



# Esercizi MasterClass

ALLA RICERCA DEL BOSONE DI HIGGS

# Cosa faremo oggi?

- Analizzerete i dati realmente raccolti da CMS nel 2012 raccolti con un energia di centro di massa di 8 TeV (*oggi si raggiungono i 13.6 TeV*)

# Cosa faremo oggi?

- Analizzerete i dati realmente raccolti da CMS nel 2012 raccolti con un energia di centro di massa di 8 TeV (*oggi si raggiungono i 13.6 TeV*)
- Ogni fascio di protoni ha un'energia di 4 TeV (*oggi 6.8 TeV per fascio*)

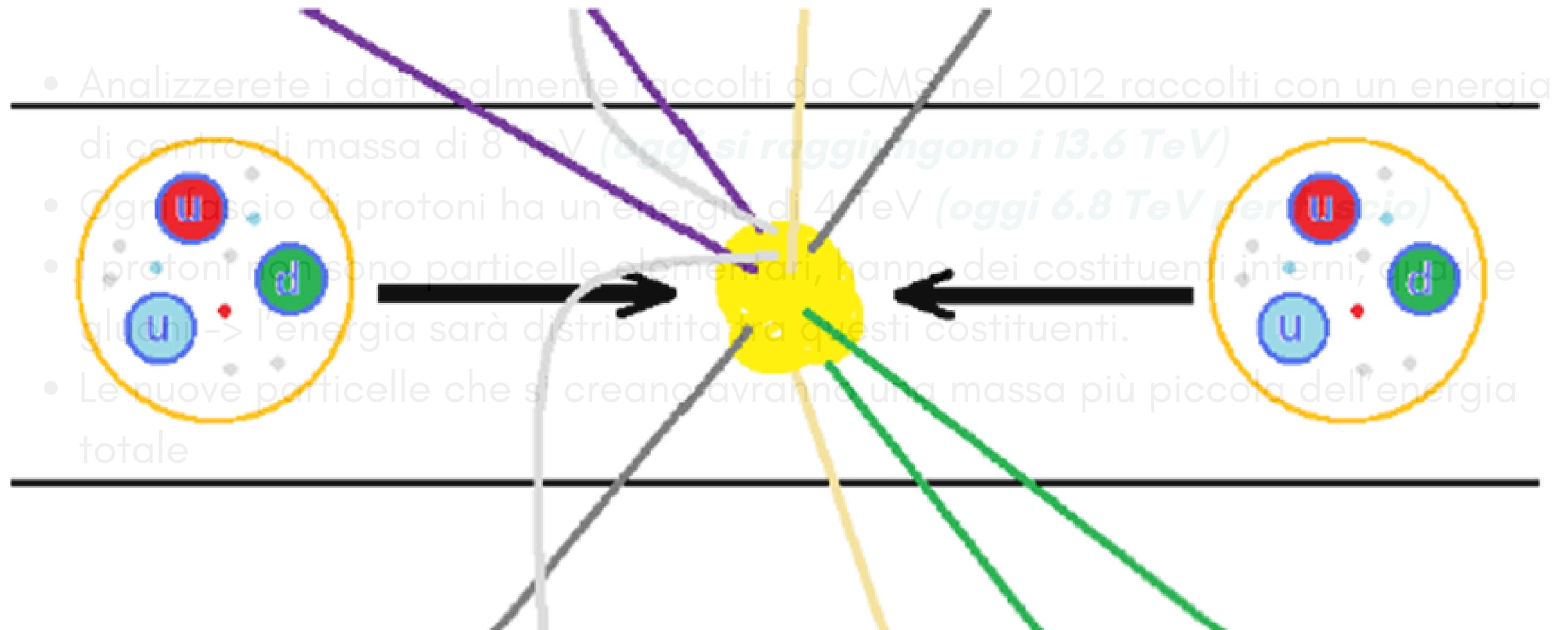
# Cosa faremo oggi?

- Analizzerete i dati realmente raccolti da CMS nel 2012 raccolti con un energia di centro di massa di 8 TeV (*oggi si raggiungono i 13.6 TeV*)
- Ogni fascio di protoni ha un'energia di 4 TeV (*oggi 6.8 TeV per fascio*)
- I protoni non sono particelle elementari, hanno dei costituenti interni, quark e gluoni -> l'energia sarà distribuita tra questi costituenti.

# Cosa faremo oggi?

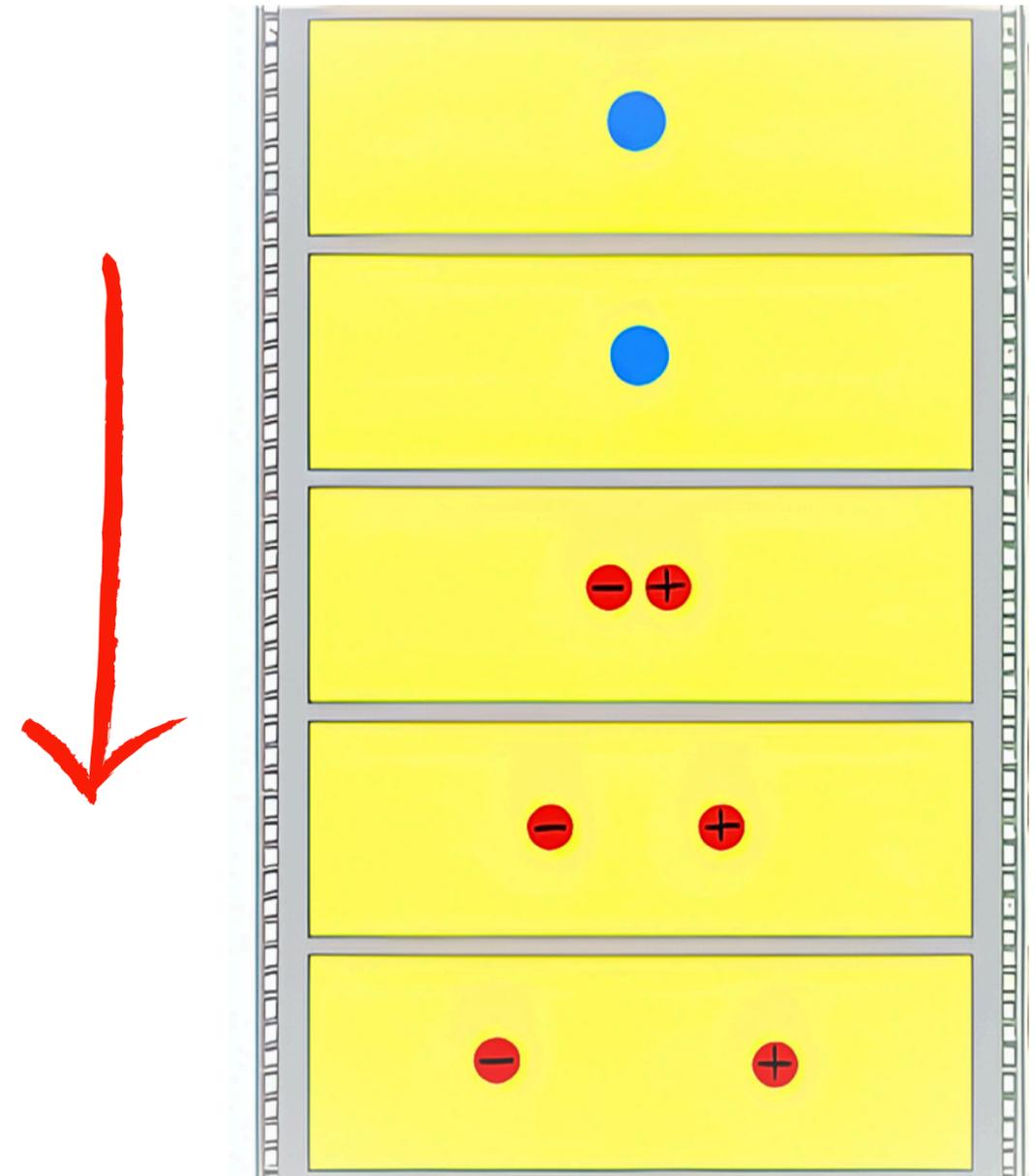
- Analizzerete i dati realmente raccolti da CMS nel 2012 raccolti con un energia di centro di massa di 8 TeV (*oggi si raggiungono i 13.6 TeV*)
- Ogni fascio di protoni ha un'energia di 4 TeV (*oggi 6.8 TeV per fascio*)
- I protoni non sono particelle elementari, hanno dei costituenti interni, quark e gluoni -> l'energia sarà distribuita tra questi costituenti.
- Le nuove particelle che si creano avranno una massa più piccola dell'energia totale

# Cosa faremo oggi?



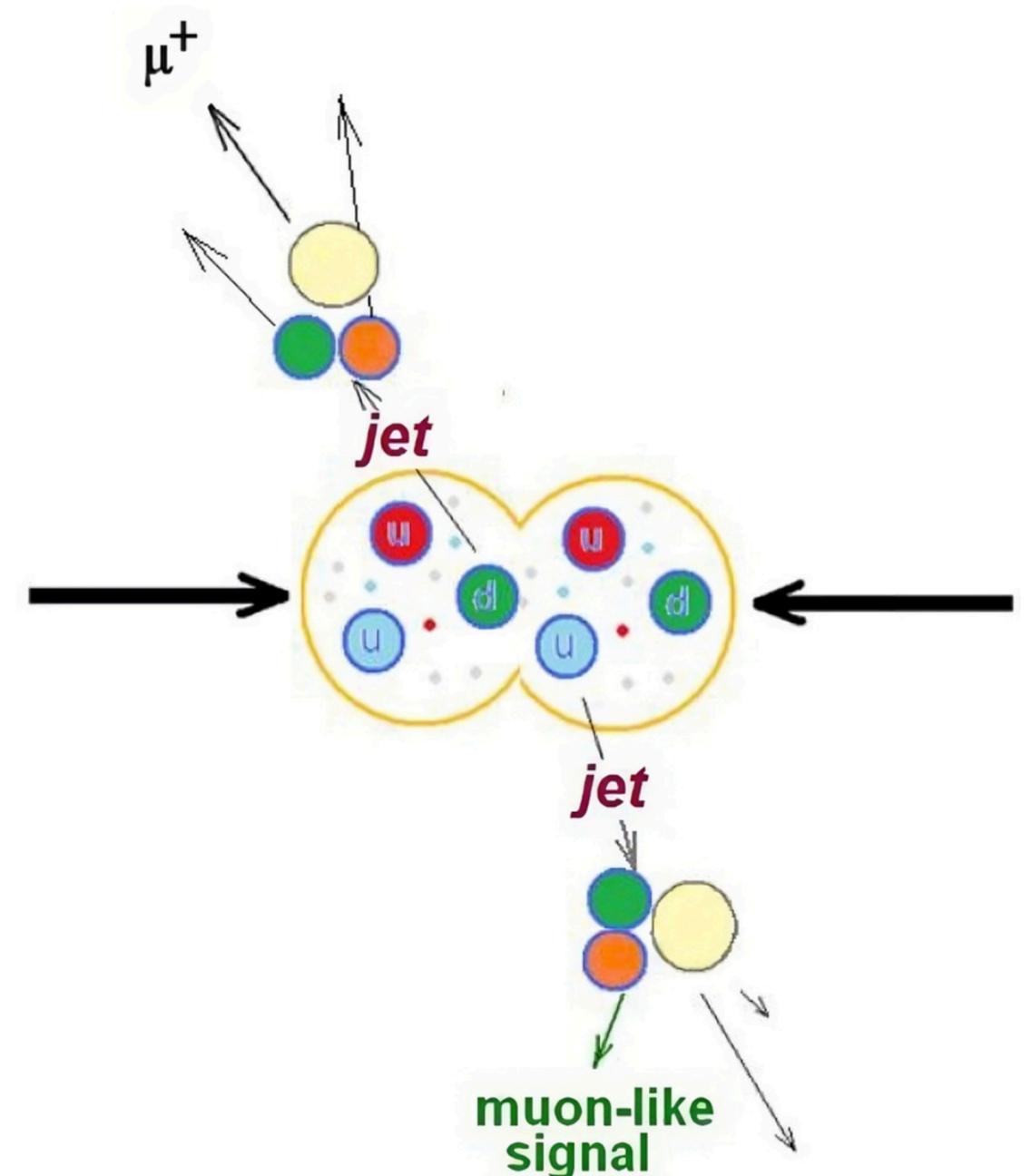
# Le particelle decadono!

