

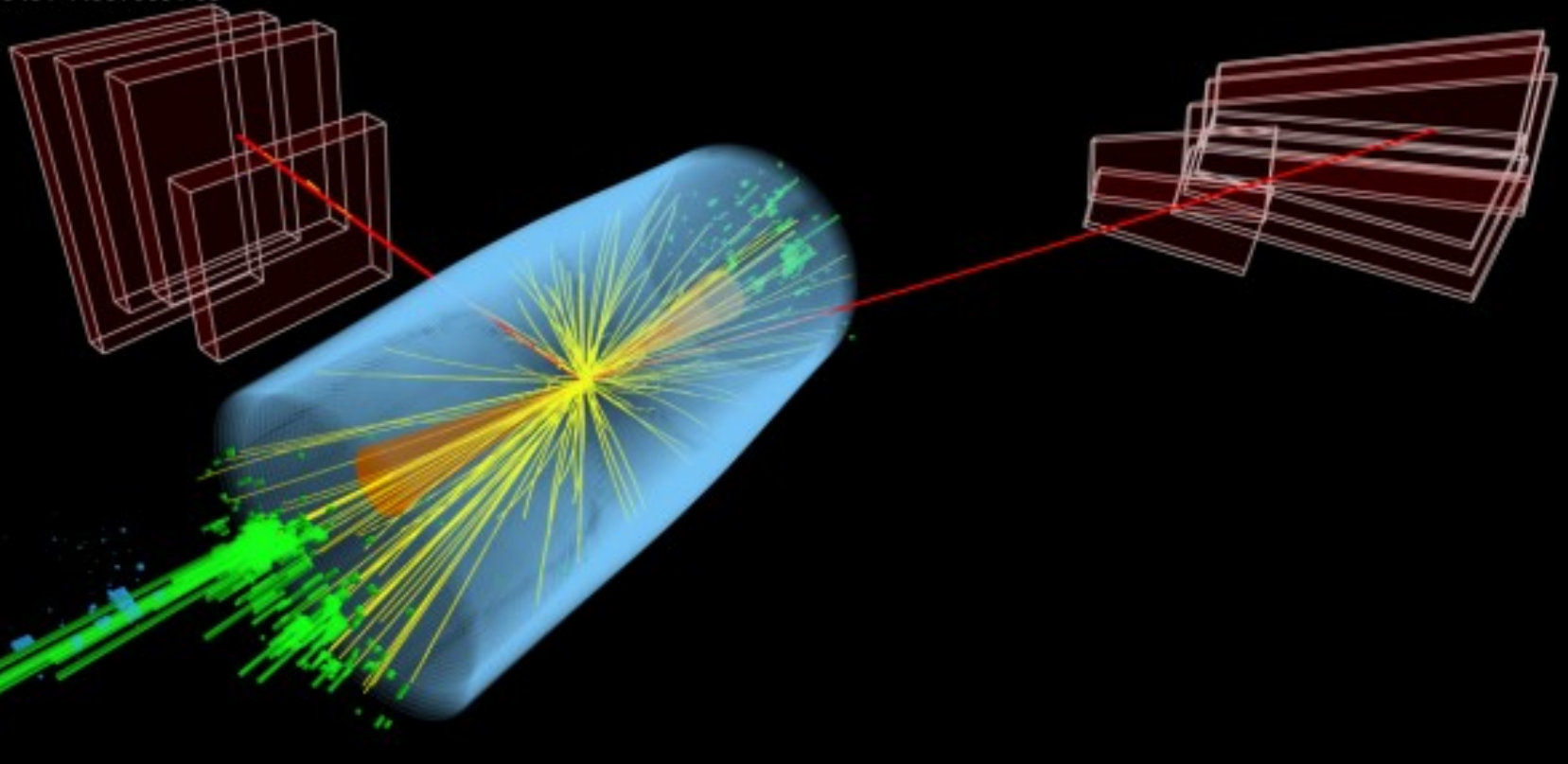
# Acceleratori e rivelatori



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2018-Oct-03 01:19:17.320393 GMT

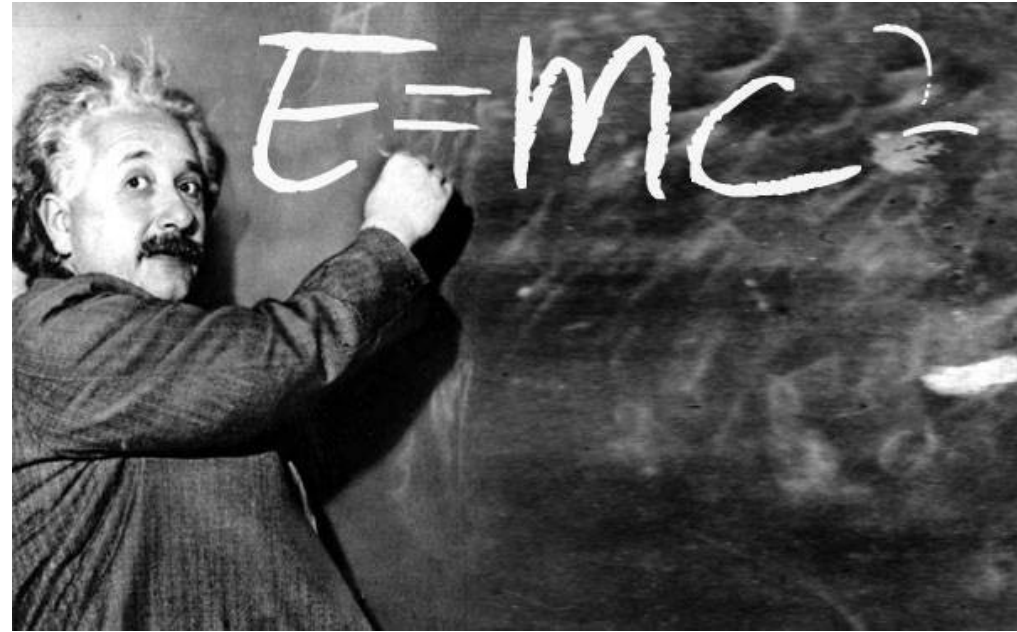
Run / Event / LS: 323940 / 44997009 / 65



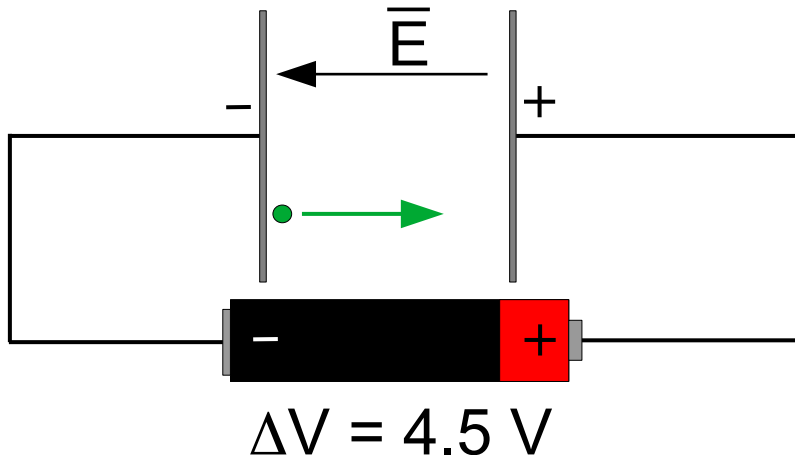
**Silvio Donato** (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare)

# Acceleratori di particelle

- Per scoprire nuove particelle abbiamo bisogno di energia.
- Gli acceleratori fanno raggiungere alle particelle velocità prossime alla velocità luce ( $\sim 300\,000$  km/s).
- Nello scontro tra particelle parte dell'**energia** cinetica delle particelle viene trasformata in **massa**.



