

Seconda lezione sulla fisica delle particelle

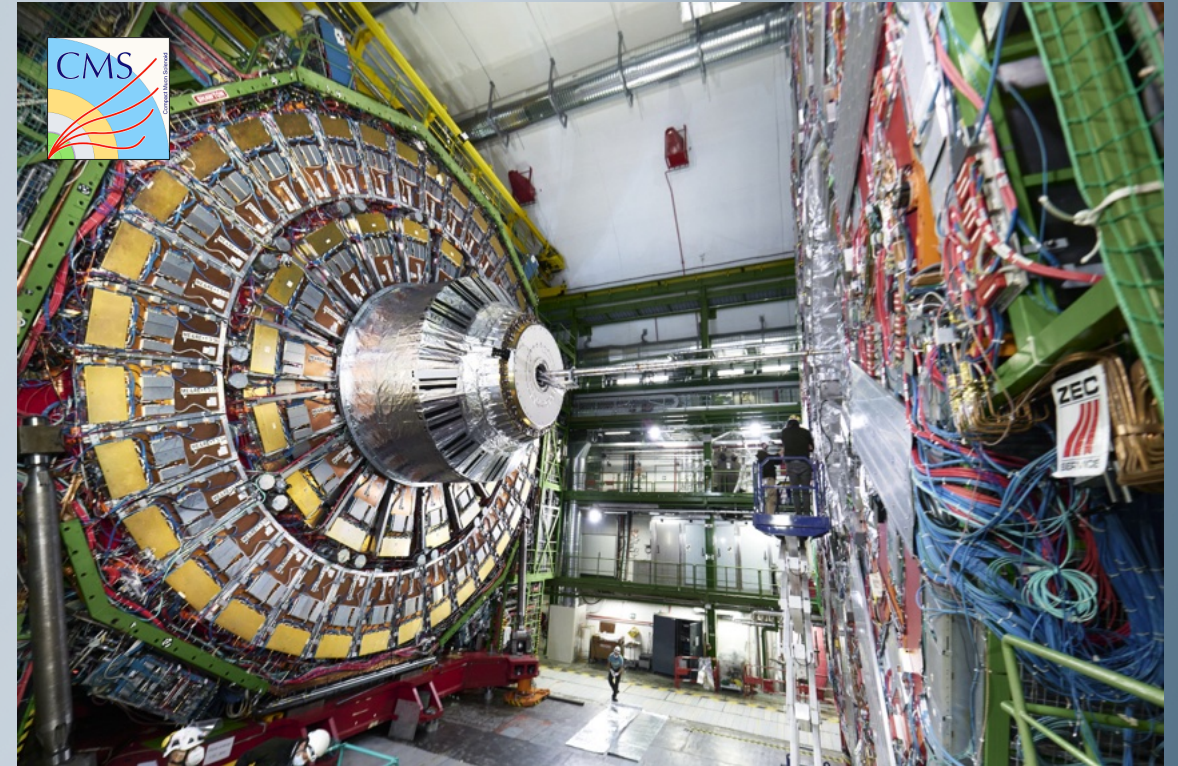
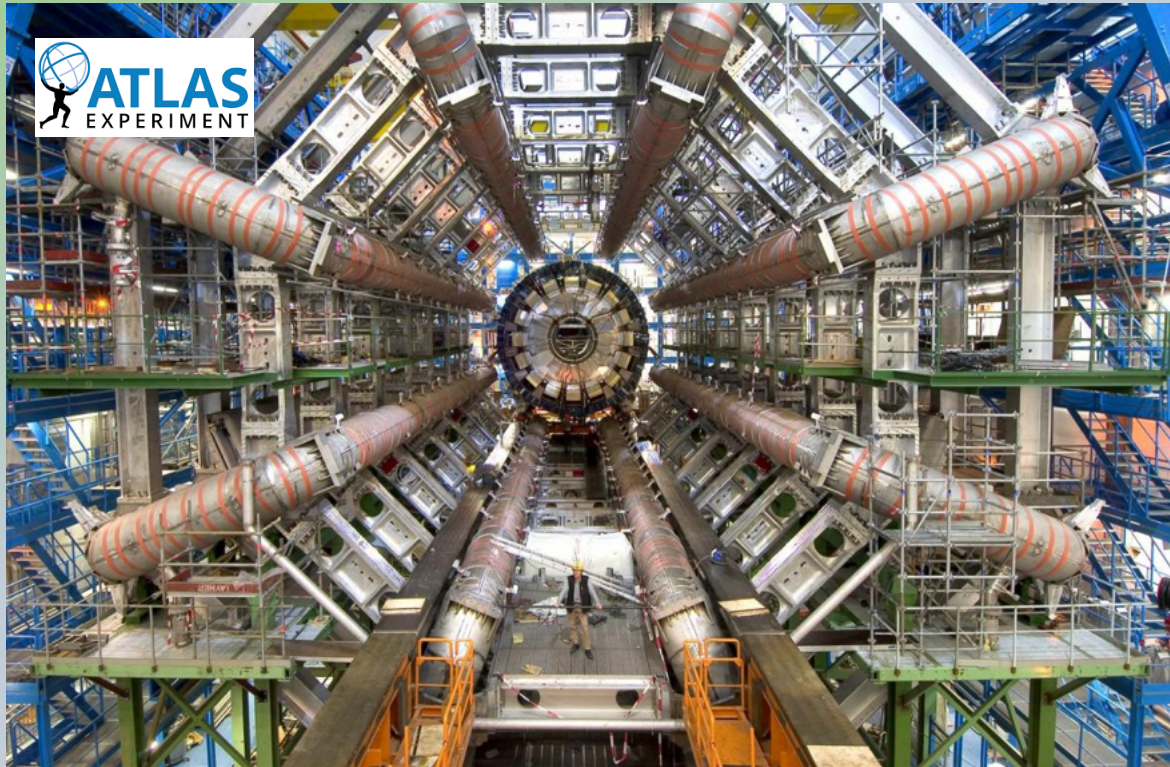
Tommaso Diotallevi
(Università di Bologna e INFN)

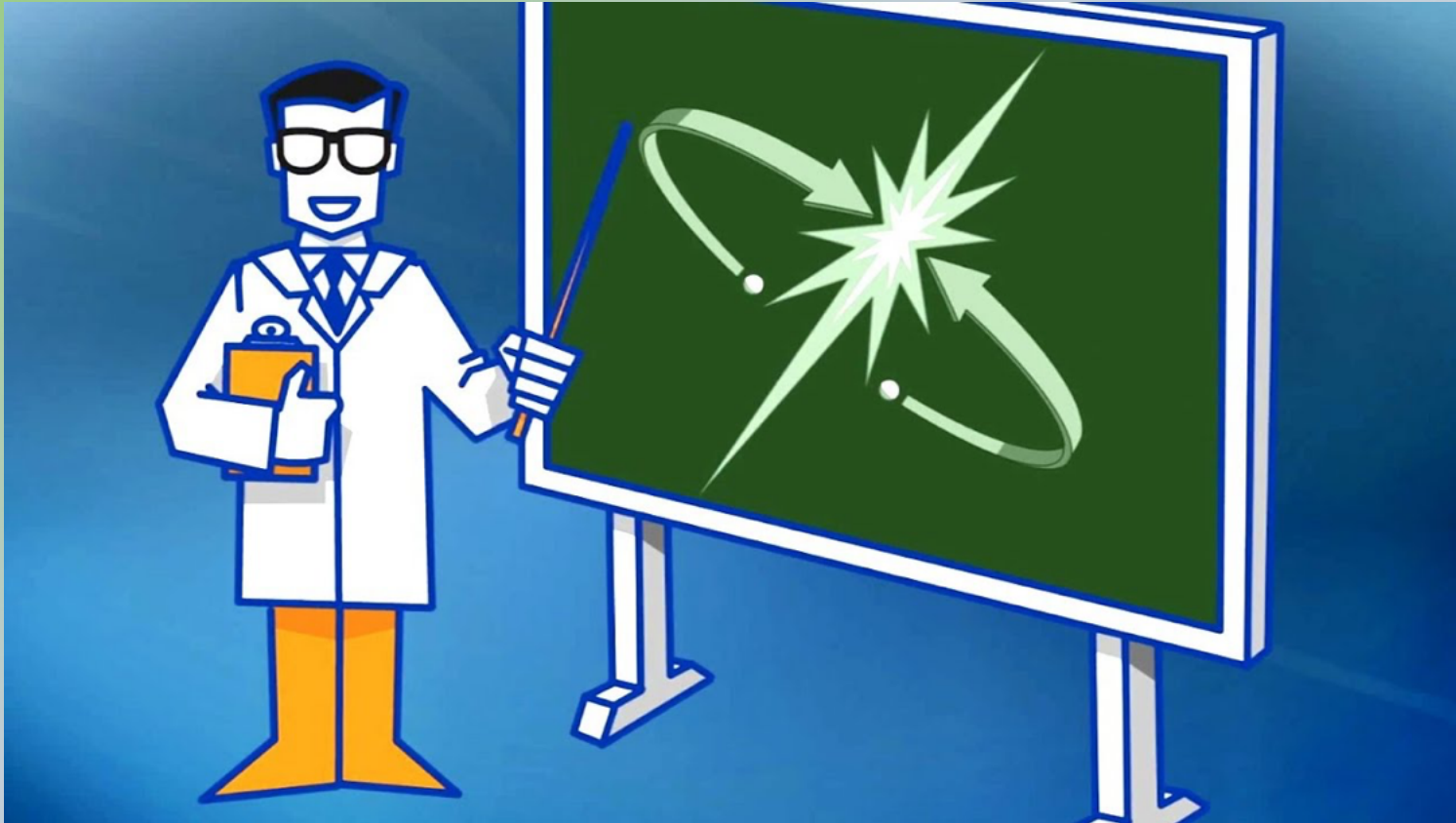


Programma di oggi

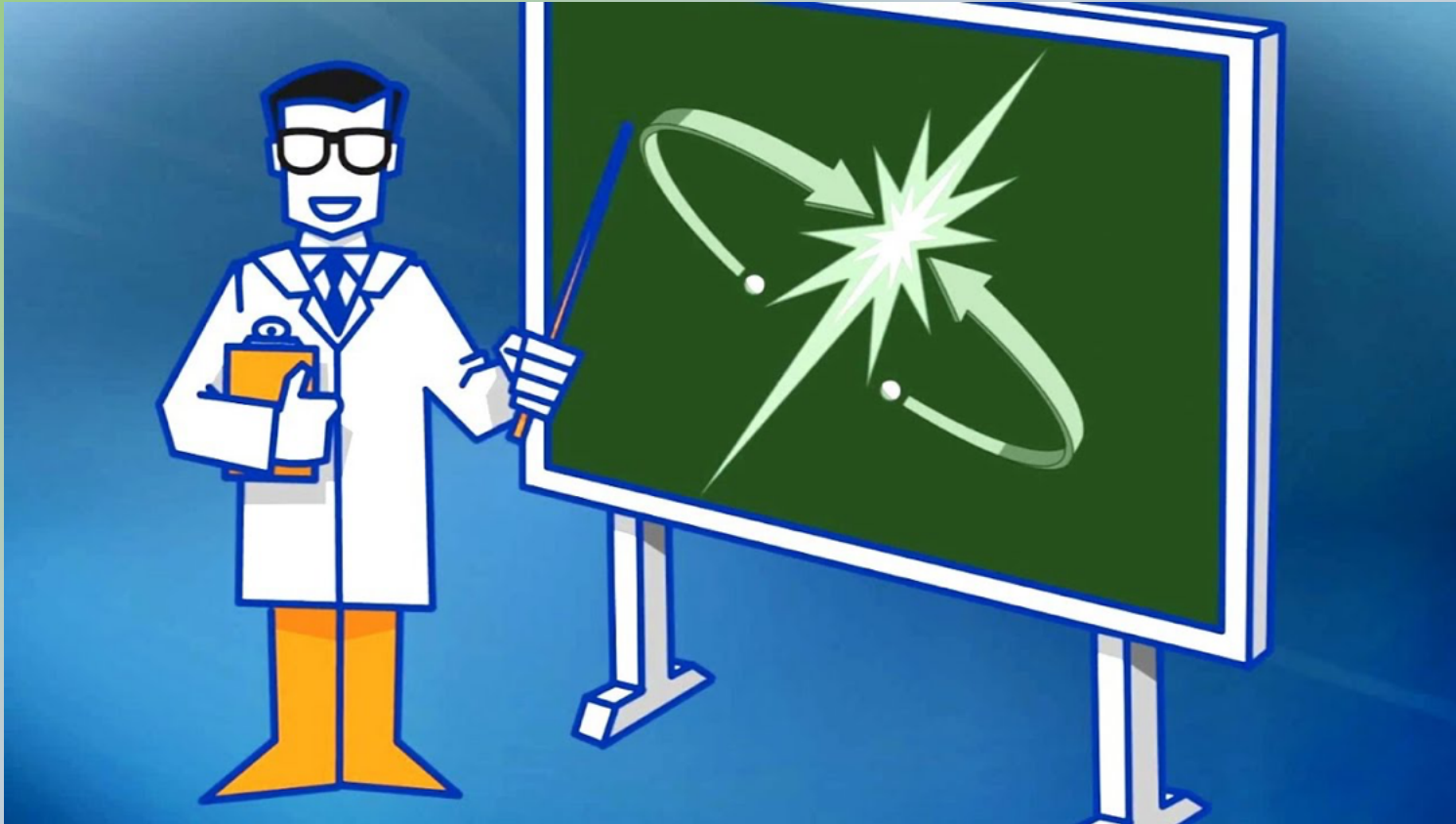
Orario	Argomento
ore 10:00	Benvenuto
ore 10:15	Lezione sulla fisica delle Particelle - prima parte
ore 11:15	Pausa
ore 11:30	Lezione sulla fisica delle Particelle - seconda parte
ore 12:30	Pranzo
ore 13:30	Preparazione per gli esercizi
ore 14:00	Risoluzione degli esercizi in autonomia
ore 15:30	Discussione sul lavoro svolto
ore 16:00	Collegamento con il CERN/GSI
ore 17:30	Fine

Rivelare le particelle





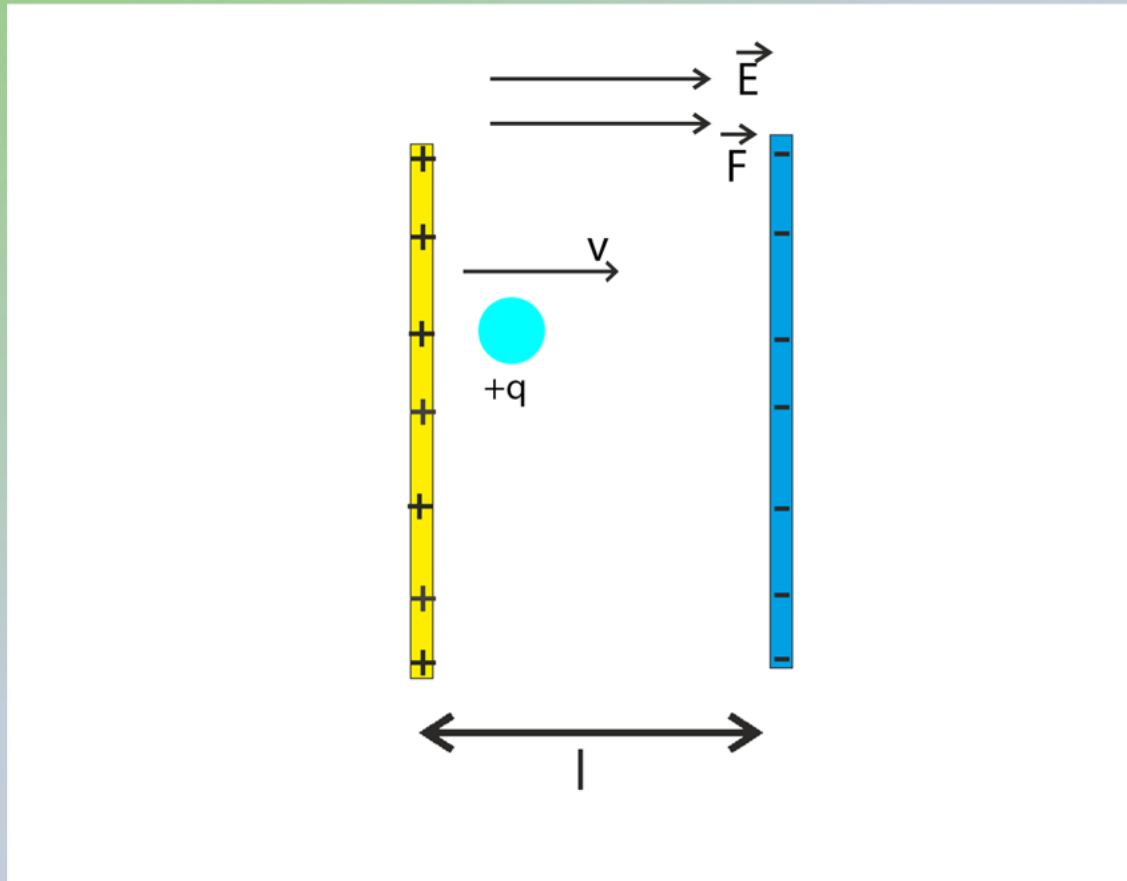
Come funziona un
esperimento di fisica delle
particelle agli acceleratori?



