



La scoperta del bosone di Higgs: un'avventura alle frontiere della Scienza

Seminario divulgativo

Liceo Scientifico "Francesco Ribezzo"
Francavilla Fontana
20 Febbraio 2015



Una breve introduzione.

Nell'antica Grecia i filosofi hanno iniziato a discutere sugli elementi fondamentali della materia. Democrito introdusse il concetto di "atomo", il più piccolo costituente indivisibile della materia.

Nell'ultimo secolo, il progresso scientifico ha permesso di studiare con mezzi sempre più potenti i costituenti fondamentali dell'Universo e abbiamo compreso molto sulla sua evoluzione.

Molto resta ancora da scoprire. Sappiamo di cosa è composto il 5% della materia (energia) presente nell'Universo. Dobbiamo ancora capire il restante 95% .

Si tratta di portare avanti ricerche che richiedono impegno da parte dei fisici ma anche grandi investimenti. Qualcuno potrebbe pensare che tutto ciò porti solo a conoscenze inutili per la nostra vita quotidiana.

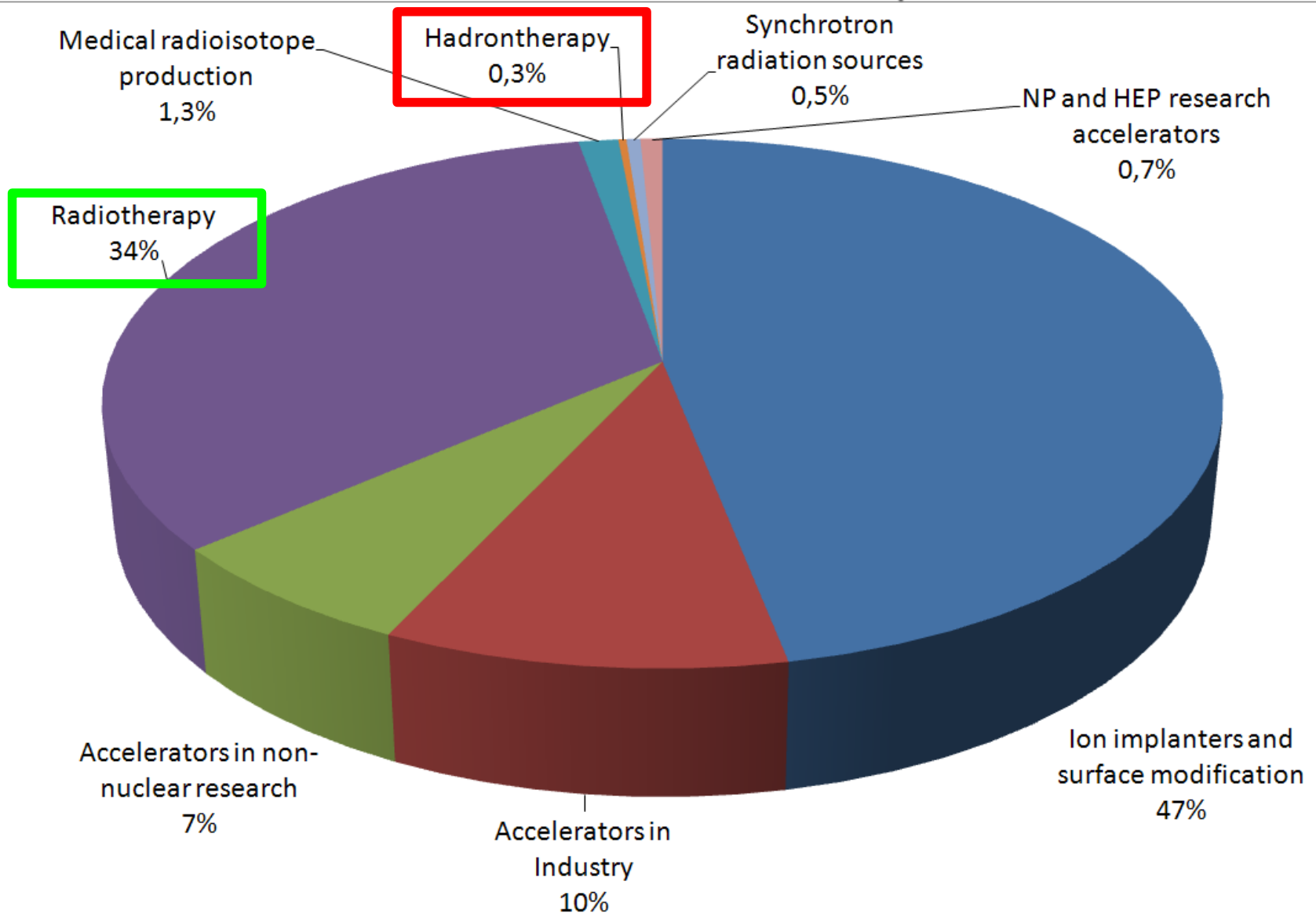
Non è così: la ricerca pura implica lo sviluppo di conoscenze e di tecnologie che prima o poi trovano applicazione nella vita di tutti noi e aiutano il progresso della nostra civiltà.

Prima di affrontare l'argomento di questa conferenza vi citerò tre esempi di ricadute tecnologiche che vengono direttamente dalla fisica delle particelle elementari.

Gli acceleratori di particelle sono stati inventati e sviluppati per gli studi di fisica nucleare e subnucleare.

Accelerators in the World

(Total number ~ 18.000)

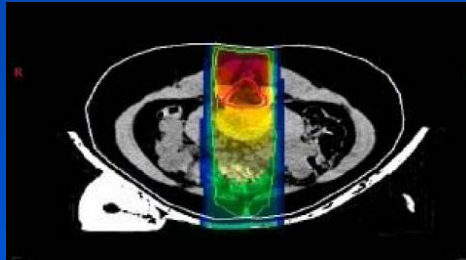


(Update from W.H. Scharf and W. Wieszczycka, 2002)

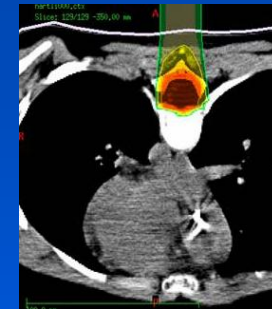
Alla frontiera della radioterapia: l'adroterapia oncologica

Reduction of the Normal Tissue Dose

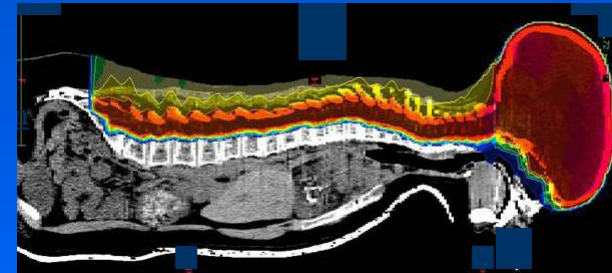
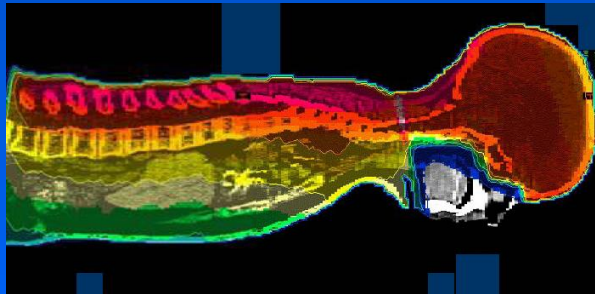
conventional



charged particles



Target dose 32 Gy/GyE



Dose comparison

22 Gy

18 Gy

20 Gy

bone marrow

heart

intestinal

< 1 GyE

<.5 GyE

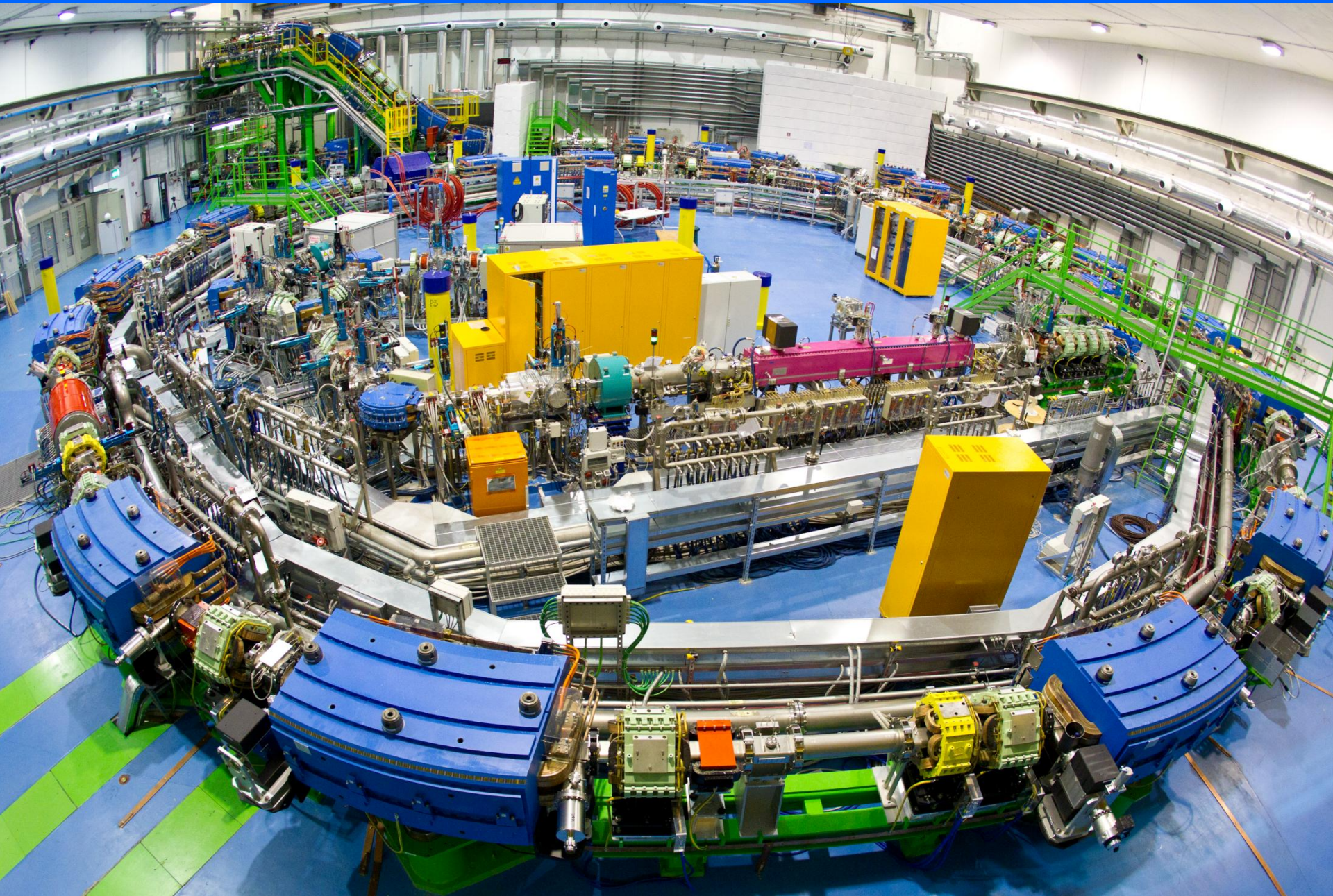
<.5 GyE

fondazione **CNAO**

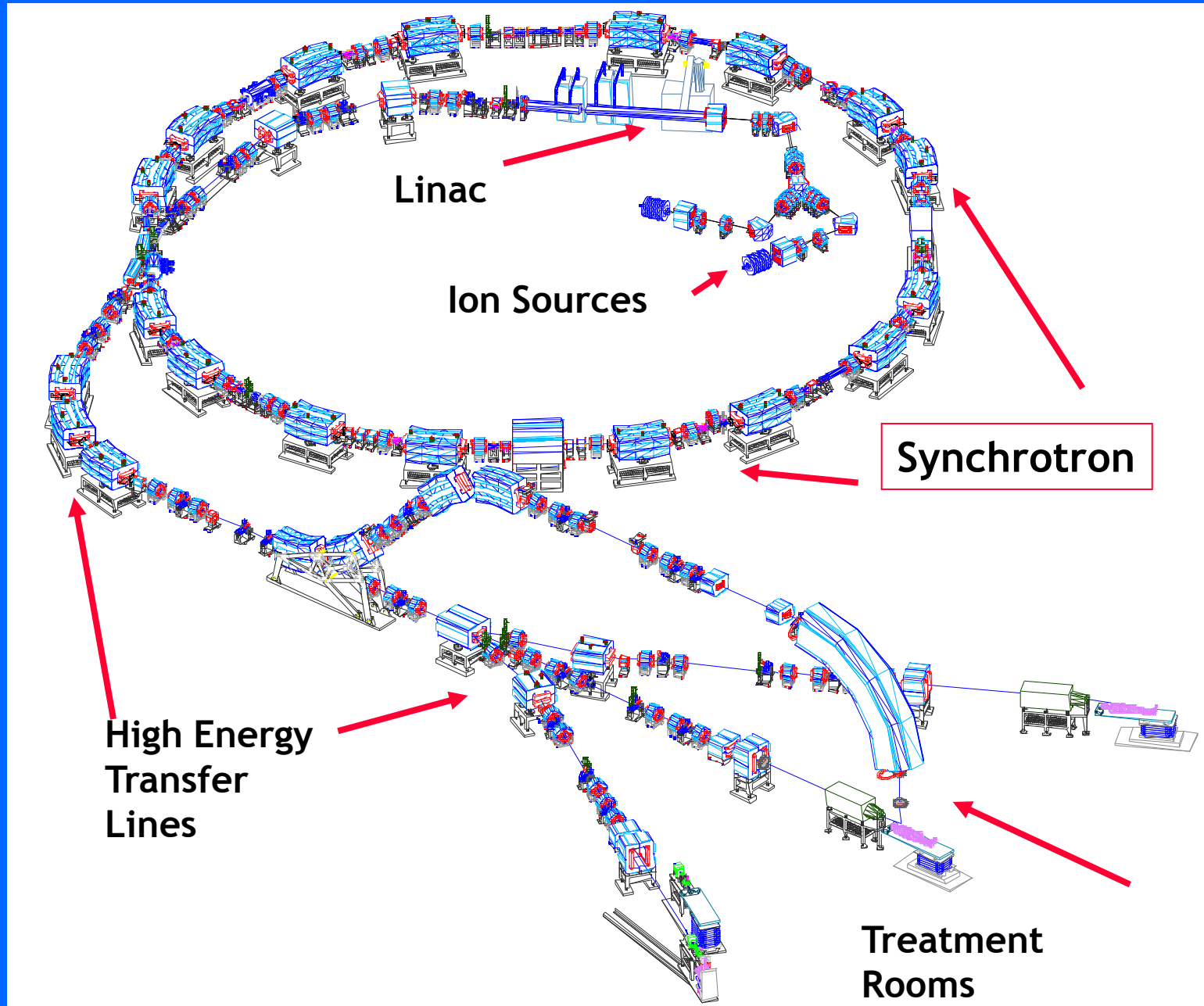
Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica a Pavia

Costruzione terminata a fine 2009,
Primi pazienti trattati nel Novembre 2012,
Previsto il trattamento di 1000 pazienti/anno.





Hospital based: safety, efficiency, reliability, maintainability



http://www

Il WEB è nato al CERN nel 1989 per gestire il controllo degli acceleratori e degli esperimenti. Nessun diritto è pagato per i risultati delle ricerche al CERN. Ha cambiato la nostra vita.

CERN DD/OC

Information Management: A Proposal

Vague but exciting ...

Tim Berners-Lee, CERN/DD

March 1989



Information Management: A Proposal

Abstract

This proposal concerns the management of general information about accelerators and experiments at CERN. It discusses the problems of loss of information about complex evolving systems and derives a solution based on a distributed hypertext system.

Keywords: Hypertext, Computer conferencing, Document retrieval, Information management, Project control

300 celle solari per una superficie di 1200 m² sopra il tetto dell'aeroporto di Ginevra. Costruite usando le tecniche di alto vuoto sviluppate al CERN per il funzionamento degli acceleratori di particelle, **sono più efficienti delle celle convenzionali**. Riscaldano l'aeroporto in inverno e lo rinfrescano durante l'estate.



Cosa cercherò di raccontare:

➤ **Parte prima** (un po' barbosa ...)



- 1: i costituenti elementari della materia
- 2: le forze fondamentali tra i costituenti elementari
- 3: il bosone di Higgs

➤ **Parte seconda** (tante figure ...)



- 1: il CERN
- 2: il collisore LHC - Large Hadron Collider
- 3: gli esperimenti

➤ **Parte terza:** (tante figure ...)

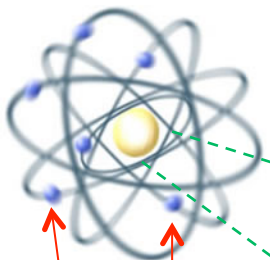
la scoperta del bosone di Higgs



Parte prima

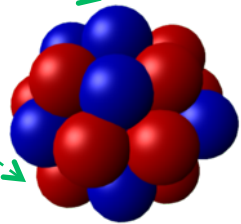
Atomo ---> Nucleo ---> Protone ---> Quark

Atomo : 10^{-10} m



Elettroni

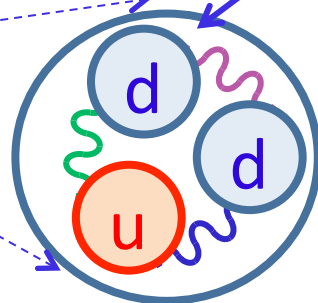
Nucleo Atomico : 10^{-15} m



Neutrone
 $q_n = 0$



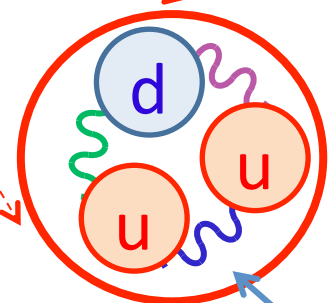
quark d
 $q_d = -\frac{1}{3}$



Protone
 $q_p = +1$



quark u
 $q_u = +\frac{2}{3}$



Carica elettrica:

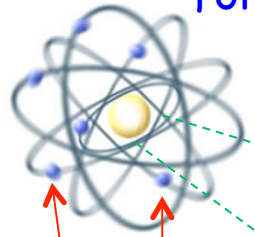
$$q_p = q_u + q_u + q_d = +\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$$

$$q_n = q_u + q_d + q_d = +\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$

gluoni: colla nucleare

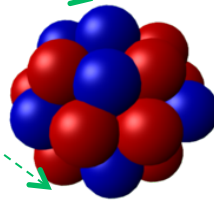
Le forze (interazioni) tra le particelle.

Atomo : gli elettroni sono legati al nucleo atomico dalla forza elettrica (**interazione elettromagnetica**)



Elettroni

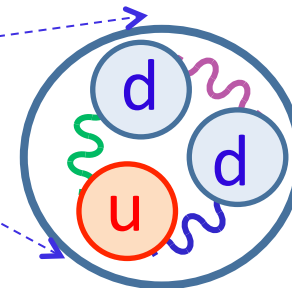
Nucleo Atomico : protoni e neutroni sono tenuti nel nucleo dalla forza forte (**interazione nucleare forte**)



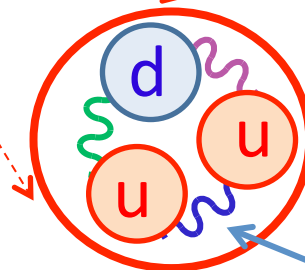
Neutrone



Protone



quark d



quark u

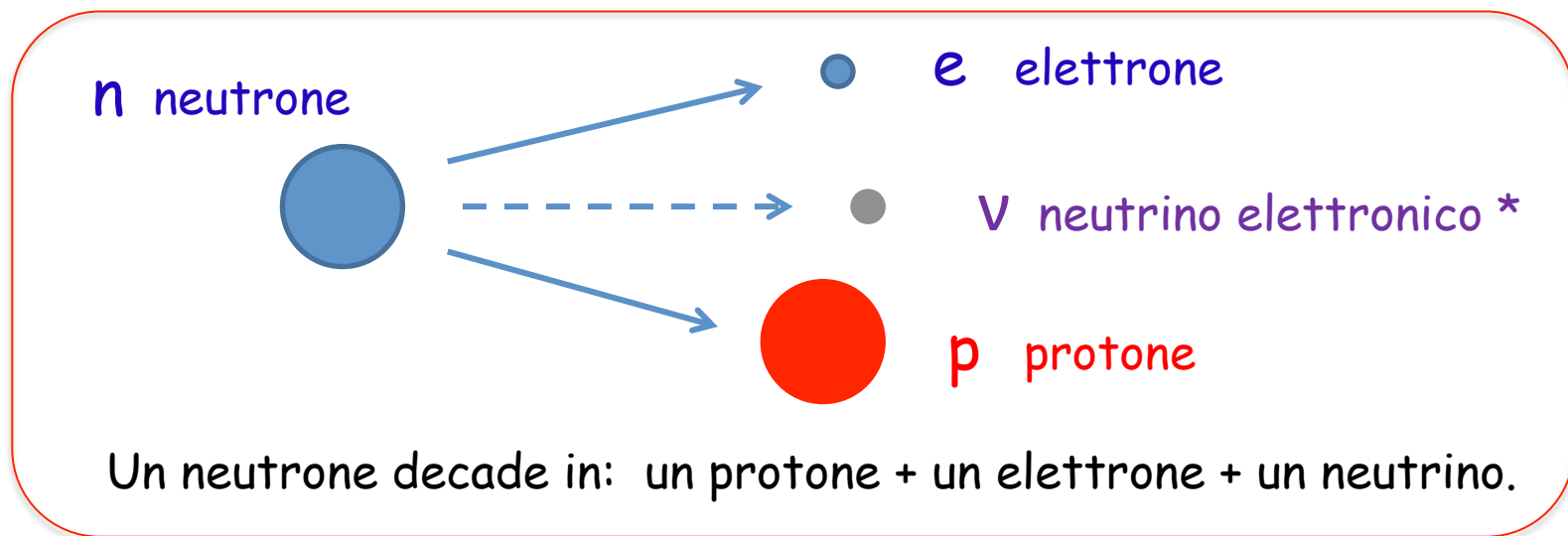
I quark sono legati nei protoni e nei neutroni **dalla forza o interazione nucleare forte**: colla forte = gluoni.

 gluoni:
colla nucleare

I quark non sono liberi, sono confinati nelle particelle !!

