

Come si scopre una particella ad LHC?



Livia Soffi



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Sezione di Roma



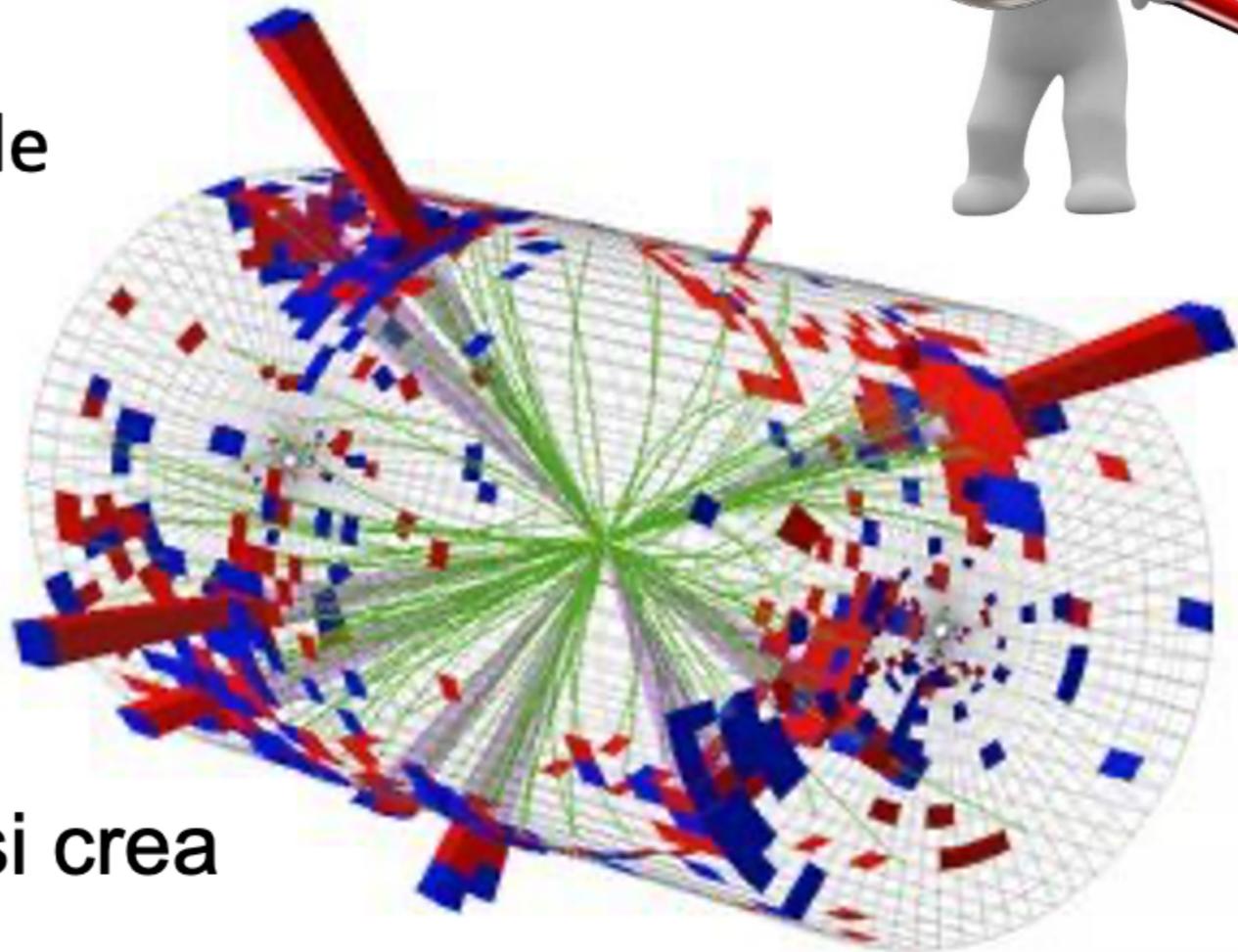
Particle identikit

Nelle collisioni si producono
diversi tipi di particelle

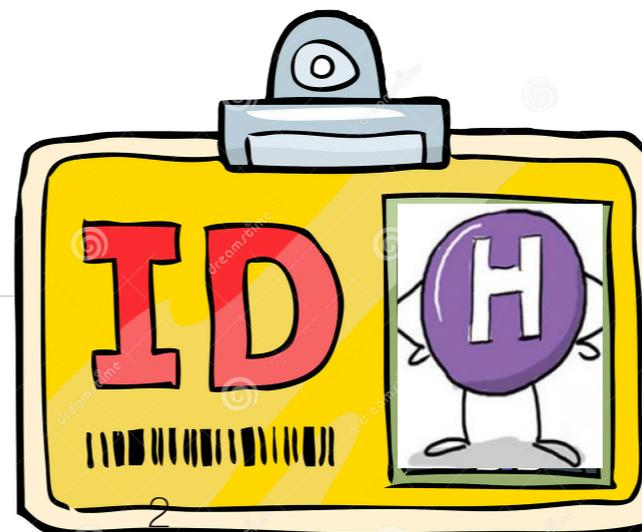
Ogni particella lascia un segnale
caratteristico diverso

Per ciascuna particella che si crea
vogliamo misurare:

- La direzione
- L'energia
- La carica elettrica
- Sapere che particella è



CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon May 23 21:46:26 2011 EDT
Run/Event: 165567 / 347495824
Lumi section: 290
Orbit/Crossing: 73256853 / 3161



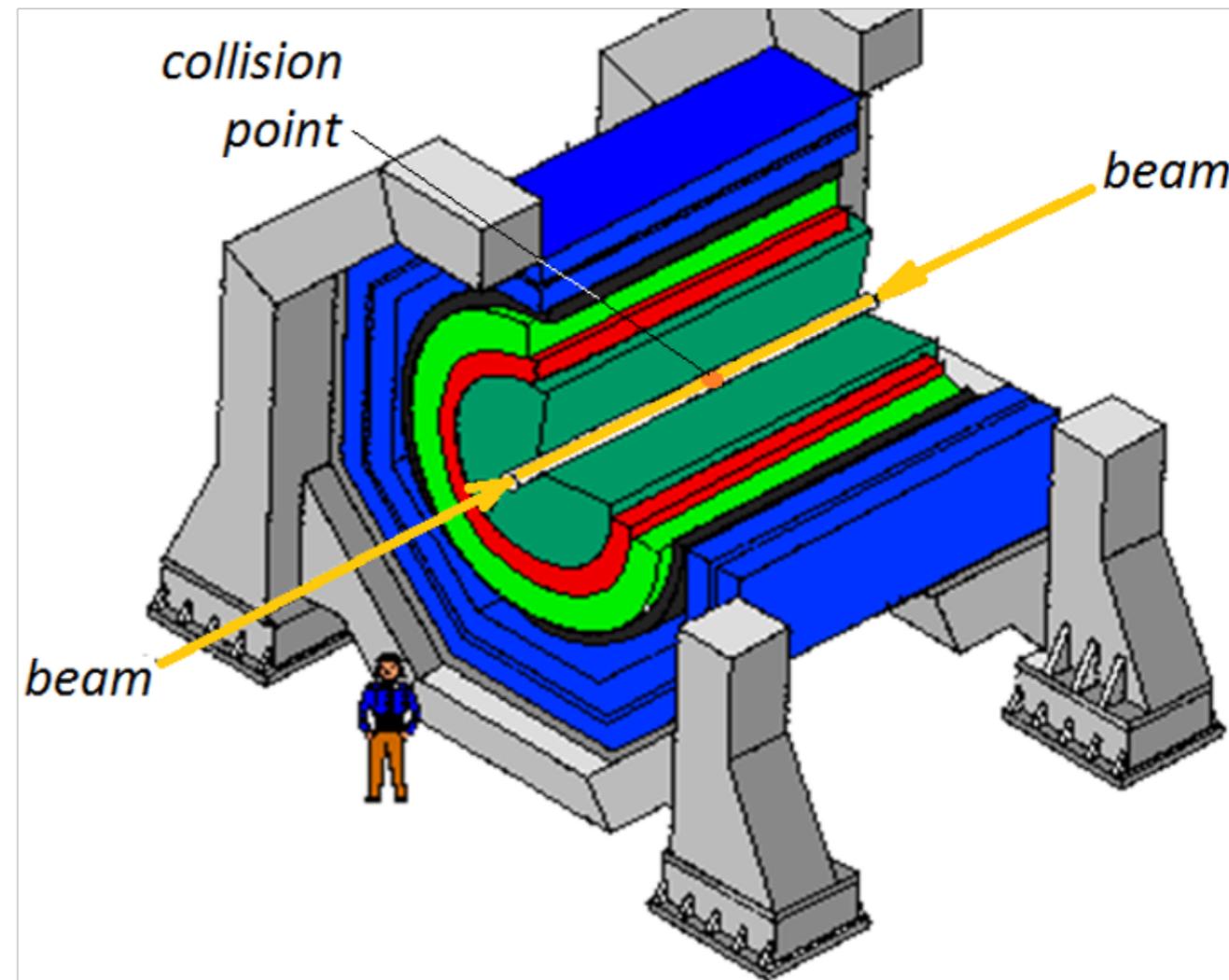
Come e' fatto un esperimento all'LHC

Un disegno generico di Atlas o CMS e' fatto cosi`:

→ Forma cilindrica attorno al tubo del fascio

dall'interno verso l'esterno:

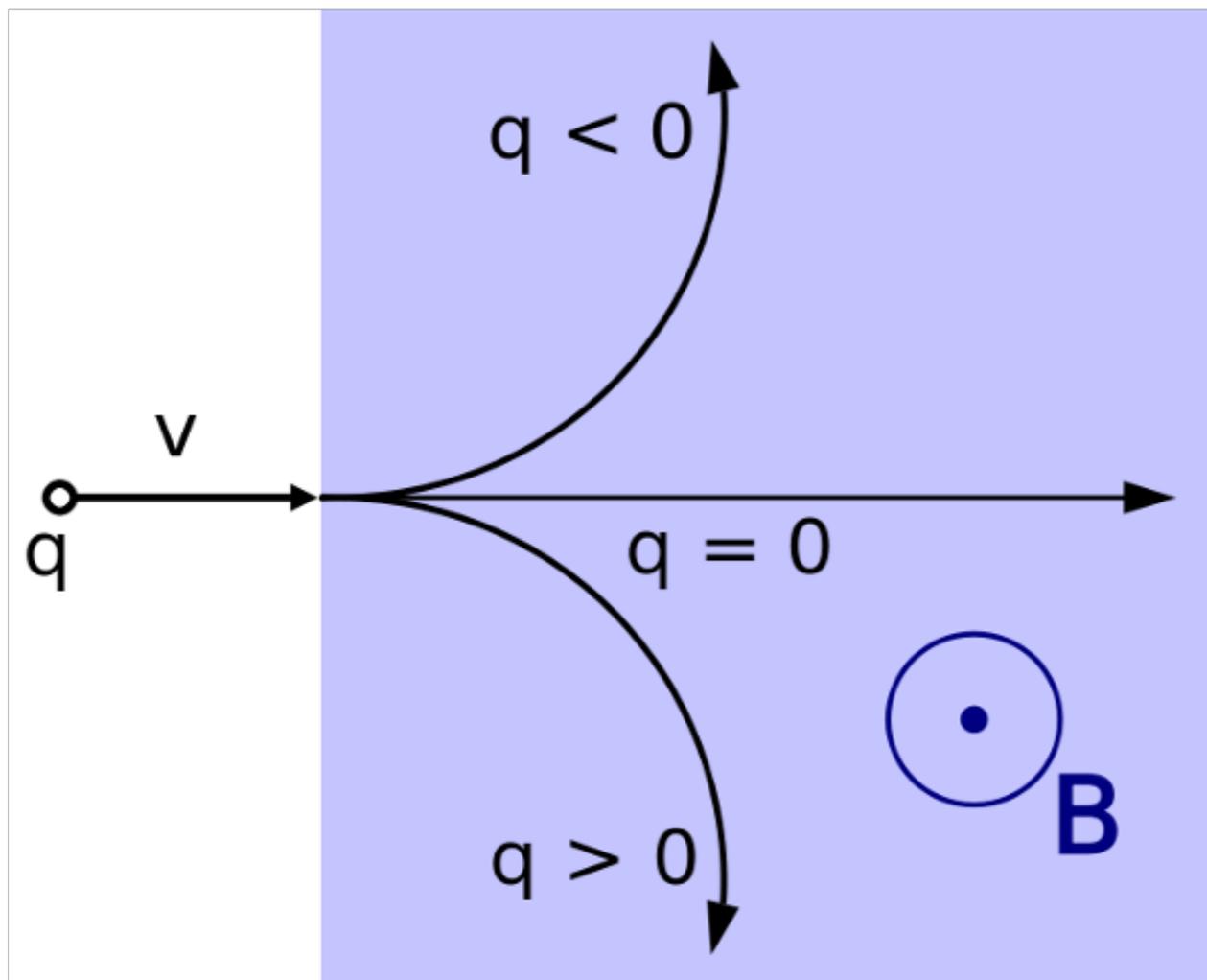
- Tracciatore
- Calorimetro elettromagnetico
- Calorimetro adronico
- Magnete
- Camere per muoni



Il magnete di CMS

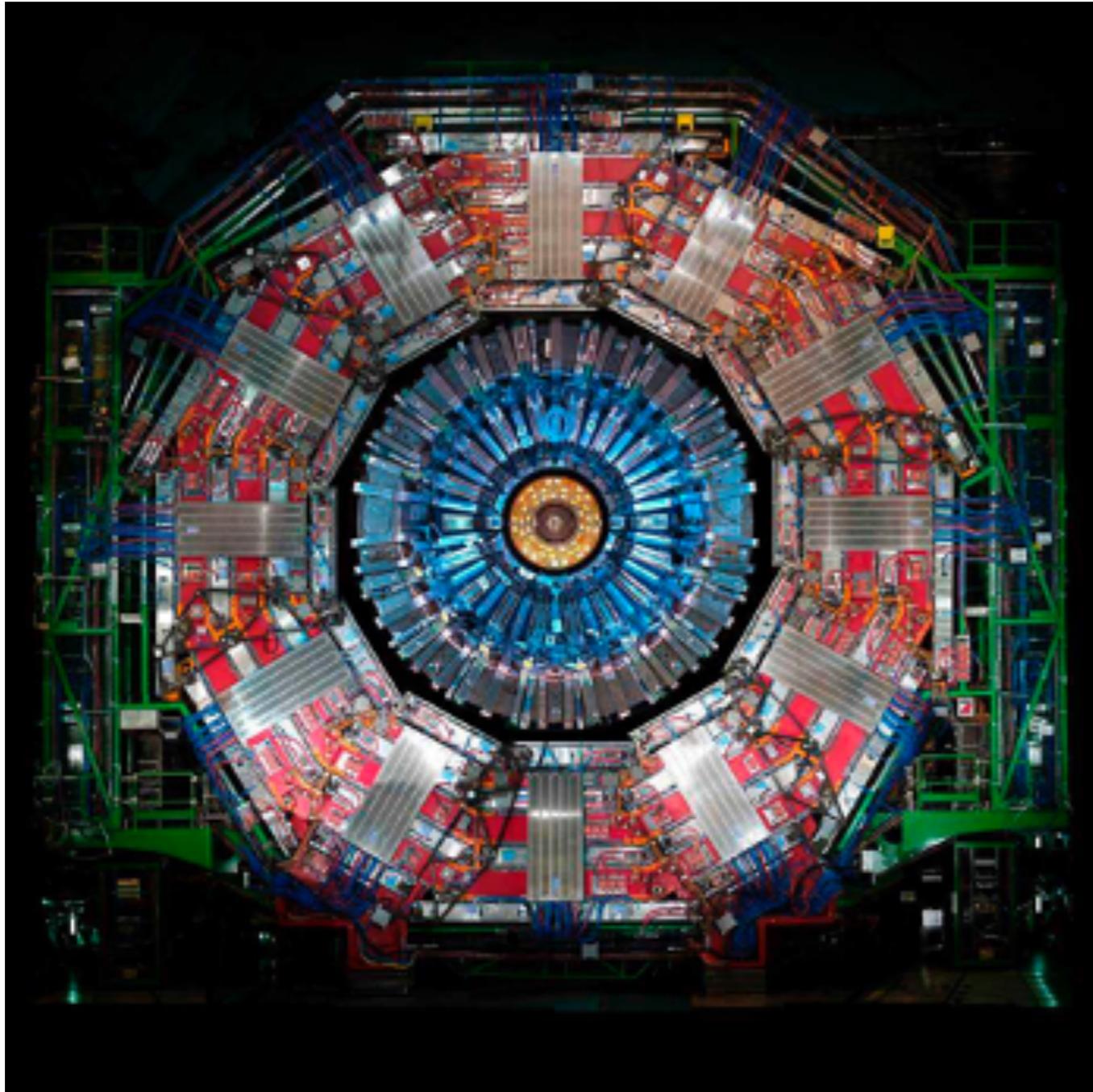
Il tracciatore e' immerso in un campo magnetico.