- Possiamo accelerare le particelle utilizzando un campo elettrico statico.
- L'energia di una particella carica accelerata da una differenza di potenziale  $\Delta V$  e'  $E = q \Delta V$ .
- Nel caso di un elettrone ( $q = e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ) e  $\Delta V = 1 \text{ V}$ ,  $E = \mathbf{1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$ .
- ( $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ )  $1 \text{ eV} \rightarrow \sim 600 \text{ km/s}$ .  $600\text{k eV} \rightarrow 270\,000 \text{ km/s}$  (non  $450\,000 \text{ km/s}$ !)



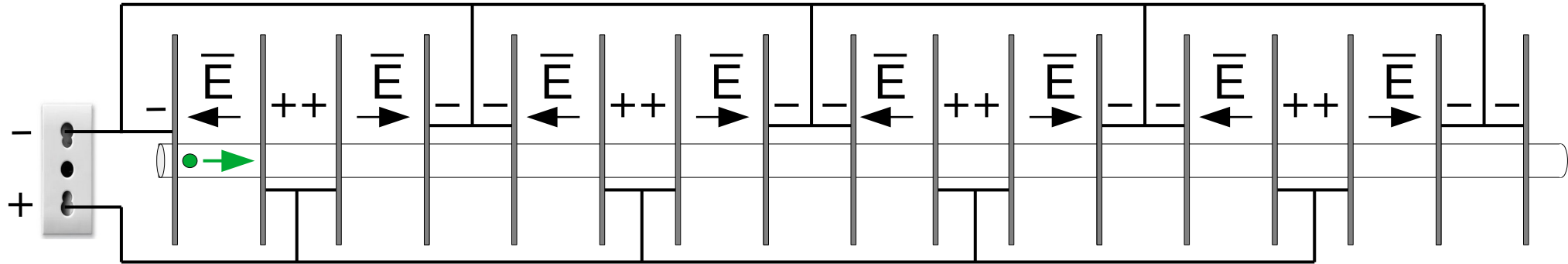
$\Delta V = 10 \text{ kV}$



$\Delta V = 600 \text{ kV}$

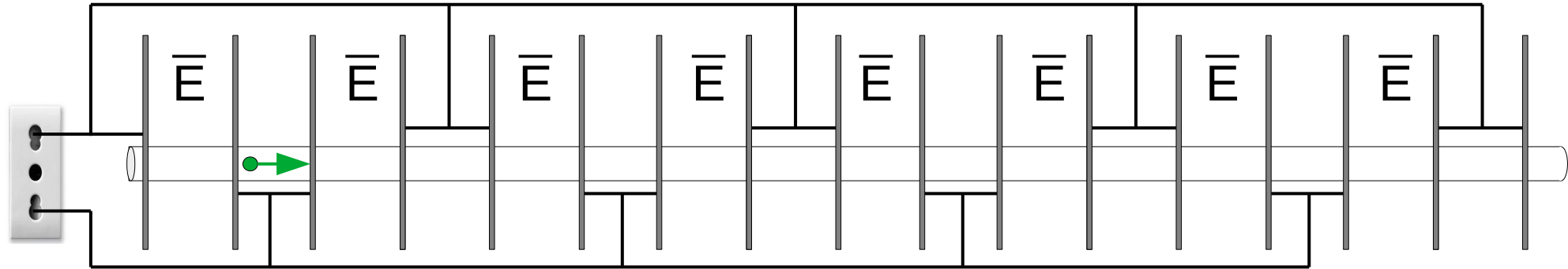


- Possiamo accelerare le particelle piu' volte utilizzando una differenza di potenziale  $\Delta V$  alternata
- Dopo il passaggio tra le prime due piastre la particella riceve un'energia  $E = q \Delta V$



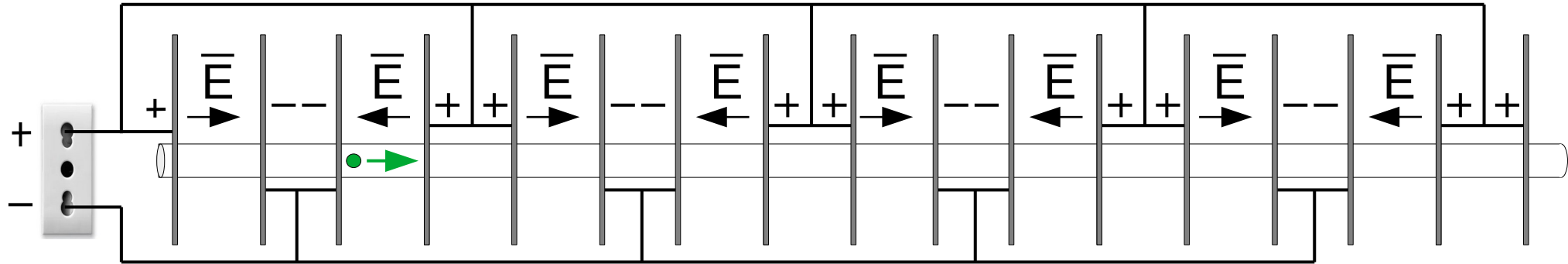
$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- La particella procede verso la successiva coppia di piastre



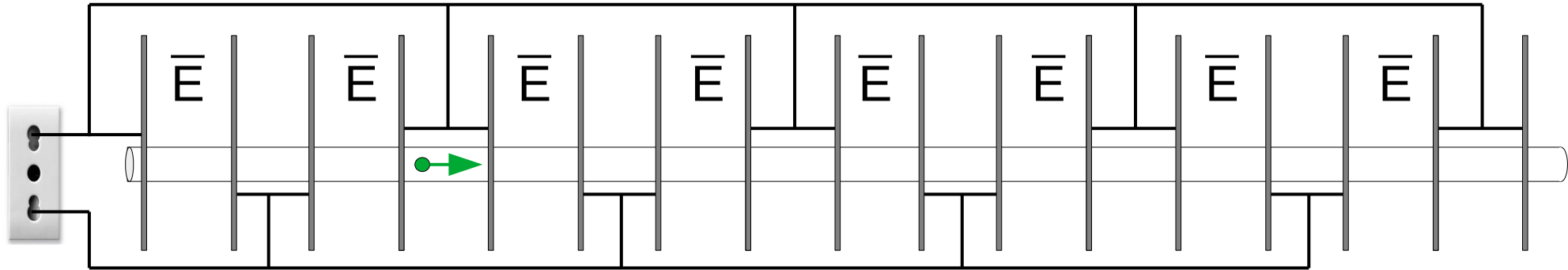
$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- Quando la particella raggiungerà le nuove piastre sarà passato un tempo  $\Delta t$ .
- L'acceleratore lineare è fatto in modo che la particella raggiunge la nuova coppia di piastre quando la differenza di potenziale è invertita.
  - Quindi il campo elettrico spinge la particella sempre nella stessa direzione!