- Le collisioni creano nuove particelle, la maggior parte di queste decadono quasi subito.
- Il decadimento produce sempre particelle più leggere.
- Delle leggi di conservazione ci permettono di capire regole e schemi nei decadimenti.
- **Quali sono queste leggi di conservazione??**



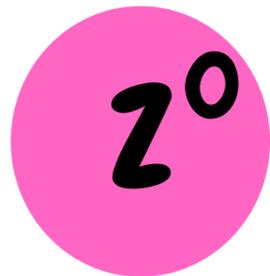
# Gli eventi di background

- Definiamo background tutto ciò che avviene nella collisione ma non ci è direttamente di interesse.
- La fonte maggiore di background ad LHC è data dallo scattering dei quark nelle collisioni dei protoni.
- Visto che i quark non possono esistere da soli, l'energia di legame tra loro li trasforma in dei «getti» (jet) di nuove particelle

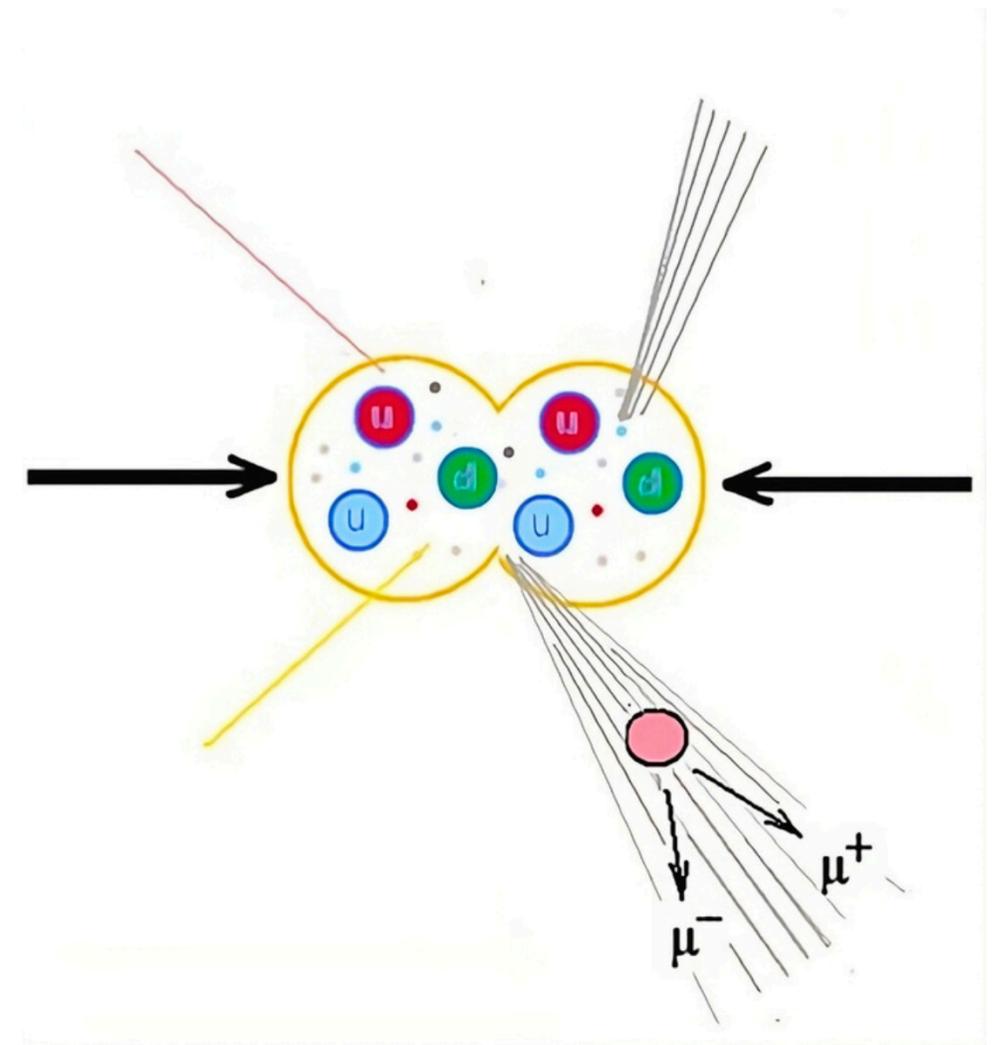


# Quali particelle vogliamo ricostruire oggi?

- I bosoni mediatori della forza debole:

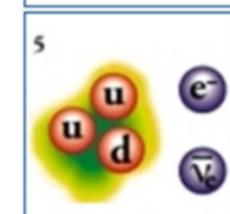
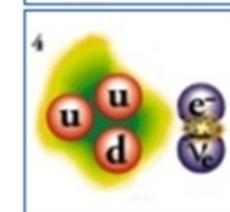
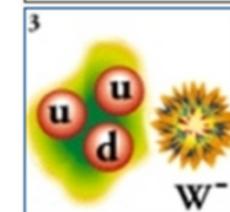
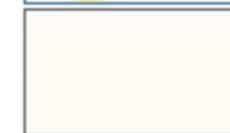
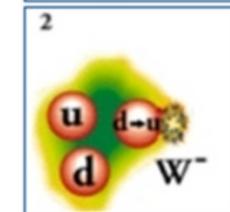
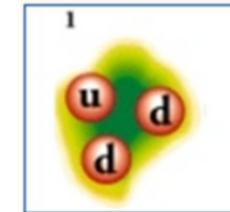


- La forza debole è mediata da particelle molto massive, questo rende la forza a corto raggio ( $\approx$  puntiforme), poi decadono.



# Quali particelle vogliamo ricostruire oggi?

Il bosone  $W$  è responsabile della radioattività e del decadimento del neutrone in protone



**Stato iniziale:** Neutrone, quark di valenza (u d d)

Quark d interagisce con il campo debole emettendo un  $W^-$  e trasformandosi in quark u

Il neutrone è diventato un protone (u u d) e un bosone  $W^-$

Il bosone  $W^-$  decade in elettrone e antineutrino.

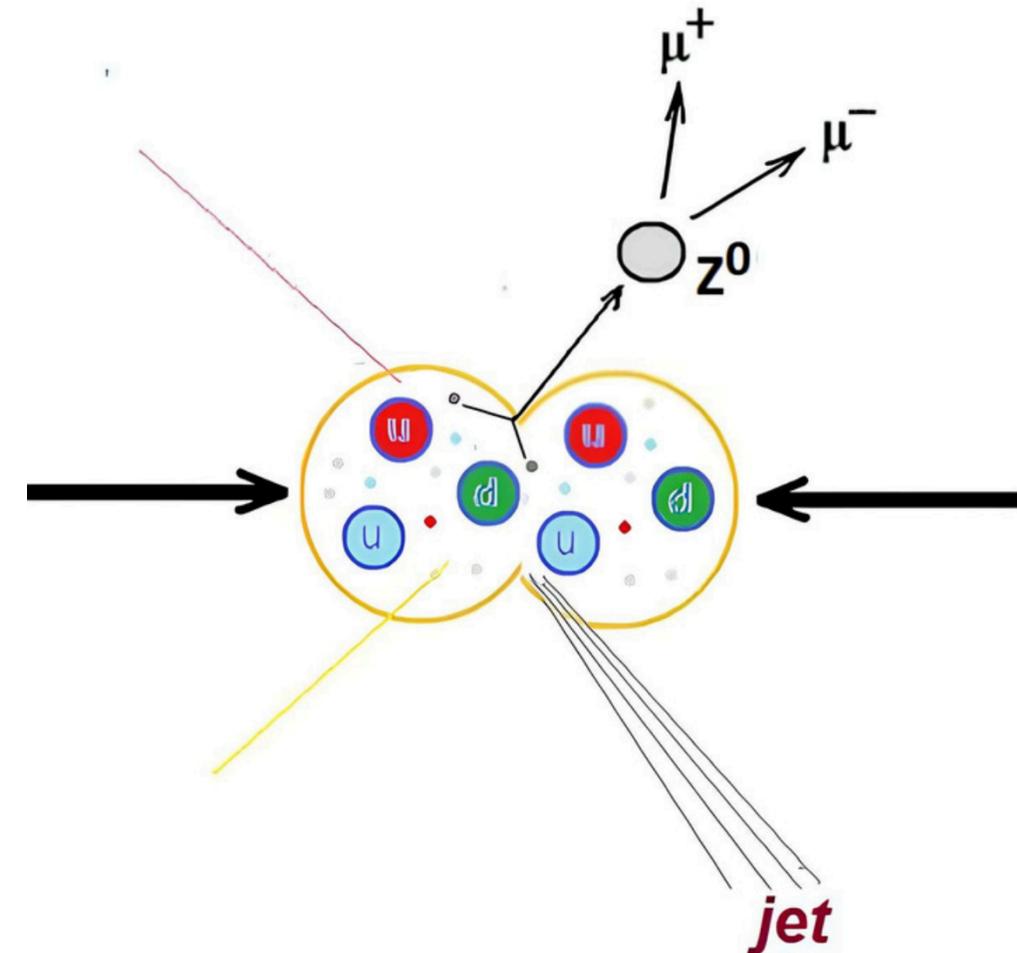
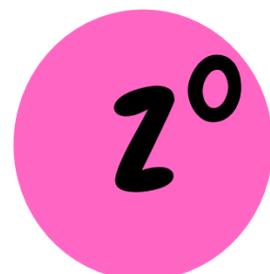
**Stato finale:** Protone, elettrone, antineutrino.