Decadimento radioattivo β (emissione di elettroni dal nucleo)

Esempio: il decadimento del Cesio: Cs-137 \rightarrow Ba-137 (Ricordate Chernobil ??)



Il neutrino $\bar{\nu}$ è un'altra particella elementare.

Questo processo avviene a causa di un'altra forza:
l'interazione nucleare debole. (Fermi 1934).

Questa forza è alla base dei processi di fusione nucleare che avvengono all'interno delle stelle: per esempio all'interno del Sole e permette quindi la vita sulla Terra.

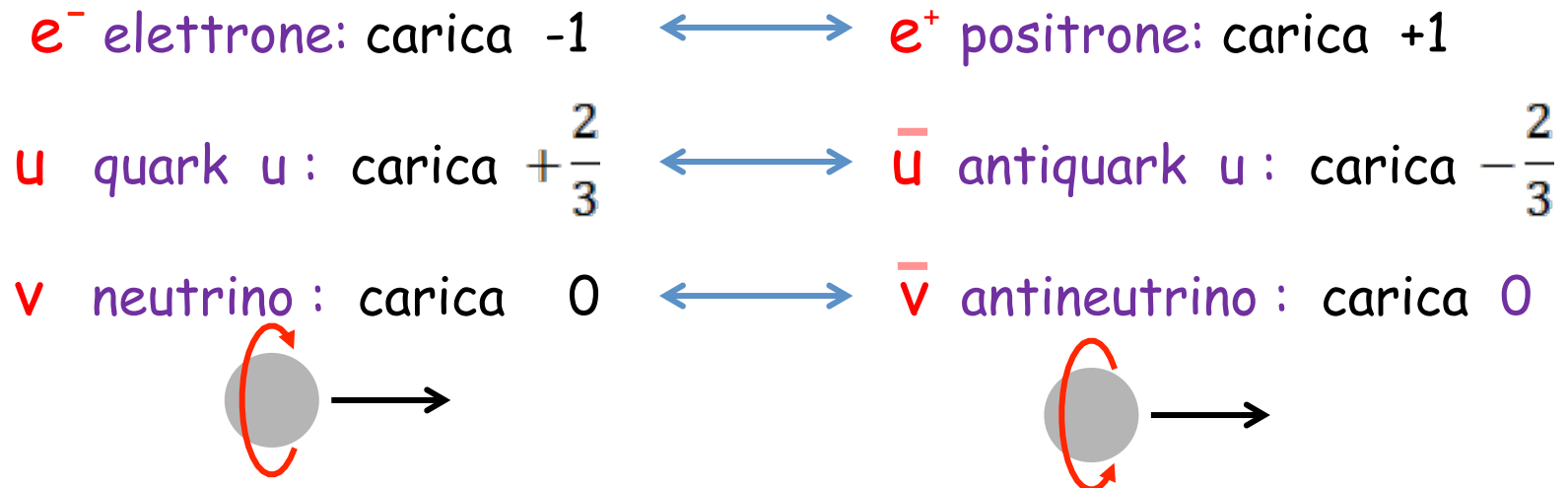
* anti-neutrino elettronico. (Questa particella è stata introdotta da Pauli).

Materia e antimateria.

Siamo fatti di materia, dov'è finita l'antimateria?

- Per ogni particella c'è un'antiparticella (antimateria) con carica opposta (e altre grandezze opposte).

Per esempio:



Anche per particelle composte (vedi nel seguito):

p protone: carica +1




\bar{p} antiprotone: carica -1

n neutrone: carica 0

\bar{n} antineutrone: carica 0

Tutta la materia che ci circonda è costituita da questi **mattoni elementari.**

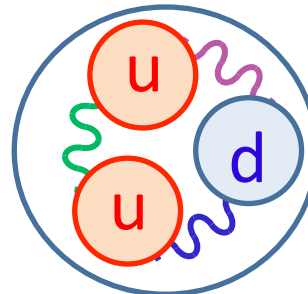
Carica elettrica:

quark	 u up	$+\frac{2}{3}$
	 d down	$-\frac{1}{3}$
leptoni	 ν_e neutrino e	0
	 e elettrone	-1

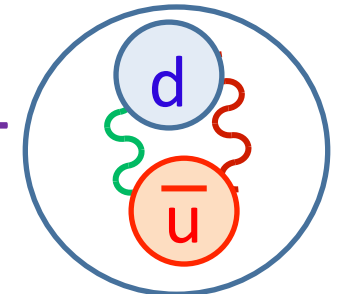
Il pione si trova anche nei raggi cosmici che attraversano l'atmosfera..

Esempi di adroni

protone p



pione π^-



Dalla Fisica dei Raggi Cosmici

Nel 1946 un esperimento sui raggi cosmici fatto a Roma da **Conversi, Pancini e Piccioni** ha scoperto una nuova particella: **il muone μ** .

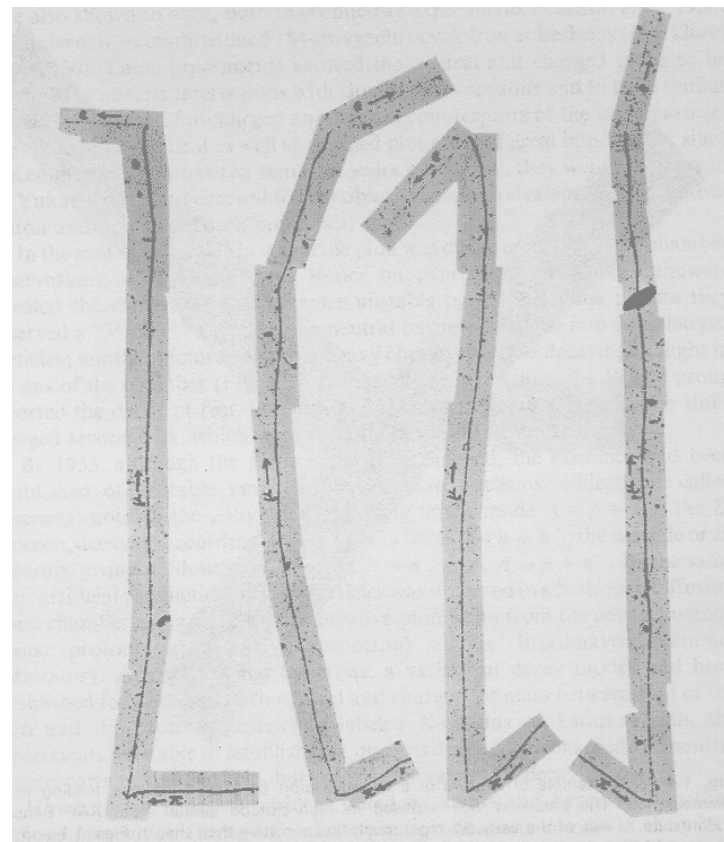
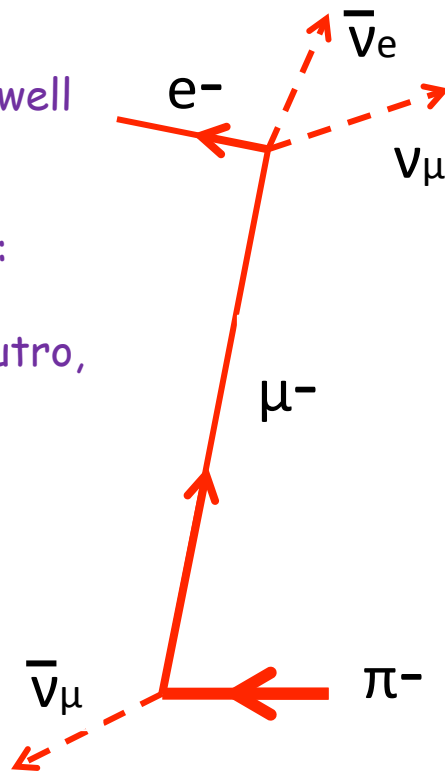
Questa particella è **una replica dell'elettrone**: stesse proprietà ma massa circa 200 volte maggiore! **E' una particella elementare!!**

Il fisico I. I. Rabi (Nobel 1944) commentò: "E questo chi l'ha ordinato?"
Al muone è associato un neutrino muonico diverso da quello dell'elettrone.

Nel 1947 Lattes, Occhialini e Powell hanno scoperto nelle emulsioni fotografiche esposte in alta quota una nuova particella: **il pione π** .

Può essere positivo, negativo, neutro, pesa un po' più del muone.

Oggi però sappiamo che il pione è una particella composta: è composta da due particelle elementari: un quark un antiquark (slide precedente).



Tanto lavoro teorico e tanto lavoro sperimentale.

1947 osservazione di particelle strane

1948 elettrodinamica quantistica

1953 spiegazione della stranezza

1955 scoperta antiprotone

1957 ipotesi delle oscillazioni dei neutrini

1962 scoperta del neutrino muonico

1964 modello a quark / meccanismo di Higgs

1969 struttura del protone

1967 teoria unificazione elettrodebole

1970 ipotesi di un quarto quark

1971 – 1974 osservazione del quark charm

1973 teoria delle interazioni forti / osservazione delle correnti neutre

1975 scoperta del leptone tau

1976 scoperta del quark beauty

1979 osservazione di jet di gluoni

1983 osservazione di W e Z













1995 scoperta del quark top

1998 osservazione delle oscillazioni di neutrini

2001 scoperta del neutrino tau

I mattoni elementari della materia (1). La carica elettrica

- Tutte le particelle fondamentali si possono disporre in questa tabella.
- Sono raggruppate in tre famiglie.

				Carica elettrica:
quark	 u up	 c charm	 t top	$+\frac{2}{3}$
	 d down	 s strange	 b bottom	$-\frac{1}{3}$
leptoni	 ν_e neutrino e	 ν_μ neutrino μ	 ν_τ neutrino μ	0
	 e elettrone	 μ muone	 τ tau	-1

- Le particelle sulla stessa riga hanno stessa carica elettrica.
- Inoltre tutte queste particelle hanno **spin** $\frac{1}{2}$.

Lo spin

Lo **spin** "misura" il modo di rotazione intorno al proprio asse.













Le particelle a spin $\frac{1}{2}$, che chiamiamo fermioni: obbediscono a leggi statistiche che permettono l'esistenza degli atomi (cioè del nostro Universo!!).



I mattoni elementari della materia (2).

Quanto pesano?

- La massa di queste particelle aumenta andando da sinistra a destra.

quark	 u 0,002	 c 1,275	 t 173,5
	 d 0,005	 s 0,095	 b 4,65
leptoni	 ν_e < $2 \cdot 10^{-9}$	 ν_μ < $2 \cdot 10^{-9}$	 ν_τ < $2 \cdot 10^{-9}$
	 e 0,0005	 μ 0,106	 τ 1,78













Le masse sono date prendendo circa uguale a **1** la massa del protone.

Il quark top pesa un po' meno di un atomo di oro (p. a. = 197).

Quali forze sentono?

- I leptoni sentono la forza elettromagnetica e la forza nucleare debole.
- I quark sentono anche la forza nucleare forte.
- Tutti sentono la forza gravitazionale (ma qui non la consideremo).

I mattoni elementari della materia (3).

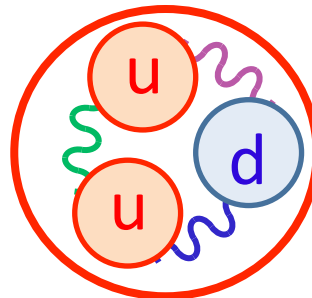
				Carica elettrica:
quark	 u up	 c charm	 t top	$+\frac{2}{3}$
	 d down	 s strange	 b bottom	$-\frac{1}{3}$
leptoni	 ν_e neutrino e	 ν_μ neutrino μ	 ν_τ neutrino τ	0
	 e elettrone	 μ muone	 τ tau	-1

❖ Leptoni e anti-leptoni sono particelle elementari libere.

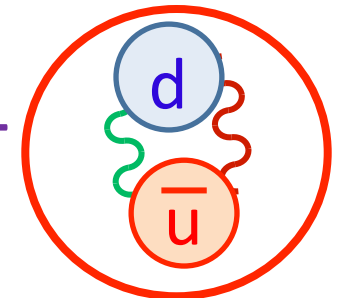
❖ I quark e gli antiquark, a causa della forza nucleare forte, sono confinati dentro particelle composte (**adroni**) libere.

Esempi
di adroni

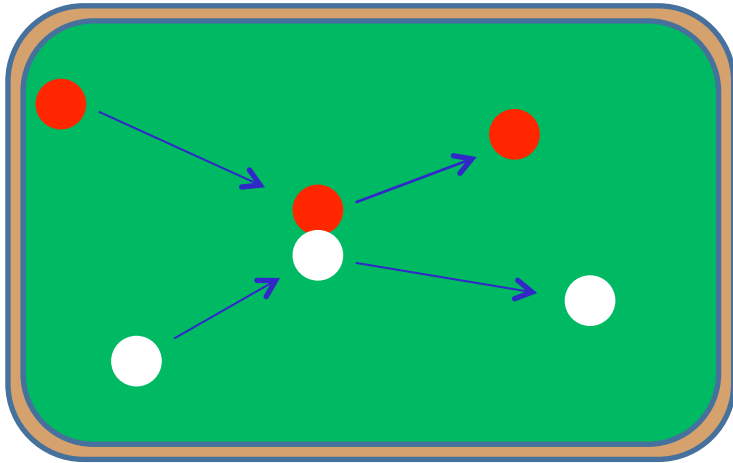
Protone p



Pione π^-



Lo scambio di forze tra particelle elementari



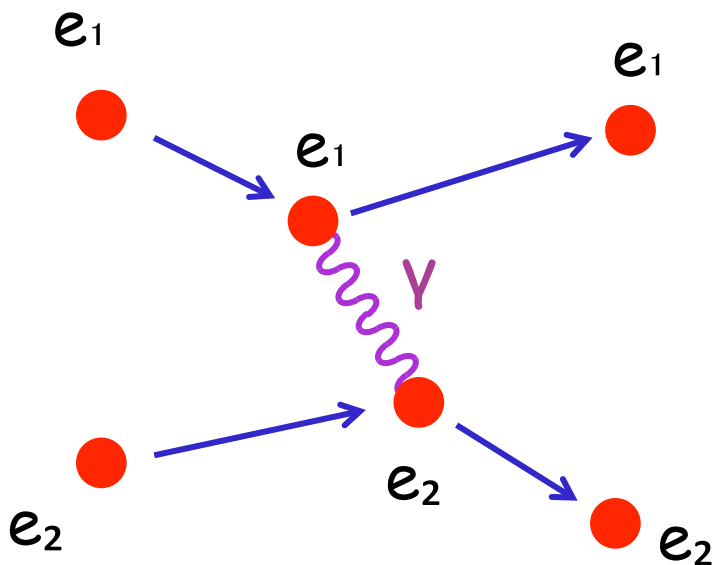
Consideriamo un tavolo da biliardo: le palle sul tavolo si urtano, cioè si toccano, scambiano tra loro impulso ed energia per contatto e si allontanano in direzioni diverse.

Guardiamo ora la collisione tra due elettroni con un'opportuna lente d'ingrandimento!!!

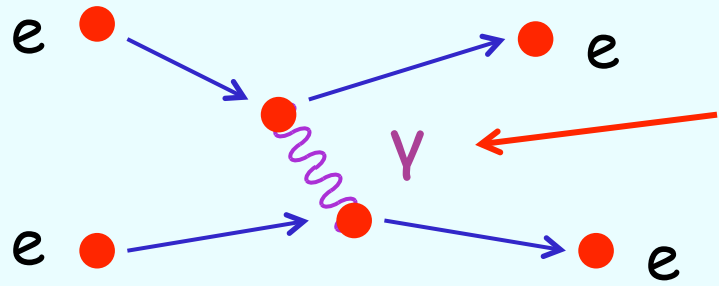
La collisione avviene attraverso lo scambio di una particella di luce, il fotone γ . Il primo elettrone emette un fotone che trasporta impulso ed energia. Il secondo elettrone assorbe il fotone e quindi l'impulso e l'energia ceduti dal primo elettrone.

La funzione del fotone è quella di trasferire impulso ed energia dal primo al secondo elettrone.

I fisici dicono che il fotone è il mediatore della forza elettromagnetica, cioè: dell'interazione elettromagnetica.



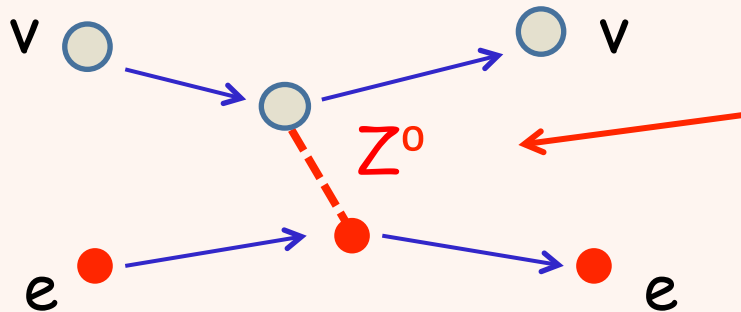
Il mediatore della forza elettromagnetica: il fotone γ



Il fotone γ è il mediatore della interazione elettromagnetica tra due particelle cariche

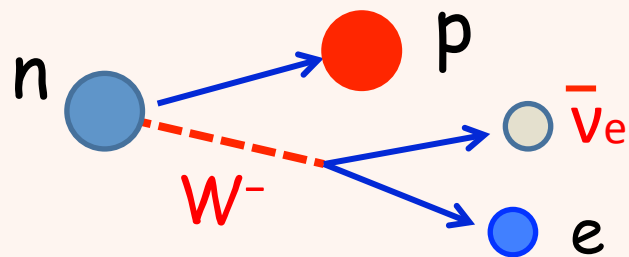
Per es.: collisione elettrone - elettrone

I mediatori della forza nucleare debole: i bosoni Z^0, W^+, W^-



Il bosone Z^0 è il mediatore neutro dell' interazione nucleare debole

Esempio: collisione neutrino-elettrone

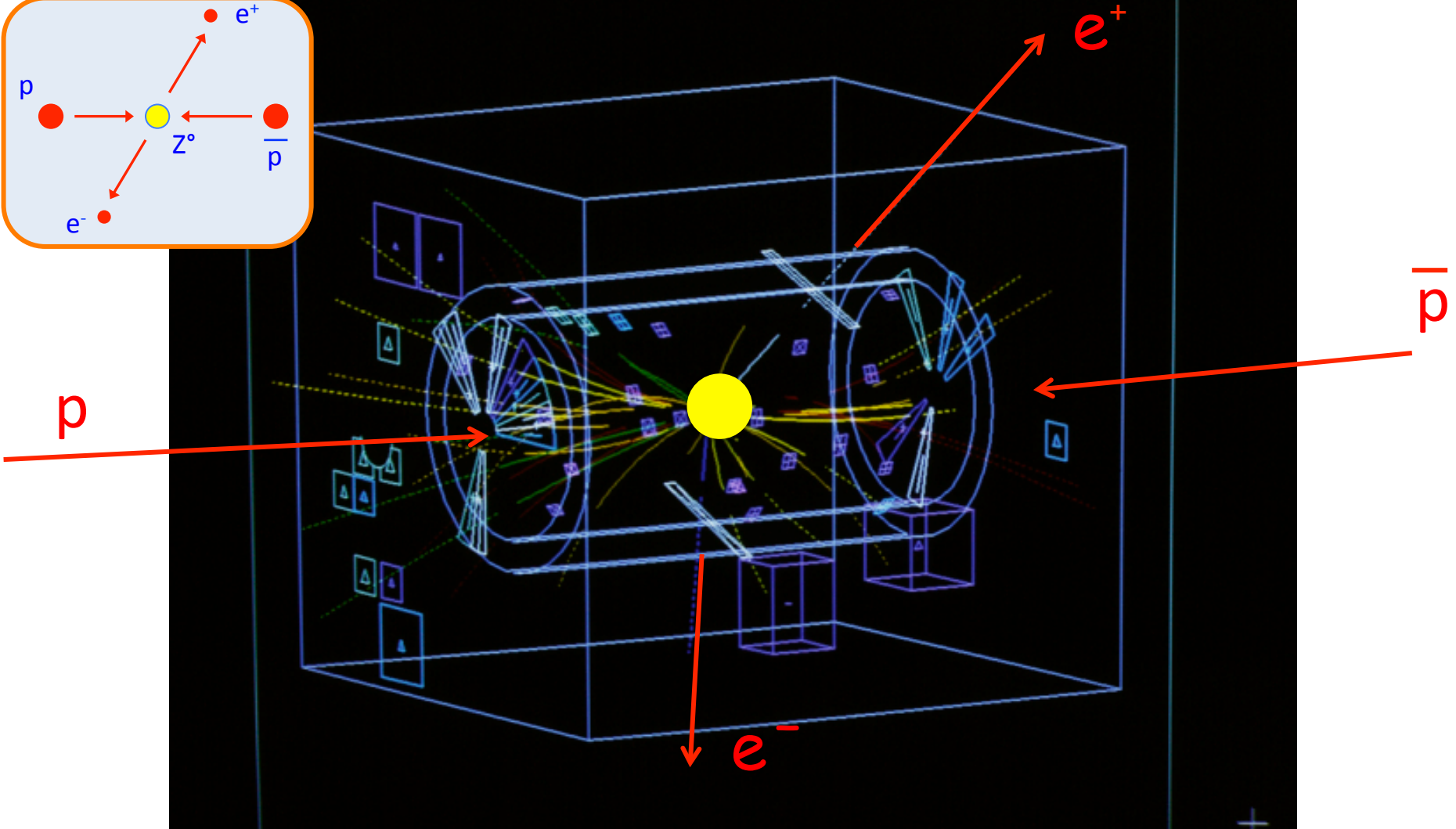
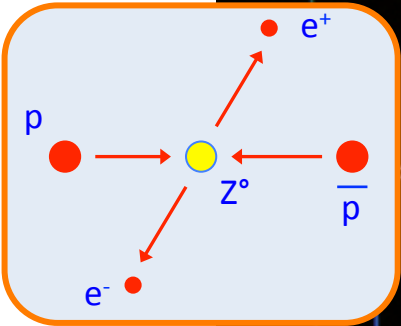


I bosoni W^+ e W^- sono i mediatori carichi della interazione nucleare debole

Per esempio: decadimento del neutrone in protone, elettrone, antineutrino

La scoperta dello Z^0 al CERN nel 1983

RUN NO= 6059 . EVT NO 1010 .
CAMAC DATE 30- 4-83 CAMAC TIME 18:53



Un evento $Z^0 \rightarrow e^+ e^-$ osservato nell'esperimento UA1

I mediatori dell'interazione nucleare forte: i gluoni g

Per le forze elettriche: carica $+$ e carica $-$

Per le forze forti tre cariche diverse: rosso, blu, verde
(nomi convenzionali senza riferimento ai colori comuni)

I quark hanno carica di colore:

per esempio il quark u può essere: 

Oltre alle cariche di colore ci sono le anti-cariche di colore.