Le particelle vanno:

- **Accelerate** (es. LHC);
- **Fatte scontrare tra loro**;
- **Rivelate negli esperimenti** (es. ATLAS).

Accelerare particelle (cariche)

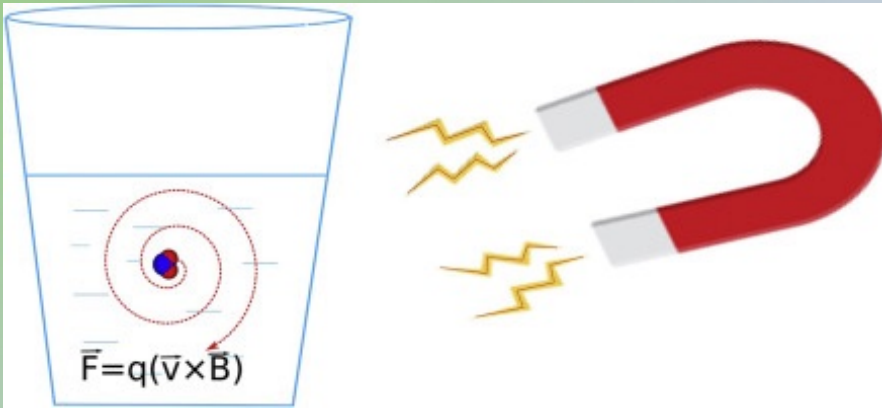


- In presenza di un campo elettrico, una particella carica risente di una forza:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

- Per mezzo di questa forza, la particella accelera!
- L'energia di una particella, in fisica delle particelle, si misura in elettronVolt (eV):
 - Energia guadagnata (o persa) da un elettrone tra due punti dove vi è $\Delta V = 1V$

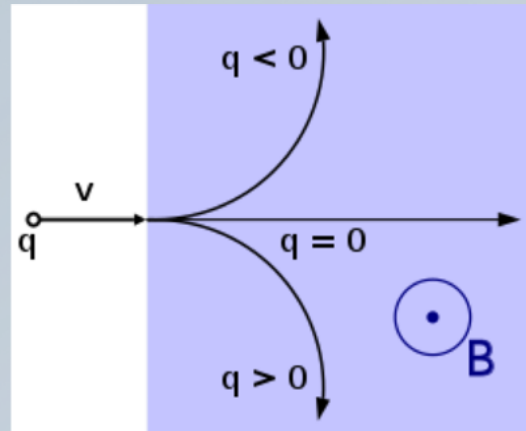
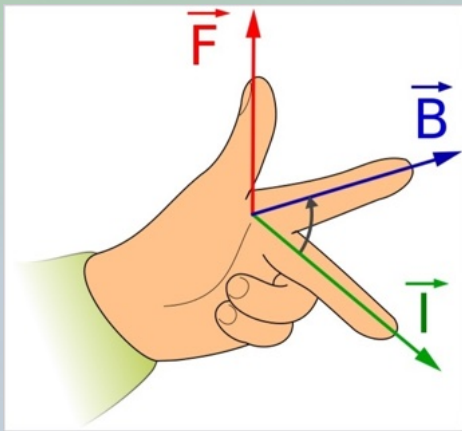
Curvare particelle (cariche)



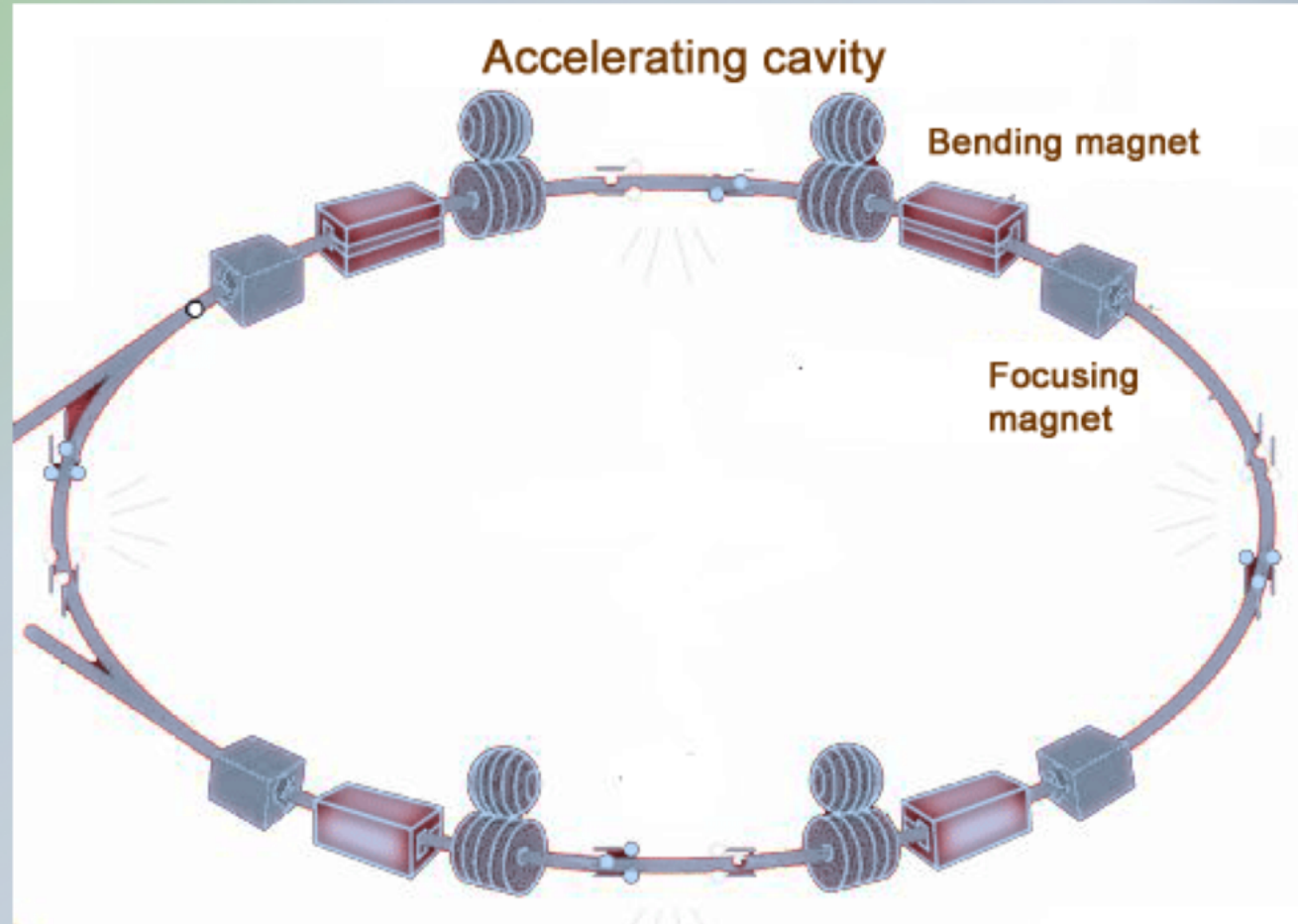
- Un campo magnetico curva la traiettoria di una particella carica:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{b})$$

- Il raggio di curvatura dipende poi dal tipo di particella e dal suo momento.



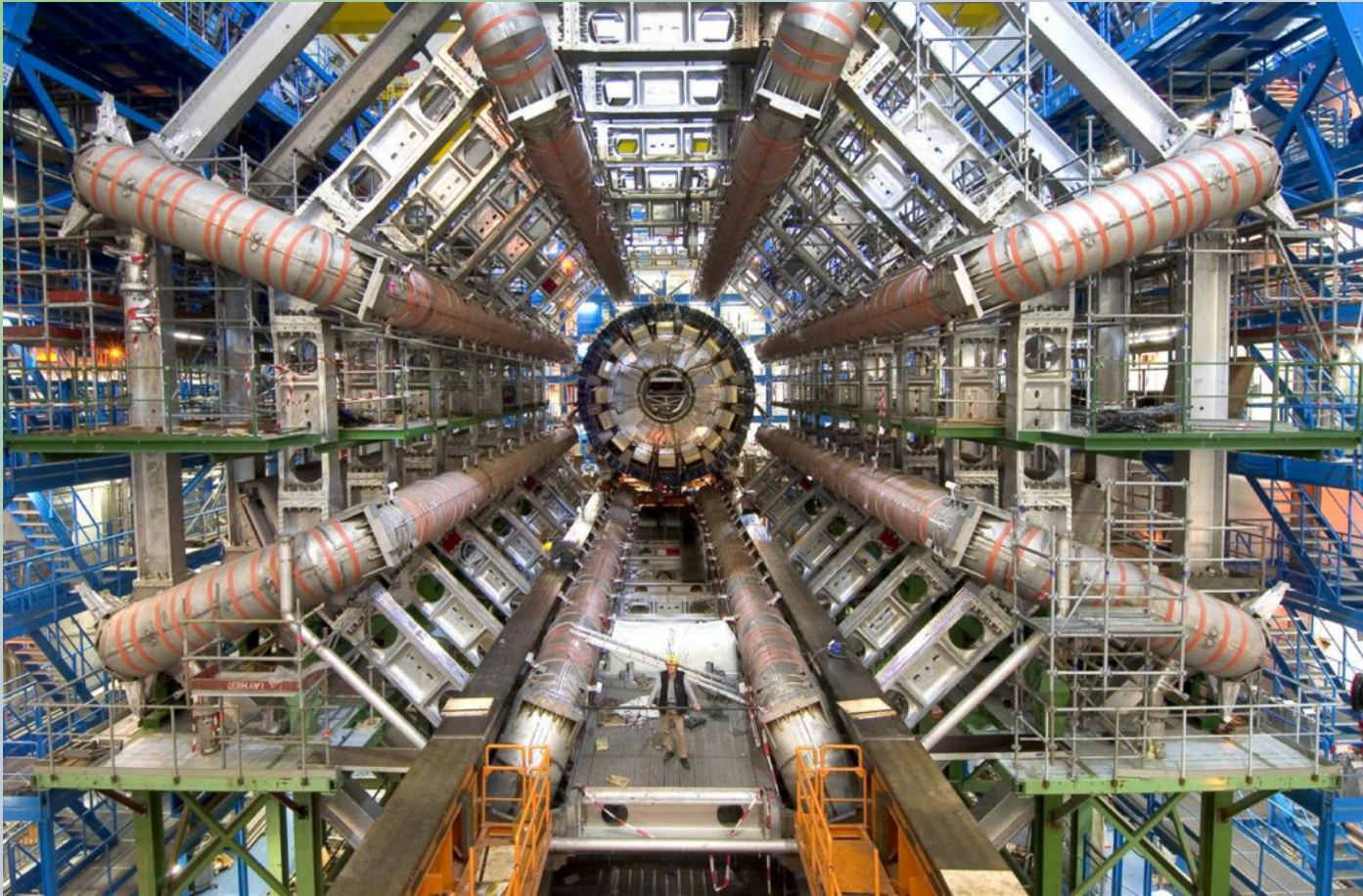
Come funziona un acceleratore?



Pensando più in grande...

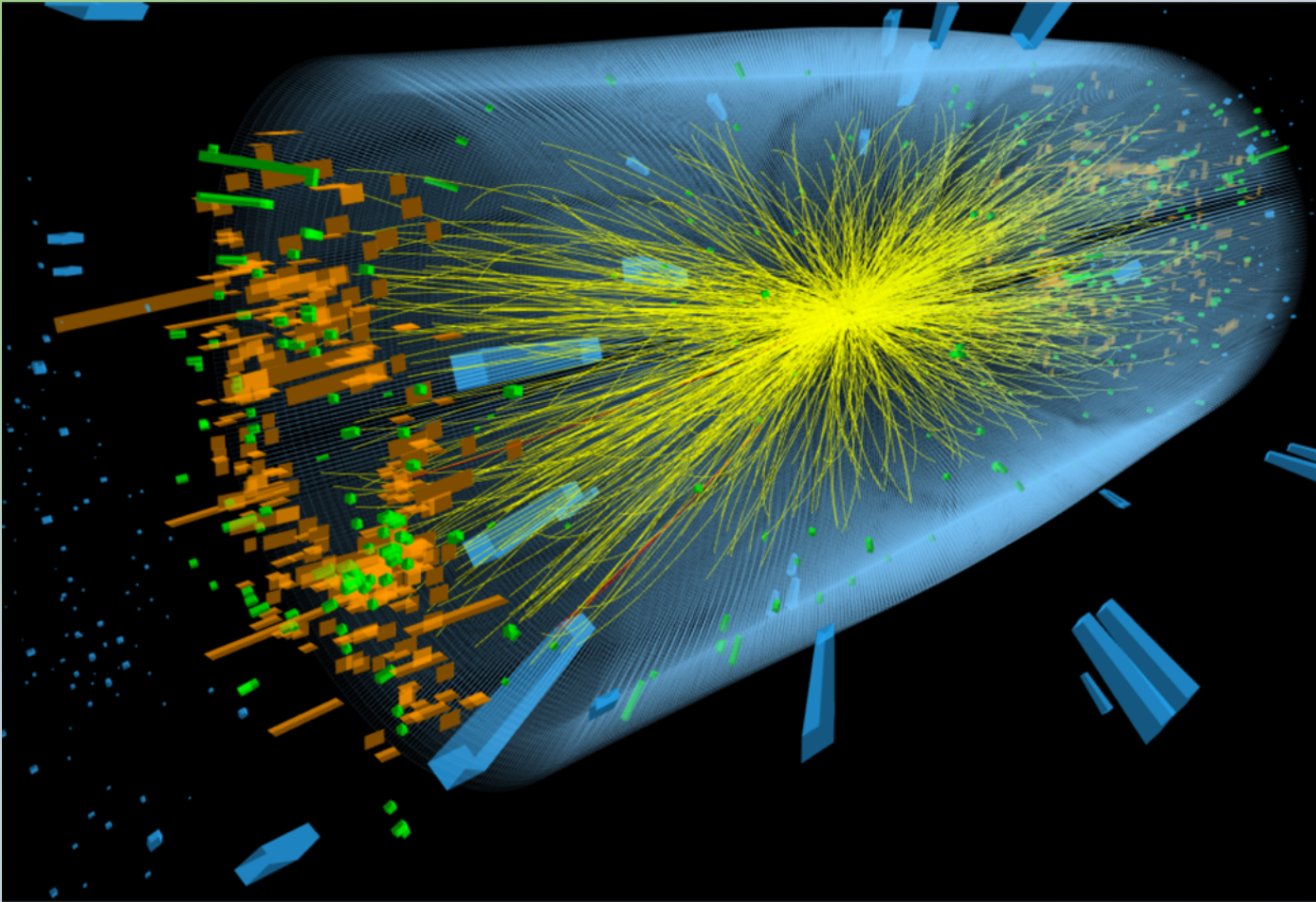


Rivelare particelle



- Una volta accelerate e fatte circolare lungo un anello, vengono fatte collidere attorno a delle grandi «*macchine fotografiche*»

Rivelare particelle



- Una volta accelerate e fatte circolare lungo un anello, vengono fatte collidere attorno a delle grandi «*macchine fotografiche*»
- Come possiamo «vedere» le particelle?