# Quali particelle vogliamo ricostruire oggi?

Il bosone  $W$  è responsabile della radioattività e del decadimento del neutrone in protone



Il bosone  $Z$  è scambiato in maniera simile ma è neutro, quindi non scambia carica elettrica

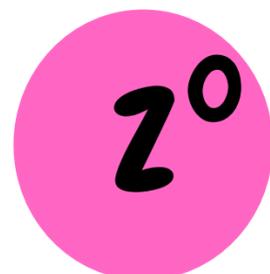
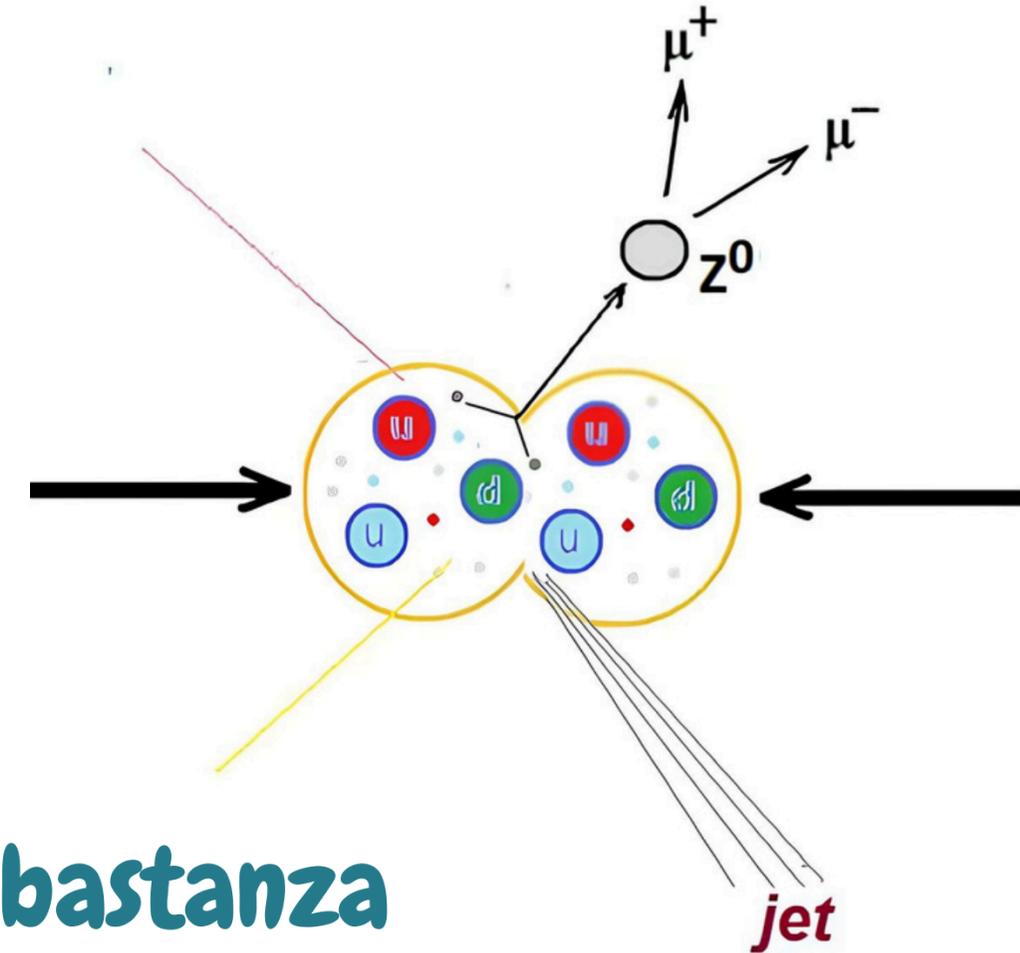


# Quali particelle vogliamo ricostruire oggi?

Il bosone  $W$  è responsabile della radioattività e del decadimento del neutrone in protone



Il bosone  $Z$  è scambiato in maniera simile ma è neutro, quindi non scambia carica elettrica

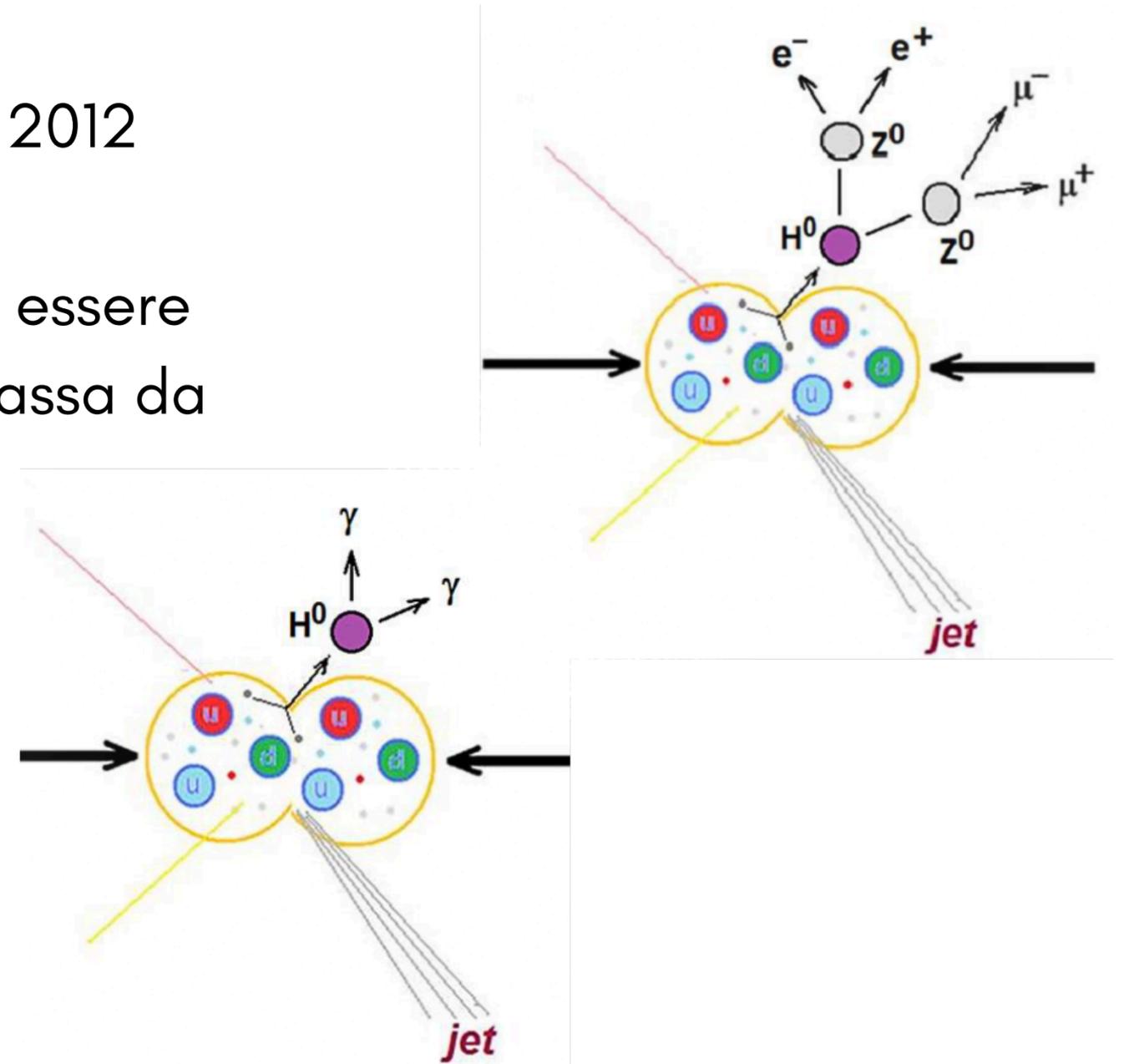
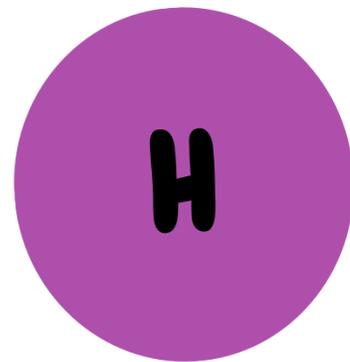


Le collisioni sono abbastanza energetiche (8 TeV) da creare molti bosoni  $W$  e  $Z$  ( $\approx 90$  GeV)

# Quali particelle vogliamo ricostruire oggi?

Il bosone di Higgs è stato scoperto da CMS e Atlas nel 2012

È stato ricercato per così tanto tempo perché si ritiene essere il responsabile del meccanismo di acquisizione della massa da parte di tutte le particelle note.



# Ma tutte queste particelle decadono!

Tutte queste particelle decadono quasi istantaneamente dopo essere state prodotte  
-> non possono essere rivelate nemmeno dal detector più interno di CMS.