I quark interagiscono tra di loro scambiandosi i mediatori della forza forte: sono i gluoni \sim (oppure )

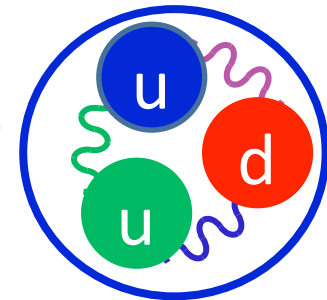
I gluoni sono 8 e anche loro hanno carica di colore.

Le particelle colorate non possono essere libere.

Solo le particelle prive di carica di colore sono libere.













Nel protone ci sono tre quark
con diversa carica di colore
che si scambiano gluoni (bicolori).
La carica totale di colore è nulla.

Protone p



Il Modello Standard delle particelle elementari

I mattoni elementari:

quark	 u	 c	 t
	 d	 s	 b
leptoni	 ν_e	 ν_μ	 ν_τ
	 e	 μ	 τ

Carica elettrica
 $+\frac{2}{3}$
 $-\frac{1}{3}$
 0
 -1

particelle con spin semintero: $\frac{1}{2}$ fermioni

Le 4 interazioni fondamentali:

		carica	massa
interazione elettrodebole	fotone γ	0	0
	bosoni W^+, W^-, Z^0	+1, -1, 0	80, 80, 91
nucleare forte	8 diversi gluoni g	0	0
gravitazionale	gravitone	(non ancora osservato)	

particelle con spin intero 1 : bosoni

- il **Modello Standard delle particelle elementari** descrive in modo completo le interazioni **elettromagnetica, nucleare debole e nucleare forte** tra i mattoni elementari a noi noti,
- unifica le interazioni **elettromagnetica e nucleare debole** in una sola interazione: **l'interazione elettrodebole** e prevede l'esistenza delle particelle W e Z^0 scoperte al CERN nel 1983 (**Premio Nobel a Carlo Rubbia**).

Il Modello Standard delle particelle elementari

→ il bosone di Higgs

- L'unificazione delle interazioni **elettromagnetica e nucleare debole** avviene con una "**rottura spontanea**" (meccanismo di Higgs) della simmetria che governa queste interazioni,
- la **teoria di unificazione** prevede l'esistenza di una nuova particella, nota come **bosone di Higgs**,
- le particelle elementari (quark e leptoni) interagendo con il **bosone di Higgs** acquistano una massa,
- il bosone di Higgs ha **spin 0 e carica nulla**,
- purtroppo **la teoria non fa previsioni per la sua massa !!!**

Come il bosone di Higgs genera la massa della particella Einstein



il vuoto è come la sala di un congresso.
I fisici presenti sono i bosoni di Higgs.



Si annuncia l'arrivo di un fisico famoso per la conferenza: una particella.



Einstein entra nella sala. I fisici si accalcano intorno a lui. Einstein è rallentato. E' come se la sua massa fosse aumentata a dismisura: cammina piano piano nella sala.

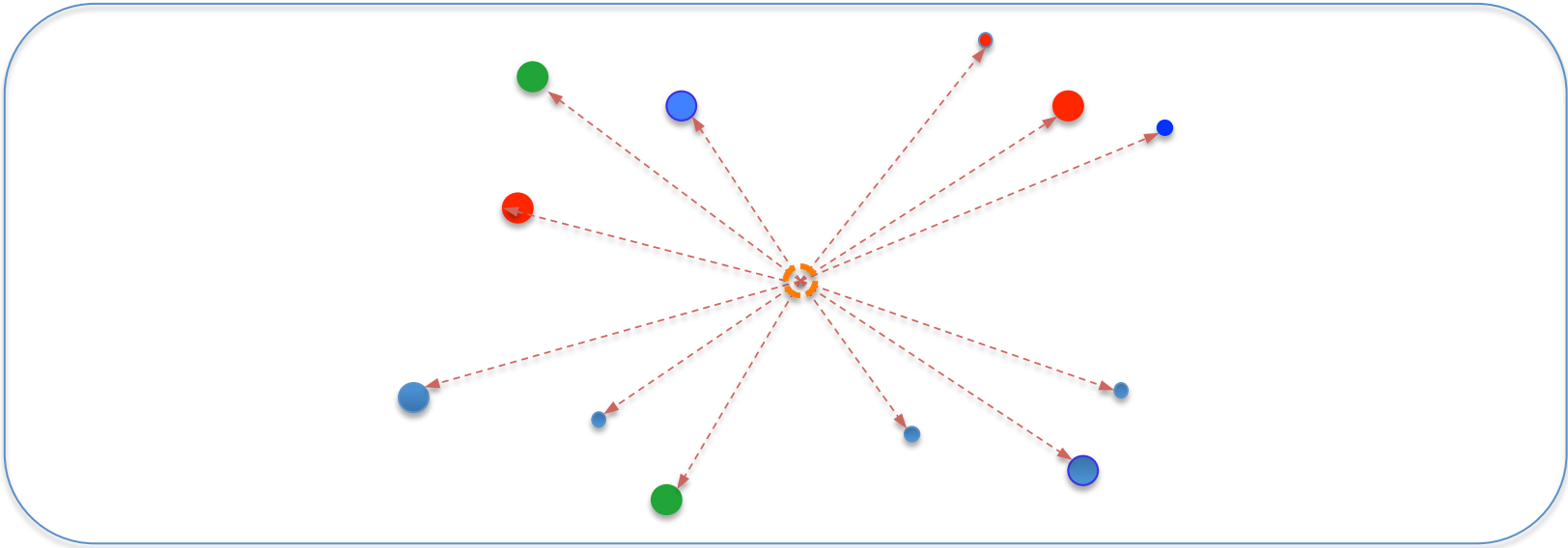
Parte seconda



Due particelle sono accelerate ad alta energia e sono fatte scontrare.



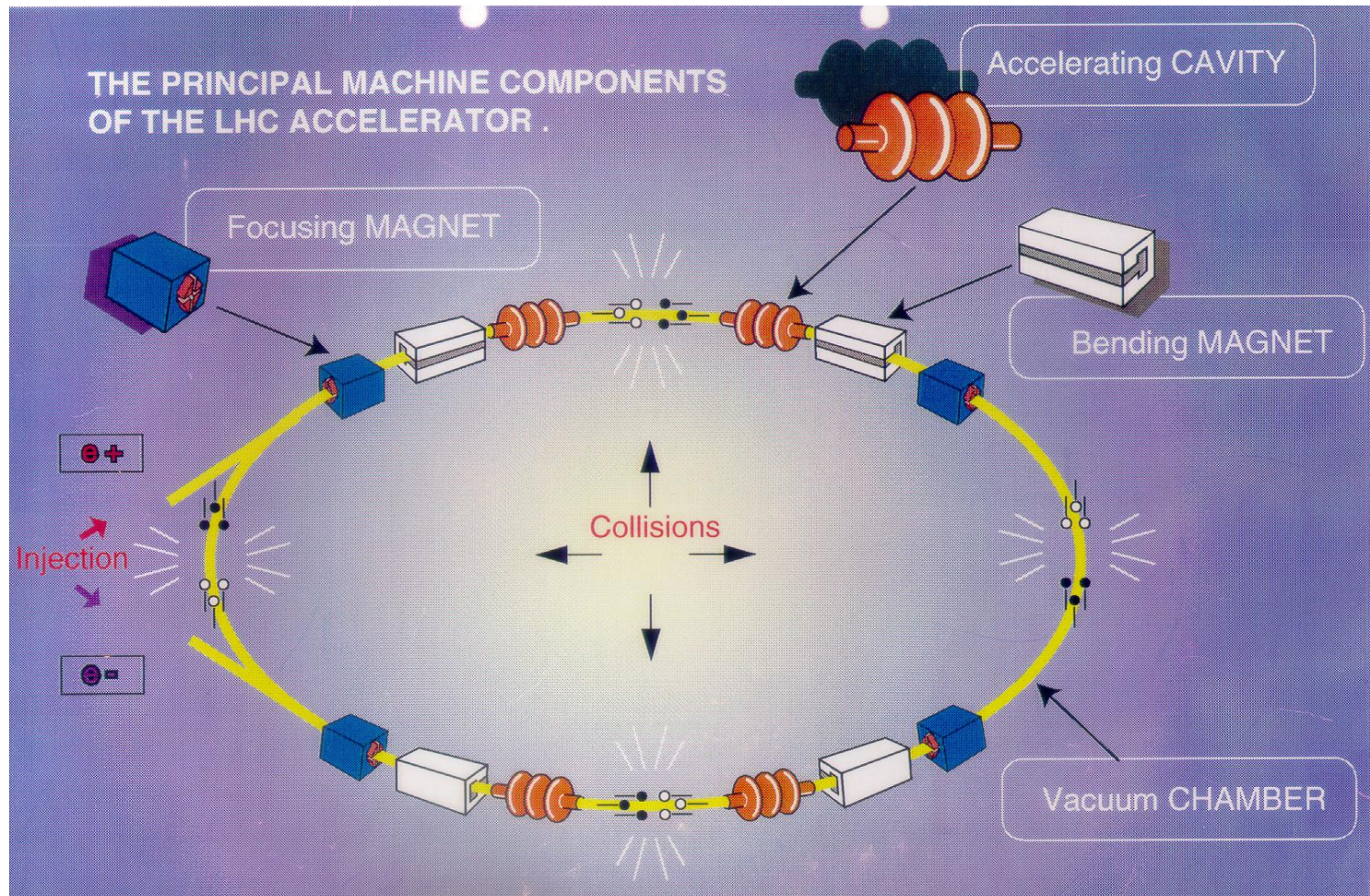
Nella collisione si mette insieme energia, possono avvenire molte interazioni diverse.



L'energia si può trasformare in molte particelle che sono osservate nell' esperimento.
In alcuni casi sono prodotte particelle interessanti o non conosciute.

Gli acceleratori di particelle.

- Per produrre particelle elementari di grande massa, è necessario far scontrare particelle di altissima energia.
- Negli acceleratori protoni o elettroni sono accelerati fino a energie elevatissime e vengono fatti scontrare in alcuni punti.

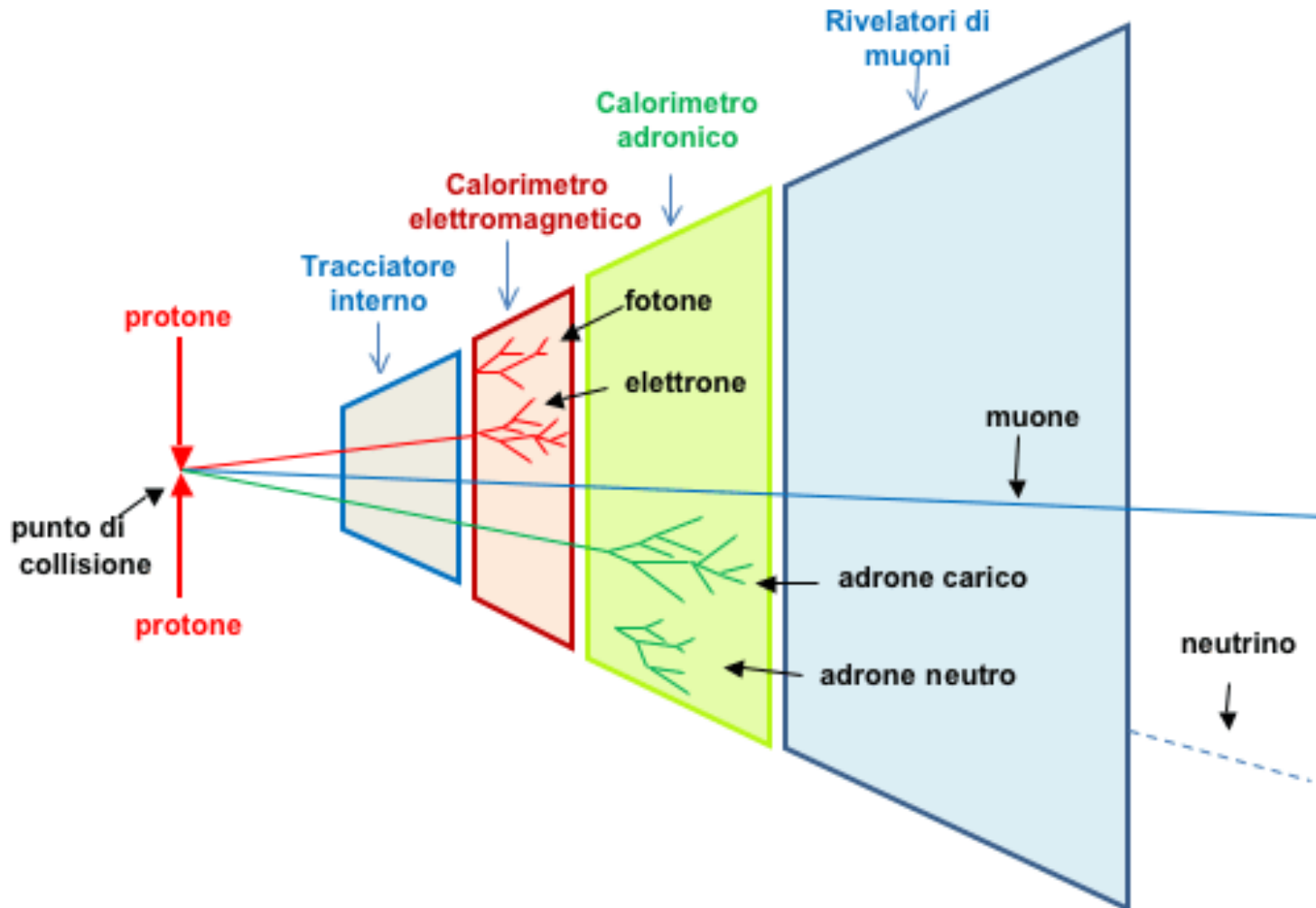


Gli esperimenti di fisica delle particelle.

- Nei punti dove avvengono le collisioni sono predisposti opportuni **apparati sperimentali** ossia sistemi di **rivelatori per l'osservazione delle particelle** prodotte nelle collisioni.
- Solo in un numero **piccolissimo di collisioni** sono prodotte le particelle più interessanti che si vogliono osservare.
- I segnali degli eventi più interessanti, osservati nei rivelatori, **sono registrati** e successivamente **accuratamente analizzati** per studiare i costituenti elementari e le interazioni fondamentali della materia.

I rivelatori di particelle.

Gli esperimenti sono costituiti da una successione di diversi **rivelatori** in grado di determinare il tipo e l'energia delle particelle generate nelle collisione. Ci sono segnali caratteristici per ogni tipo di particella.



CERN

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



Conseil Européen pour la **Recherche Nucleaire**

- ❖ Organizzazione fondata nel 1953 per costruire anche in Europa un laboratorio di livello mondiale per le ricerche di Fisica fondamentale.
- ❖ Costituito inizialmente da 12 Stati membri:
Belgio, Danimarca, Francia, Germania, Grecia, Gran Bretagna, Italia, Jugoslavia, Norvegia, Olanda, Svezia, Svizzera.
- ❖ Comprende oggi 21 Stati membri (+: Spagna, Israele, Austria,
- ❖ Ci sono Stati "osservatori": USA, Russia, Giappone, India,
- ❖ Ci sono Stati con "accordi di cooperazione" (Cina, Arabia Saudita, ...).
- ✓ Il CERN ha 2.500 dipendenti fissi (fisici, ingegneri, informatici, ..)
- ✓ Svolgono ricerche al CERN circa 10.000 ricercatori da 600 istituti e università di 113 nazioni. Metà dei ricercatori (HEP) del mondo. 
- ✓ **Gli italiani che partecipano alle ricerche sono 1137 (Gennaio 2014).**
- ✓ **In Italia la ricerca è coordinata dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare**

Un po' di storia di LHC (Large Hadron Collider).

- Nel 1994 il CERN ha deciso di costruire il Large Hadron Collider, un collisore di protoni con un'energia finale **nel centro di massa di 14 TeV***.
- Tra il 1996 e il 1998 sono stati approvati i quattro grandi esperimenti: **ATLAS, CMS, LHCb, ALICE.**
- L'acceleratore è stato costruito (dal 2001) nel tunnel che prima ospitava il collisore elettrone - positrone LEP.
- **LHC** è entrato in funzione nell'Ottobre 2008 ma poco dopo si è verificato un incidente. Dopo le riparazioni ha ricominciato a funzionare a fine 2009 e poi nel Marzo 2010.
- **Nel 2011** ha funzionato a **7 TeV** ed è stato possibile vedere un primo segnale compatibile con quello aspettato per il bosone di Higgs.
- **Nel 2012** ha funzionato a **8 TeV** e già con i dati raccolti fino a Luglio è stato possibile avere la conferma del segnale e annunciare la scoperta dell'Higgs.
- Dalla fine del 2012 è fermo per modifiche all'acceleratore e agli esperimenti. Ricomincerà a funzionare a **13 TeV nei prossimi mesi (2015).**

* 1 TeV = energia pari all'energia di massa di 1000 protoni ($E=mc^2$).