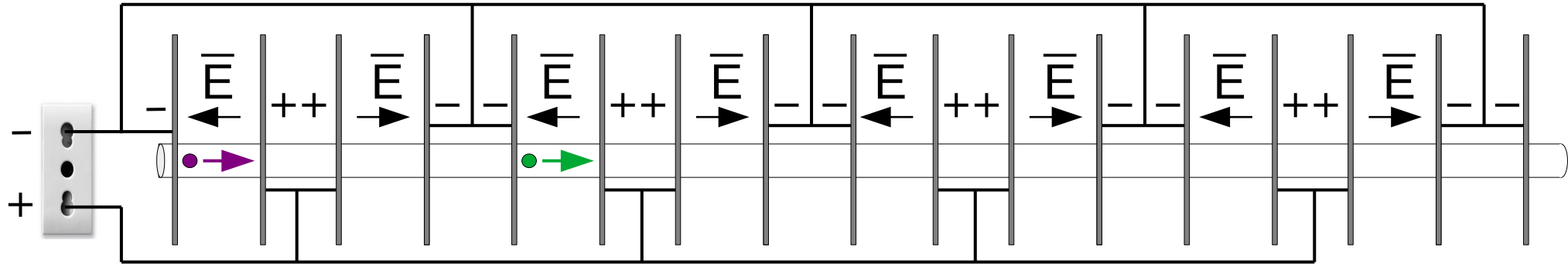
$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- Dopo aver passato anche la seconda piastra la particella avrà un'energia di  $E = 2 q \Delta V$  e così' via
- Dopo N piastre ...  **$E_N = N q \Delta V$**



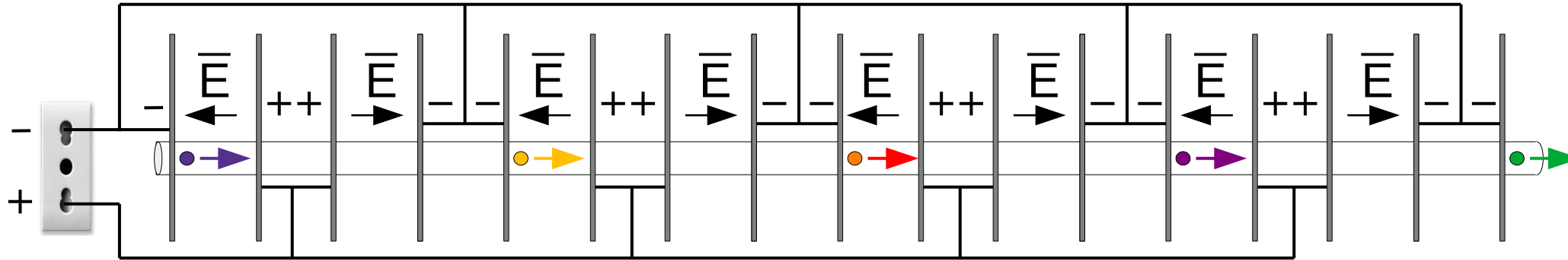
$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- Per funzionare, l'acceleratore ha bisogno di essere “**sincronizzato**” con il tempo di percorrenza delle particelle tra una piastra e l'altra  
 $\Delta t = 1 / 2f$  (10 ms se  $f = 50$  Hz)

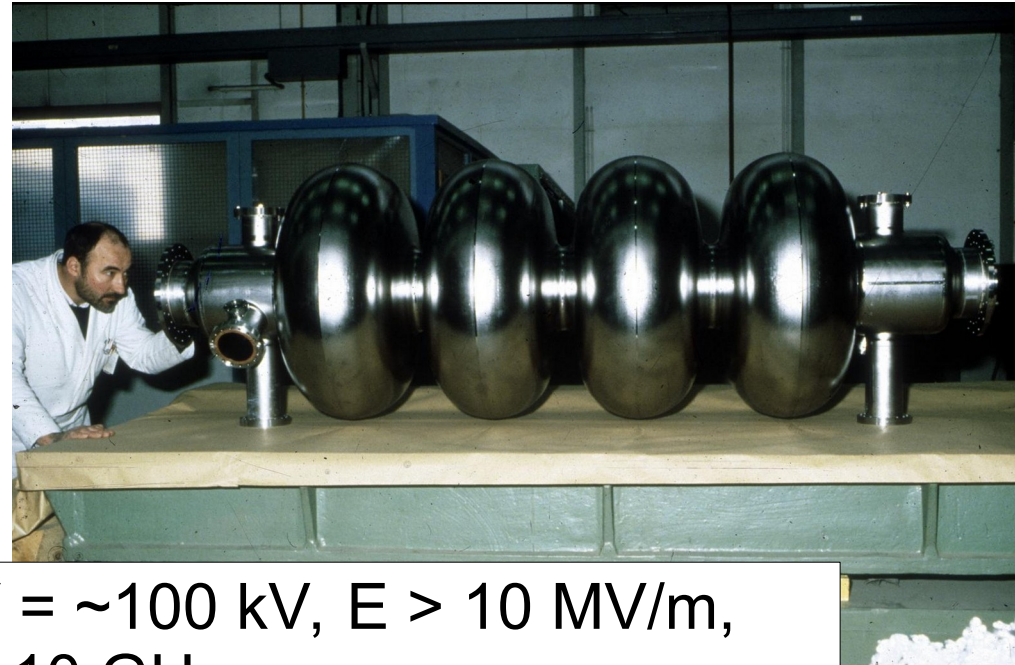
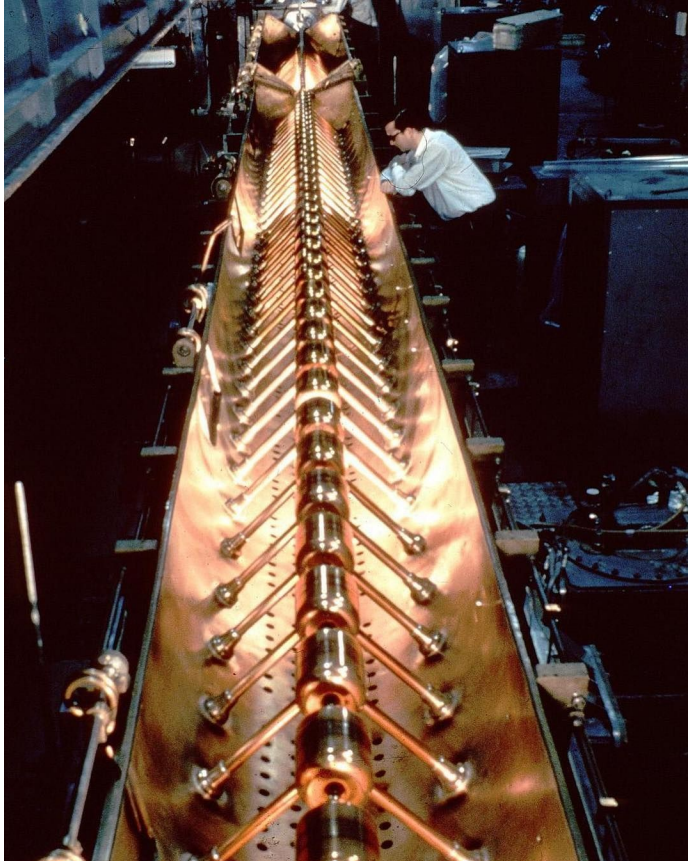


$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- Possiamo accelerare piu' gruppi di particelle simultaneamente ad una distanza  $\Delta t$  tra loro.
- Utilizzando la differenza di potenziale alternata, le particelle vengono accelerate a “**pacchetti**”.