Rivelare particelle



Vedere qualcosa tramite
l'interazione con il mezzo
circostante

Ricostruire le tracce

Esempio:

- **Camera a bolle:** volume riempito da idrogeno liquido.

Quando una particella attraversa la camera, ionizza il mezzo in cui passano.

Se immerso in un campo magnetico, si osservano percorsi spiraleggianti.

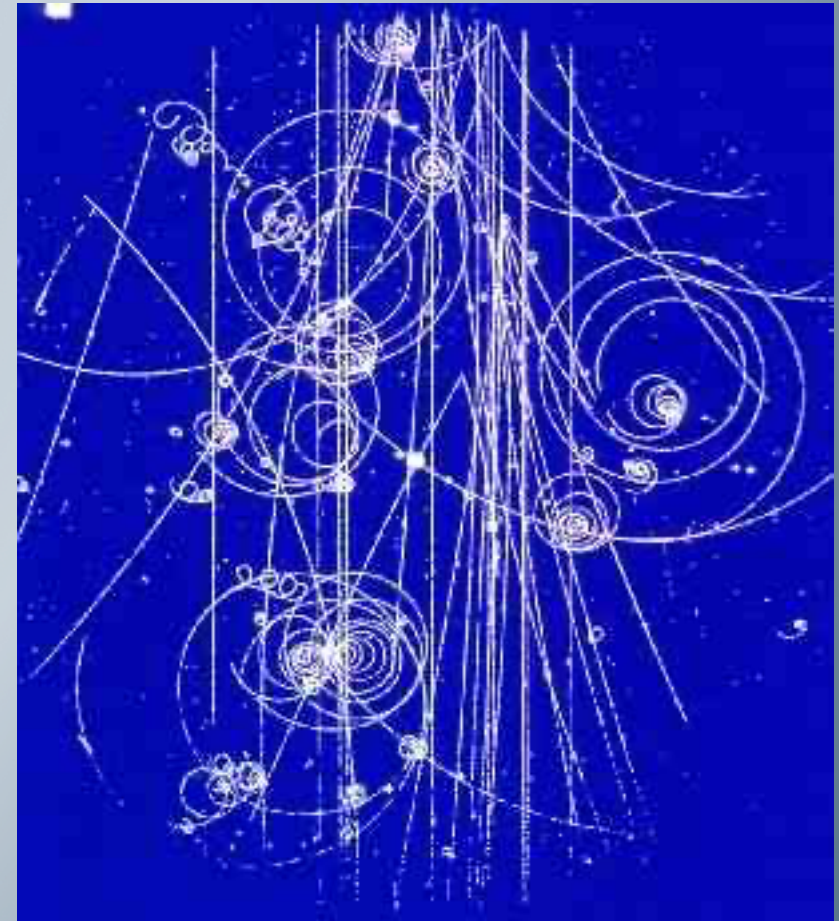
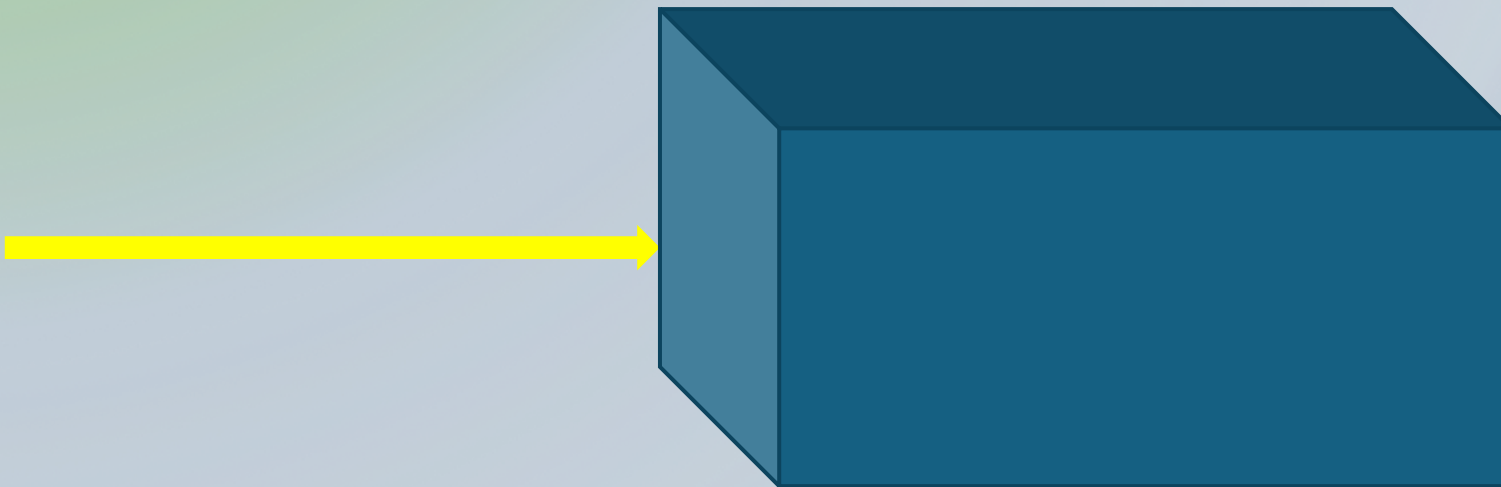


Image credits: CERN

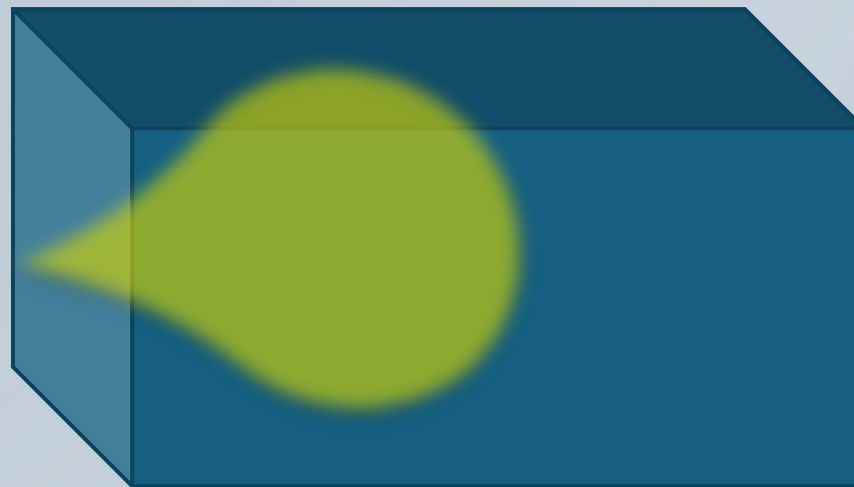
E per misurare l'energia?

Per la misura dell'energia, si utilizzano dei rivelatori chiamati **calorimetri**



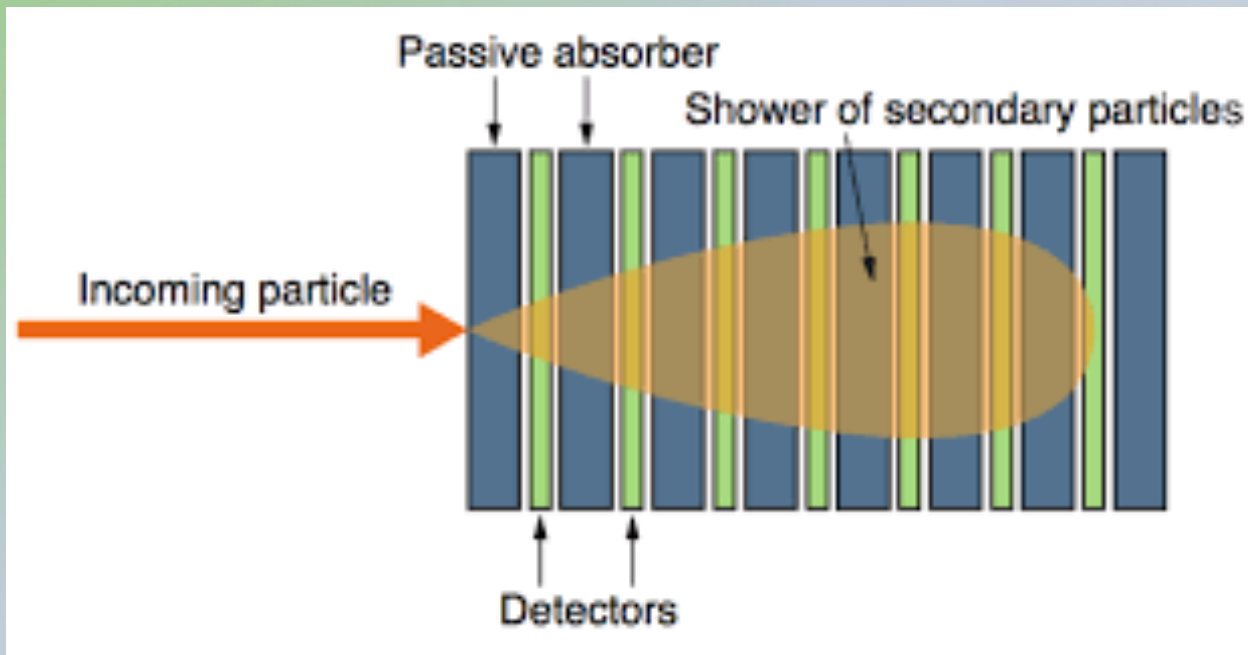
E per misurare l'energia?

Per la misura dell'energia, si utilizzano dei rivelatori chiamati **calorimetri**



La particella si scontra con il materiale del rivelatore. La particella incidente viene «distrutta»

E per misurare l'energia?

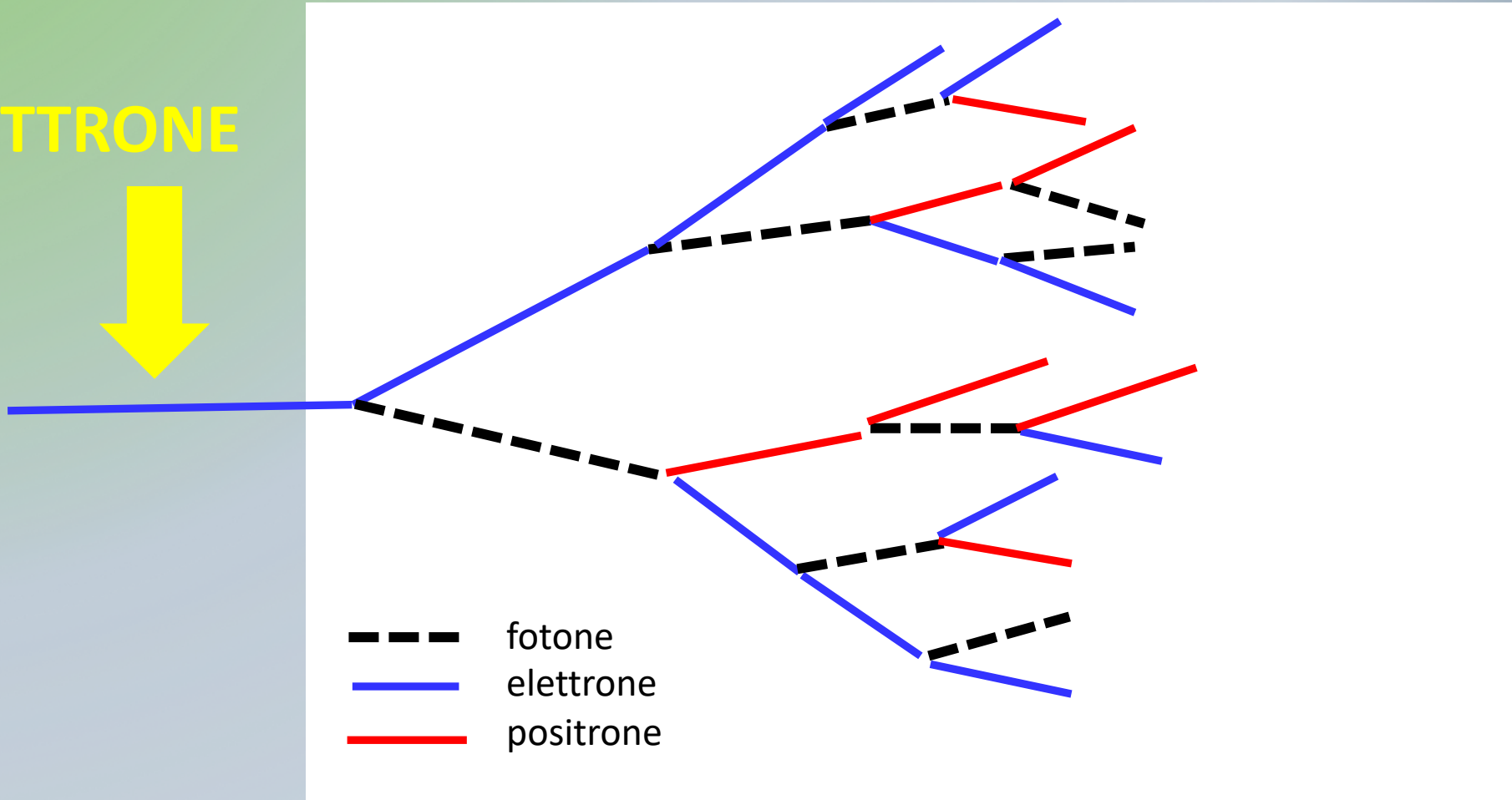


Le collisioni danno luogo a una **pioggia di particelle secondarie** e l'energia della particella originale viene assorbita* nel calorimetro.