LHC – Large Hadron Collider :

un collisore di protoni di 14 TeV in un tunnel lungo 27 km,
100 m sotto la frontiera tra Svizzera e Francia, presso Ginevra



Svizzera



Francia



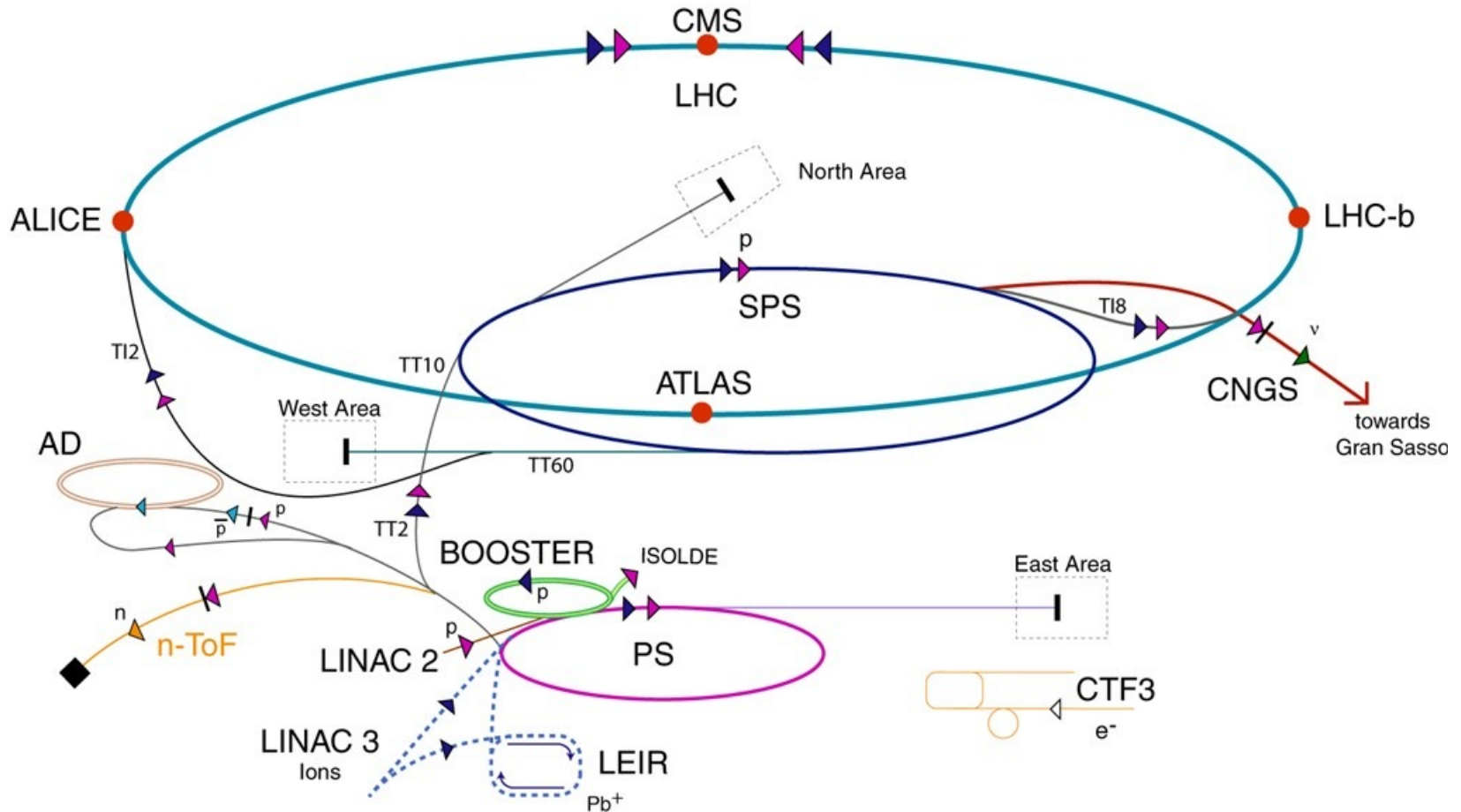
Monte Bianco

Ginevra
(Jet d'eau)

Aeroporto
di Ginevra

il CERN

The CERN accelerator complex



- ▶ protons
- ▶ ions
- ▶ neutrons

- ▶ antiprotons
- ▶ electrons
- ▶ neutrons

- AD Antiproton Decelerator
- PS Proton Synchrotron
- SPS Super Proton Synchrotron

- LHC Large Hadron Collider
- n-ToF Neutron Time of Flight
- CNGS CERN Neutrinos to Gran Sasso

CTF3 CLIC Test Facility 3

LHC in numeri:

Circonferenza della macchina: 26,7 Km

Energia del protone alla collisione: 7 TeV = 7000 volte la sua massa

Luminosità: $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Pacchetti di protoni: 2808

Protoni per pacchetto: 10^{11} ---> 100 miliardi

Corrente per fascio: 0.56 A

Energia nei due fasci: 0.7 MJ ---> = 1 tonnellata che cade da 70 m

Massa dei protoni nei due fasci: $5 \cdot 10^{-10}$ grammi

= 0,5 miliardesimo di grammo

I protoni fanno 10.000 giri della macchina al secondo

Lunghezza dei pacchetti: 10-20 cm

Diametro dei fasci di protoni alla collisione circa: 16 μm

diametro di un capello circa 50 μm

Tempo tra due incroci di fasci: 25 ns ---> 40 milioni /secondo

Numero di collisioni per incrocio dei fasci: 40-100

I magneti:

Numero di magneti: 9593

Numero grandi magneti dipolari superconduttori: 1232

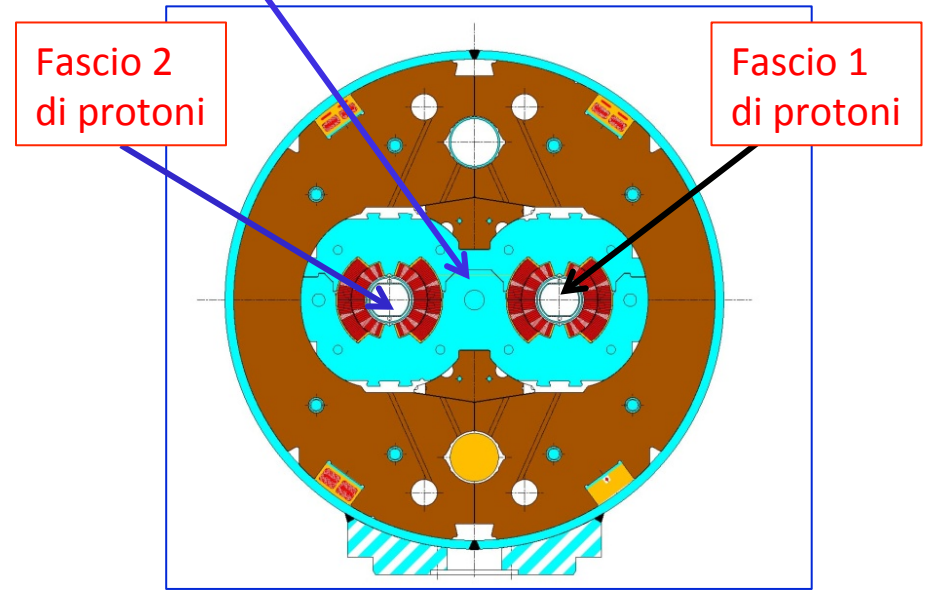
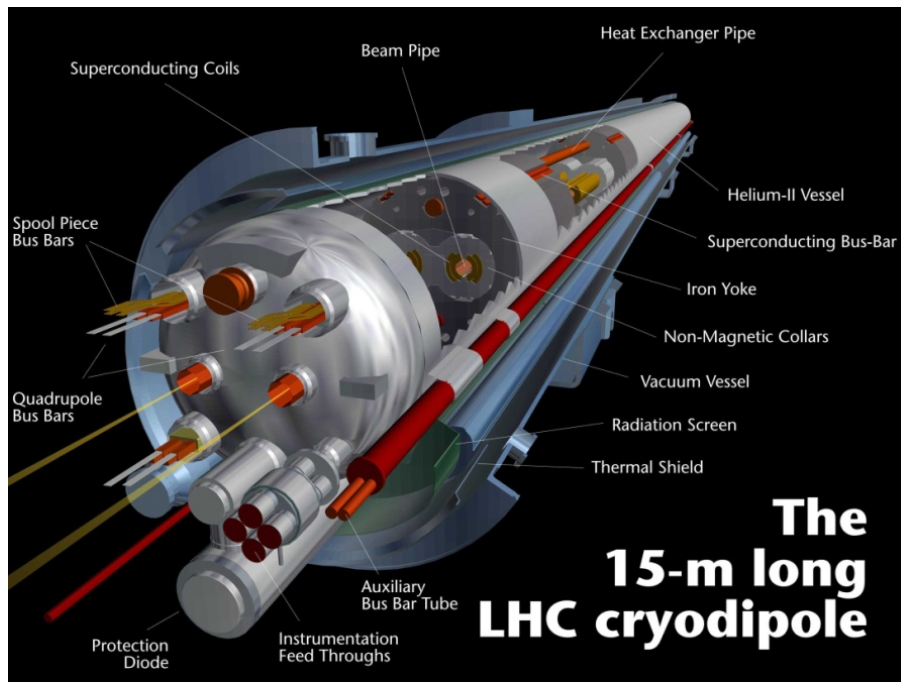
(1/3 prodotti da ANSALDO) 

Campo magnetico nei dipoli: **8,33 Tesla**

400.000 volte campo magnetico terrestre

Temperatura dei dipoli: 1,9 K (-271,3 °C)

la zona estesa più fredda dell'Universo

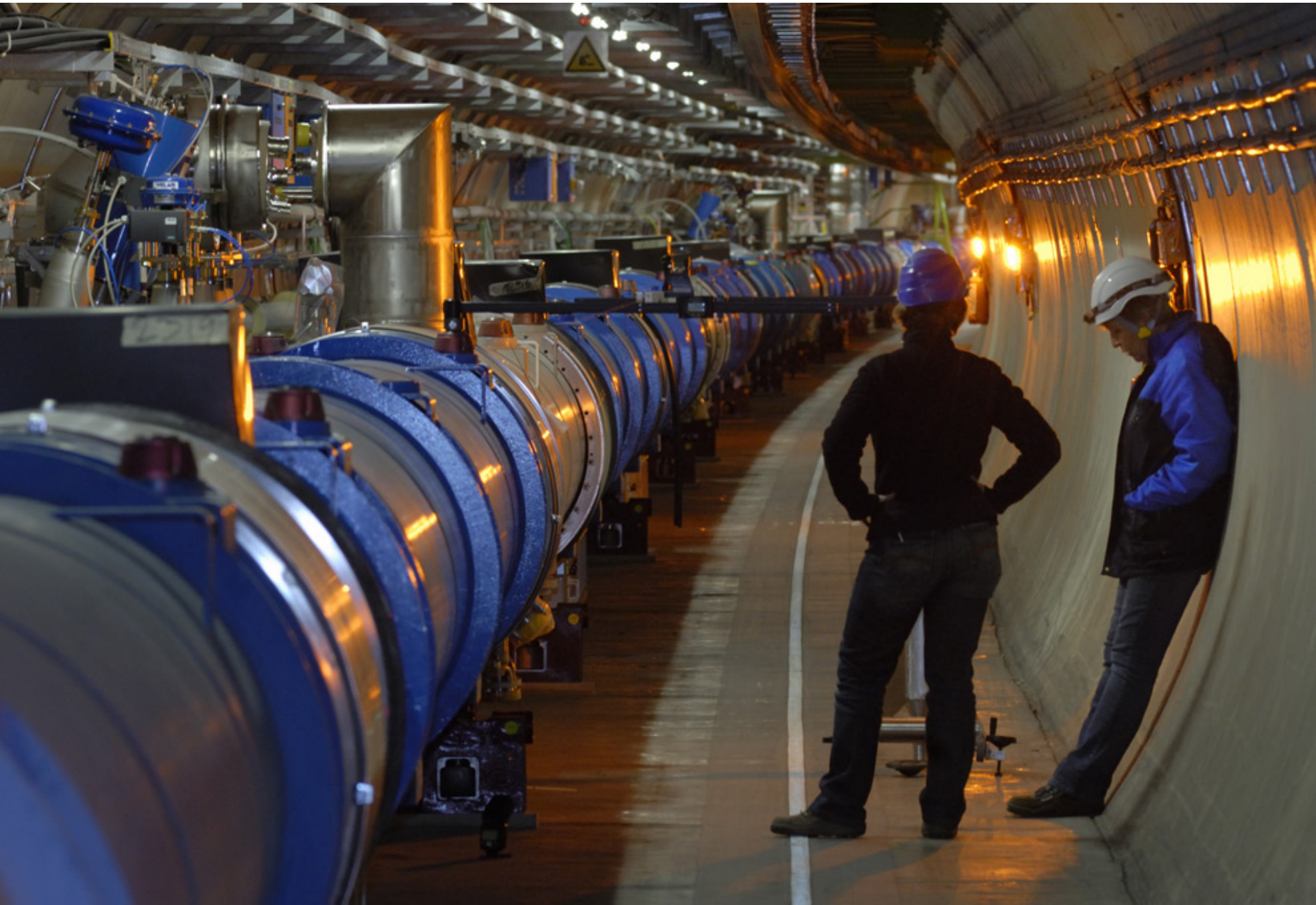


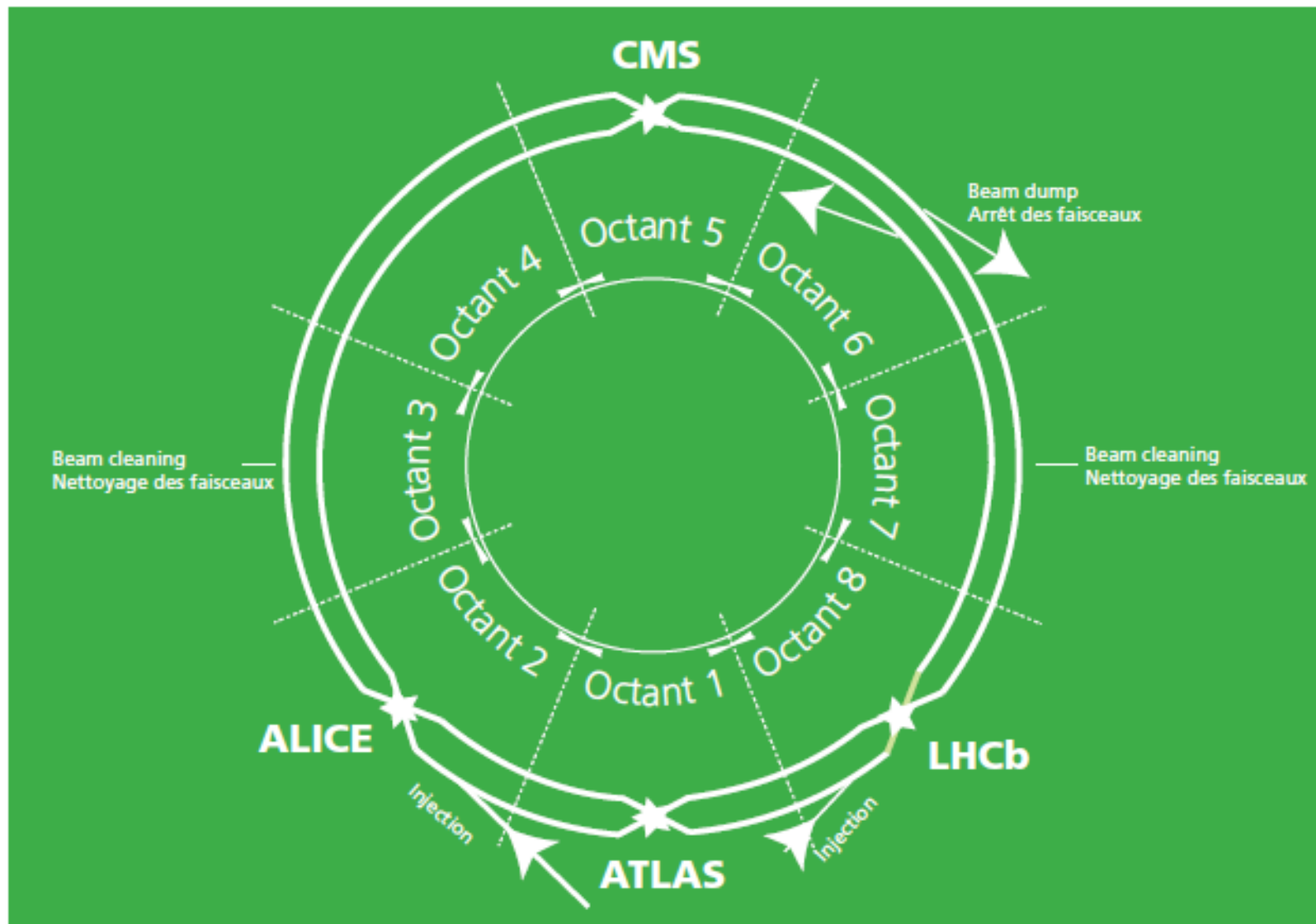
Sezione del dipolo

Hall per il test criogenico dei magneti dipolari da 8 Tesla .



Un tratto del tunnel di LHC .





Gli esperimenti a LHC.

Lungo il tunnel di LHC, in quattro punti dove i fasci di protoni vengono fatti incrociare, si trovano quattro grandi sale sperimentali sotterranee.

Ospitano gli esperimenti:



ATLAS, CMS: due esperimenti capaci di studiare tutta la fisica delle collisioni protone-protone.



LHCb: per lo studio delle particelle con quark b



ALICE: per l'analisi delle collisioni tra nuclei di piombo e lo studio del plasma di quark e gluoni.

Esperimento ATLAS

ATLAS: A Toroidal LHC ApparatuS



Un esperimento per tutta la fisica a LHC:

- copre quasi tutta la zona intorno al punto di collisione,
- misura l'energia fino a circa 1° dalla linea dei fasci .

Dimensioni (determinate dalle dimensioni del magnete per muoni)

- peso : ~ 7000 tonnellate,
- lunghezza : ~ 46 m, raggio: ~ 12 m ,
- $\sim 10^8$ canali di elettronica , ~ 3000 km di cavi .

Costo 540 MCHF

- **Tracking ($|\eta| < 2.5$, $B=2T$) :**
 - -- Si pixels and strips
 - -- Transition Radiation Detector (e/π separation)
- **Calorimetry ($|\eta| < 5$) :**
 - -- EM : Pb-LAr
 - -- HAD: Fe/scintillator (central), Cu/W-LAr (fwd)
- **Muon Spectrometer ($|\eta| < 2.7$) :**
 - -- air-core toroids with muon chambers

- **Analisi**
- **Strutture di calcolo**



ATLAS Collaboration

I numeri:

- 38 Nazioni
- 177 Istituzioni
- 3000 fisici
(1503 with a PhD, for M&O share)



Partecipazione italiana:

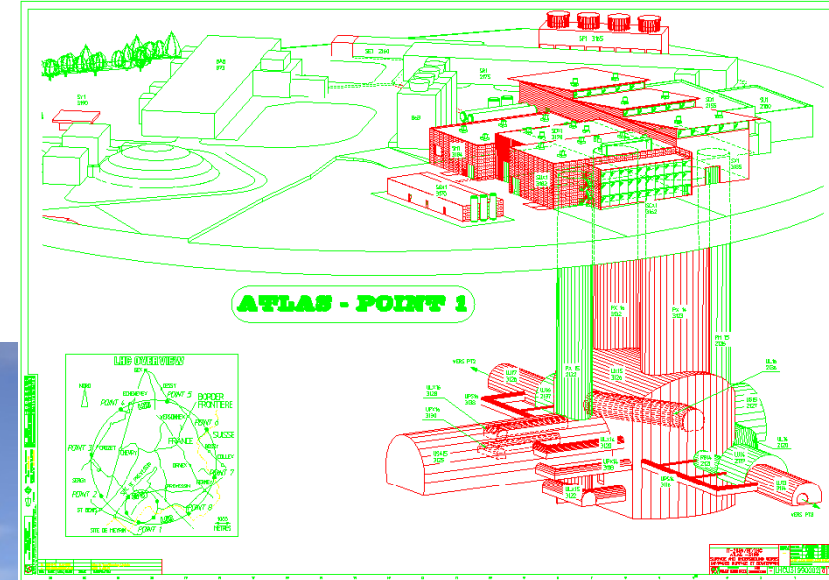
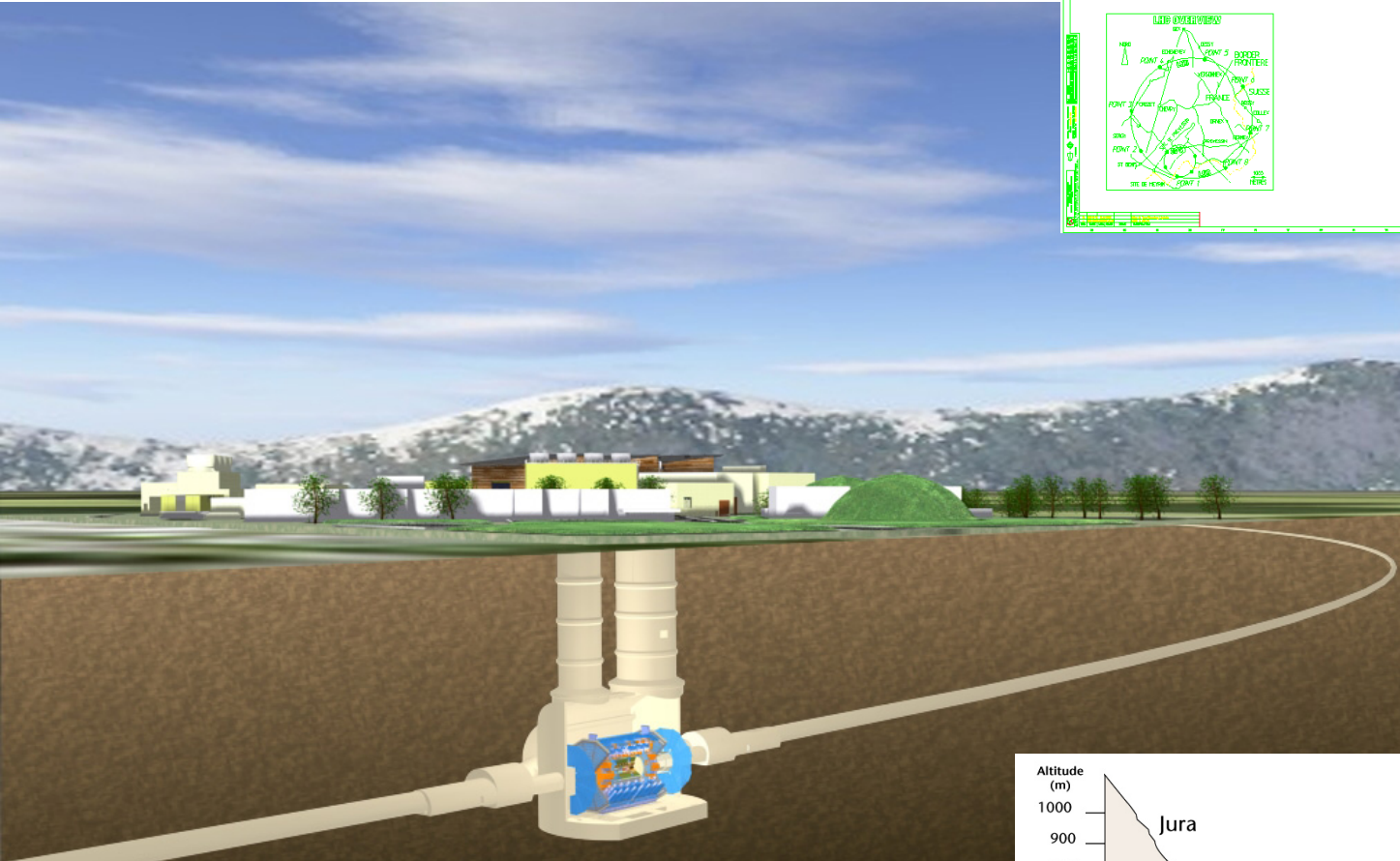
- 13 Sezioni / Laboratori INFN
(BO, CS, GE, LE, LNF, MI, NA, PI, RM1, RM2, RM3, PV, UD)
- 250 Scientific Authors
- 11.4 % della Collaborazione



