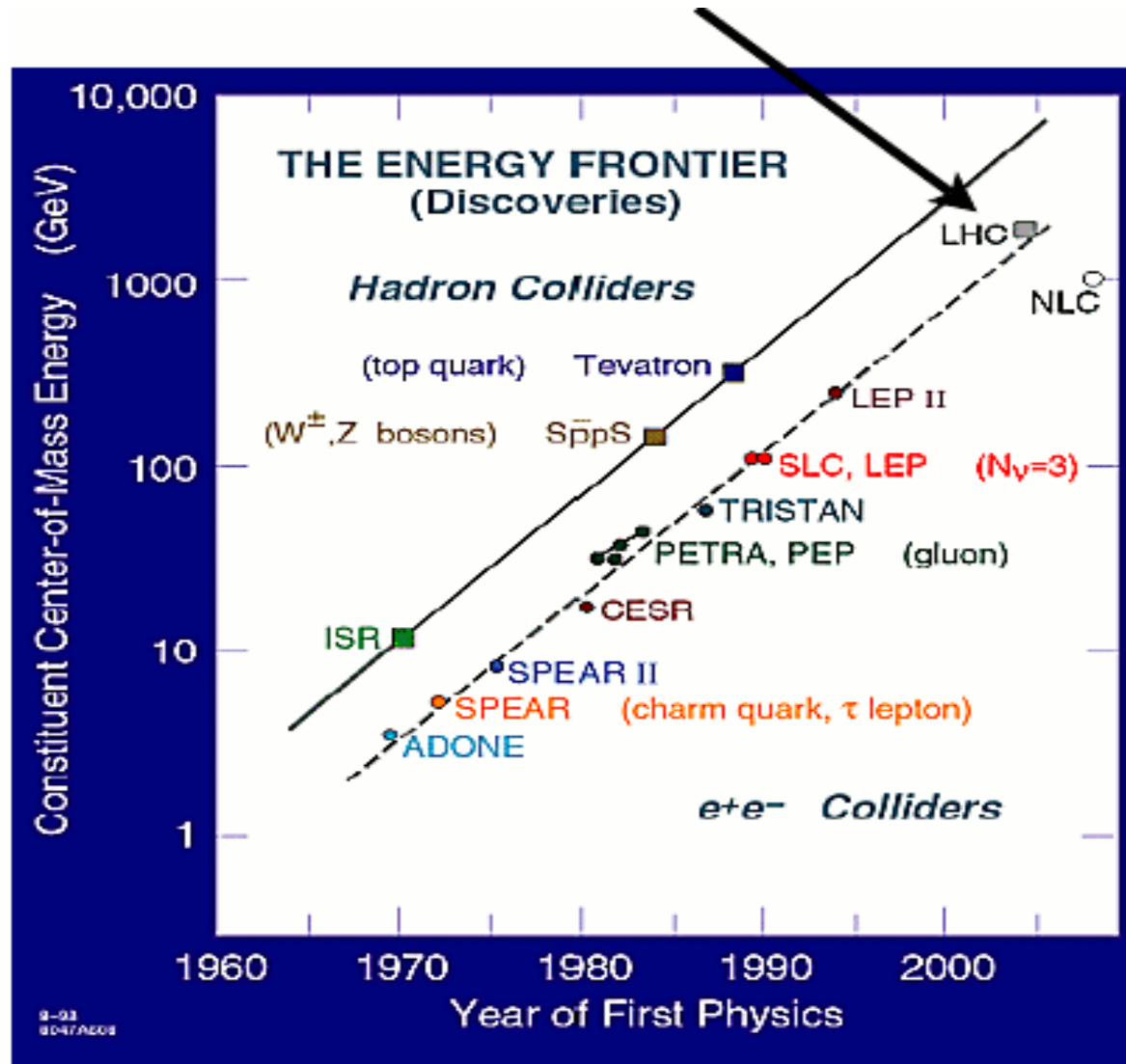
Due categorie:

e^+e^- [1]

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

[1]=pallettoni da
cinghiale

[2]=pallottole per
quaglie (tanti pallini)



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 ?

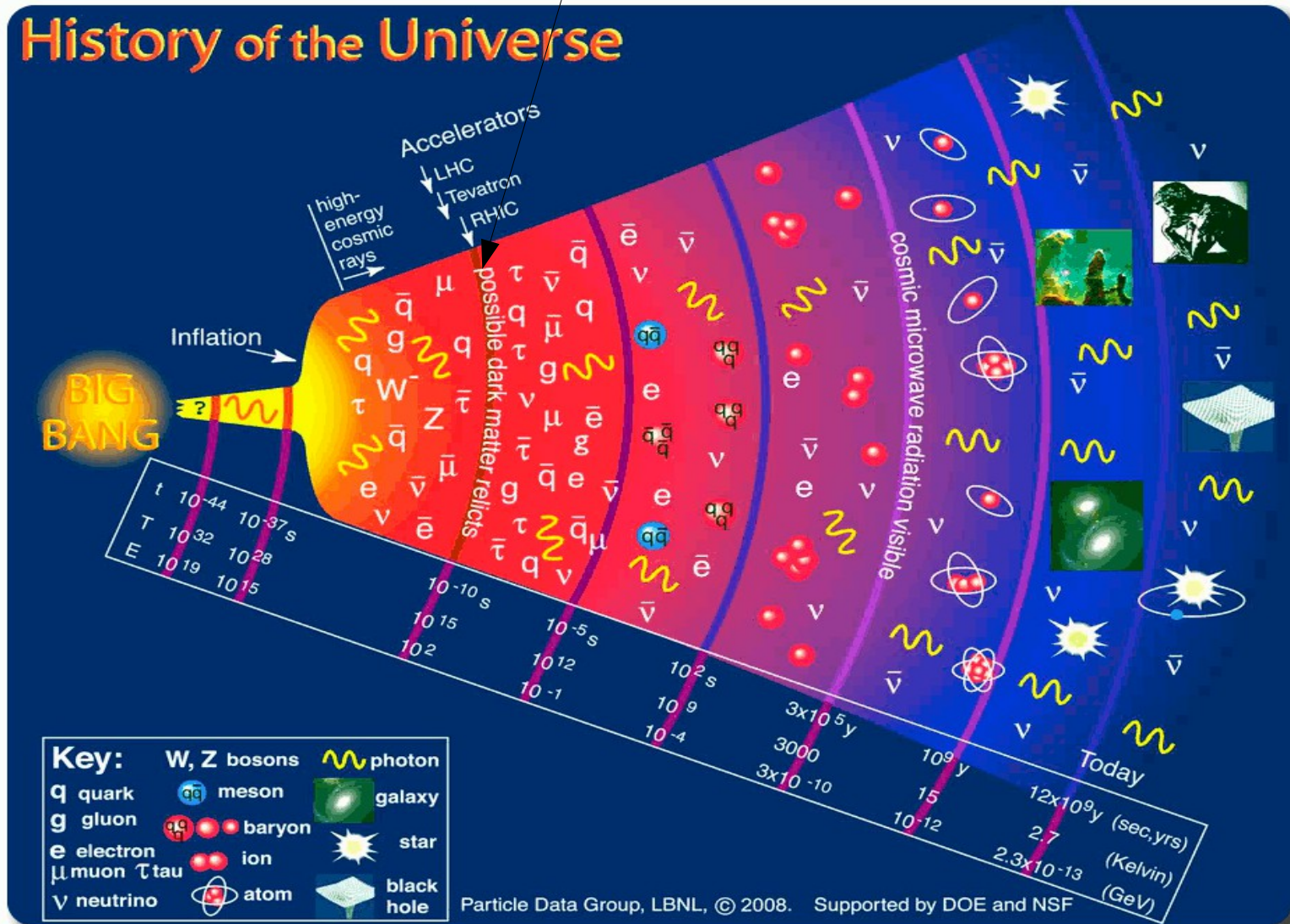
sottostruttura dei quark ?

dimensioni extra ?

stringhe ?



macchina del tempo



Qualche numero

- 27 km di circonferenza
- quasi 10000 magneti superconduttori
- un pacchetto (100 miliardi) di protoni ogni $\sim 7,5$ m (25 ns)
- ~ 3000 pacchetti per direzione
- ~ 11000 giri al secondo per pacchetto
- ~ 1 miliardo di scontri al secondo (20-30 scontri simultanei)

esperimenti a LHC: primi gruppi di lavoro nel 1987

→ R&D nel 1990-1994

→ costruzione 1997-2004

→ installazione 2004-2008

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 100 miliardi ciascuno)

elementi di un acceleratore (sincrotrone)

Campi magnetici (dipoli):

immaginate le catene del calcinulo

Campi elettrici (elettromagnetici → cavità a radiofrequenza):

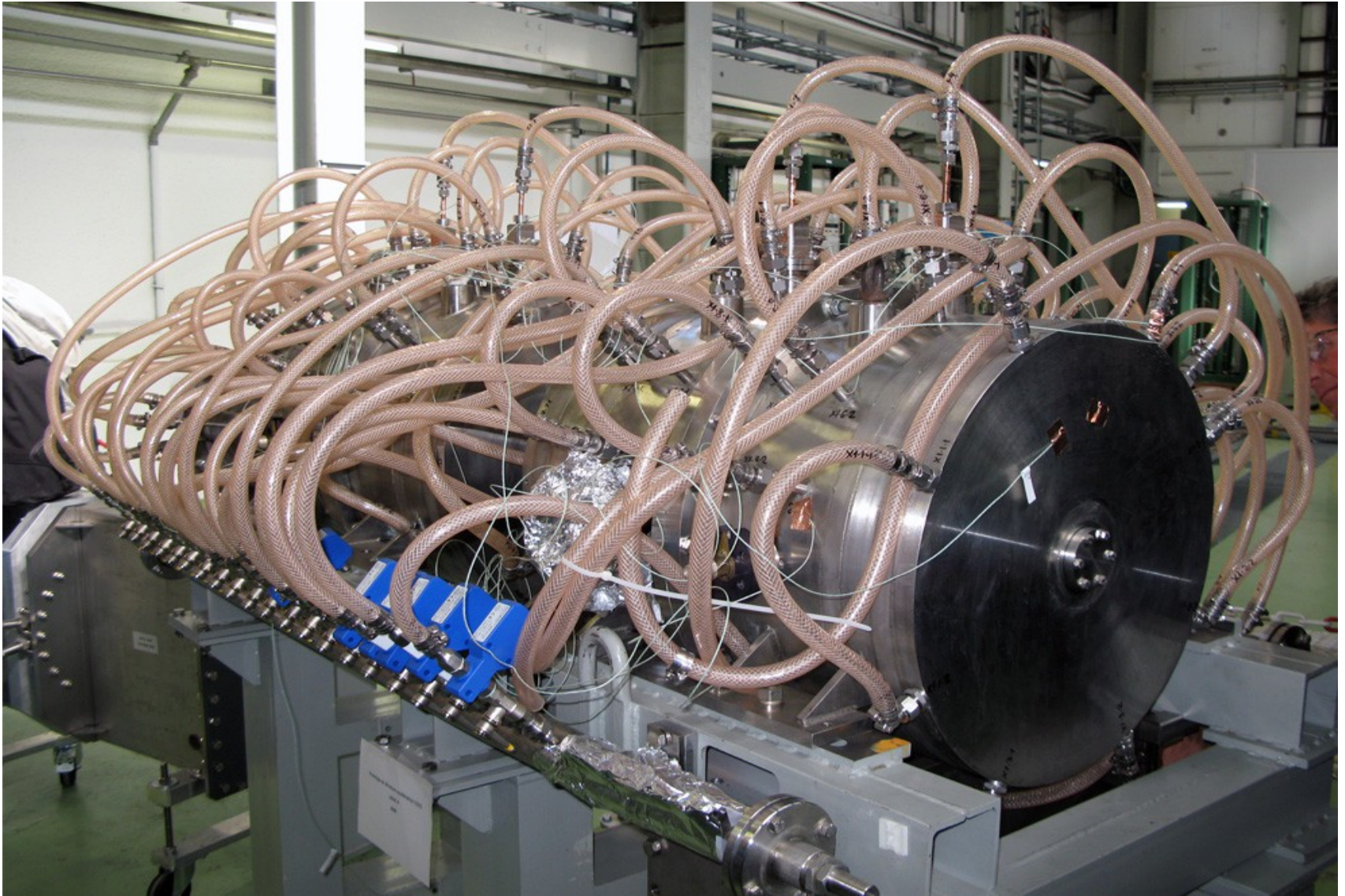
immaginate un braccio che dà una spinta ogni volta che un seggiolino gli passa davanti

spinge più forte chi va più piano !