*alcune particelle sopravvivono anche ai calorimetri

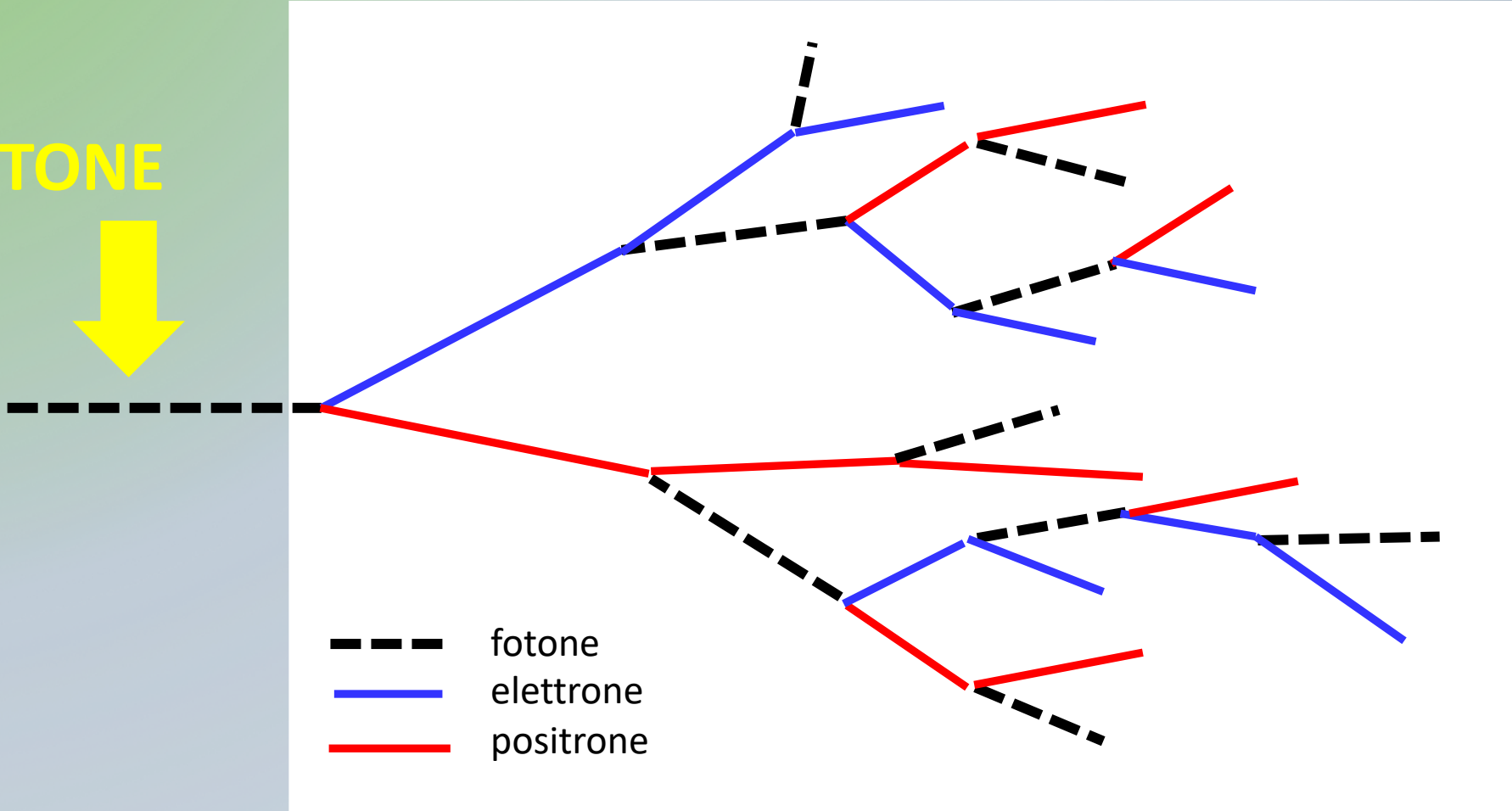
E per misurare l'energia?

ELETTRONE



E per misurare l'energia?

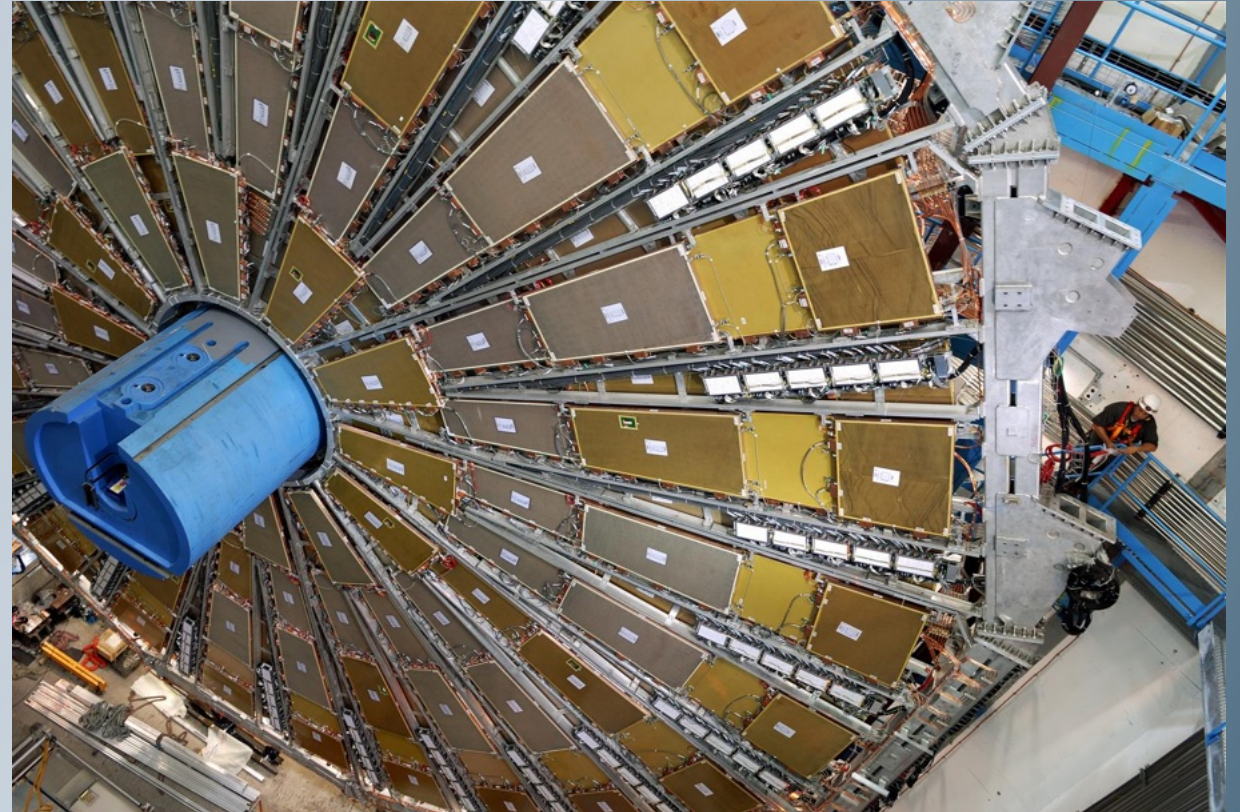
FOTONE

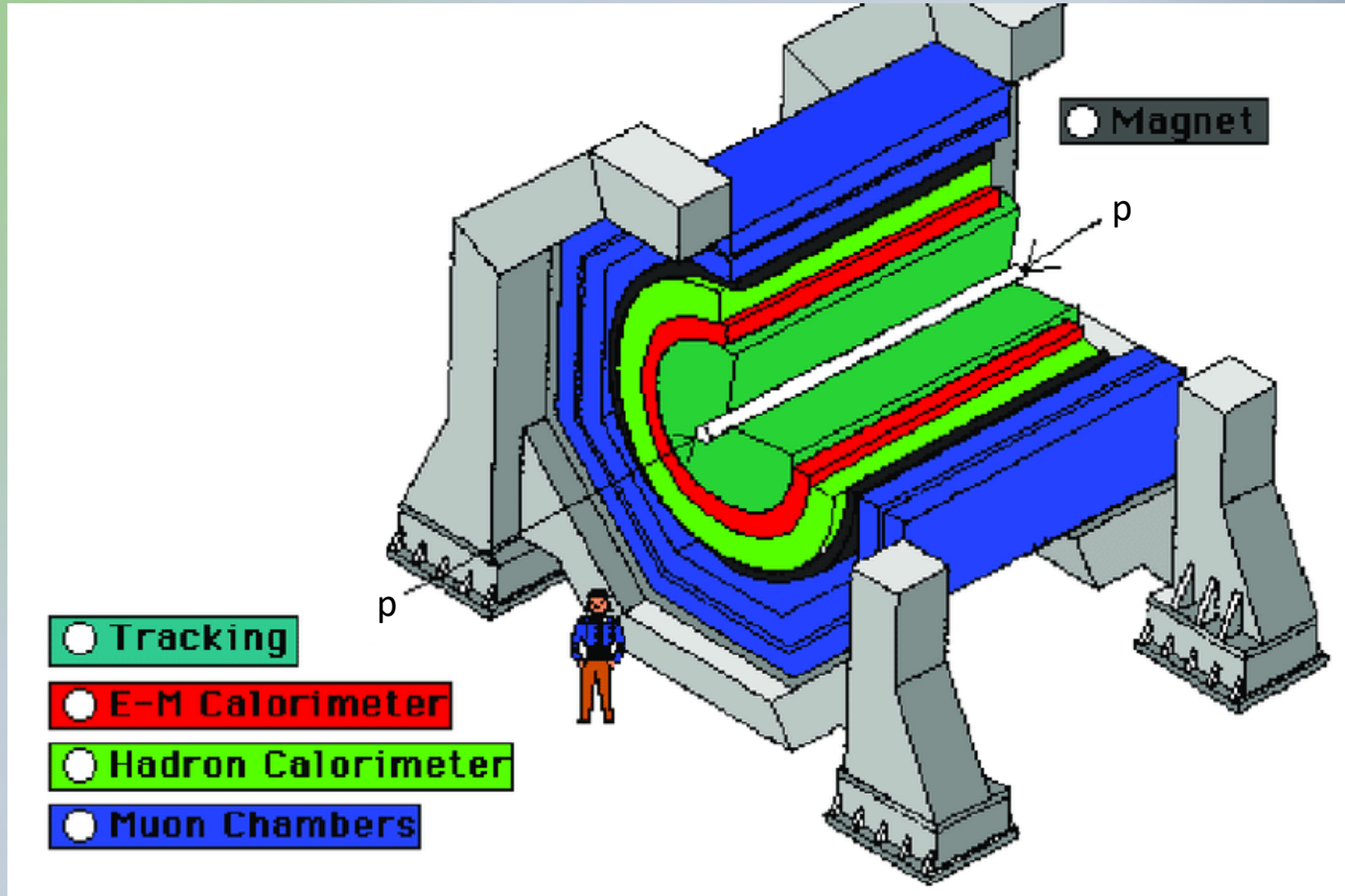


Rivelatori di muoni








Il **muone** è il «fratello pesante» dell'elettrone, con una massa circa 200 volte superiore.

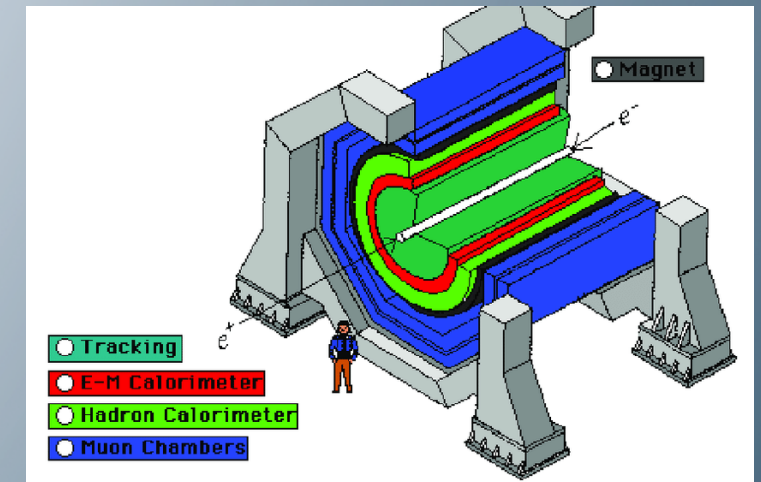
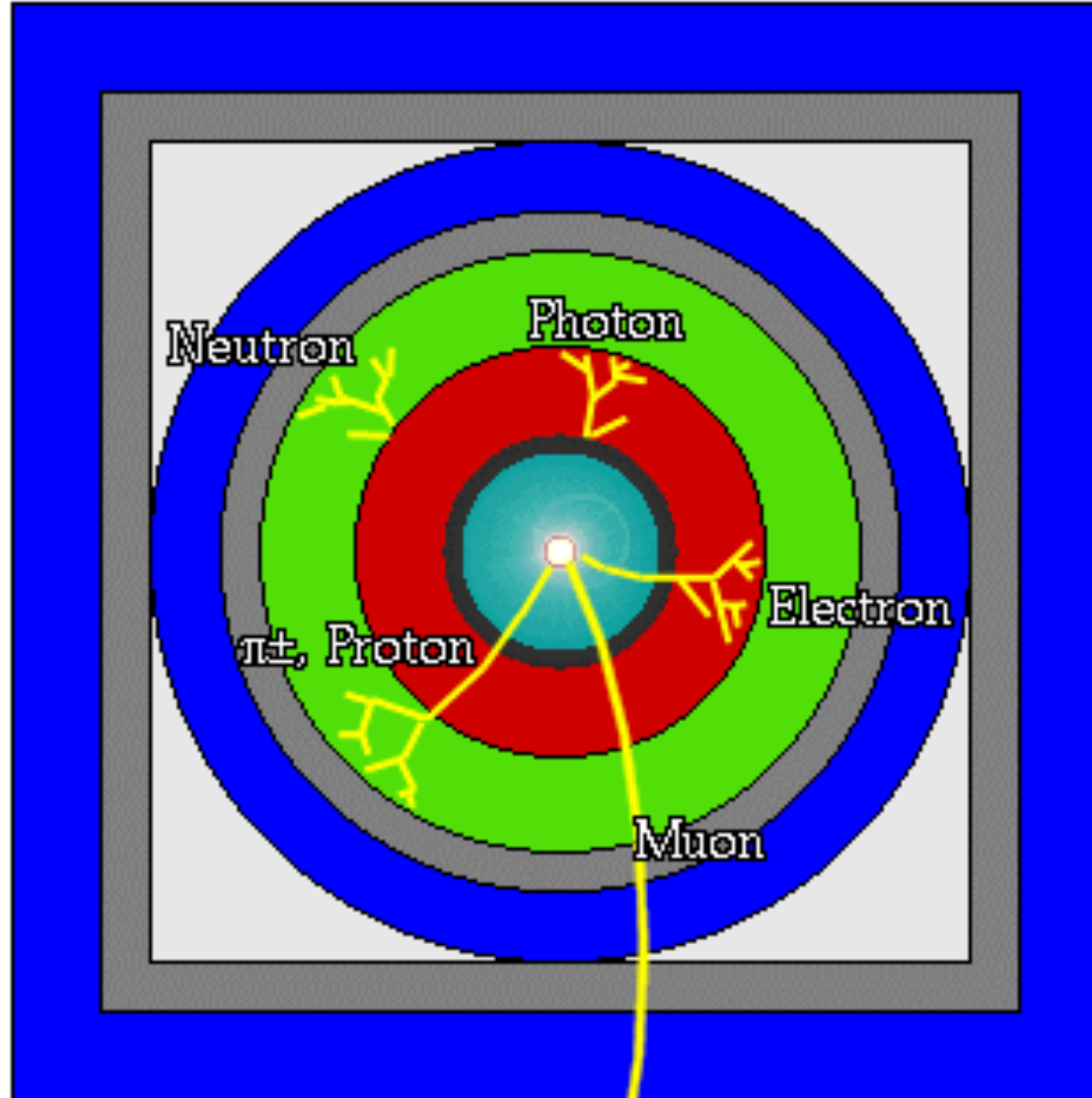
I rivelatori dedicati a queste particelle sono solitamente posizionati nella parte più esterna, in quanto riescono a passare tutti gli strati più interni senza perdite significative di energia.





A detector cross-section, showing particle paths

-  Beam Pipe (center)
-  Tracking Chamber
-  Magnet Coil
-  E-M Calorimeter
-  Hadron Calorimeter
-  Magnetized Iron
-  Muon Chambers



Non manca più nessuno?