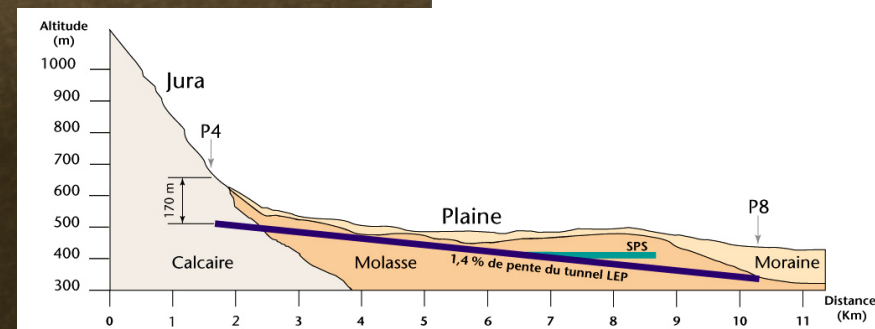
Albany, Alberta, NIKHEF Amsterdam, Ankara, LAPP Ancecy, Argonne NL, Arizona, UT Arlington, Athens, NTU Athens, Baku, IFAE Barcelona, Belgrade, Bergen, Berkeley LBL and UC, HU Berlin, Bern, Birmingham, Bologna, Bonn, Boston, Brandeis, Bratislava/SAS Kosice, Brookhaven NL, Buenos Aires, Bucharest, Cambridge, Carleton, Casablanca/Rabat, CERN, Chinese Cluster, Chicago, Clermont-Ferrand, Columbia, NBI Copenhagen, Cosenza, AGH UST Cracow, IFJ PAN Cracow, DESY, Dortmund, TU Dresden, JINR Dubna, Duke, Frascati, Freiburg, Geneva, Genoa, Giessen, Glasgow, LPSC Grenoble, Technion Haifa, Hampton, Harvard, Heidelberg, Hiroshima, Hiroshima IT, Indiana, Innsbruck, Iowa SU, Irvine UC, Istanbul Bogazici, KEK, Kobe, Kyoto, Kyoto UE, Lancaster, UN La Plata, Lecce, Lisbon LIP, Liverpool, Ljubljana, QMW London, RHBNC London, UC London, Lund, UA Madrid, Mainz, Manchester, Mannheim, CPPM Marseille, Massachusetts, MIT, Melbourne, Michigan, Michigan SU, Milano, Minsk NAS, Minsk NCPHEP, Montreal, McGill Montreal, FIAN Moscow, ITEP Moscow, MEPHI Moscow, MSU Moscow, Munich LMU, MPI Munich, Nagasaki IAS, Naples, New Mexico, New York, Nijmegen, BINP Novosibirsk, Ohio SU, Okayama, Oklahoma, Oklahoma SU, Oregon, LAL Orsay, Osaka, Oslo, Oxford, Paris VI and VII, Pavia, Pennsylvania, Pisa, Pittsburgh, CAS Prague, CU Prague, TU Prague, IHEP Protvino, Ritsumeikan, UFRJ Rio de Janeiro, Rochester, Rome I, Rome II, Rome III, Rutherford Appleton Laboratory, DAPNIA Saclay, Santa Cruz UC, Sheffield, Shinshu, Siegen, Simon Fraser Burnaby, SLAC, Southern Methodist Dallas, NPI Petersburg, Stockholm, KTH Stockholm, Stony Brook, Sydney, AS Taipei, Tbilisi, Tel Aviv, Thessaloniki, Tokyo ICEPP, Tokyo MU, Toronto, TRIUMF, Tsukuba, Tufts, Udine, Uppsala, Urbana UI, Valencia, UBC Vancouver, Victoria, Washington, Weizmann Rehovot, Wisconsin, Wuppertal, Yale, Yerevan

La caverna che ospita l'esperimento ATLAS

circa 100 m sotto la superficie

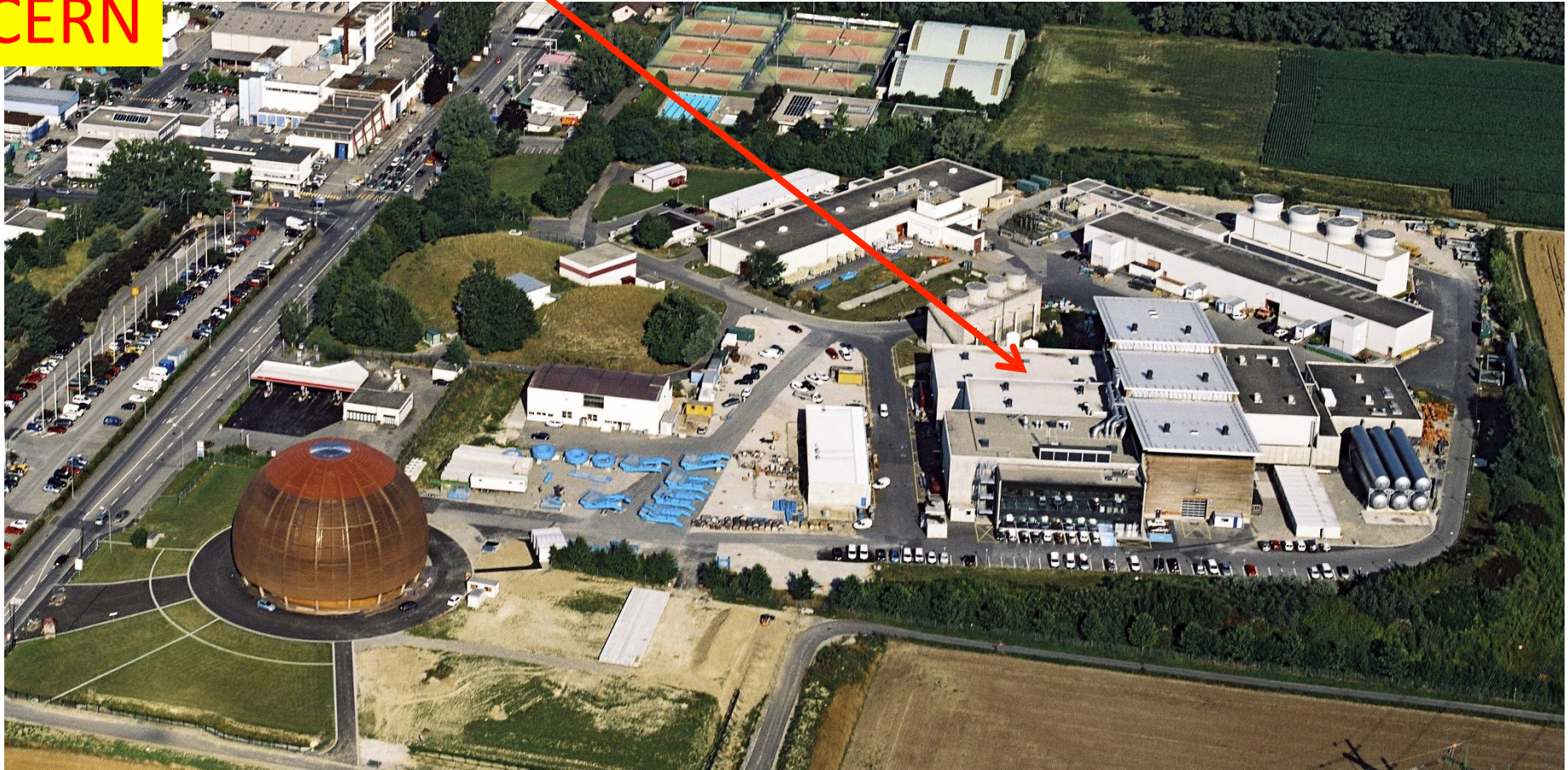


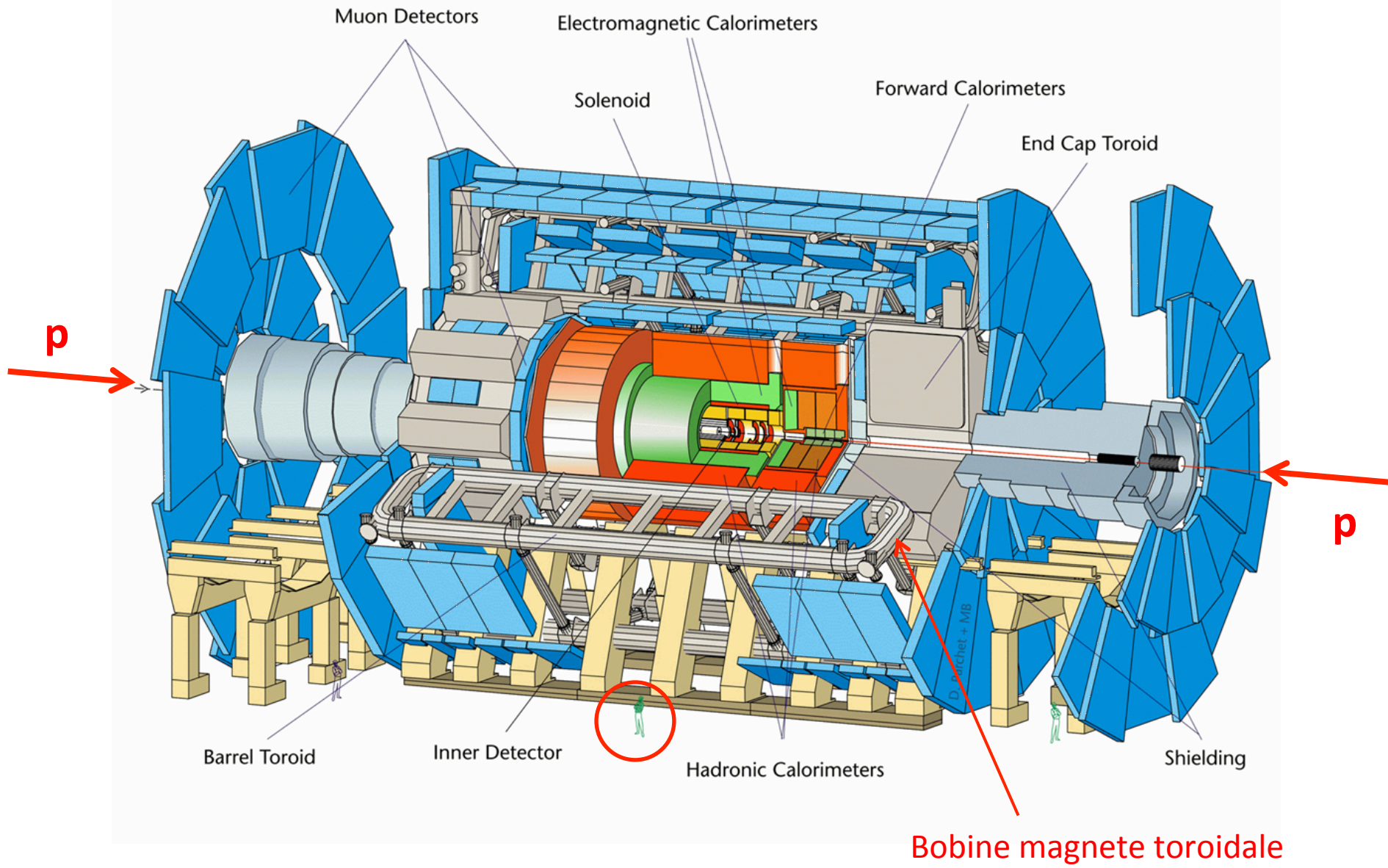
Lunghezza = 55 m
Raggio = 32 m
Altezza = 35 m

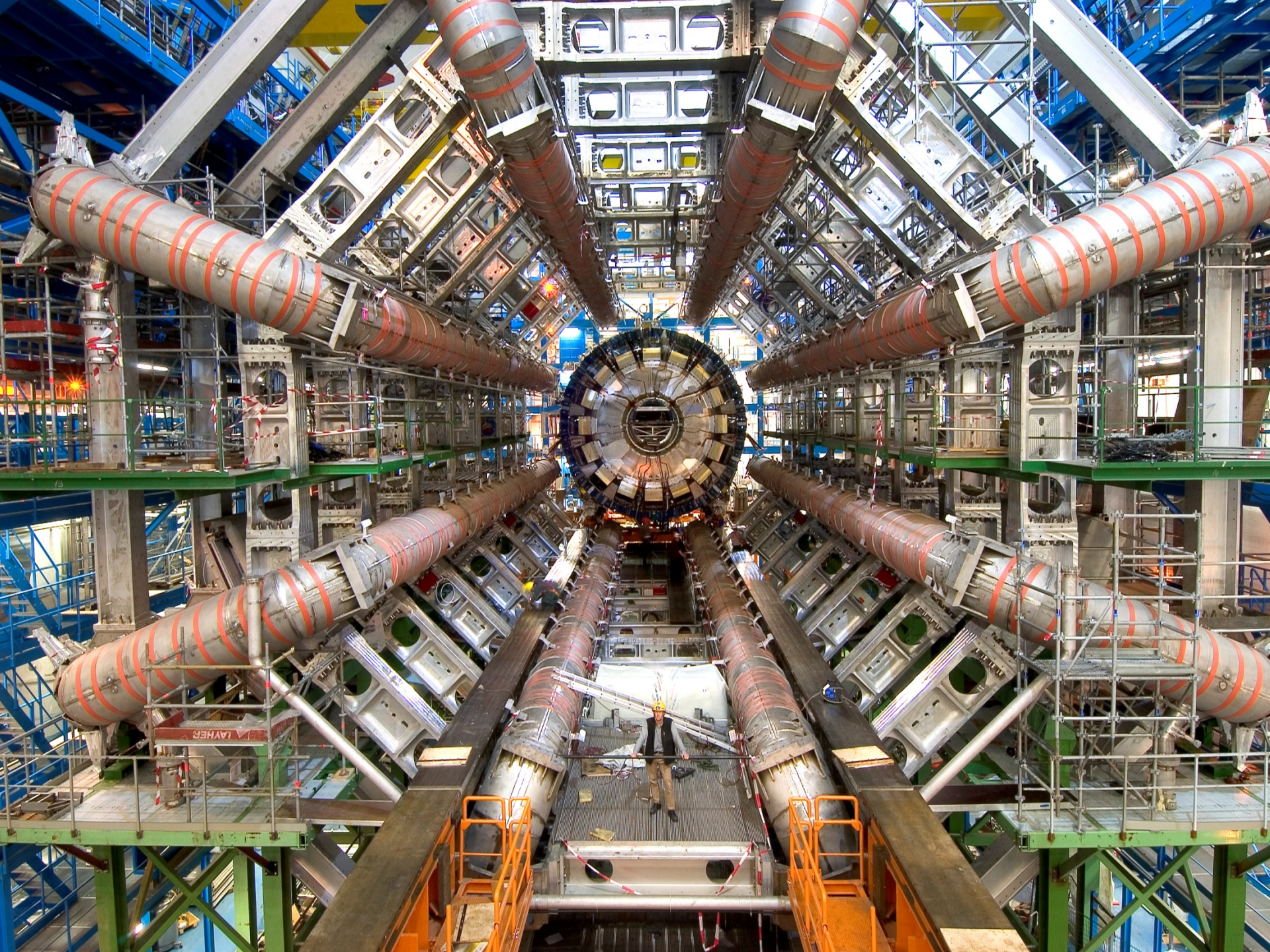


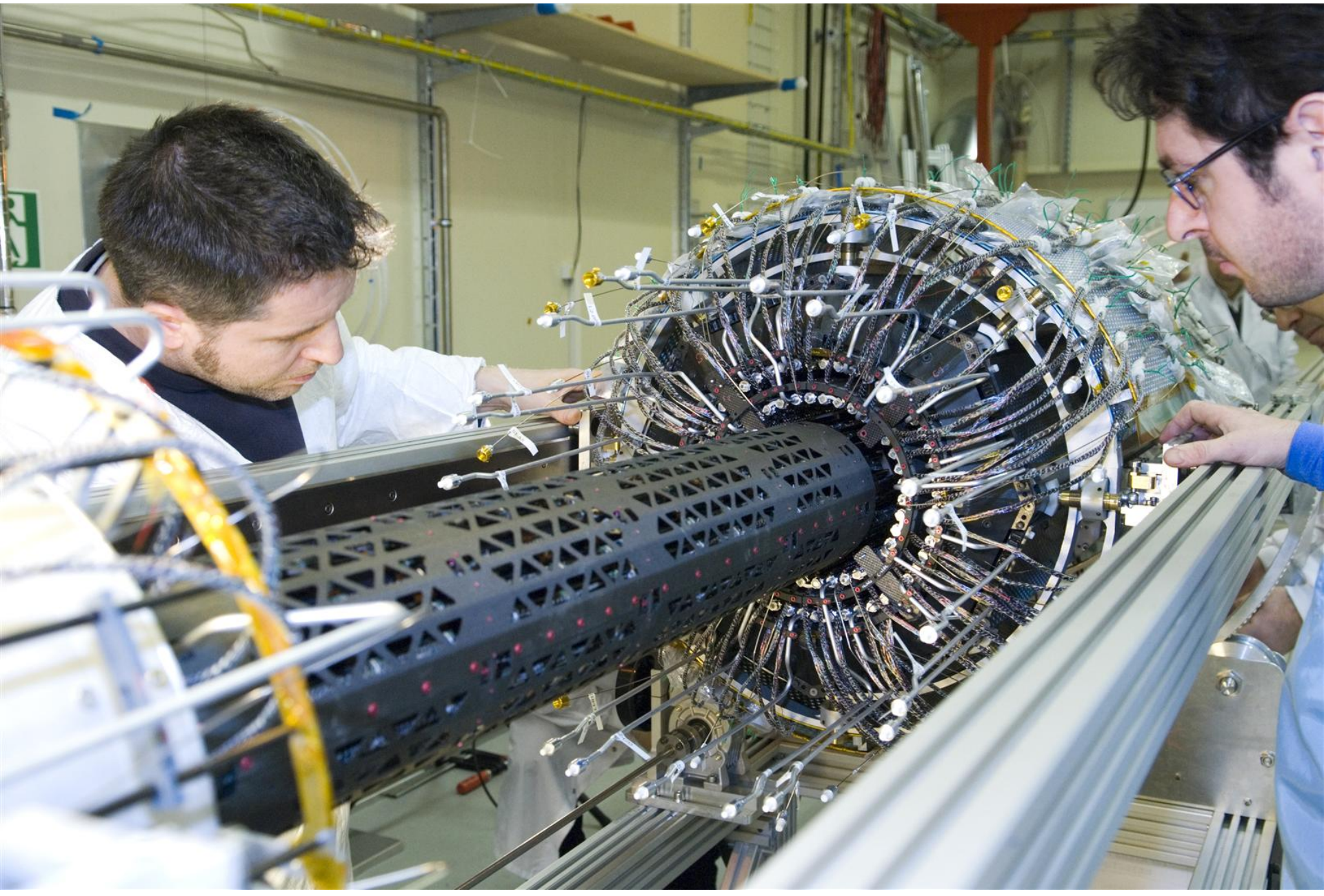
Veduta aerea delle installazioni di superficie dell'esperimento ATLAS