$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$



$\Delta V = \sim 100 \text{ kV}$ ,  $E > 10 \text{ MV/m}$ ,  
 $f = 10 \text{ GHz}$



# Acceleratori lineari

LINAC CERN  
(Ginevra)

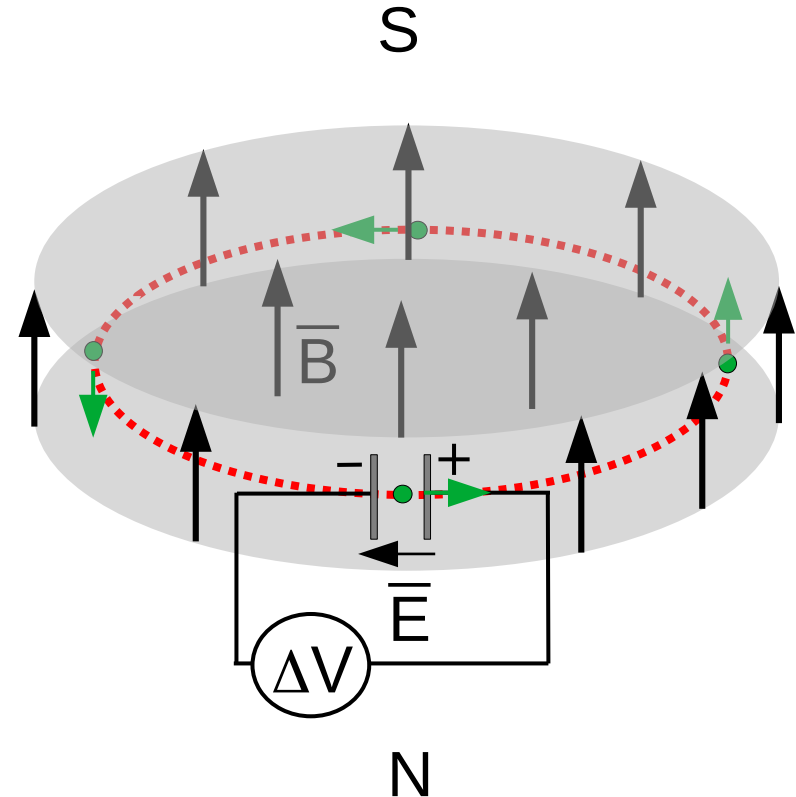


SLAC  
(USA)

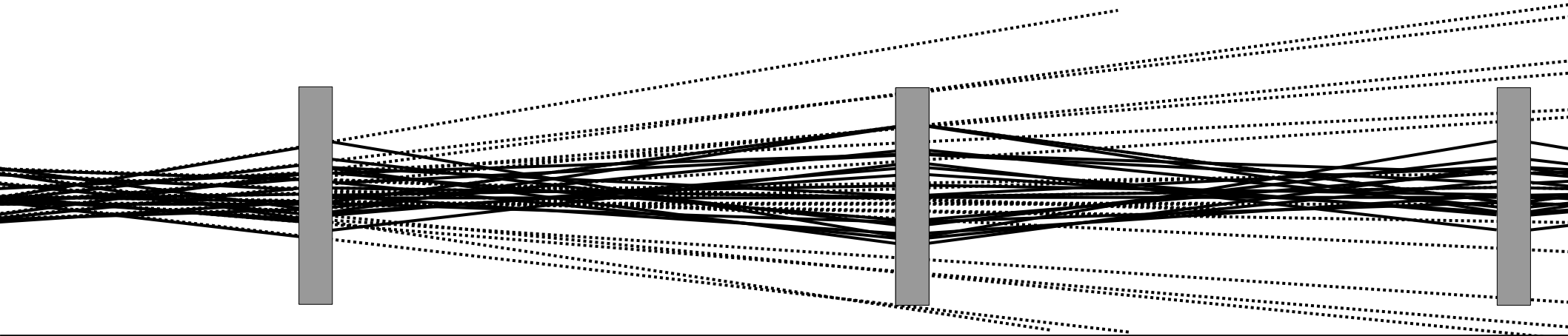
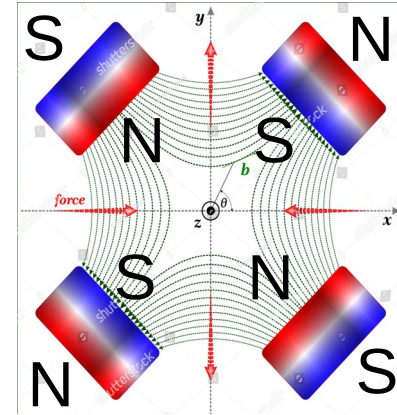


- La maggior parte degli acceleratori lineari vengono utilizzati in medicina per la **radioterapia**.
- Gli elettroni vengono accelerati a  $\sim 10$  MeV e vengono utilizzati per produrre **raggi X** che colpiscono i tumori.
- Per i tumori superficiali vengono utilizzati direttamente gli **elettroni**.

- Possiamo accelerare una particella più volte utilizzando la stessa  $\Delta V$  utilizzando un acceleratore **circolare**.
- Per curvare una particella utilizziamo un **campo magnetico** costante e ortogonale alla traiettoria circolare.
- Questo tipo di magneti sono detti “**dipoli**”

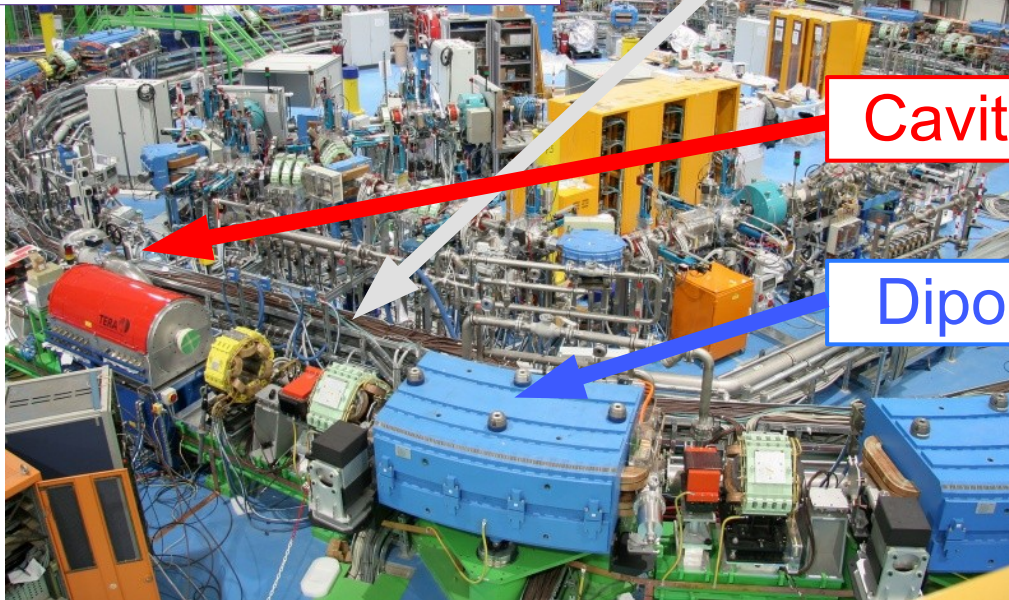


- Per mantenere le particelle “collimate” si utilizzano i quadrupoli magnetici





Centro Nazionale  
di Adroterapia  
Oncologica (Pavia)