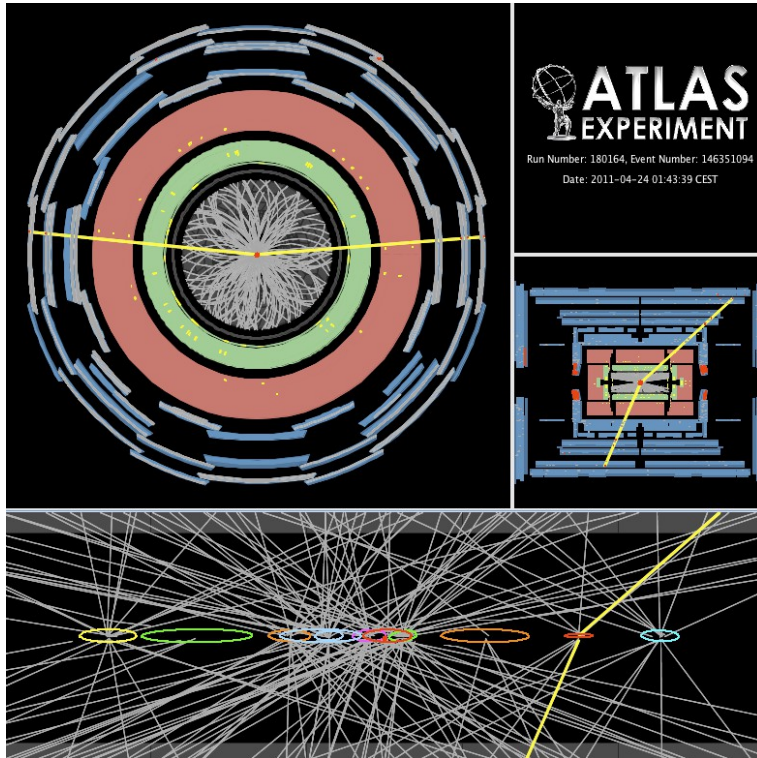
i dipoli



le cavità a radiofrequenza

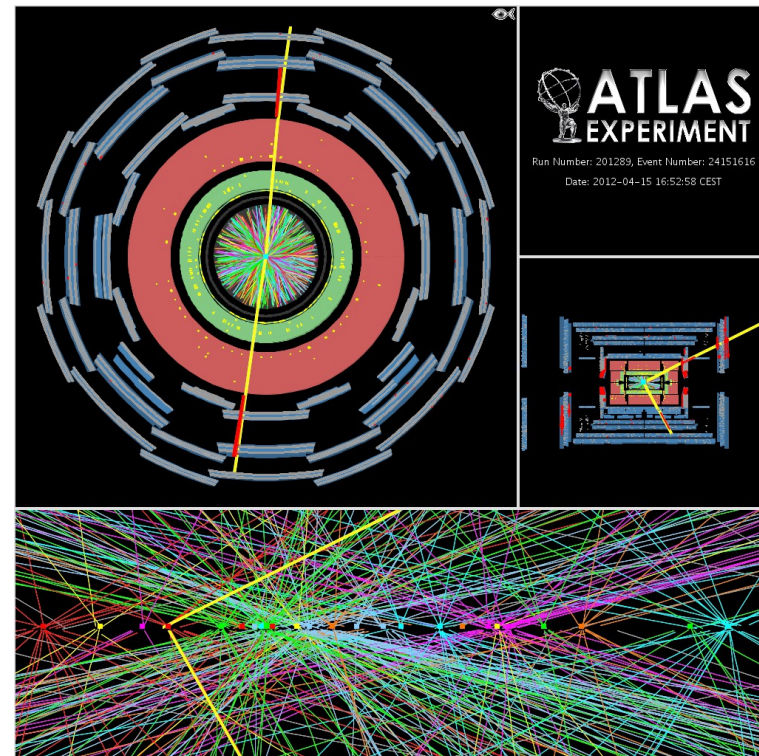


... foto di urti simultanei con Z^0 :



11 urti simultanei

25 urti simultanei



se anche si riesce a crearlo, poi
bisogna riuscire a vederlo ...

come è possibile ?

- 1) probabilità di creazione di un bosone di Higgs:
~ uno ogni 10 miliardi di urti
- 2) maggior parte dei decadimenti non rivelabili
- 3) stragrande maggioranza degli urti non contiene informazioni interessanti
- 4) in ogni caso, eventi di "rumore" (* identici a possibili decadimenti del bosone di Higgs *) estremamente più probabili (soprattutto attraverso le interazioni forti)
→ occorre una capacità di "selezione" molto efficace, ma non basta ...

un ago in migliaia di pagliai

Eventi interessanti contengono:

- a) un numero "piccolo" (1,2,3,4,...) di elettroni, muoni, fotoni, protoni di alta energia ...
- b) grande energia mancante (neutrini che non lasciano segnale)

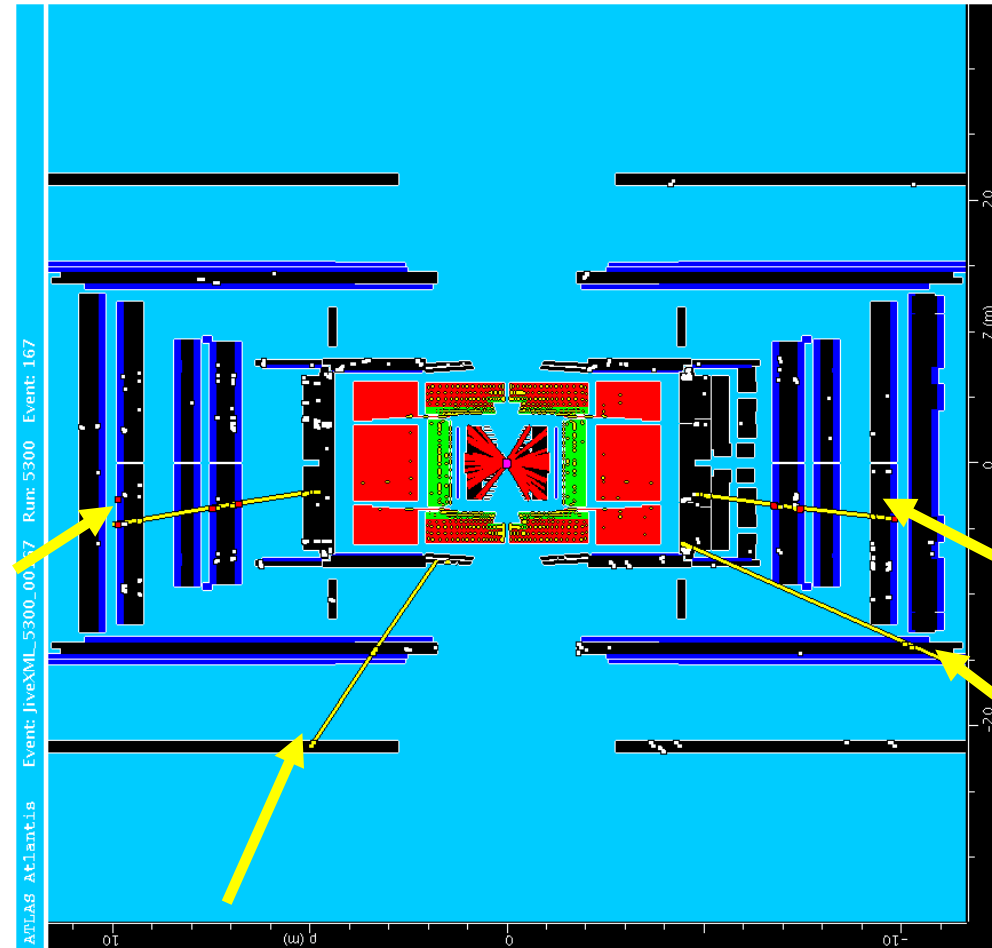
Il bosone di Higgs può decadere (* dipende dalla sua massa *) in:

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

Caso più facile [$m_H \sim 150-500 \text{ GeV}$]: $H \rightarrow 4e, 4\mu, 2e2\mu$

Bosone di Higgs

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



$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

- 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

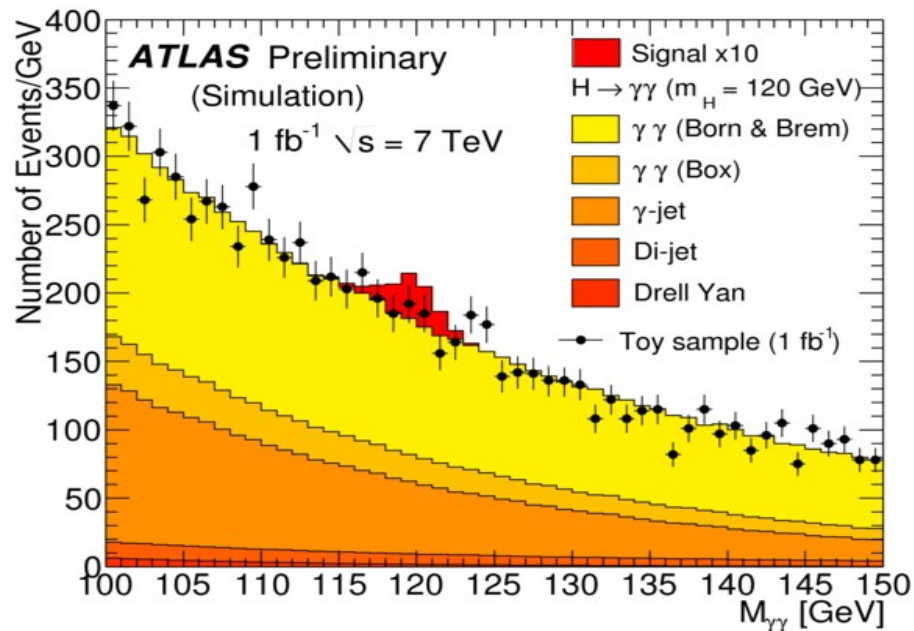
Prob(fluttuazione casuale)

$\llsim 1$ su 3,5 milioni

→ Scoperta

necessari anni di presa dati (?)