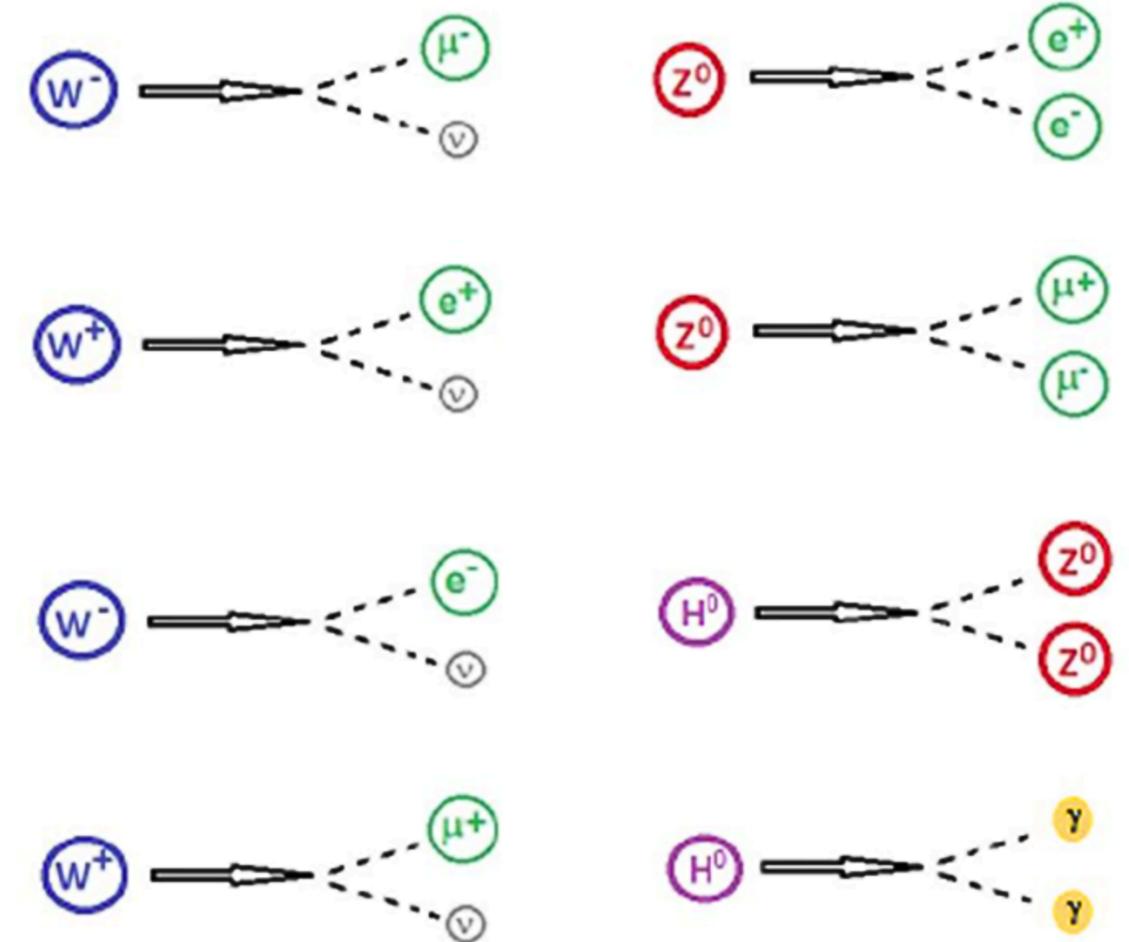
# Ma tutte queste particelle decadono!

Tutte queste particelle decadono quasi istantaneamente dopo essere state prodotte  
-> non possono essere rivelate nemmeno dal detector più interno di CMS.

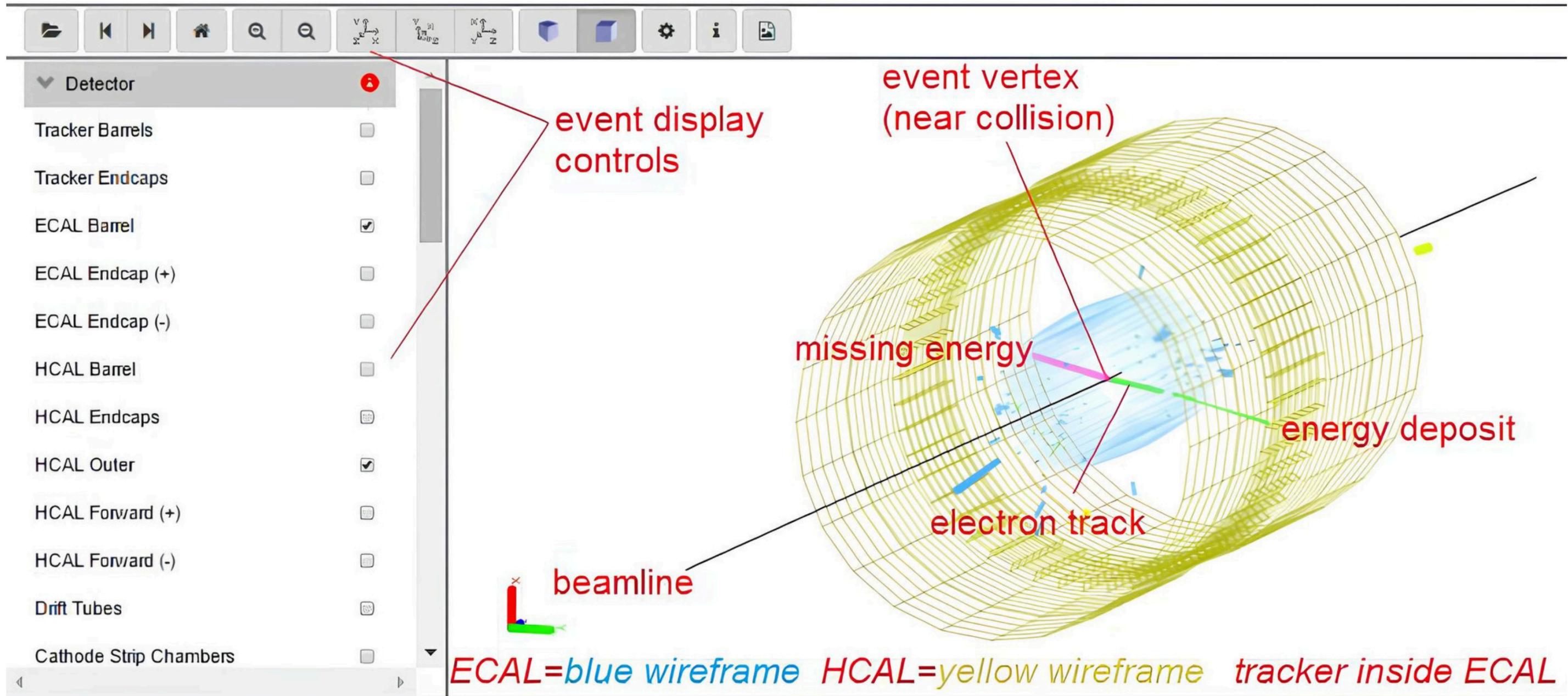
Questi sono solo ALCUNI dei decadimenti possibili per queste particelle.

CMS sa ricostruire con alta efficienza:

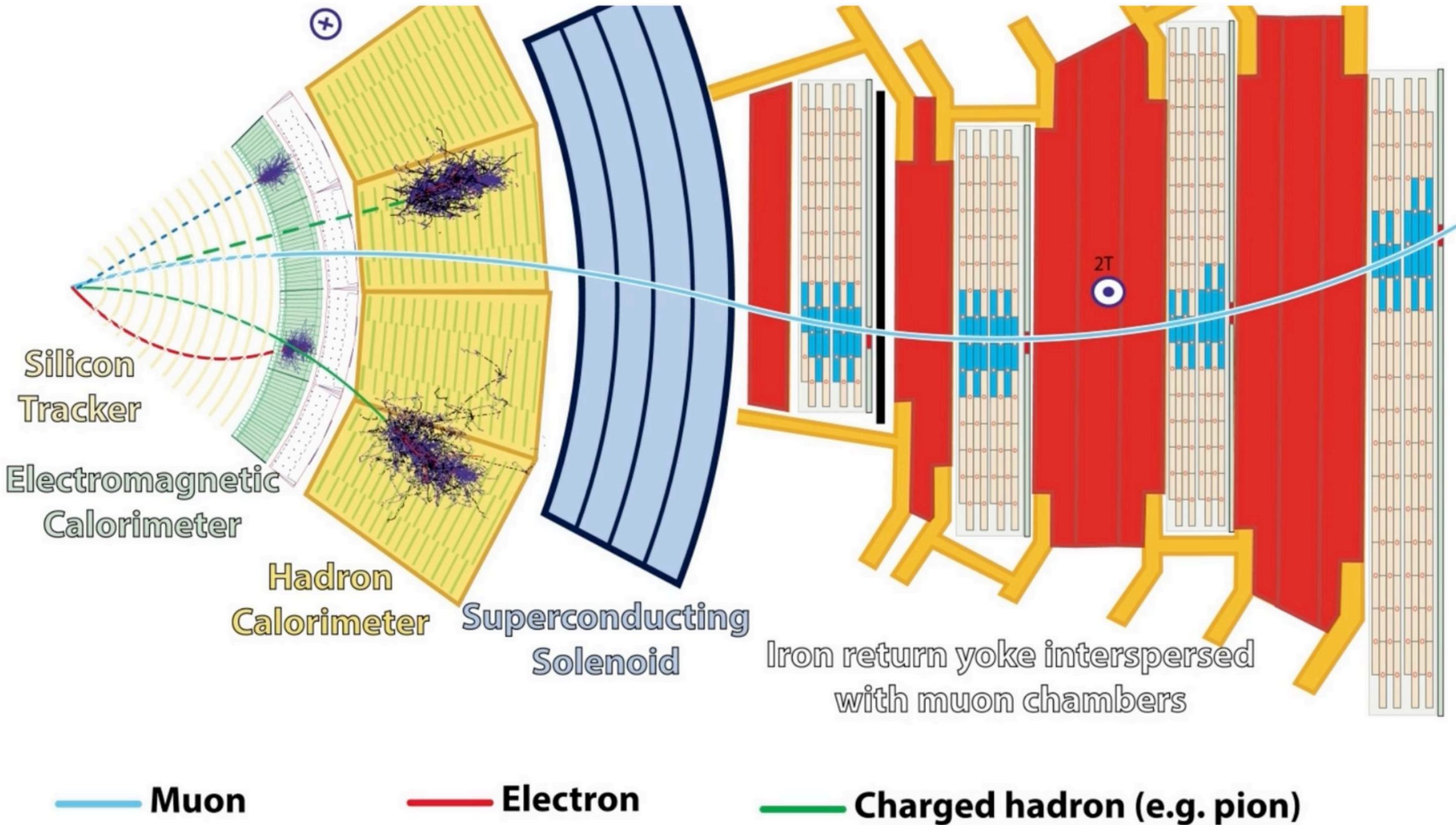
- Elettroni
- Muoni
- Fotoni
- I neutrini sfuggono a tutti i rivelatori -> energia mancante



