



CMS WZH Masterclass

Guida agli esercizi

V. Mariani (vmariani@cern.ch)

A.Rossi (alessandro.rossi@cern.ch)

A.Piccinelli (andrea.piccinelli@cern.ch)

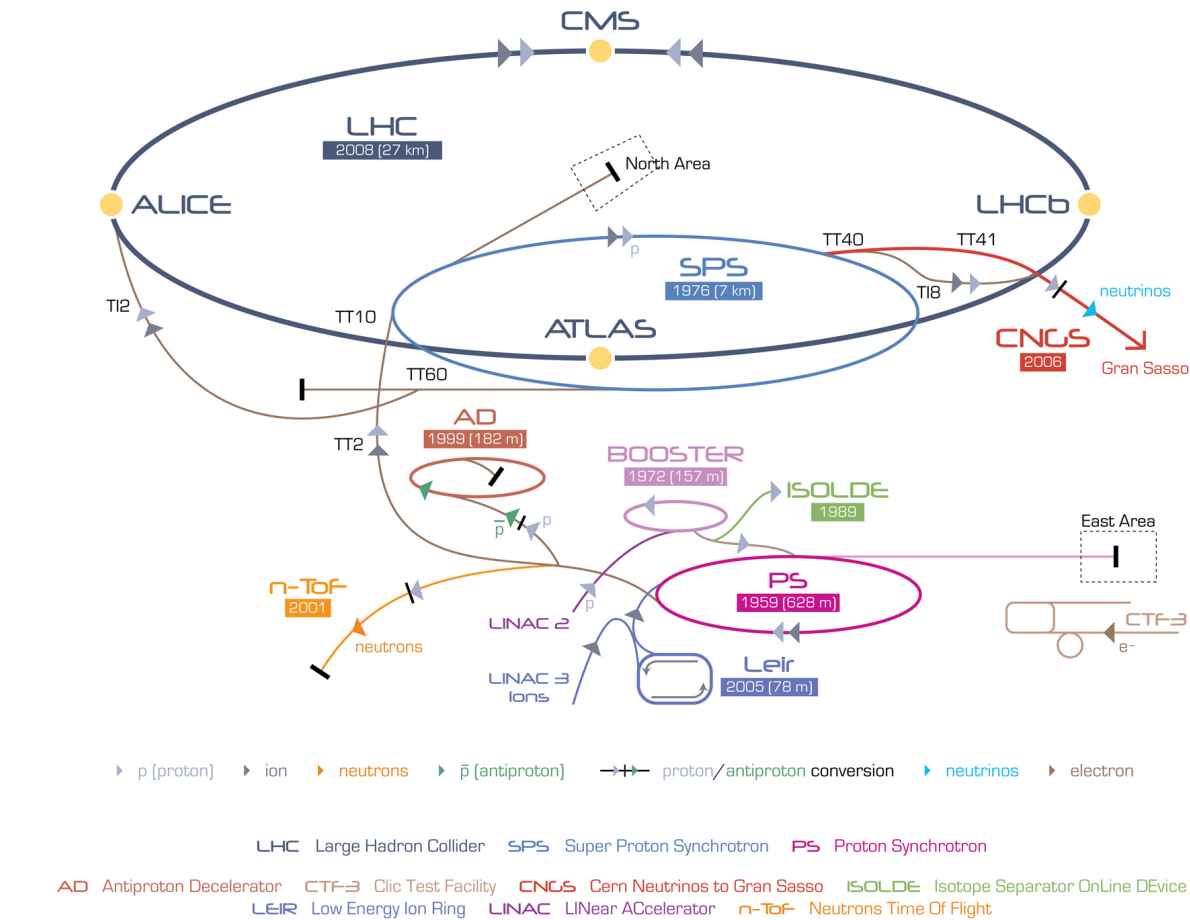
M.Magherini (matteo.magherini@cern.ch)

T.Tedeschi (tommaso.tedeschi@cern.ch)