CERN



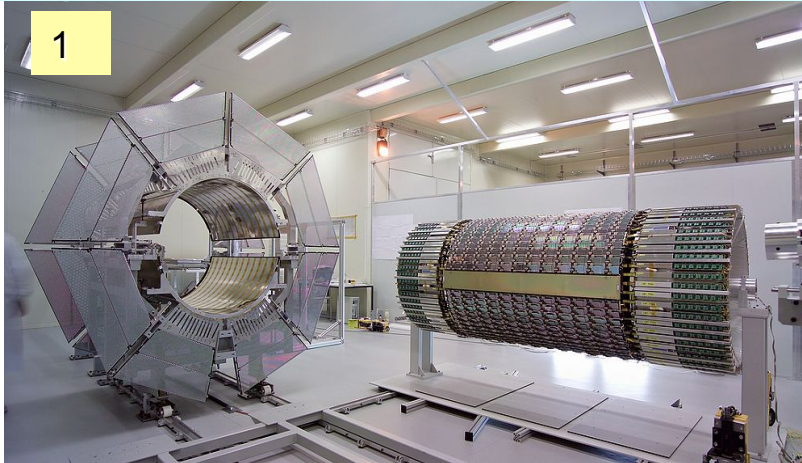




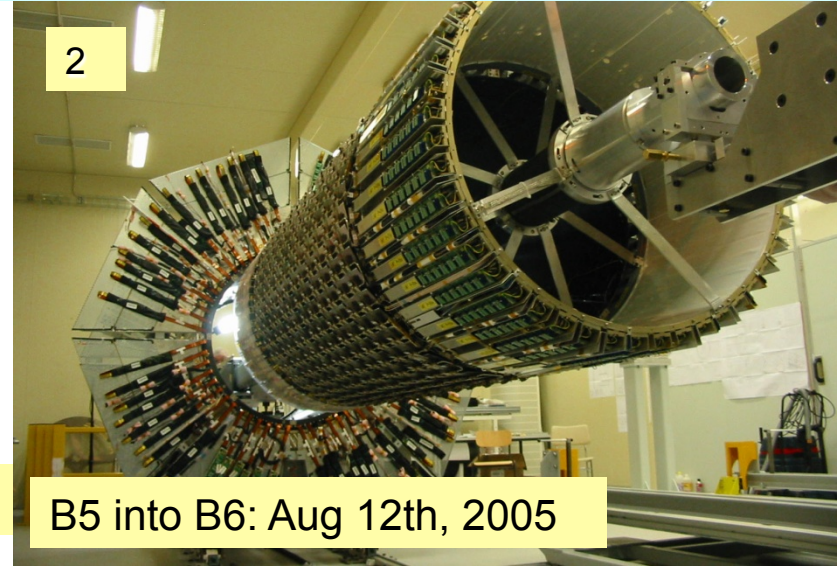


SCT Barrel assembly in 2005

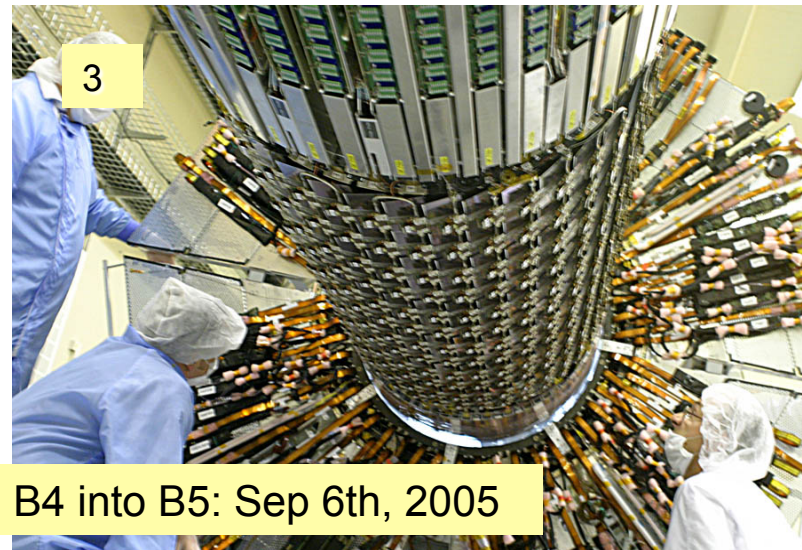
Assembly of 4 barrel double layers together



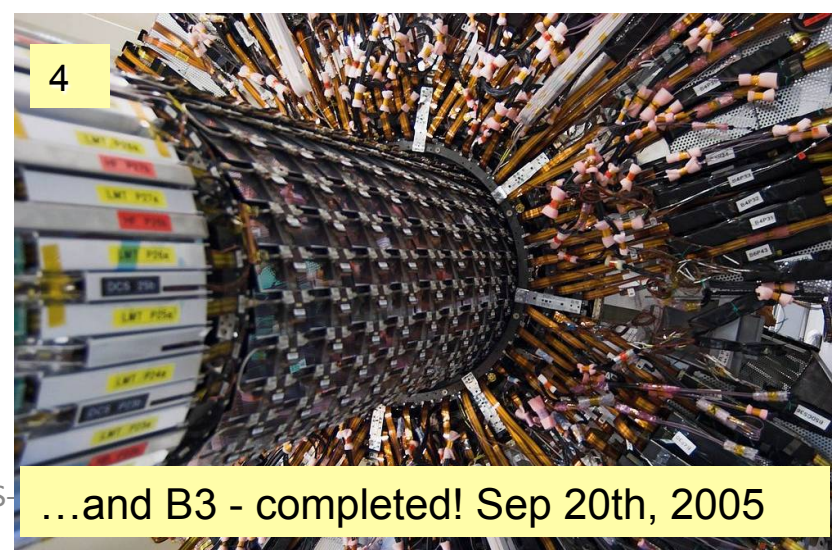
1
B6 to thermal enclosure: July 15th, 2005



2
B5 into B6: Aug 12th, 2005

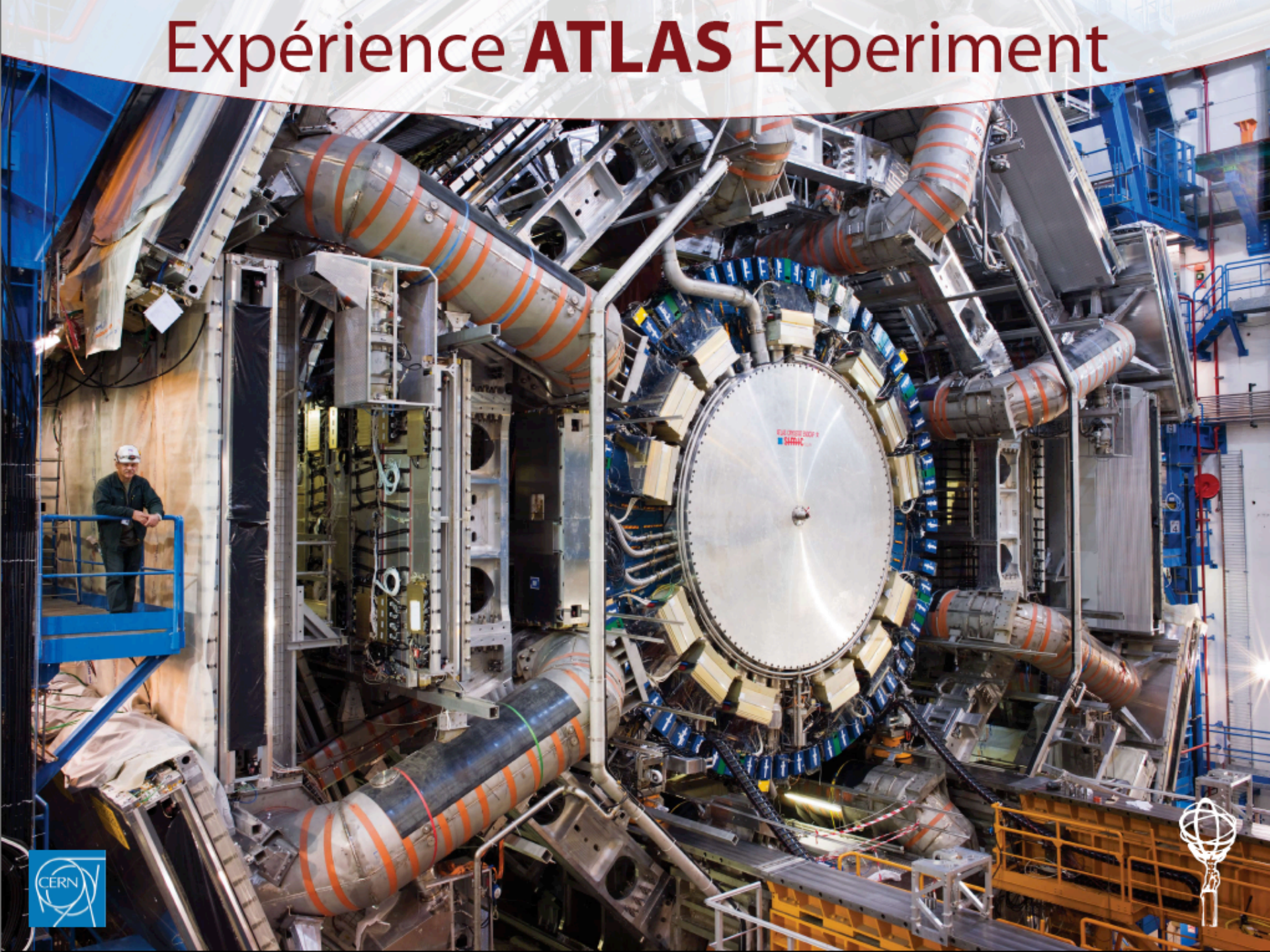


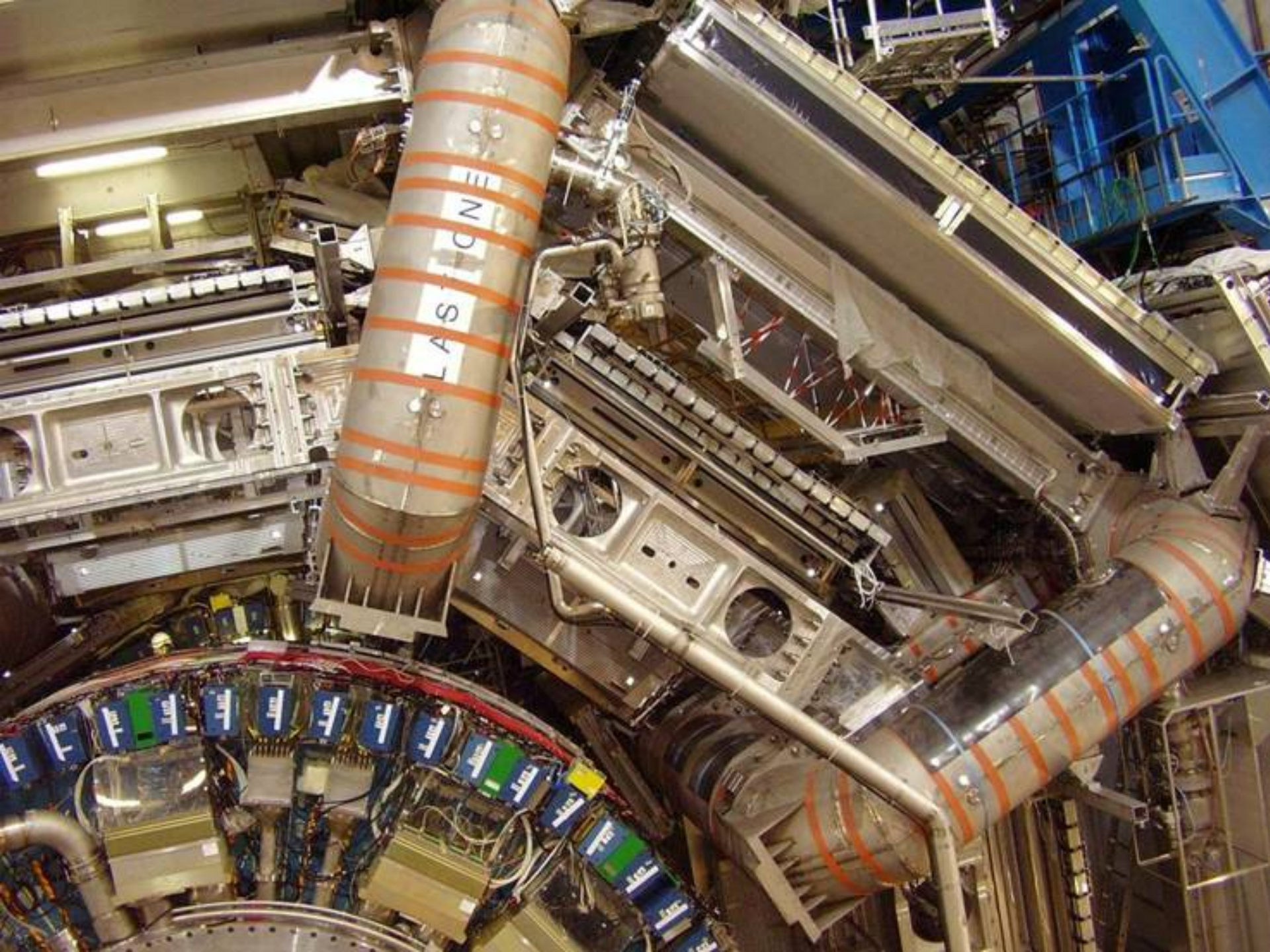
3
B4 into B5: Sep 6th, 2005

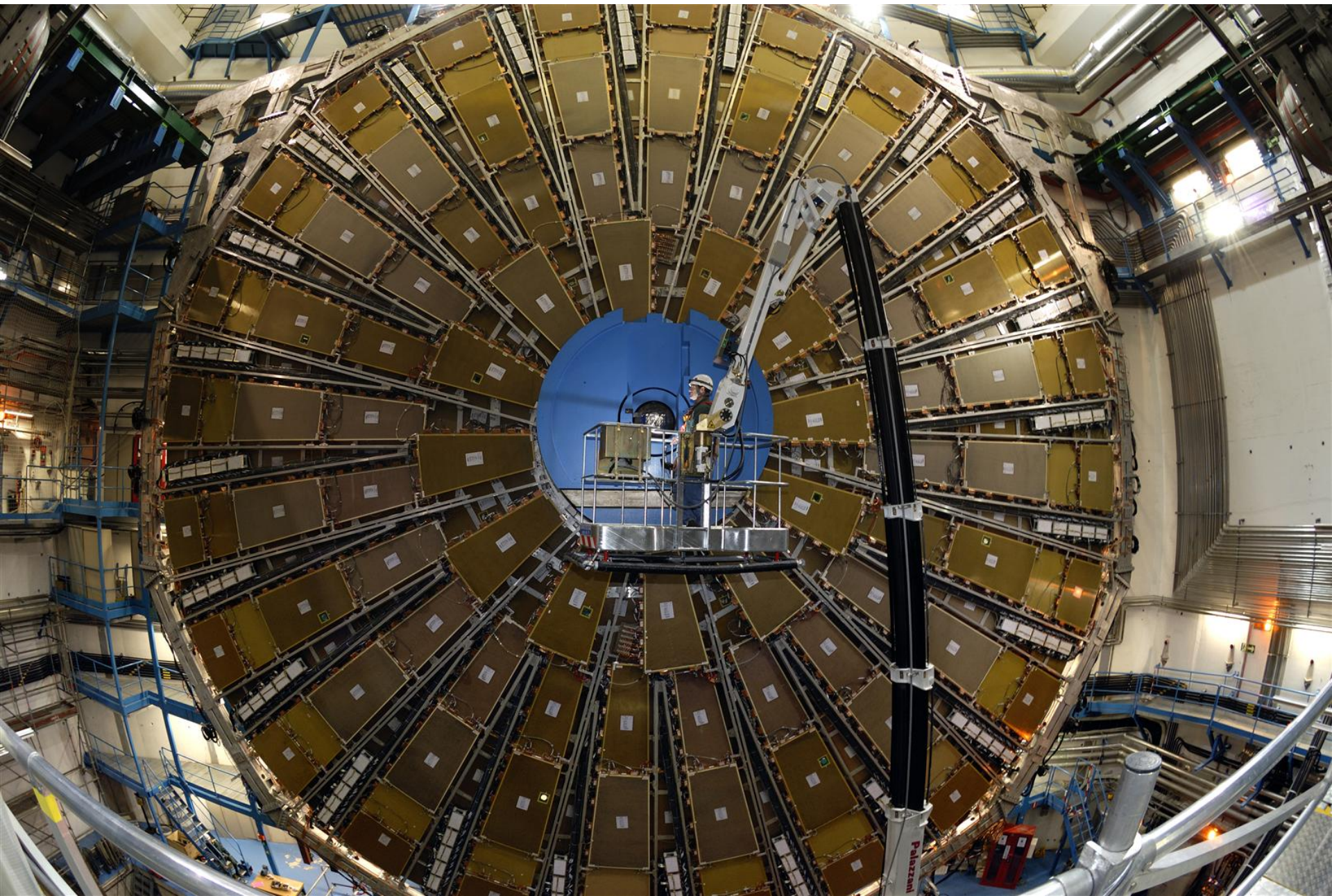


4
...and B3 - completed! Sep 20th, 2005

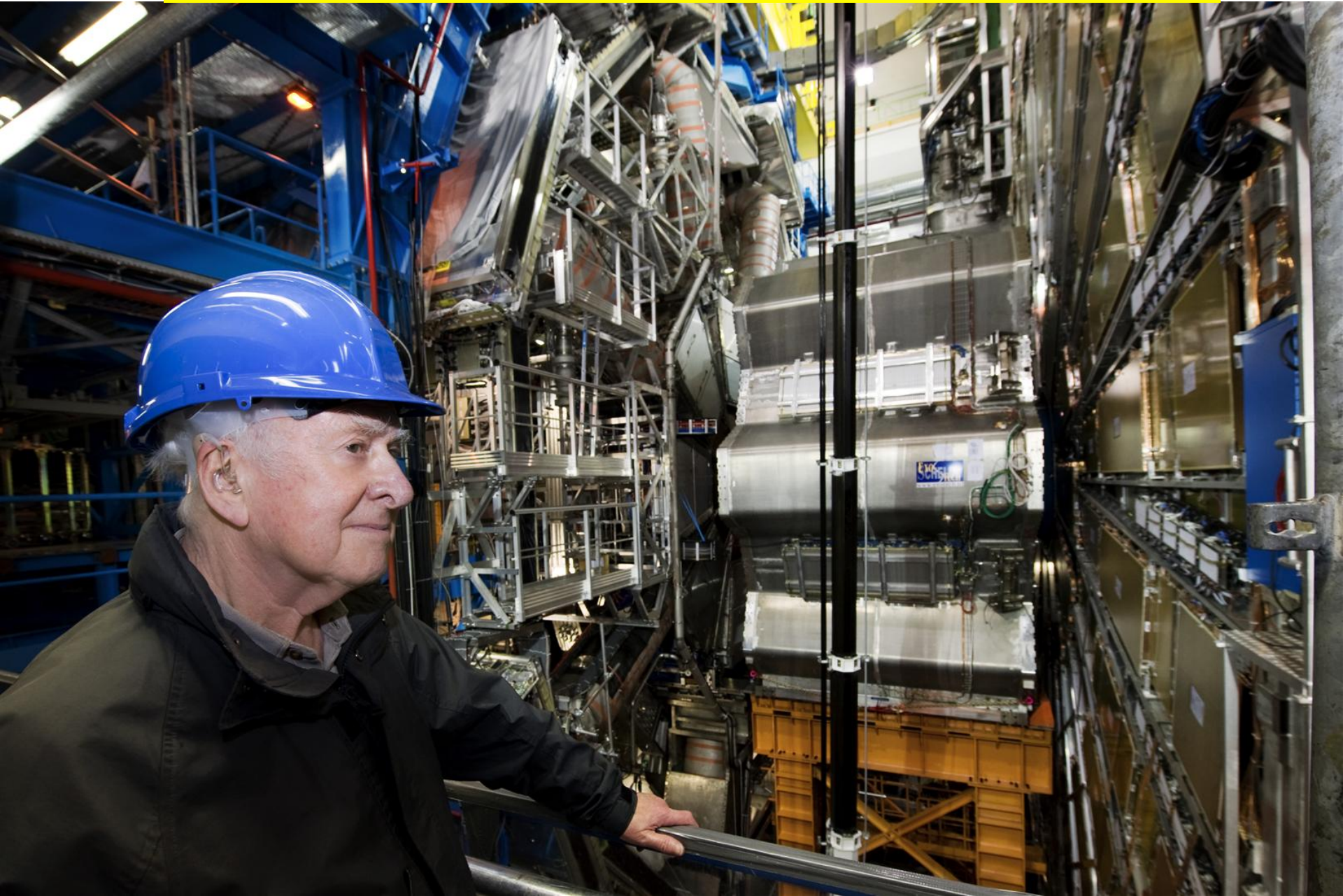
Expérience ATLAS Experiment







Peter Higgs in visita all'esperimento ATLAS





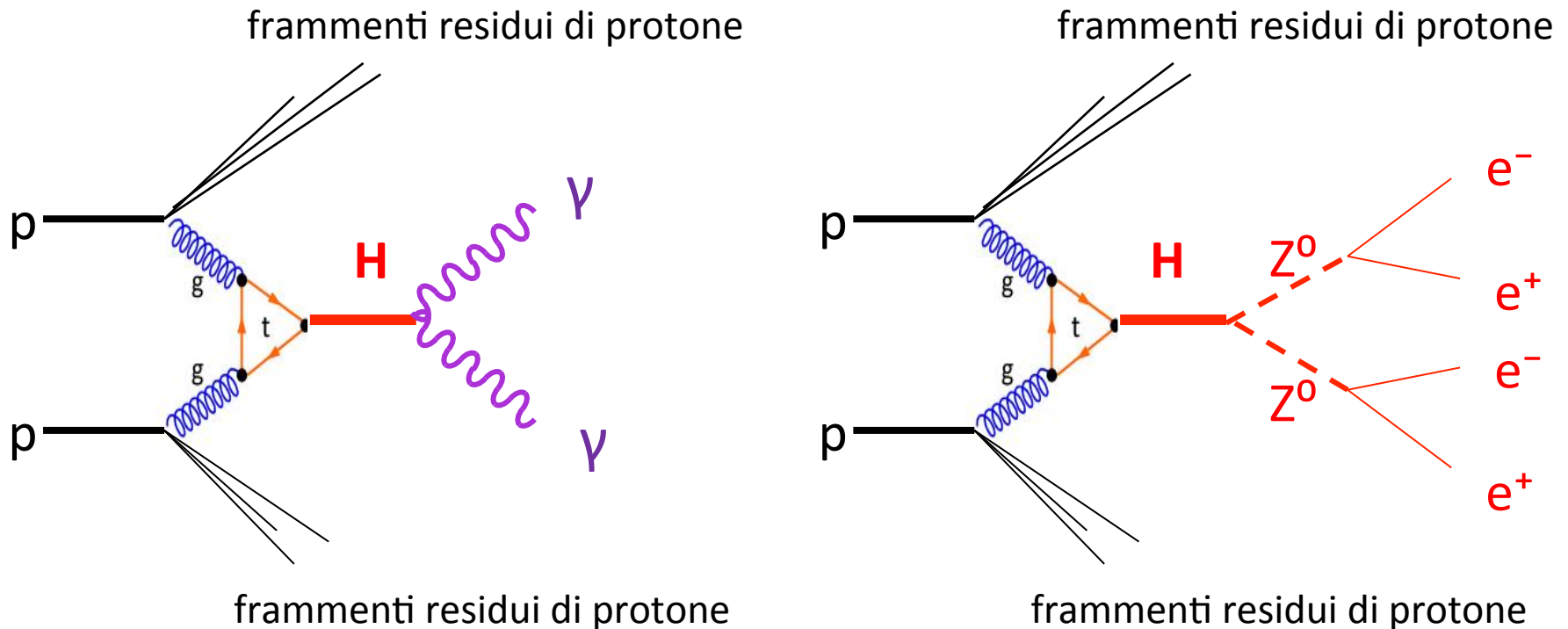
10 Settembre 2010: la sala di controllo di ATLAS al momento delle prime collisioni in LHC

Parte terza
La scoperta del bosone di
Higgs

La scoperta del bosone di Higgs al CERN.