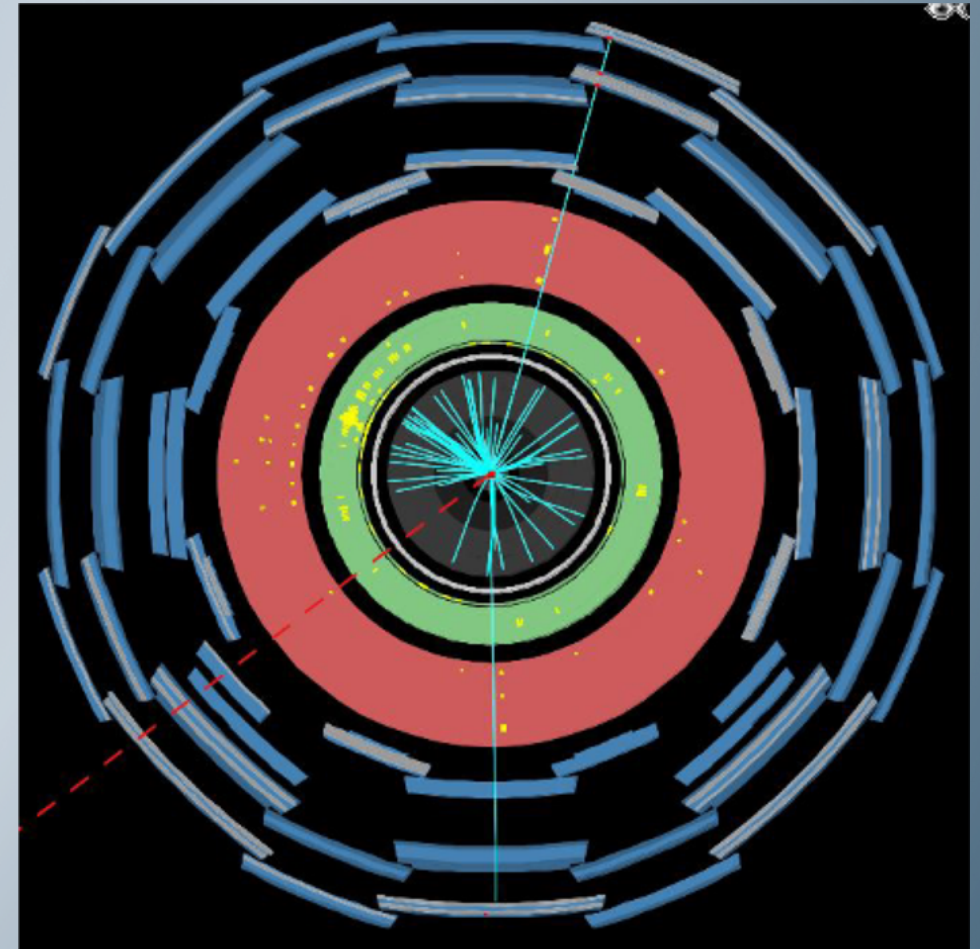
Manca solamente una particella all'appello:

- Il neutrino (ν)!

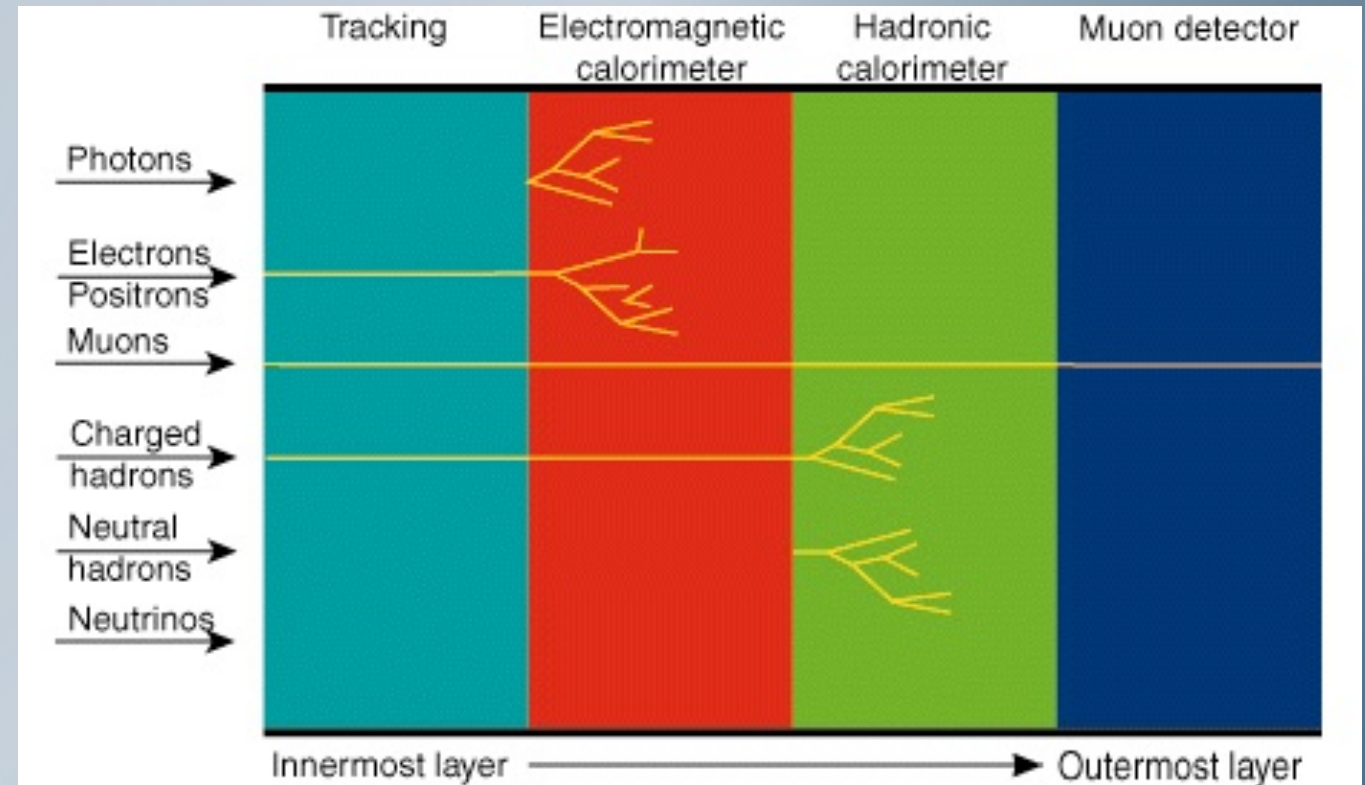
Particella teoricamente priva di massa, interagisce solo debolmente.

Combinazione terribile per i fisici delle particelle: difficilissimo da rivelare!

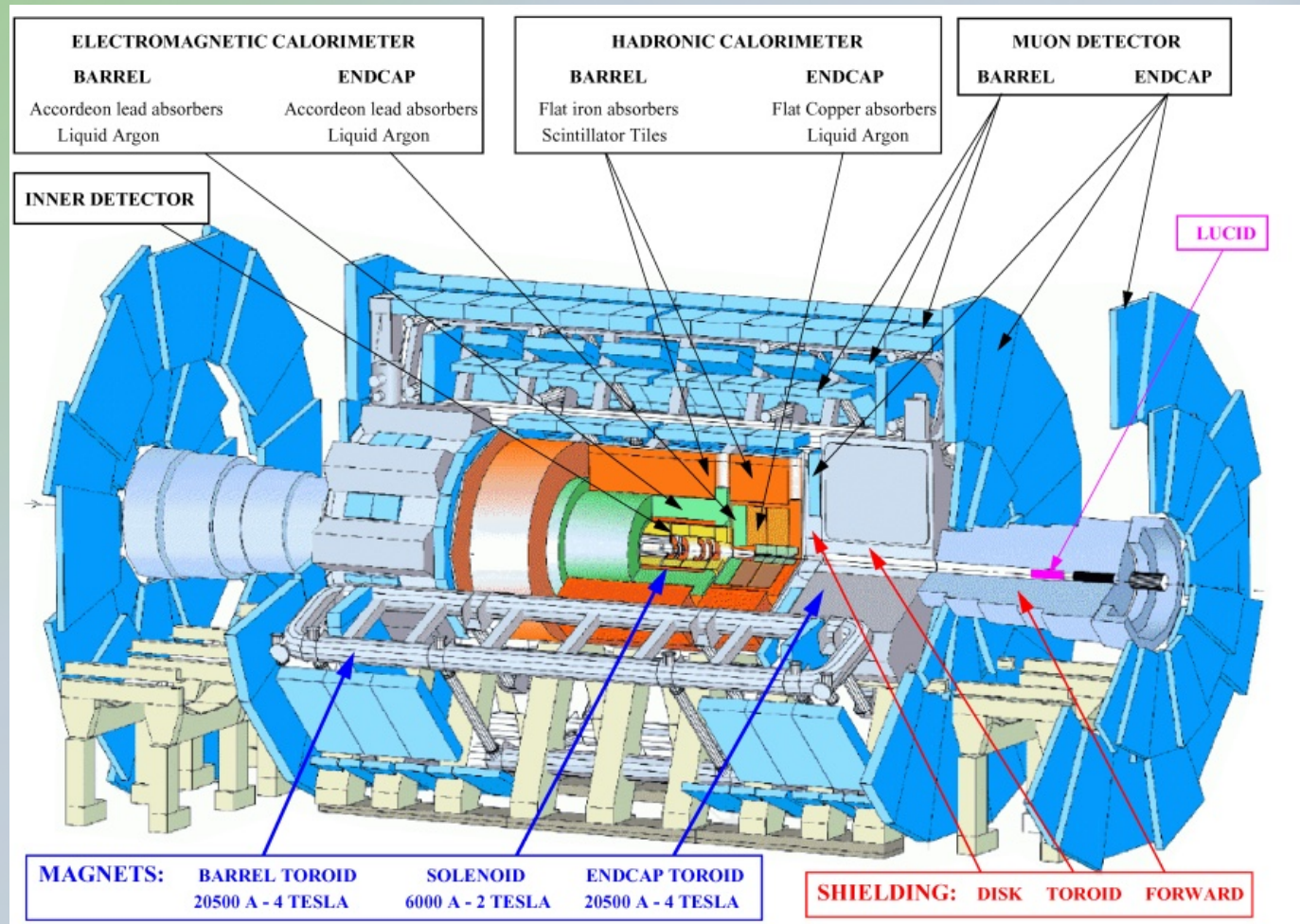
Rivelazione solo indiretta: se manca dell'energia all'appello (missing energy), si assume l'abbiano portata via i neutrini!



	Traccia	Calorimetri	Camere μ
Elettrone	SI	SI	NO
Positrone	SI	SI	NO
Fotone	NO	SI	NO
Muone	SI	NO	SI
Altre particelle cariche	SI	SI	NO
Altre particelle neutre	NO	SI	NO
Neutrini	NO	NO	NO