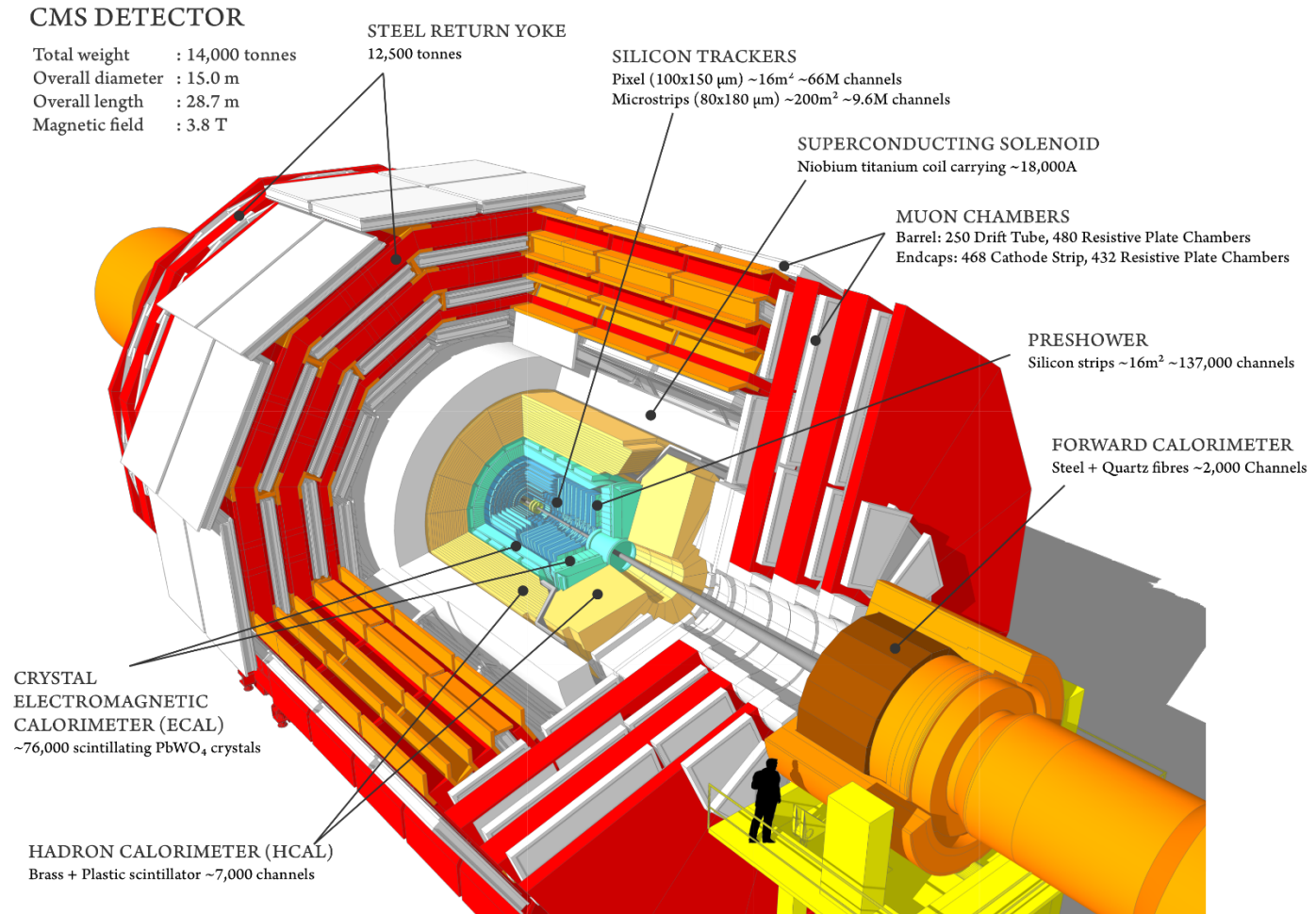
Large Hadron Collider

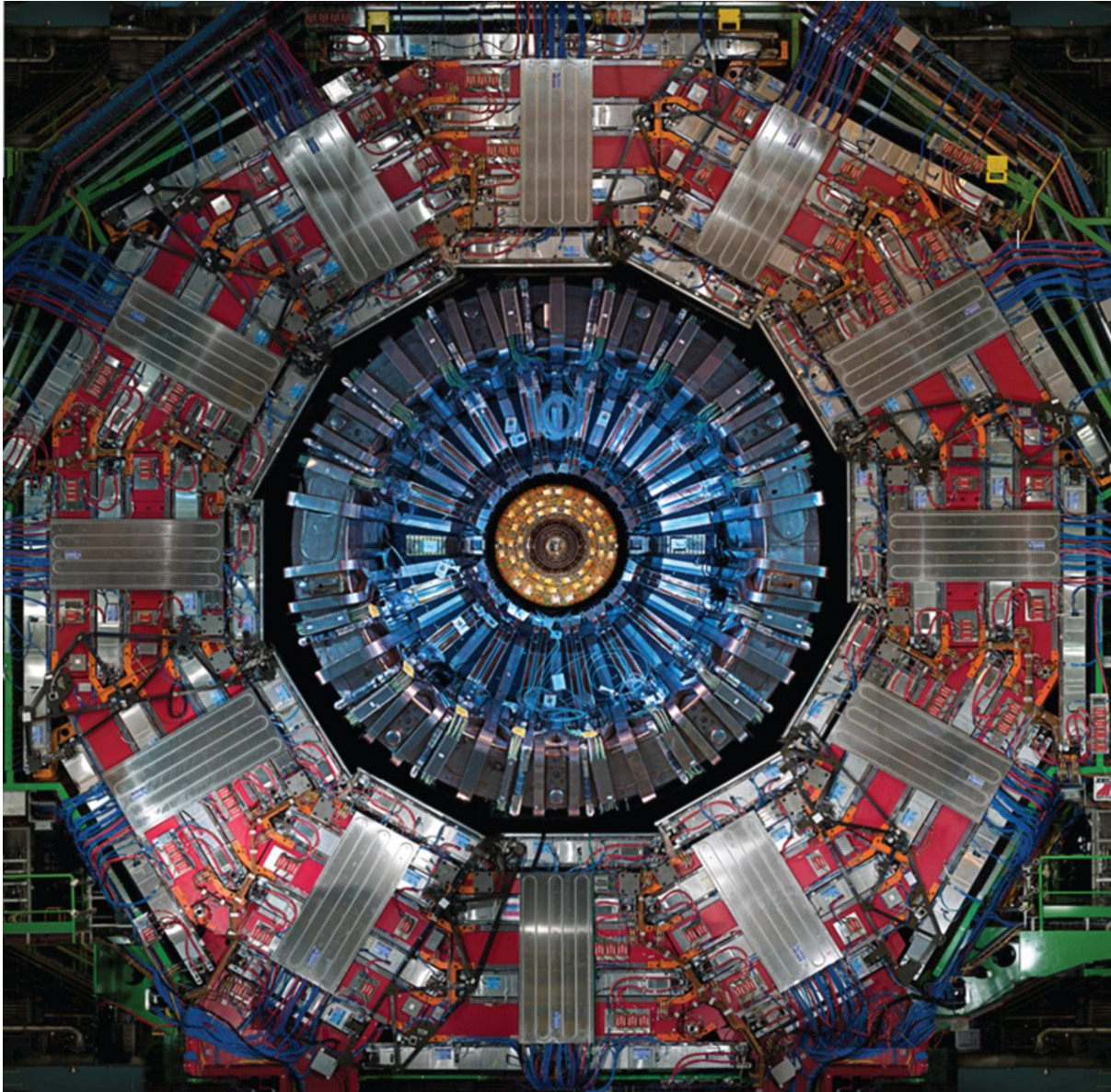


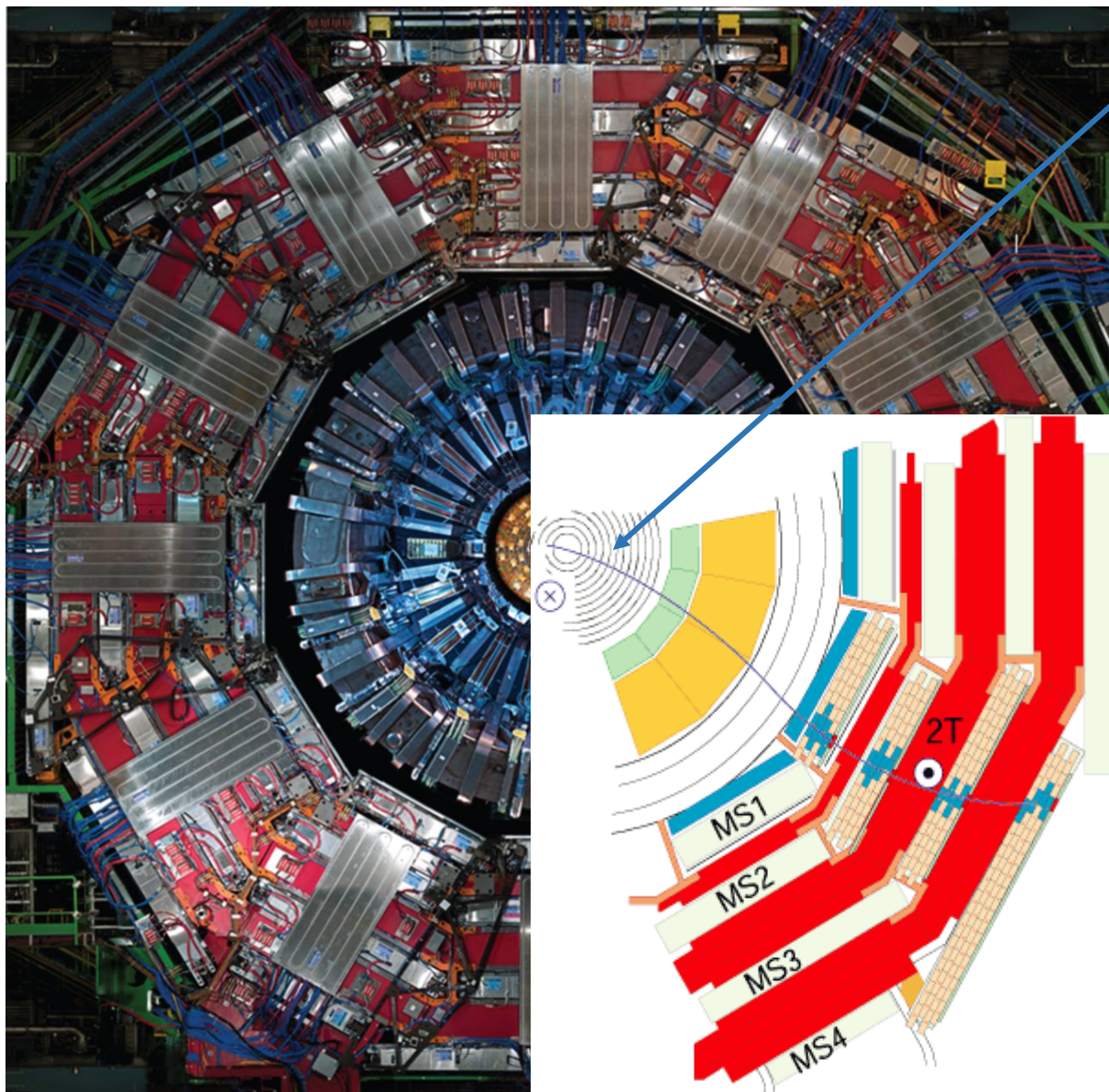
Large Hadron Collider



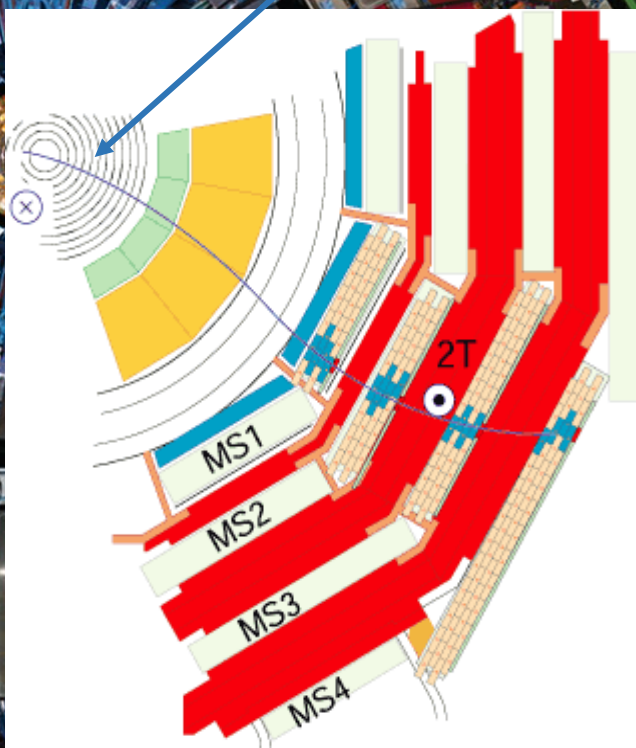
Compact Muon Solenoid

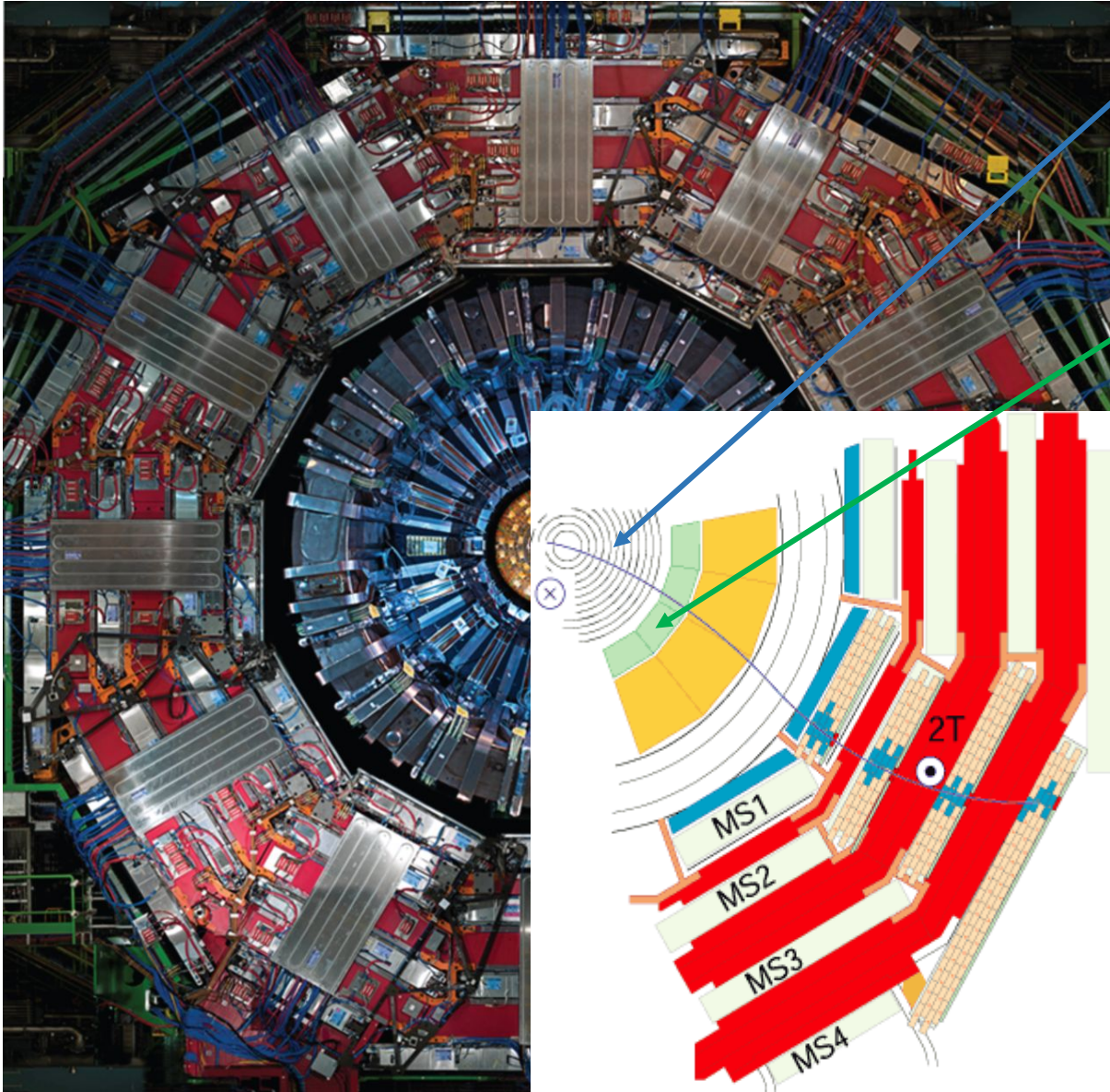






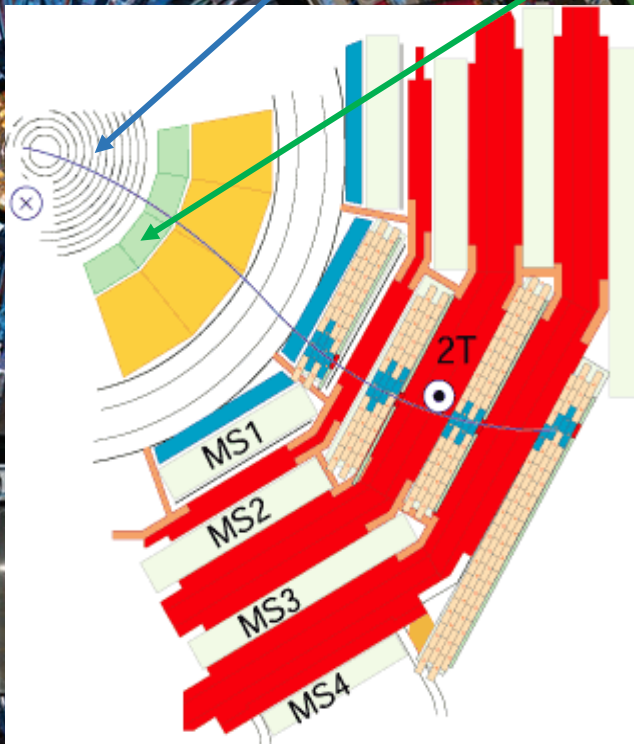
Tracciatore: serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.

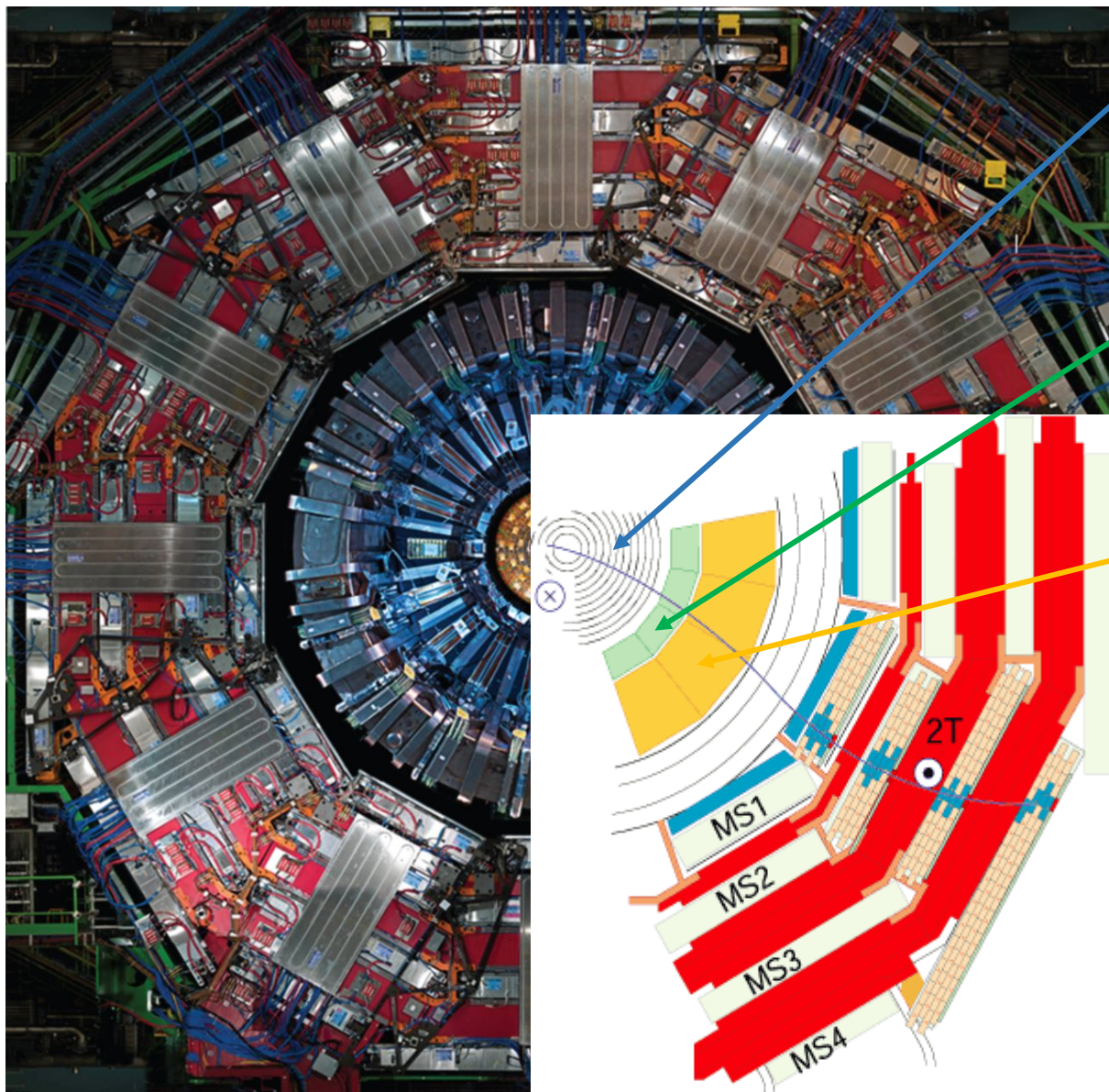




Tracciatore: serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.

Calorimetro elettromagnetico: serve a misurare l'energia di elettroni e fotoni. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

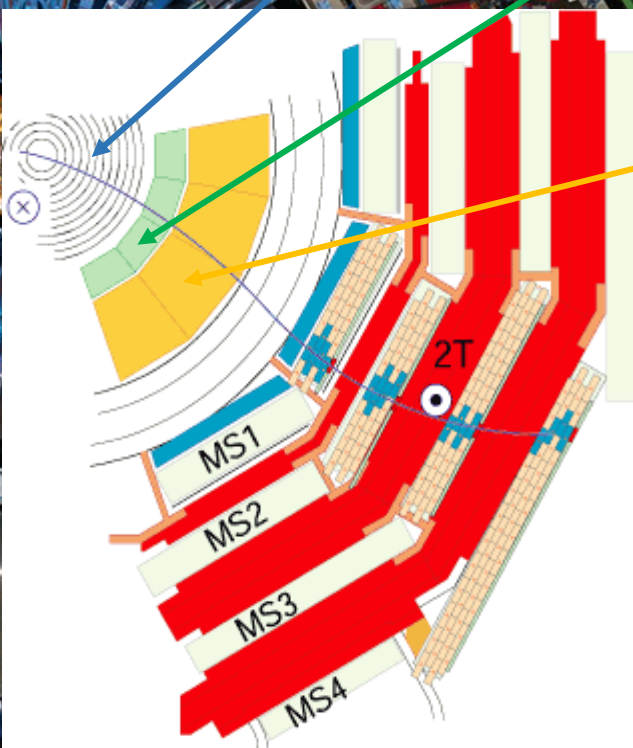


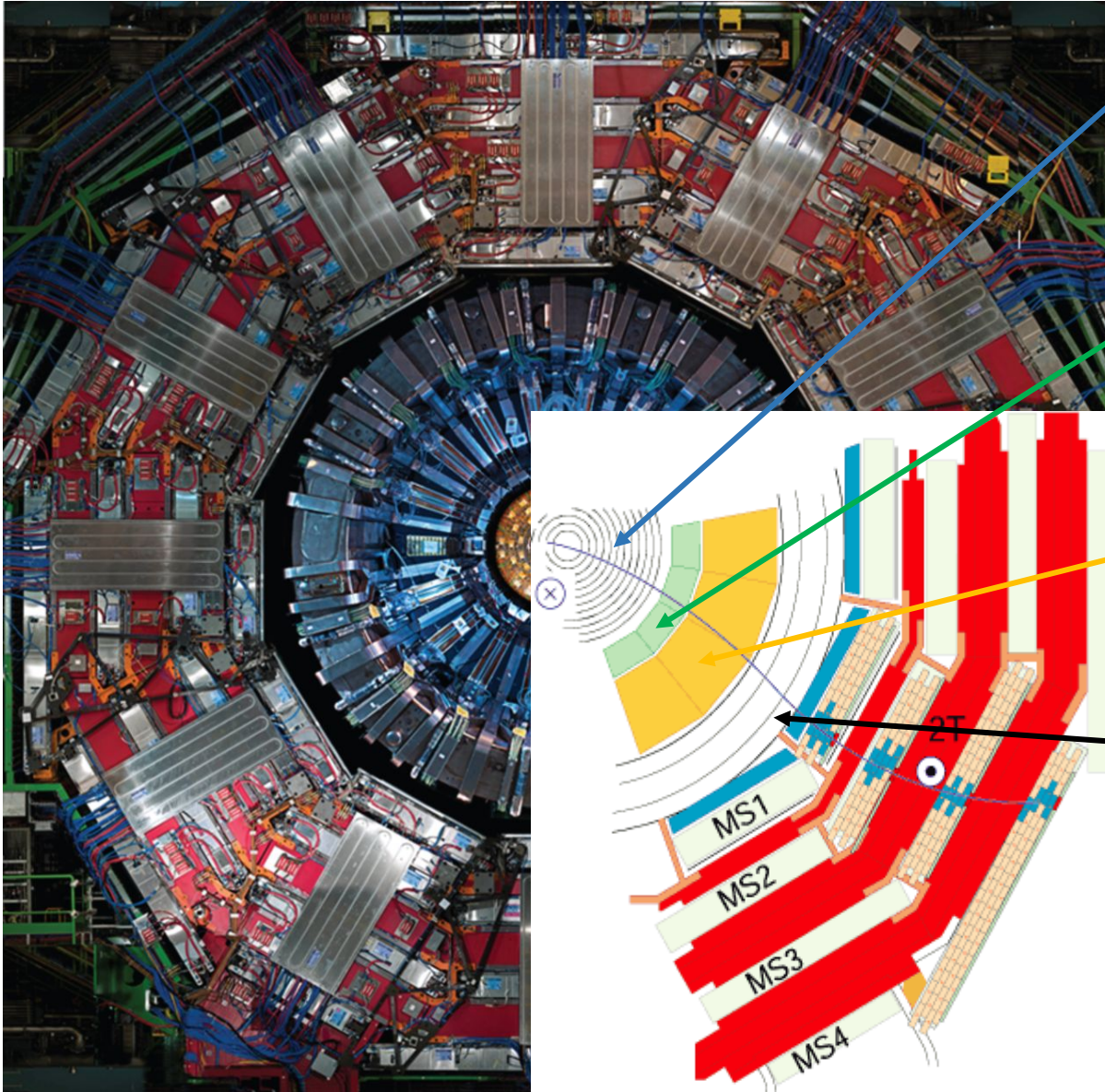


Tracciatore: serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.

Calorimetro elettromagnetico: serve a misurare l'energia di elettroni e fotoni. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

Calorimetro adronico: serve a misurare l'energia degli adroni, sia carichi che neutri. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)



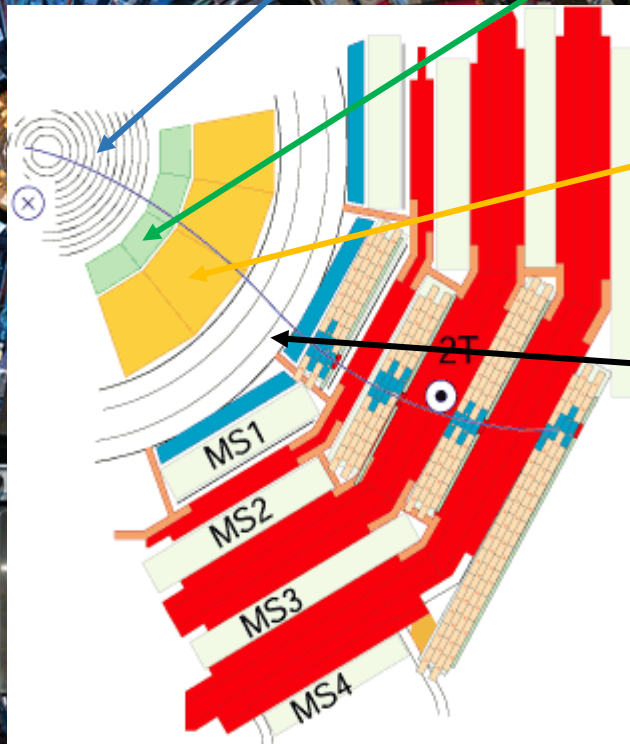


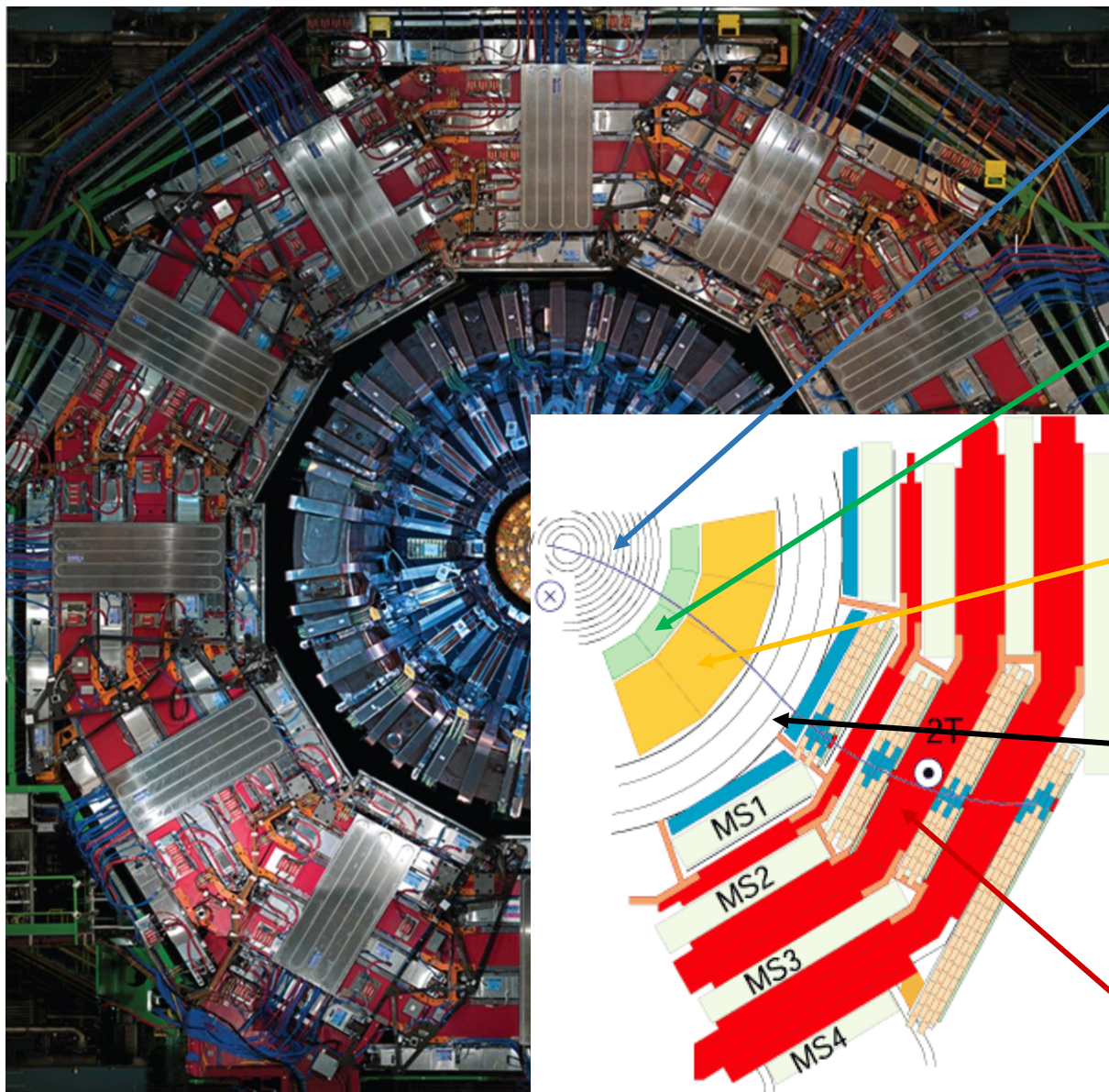
Tracciatore: serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.