- ❖ Il 4 Luglio 2012 gli esperimenti ATLAS e CMS in due seminari congiunti al CERN hanno annunciato la scoperta di un nuovo bosone di circa 125 GeV di massa.
- ❖ Gli studi successivi con una statistica basata su tutti i dati raccolti fino alla fine del 2012 hanno confermato la scoperta.
- ❖ L'analisi accurata degli eventi ha confermato che la particella osservata ha le caratteristiche aspettate per il bosone di Higgs predetto dalla teoria di unificazione della interazione elettrodebole attraverso il meccanismo (di rottura spontanea della simmetria come) teorizzato da Robert Brout, Francois Englert e Peter W. Higgs.

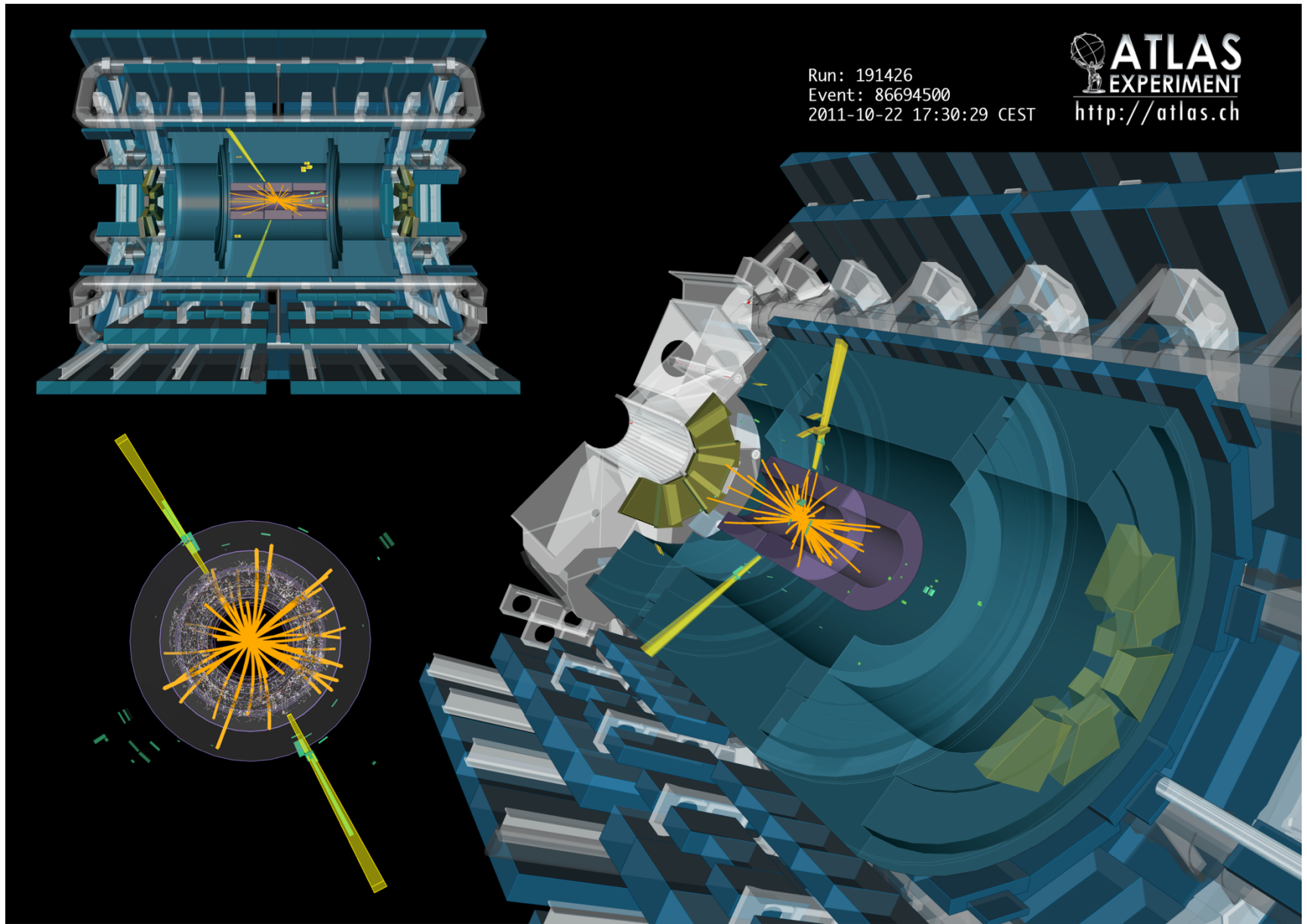
Come si produce e come si vede un bosone di Higgs.



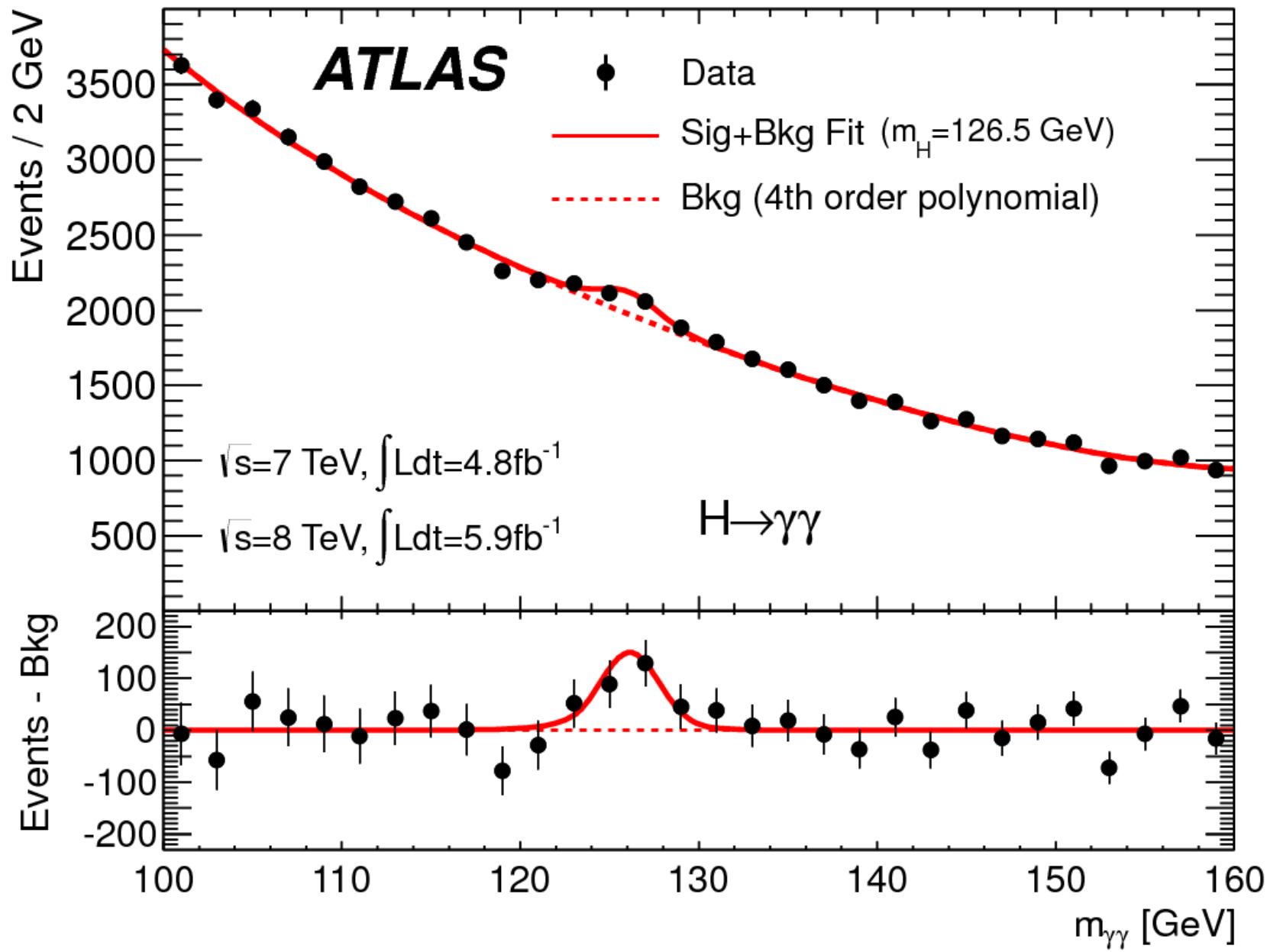
1. Si fanno collidere due protoni di alta energia. Ogni protone emette un gluone.
2. I due gluoni attraverso un meccanismo che include il quark top, generano un bosone di Higgs.
3. il bosone di Higgs può decadere in due fotoni di alta energia.
4. il bosone di Higgs può anche decadere in due Z^0 che decadono ciascuno in una coppia elettrone-antielettrone oppure muone-antimuone.
5. E' necessario cercare eventi con queste caratteristiche:

1 evento ogni 5 miliardi di collisioni.

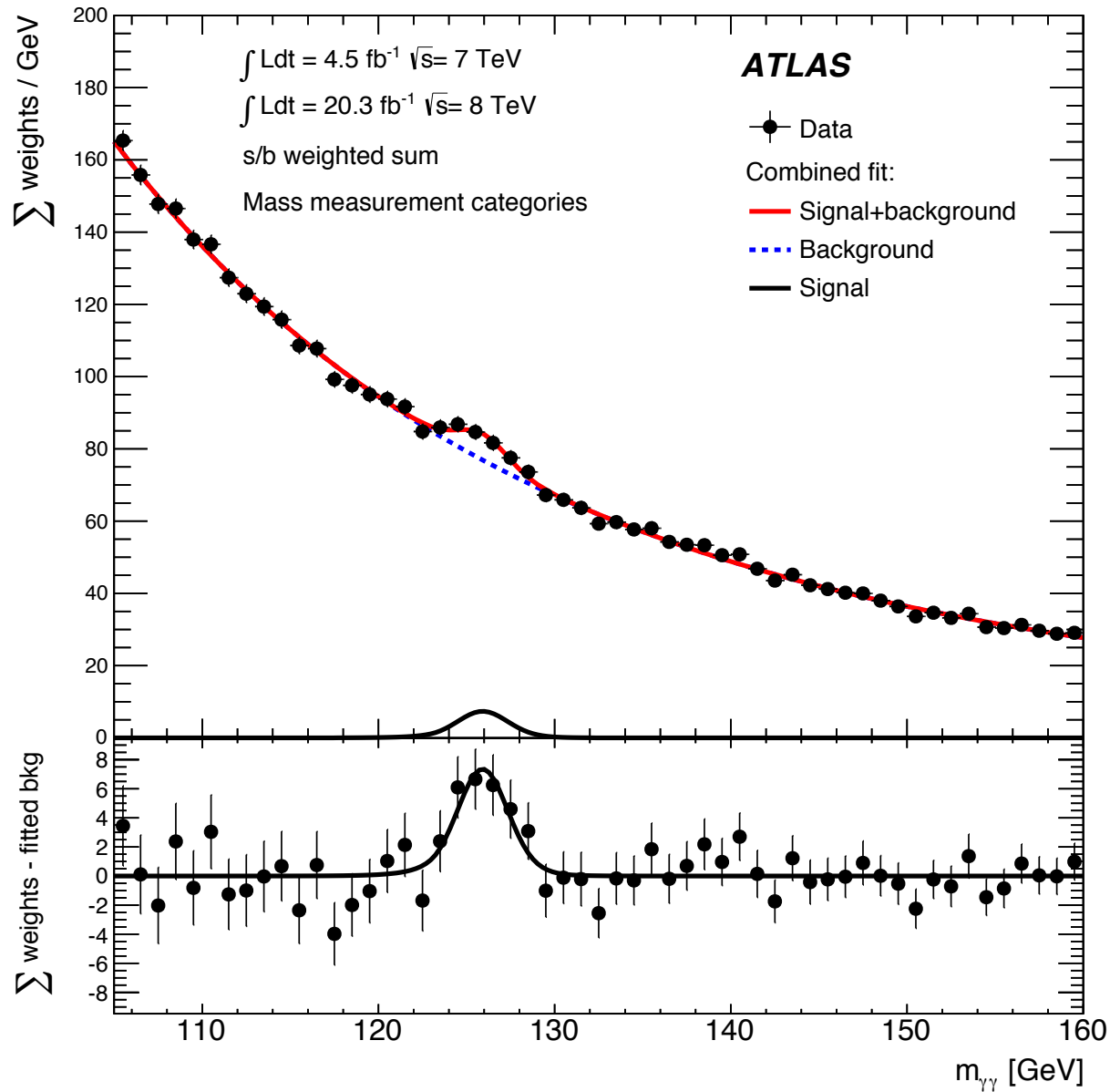
Un bosone di Higgs decade in 2 fotoni



Segnale per: Higgs -> 2 fotoni (luglio 2012)



Segnale per: Higgs -> 2 fotoni a fine 2012



Un bosone di Higgs decade in $Z^0Z^0 \rightarrow 4$ elettroni

ATLAS
EXPERIMENT

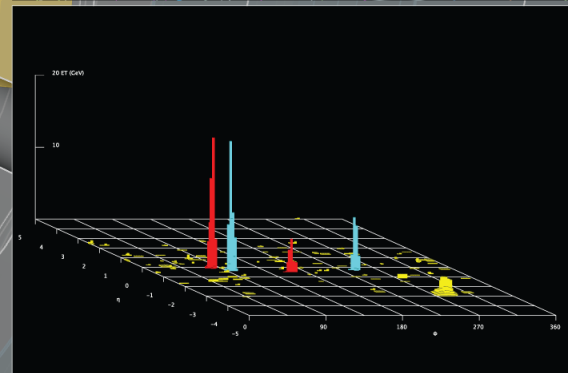
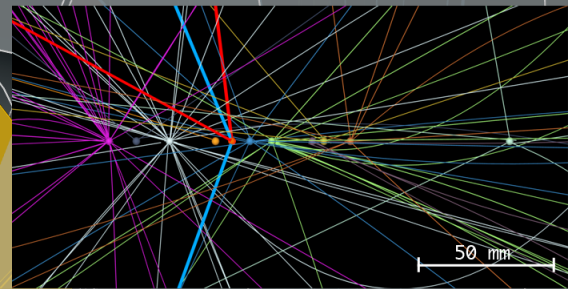
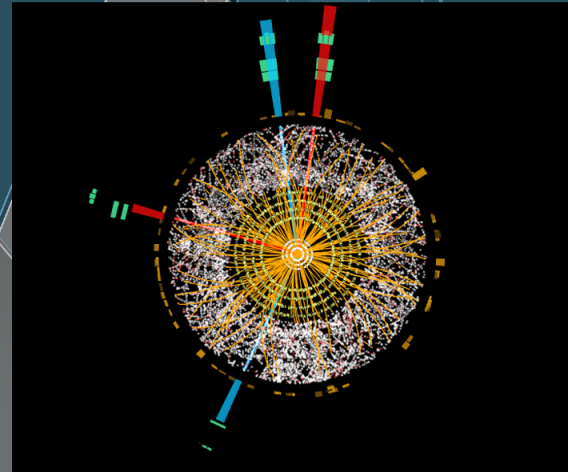
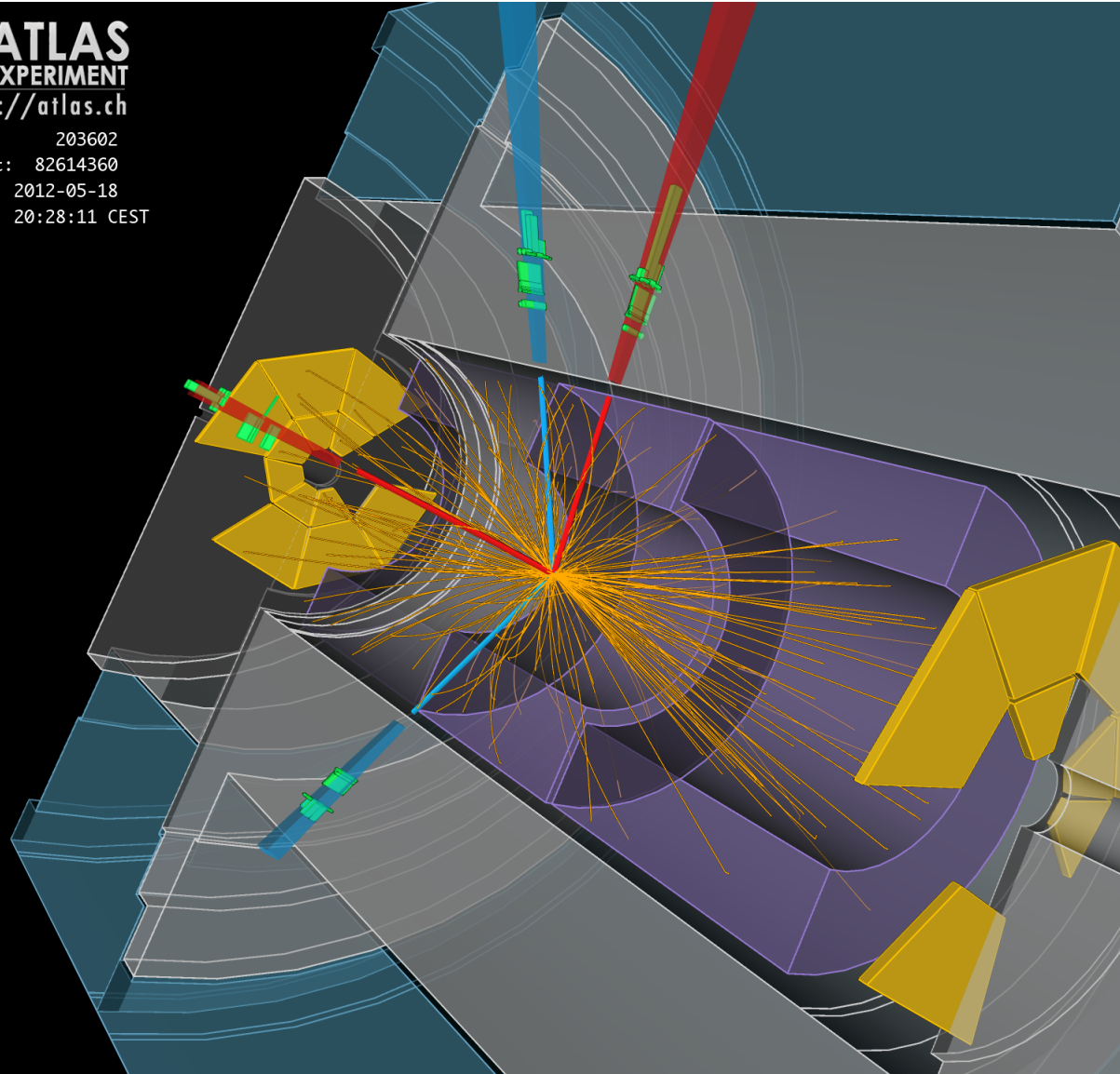
<http://atlas.ch>