Usando la Forza di Lorentz: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$

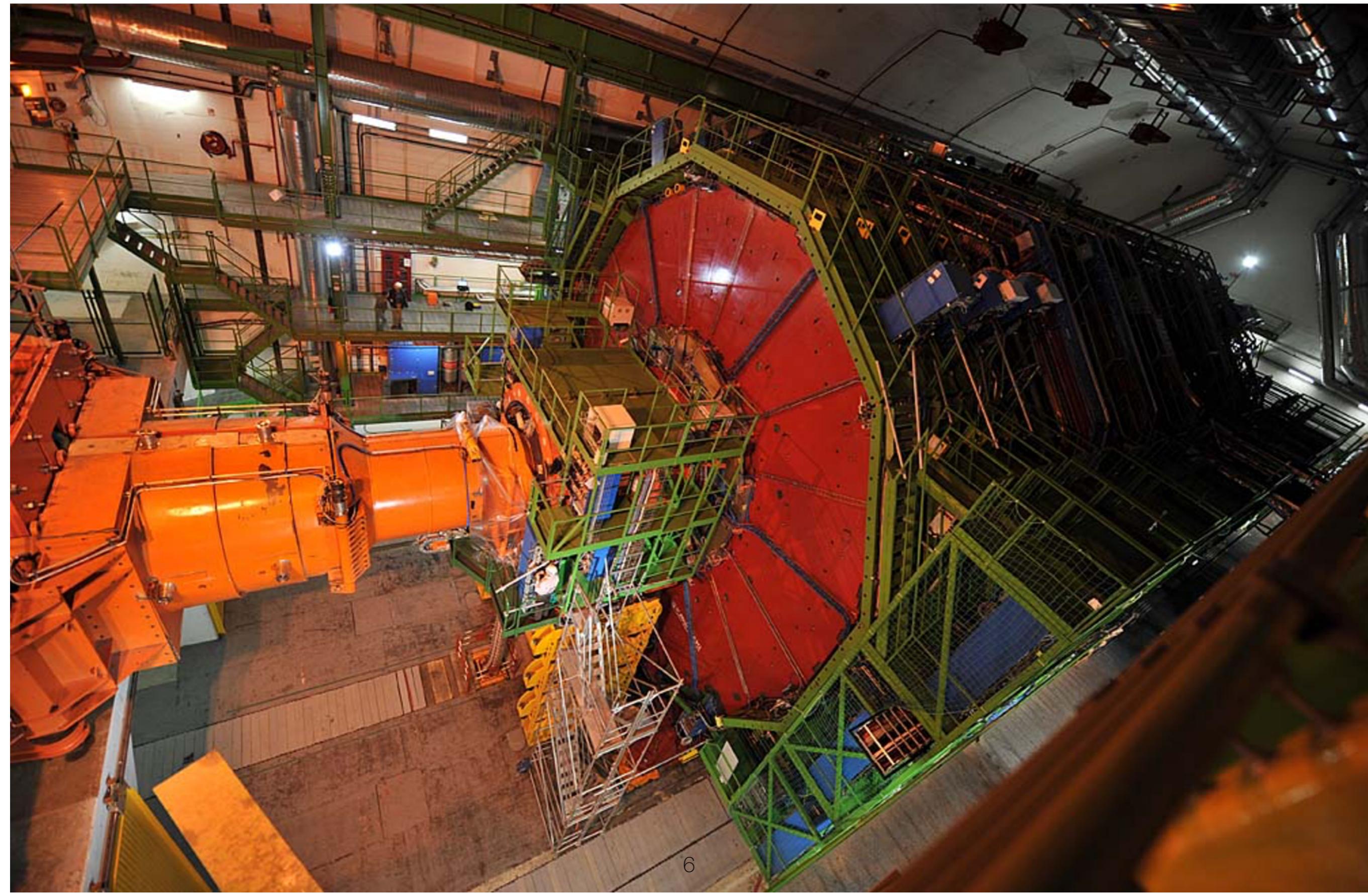


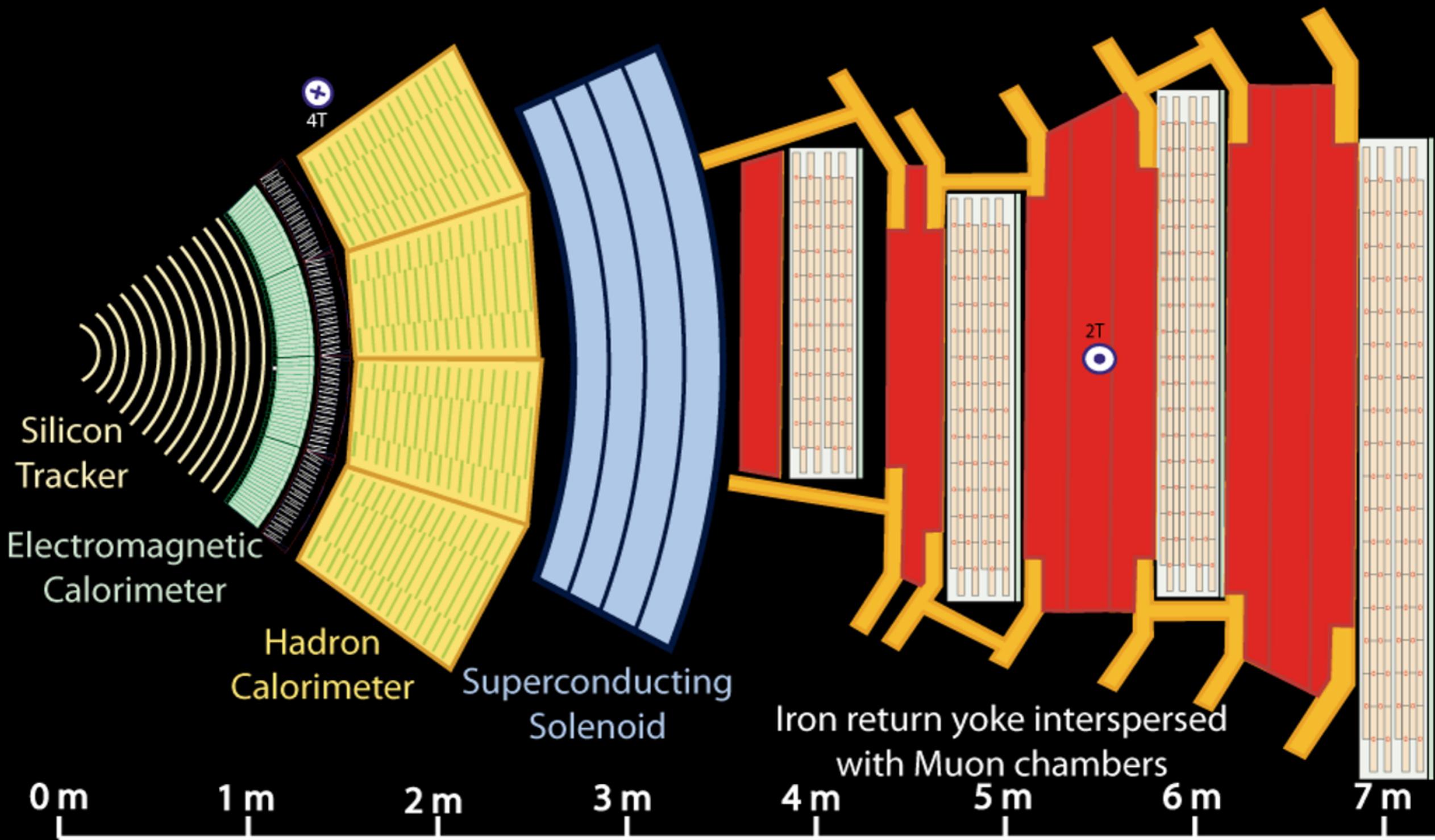
possiamo misurare la
carica delle particelle

CMS: una gigantesca macchina fotografica



La caverna di CMS





Key:

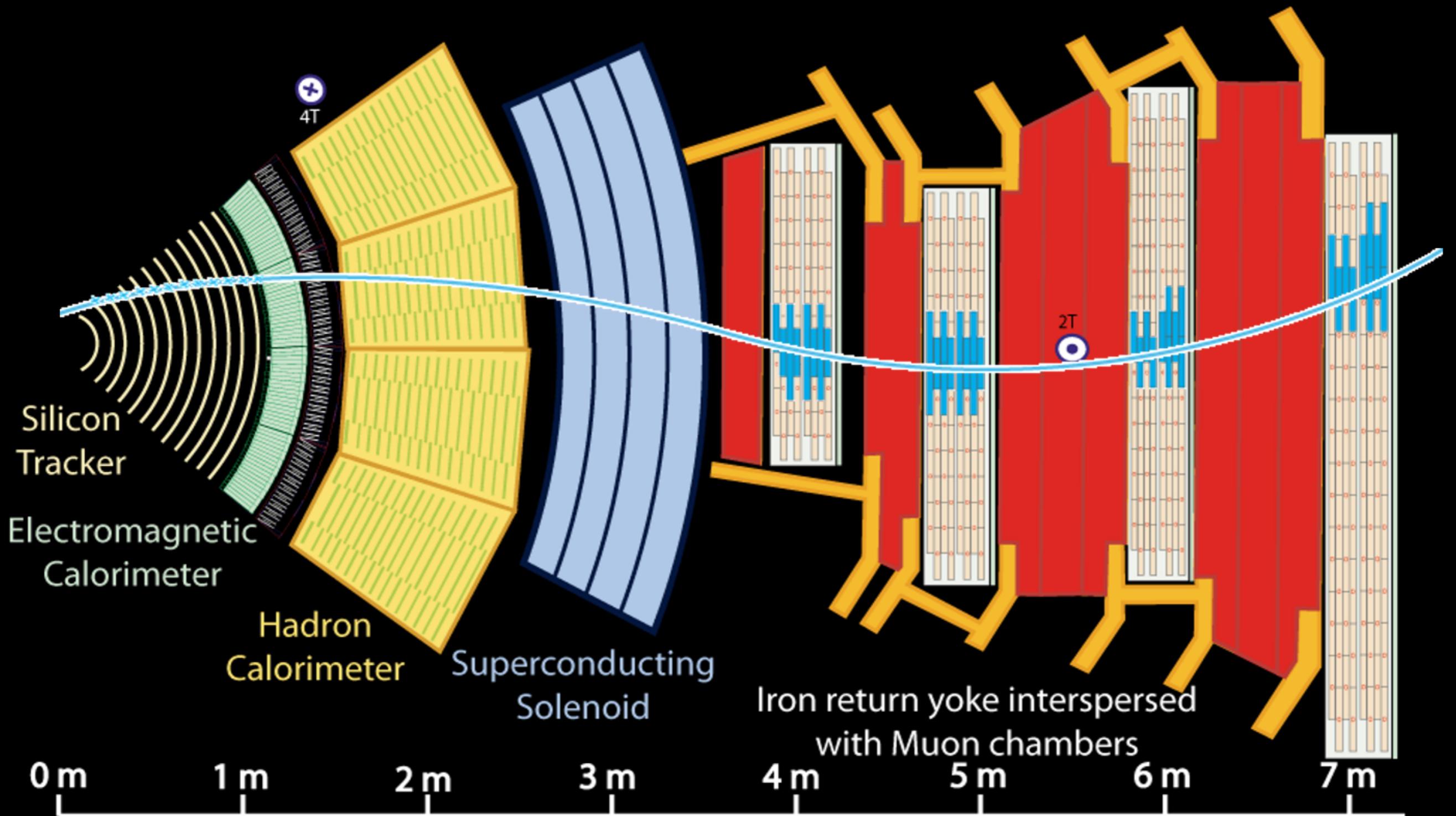
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



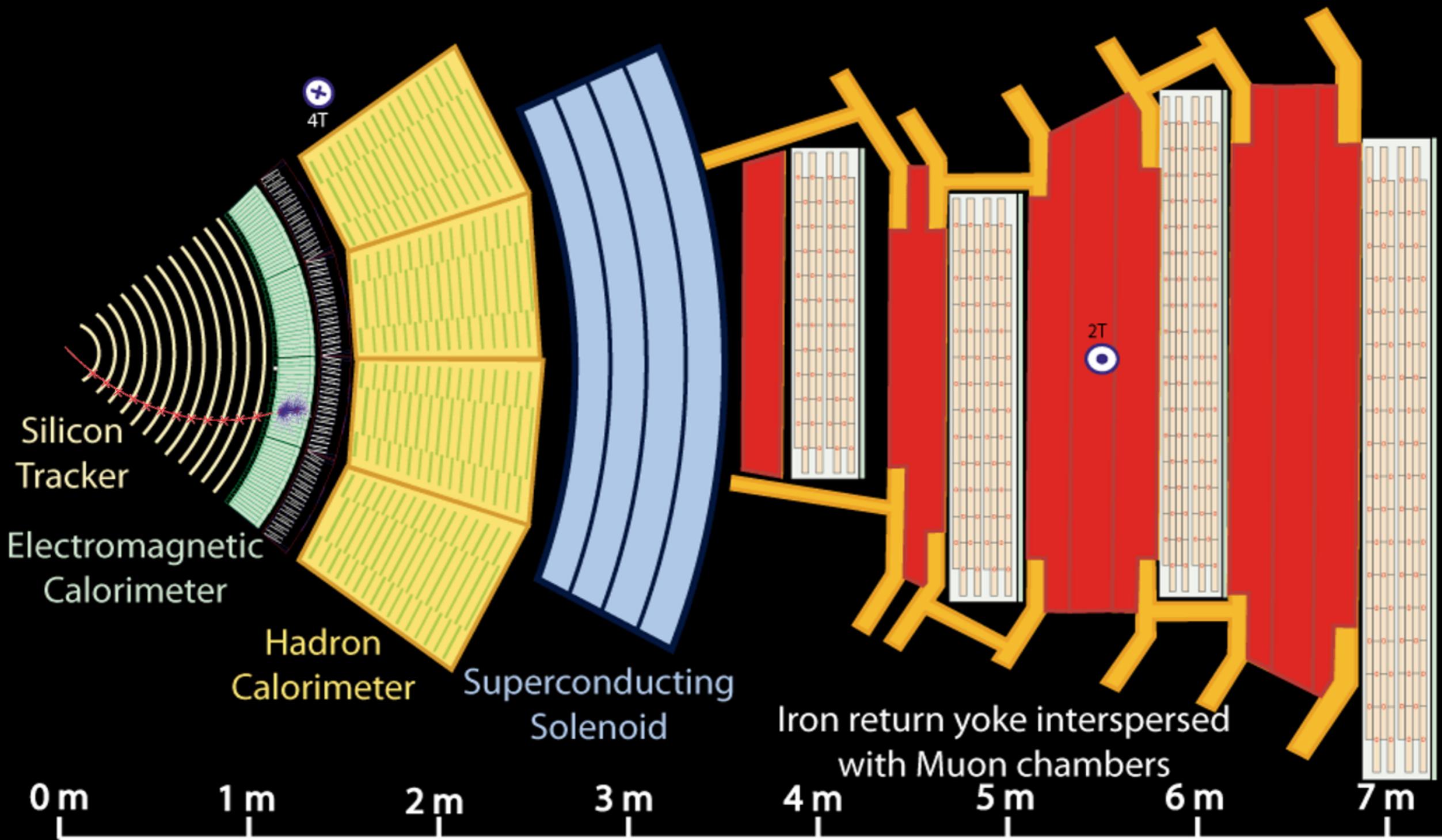
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



Key:

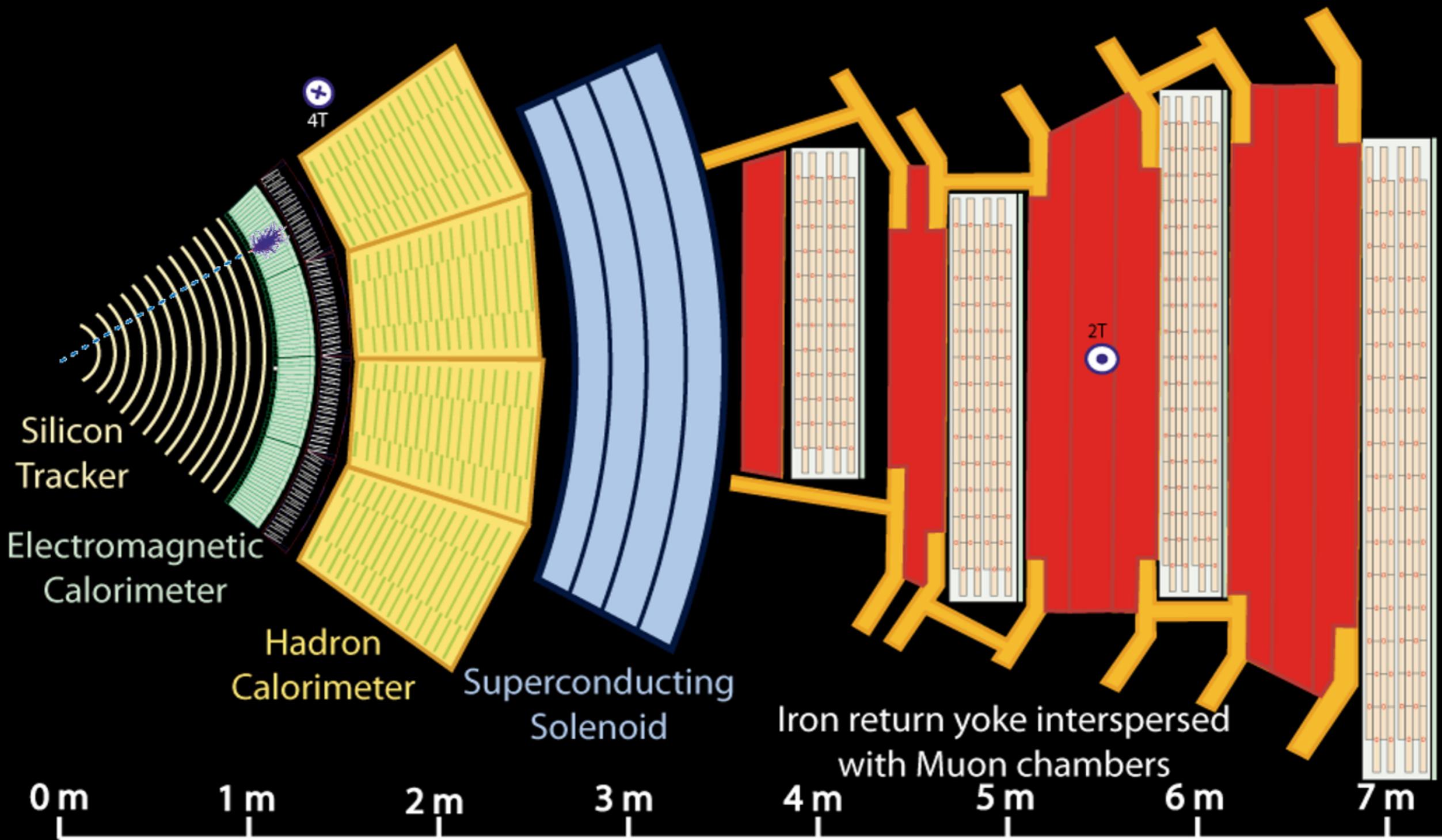
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



Key:

— Muon

— Electron

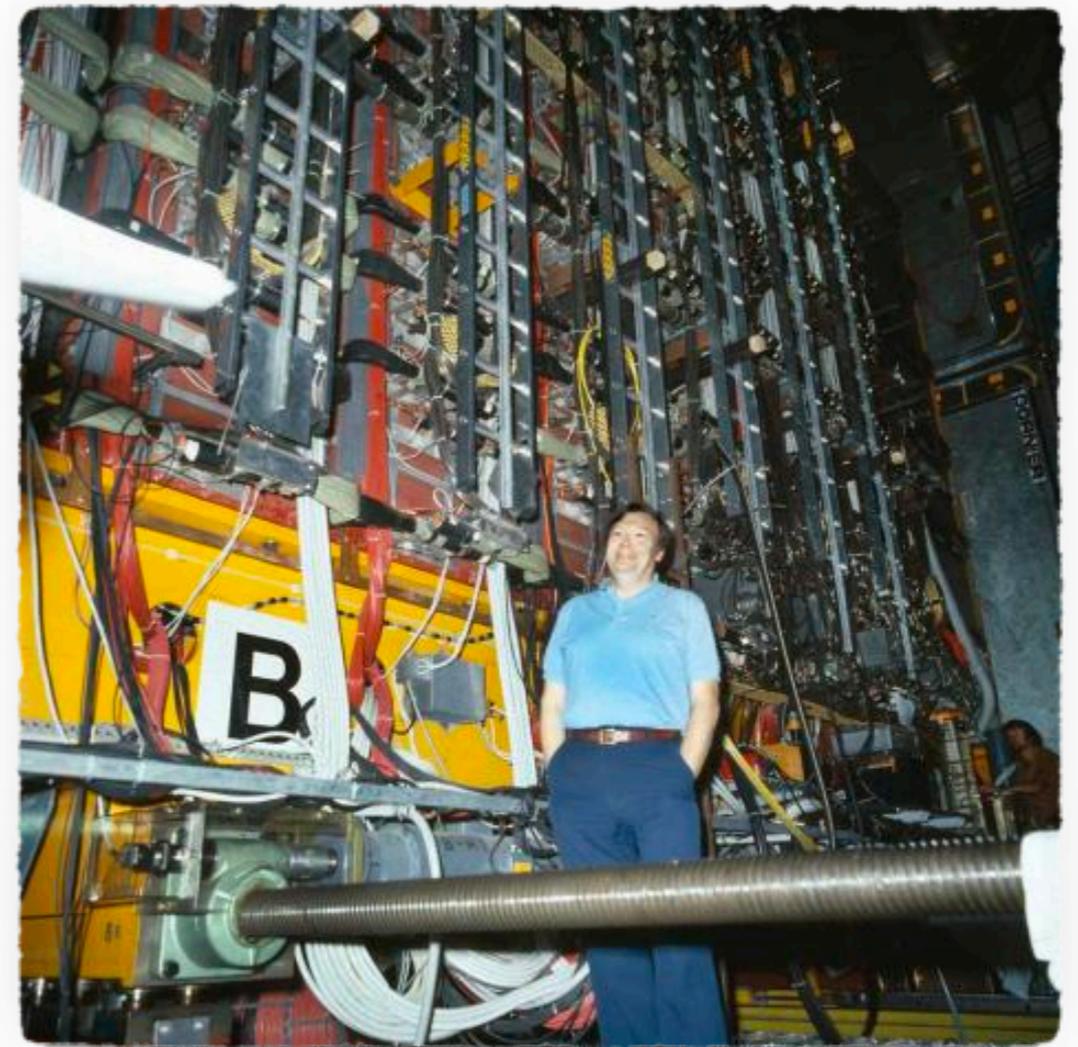
— Charged Hadron (e.g. Pion)

- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon

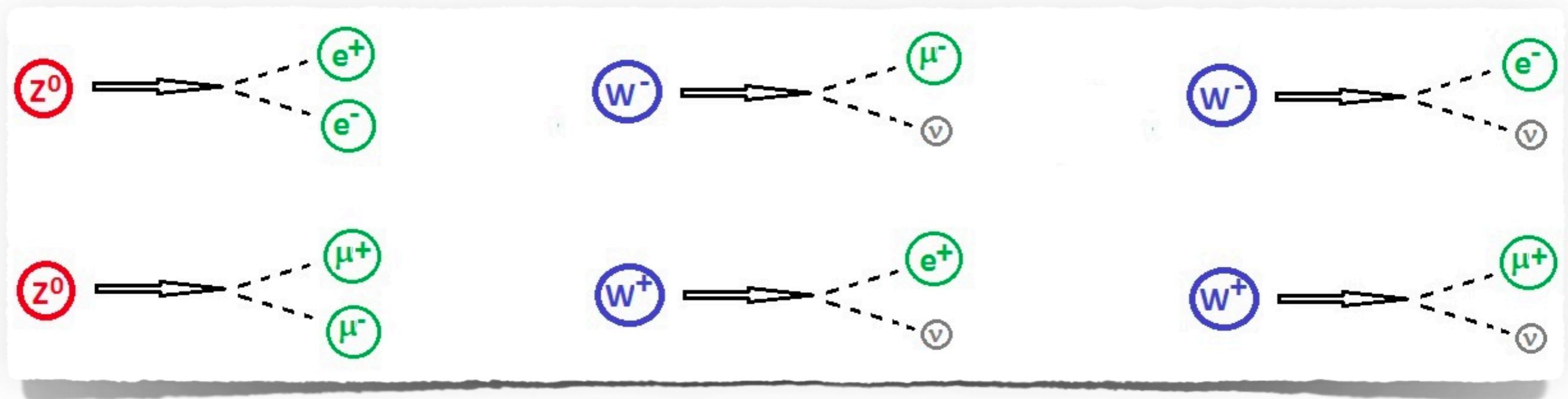
I Bosoni W e Z

- I bosoni W e Z sono le particelle che mediano l'**interazione debole**
- Sono state **predette negli anni '60** per spiegare il decadimento beta dei neutroni
- La teoria predice per i bosoni **W e Z masse attorno ai 100 GeV**
- I fisici del CERN hanno costruito all'**inizio degli anni '80 il primo potentissimo collisore di particelle** capace di raggiungere energie così alte



La scoperta dei bosoni W e Z

- I bosoni W e Z prodotti nell'LHC non vivono a lungo, ma decadono, cioè **si disintegrano, immediatamente in altre particelle elementari** che possono essere misurate dall'esperimento CMS.



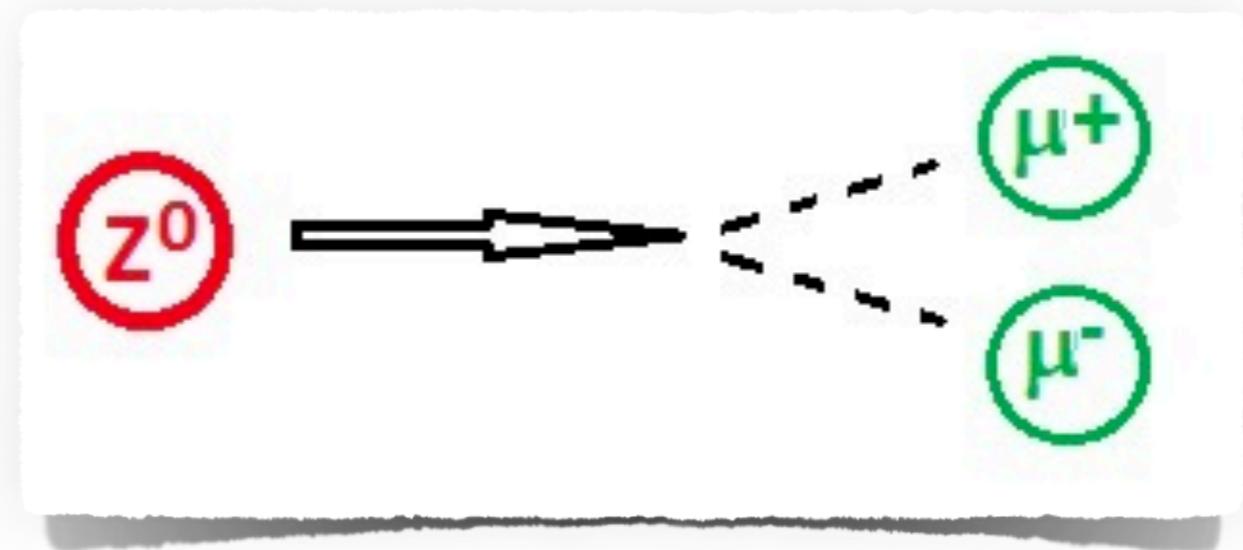
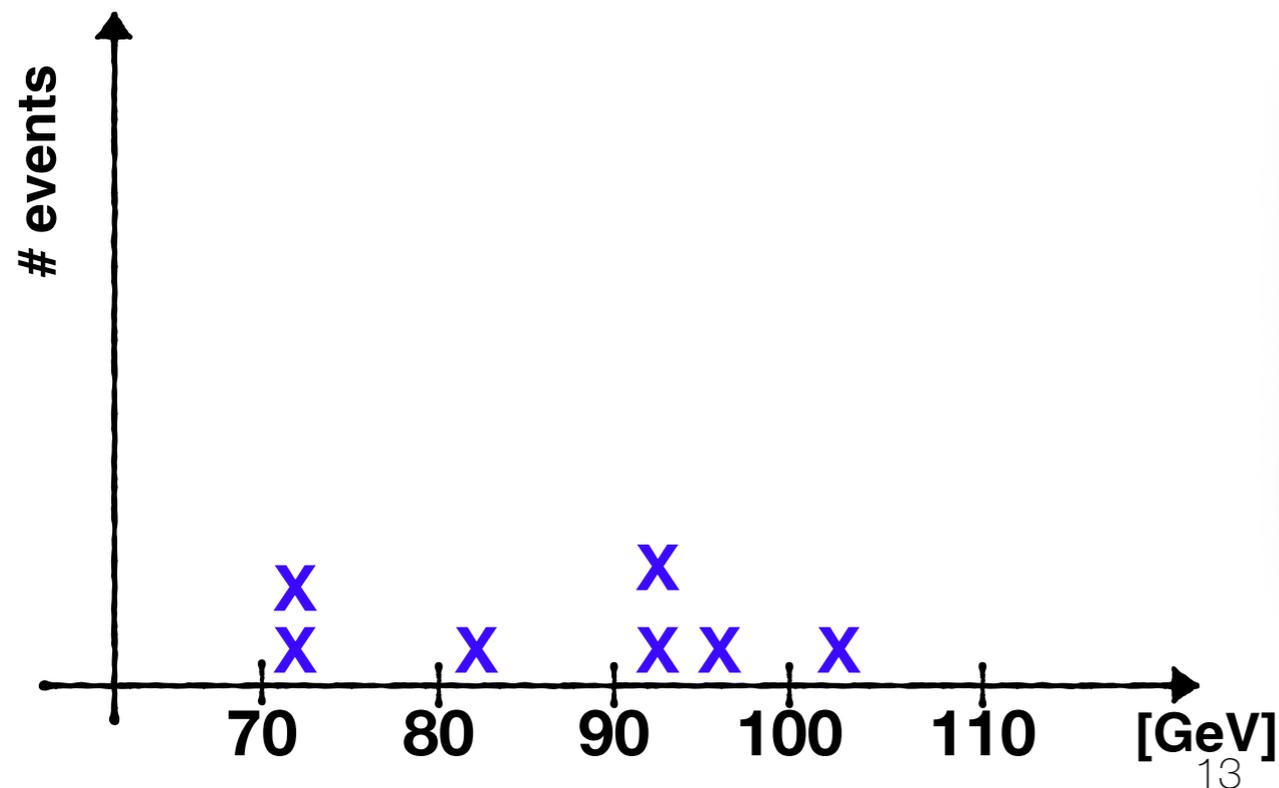
- Quindi quando nelle collisioni di LHC produciamo un W o una Z, quello che in realtà misuriamo nei nostri rivelatori sono solamente **elettroni e muoni!**

La massa del bosone Z

- Dalla misura delle **energie** e della **direzione** dei due elettroni e muoni possiamo calcolare la massa della particella che li ha prodotti quando si è disintegrata:

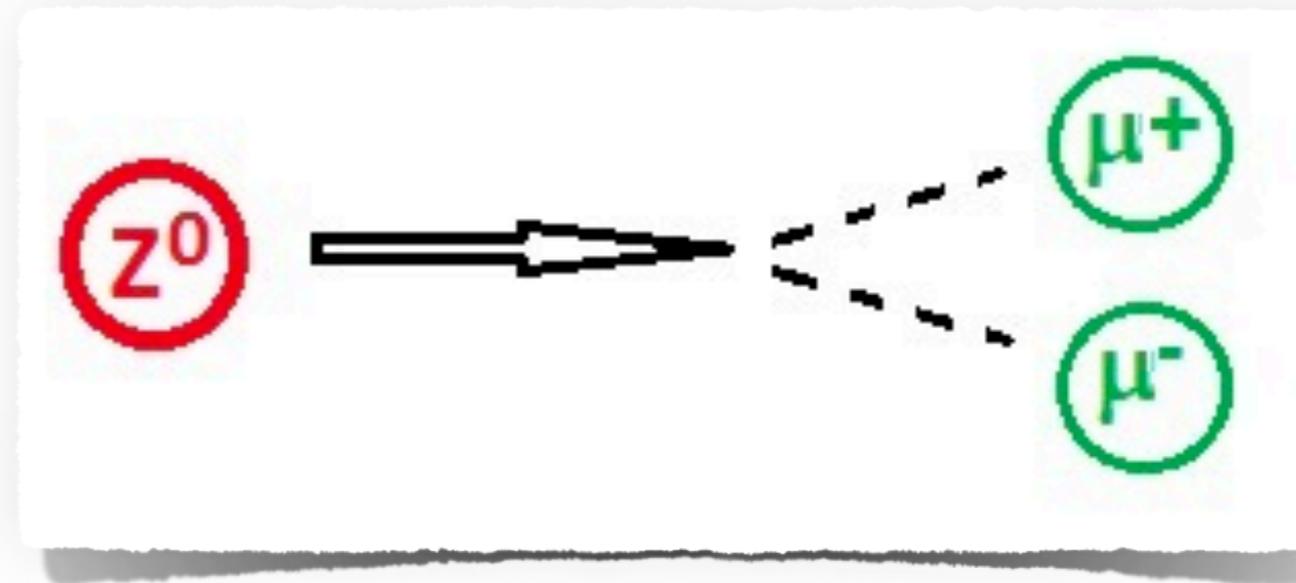
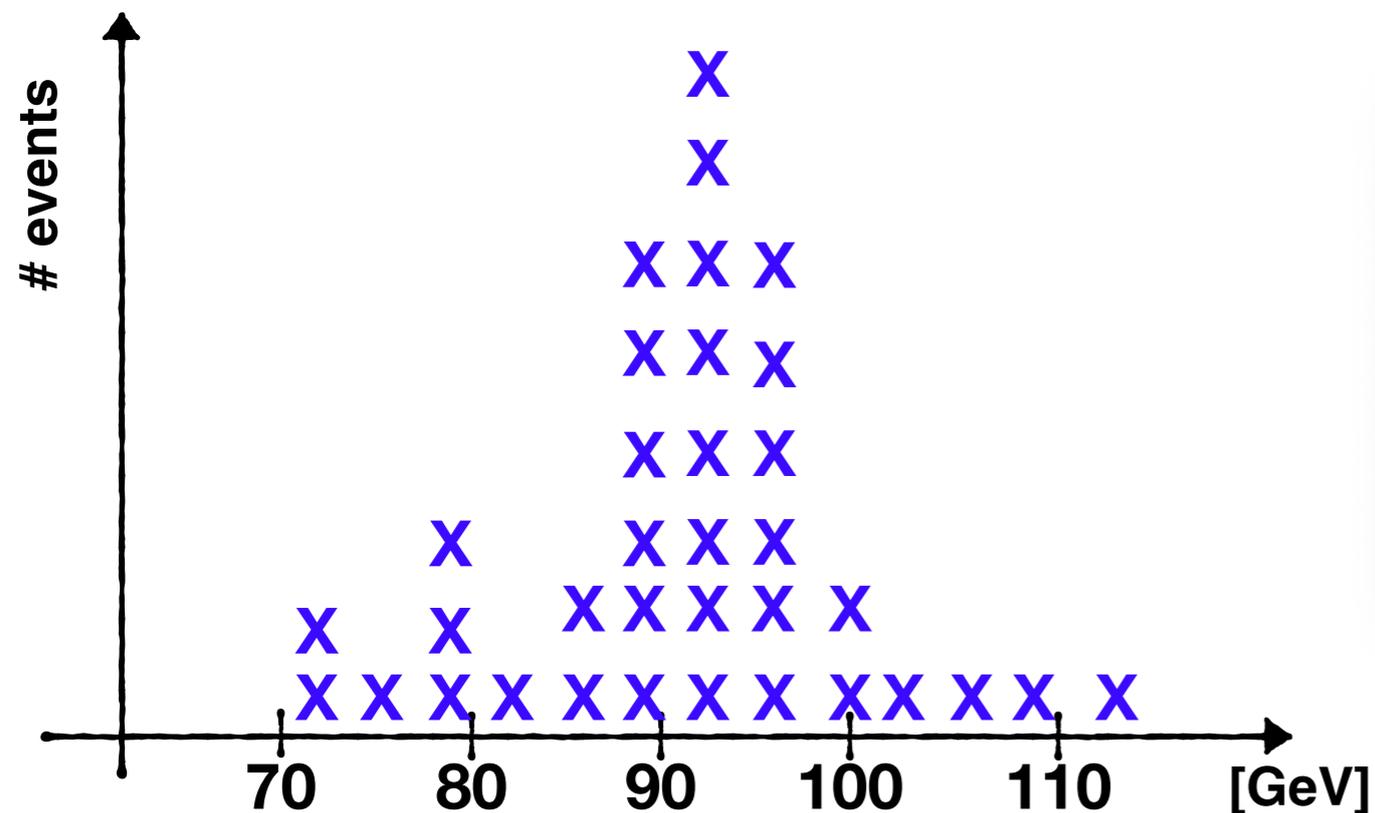
$$m_X = \sqrt{2E_1E_2(1 - \cos\theta)}$$

- Se per ogni **evento** in cui abbiamo due elettroni o due muoni, calcoliamo la massa della Z, e riempiamo un istogramma di frequenza, otteniamo:



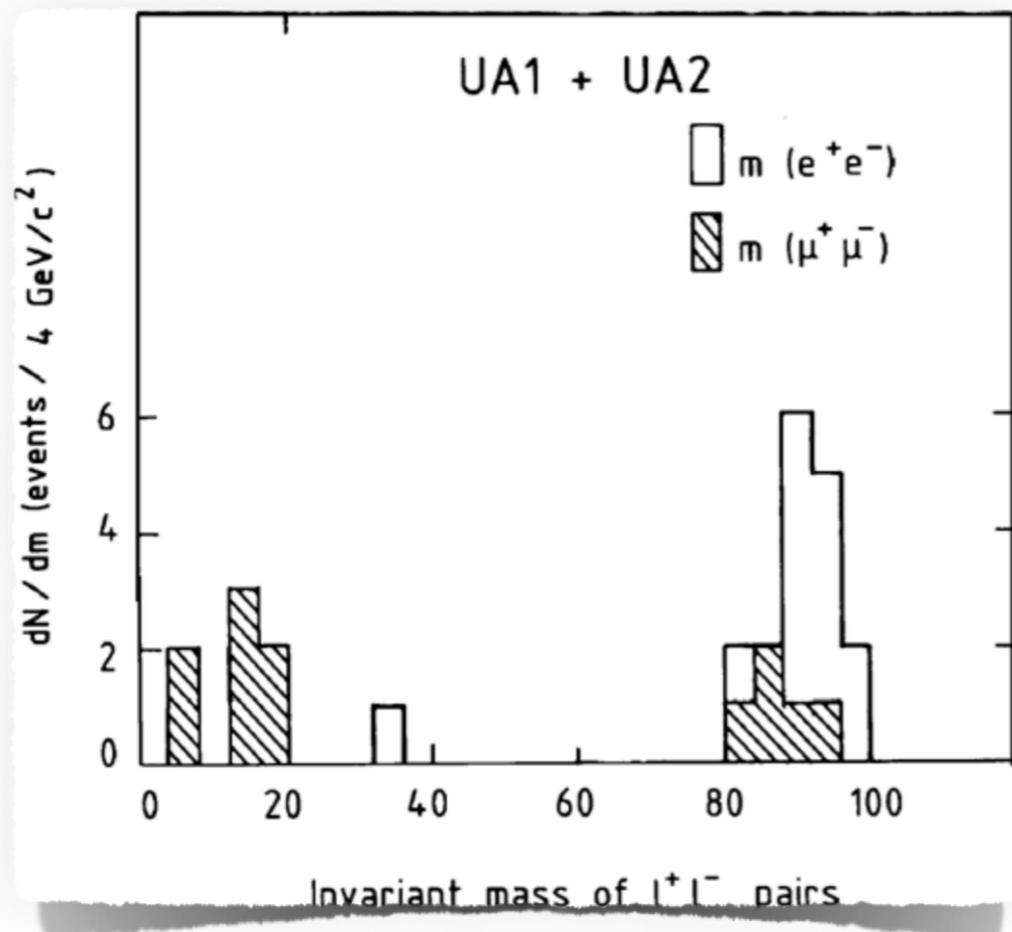
La massa del bosone Z

- Se il bosone Z esiste, apparirà un **picco di eventi (eccesso)** in corrispondenza del valore vero della massa del bosone Z
- Se questo eccesso è significativamente grande abbiamo **scoperto una nuova particella!**



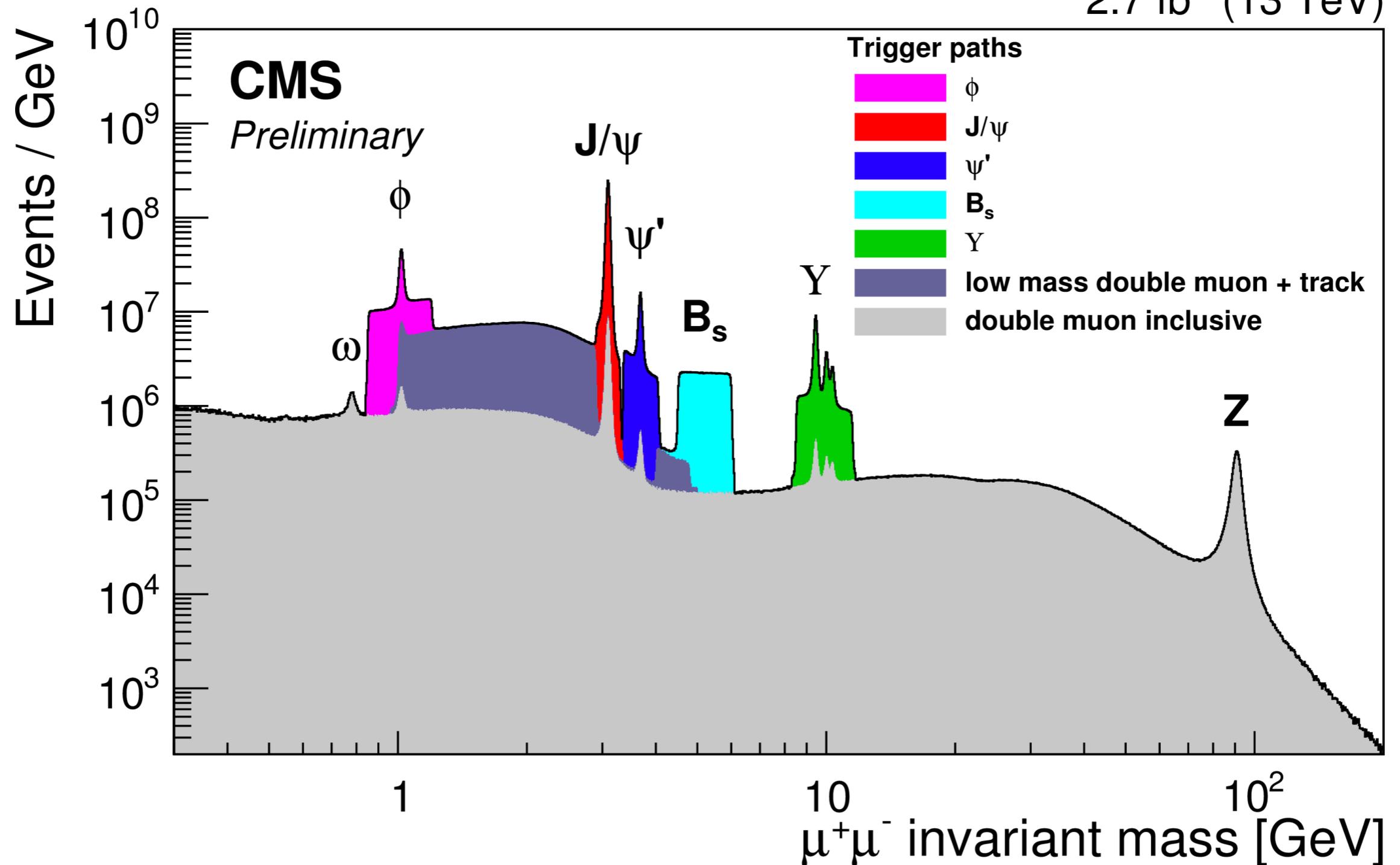
Il premio nobel per il bosone Z

- Se il bosone Z esiste, apparirà un **picco di eventi (eccesso)** in corrispondenza del valore vero della massa del bosone Z
- Se questo eccesso è significativamente grande abbiamo **scoperto una nuova particella!**
- Nel **1983** gli esperimenti **UA1 e UA2 al CERN** scoprirono in questo modo i bosoni W e Z



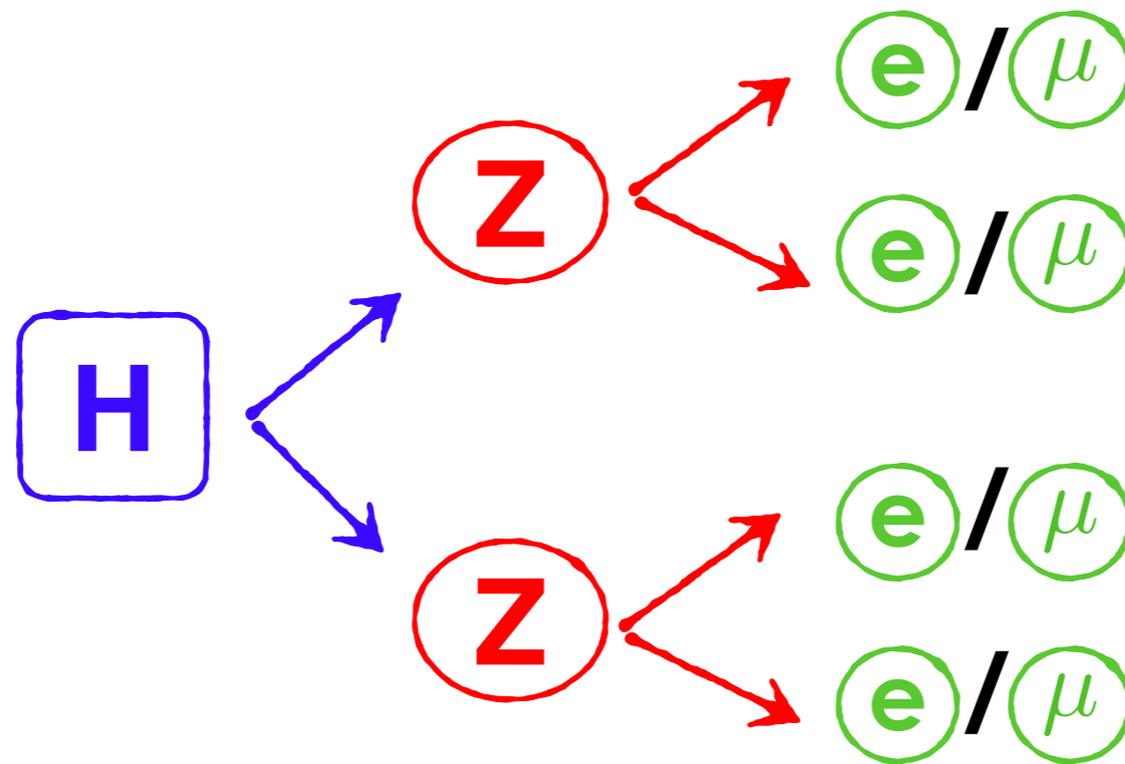
In realtà le particelle note sono moltissime!