Calorimetro elettromagnetico: serve a misurare l'energia di elettroni e fotoni. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

Calorimetro adronico: serve a misurare l'energia degli adroni, sia carichi che neutri. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

Solenoid: genera un campo magnetico che serve a curvare le particelle cariche.





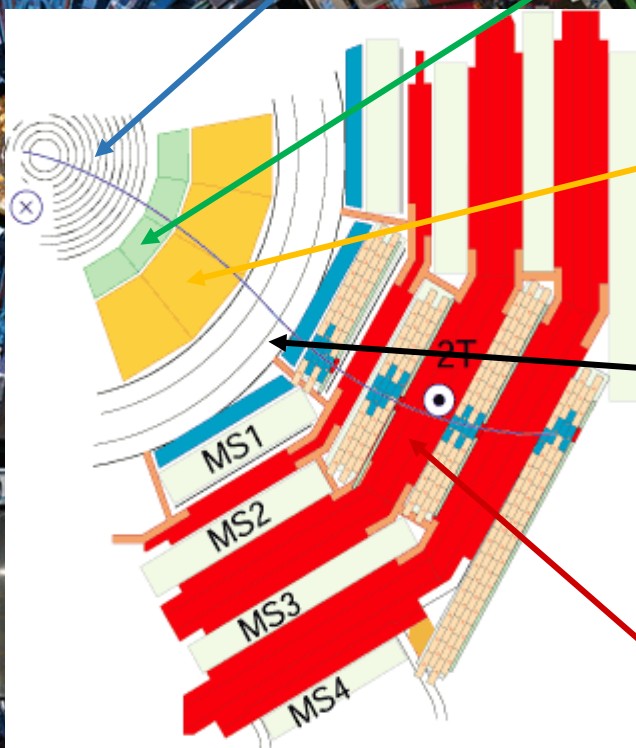
Tracciatore: serve a ricostruire le tracce lasciate dalle particelle cariche, curvate dal campo magnetico. Misuriamo così: carica elettrica, velocità e massa.

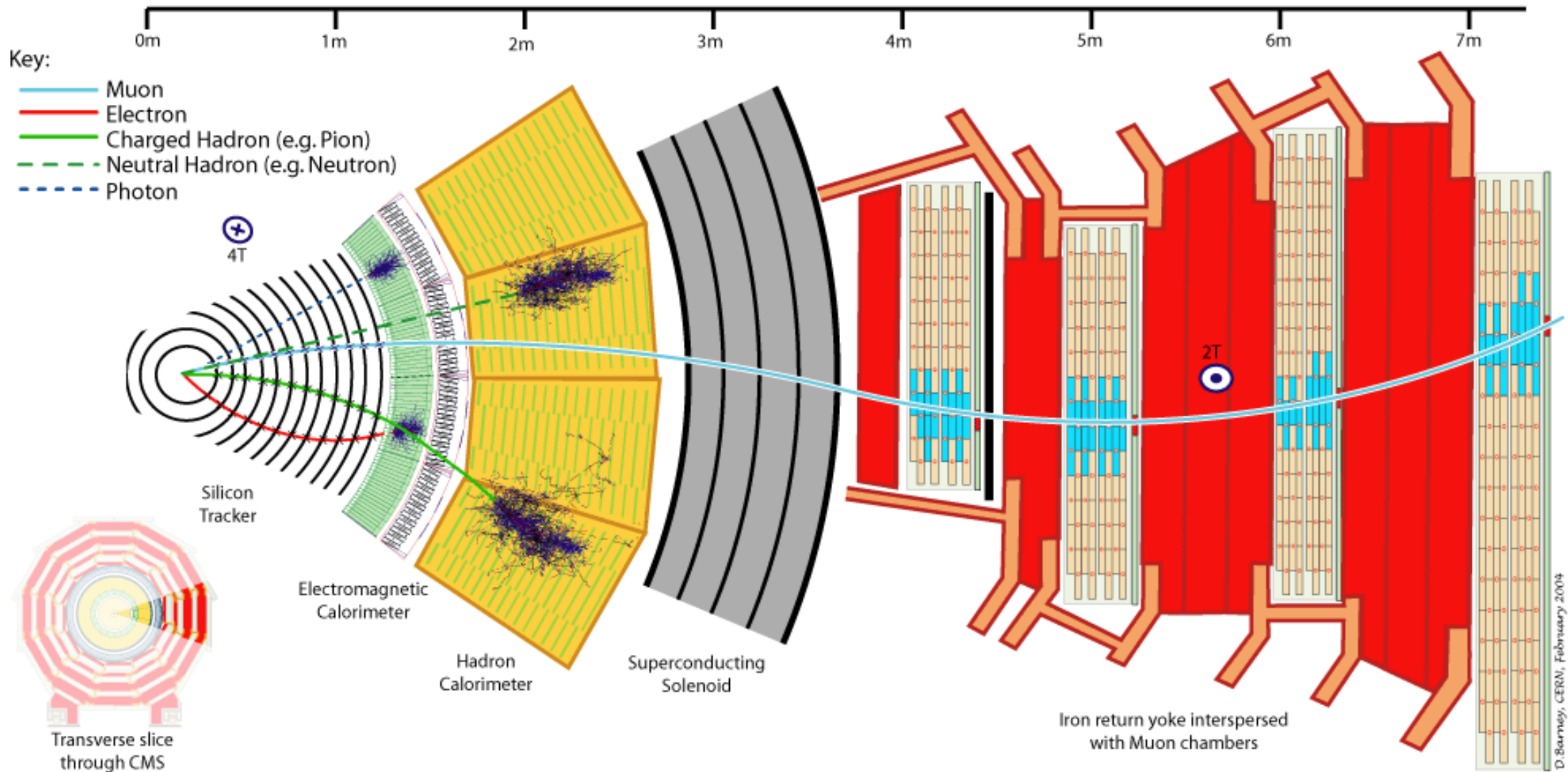
Calorimetro elettromagnetico: serve a misurare l'energia di elettroni e fotoni. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

Calorimetro adronico: serve a misurare l'energia degli adroni, sia carichi che neutri. Assorbono completamente la particella (misura distruttiva)

Solenioide: genera un campo magnetico che serve a curvare le particelle cariche.

Rivelatori di muoni: i muoni sono particelle che interagiscono poco con la materia, quindi riescono ad attraversare tutti i rivelatori senza essere assorbite. Importante ricostruirli perché molte particelle, anche il bosone di Higgs, decadono in muoni.





Cosa farete 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 TeV**)

Cosa farete oggi?

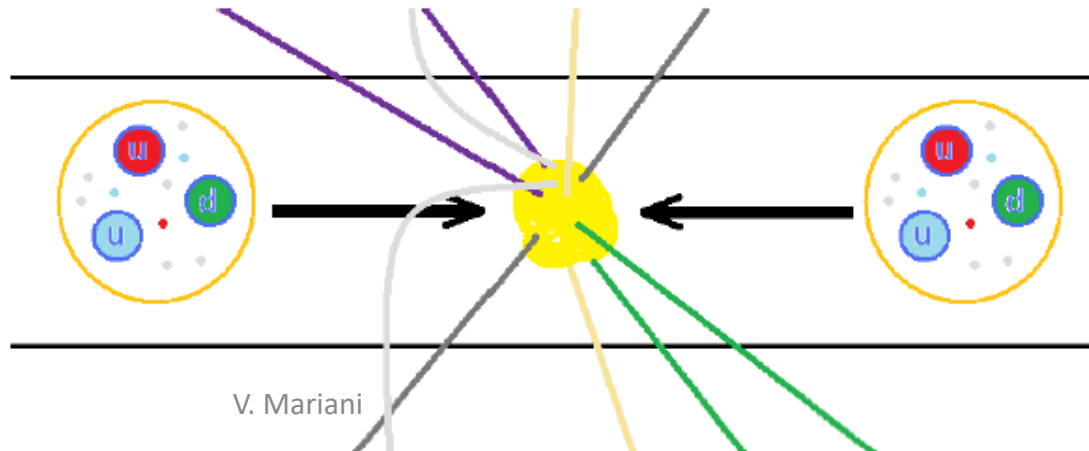
- Analizzerete i dati realmente raccolti da CMS nel 2012 raccolti con un energia di centro di massa di 8 TeV (**oggi si raggiungono i 13 TeV**)
- Ogni fascio di protoni ha un'energia di 4 TeV (**oggi 6,5 TeV per fascio**)

Cosa farete 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 TeV**)
- Ogni fascio di protoni ha un'energia di 4 TeV (**oggi 6,5 TeV per fascio**)
- I protoni non sono particelle elementari, hanno dei costituenti interni, quark e gluoni -> l'energia sarà distribuita tra questi costituenti.

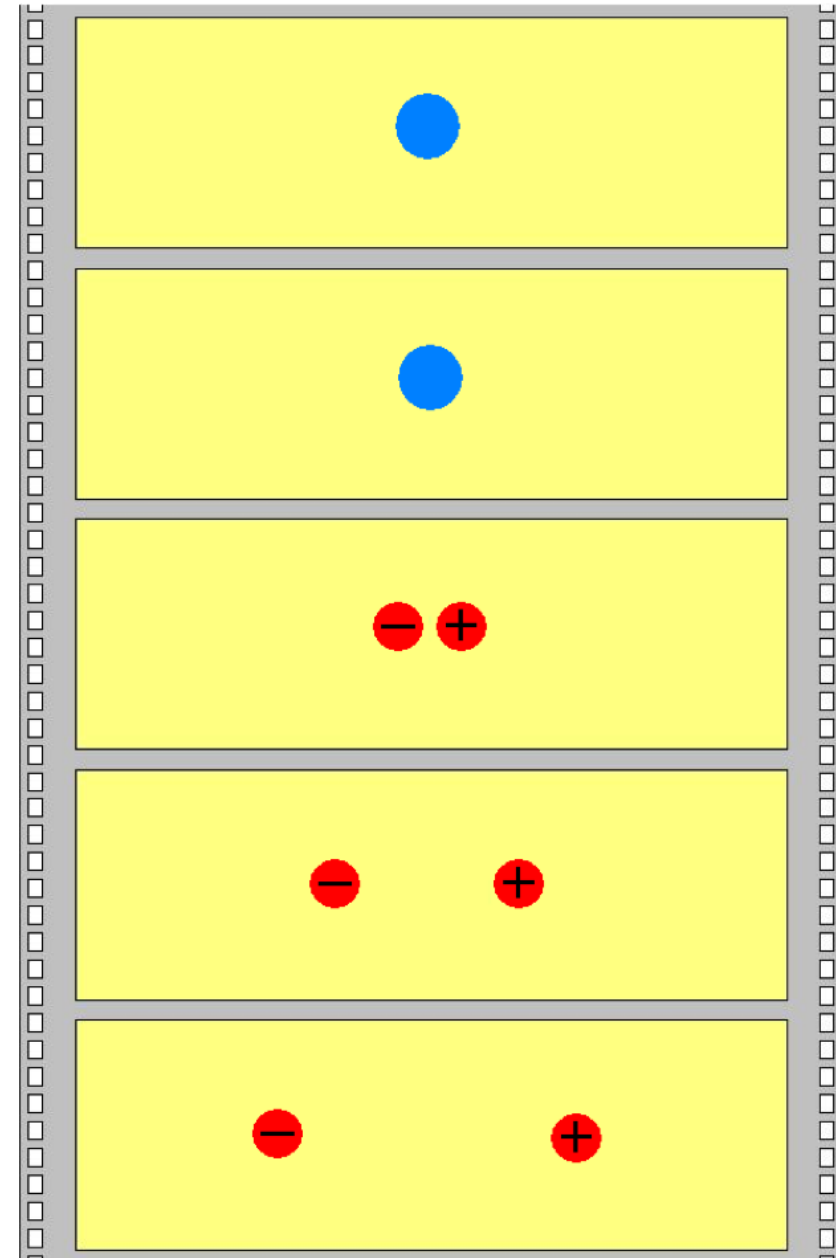
Cosa farete oggi?

- 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 TeV**)
- Ogni fascio di protoni ha un'energia di 4 TeV (**oggi 6,5 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

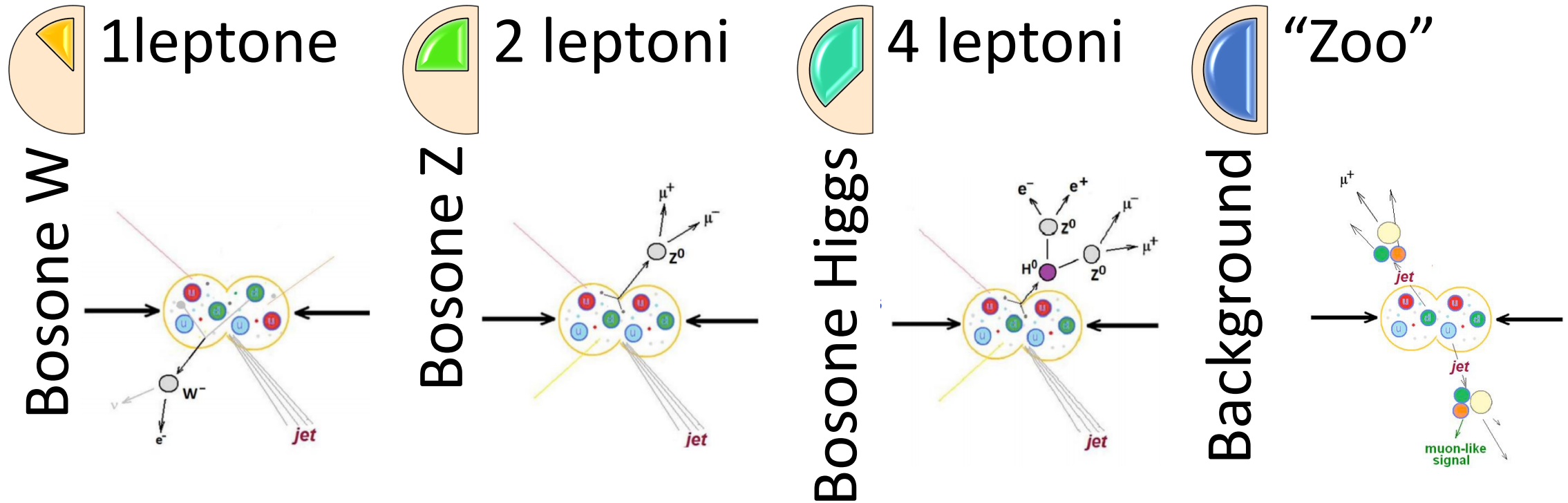


Le particelle decadono

- 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??