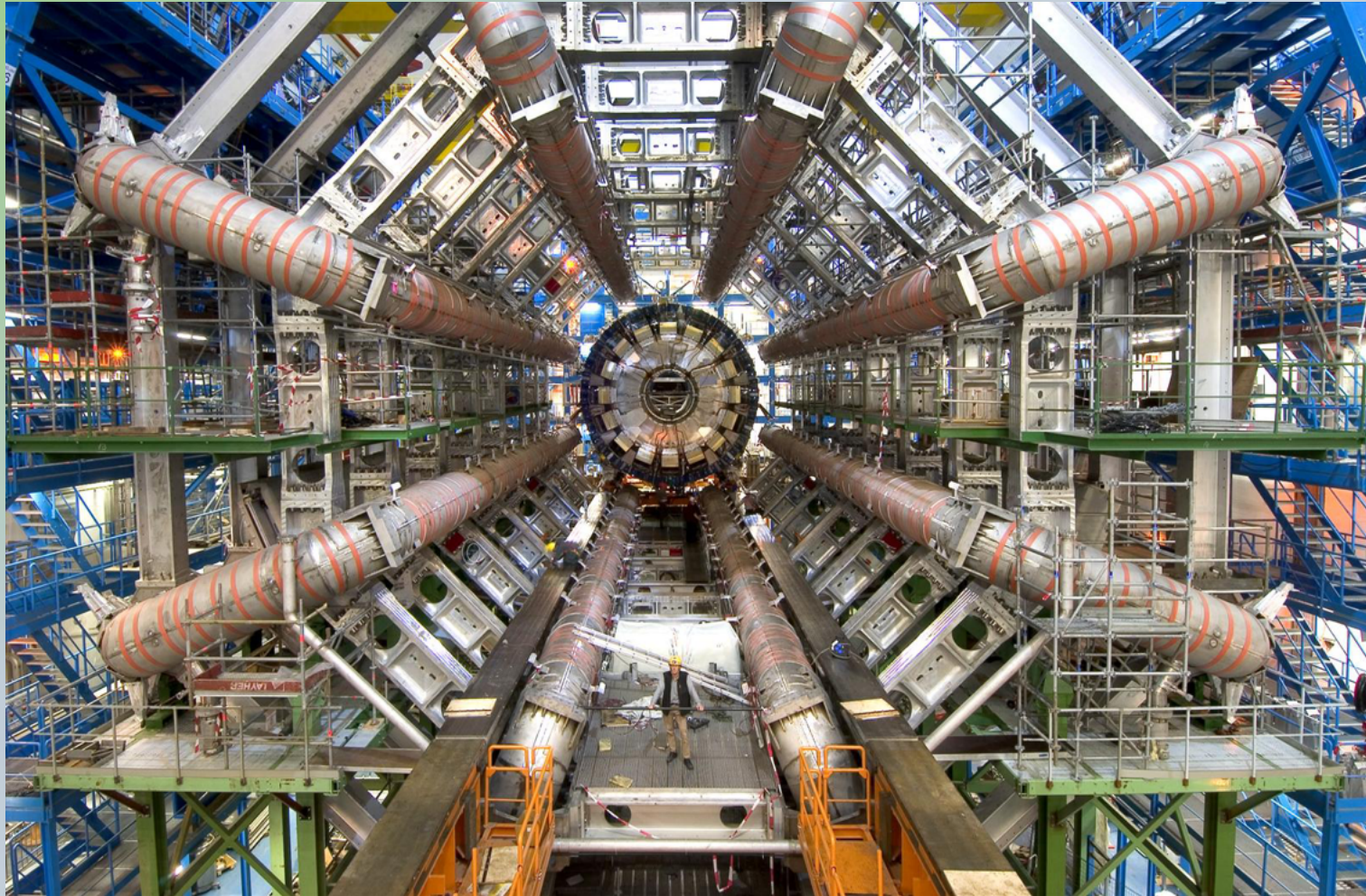


Esperimento ATLAS*



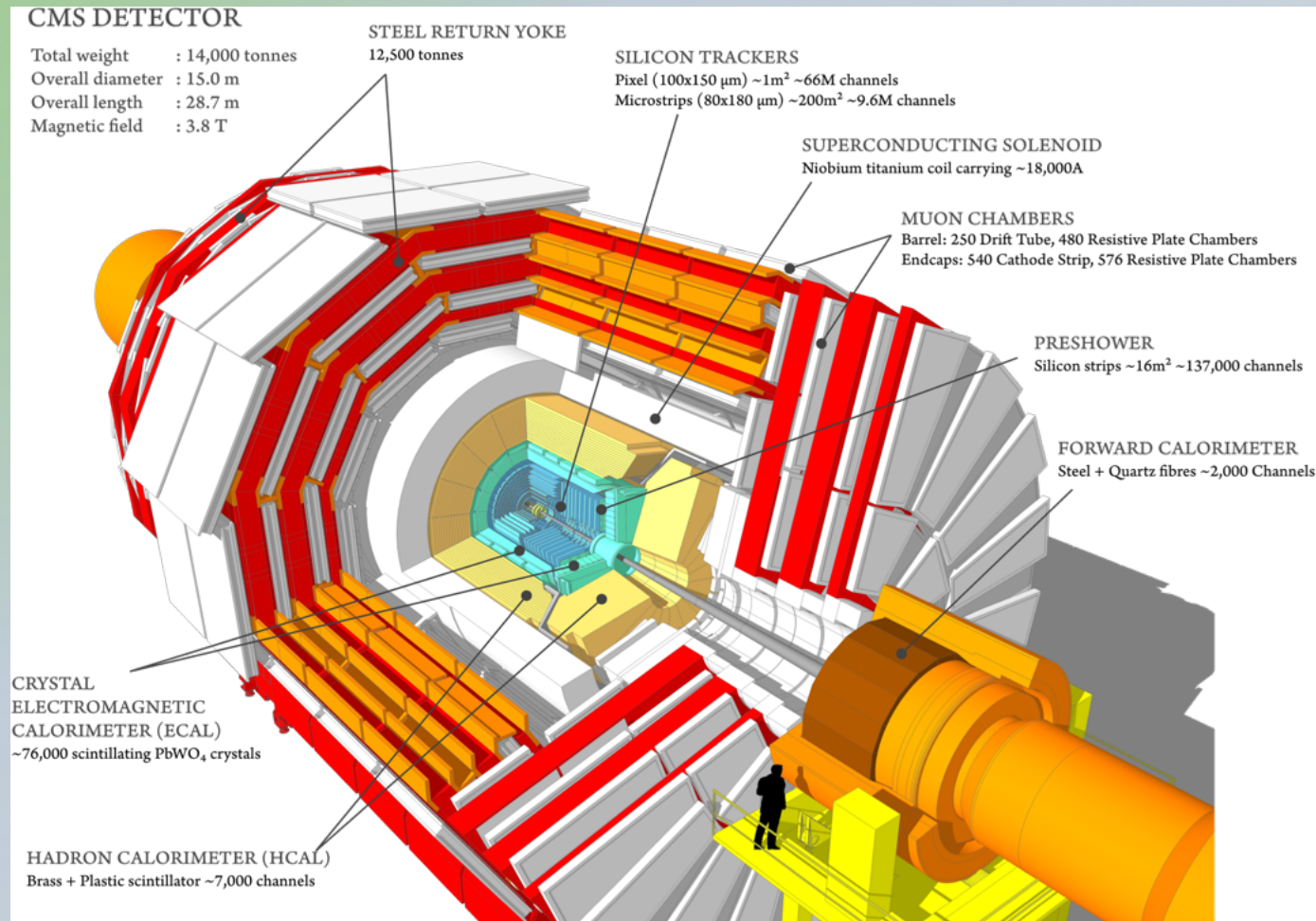
*A Toroidal LHC ApparatuS

Esperimento ATLAS*



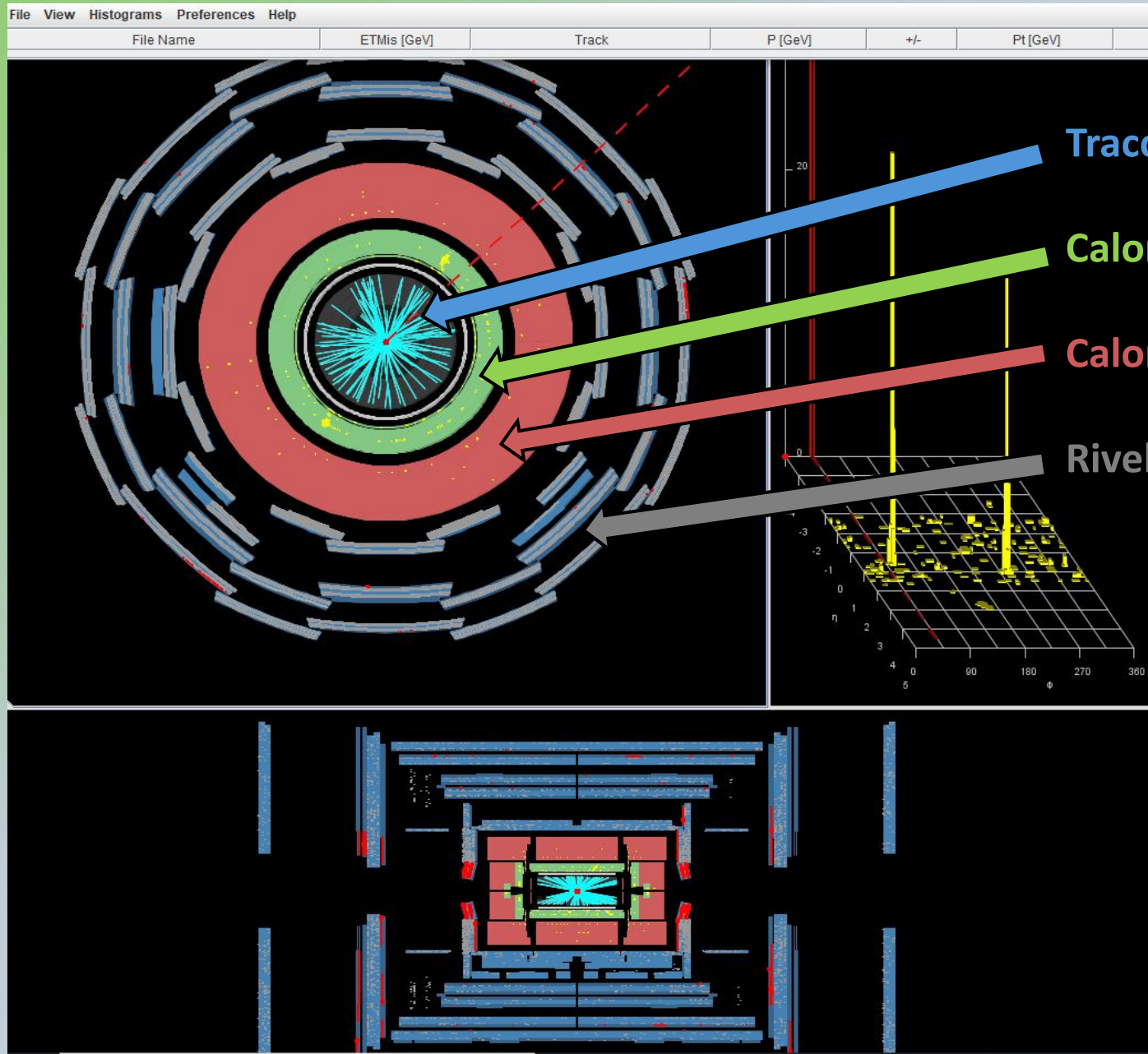
*A Toroidal LHC ApparatuS

Esperimento CMS*



*Compact Muon Solenoid

Cosa vedrete durante gli
esercizi?

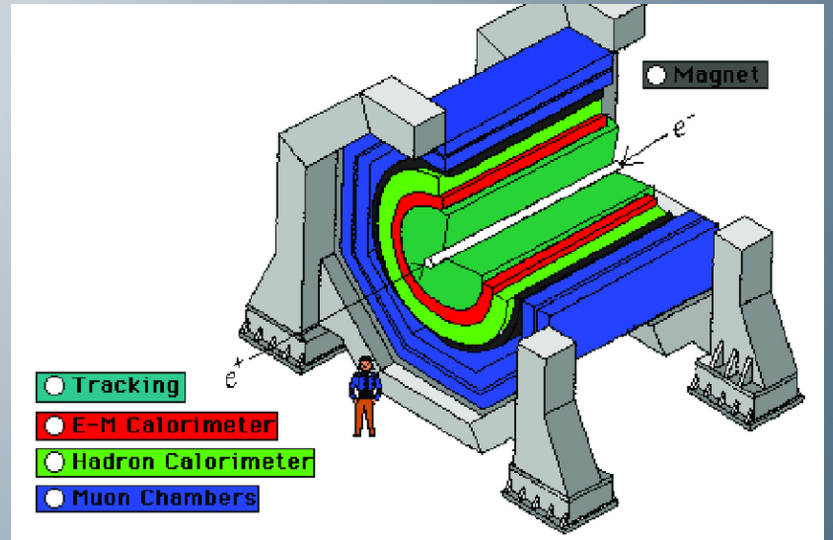


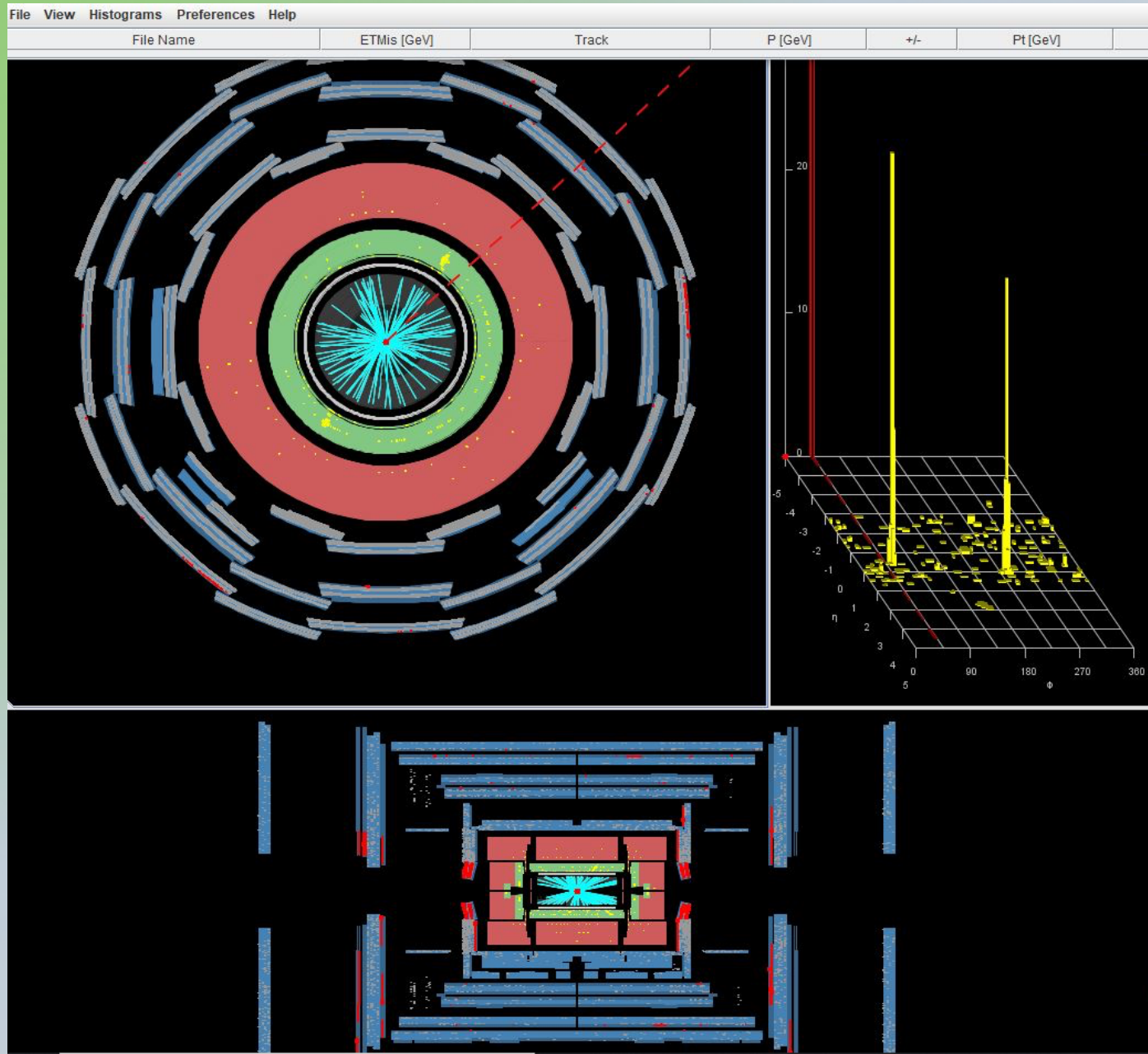
Tracciatore

Calorimetro EM.