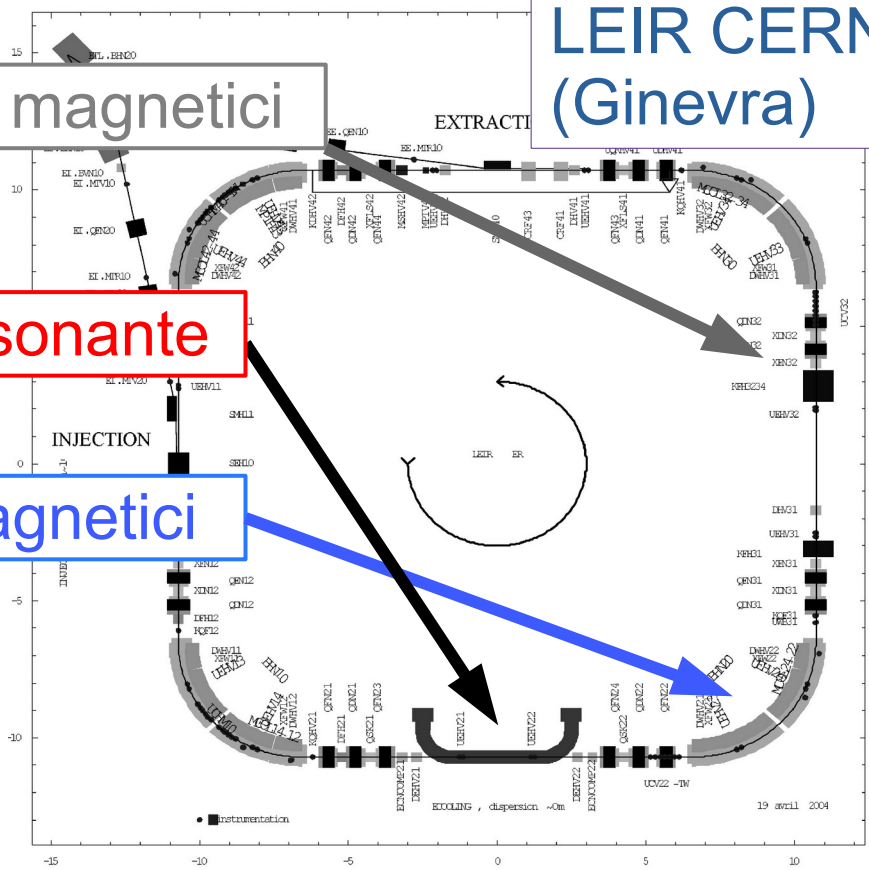


Quadrupoli magnetici

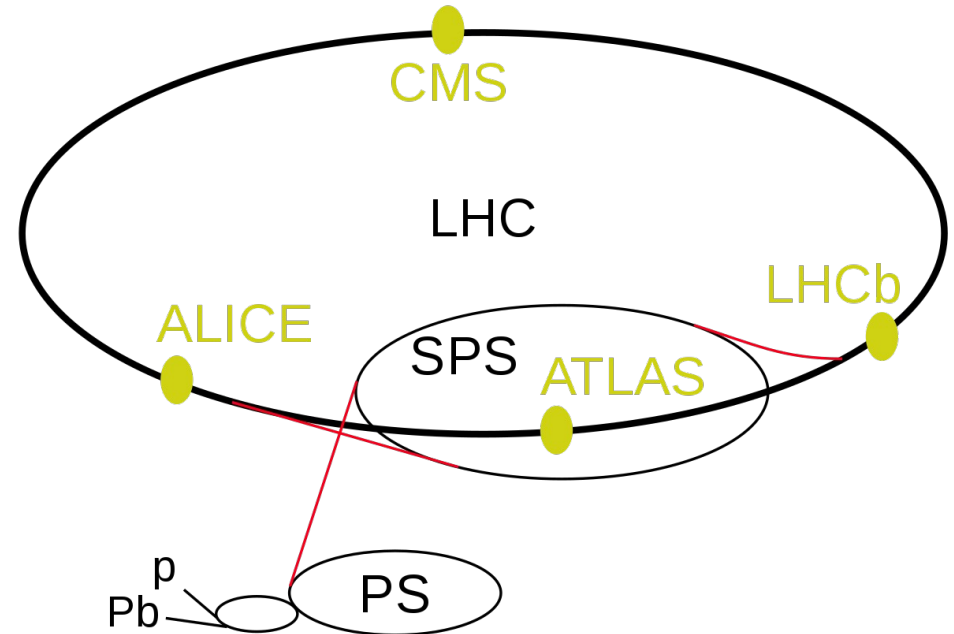
Cavita' risonante

Dipoli magnetici

LEIR CERN  
(Ginevra)



- Il **Large Hadron Collider (LHC)** al **CERN** di Ginevra e' il piu' grande acceleratore di particelle al mondo.
- A LHC i protoni si scontrano in 4 punti di collisione ad una energia di **13 TeV**.
- I protoni vengono accelerati in 4 parti:
  - Linac: 50 MeV (50 m)
  - Booster: 1.4 GeV (150 m)
  - PS: 25 GeV (600 m)
  - SPS: 450 GeV (6 900 m)
  - LHC: 6500 GeV (27 000 m)
- <https://youtu.be/pQhbhpU9Wrg>