2.7 fb⁻¹ (13 TeV)



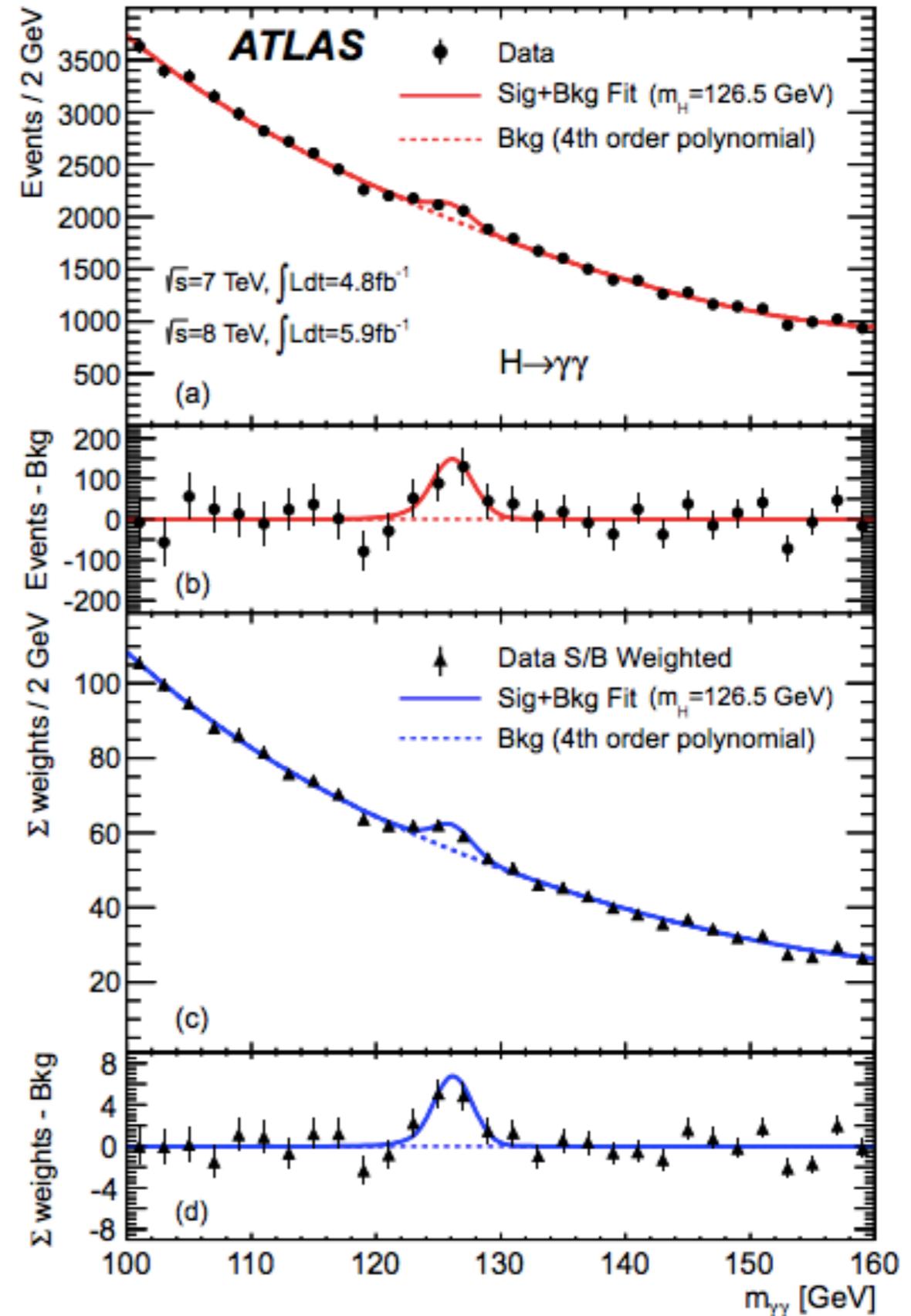
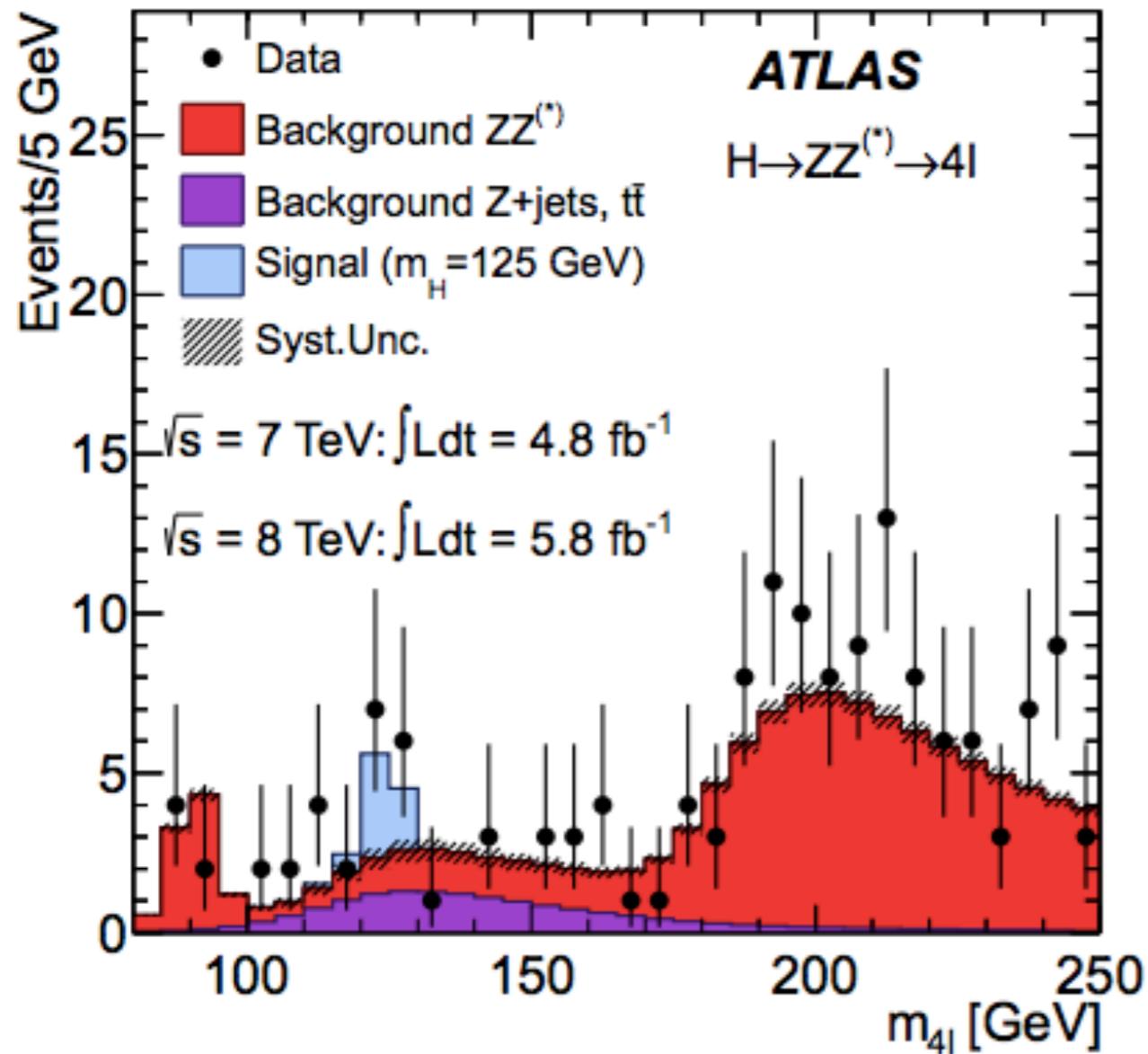
Il bosone Z e la scoperta del bosone di Higgs

- La scoperta del bosone Z ci ha dato la possibilità di “usarlo” per cercare e poi **scoprire il bosone di Higgs** (scoperta 2012)



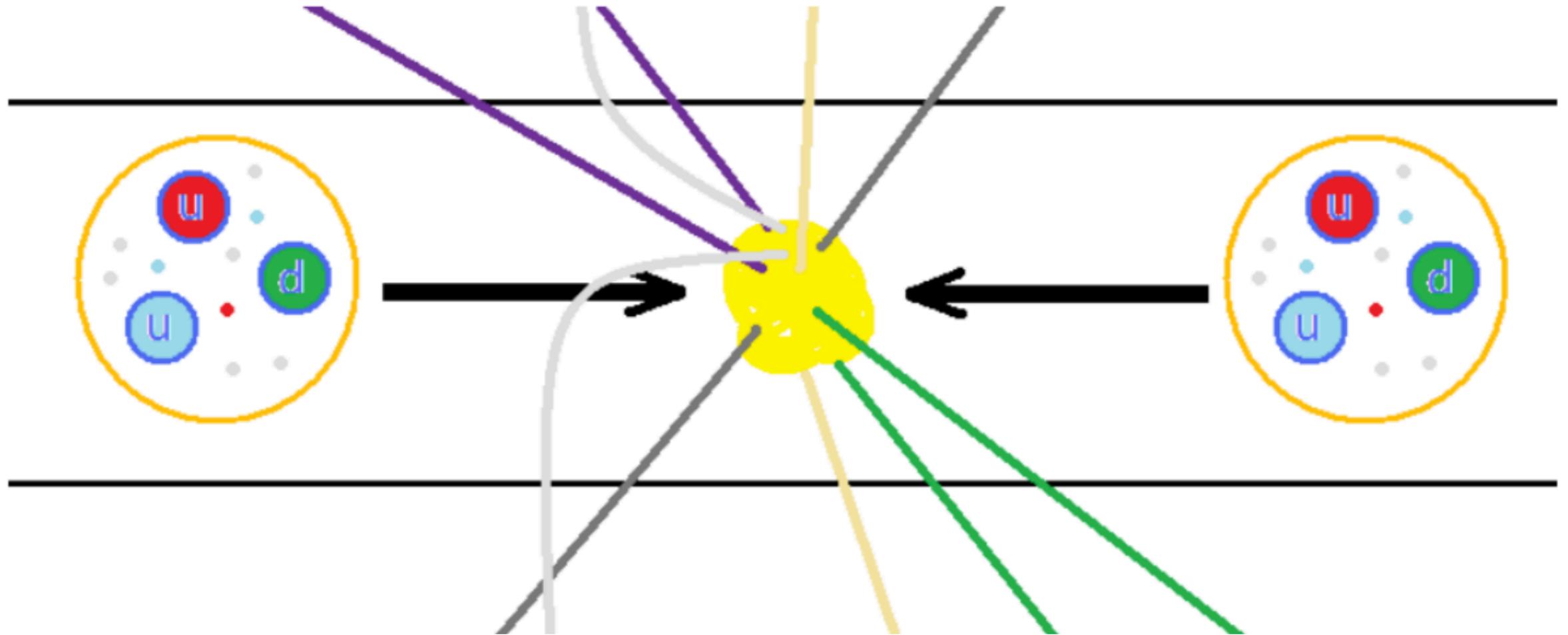
- Ricordate che la **Z** può decadere o in **elettroni o muoni**

La scoperta del bosone di Higgs



Collisioni al microscopio

- I protoni di LHC contengono quark e gluoni. Quando collidono si può produrre di tutto!



iSpy tool - CMS events

Different planes views



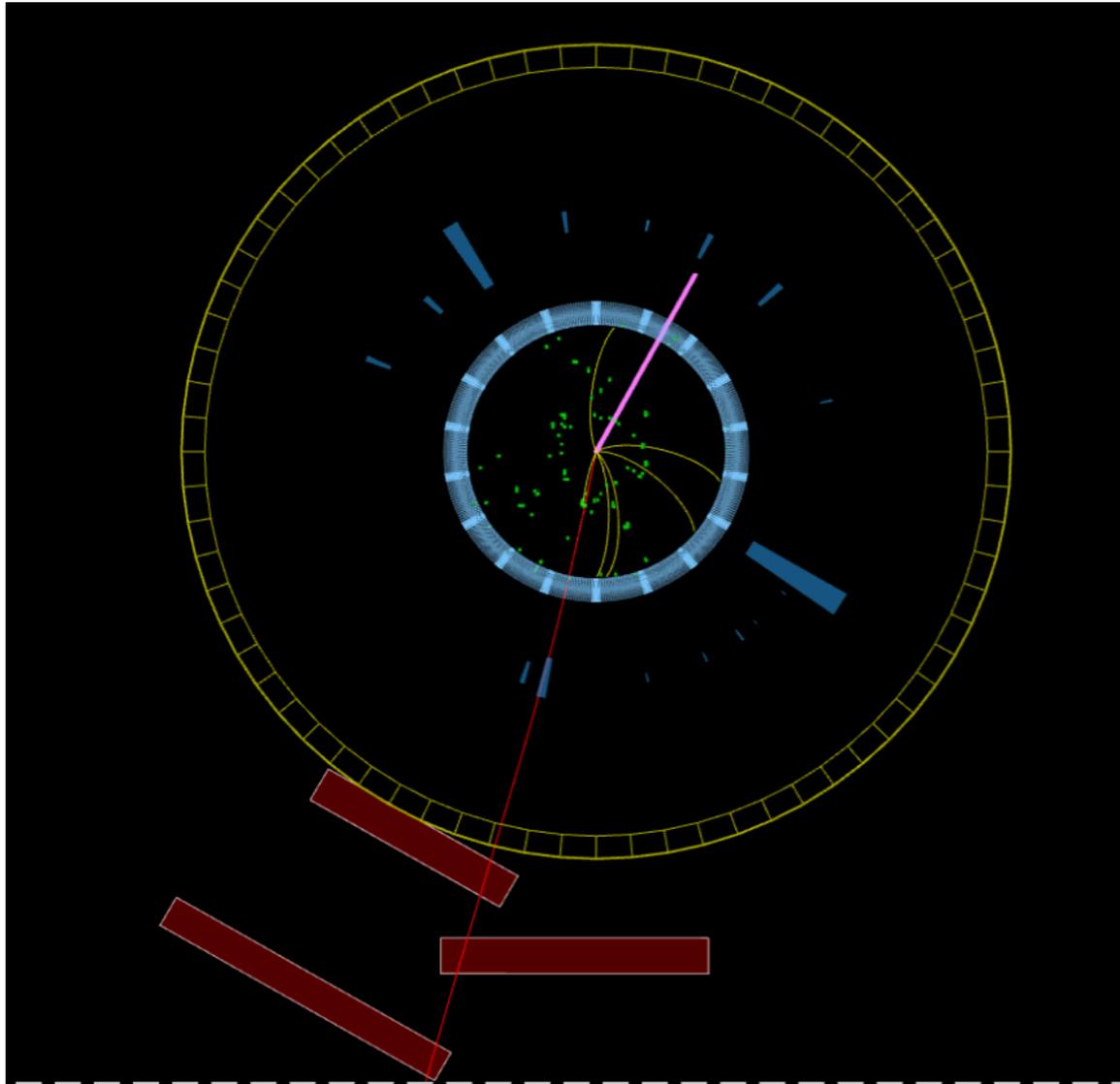
The screenshot shows the iSpy tool interface. At the top is a toolbar with various icons for navigation and viewing. On the left is a sidebar with a tree view of the event's structure, including Detector, Imported, Provenance, Event, Tracking, ECAL, and HCAL. The main area displays a 3D visualization of the CMS detector with tracks and subdetectors. A small 3D coordinate system is visible in the bottom left of the main area. On the right, the text 'Event display' is shown. At the bottom, a table displays physics objects.