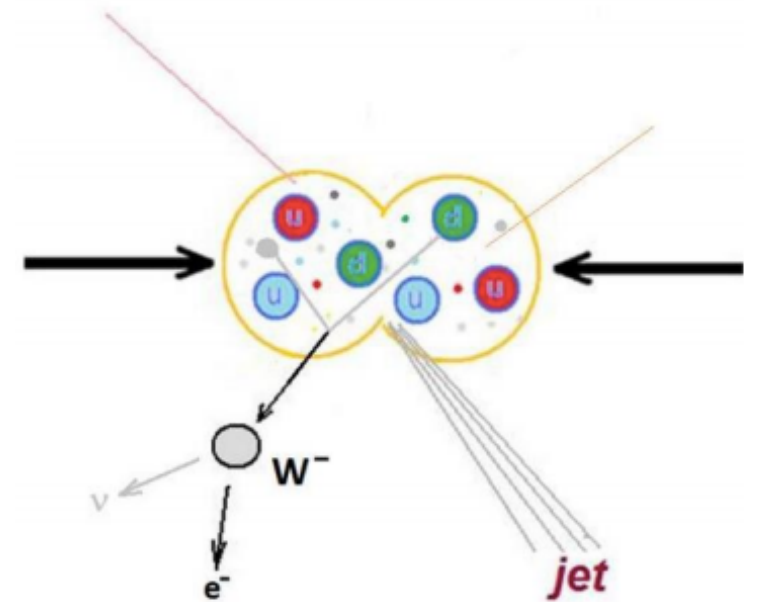


Diversi tipi di eventi da riconoscere:



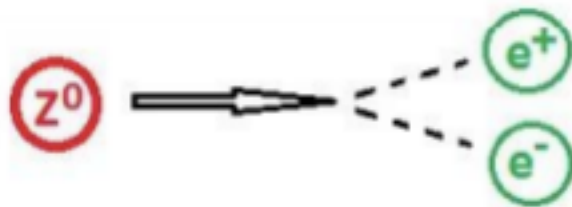
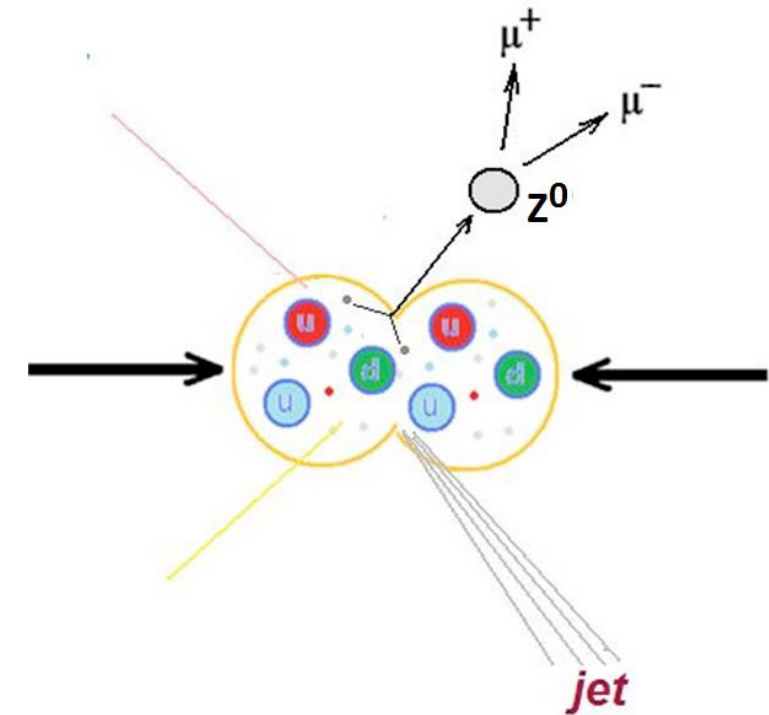
Eventi con Singolo Leptone -> Bosone W

- Bosoni mediatori della **forza debole**: W^+ e W^-
 - É responsabile della radioattività e del decadimento del neutrone in protone: $n \rightarrow p$ e ν
- La forza debole è mediata da particelle molto massive ($m_W \approx 80\text{GeV}$), questo rende la forza a corto raggio ($\approx$ puntiforme), poi decadono.
- W decade in neutrino e leptone ($e\nu$, $\mu\nu$).
=> singolo leptone perchè CMS non rivela i neutrini



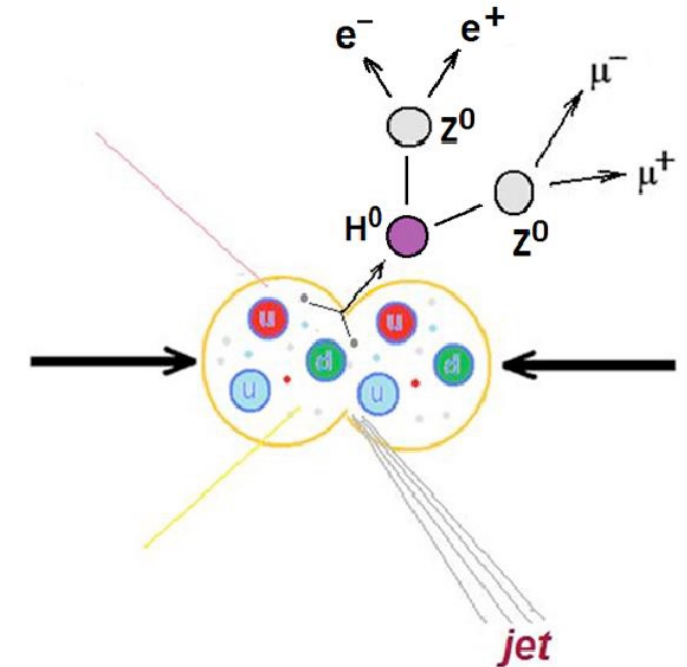
Eventi con Doppio Leptone $\rightarrow$ Bosone Z

- Il **bosone Z** è il «parente» neutro del bosone W.
 - È responsabile della forza debole neutra
- La forza debole è mediata da particelle molto massive ($m_Z \approx 91\text{GeV}$), questo rende la forza a corto raggio ($\approx$ puntiforme), poi decadono.
- Z decade in una coppia di leptone di segno opposto (e^+e^- , $\mu^+\mu^-$)



Eventi con 4 Leptoni -> Bosone H

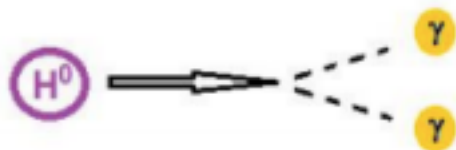
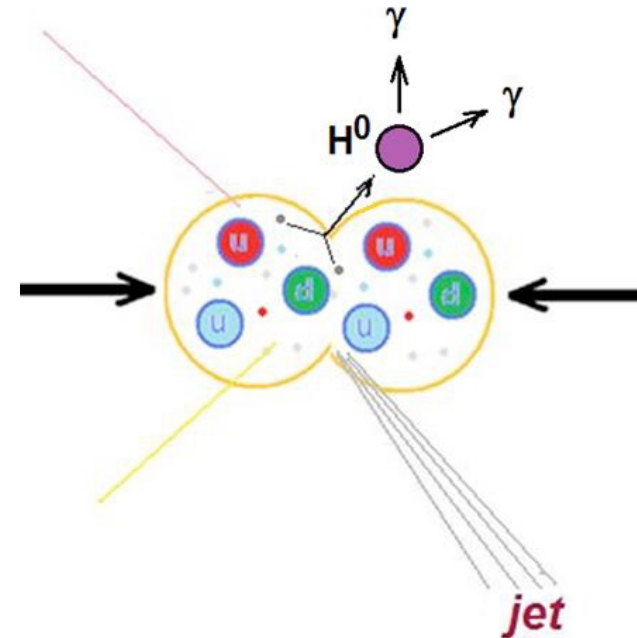
- Il **bosone di Higgs** è stato scoperto da CMS e Atlas nel 2012
- È stato ricercato per così tanto tempo perché si ritiene essere il responsabile del meccanismo di acquisizione della massa da parte di tutte le particelle note.
- Higgs ha 2 «golden channel»: uno è in $ZZ \rightarrow 4l$
 - 4 muoni / 4 elettroni / 2muoni+2elettroni



Bosone di Higgs, un altro decadimento “golden”

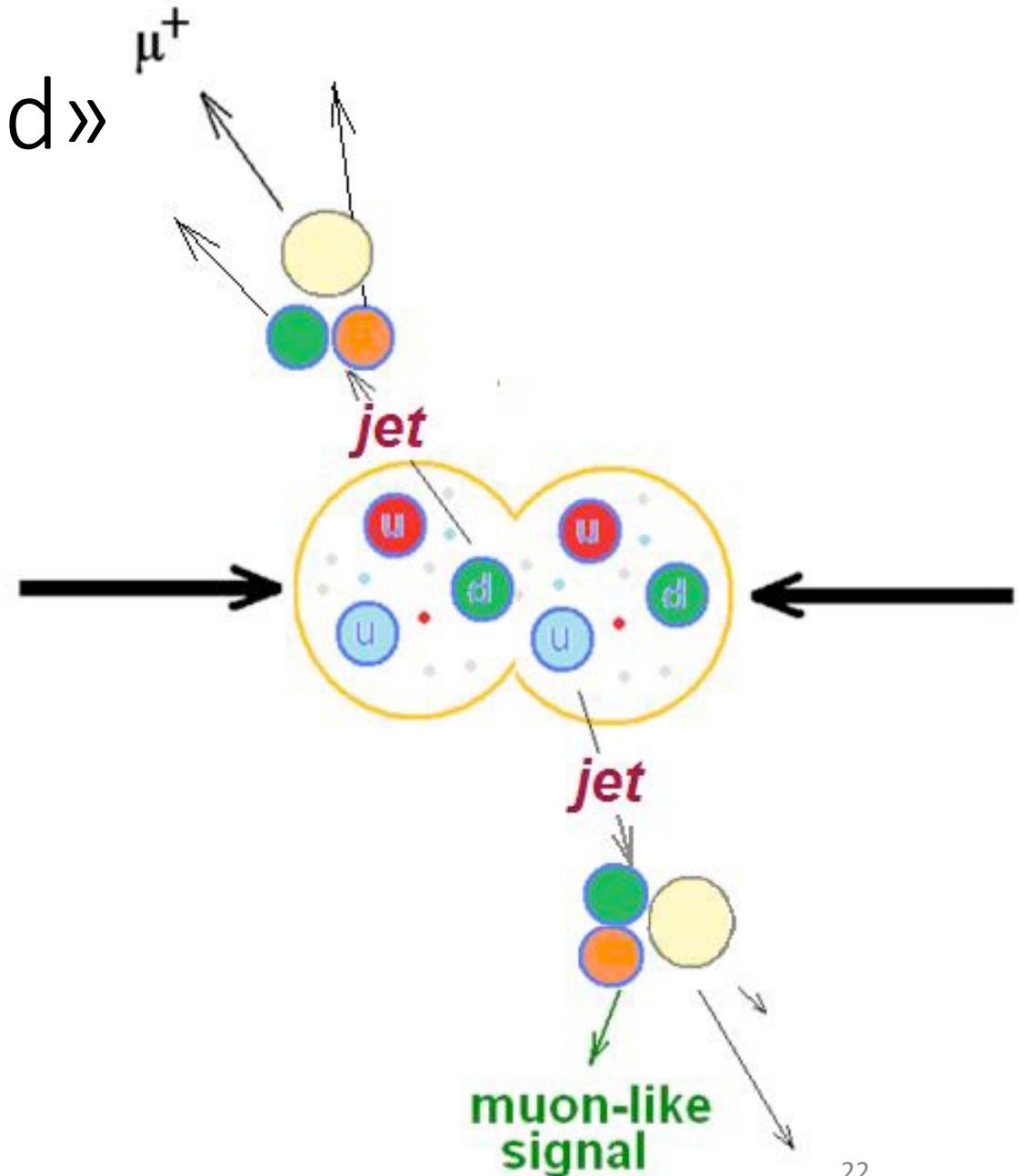
- L'altro decadimento “golden” del bosone di Higgs è in 2 fotoni.

=> Non ci sono leptoni nello stato finale



Zoo: 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



Riassunto dei possibili decadimenti:

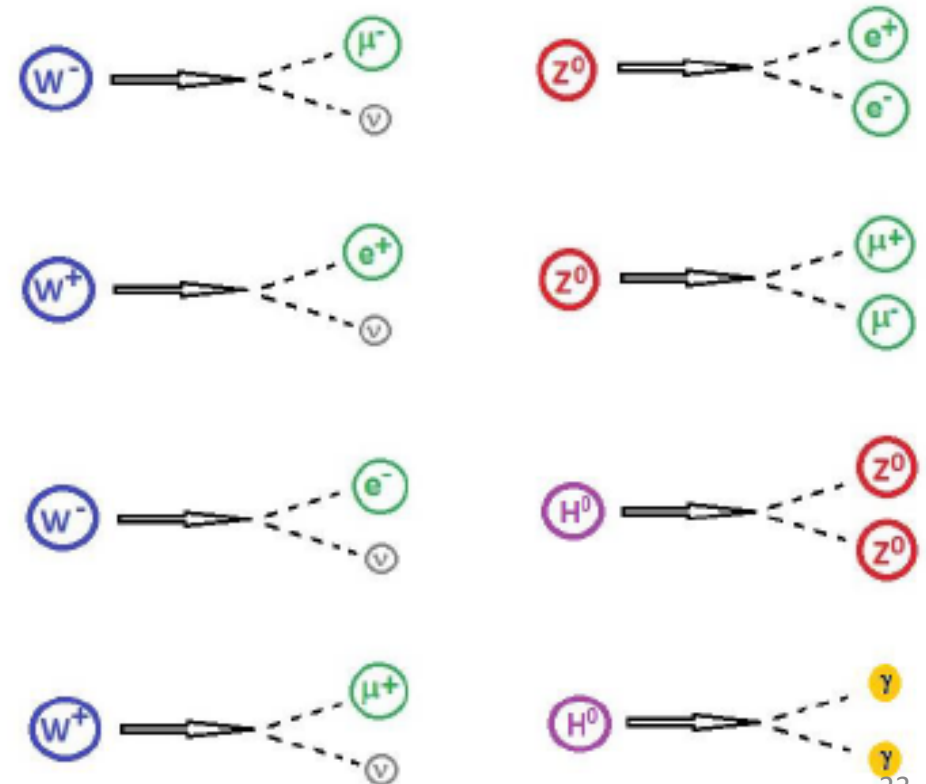
Le particelle più pesanti decadono quasi istantaneamente dopo essere state prodotte -> non possono essere rivelate nemmeno dal detector più interno di CMS.

Questi sono solo ALCUNI dei decadimenti possibili per queste particelle.

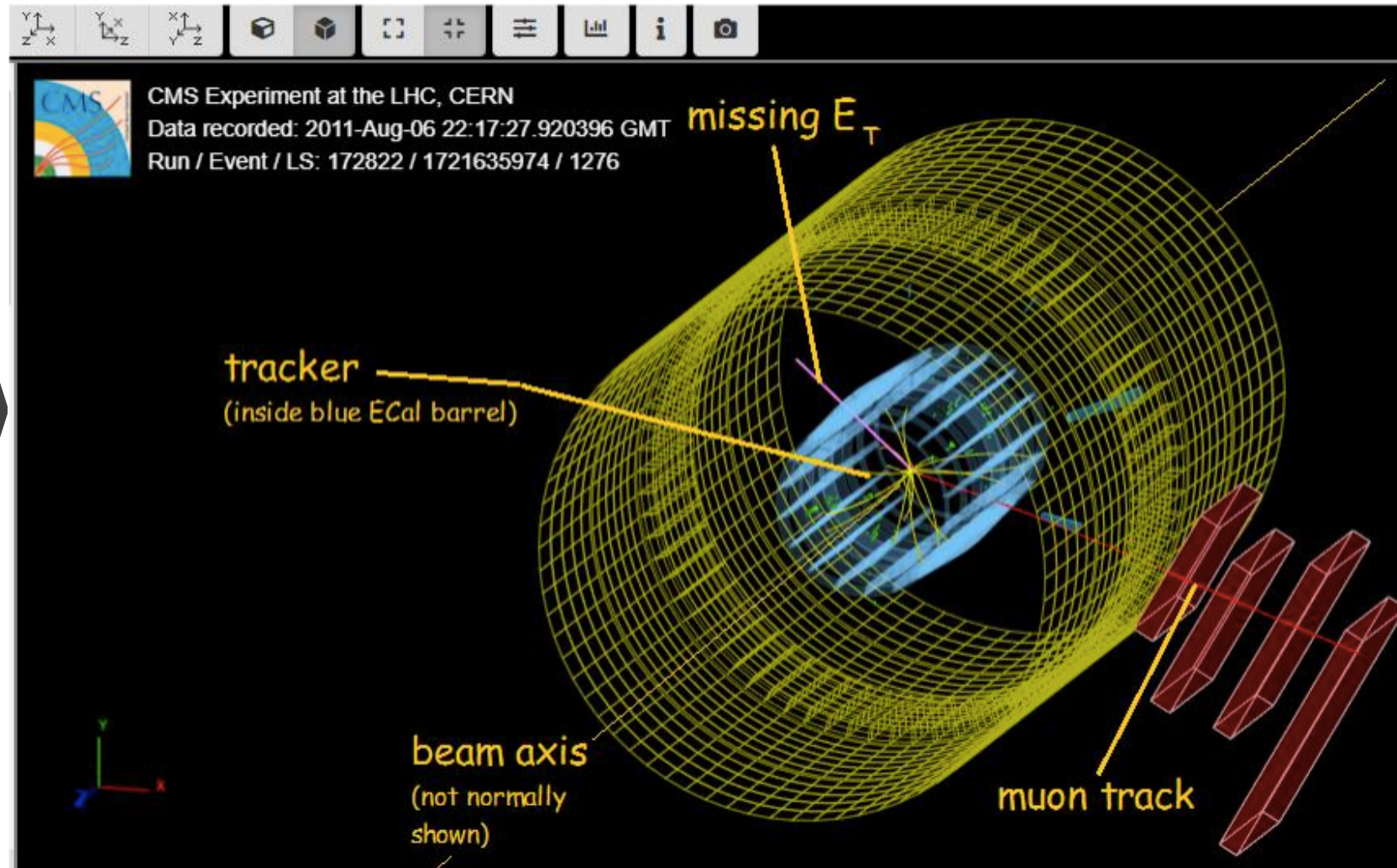
CMS sa ricostruire con alta efficienza:

- **Elettroni**
- **Muoni**
- **Fotoni**

I **neutrini** sfuggono a tutti i rivelatori -> energia mancante

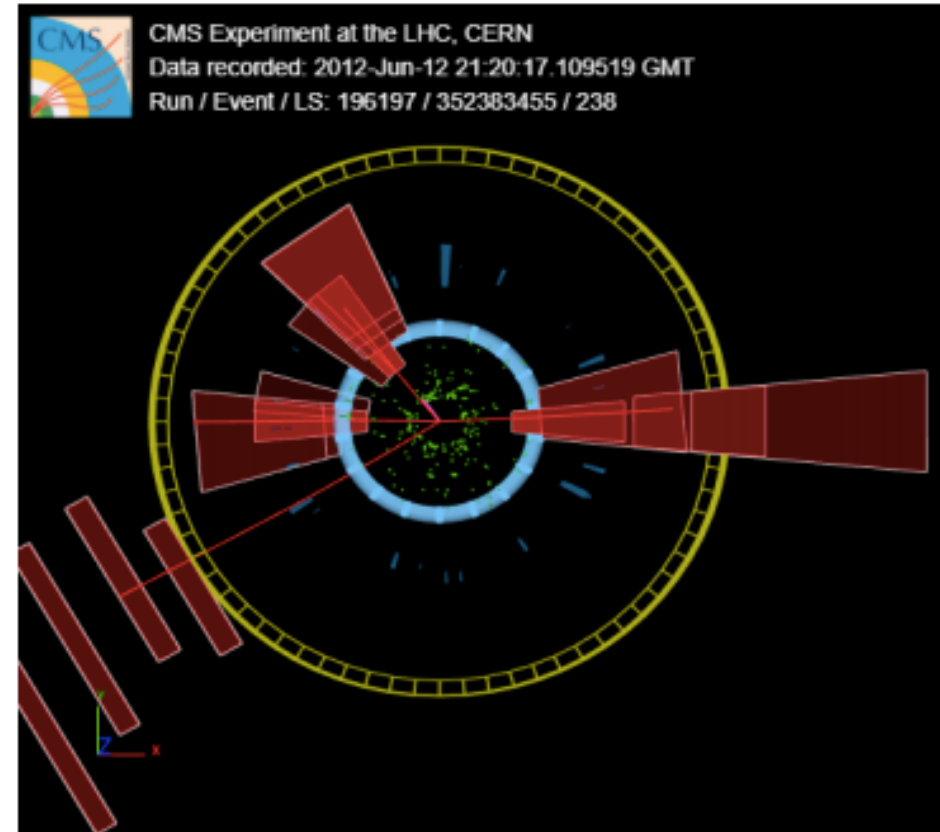
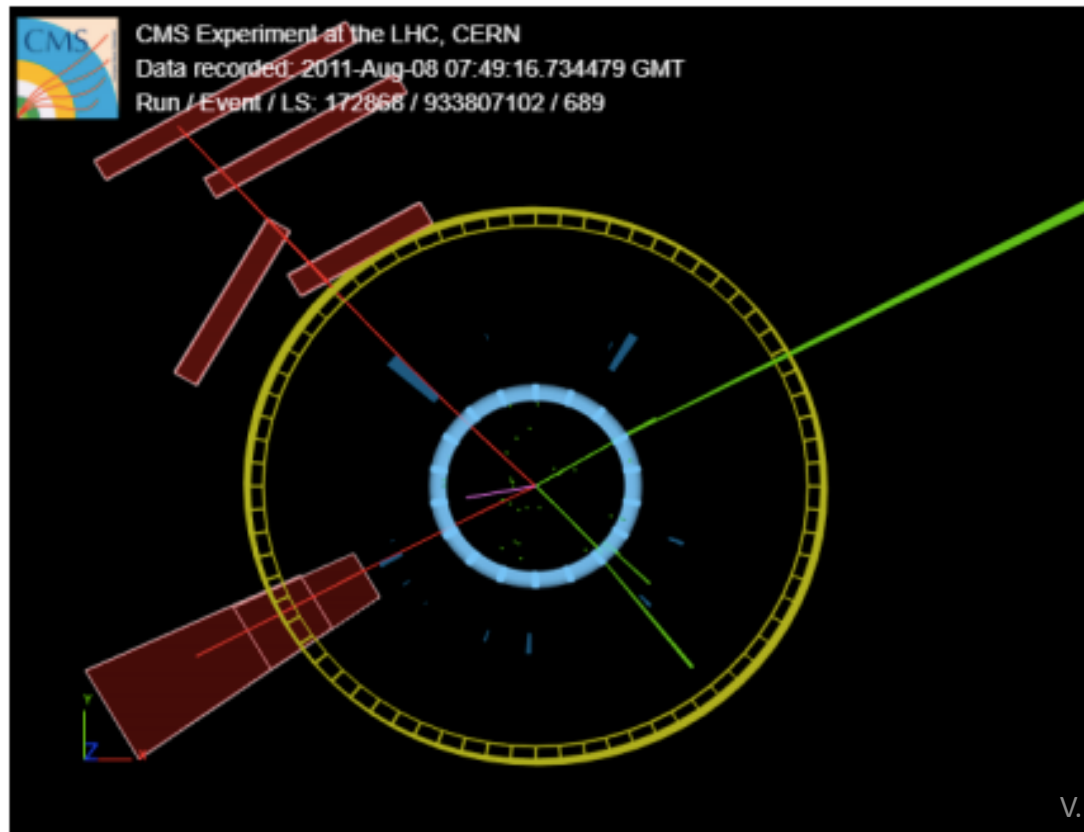


CMS event display



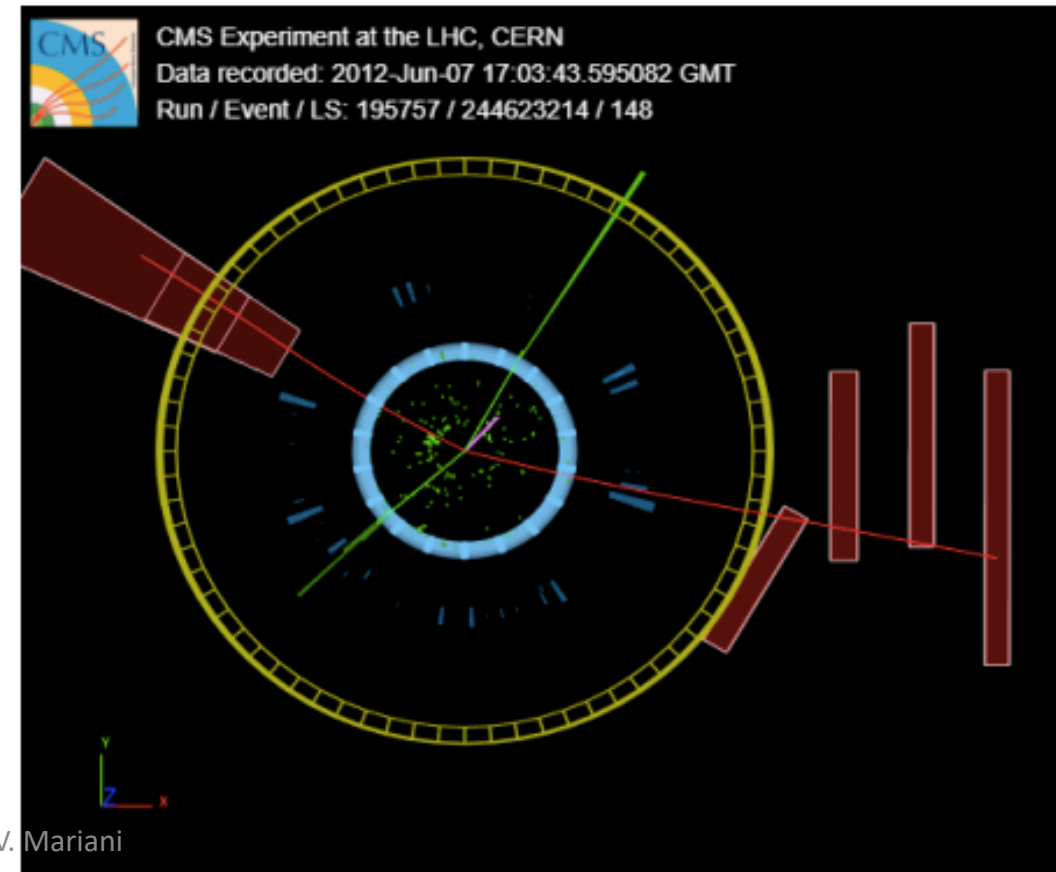
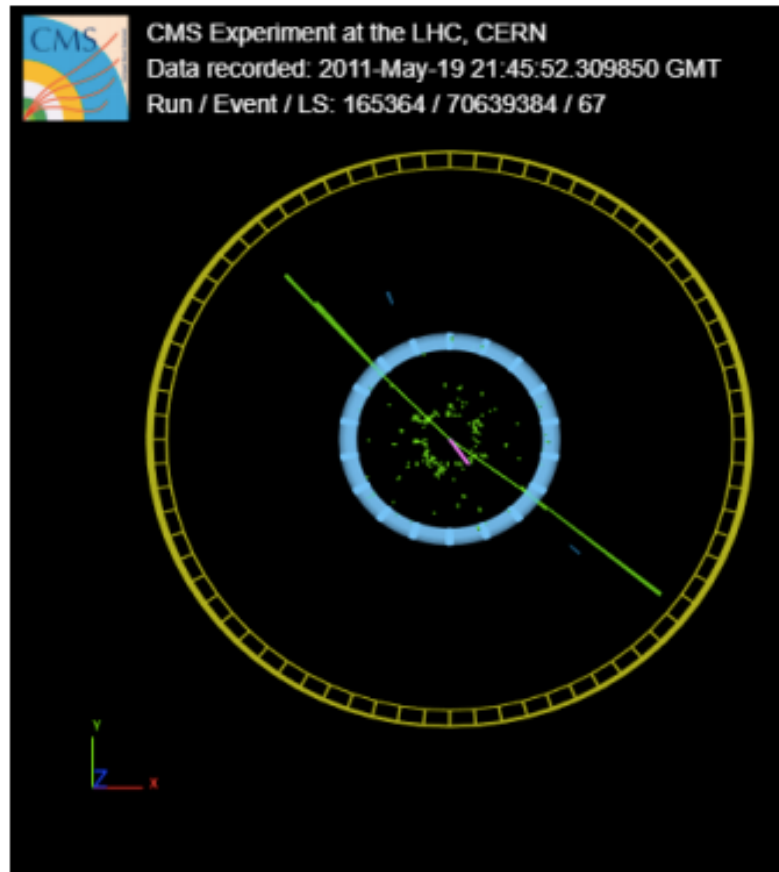
1, 2 o 4 leptoni ?

Quanti leptoni ci sono?
Che leptoni sono?
Cosa altro vedete?



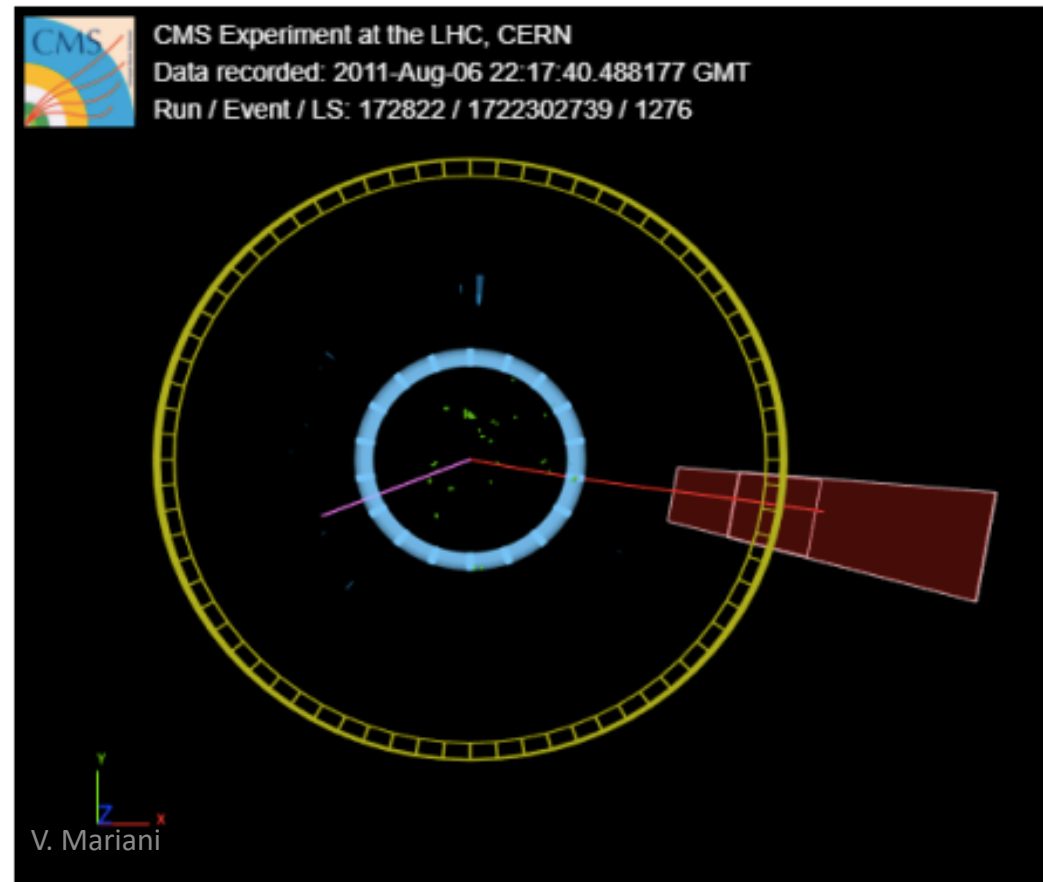
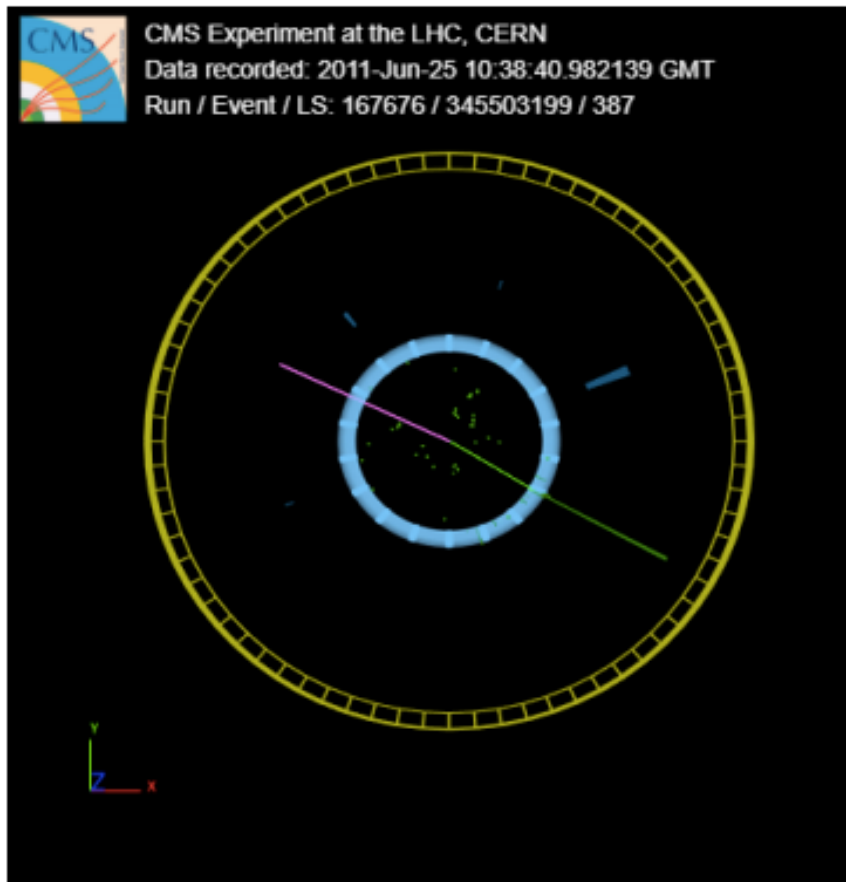
1, 2 o 4 leptoni ?

Quanti leptoni ci sono?
Che leptoni sono?
Cosa altro vedete?