SUISSE  
FRANCE

CMS

LHCb

ATLAS

CERN Meyrin

CERN Prévessin

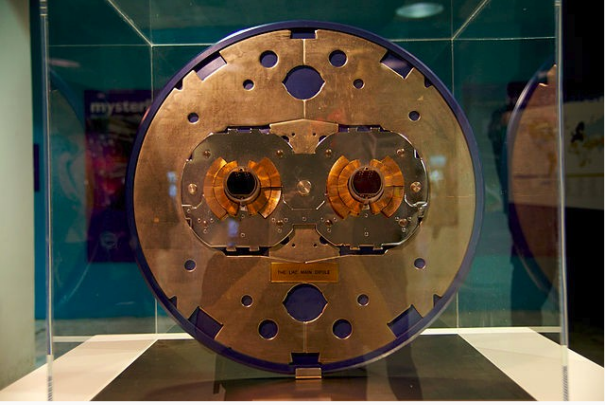
SPS 7 km

PS 430 m

ALICE

LHC 27 km

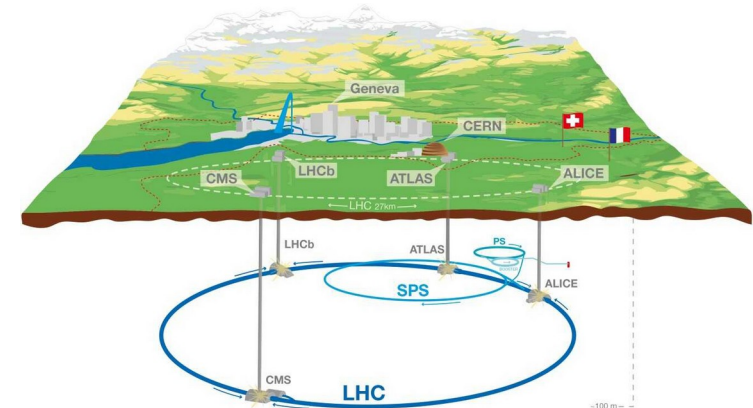
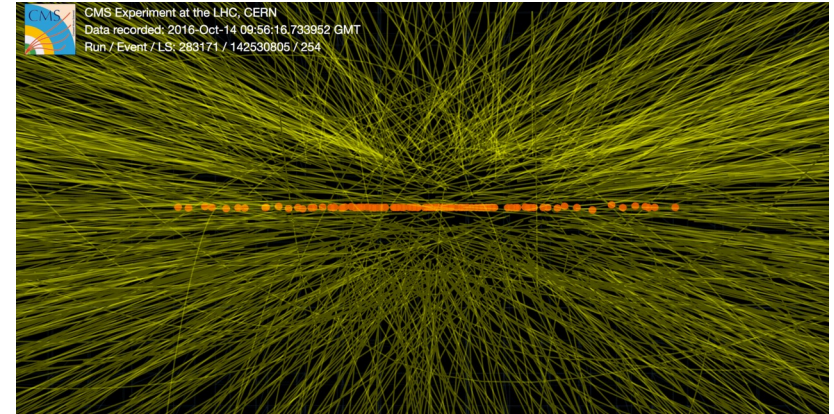






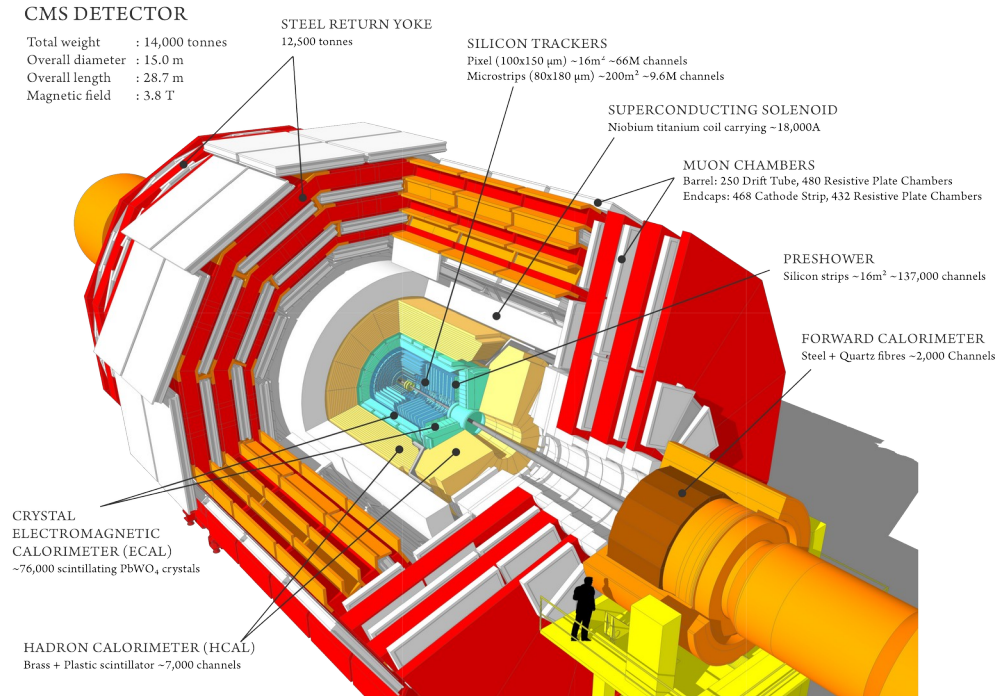
- Quando due pacchetti si scontrano avvengono circa 60 collisioni protone-protone.
- I pacchetti di protoni si incrociano ogni 25 ns nei quattro punti di interazione dove si trovano gli esperimenti/rivelatori:

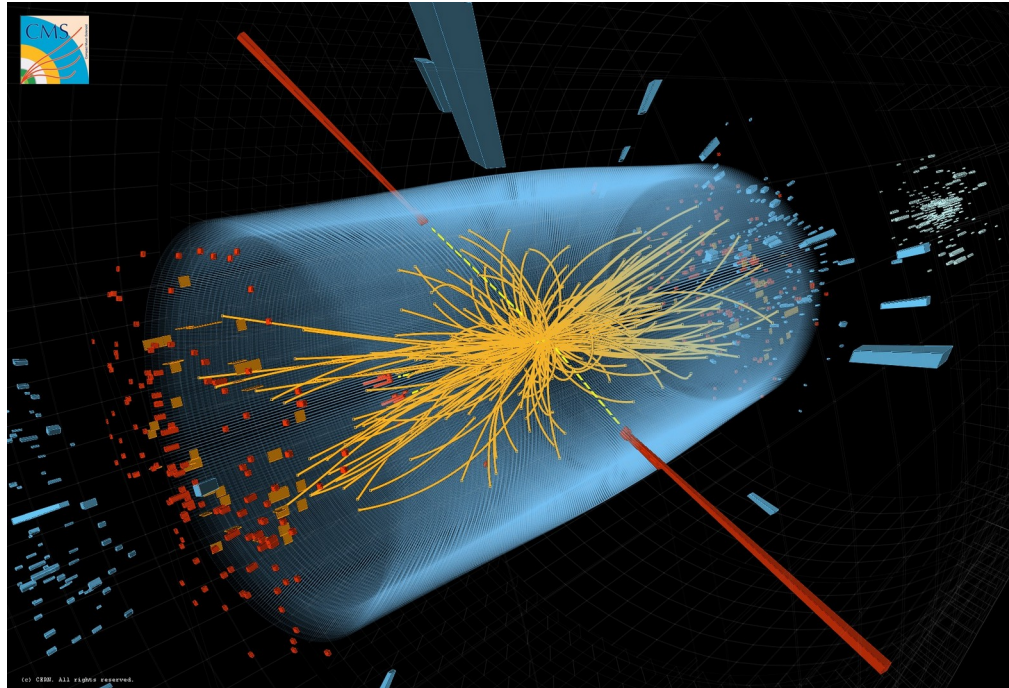
- **CMS**
- **ATLAS**
- **LHCb**
- **ALICE**



# L'esperimento CMS

- L'esperimento Compact Muon Solenoid (**CMS**) è composto da un insieme di rivelatori per riconoscere ed identificare le particelle prodotte nelle collisioni protone-protone.
- Alcuni dati:
  - Altezza ~ 15 m
  - Lunghezza ~ 22 m
  - Peso ~ 12500 ton