simulazione montecarlo

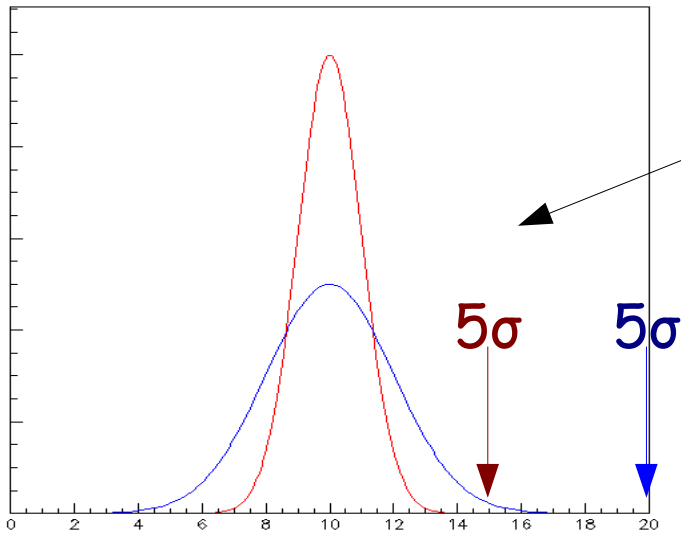


scoperta o non scoperta

Fondo (o rumore):

tutto ciò che nasconde (o meglio simula) quello che si cerca
ha un valor medio e una "dispersione"

dispersione rispetto al valor medio: deviazione standard ("sigma"):



Possibili distribuzioni del fondo

valor medio = 10

dispersione:

a) curva rossa = 1

b) curva blu = 2

esclusione

scoperta

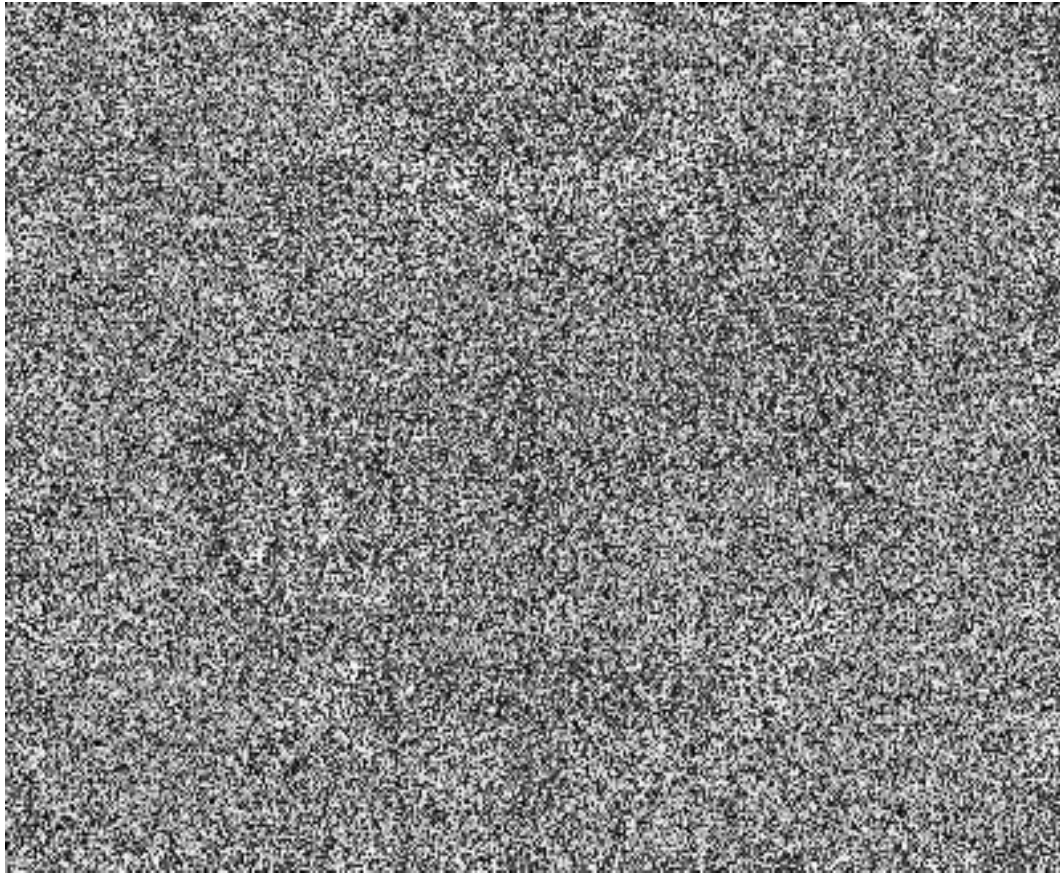
Sovrafluttuazioni
casuali:

>	1 σ	2 σ	3 σ	4 σ	5 σ	6 σ
prob.	16%	2.3%	0.14%	3×10^{-5}	3×10^{-7}	1×10^{-9}

prob(6 al superenalotto) $\sim 1.6 \times 10^{-9}$

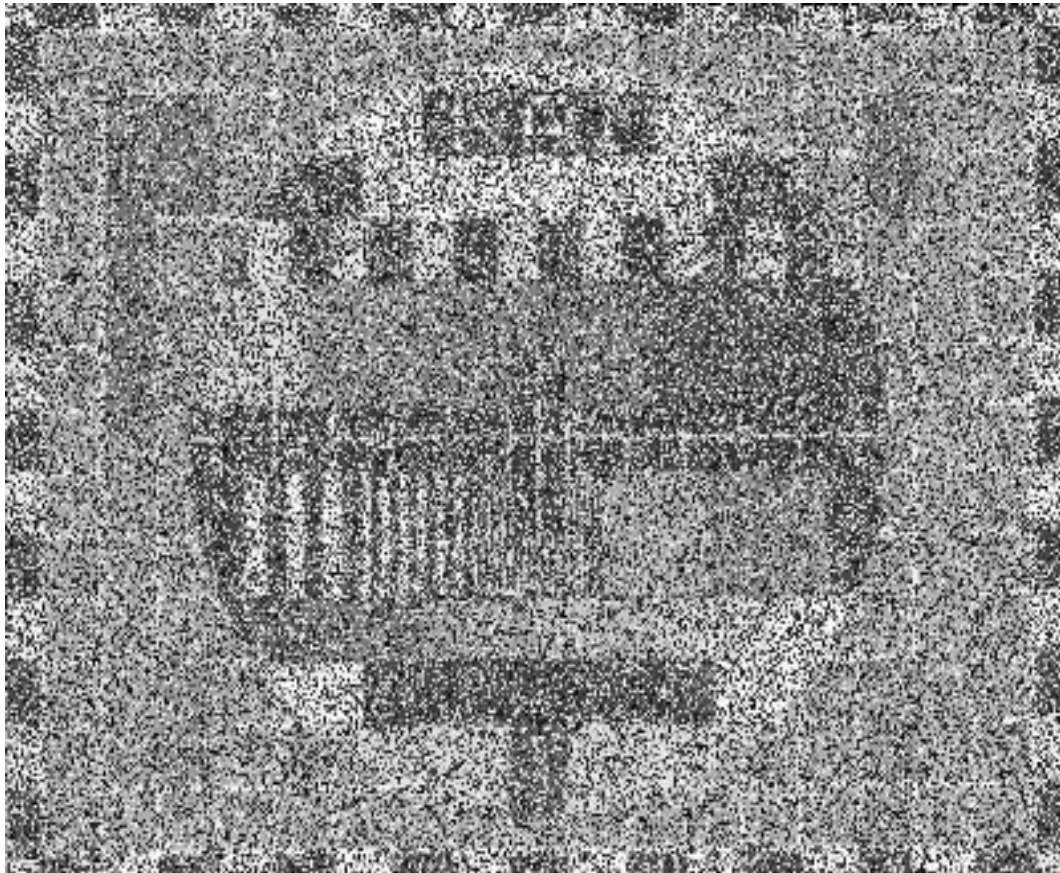
segnale e rumore (1)

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



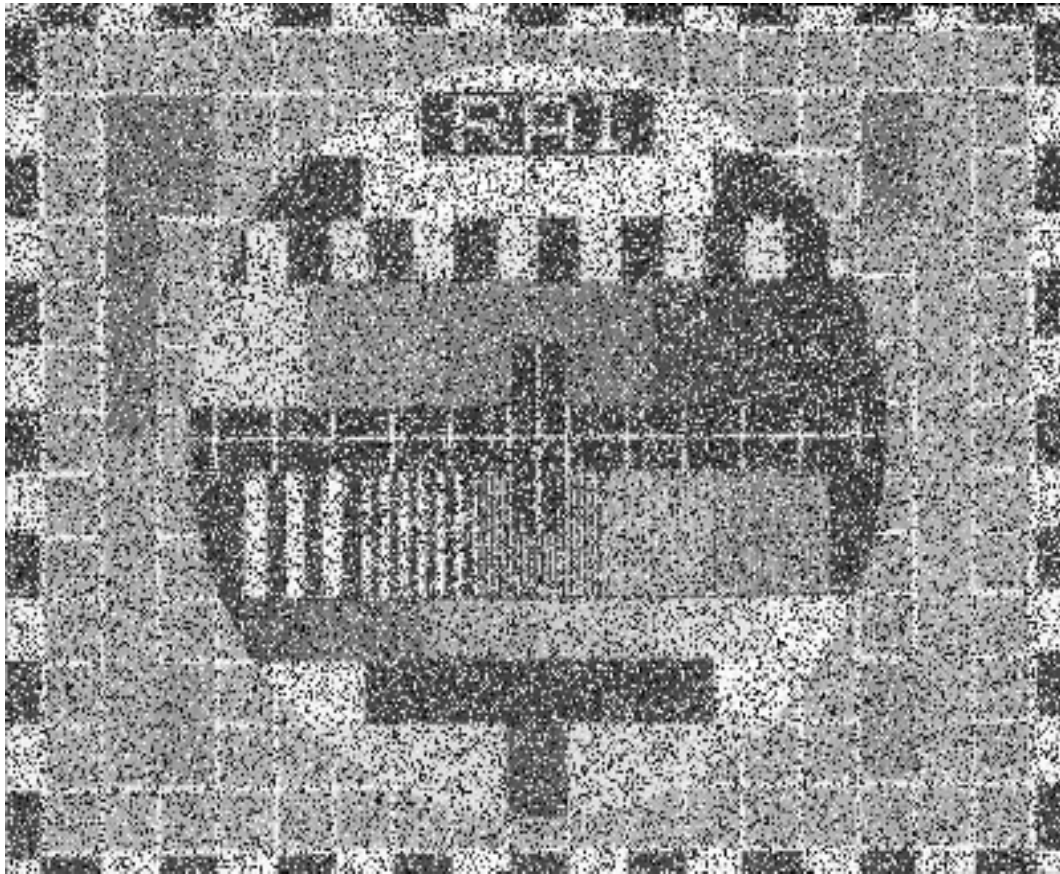
segnale e rumore (2)