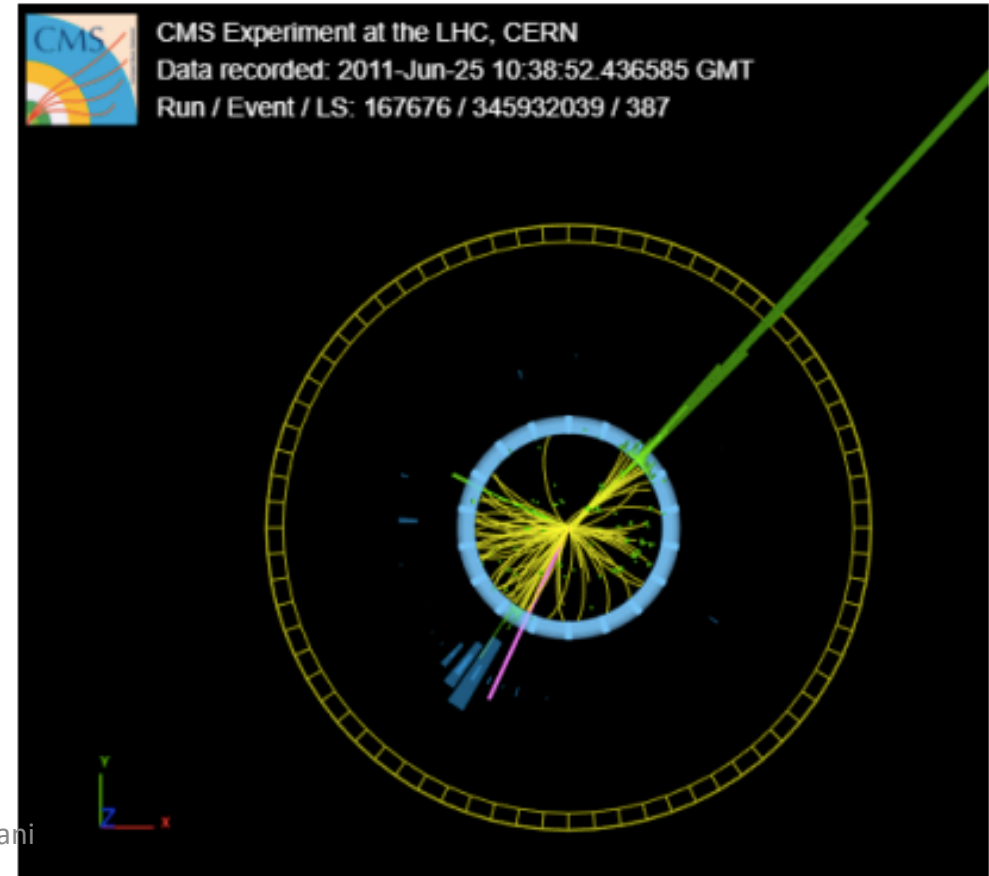
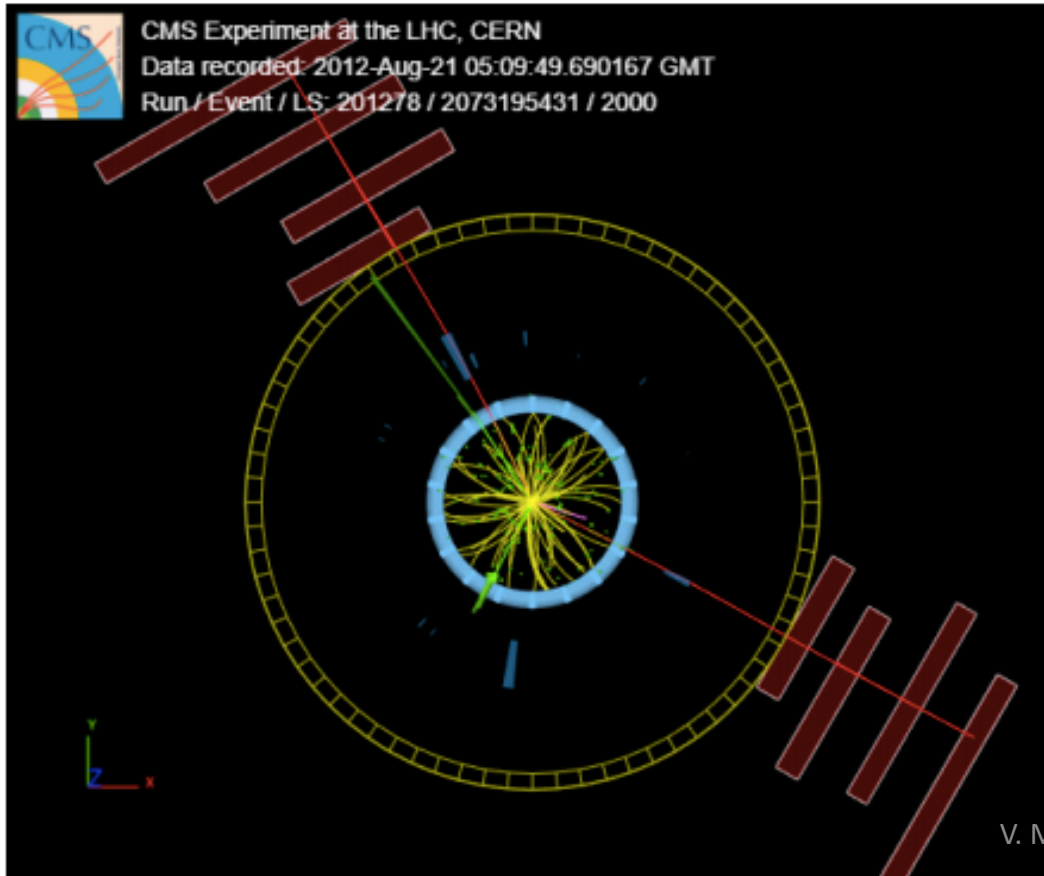
1, 2 o 4 leptoni ?

Quanti leptoni ci sono?
Che leptoni sono?
Cosa altro vedete?

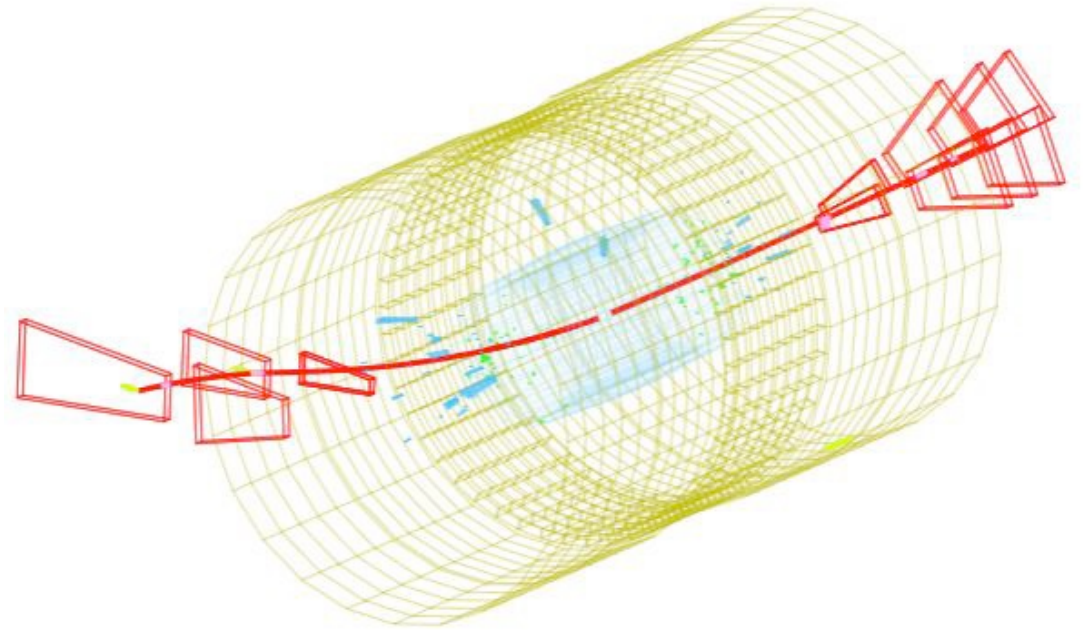
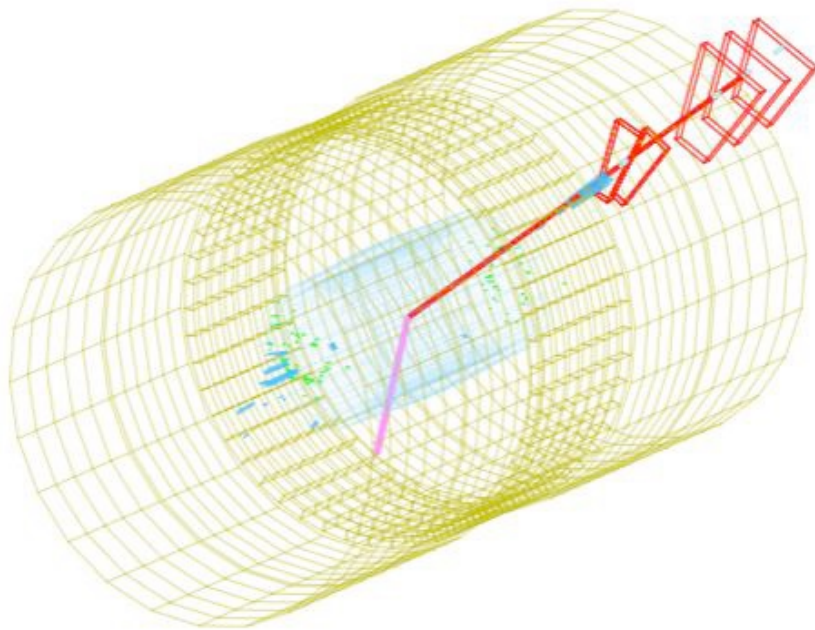


1, 2 o 4 leptoni ?

Quanti leptoni ci sono?
Che leptoni sono?
Cosa altro vedete?



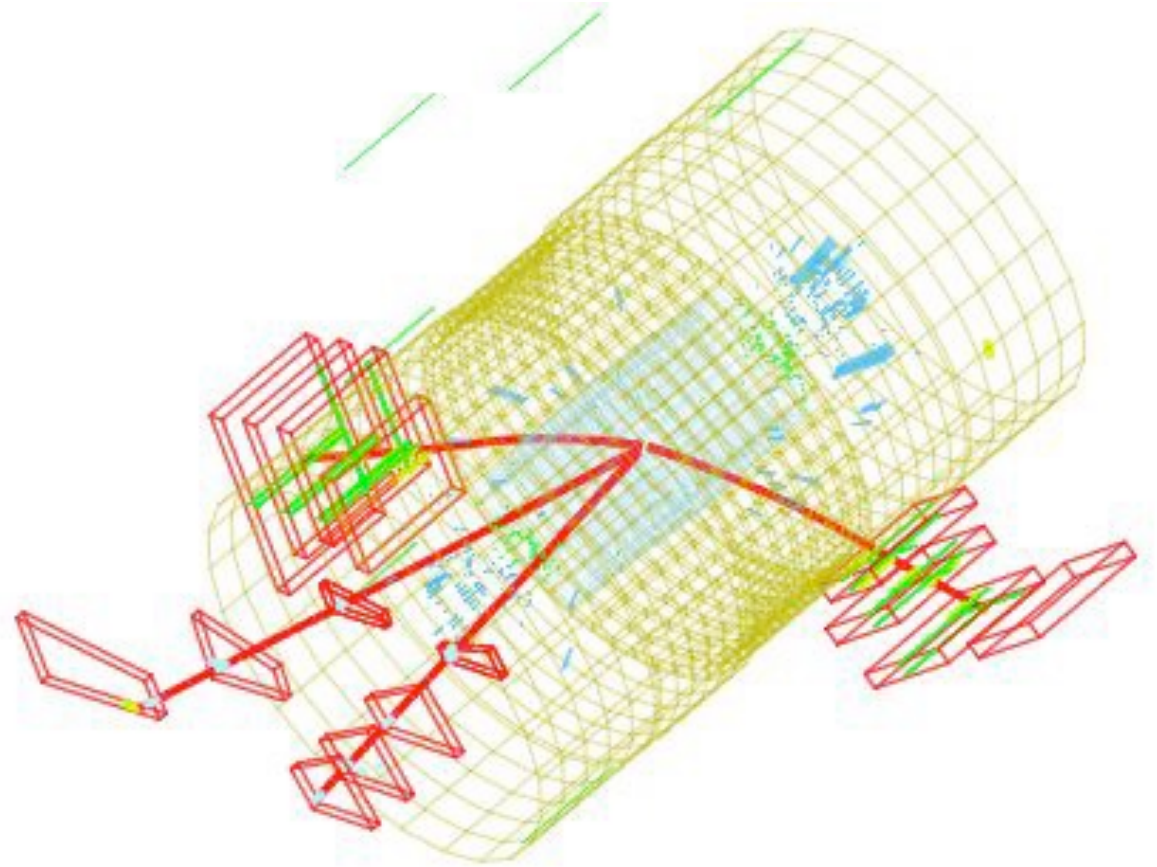
Distinguate un W da uno Z??



Riconoscere il bosone di Higgs

$H \rightarrow ZZ$

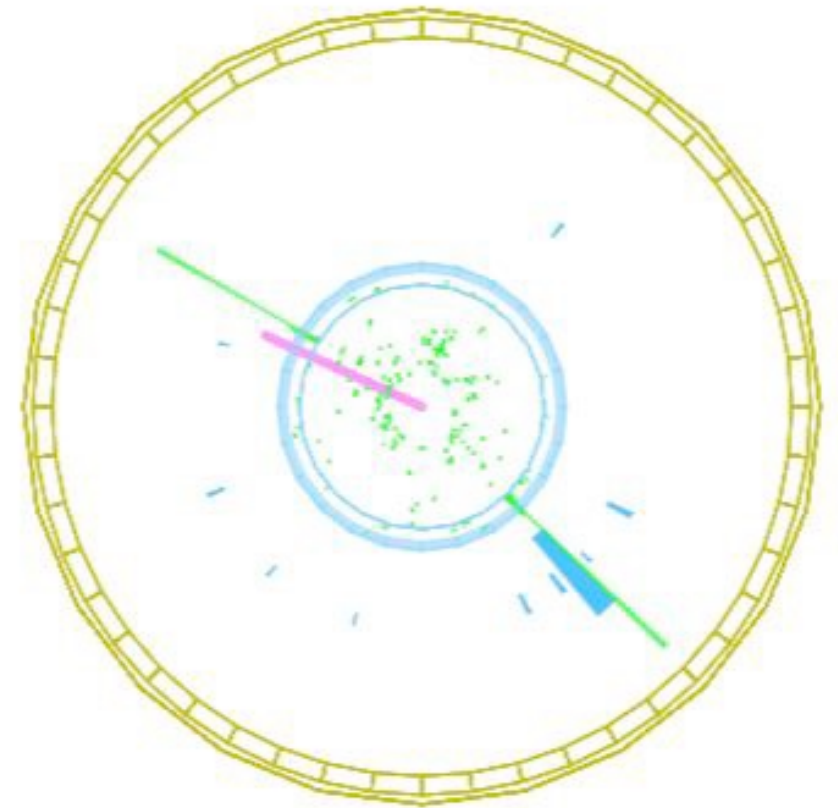
$Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$
 $Z \rightarrow e^+ e^-$



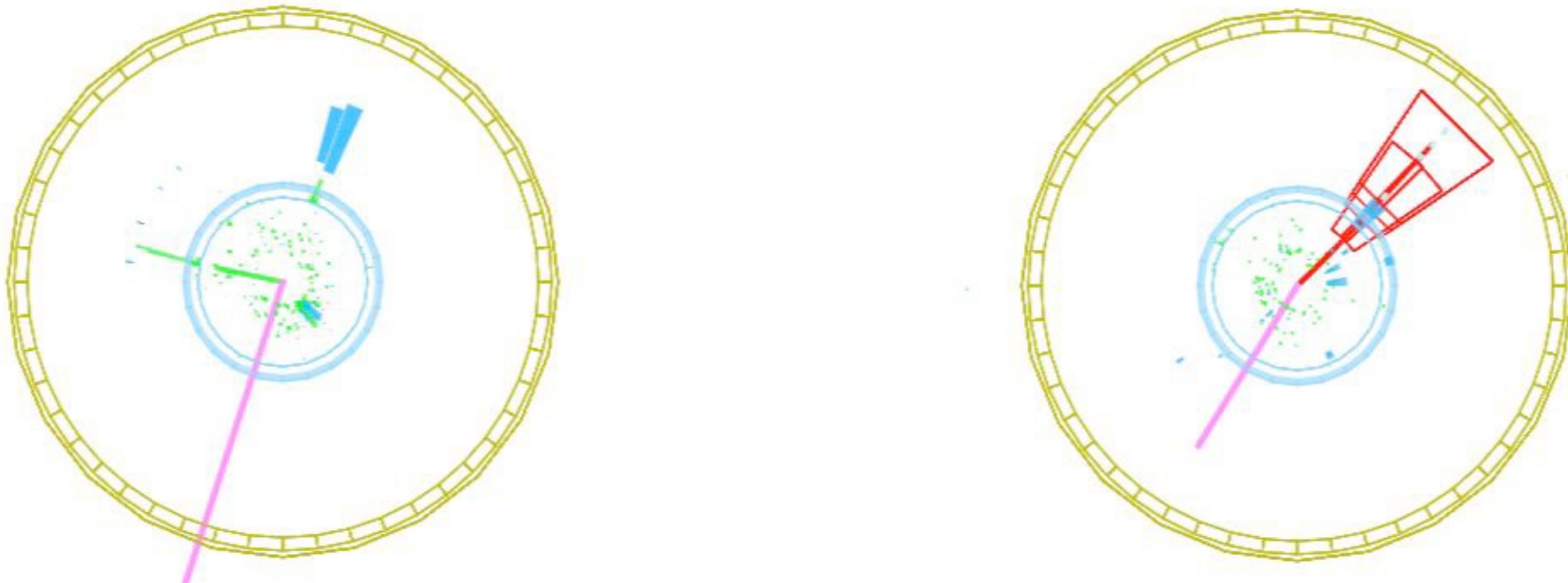
Riconoscere il bosone di Higgs

$H \rightarrow \gamma\gamma$

Perché i fotoni non lasciano segnali nel tracciatore?