Run: 203602

Event: 82614360

Date: 2012-05-18

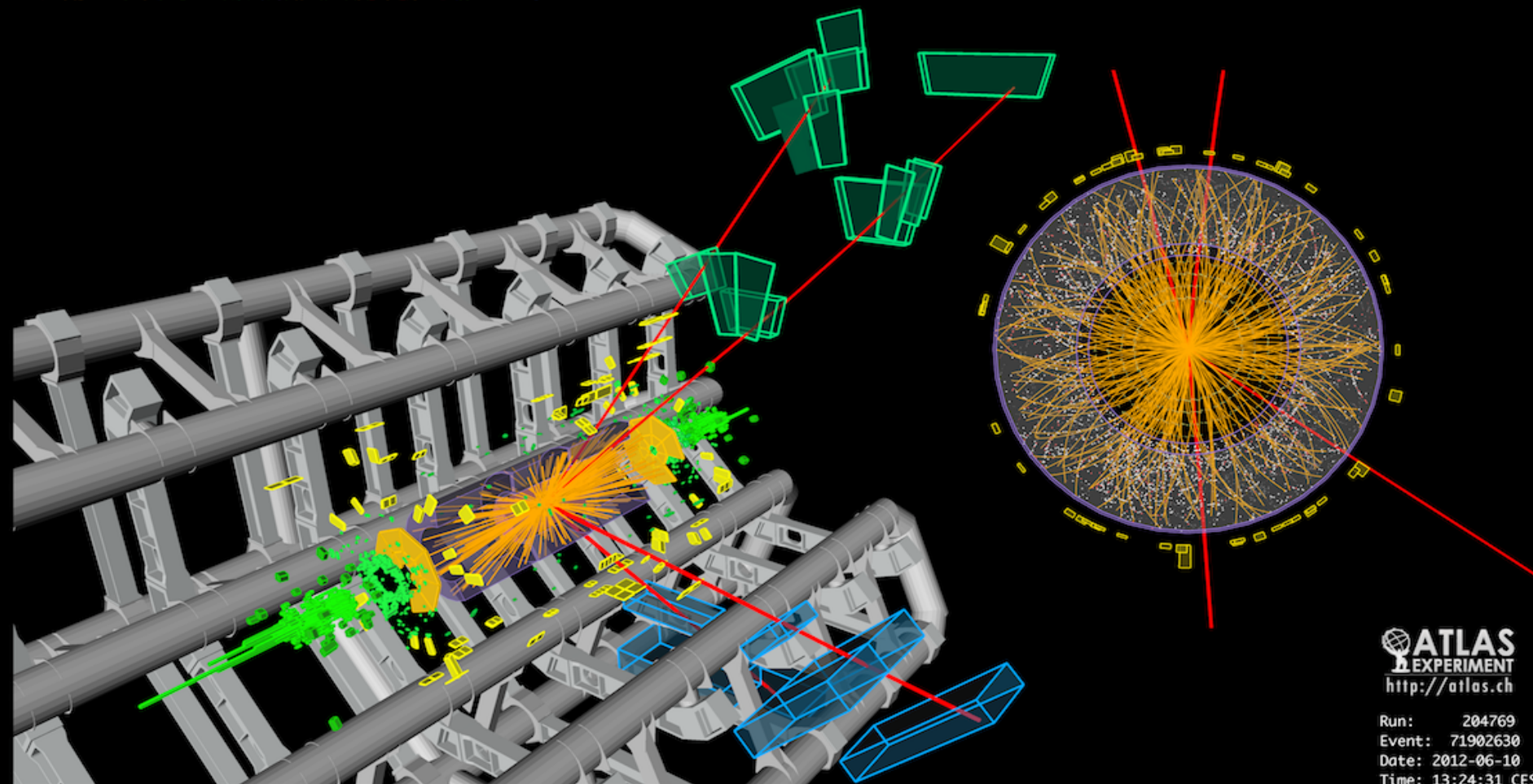
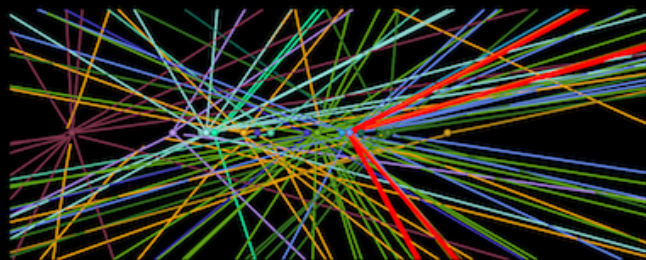
Time: 20:28:11 CEST



Un bosone di Higgs decade in $Z^0 Z^0 \rightarrow 4 \mu$

Higgs Boson Discovery 2012

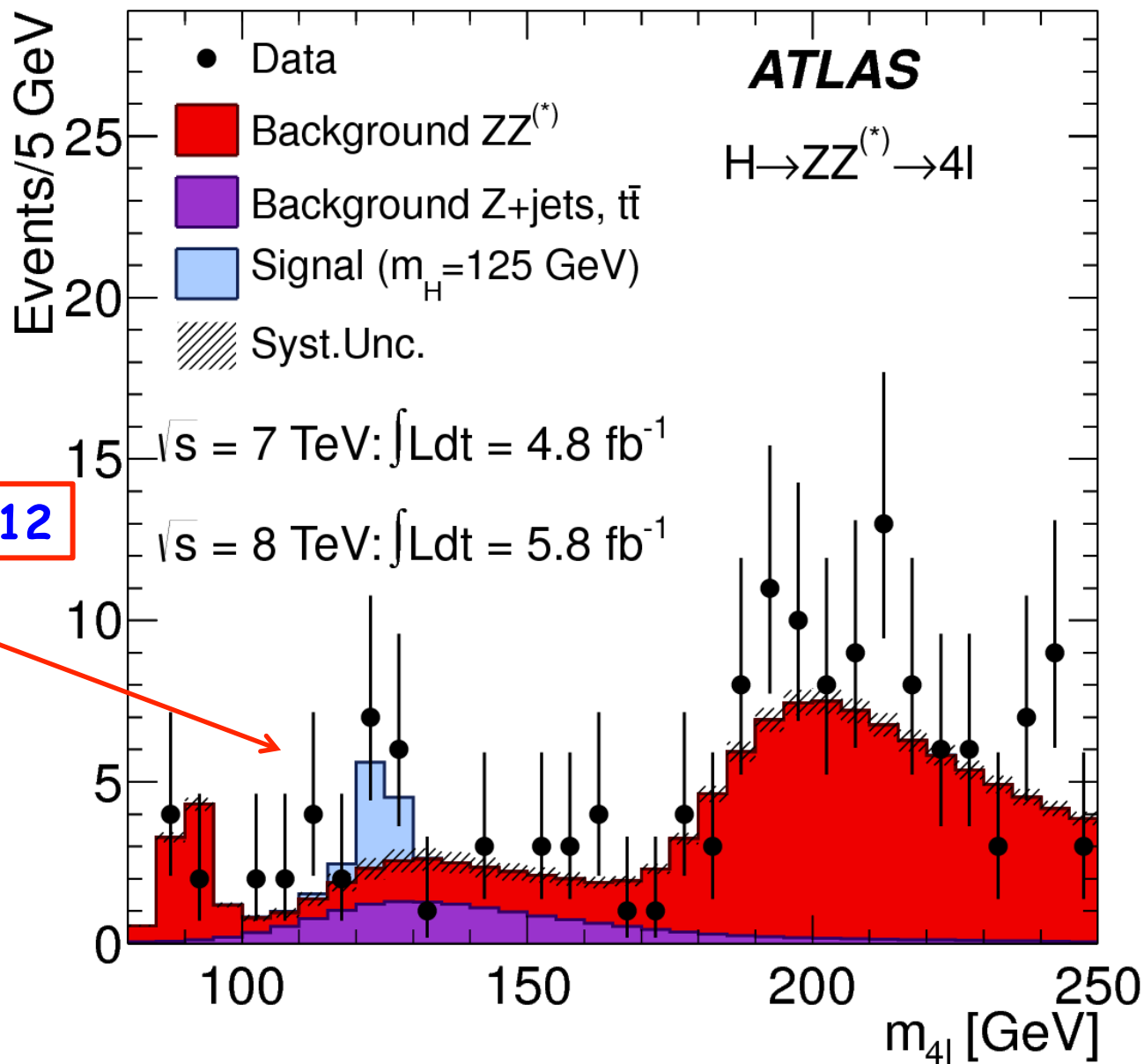
Higgs to 4μ candidate event



ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

Run: 204769
Event: 71902630
Date: 2012-06-10
Time: 13:24:31 CEST

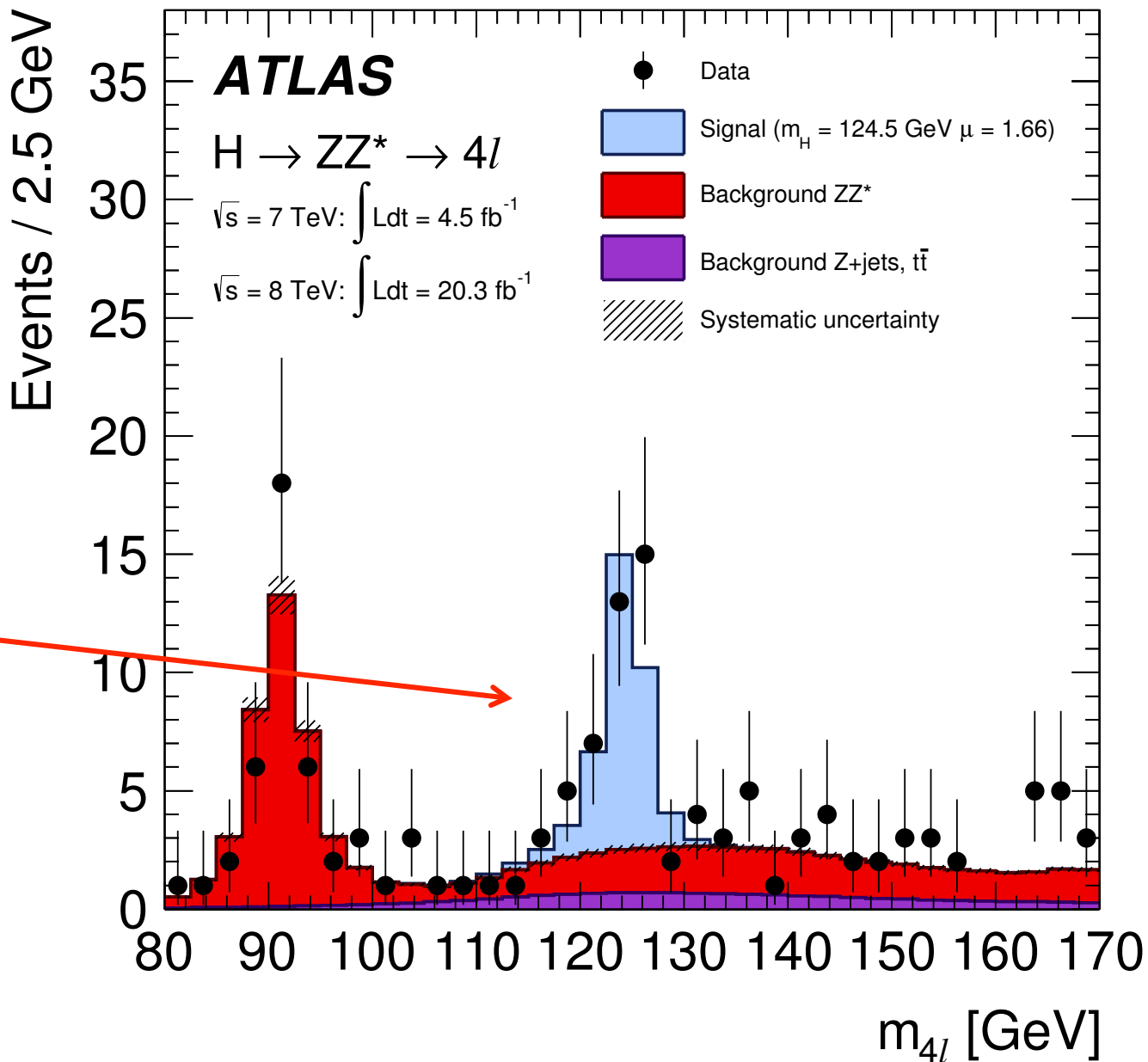
Segnale per: Higgs \rightarrow ZZ \rightarrow 4 leptoni carichi



Luglio 2012

13 eventi osservati

Segnale per: Higgs \rightarrow ZZ \rightarrow 4 leptoni carichi

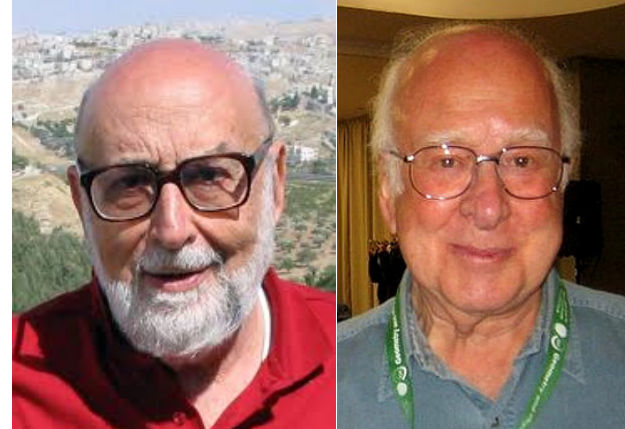


Fine 2012

37 eventi osservati



**E alla fine qualcuno andò
a Stoccolma**



8 Ottobre 2013:

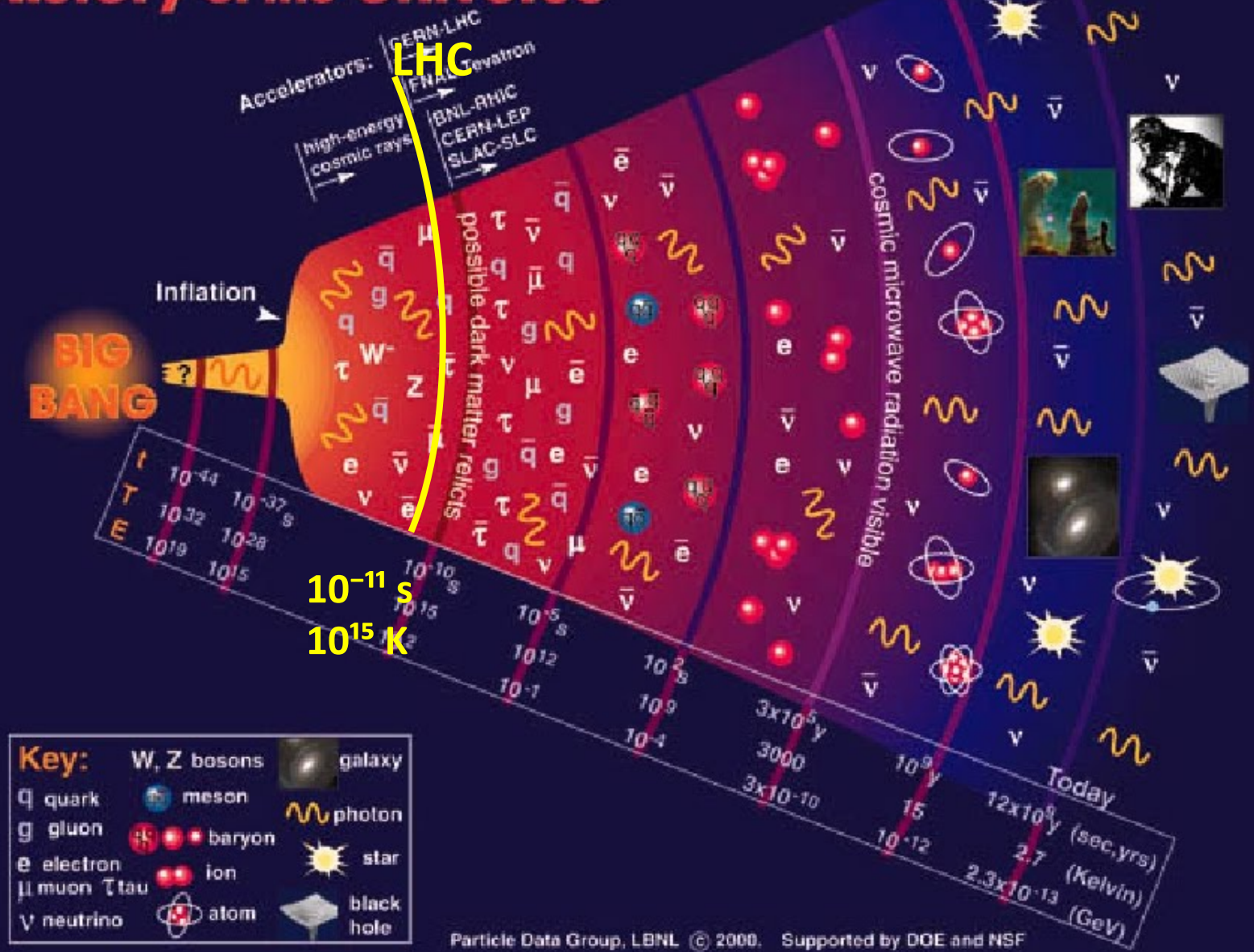
Premio Nobel a Francois Englert e Peter W. Higgs

“che insieme a Robert Brout hanno introdotto il meccanismo della rottura spontanea di simmetria nella teoria dell’unificazione delle Interazioni elettromagnetica e debole predicendo l’esistenza di un bosone scalare oggi universalmente noto come “bosone di Higgs”, che è all’origine della massa di tutte le particelle elementari”.

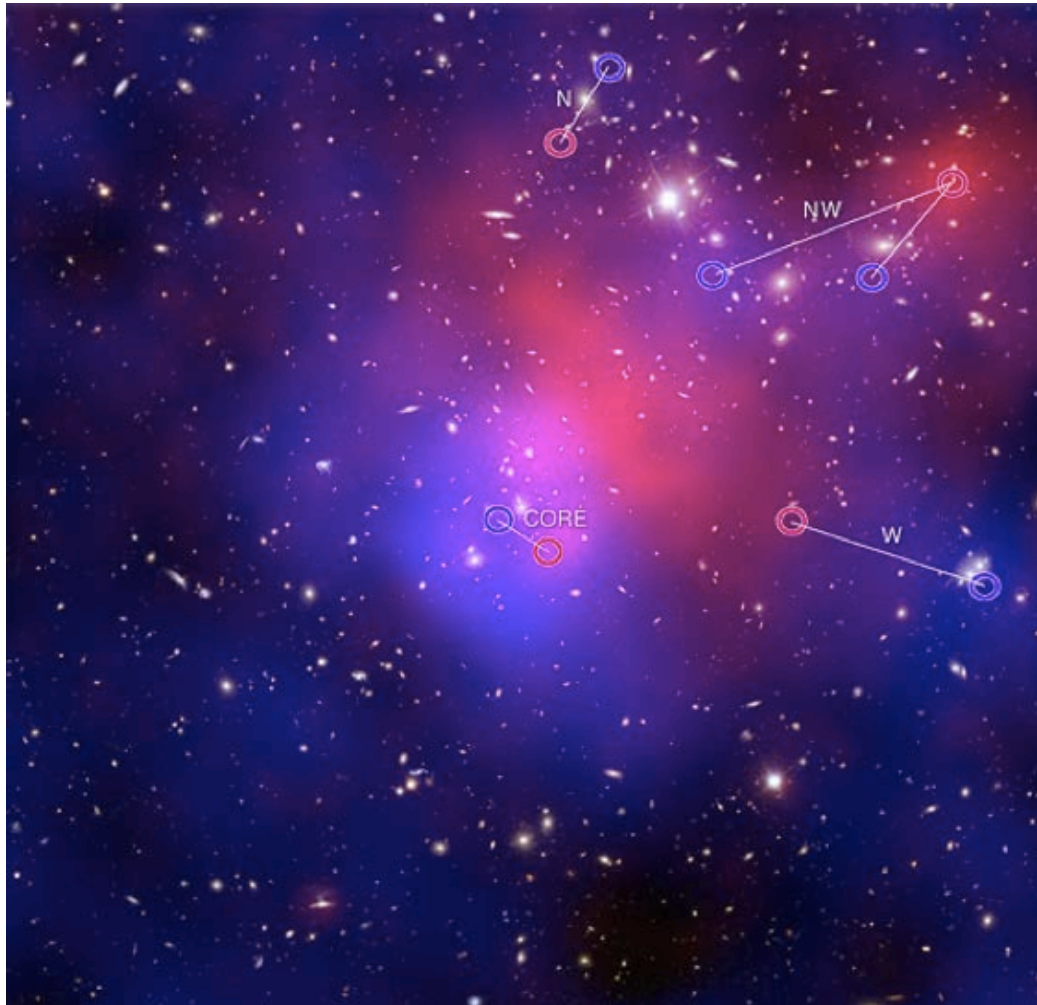
E continua ...

“Questa particella è stata osservata per la prima volta nel 2012 dagli esperimenti ATLAS e CMS presso il Collider LHC del CERN di Ginevra.”

History of the Universe



**25% dell'Universo è composto da Materia Oscura.
LHC potrebbe scoprire nei prossimi anni la natura
di questa materia.**



**Collisione tra gruppi
di galassie.**

**Abell 2744:
Pandora's Cluster;
3.5 billion light years away;
5.9 million light years across**

**Blue : mostly dark matter
via gravitational lensing
(HST+VLT+Subaru)**

**Red: gas with T's of
millions of degrees
(Chandra X-ray)**

Abbiamo fatto molto, ma rimane molto da fare:

La Fisica delle particelle elementari è strettamente legata alla Cosmologia.

Ci sono molte cose che ancora non capiamo.

Il Modello Standard non è sufficiente a spiegare il nostro Universo:

- Sappiamo* che osserviamo come luminoso solo il 4.9% di quanto contenuto nell'Universo.
- Il 23.8% circa è Materia Oscura: sappiamo che c'è ma non sappiamo di cosa è fatta.

Ci aspettiamo una risposta da LHC ma non è ancora venuta.

Teorie Supersimmetriche?

- Il 68.3% circa è fatto di Energia Oscura: l'espansione dell'Universo sta accelerando.

Sono state osservate le oscillazioni di neutrino: i neutrini di un tipo si trasformano in neutrini di tipo diverso: questo non è compreso nel Modello Standard.

Non abbiamo una teoria che unifichi tutte le forze, etc. etc.

Non sappiamo unire la Teoria Generale della Relatività con la Meccanica Quantistica.

Ci sono varie teorie: Universo a 11 dimensioni, teoria delle superstringhe, ...

* Dati Gennaio 2014 dopo misure telescopio spaziale Planck.

Un forte gruppo di fisici dell'Università e della Sezione di Lecce dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare lavora all'esperimento ATLAS.

Ogni anno l'esperimento ATLAS tiene una delle sue riunioni fuori dal CERN. Per il 2015 questa riunione si terrà a Lecce dal 5 al 9 Ottobre, organizzata dal gruppo di fisici di Lecce.

In quell'occasione ci sarà un seminario divulgativo per il pubblico tenuto da qualche importante fisico.

Siete invitati.

Per saperne di più consultate a Settembre il sito:

<https://web2.infn.it/atlas/>

Grazie della vostra attenzione.

Siti su Higgs, LHC, CERN, INFN

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

<http://atlas.ch/>

<https://www.infn.it>

<https://web2.infn.it/atlas/>

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