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

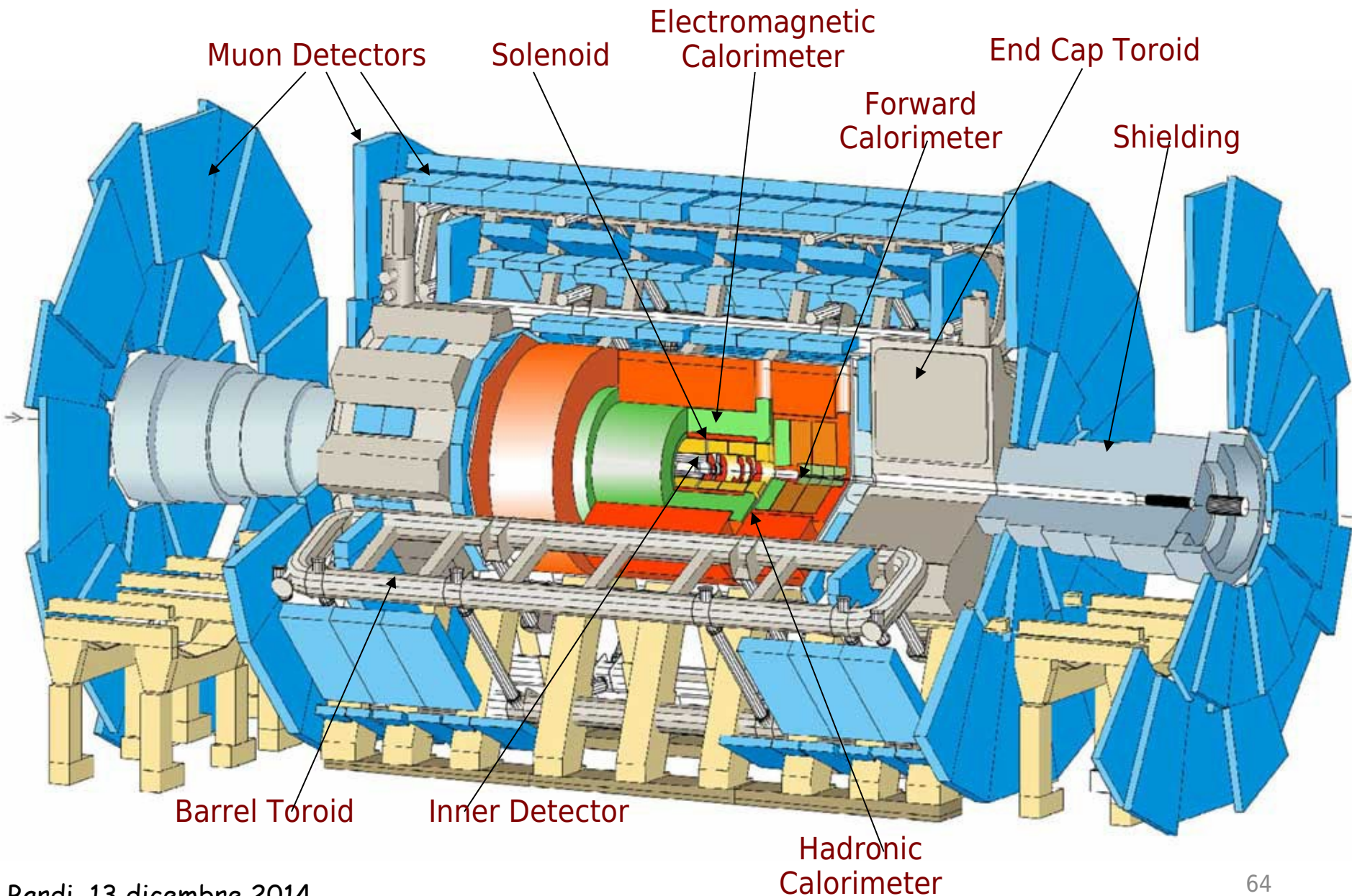


segnale e rumore (3)

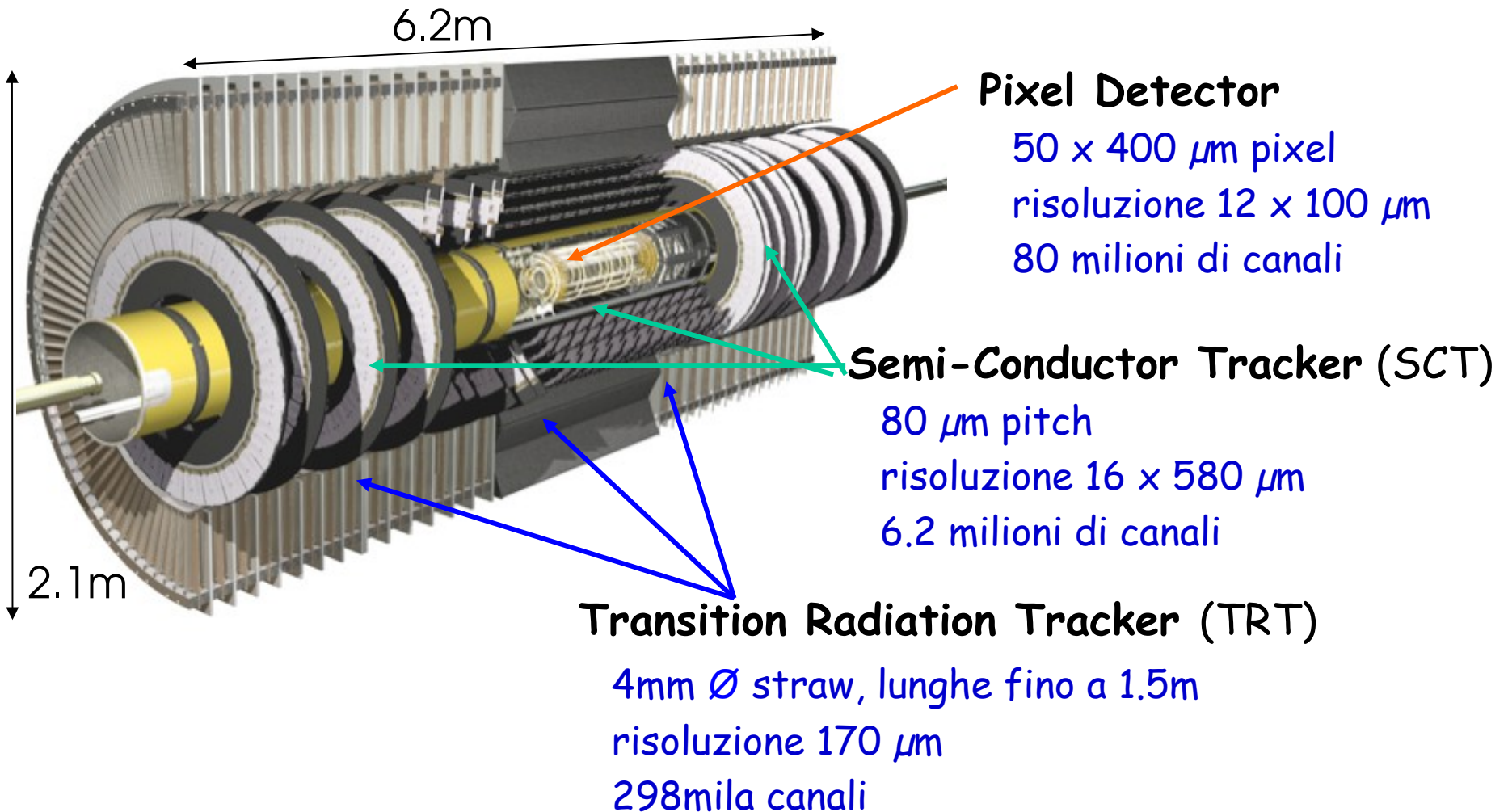
- Aumentando ancora la "statistica" (integrando più a lungo) il segnale diventa riconoscibile



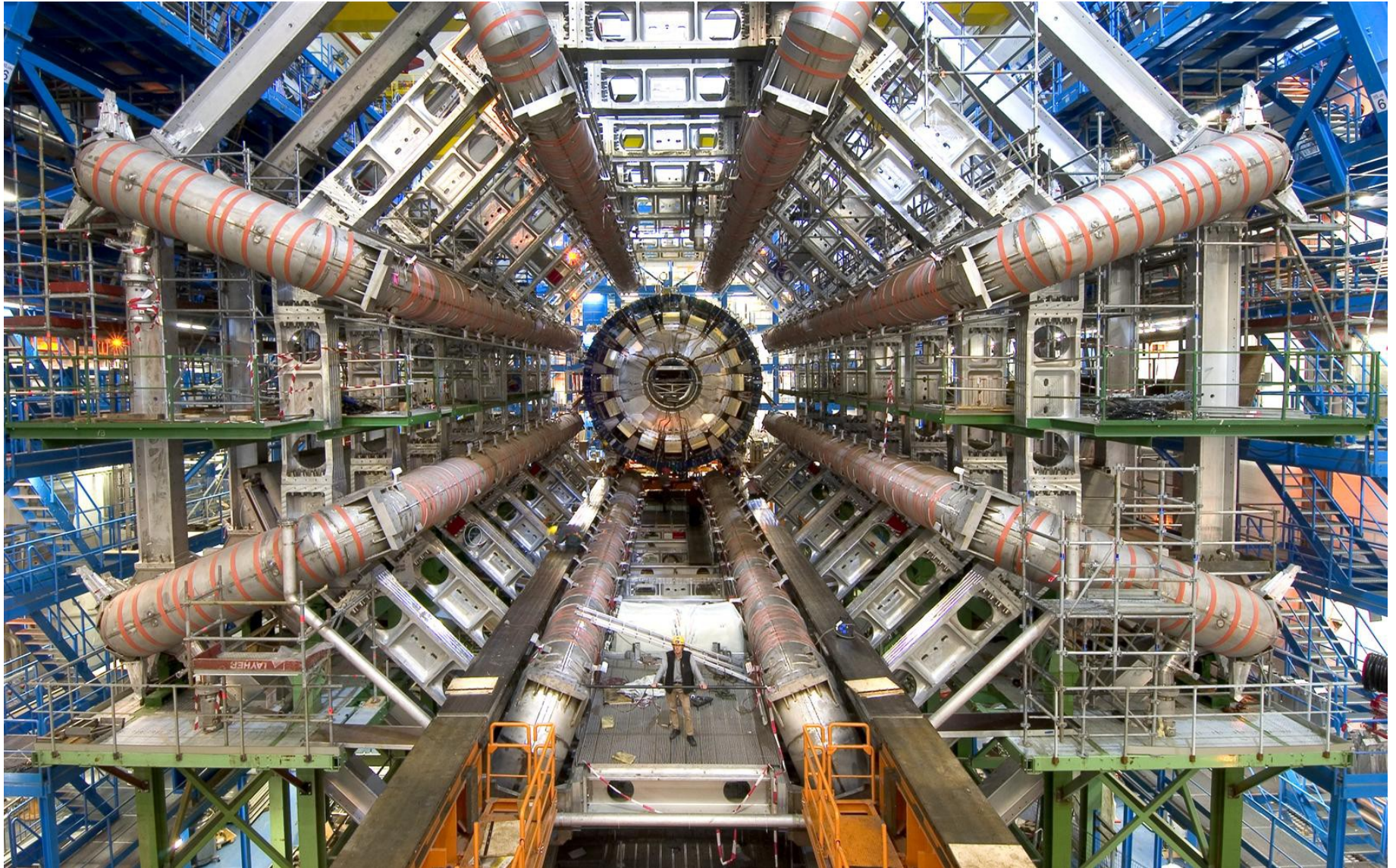
ATLAS: un microscopio alto 25 e lungo 46 m



il tracciatore interno



il toroide centrale (barrel)