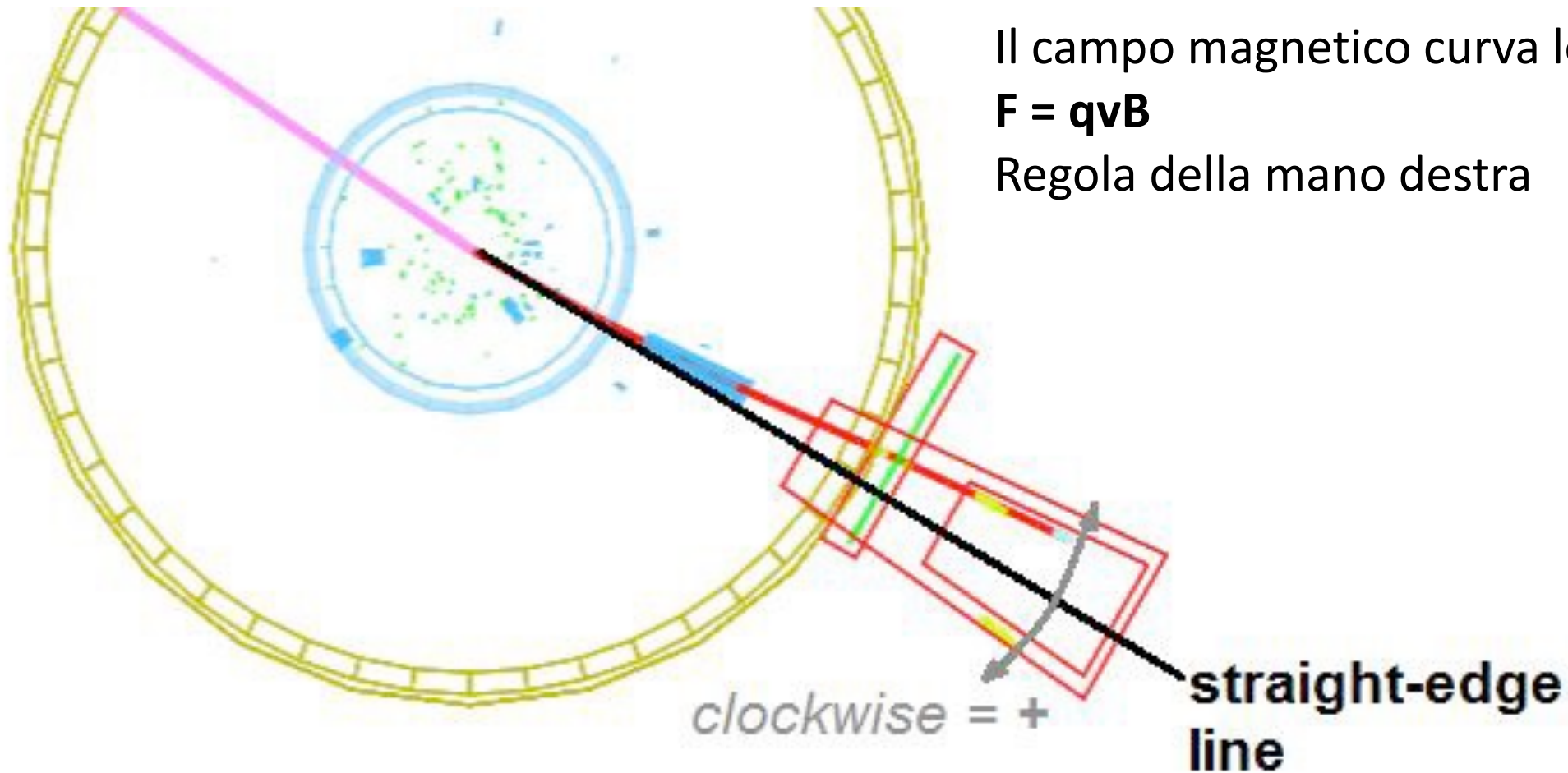


Possiamo calcolare il rapporto e/μ



Quanto vi aspettate che sia il rapporto e/μ ?

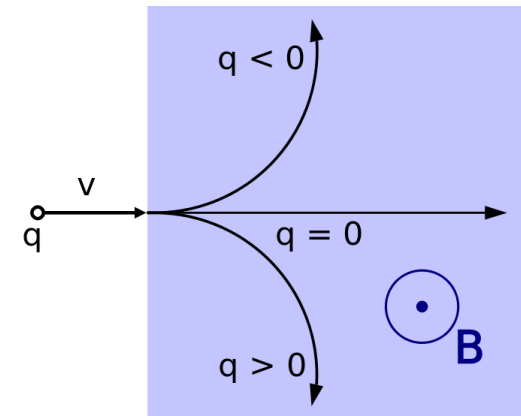
Possiamo calcolare il rapporto W^+/W^-



Il campo magnetico curva le particelle cariche

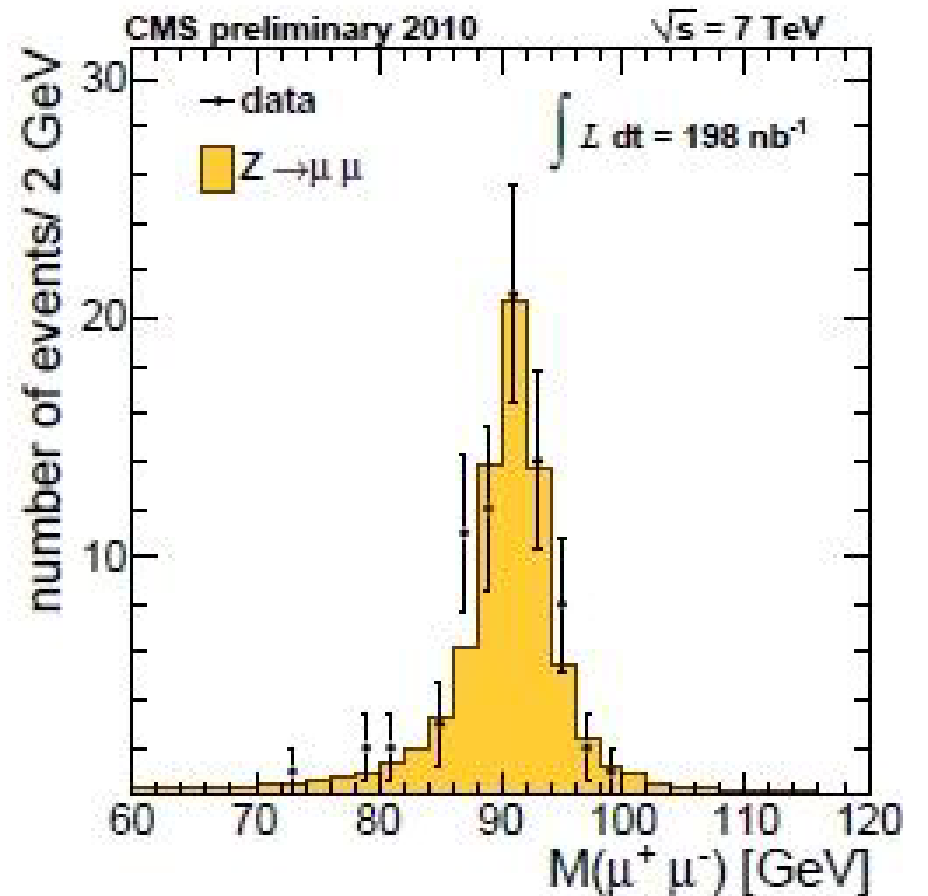
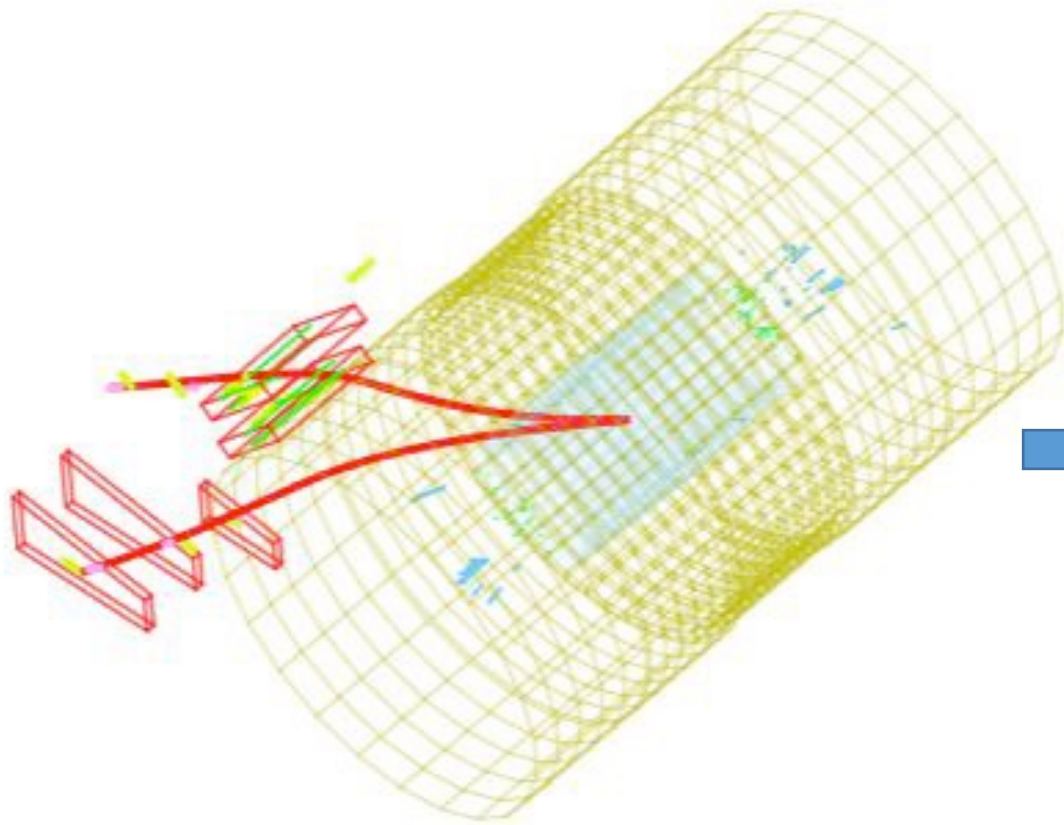
$$\mathbf{F} = q\mathbf{v}\mathbf{B}$$

Regola della mano destra



Quanto vi aspettate che sia il rapporto W^+/W^- ?

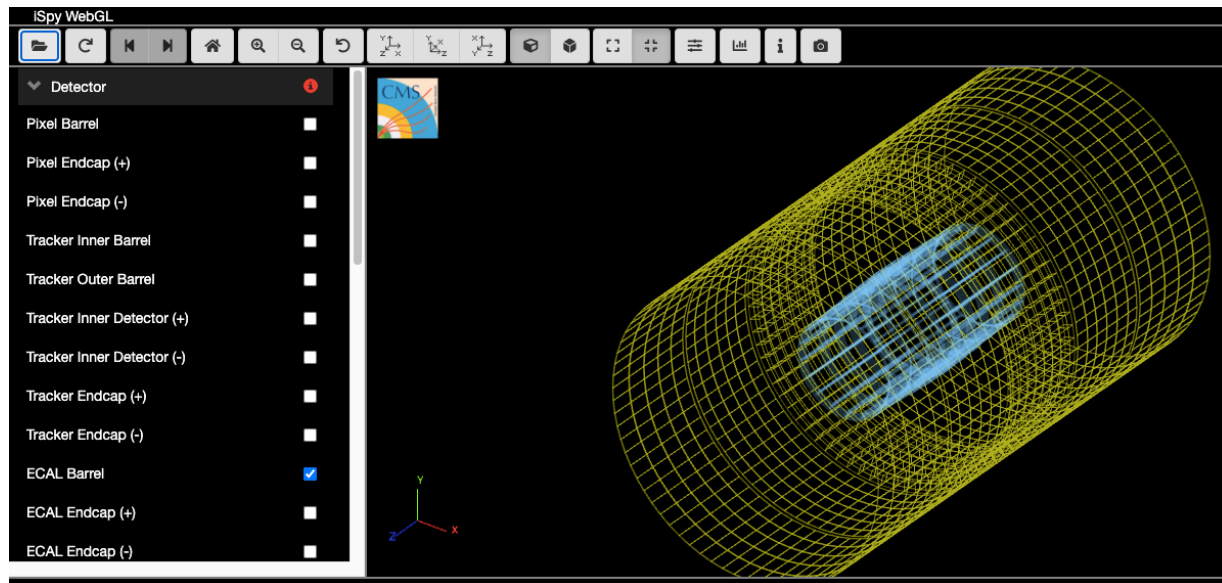
Possiamo costruire un plot di massa invariante



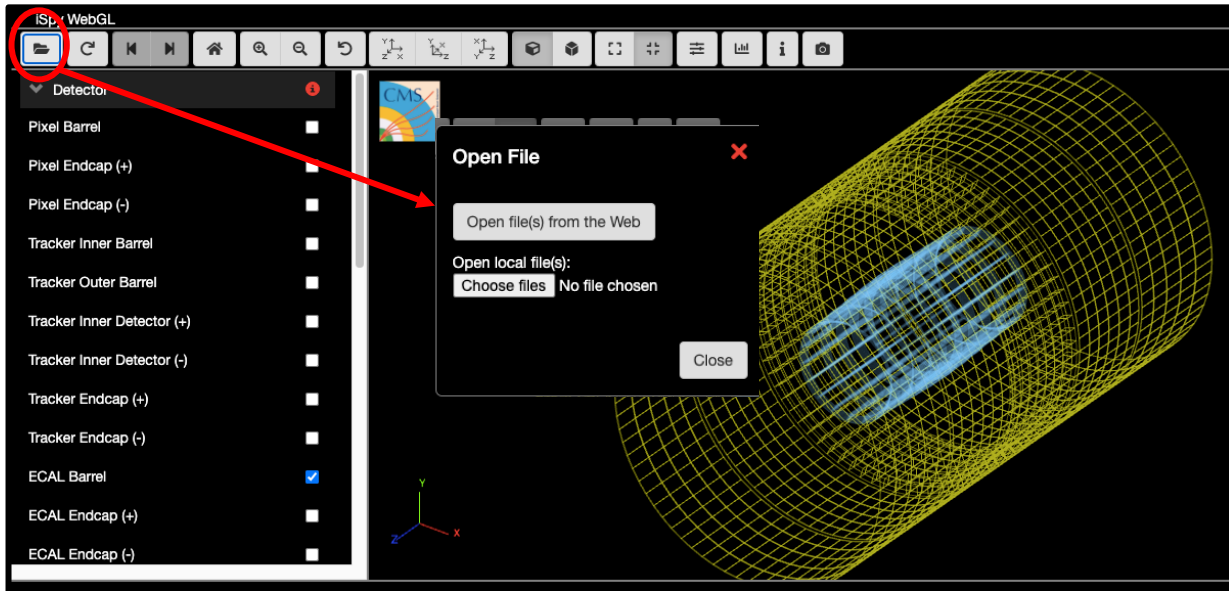
Info pratiche - Link

- CIMA : <https://www.i2u2.org/elab/cms/cima-wzh/index.php>
 - CERN 15Mar2021 -> Perugia2021 -> select dataset (da assegnare)
- Event display: <http://go.web.cern.ch/go/tfS9>
- CMS masterclass: <https://quarknet.org/content/cms-masterclass-documentation>