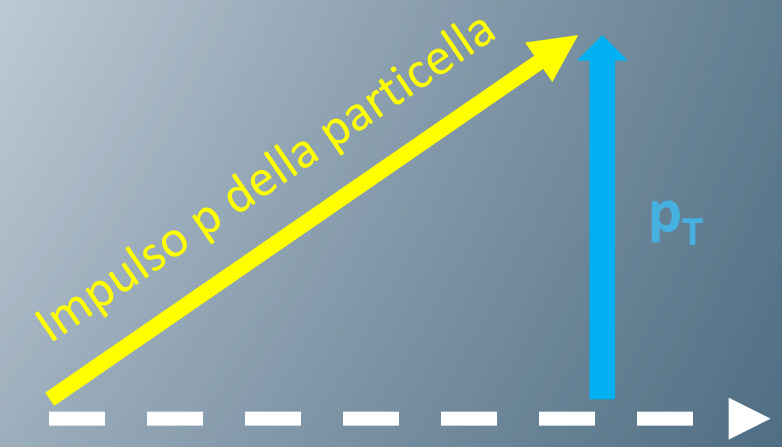
Calorimetro adronico

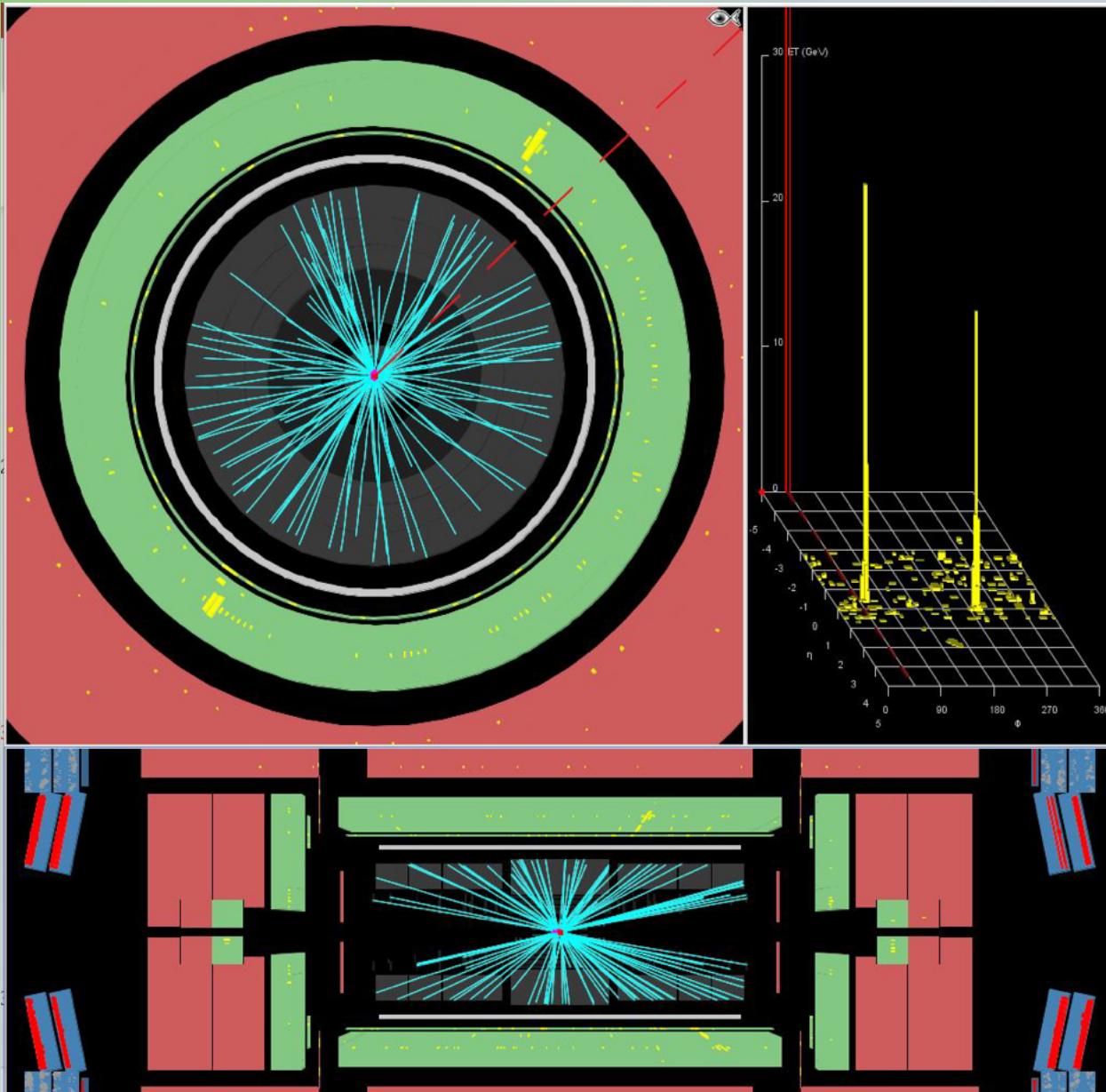
Rivelatore di Muoni



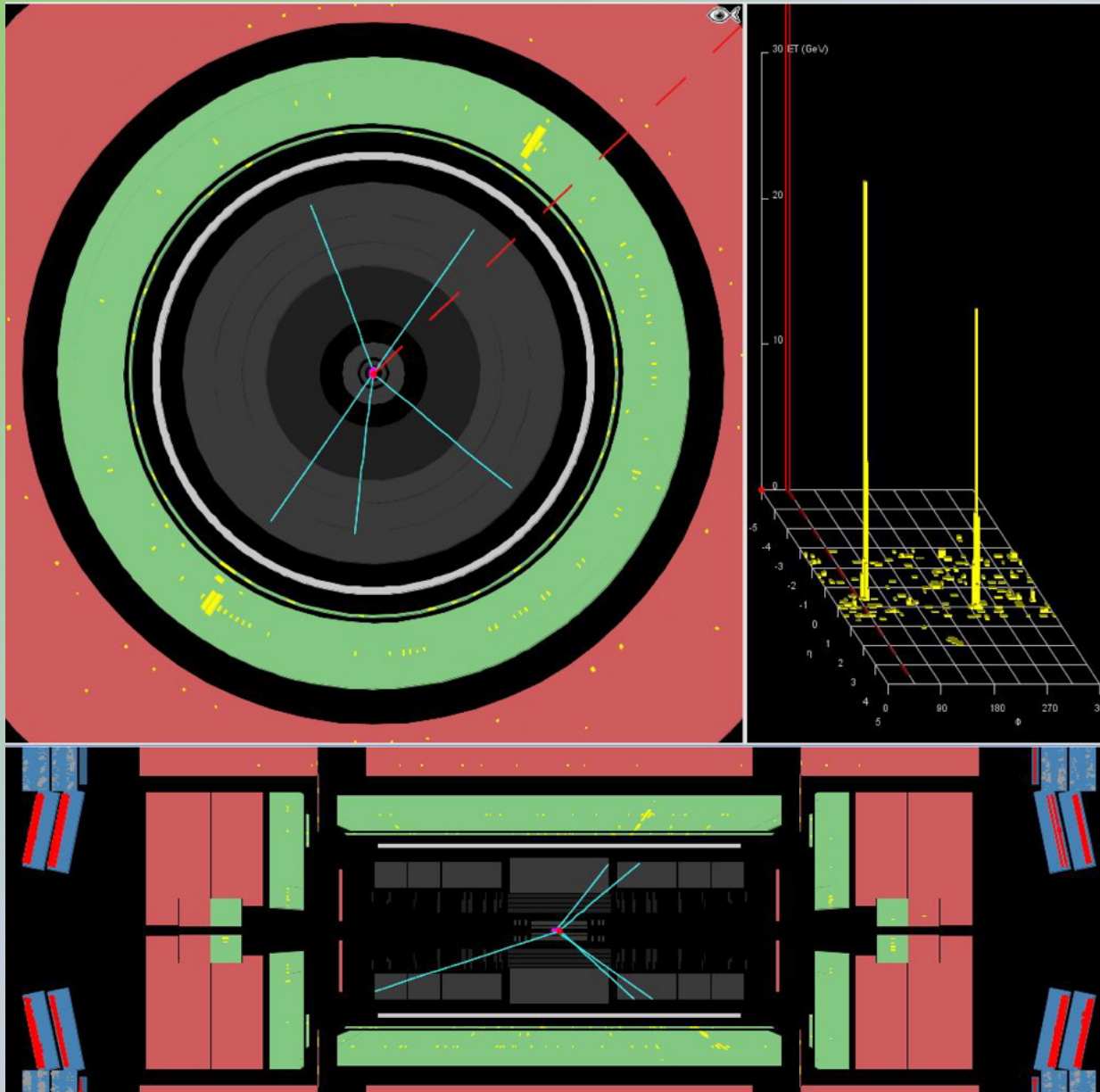


- Troppe tracce... come posso filtrarle?
- Ricordate il momento trasverso p_T ?
 - Il default è $p_T > 1$ GeV. Alziamo il minimo a 10 GeV.