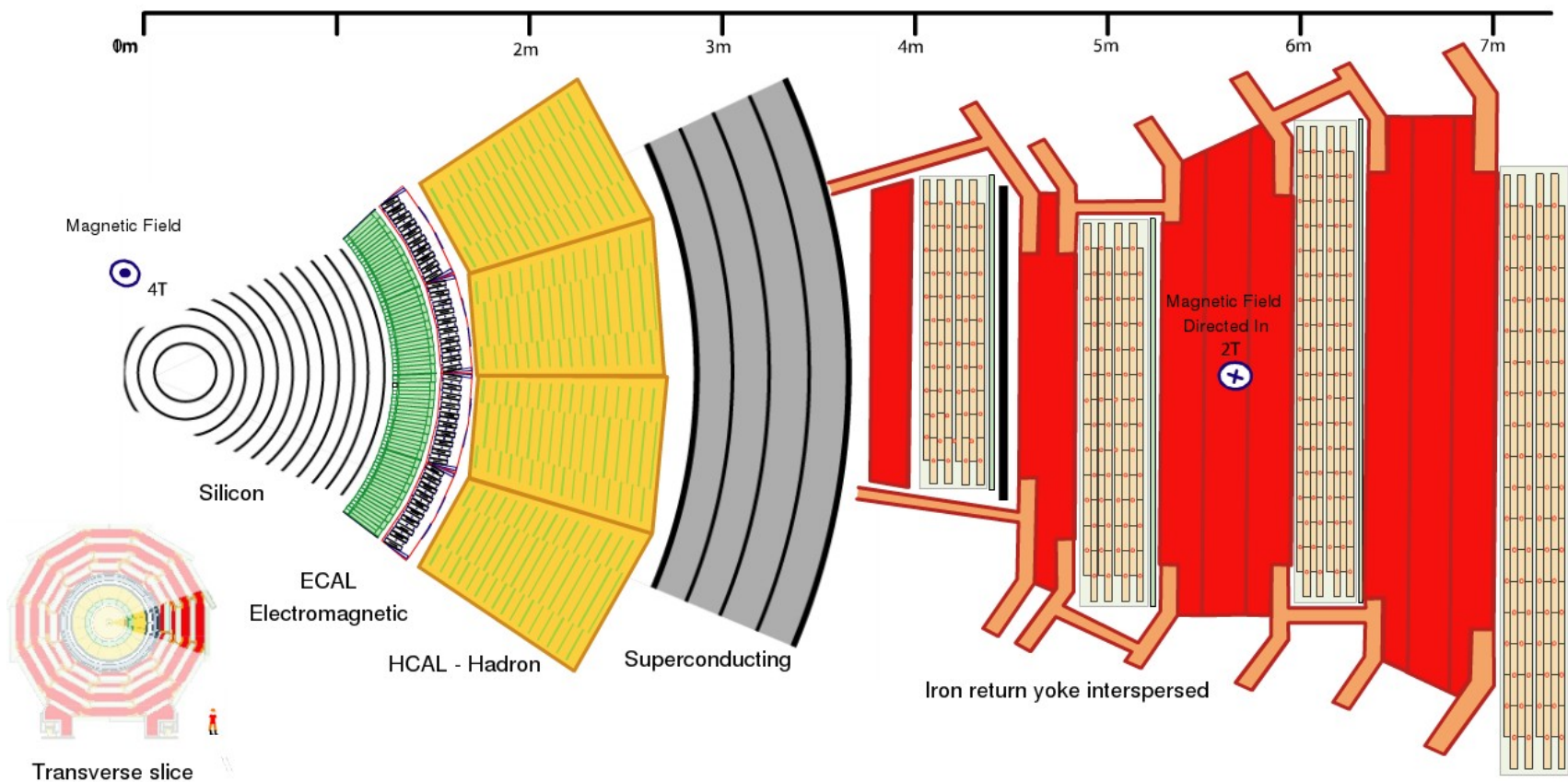




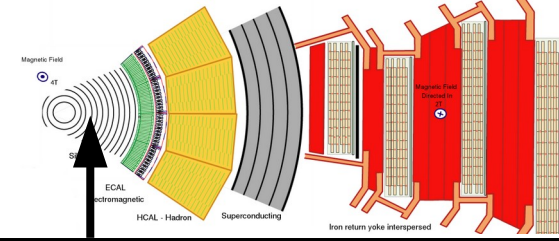
- CMS è un esperimento che si propone più obiettivi, es.:
  - ricerca del bosone di Higgs (e misura delle sue caratteristiche);
  - misure sul Modello Standard (eg. violazione di CP, decadimenti rari, misura massa particelle, sezioni d'urto)
  - ricerca di nuove particelle previste da nuove teorie (eg. supersimmetrie).



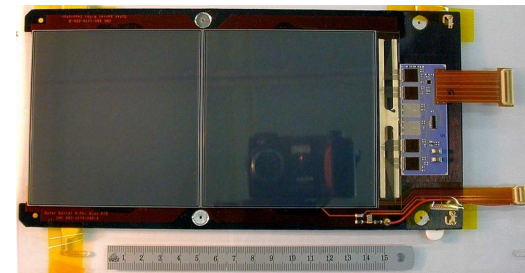
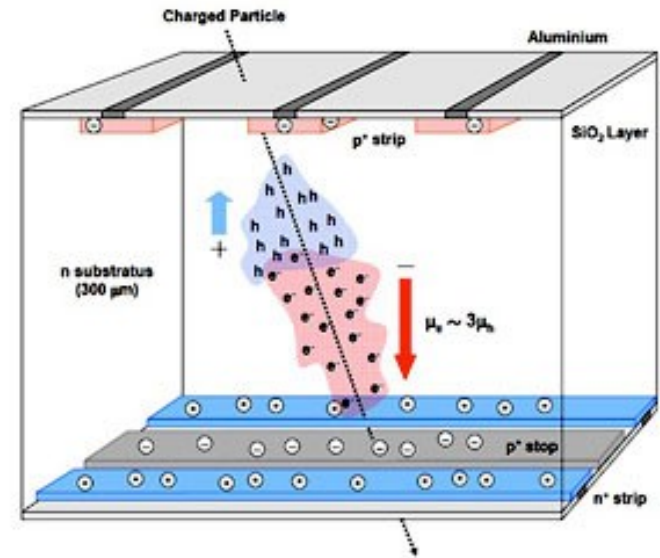
# Un esperimento a più strati