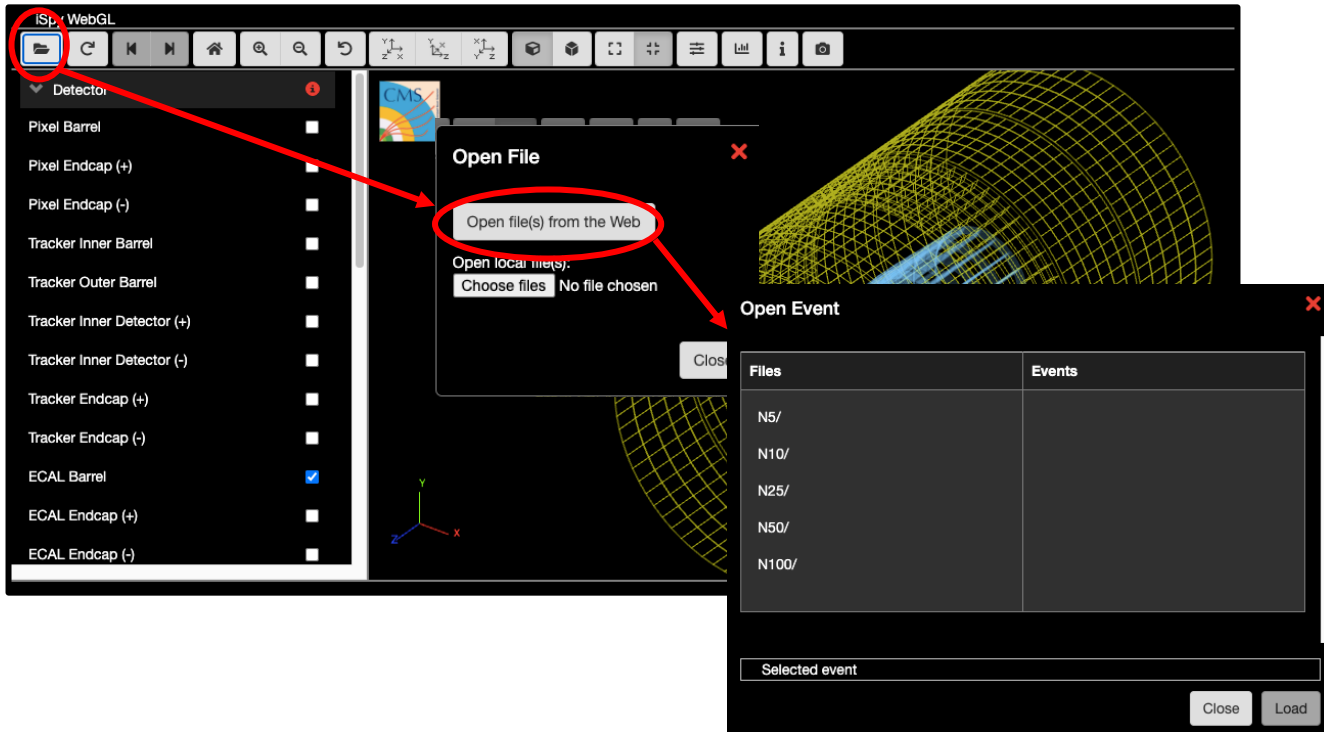
Info pratiche: event display



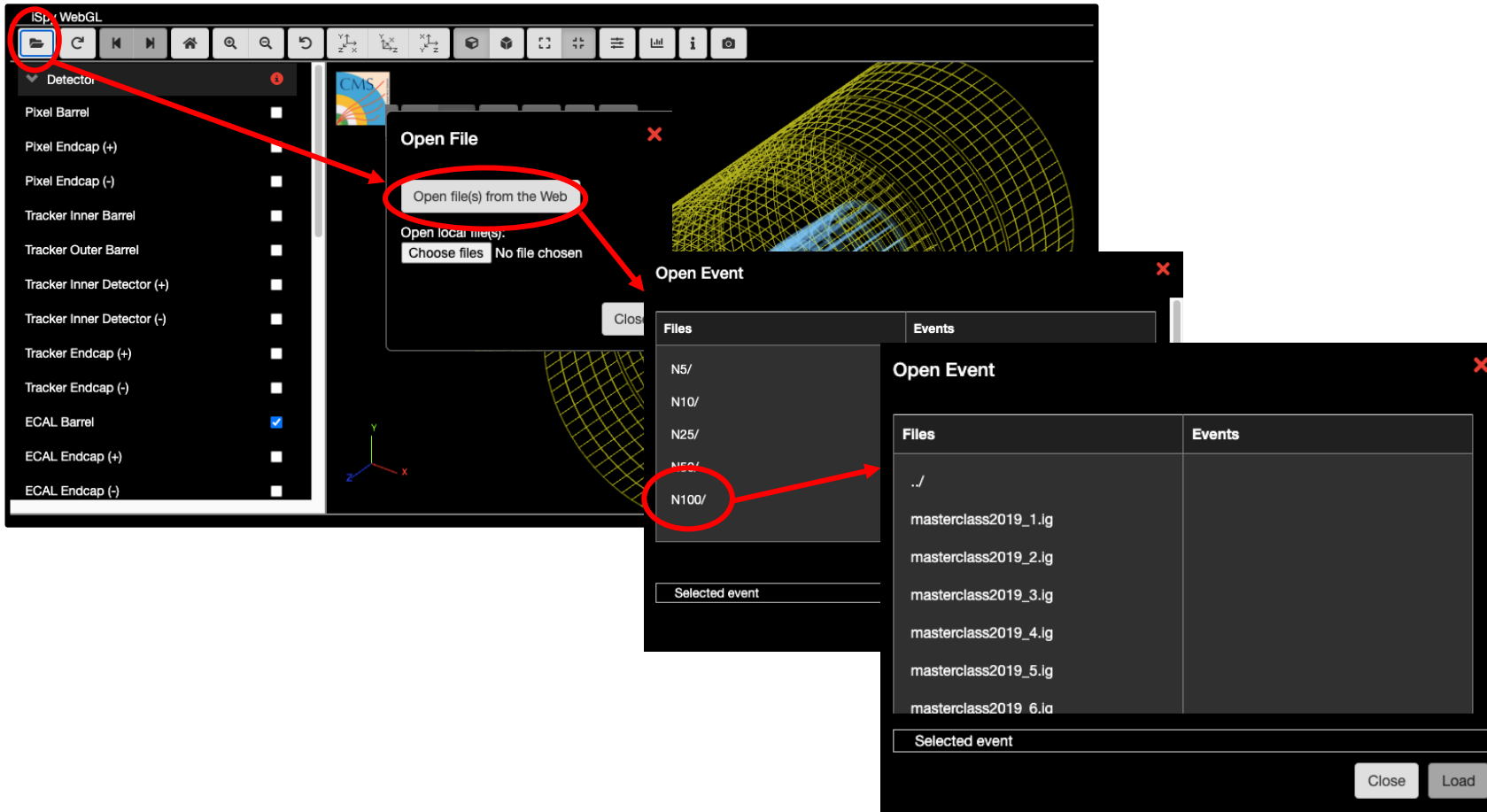
Info pratiche: event display



Info pratiche: event display



Info pratiche: event display



Info pratiche: event display

The screenshot shows the iSPy WebGL interface with a sidebar on the left listing detector components. The main window displays a 3D visualization of a detector. Overlaid on this are three 'Open Event' dialog boxes. The first dialog box has a red circle around the 'Open File' button and another around the 'Open file(s) from the Web' option. The second dialog box shows a list of files with 'N100/' circled. The third dialog box shows a list of files with 'masterclass2019_1.lg' circled. Red arrows indicate the flow from the 'Open File' button to the 'Open file(s) from the Web' option, then to the 'N100/' directory, and finally to the 'masterclass2019_1.lg' file.

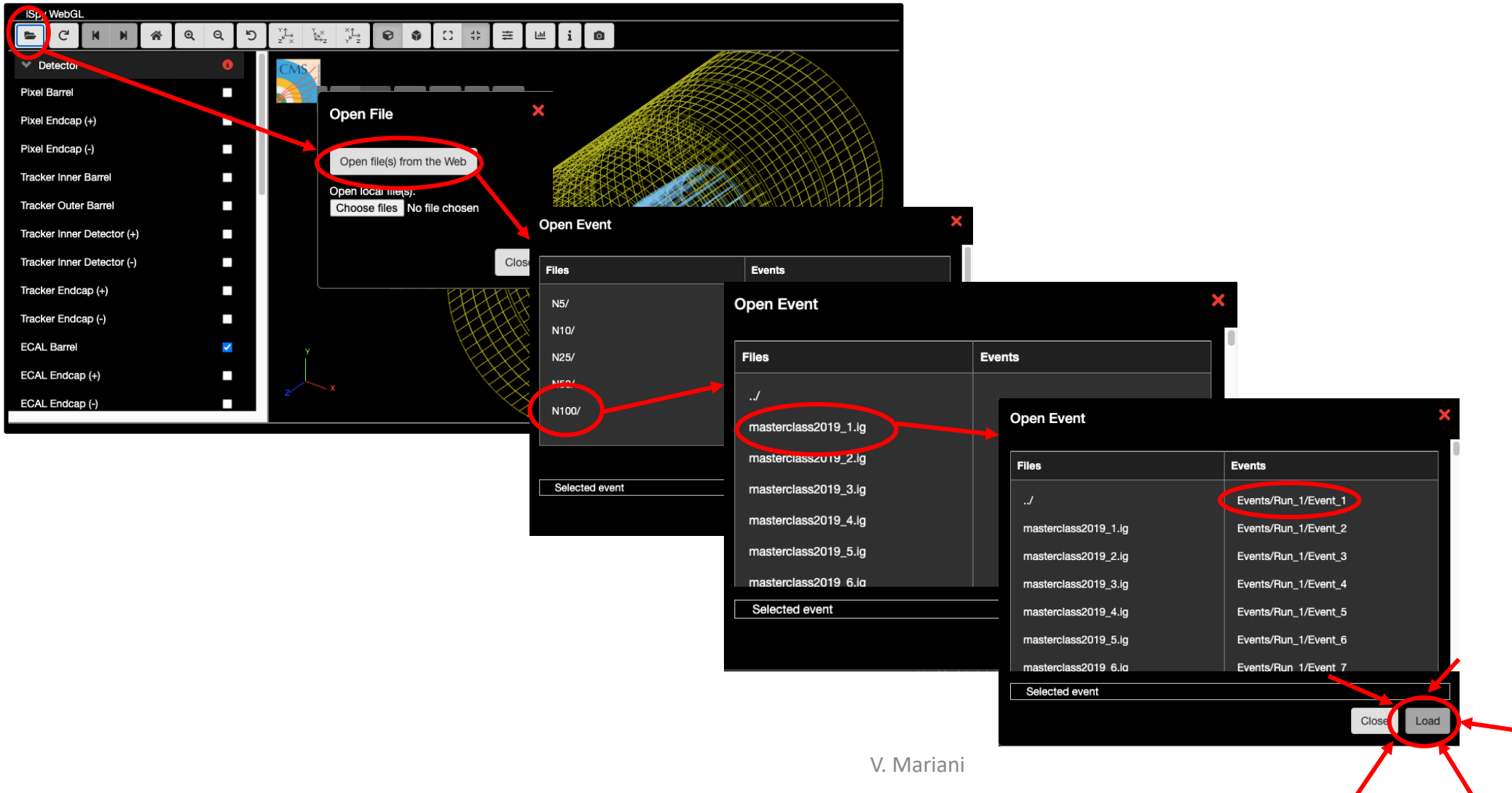
Detector components in the sidebar:

- Detector
- Pixel Barrel
- Pixel Endcap (+)
- Pixel Endcap (-)
- Tracker Inner Barrel
- Tracker Outer Barrel
- Tracker Inner Detector (+)
- Tracker Inner Detector (-)
- Tracker Endcap (+)
- Tracker Endcap (-)
- ECAL Barrel
- ECAL Endcap (+)
- ECAL Endcap (-)

Files listed in the 'Open Event' dialog:

Files	Events
..	Events/Run_1/Event_1
masterclass2019_1.lg	Events/Run_1/Event_2
masterclass2019_2.lg	Events/Run_1/Event_3
masterclass2019_3.lg	Events/Run_1/Event_4
masterclass2019_4.lg	Events/Run_1/Event_5
masterclass2019_5.lg	Events/Run_1/Event_6
masterclass2019_6.lg	Events/Run_1/Event_7

Info pratiche: event display



Info pratiche: event display

iSpy WebGL N100:Events/Run_1/Event_1 [1 of 100]

Da qui potete passare all'evento successivo

Detector

- Imported
- Provenance
- Event
- Tracking
- Tracks (reco.) [56]
- ECAL
 - Barrel Rec. Hits [130]
 - Preshower Rec. Hits [9]
 - Endcap Rec. Hits [160]
- HCAL
 - Barrel Rec. Hits [19]
 - Forward Rec. Hits [1]

Data recorded: 2011 Aug 17 00:01:52.325260 GMT
Run / Event / LS: 173389 / 490419761 / 370

V. Mariani

Info pratiche: CIMA



Choose your Masterclass

BAMC-17Apr2020
BAMC-VC1-21May2020
BAMC-VC2-22May2020
BAMC-VC3-26May2020
BAMC-VC4-27May2020
BAMC-Vilnius-04Dec2020
IDWGS-11Feb2021
SampleTables-Jan2021
CERN-12Feb2021
CERN-19Feb2021
CERN-20Feb2021
CERN-22Feb2021
CERN-24Feb2021
CERN-02Mar2021
CERN-04Mar2021
CERN-09Mar2021
CERN-11Mar2021
CERN-15Mar2021
CERN-19Mar2021
CERN-23Mar2021
FNAL-17Feb2021
FNAL-20Feb2021
FNAL-23Feb2021

Choose your location

Turin2021
Zagreb2021B
SantoAndreUFABC2021
Palaiseau2021
Perugia2021

Choose your data file

100.16
100.17
100.18
100.19
100.21
100.22
100.23
100.24
100.25
100.26
100.27
100.28
100.29
100.31
100.32
100.33
100.34
100.35
5.1
5.2
5.3
5.4
5.5

V. Mariani



Info pratiche: CIMA

Inserite i dati per ogni evento

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

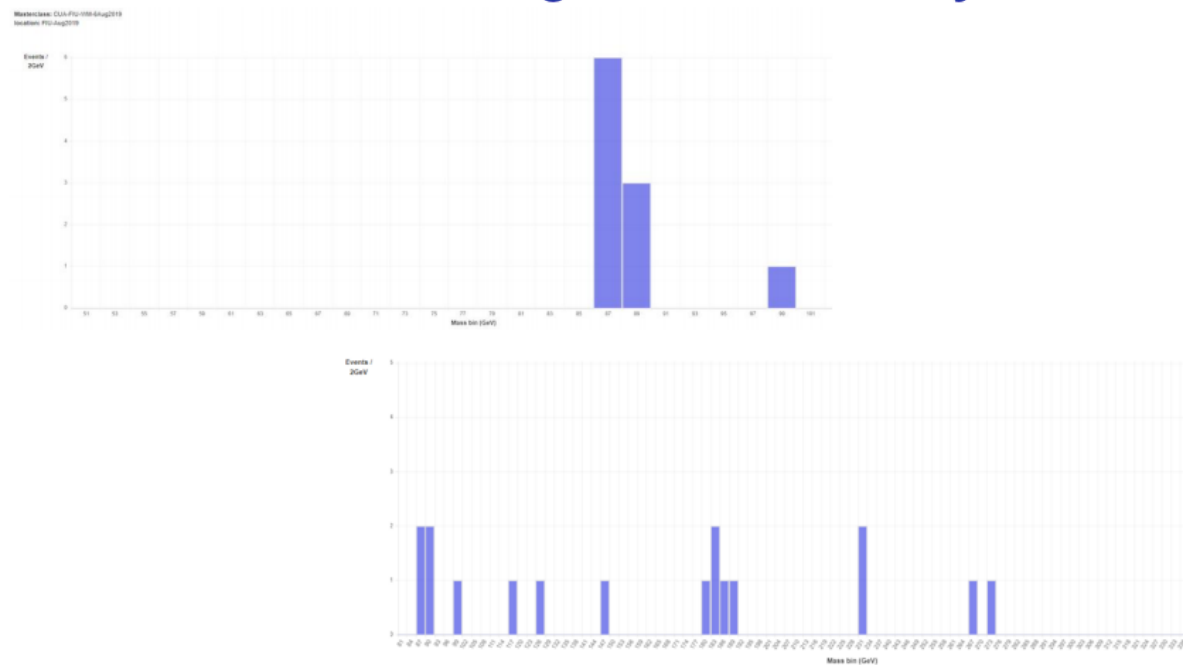
Masterclass: Event01
location: Table01
Group: 1

Select Event Event index: 14 Event number: 1-14	Final State ☐ e ν ☐ μ ν ☐ e e ☐ μ μ ☐ 4e ☐ 4 μ ☐ 2e 2 μ	Primary State Charged Particle: ☐ W ⁺ ☐ W ⁻ ☐ W $\pm$ ☐ Neutral Particle (Z, H) ☐ Zoo	Enter Mass GeV/c ² Next
--	--	--	--

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

Info pratiche: CIMA

CIMA costruisce automaticamente l'istogramma delle masse..



..e la tabella con i rapporti “chiave” (e/mu e W+/W-)

Back

Events Table (Group 21)

Mass Histogram (FIU-Aug2019)

Results (FIU-Aug2019)

Masterclass: CUA-FIU-WM-6Aug2019

location: FIU-Aug2019

Group	e	μ	W+	W-	W $\pm$	Neutral	Zoo	Total
21	26	32	21	21	0	13	0	55
22	41	46	24	38	1	16	1	80
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0
25	10	12	10	5	0	5	1	21
Total:								
Group	e	μ	W+	W-	W $\pm$	Neutral	Zoo	Total
All	77	90	55	64	1	34	2	156
Ratios:								
e/ μ	W+/W-							
0.92	0.86							

Assegnazione esercizi

Come primo approccio vorremmo assegnare 1 dataset per ogni scuola:

- 100.16 -> Campus "Leonardo Da Vinci", Umbertide
- 100.17 -> Liceo "Plinio il giovane", Citta' di Castello
- 100.18 -> Liceo Scientifico "G.Marconi", Foligno
- 100.19 -> Liceo Scientifico Statale "G. Alessi", Perugia

Confrontatevi, scambiarete idee e familiarizzate con l'esercizio

Contattateci via email per qualsiasi dubbio!

Discuteremo i risultati preliminari e risponderemo a vostre domande/dubbi al secondo incontro (giovedì 11/03)

Al secondo incontro assegneremo poi 50 eventi ad ogni studente da analizzare entro il giorno del collegamento con il CERN (15/03)