Physics: Global Muons (Reco)

pt	charge	rp	phi	eta	calo_energy
17.226		0.000687702,0.00069938,-0.100233	0.344044	0.205445	0
126.97		0.000703579,0.000671055,-0.100225	2.0224	-0.887451	0

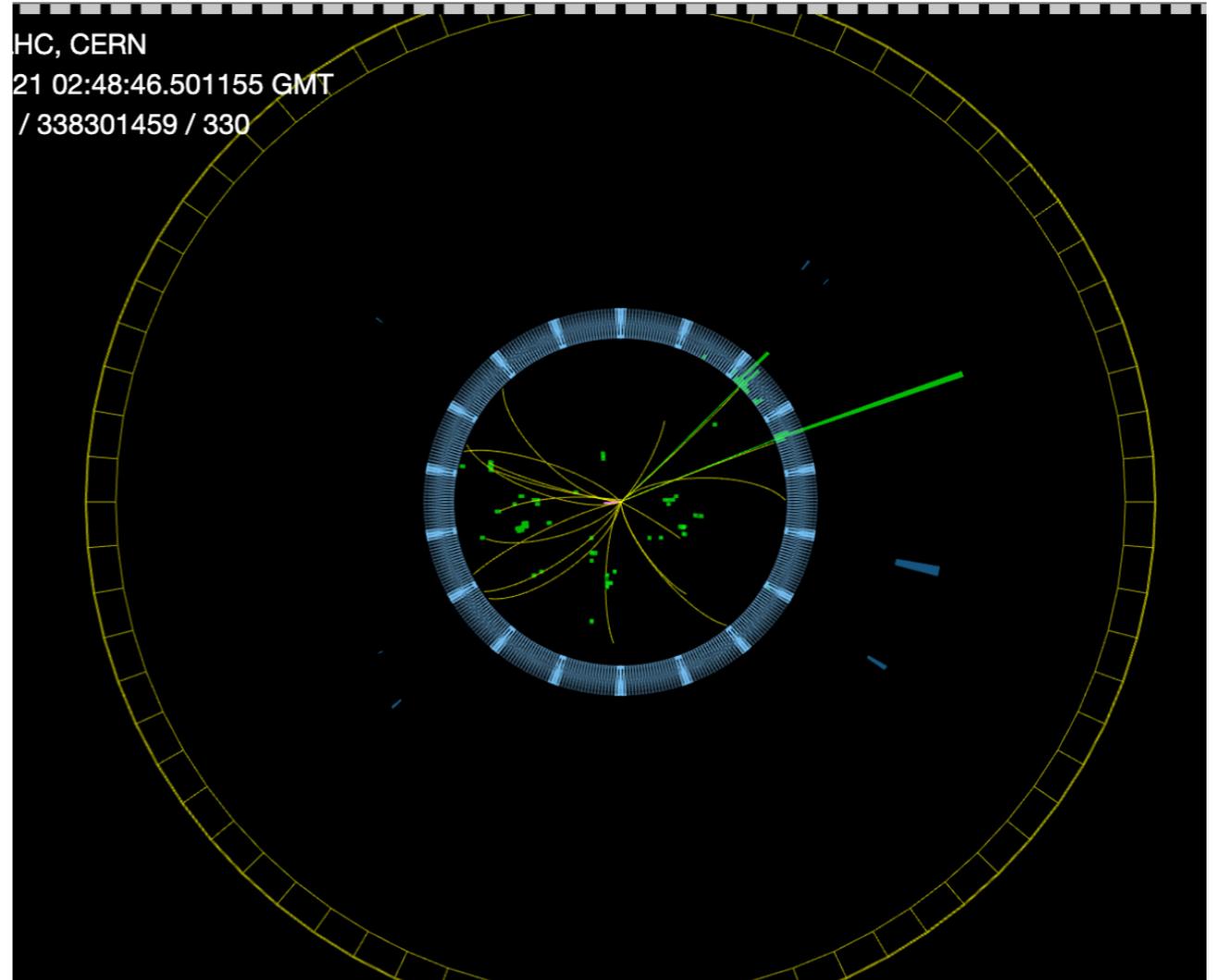
Subdetectors and physics objects visualization

Particles Identification



Muon

Neutrino



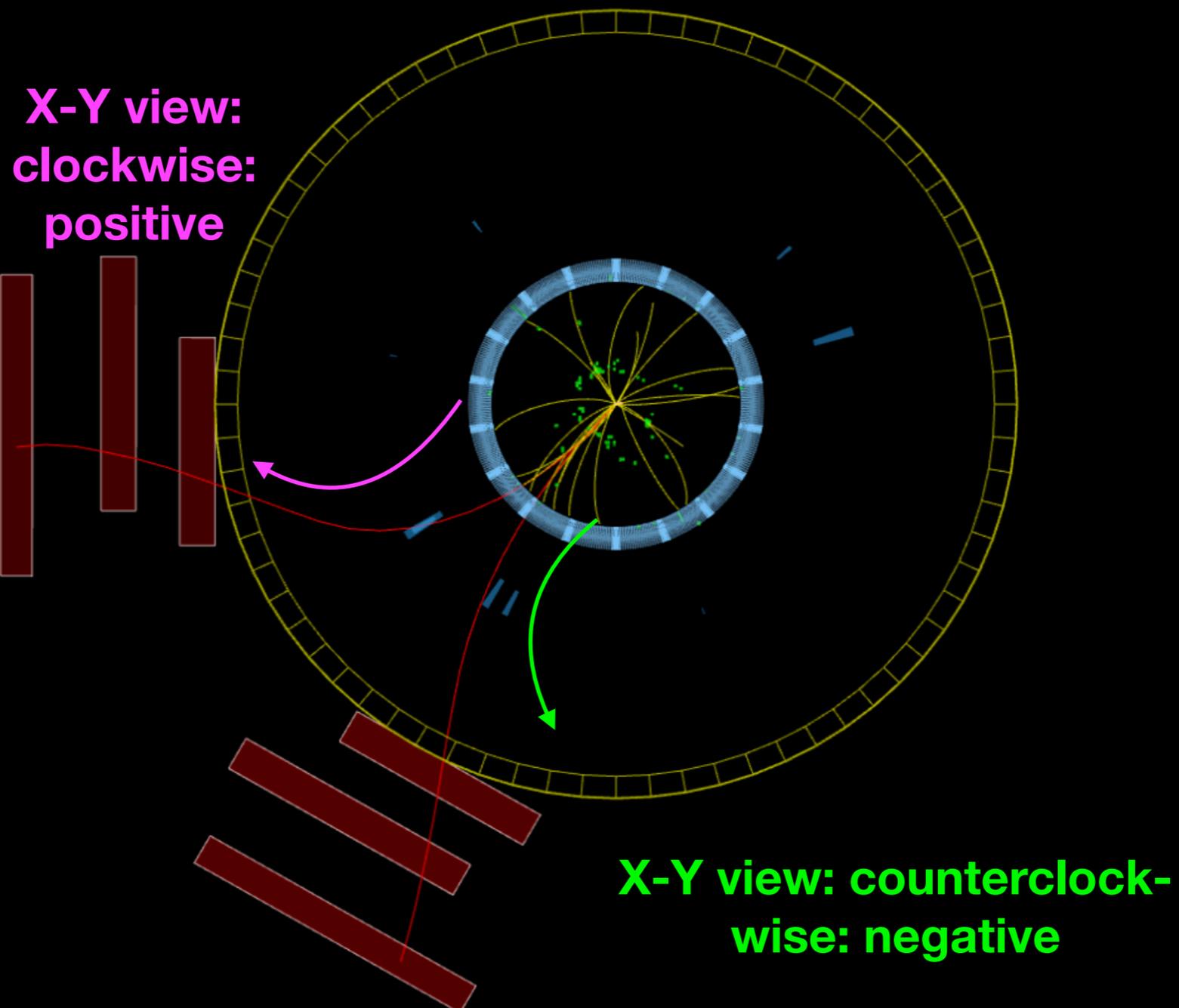
Electron

Charge Identification

the LHC, CERN

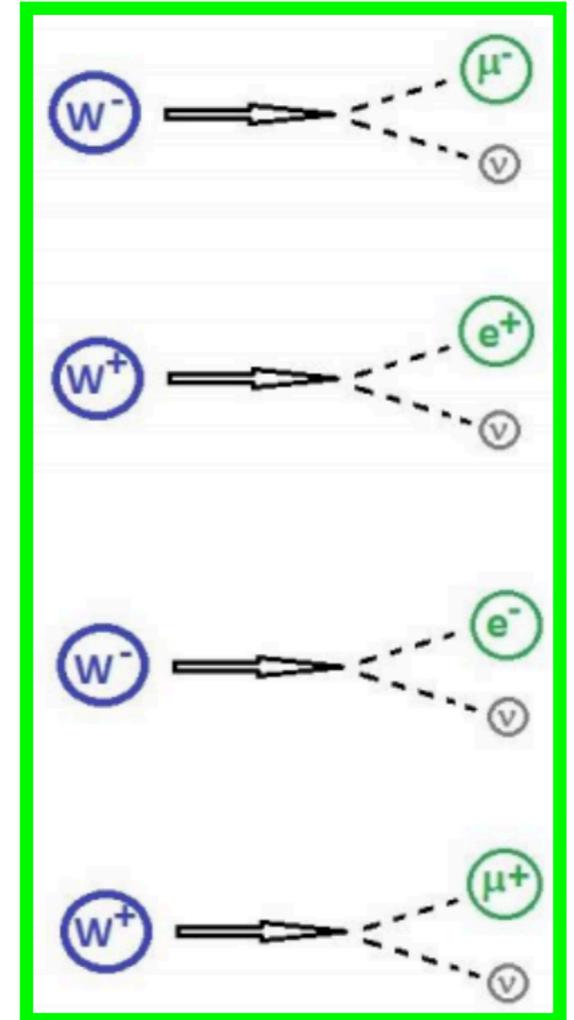
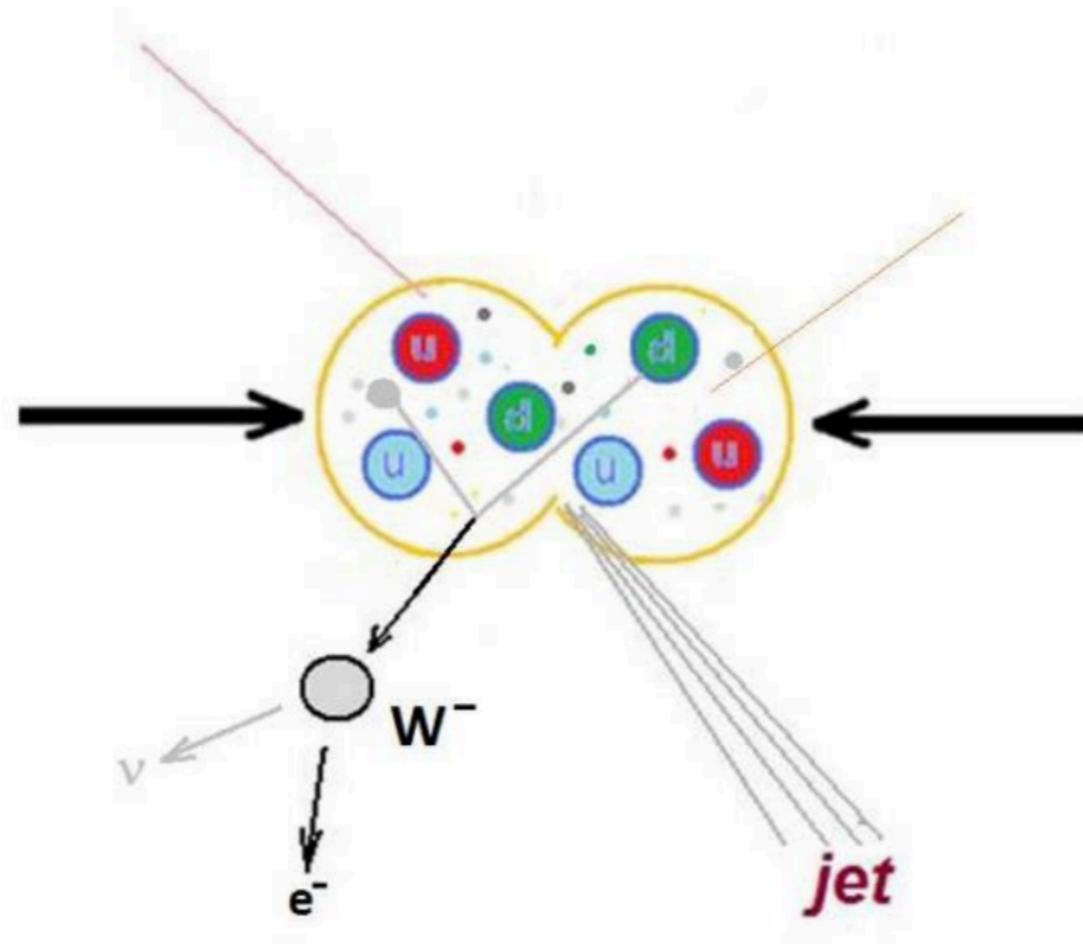
Apr-16 15:56:32.353841 GMT

909 / 39626565 / 93



Produzione bosone $W^{+/-}$

- Decade in **un neutrino + un muone o un elettrone**



- Poichè nei protoni ci sono due quark up (positivi) e un quark down (negativo) è più probabile collidano gli up e quindi **i bosoni W^+ sono più frequenti!**

Produzione bosone $W^{+/-}$

- Decade in **un neutrino + un muone o un elettrone**

È più probabile che
collidano i quark up e
quindi i **bosoni W^+** sono
più frequenti!

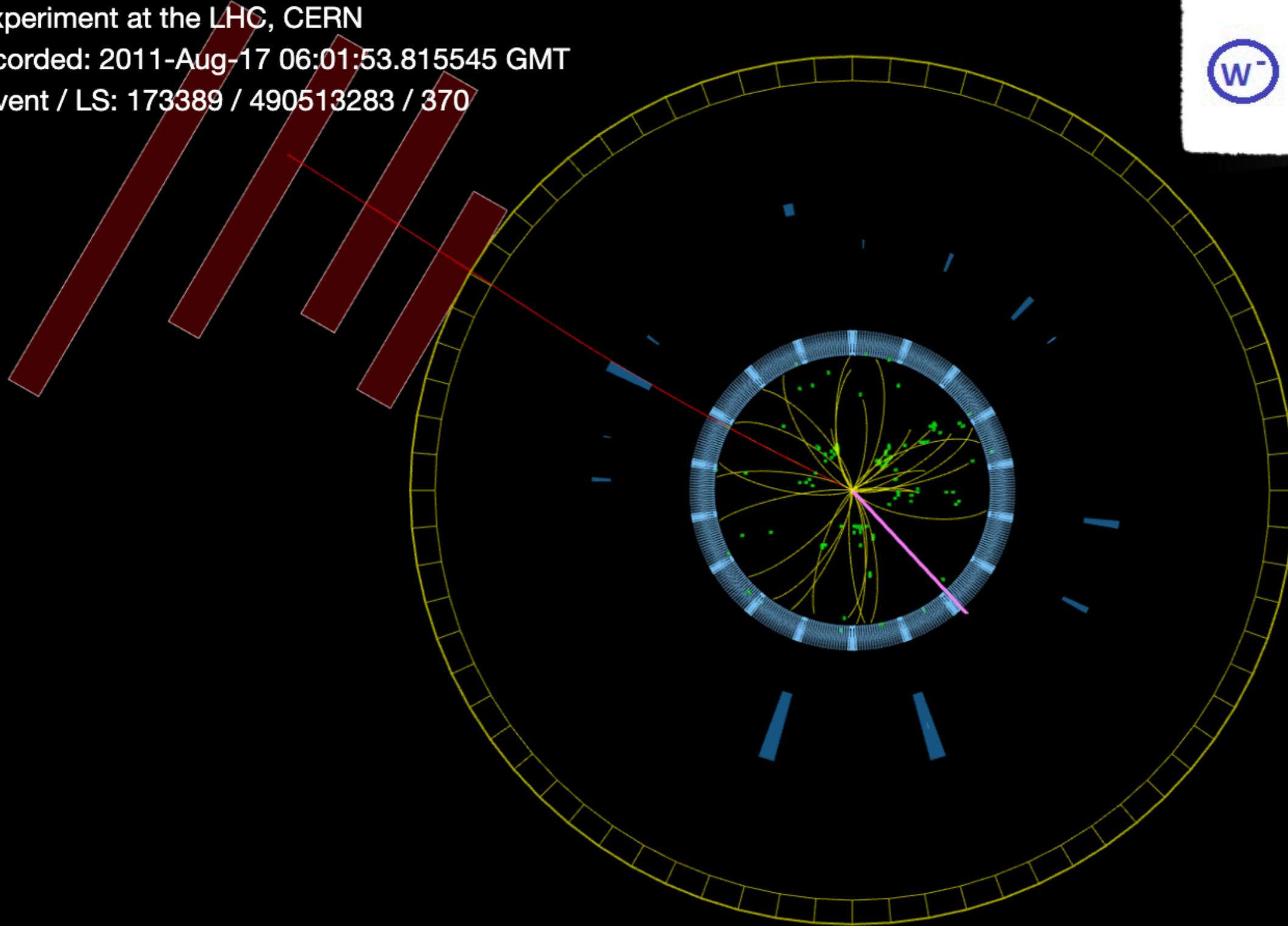
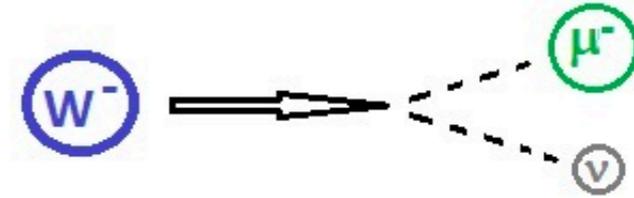
- Nei protoni ci sono due quark up (positivi) e un quark down (negativo)