# Come ricostruiamo le particelle?

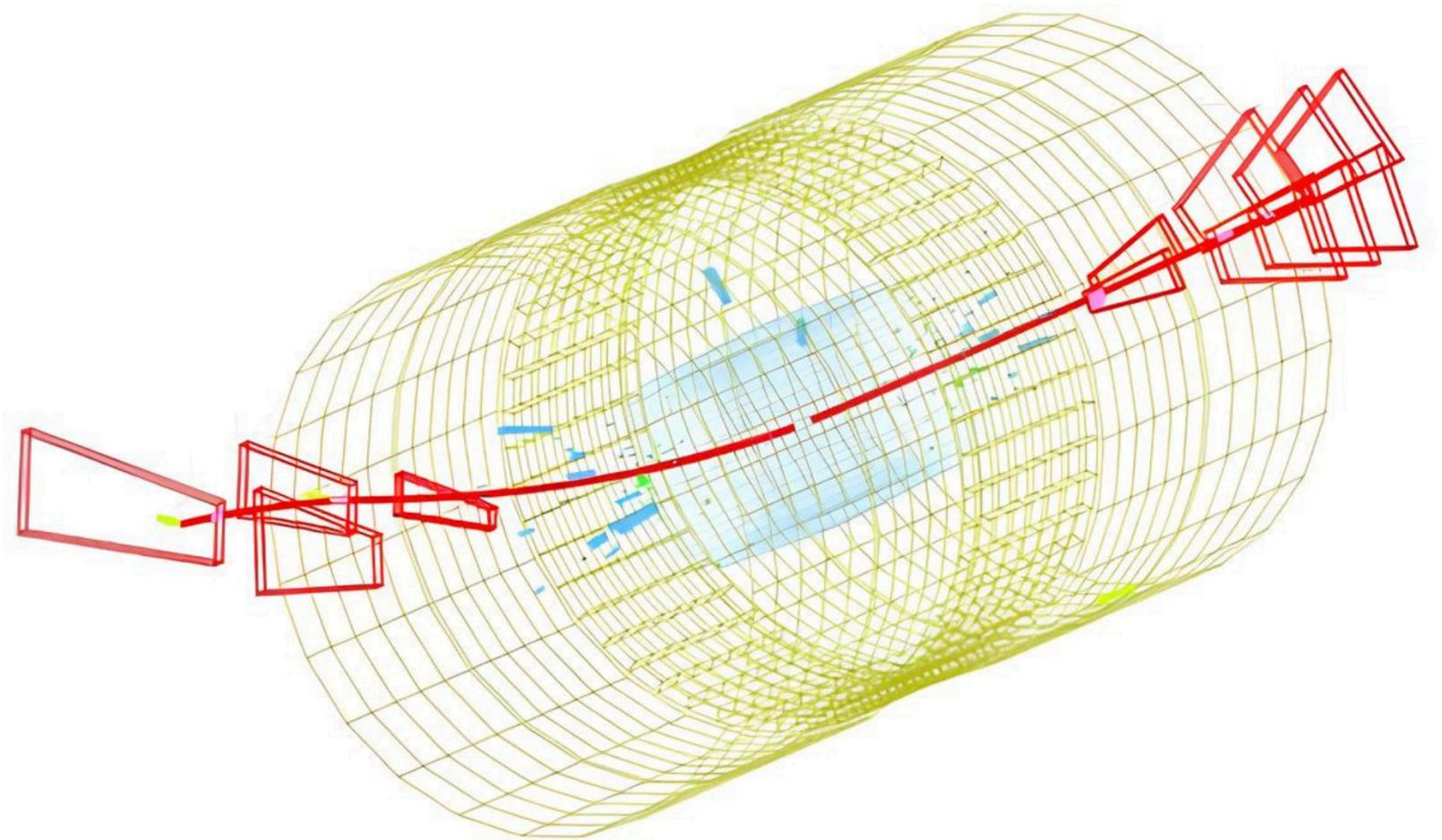
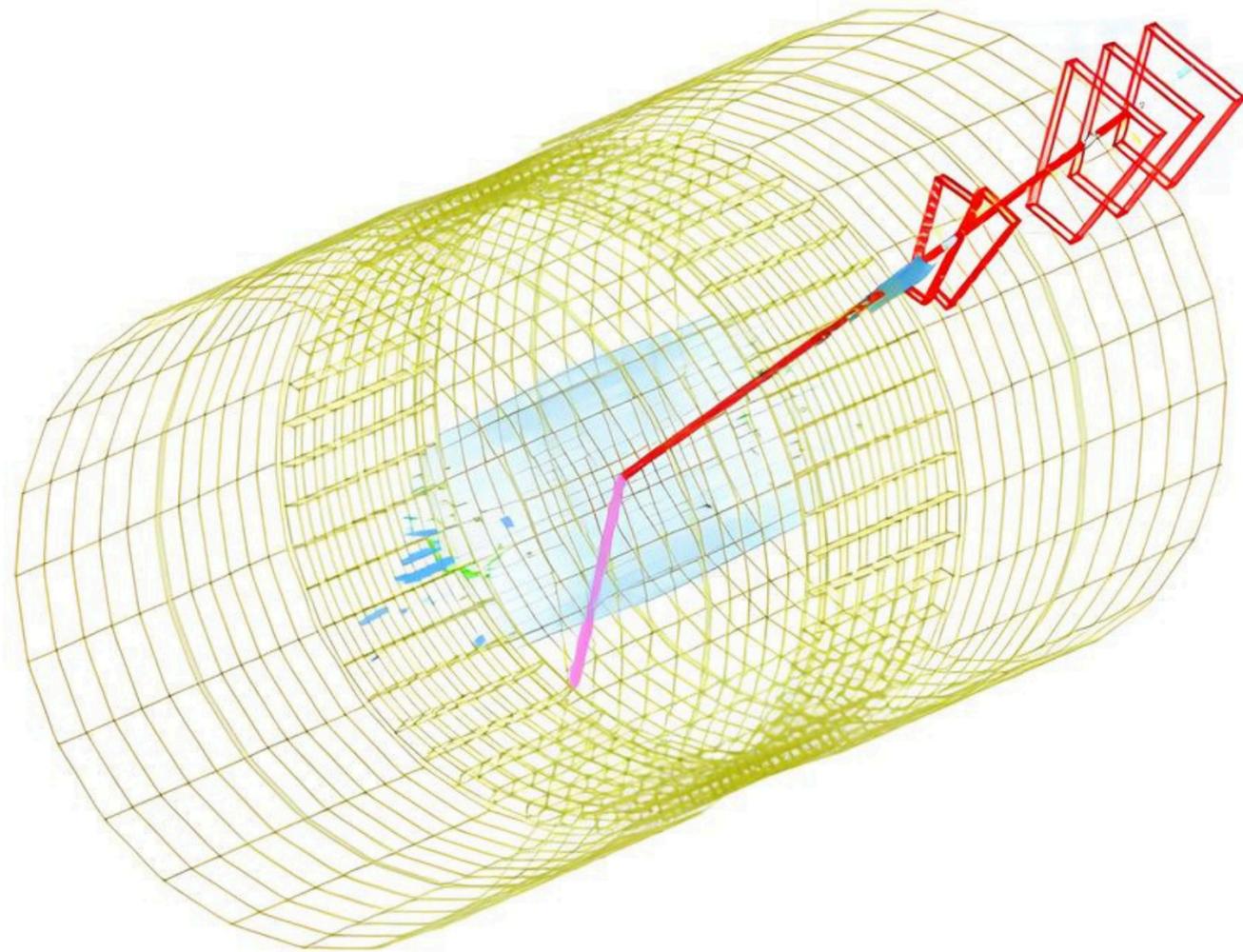