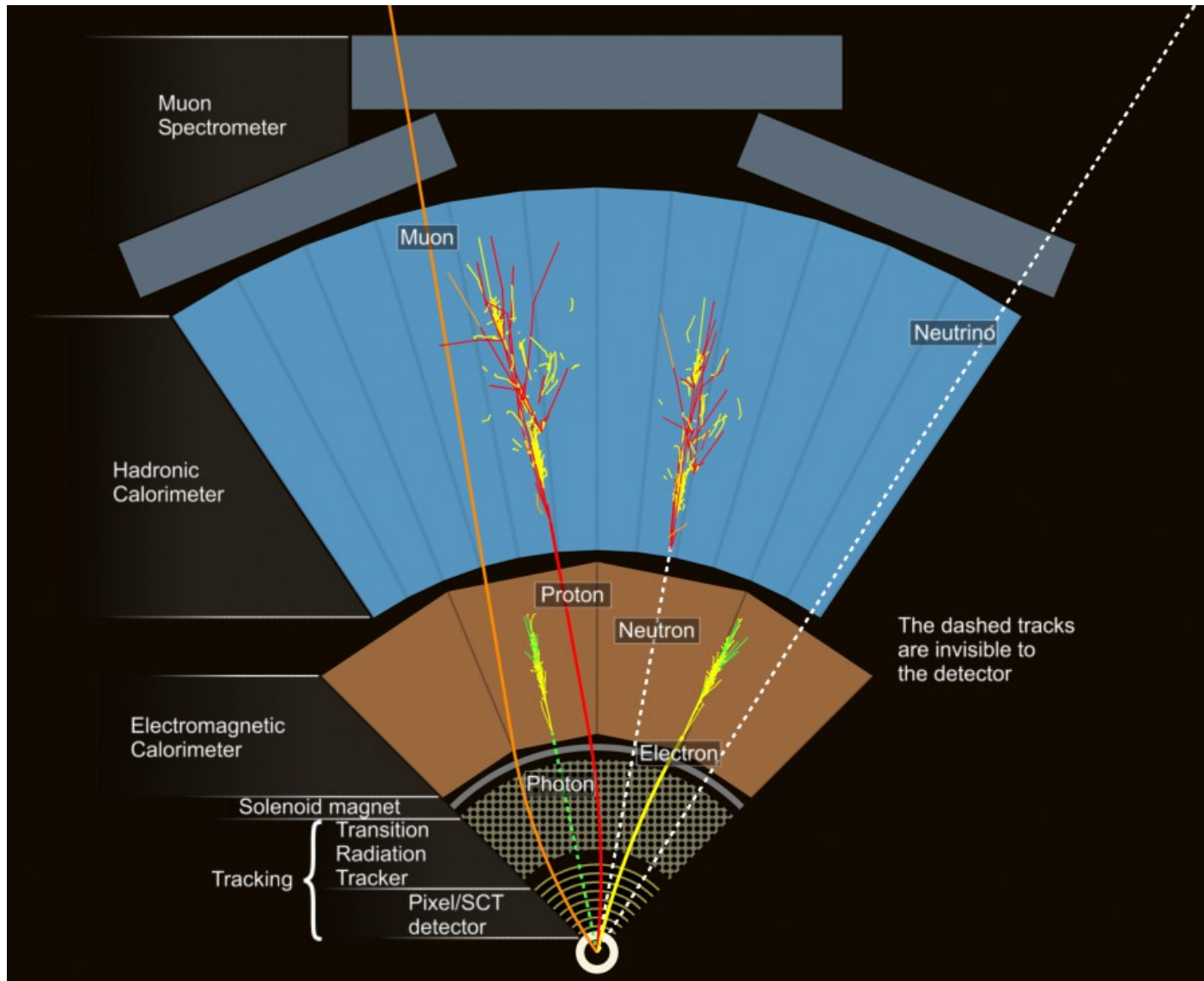


come funziona ?

- 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

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

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

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

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

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

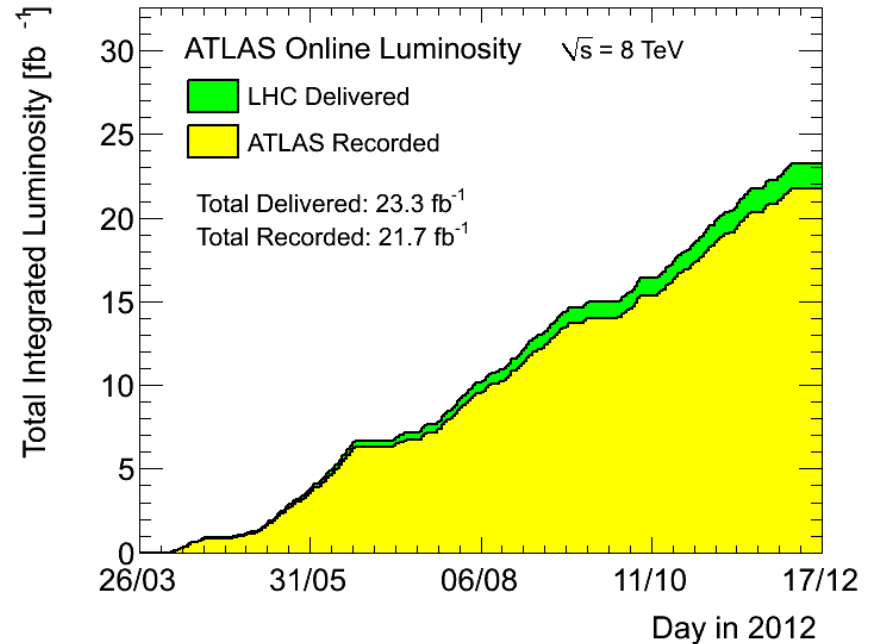
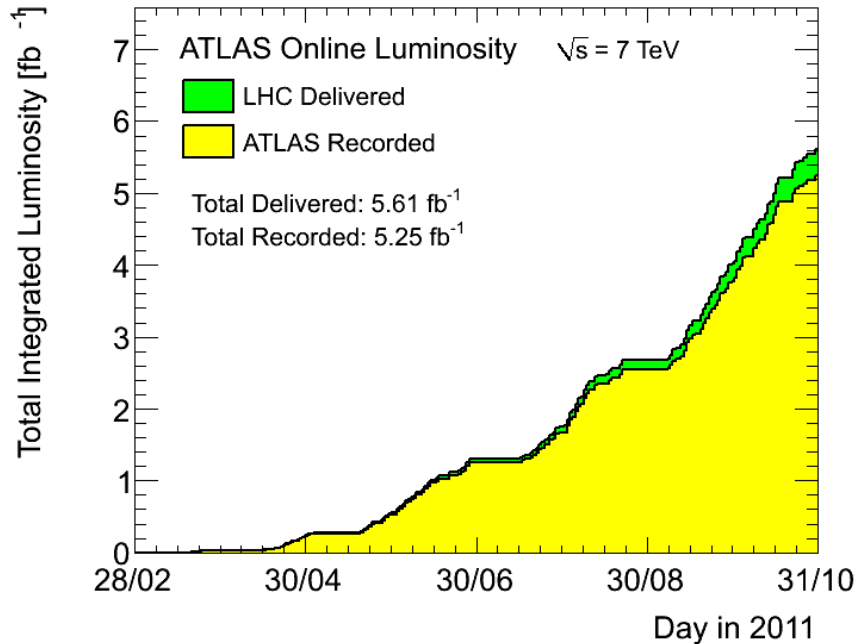
c) un terzo sistema analizza molto meglio i 3 mila restanti e segnala i 200 più interessanti

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

**3. cosa
(abbiamo trovato) ?**

dati 2011-2012 !

* molti più del previsto *



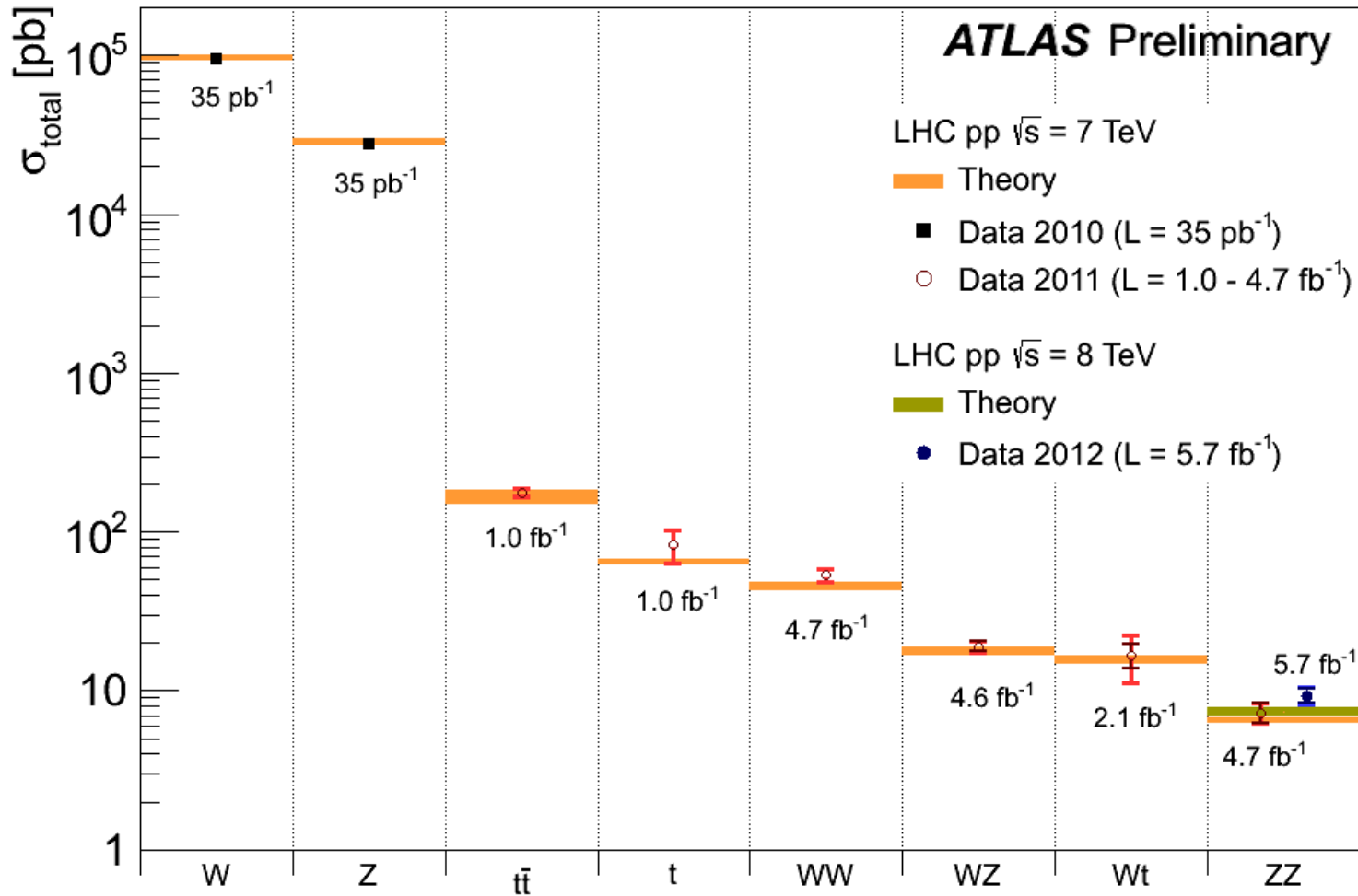
$1.5 \text{ MB/evento} \times 400 \text{ eventi/s} \times 50\% \text{ (compr.)}$