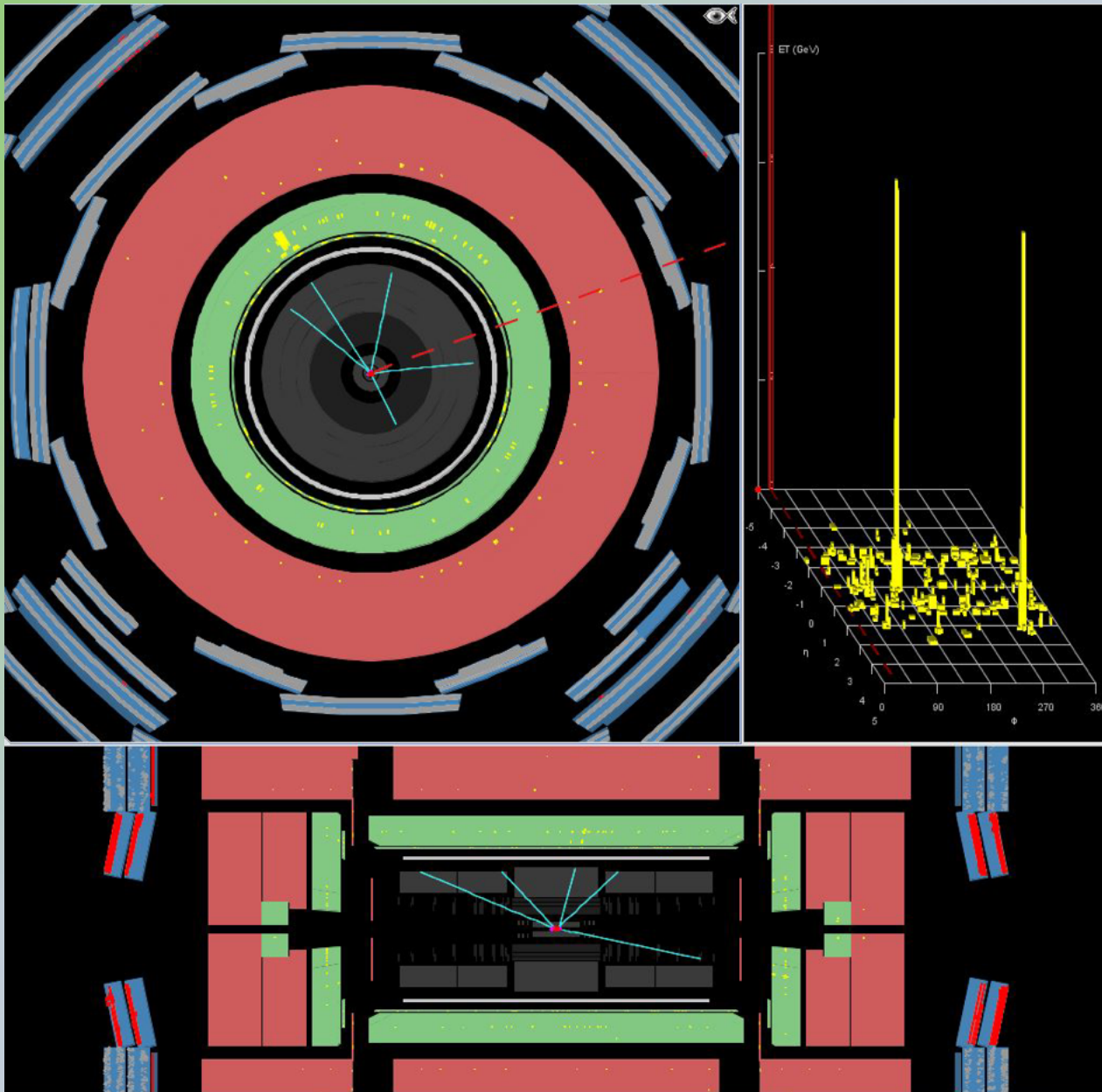




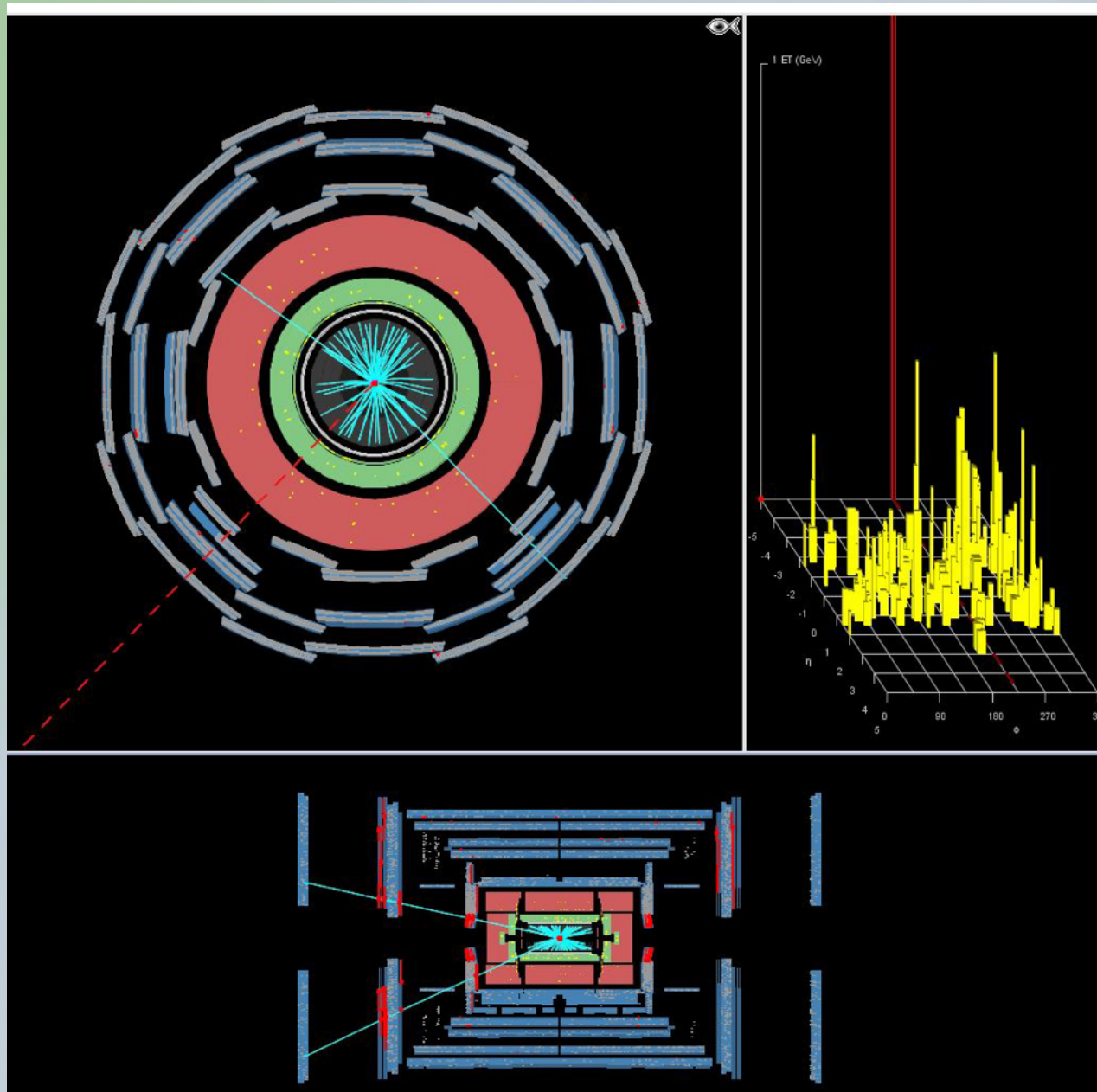
- p_T delle tracce > 1 GeV

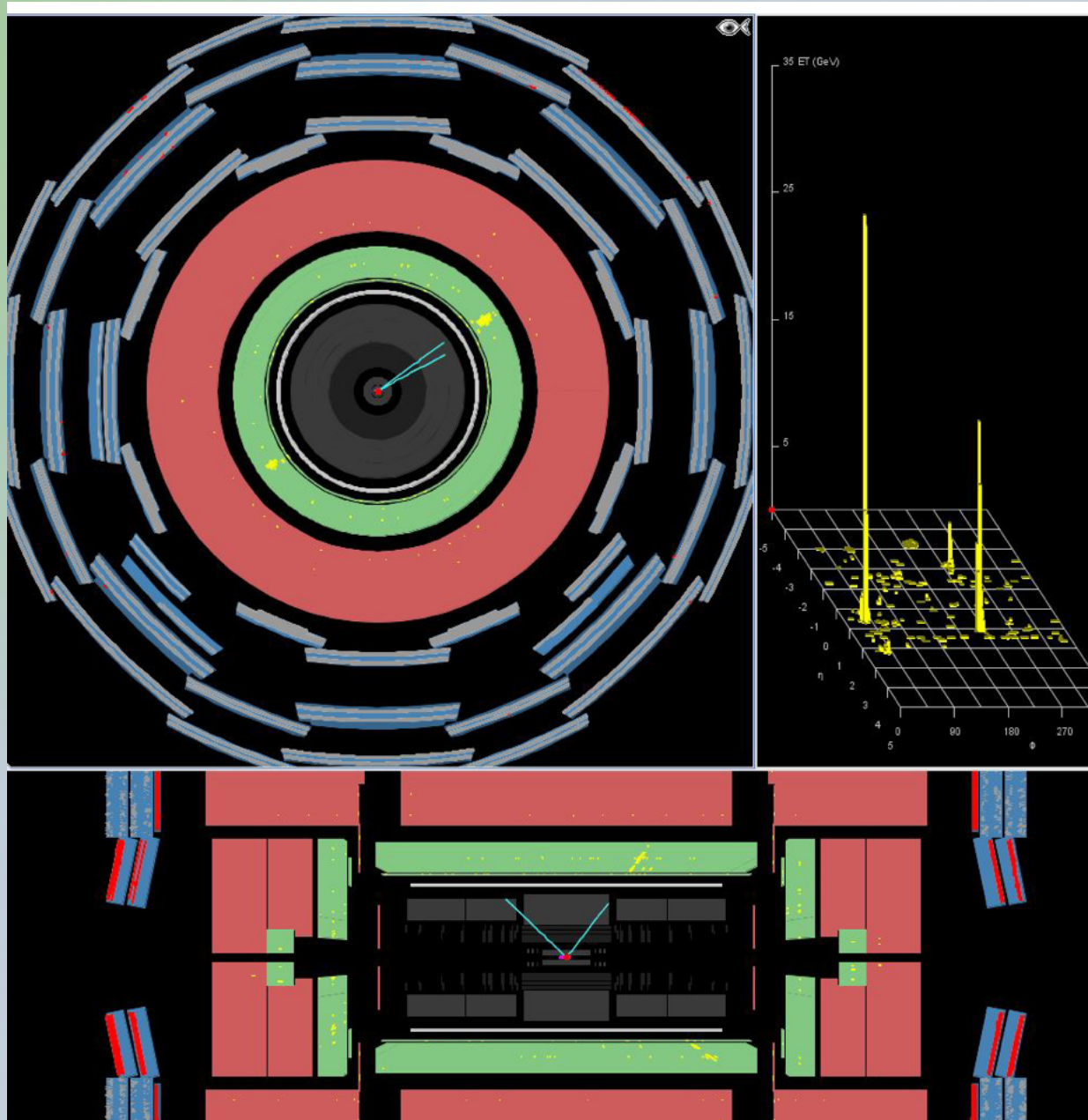


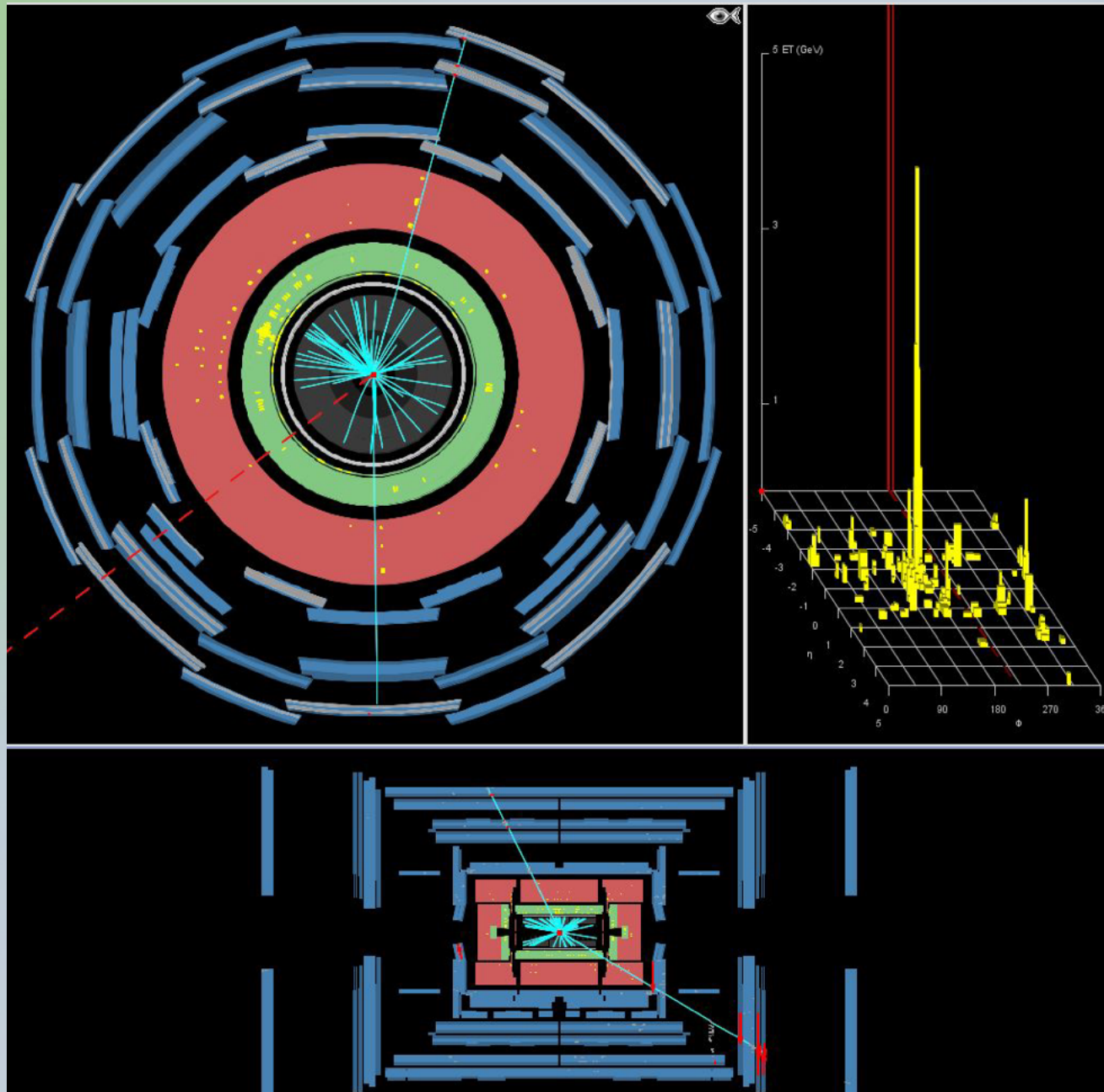
- p_T delle tracce > 10 GeV

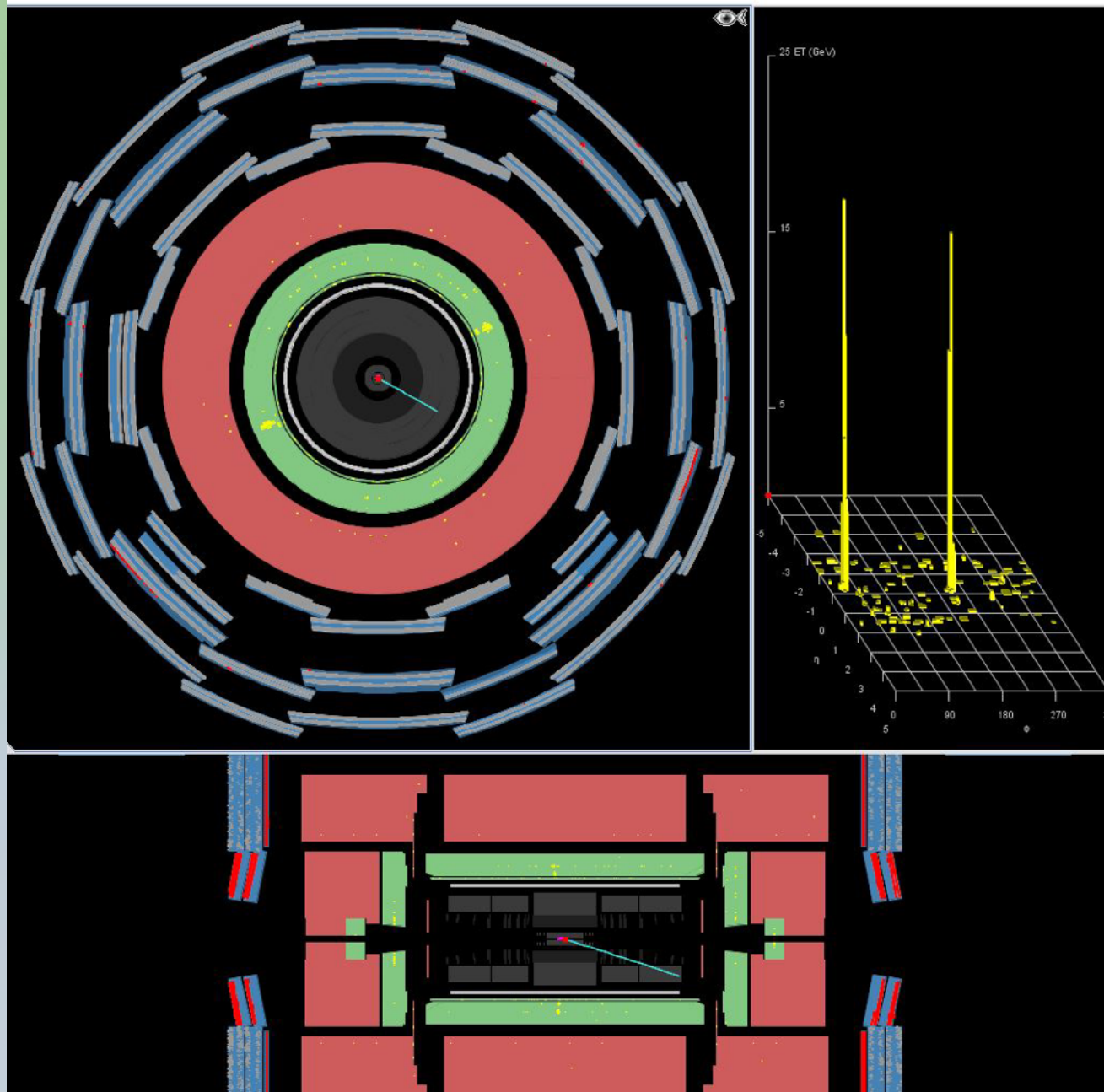


- Anche qua due tracce significative, di che tipo di particella si tratta?
- Notate qualcosa di insolito?



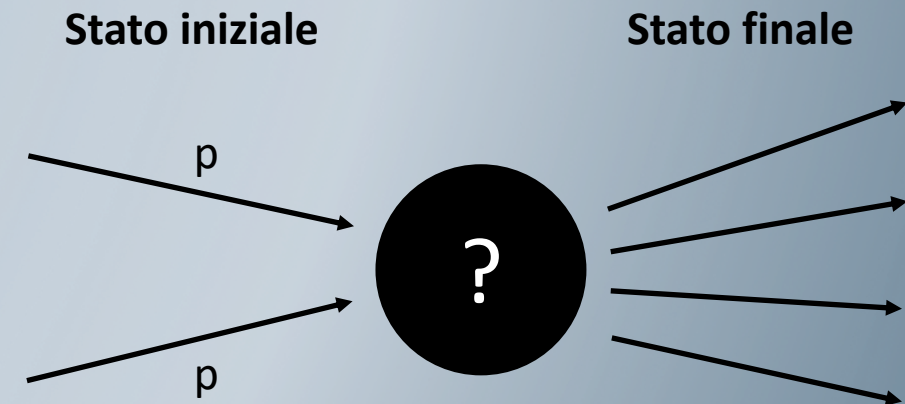






Eventi di fondo

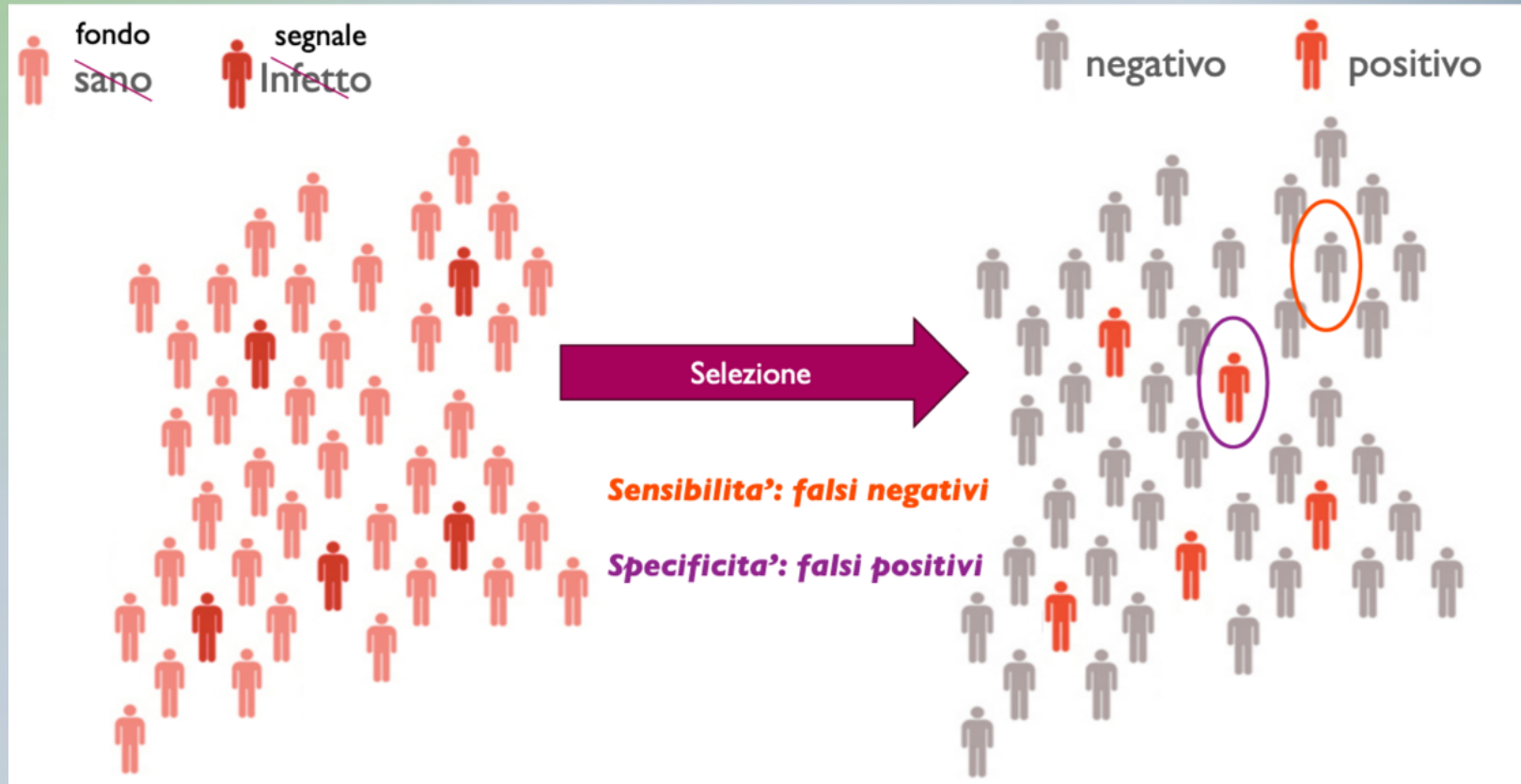
- Conosciamo lo stato iniziale: protoni di energia nota;
- Non abbiamo accesso a quanto accade nella collisione;
- Dobbiamo cercare di capirlo dalla misura delle particelle nello stato finale.



Molti processi differenti possono produrre stati finali simili o identici eventi di fondo che complicano la misura del segnale che vogliamo identificare.

Eventi di fondo

Un esempio:



Eventi di fondo

Un esempio:



- Il nostro campione iniziale è dominato dal fondo e testiamo 100000 individui
- Assumendo l'assenza di falsi negativi
 - Se una persona è infetta (segnale) è sicuramente positiva
- Supponiamo di avere un falso positivo (un fondo che erroneamente classifichiamo come segnale) ogni 1000 test
- Qual è la probabilità che un paziente positivo sia infetto? (Che un evento selezionato sia effettivamente segnale)?

Dipende dall'incidenza dell'infezione (segnale)

- $1/100 \rightarrow$ probabilità = 0.9
- $1/10000 \rightarrow$ probabilità = 0.09

Eventi di fondo

Un esempio:



- Il nostro campione iniziale è dominato dal fondo e testiamo 100000 individui
- Assumendo l'assenza di falsi negativi
 - Se una persona è infetta (segnale) è sicuramente positiva
- Supponiamo di avere un falso positivo (un fondo che erroneamente classifichiamo come segnale) ogni ~~1000~~ **10000** test
- Qual è la probabilità che un paziente positivo sia infetto? (Che un evento selezionato sia effettivamente segnale)?

Dipende dall'incidenza dell'infezione (segnale)

- $1/100 \rightarrow$ probabilità = ~~0.9~~ **0.99**
- $1/10000 \rightarrow$ probabilità = ~~0.09~~ **0.5**

Eventi di fondo

Non è detto che i decadimenti più frequenti siano i migliori.

Nella ricerca di segnali rari dominati dal fondo, è fondamentale selezionare eventi che permettano di avere pochi «falsi positivi»

Esempio: $H \rightarrow \gamma\gamma$ avviene solo nello 0.2% dei casi, eppure è stato il canale usato per la sua scoperta nel 2012 per la sua «firma» più pulita!!

Esercizio

Nell'esercitazione vi verranno sottoposti **eventi "reali"** di collisioni protone protone ad LHC.

Voi dovrete identificare elettroni, muoni e fotoni e cercare di capire se sono stati originati dal decadimento di altre particelle.

- $Z \rightarrow 2$ elettroni o 2 muoni (di carica opposta);
 - Higgs $\rightarrow 2$ fotoni;
 - Higgs $\rightarrow 4$ elettroni o 4 muoni o (2 elettroni e 2 muoni)
- Discutete tra di voi e siate critici;
- Non abbiate paura di sbagliare, non è un esame e nessuno vi giudica 😊
- Ponetevi domande e chiedete chiarimenti!

Speriamo che questo esercizio renda l'idea del lavoro di un fisico delle particelle, in modo stimolante e (speriamo) divertente!!