# Come ricostruiamo le particelle?



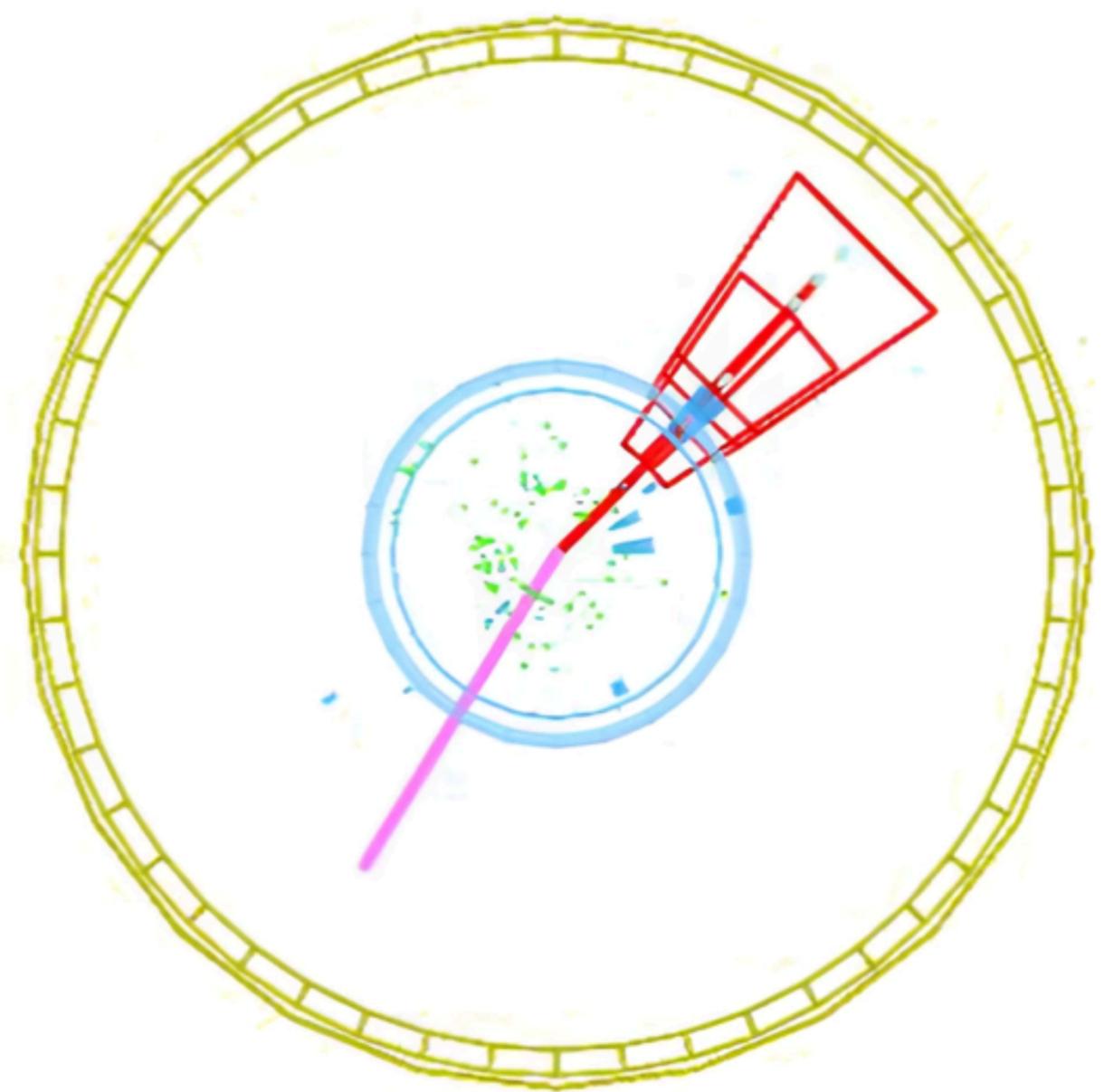
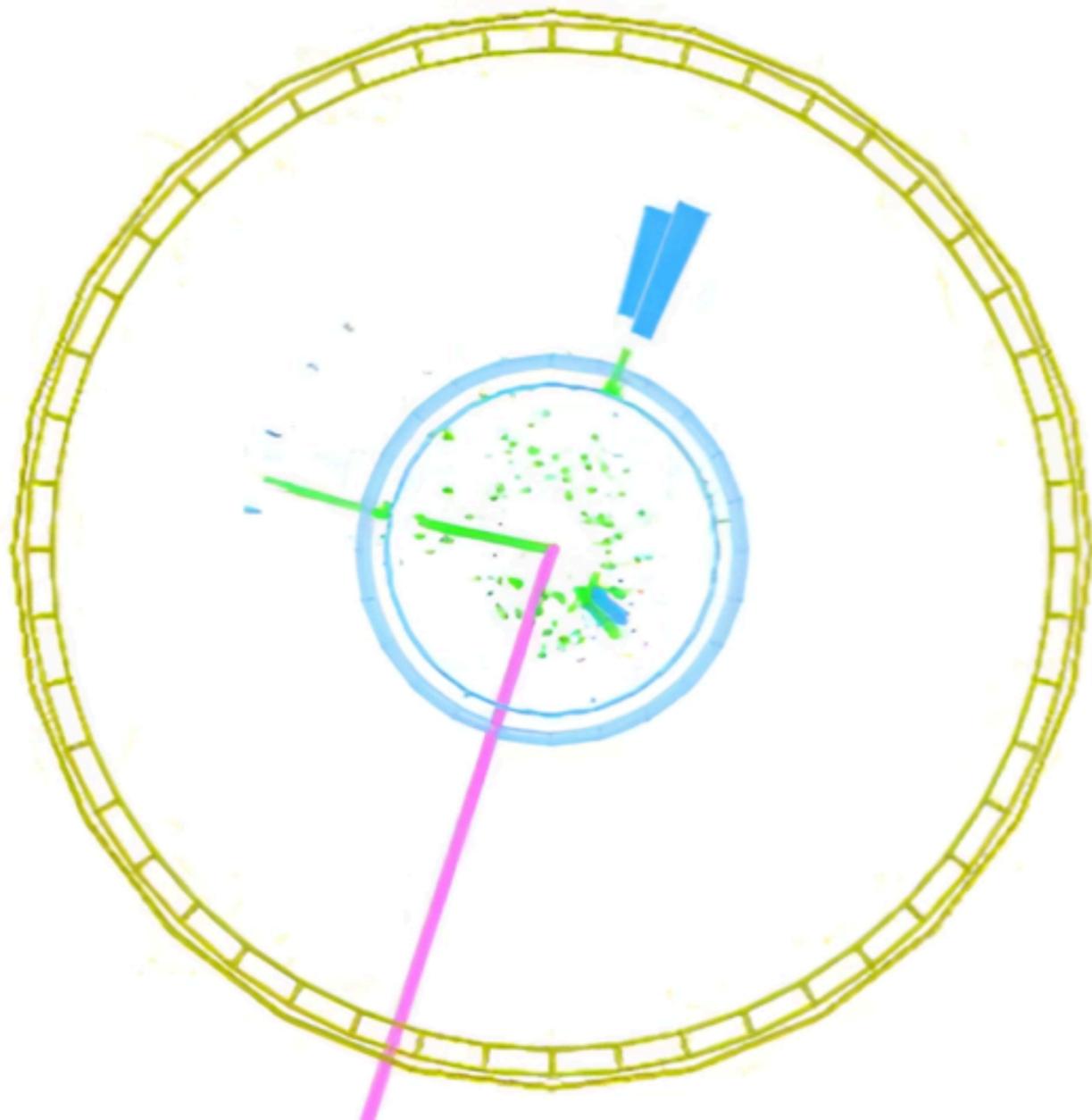
# Come ricostruiamo le particelle?

Sai distinguere un W da uno Z?

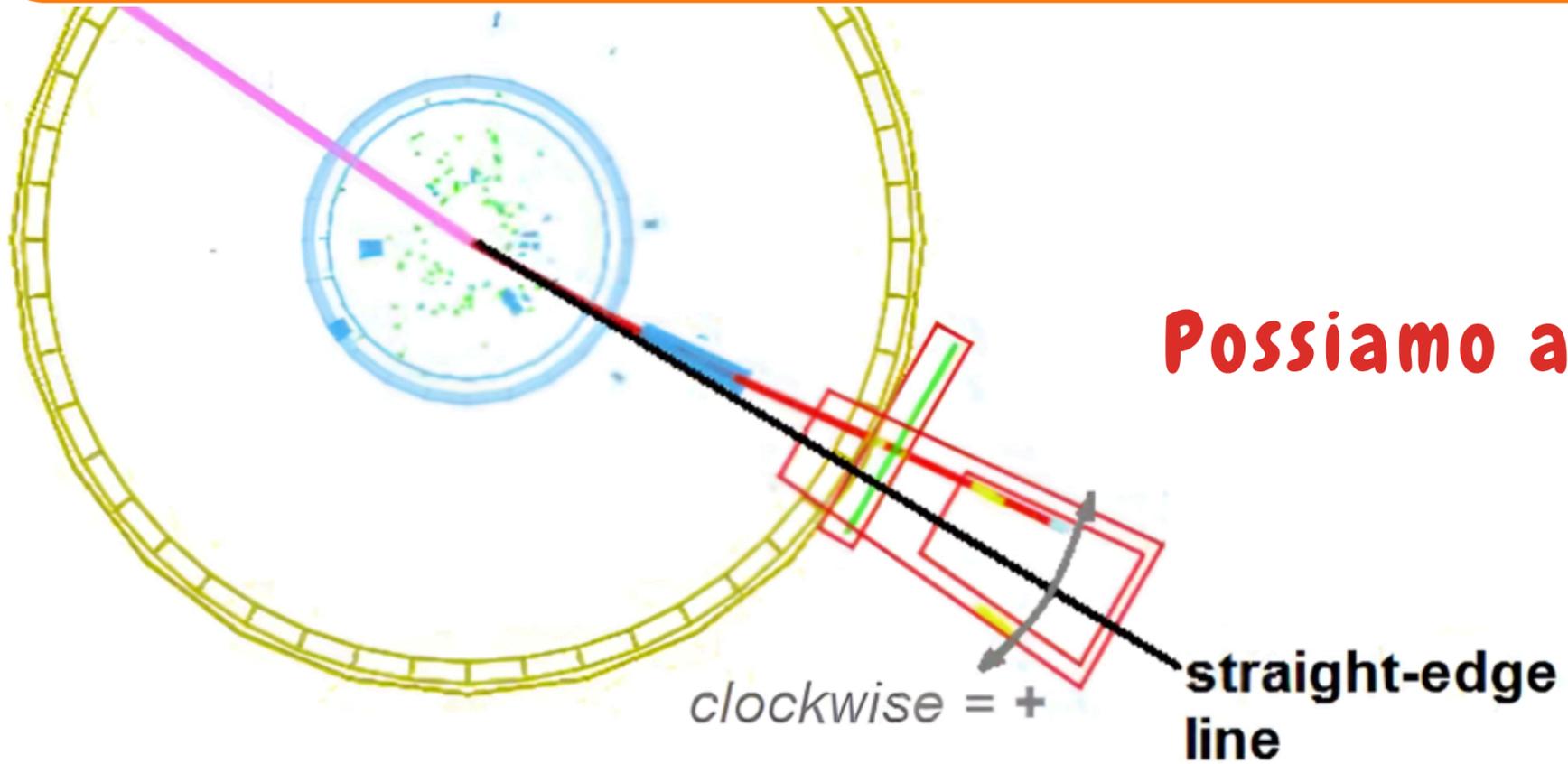


# Come ricostruiamo le particelle?

Possiamo anche calcolare il rapporto  $e/\mu$ !