$\rightarrow 1 \text{ TB/ora} \times 1/3 \text{ (live time)}$

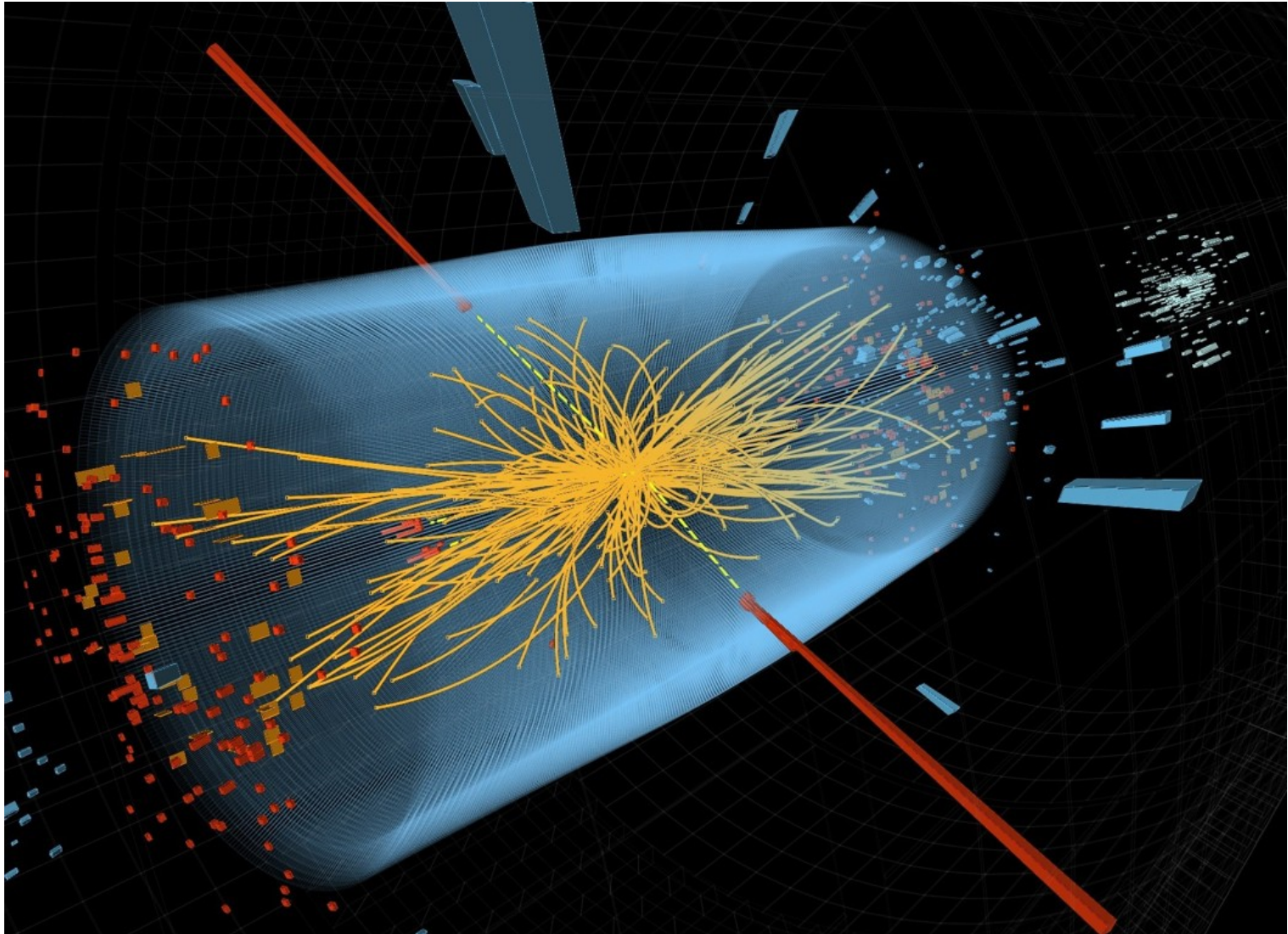
$\rightarrow \underline{3 \text{ PB/anno}} \text{ (} \rightarrow 10 \rightarrow 50 \rightarrow >100 \text{)}$

[4 miliardi di eventi]

verifiche del Modello Standard



evento candidato $H \rightarrow \gamma\gamma$



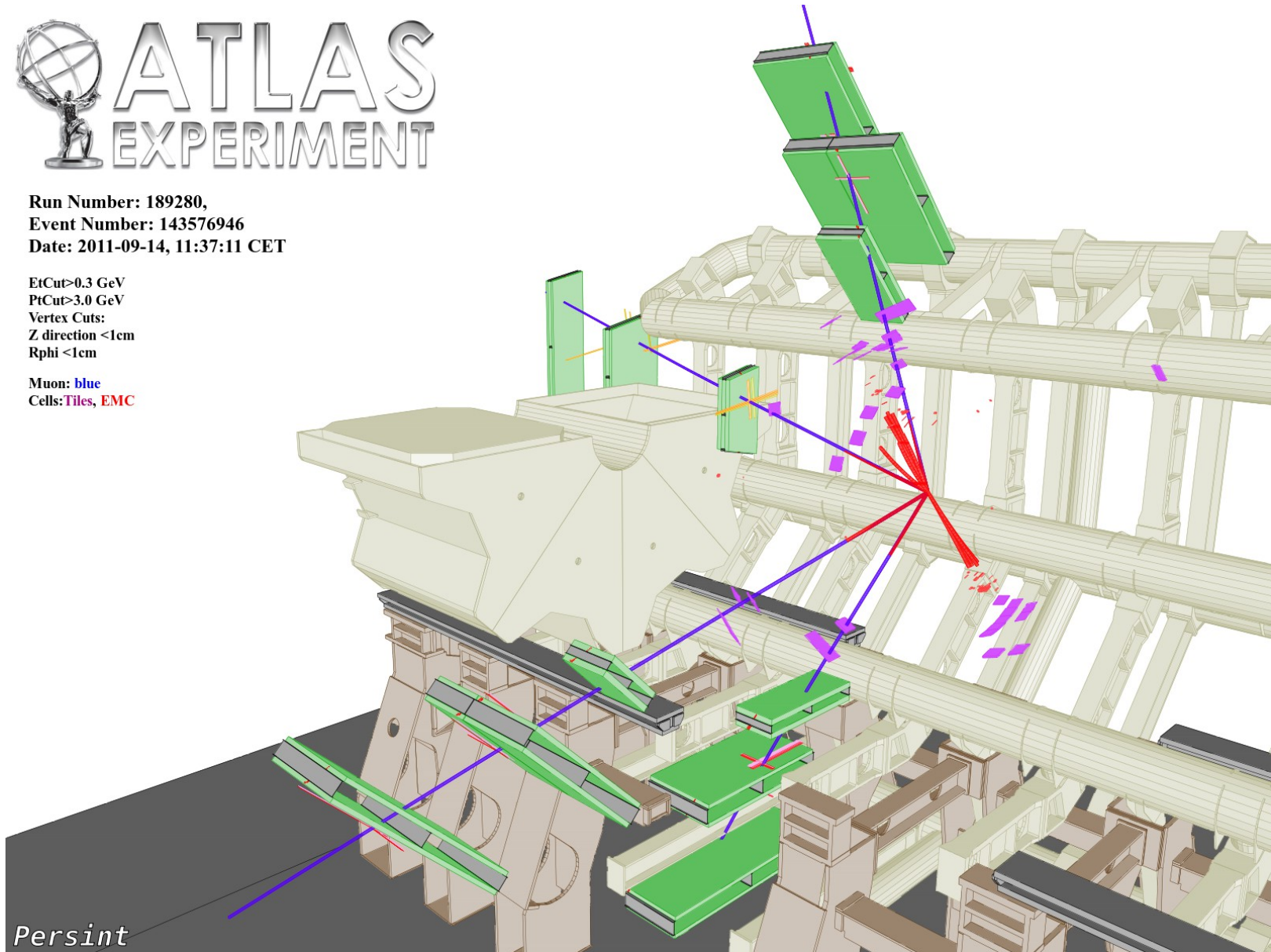
evento candidato $H \rightarrow 4\mu$



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

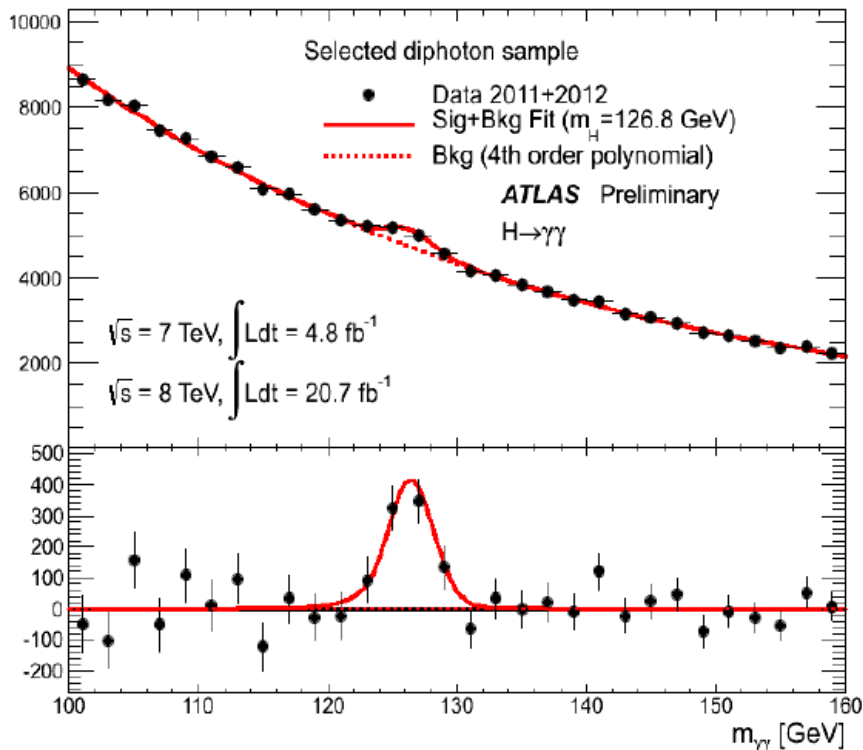
Muon: blue
Cells: Tiles, EMC



Persint

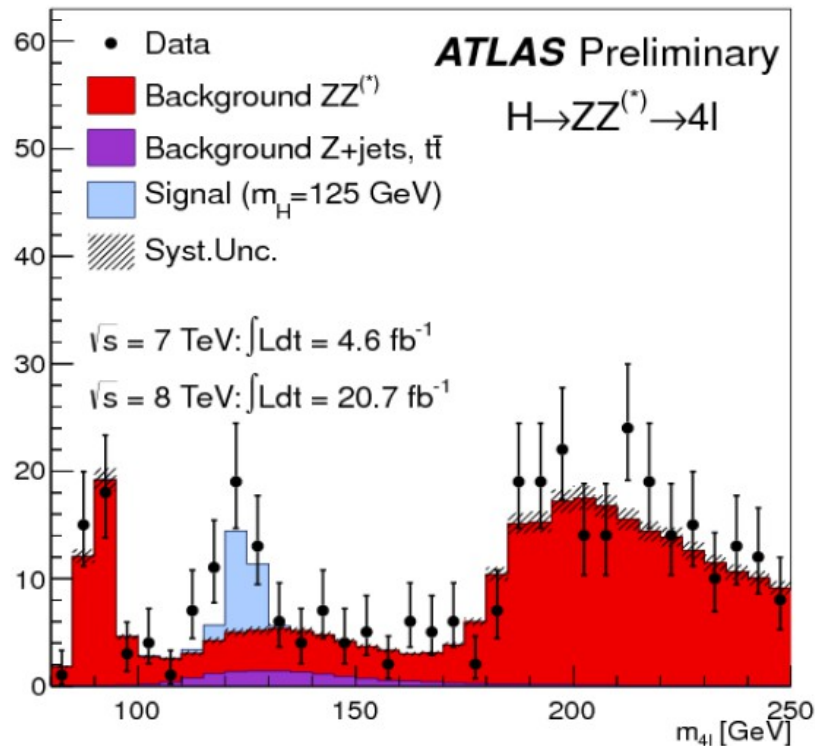
dati 2012

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



“picco”:

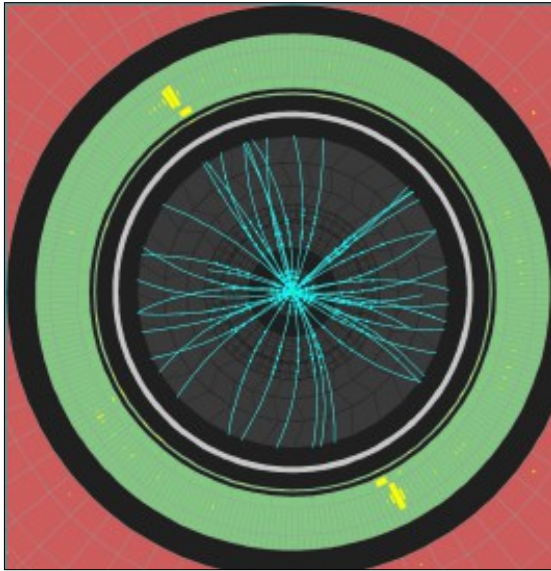
~900 eventi in eccesso
~30000 eventi di fondo