$W^- \rightarrow \mu^- + \nu$

Experiment at the LHC, CERN

Recorded: 2011-Aug-17 06:01:53.815545 GMT

Event / LS: 173389 / 490513283 / 370

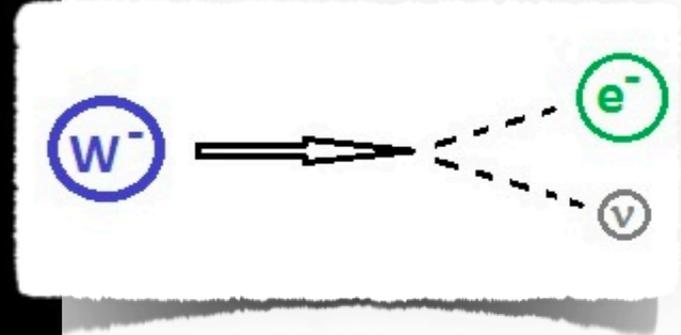
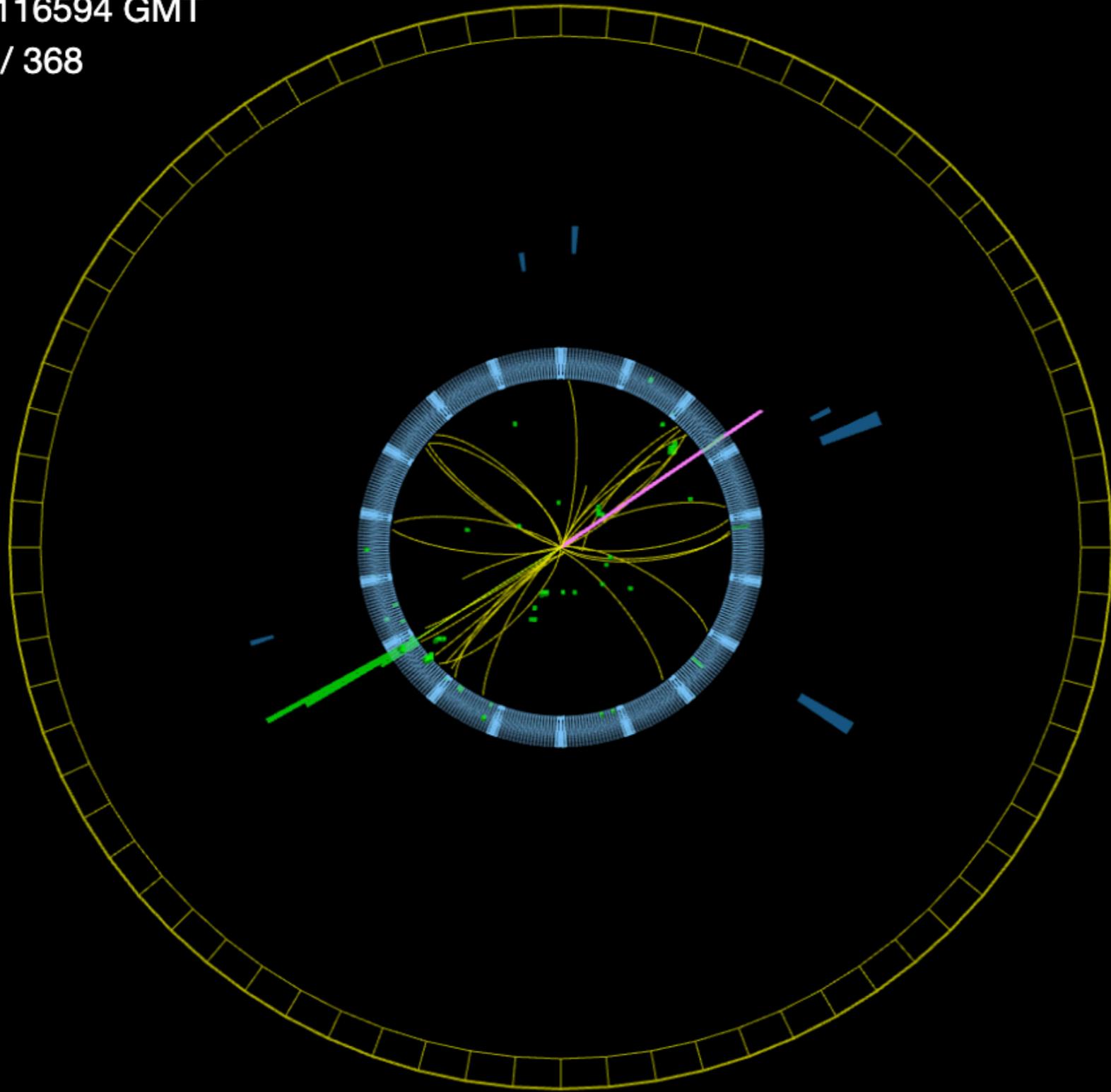


$W^- \rightarrow \text{elettrone} + \text{neutrino}$

N

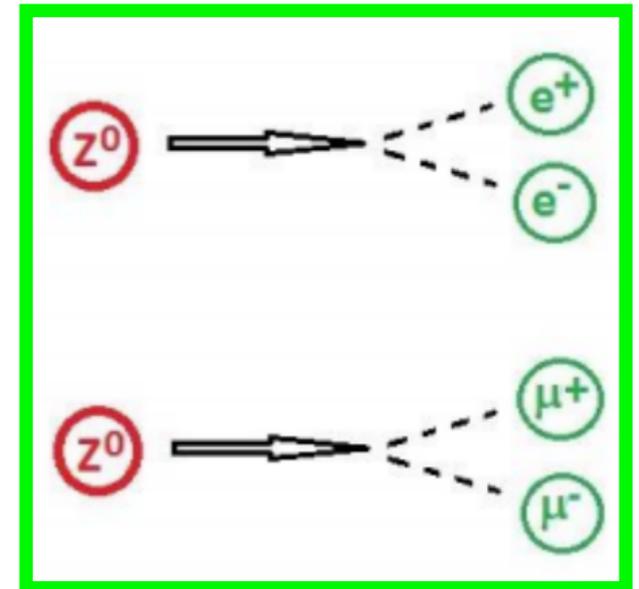
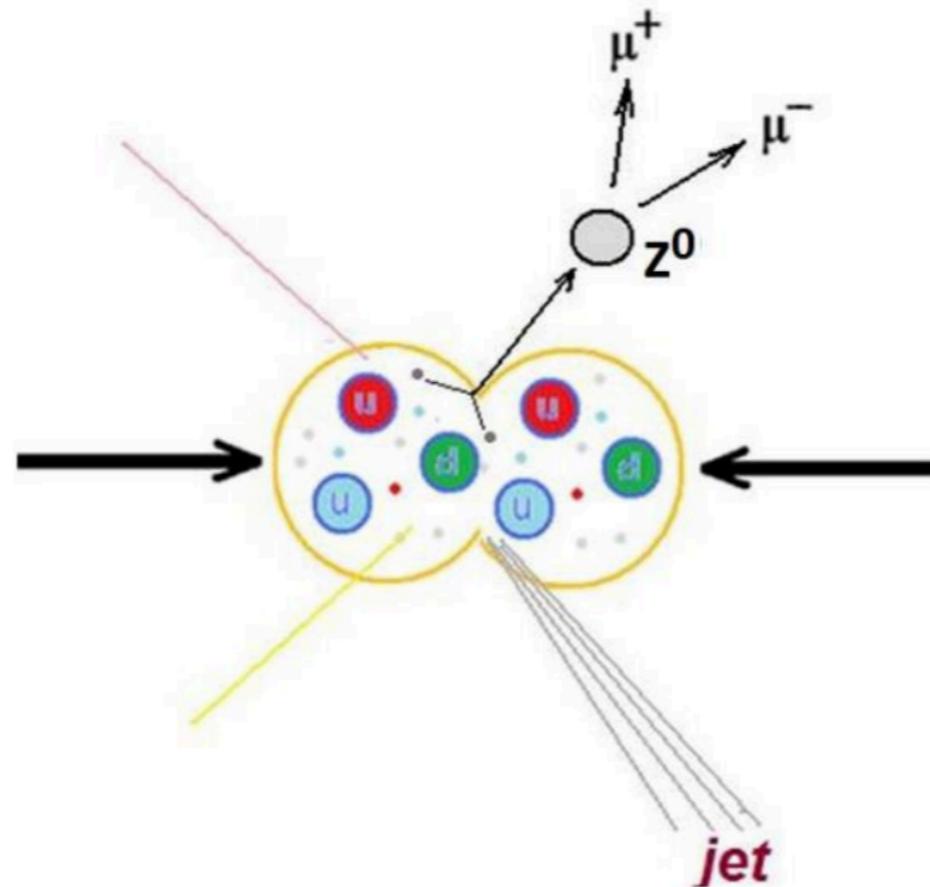
:17.116594 GMT

602 / 368



Produzione bosone Z

- Decade in **due muoni o due elettroni**



- I due prodotti del decadimento devono essere dello stesso tipo ma di carica opposta perchè la Z è neutra e **la carica totale deve conservarsi!**

Produzione bosone Z

- Decade in **due muoni o due elettroni**

La probabilità di avere elettroni o muoni, secondo la teoria, è la stessa!

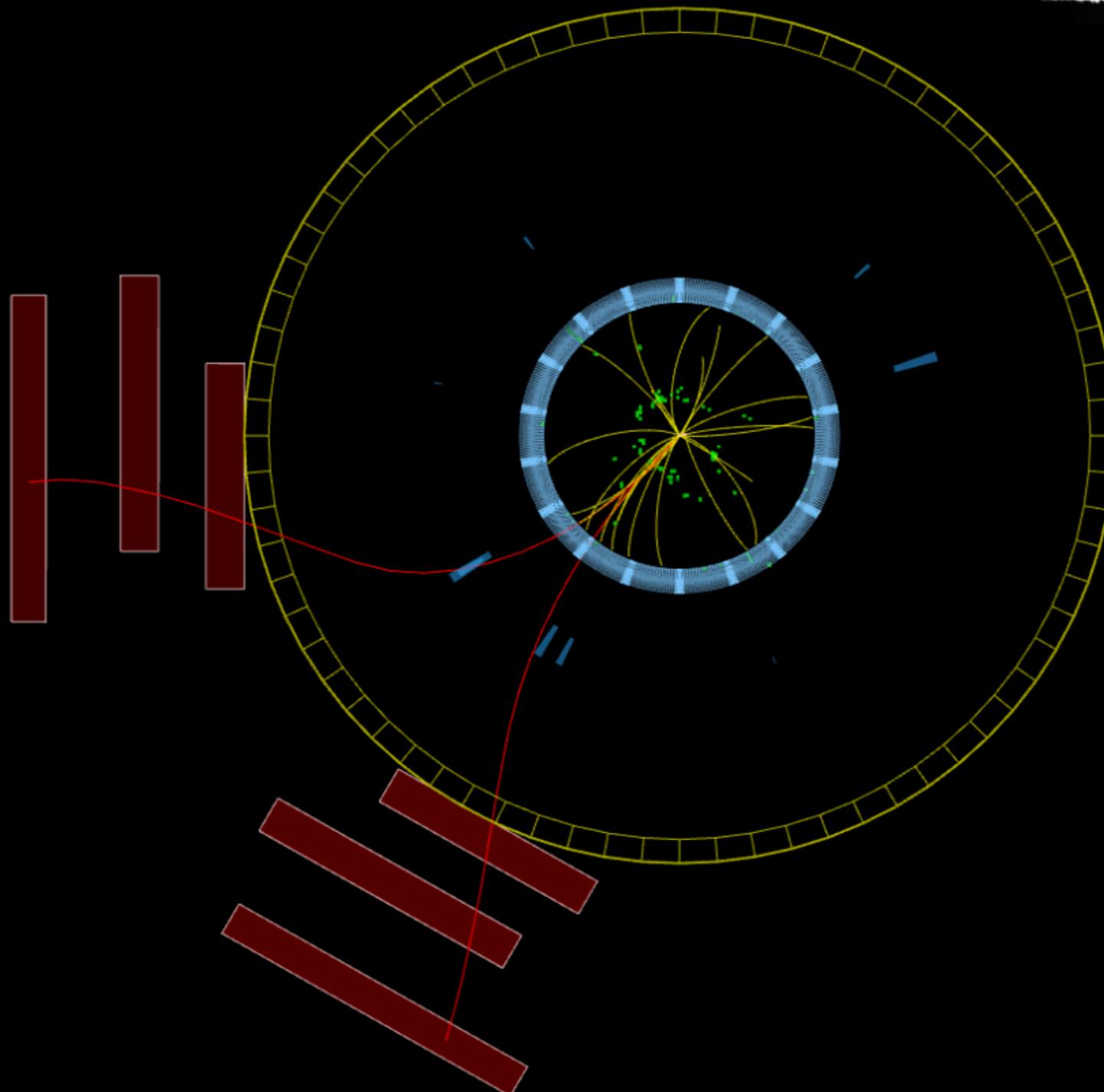
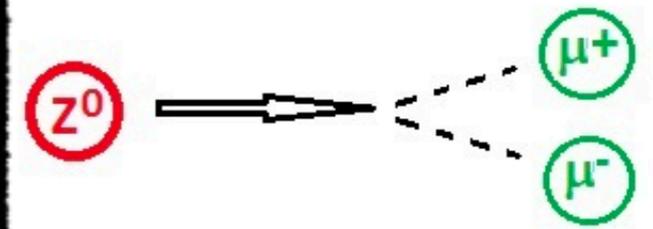
- I due prodotti del decadimento devono essere dello stesso tipo ma di carica opposta perchè la Z è neutra e **la carica totale deve conservarsi!**