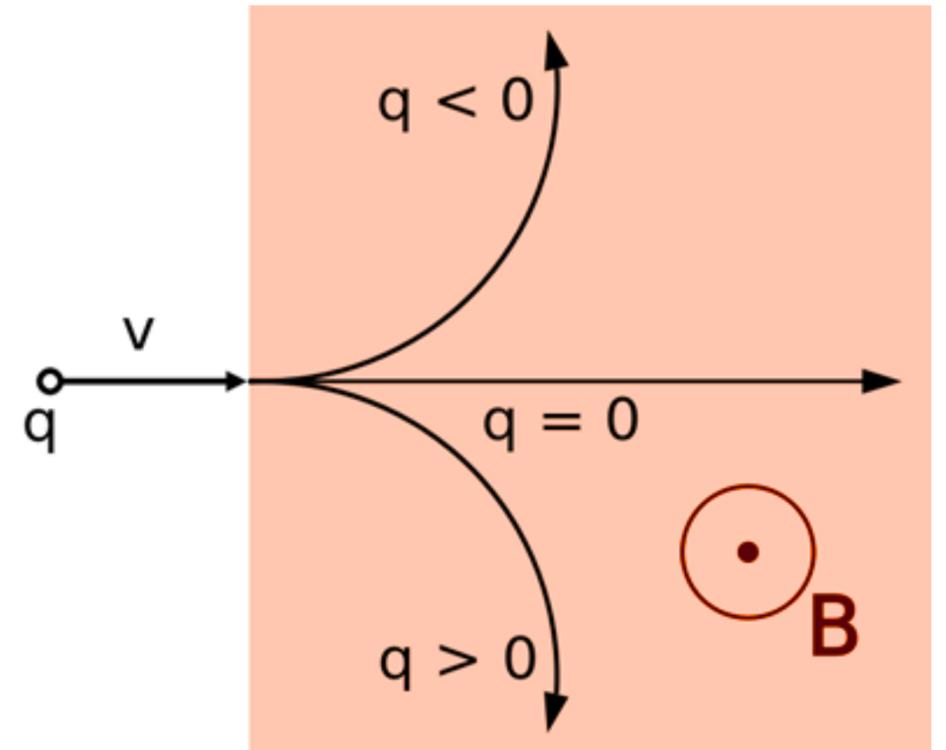


# Come ricostruiamo le particelle?



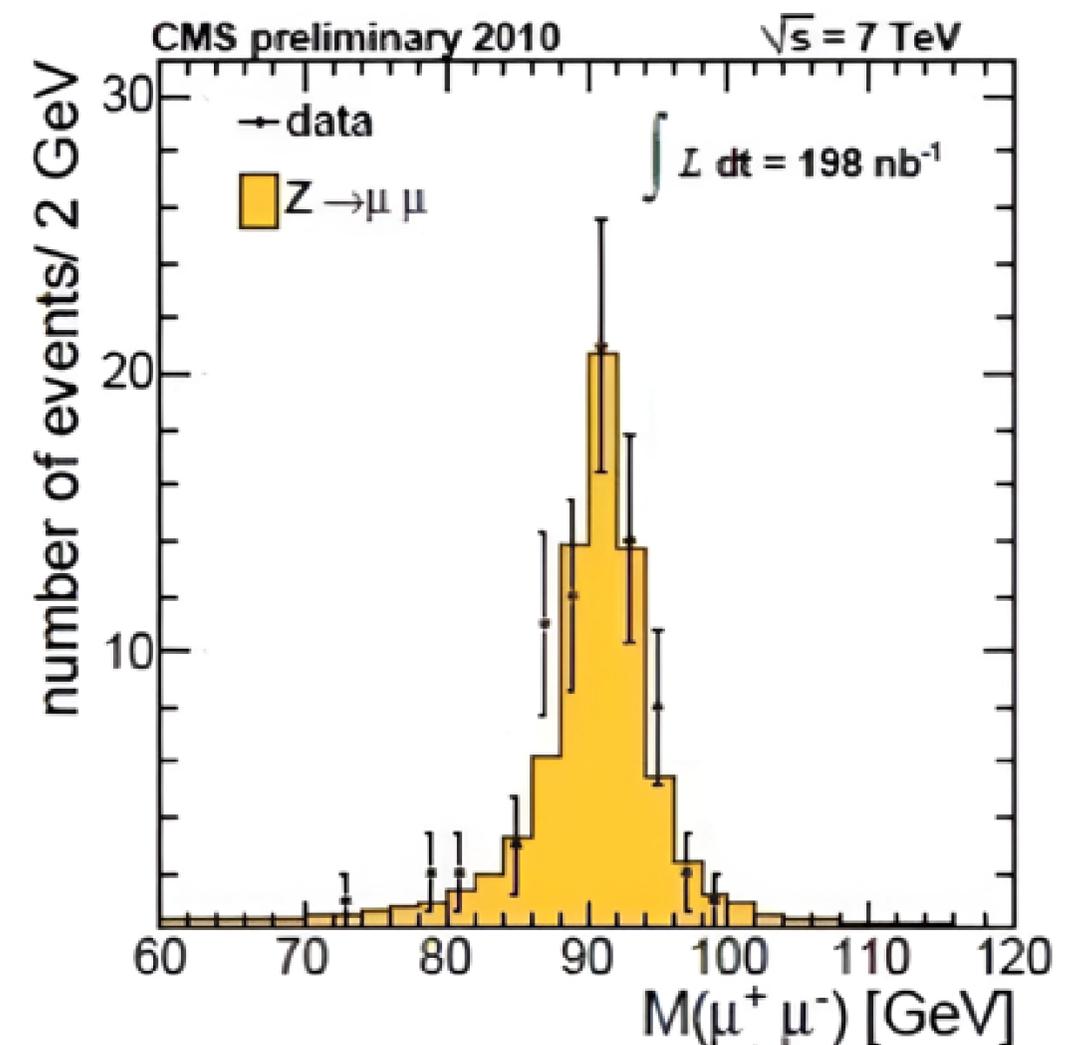
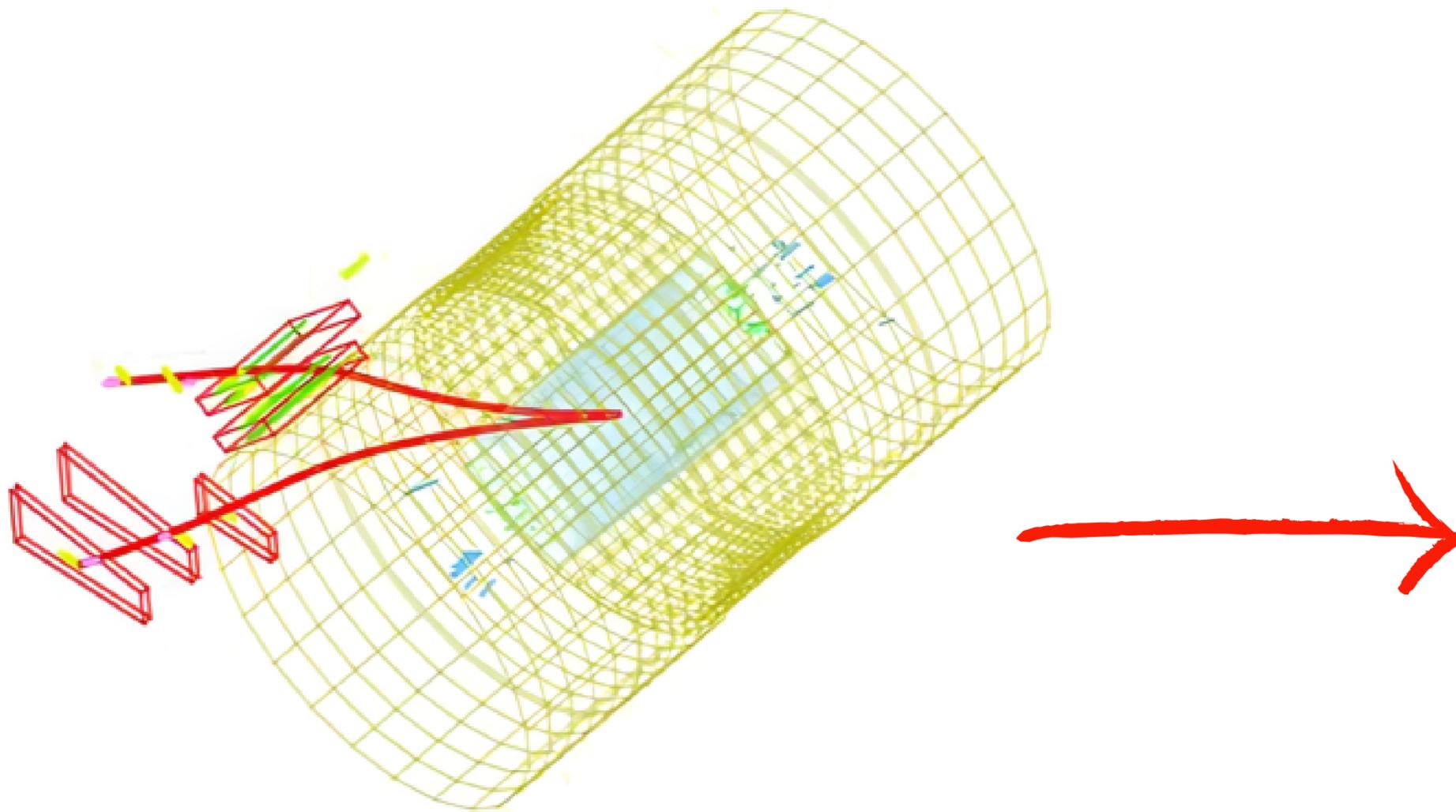
Possiamo anche calcolare il rapporto  $W_+/W_-$

Ricorda che il campo magnetico curva le particelle cariche  $F = qvB$  e segue la regola della mano destra!



# Come ricostruiamo le particelle?

Cosa ci aspettiamo di vedere facendo un plot della massa invariante?



# Come ricostruiamo le particelle?

## Come lo riconosco un bosone di Higgs?

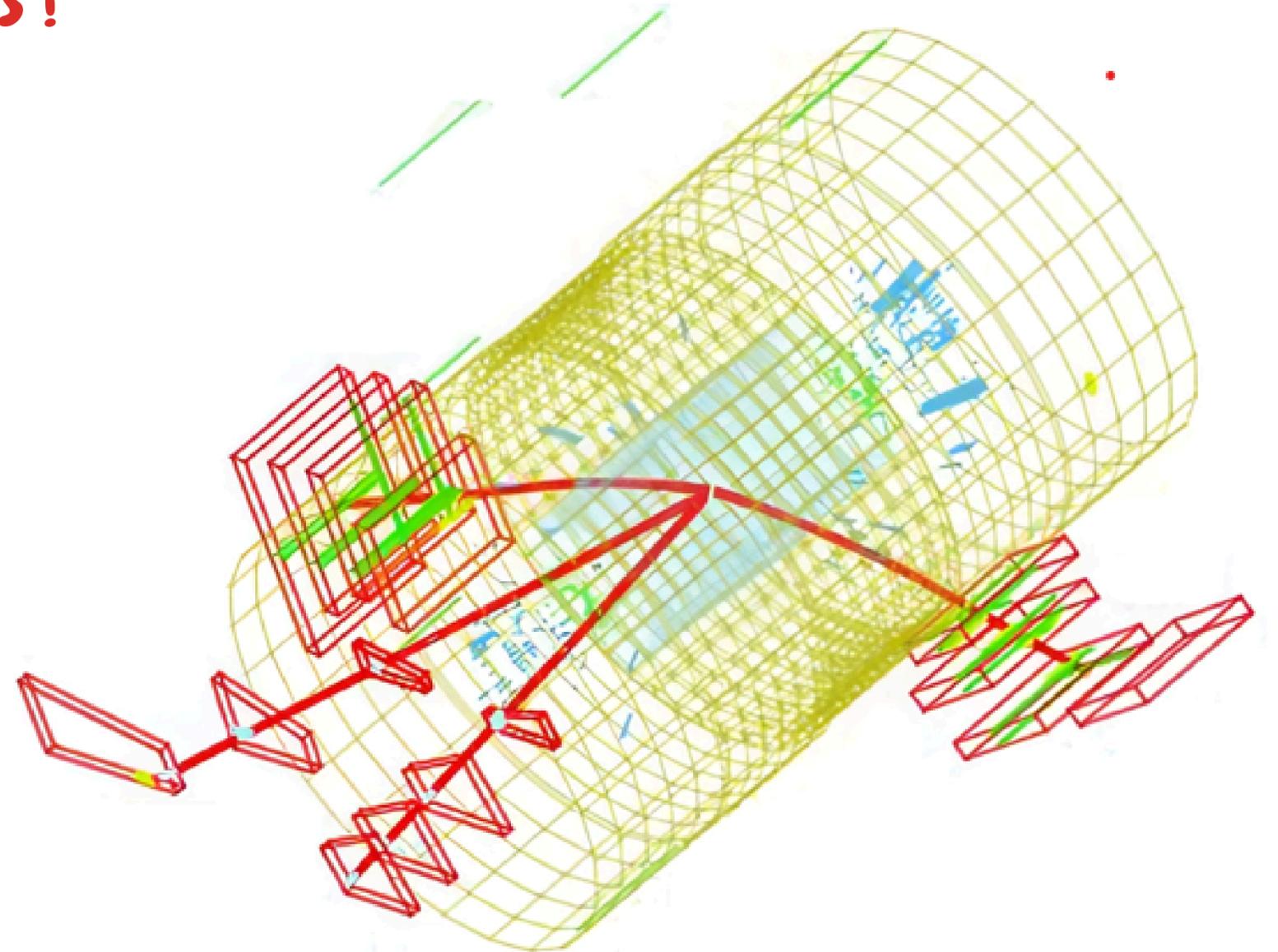
Così ad esempio:

$$H \rightarrow Z Z$$

Dove il bosone Z può decadere in più modi:

$$Z \rightarrow \mu^+ \mu^- \text{ oppure } Z \rightarrow e^+ e^-$$

Riesci a distinguere un elettrone da un muone?