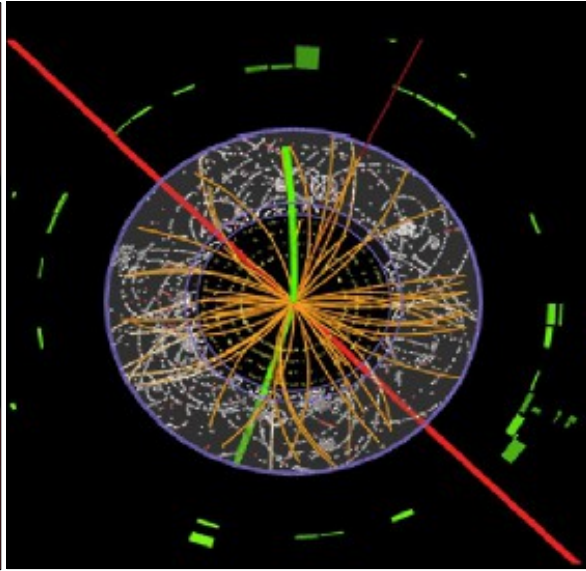
“picco”:

~16 eventi in eccesso
~11 eventi di fondo

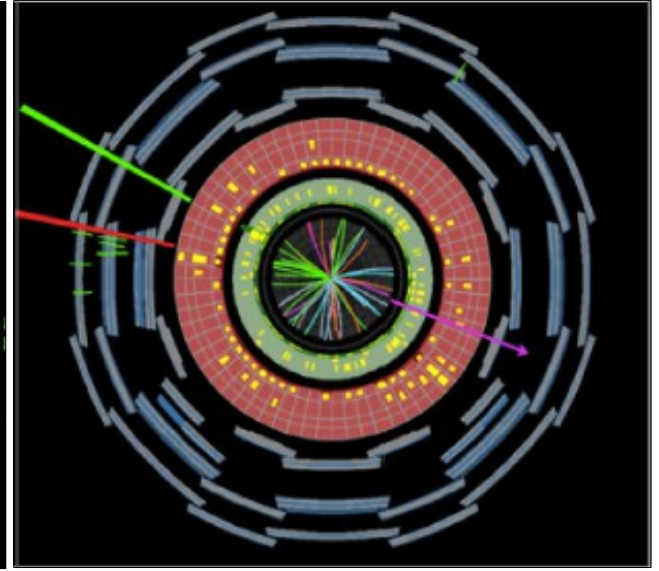
Higgs animati



fotone-fotone



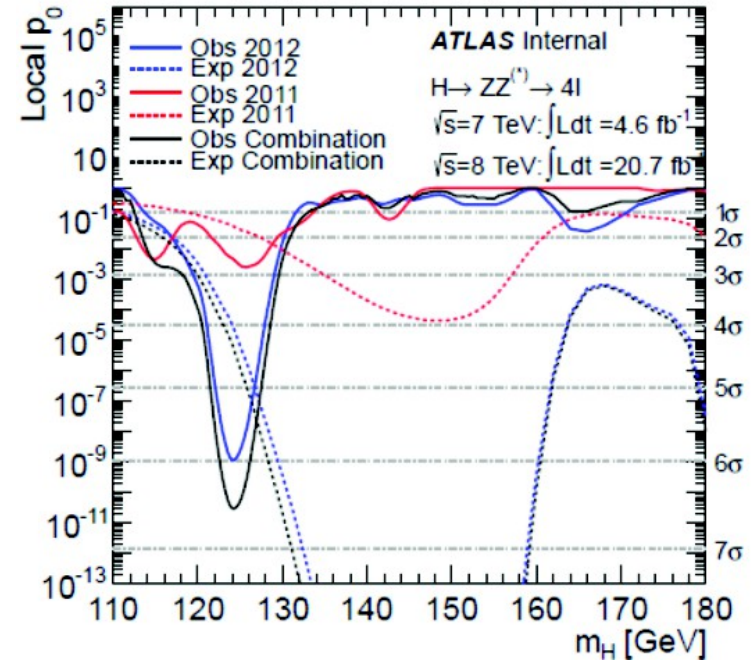
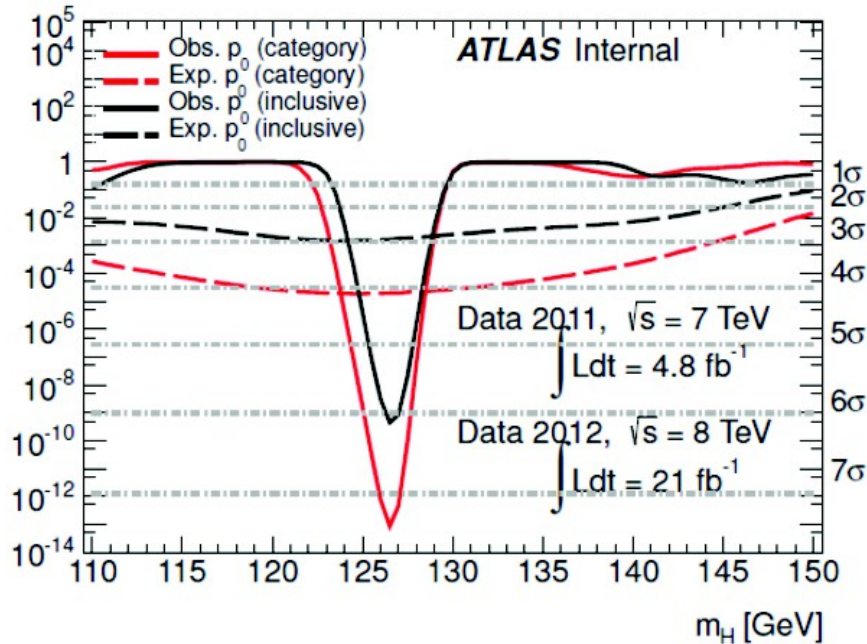
4 leptoni



WW

c'è qualcosa di nuovo ?

Probabilità che il risultato sia casuale:



~15 zeri (o ~77 rossi) consecutivi alla roulette

~40000 volte più facile due 6 consecutivi al superenalotto

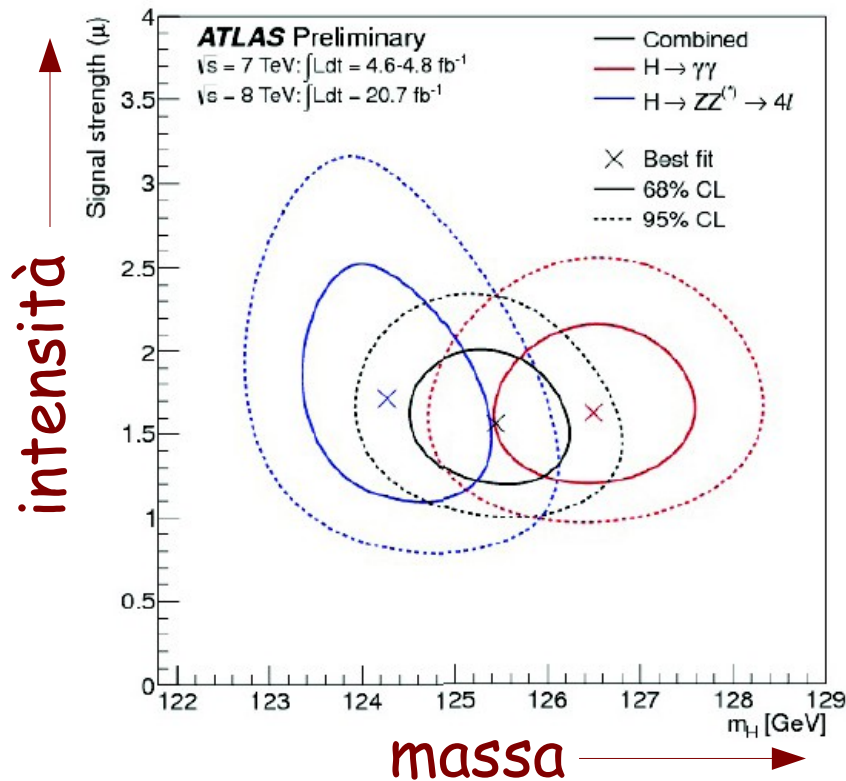
Bosone di Higgs del M.S. ? Statisticamente compatibile !

compatibilità con il Modello Standard

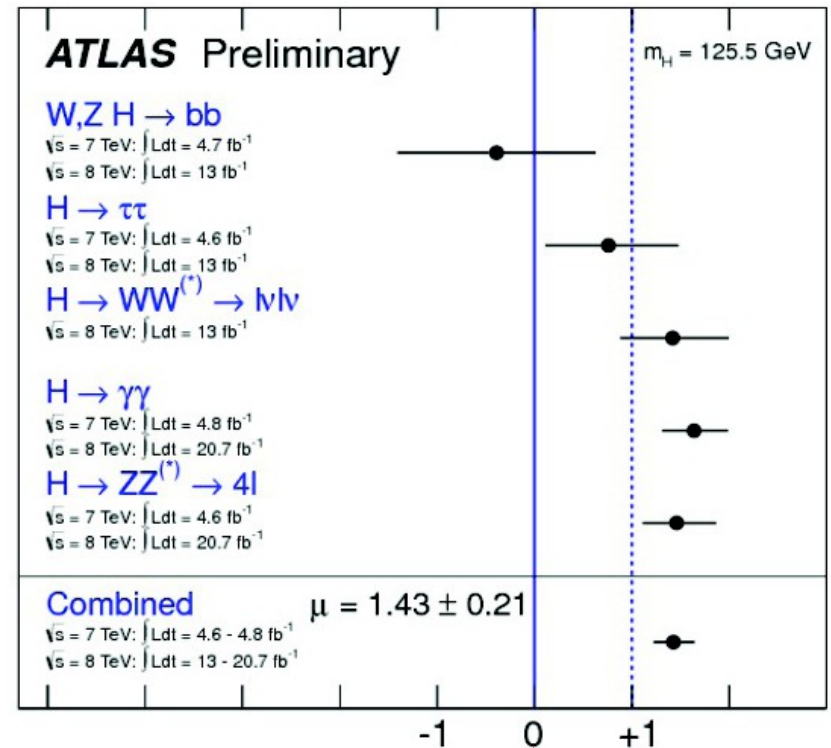
Signal Strength (= intensità del segnale):

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

fit massa e intensità (S.S.)



S.S. per categoria per $M=125.5 \text{ GeV}$



Nessun bosone

Bosone "standard"

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

4. quindi
(cosa ci rimane da capire) ?