Z \rightarrow muone+muone

the LHC, CERN

Apr-16 15:56:32.353841 GMT

909 / 39626565 / 93

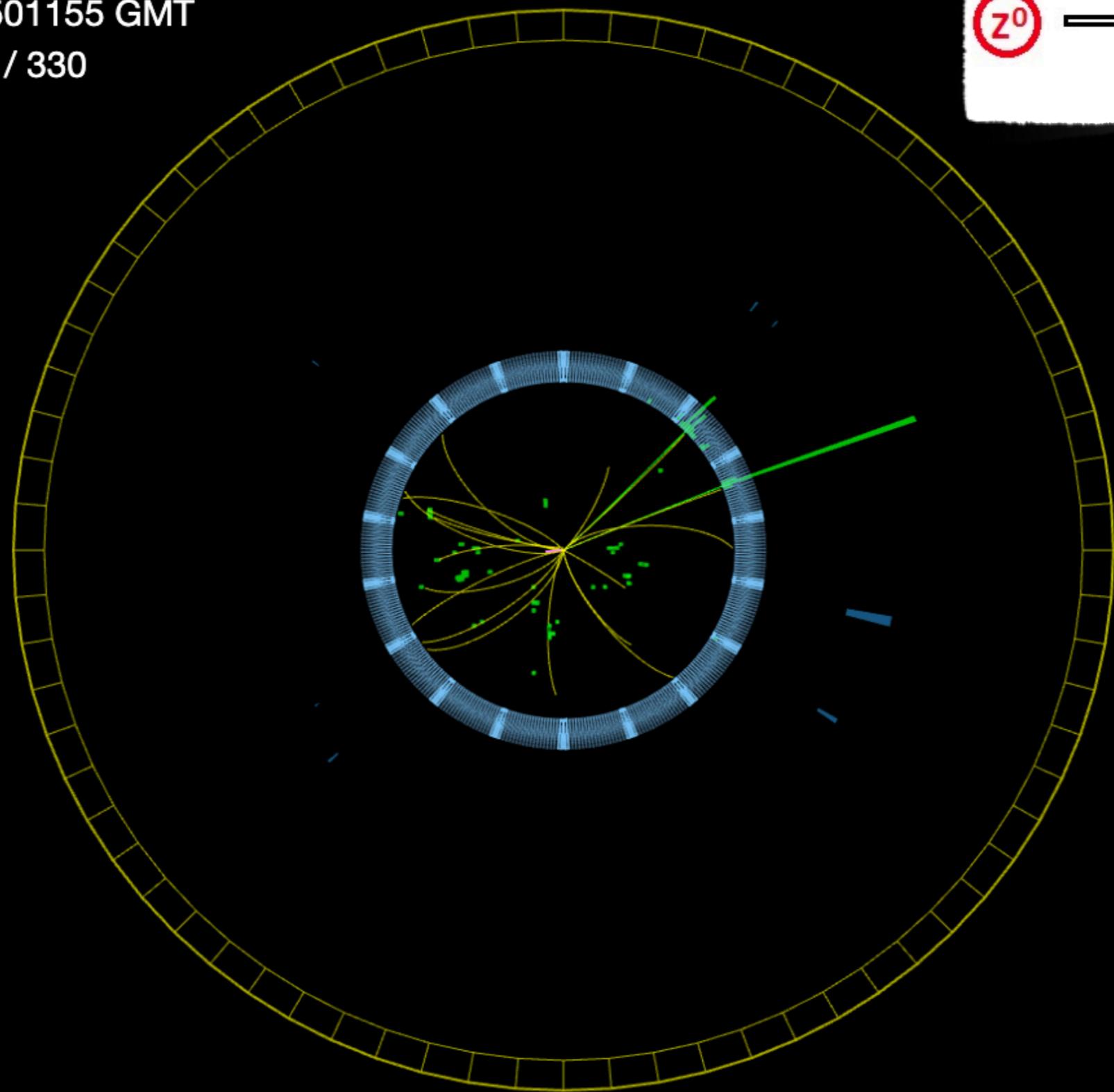
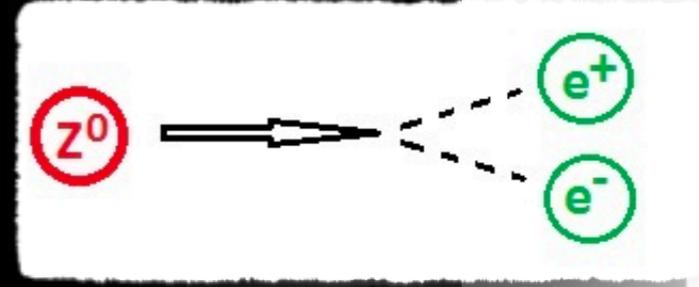


Z → e⁺e⁻

C, CERN

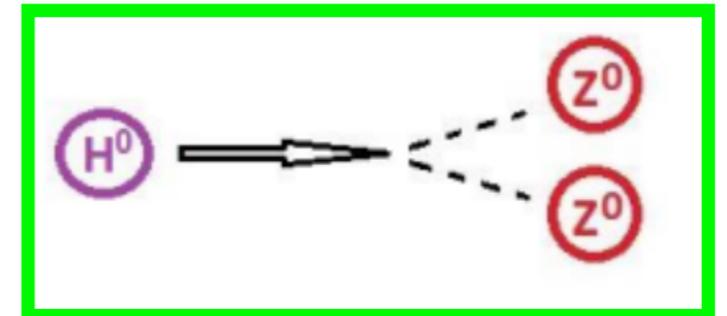
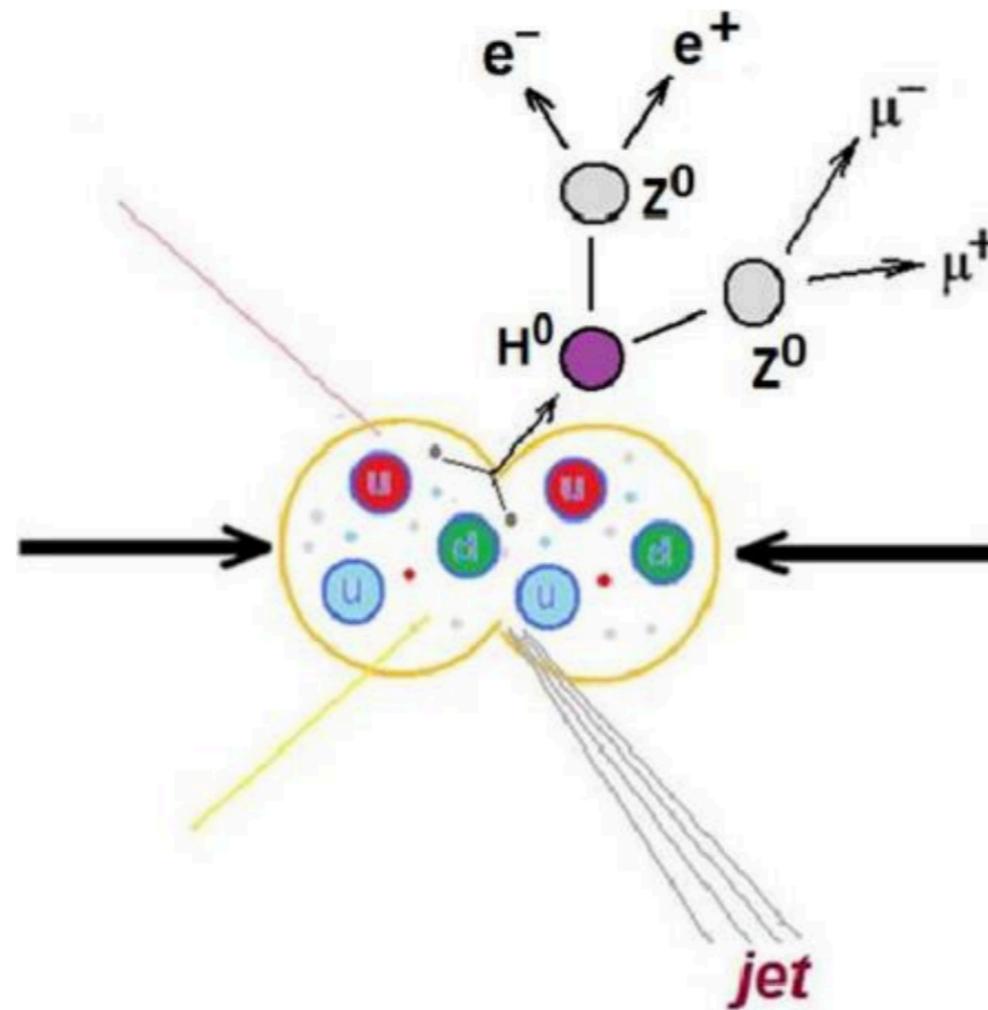
02:48:46.501155 GMT

338301459 / 330



Produzione bosone Higgs

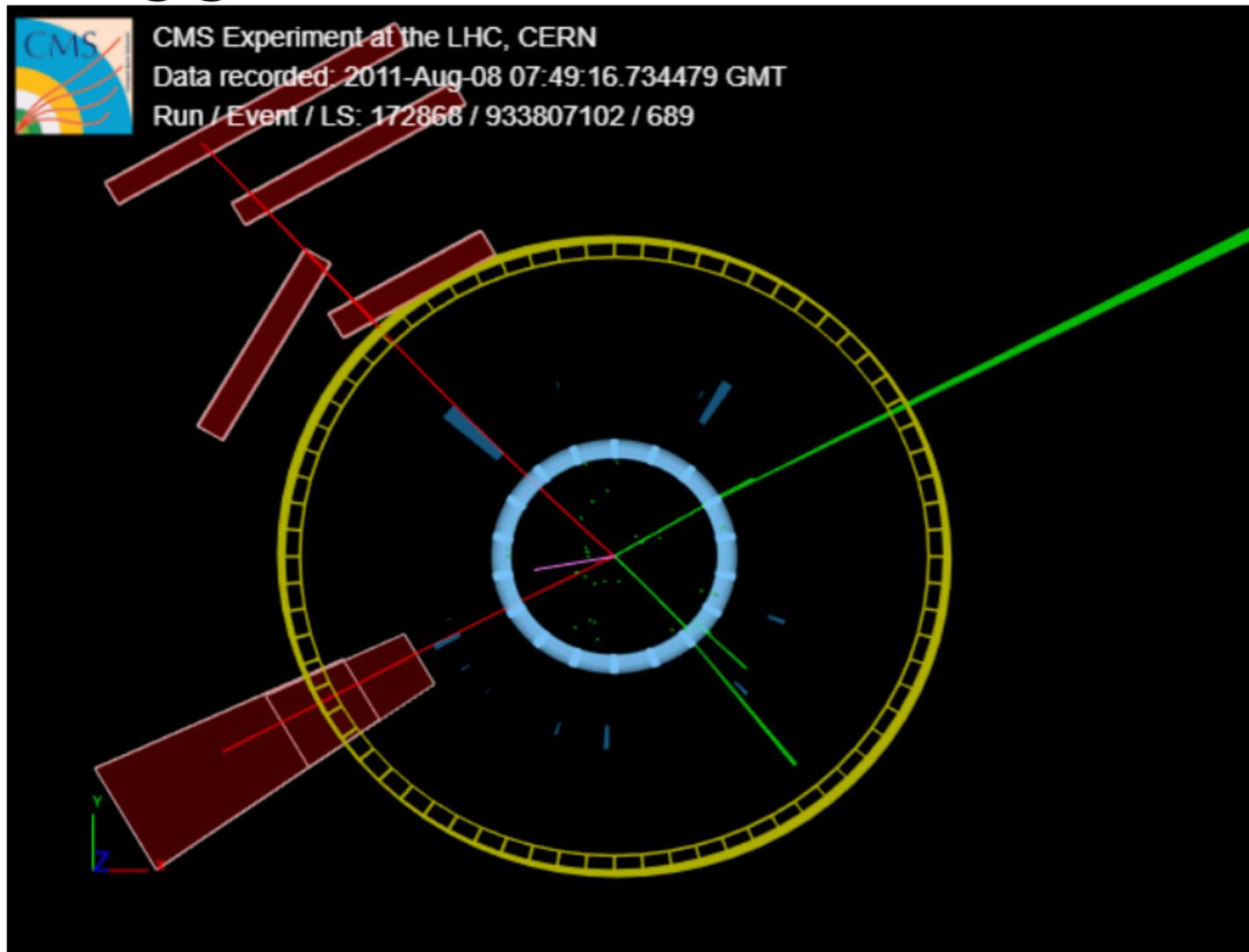
- Decade in **due bosoni Z**



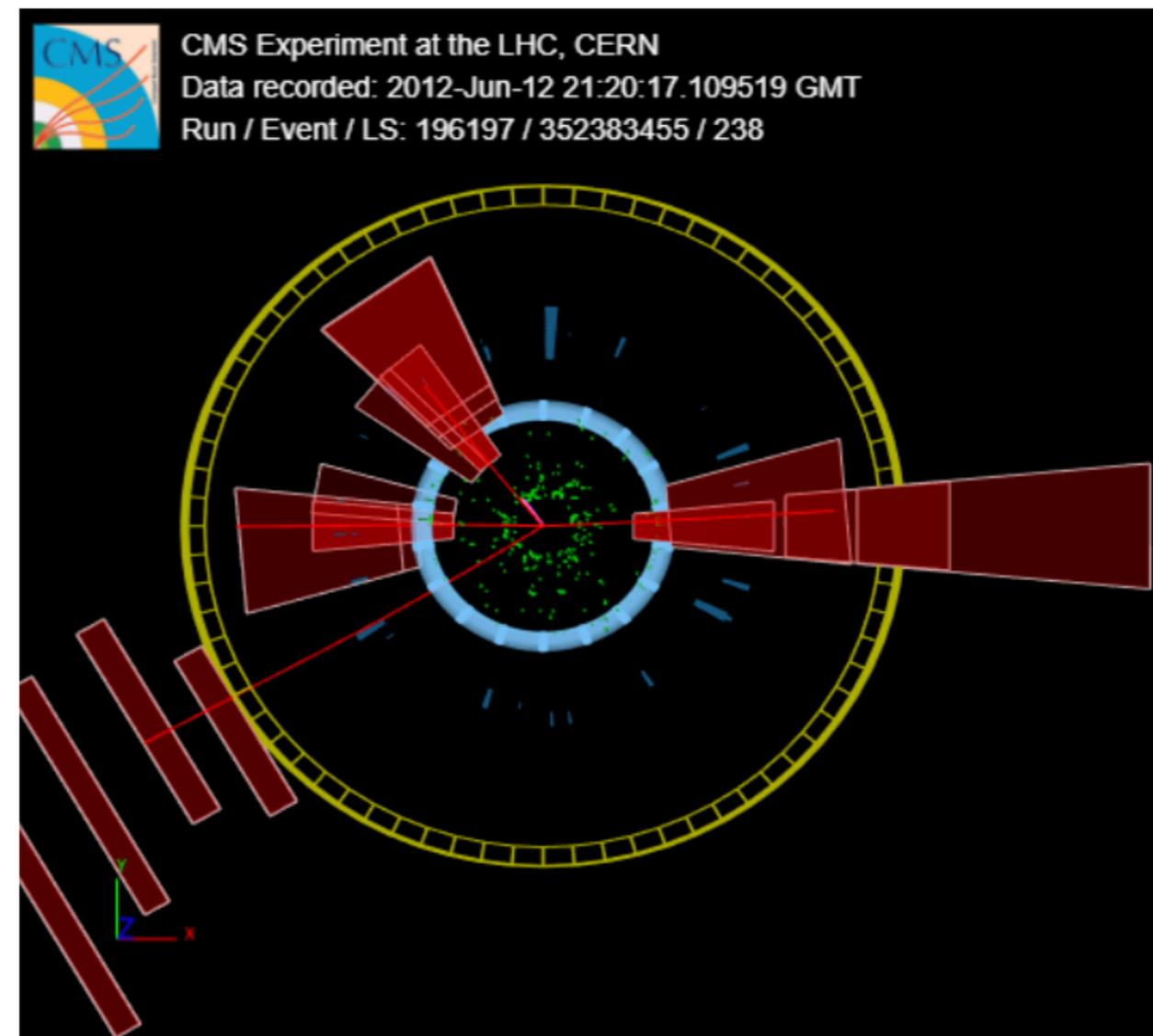
- Alla fine abbiamo: o 4 muoni, o 4 elettroni o 2 muoni e 2 elettroni!

Higgs->ZZ

- Higgs->ZZ-> 2 muoni e 2 elettroni



- Higgs->ZZ-> 4 muoni



Come inseriamo la presa dati

Back Events Table (Group 1) Mass Histogram (Table01) Results (Table01) [Event Display](#)

Masterclass: Event01
location: Table01
Group: 1

Select Event	Final State	Primary State	Enter Mass
Event index: 14 ▾ Event number: 1-14	<input type="radio"/> e ν <input type="radio"/> μ ν <input type="radio"/> e e <input type="radio"/> μ μ <input type="radio"/> 4e <input type="radio"/> 4 μ <input type="radio"/> 2e 2 μ	Charged Particle: <input type="radio"/> W ⁺ <input type="radio"/> W ⁻ <input type="radio"/> W \pm <input type="radio"/> Neutral Particle (Z, H) <input type="radio"/> Zoo	<input type="text"/> GeV/c ² <input type="button" value="Next"/>

Event index	Event number	Final state	Primary state	Mass
13	1-13	$\mu\nu$	W \pm	

Ora tocca a voi!!

- Oggi guarderemo ai **dati veri raccolti dall'esperimento CMS** ad LHC e **ri-riscopriremo i bosoni W, Z e Higgs**
- Impareremo come si **lavora in gruppo nella presa dati** di un grande esperimento di fisica delle particelle.

- Parteciperemo alla fine ad una **conferenza internazionale** insieme ai vostri colleghi che vengono da:

- Dettagli qui: [link](#)



Ora tocca a voi!!

- Oggi guarderemo ai **dati veri** **nto**
CMS ad LHC e **ri-ri**

Ma prima
mangiammo!!

- D