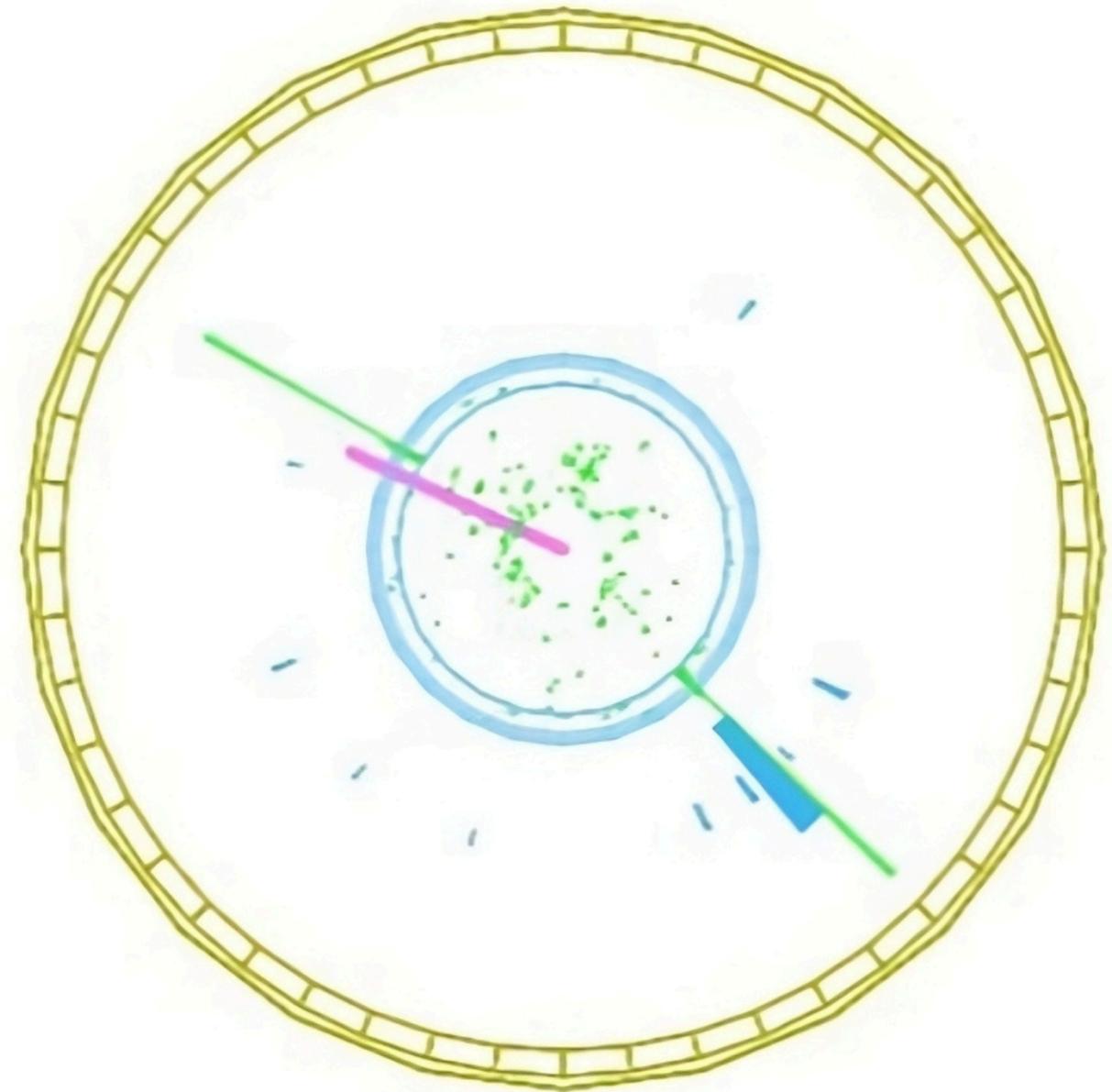
# Come ricostruiamo le particelle?

Come lo riconosco un bosone di Higgs?

Così ad esempio:

$H \rightarrow \gamma\gamma$

Perché i fotoni non rilasciano segnale nel tracciatore?



# Cosa useremo?

## CIMA

CMS Instrument for Masterclass Analysis


Choose your Masterclass	Choose your location	Choose your data file
TestEvents-01Jan2022	Mainz2024	10.1
Santander-13May2024	Aachen2024	10.2
CERN-27Nov2023	Perugia2024	10.3
Salo-07Dec2023	Paliaseau2024-A	10.4
Sofia-13Dec2023	Split2024-A	10.5
CERN-LAMAP-08Dec2023		10.6
MP-15Jan2024		10.7
Cakovec-24Jan2024		10.8
Bristol-27Mar2024		10.9
CERN-09Feb2024		100.16
Sandbox-31Dec2023		100.17
CERN-20Feb2024		100.18
CERN-26Feb2024		100.19
CERN-29Feb2024		100.21
CERN-22Feb2024		100.22
CERN-01Mar2024		100.23
CERN-04Mar2024		100.24
CERN-06Mar2024		100.25
CERN-08Mar2024		100.26
CERN-11Mar2024		100.27
CERN-13Mar2024		100.28
CERN-19Mar2024		100.29
CERN-22Mar2024		100.31
CERN-27Mar2024		100.32
FNAL-01Mar2024		100.33
FNAL-08Mar2024		100.34
FNAL-09Mar2024		100.35
FNAL-13Mar2024		100.36
FNAL-14Mar2024		100.37
FNAL-15Mar2024		100.38
FNAL-16Mar2024		100.39


# Cosa useremo?

The screenshot shows the CIMA CMS Instrument for Masterclass Analysis interface. It features three main selection columns: 'Choose your Masterclass', 'Choose your location', and 'Choose your data file'. The 'Choose your Masterclass' column lists various events, with 'CERN-29Feb2024' highlighted. The 'Choose your location' column lists 'Mainz2024', 'Aachen2024', 'Perugia2024' (highlighted), 'Paliaseau2024-A', and 'Split2024-A'. The 'Choose your data file' column lists file numbers from 10.1 to 100.35. On the left, there are logos for RWTH Aachen University, University of Notre Dame, CERN, and QuarkNet. On the right, there are logos for CMS, Netzwerk Teilchenwelt, International Masterclasses, and IPEG.



Dovremo selezionare il nostro dataset e inserire ciò che abbiamo trovato in un'interfaccia



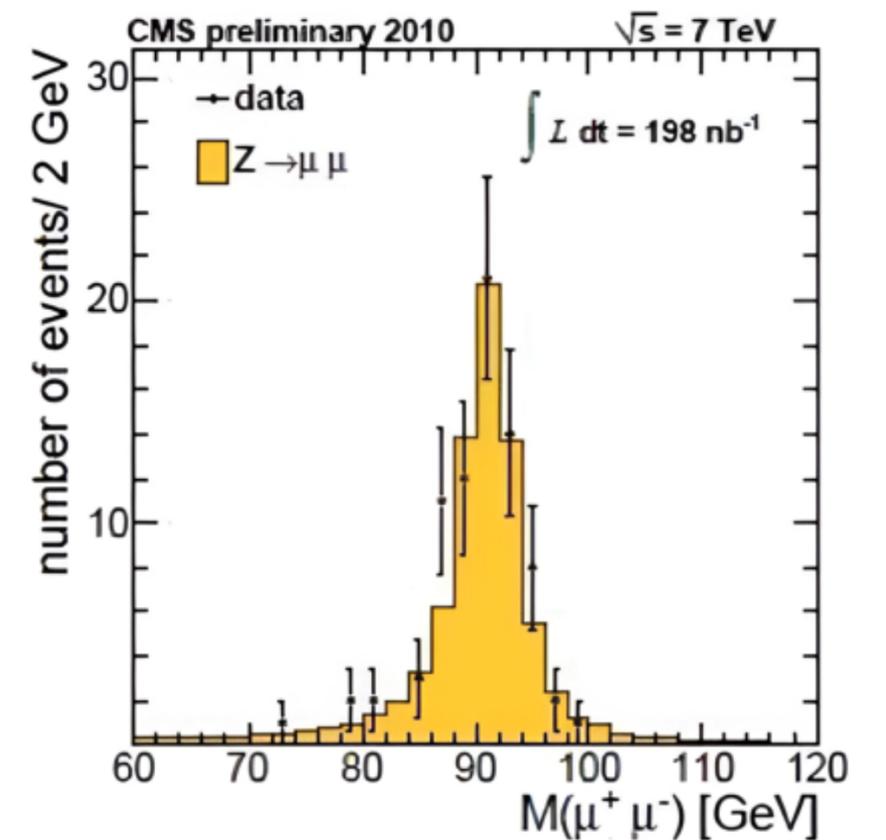
The screenshot shows the event display interface. At the top, there are navigation links: 'Back', 'Events Table (Group 100.65)', 'Mass Histogram (Perugia2023A)', and 'Results (Perugia2023A)'. Below this, the selected event information is displayed: 'Masterclass: CERN-03Mar2023', 'Location: Perugia2023A', and 'Group: 100.65'. The interface is divided into several sections: 'Select Event' with a dropdown menu showing 'Event index: 1' and 'Event number: 100.65-1'; 'Final State' with radio buttons for  $e^+e^-$ ,  $e^+e^+$ ,  $e^-e^-$ ,  $4e$ , and  $2e2\mu$ ; 'Primary State' with radio buttons for  $e^+e^-$ ,  $e^+e^+$ ,  $e^-e^-$ , and  $4e$ ; 'Charged Particle' with radio buttons for  $W^+$ ,  $W^-$ , and  $W^0$ ; 'Neutral Particle (Z, H)' with a radio button for  $Z$ ; and 'Enter Mass' with a radio button for 'GeV/c<sup>2</sup>' and a 'Next' button. Below these sections is a table with columns for 'Event index', 'Event number', 'Final state', 'Primary state', and 'Mass'.

# Cosa useremo?

## Mass Histogram and Results pages



Quello che vogliamo ottenere è un istogramma che assomigli il più possibile a questo





E ora buon  
divertimento!