Con i miglioramenti in programma, sia di LHC che dei due esperimenti, nei prossimi anni, il Bosone di Higgs verrà studiato in ogni dettaglio, in tutti i possibili canali di decadimento:

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

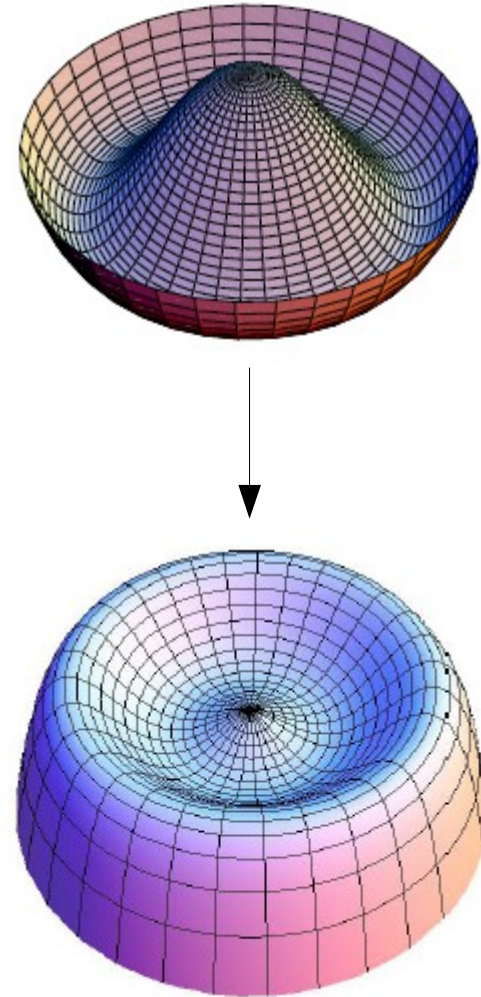
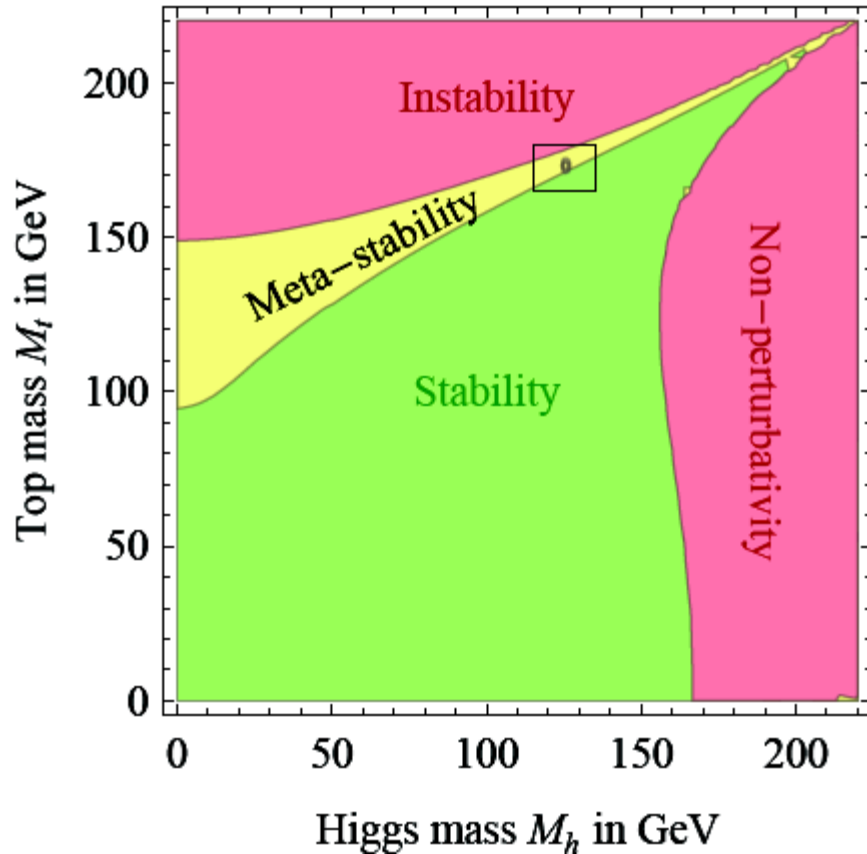
speranza: trovare delle violazioni rispetto alle previsioni del Modello Standard !

Altre opzioni non-LHC (ILC, CLIC, FCC, ...) possibili ma al momento ancora remote.

Problema aperto: stabilità del potenziale di Higgs ?

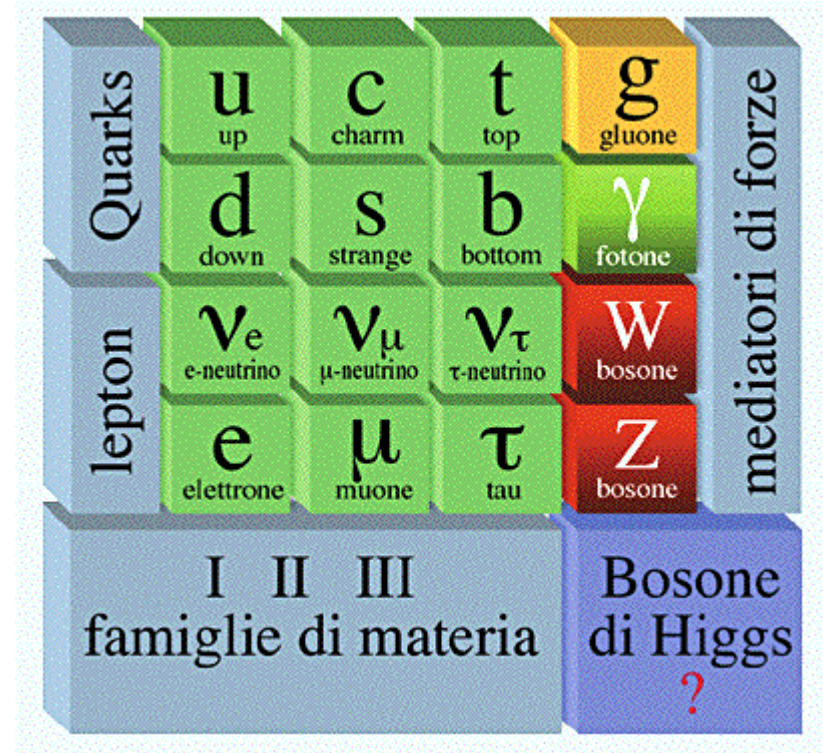
(al crescere dell'energia l'"auto-accoppiamento" del Bosone di Higgs diventa instabile)

viviamo pericolosamente ?



fosse solo quello ...

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



il Problema !

Universo (interazioni gravitazionali):

Relatività Generale

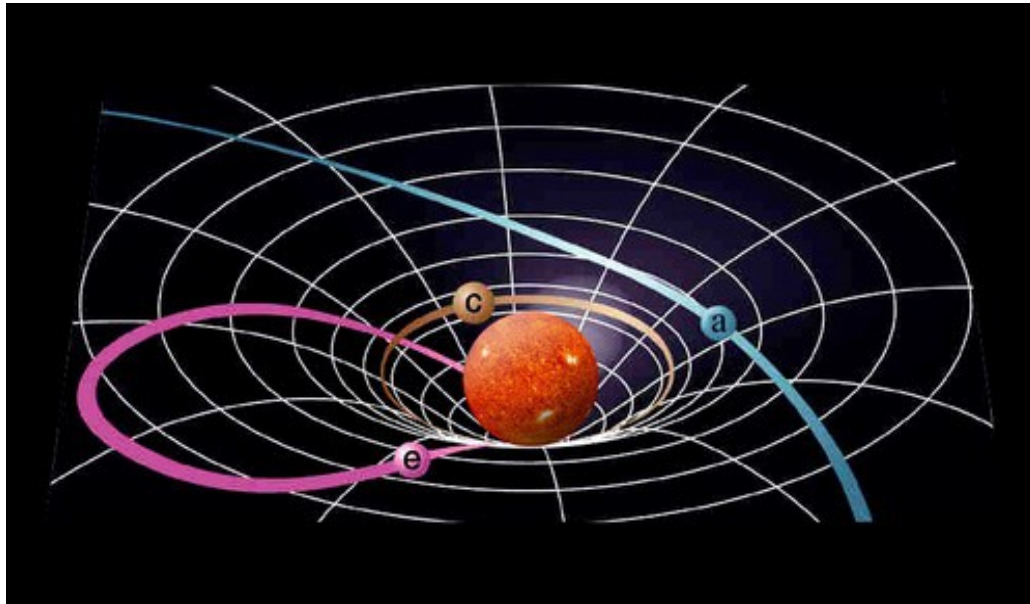
Particelle (interazioni elettrodeboli e forti):

Meccanica Quantistica Relativistica

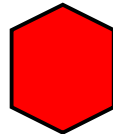
1. entrambe le teorie funzionano alla grande
(fin troppo!) nei rispettivi campi
2. purtroppo, ad oggi sono * INCONCILIABILI *

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

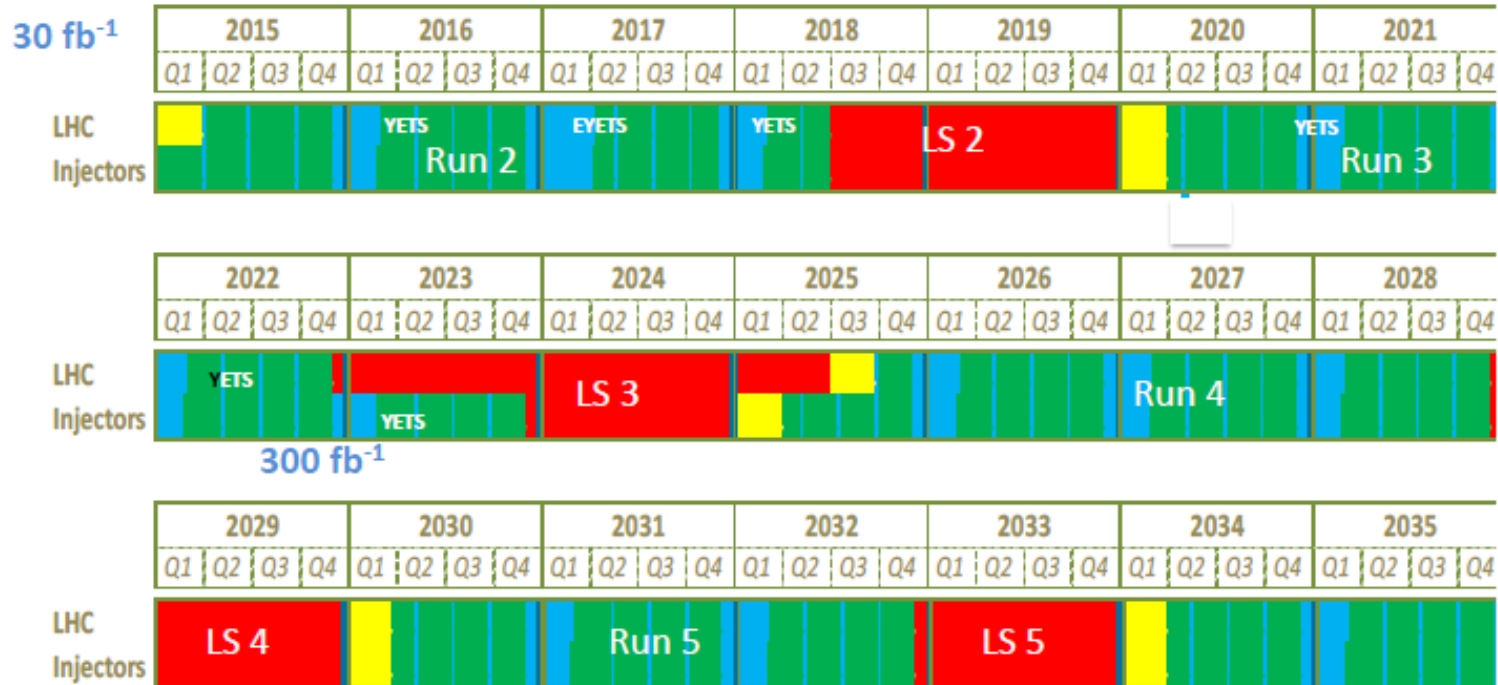
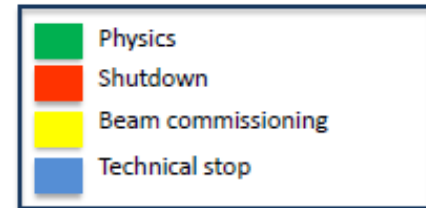
un bel rompicapo!

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

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



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)

Grazie per la pazienza