# Il tracciatore

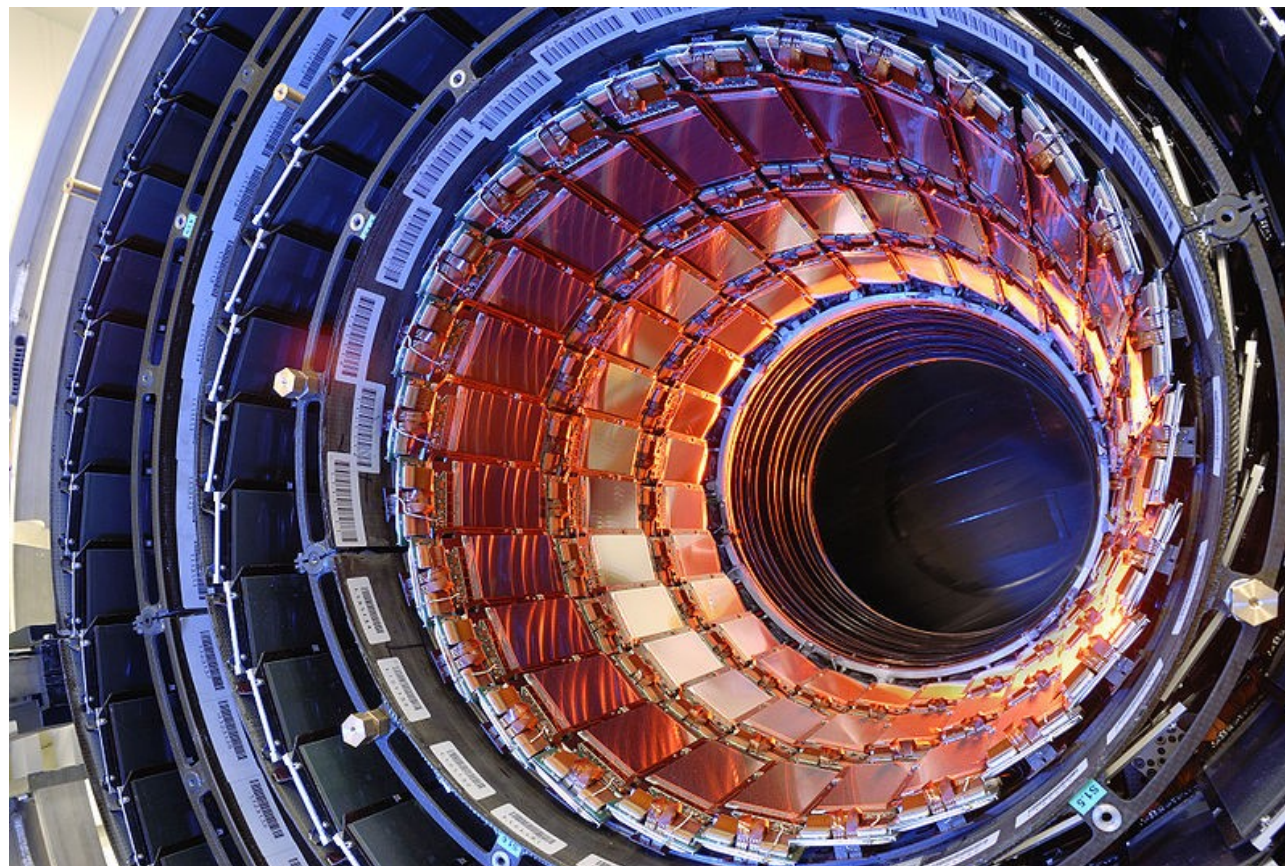
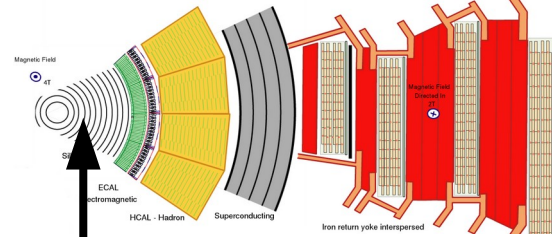


- Il tracciatore al silicio è il cuore di CMS e permette di ricostruire la **traiettoria** delle particelle **cariche**.
- Le particelle cariche strappano gli elettroni dagli atomi di silicio.
- Gli elettroni vengono accelerati da un campo elettrico formando un segnale elettrico.
- Esistono due tipi di tracciatori: i **Pixel** (tr. interno) e le **Strip** (tr. esterno).
- In totale ci sono 65 M di pixels e 10 M di strips.

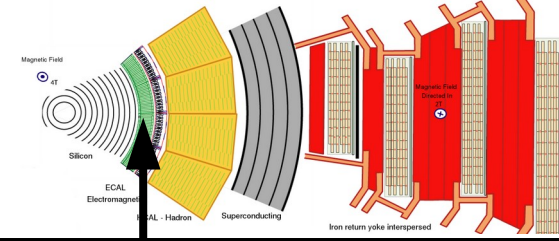




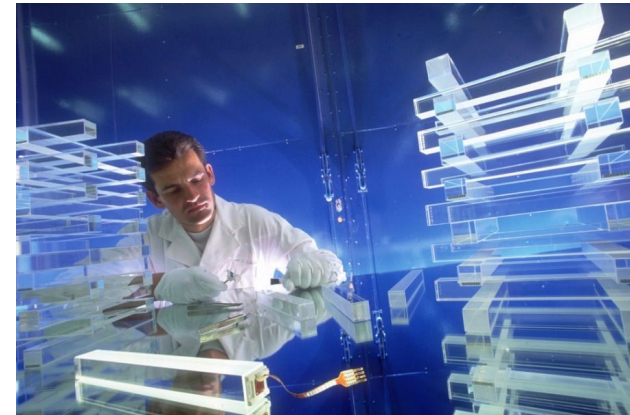
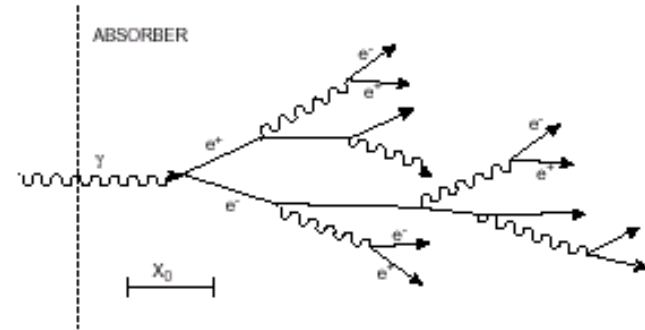
# Il tracciatore



# Il calorimetro elettromagnetico

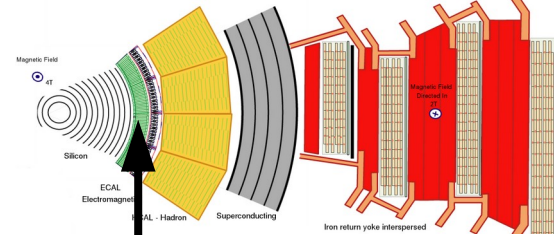


- Il calorimetro elettromagnetico (**ECAL**) è lo strumento che permette di misurare interamente **l'energia di elettroni e fotoni**.
- I fotoni interagiscono con ECAL emettendo coppie **elettrone/positrone**, che a loro volta possono produrre altri **fotoni**, e così via.
- Le particelle cariche in ECAL perdono parte della loro energia in **luce** visibile, che viene raccolta e trasformata in un segnale elettrico.
- A CMS il calorimetro EM è costituito da cristalli di tungstato di piombo (**PbWO<sub>4</sub>**). Nonostante siano composti da ~80% di metallo sono trasparenti!
- Nel calorimetro elettromagnetico anche altre **particelle cariche** rilasciano un piccolo segnale.

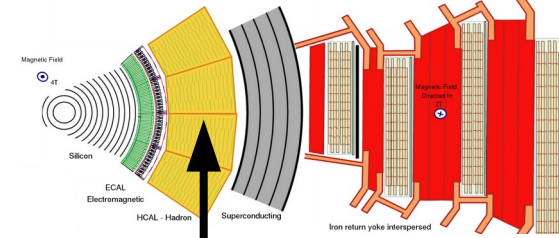




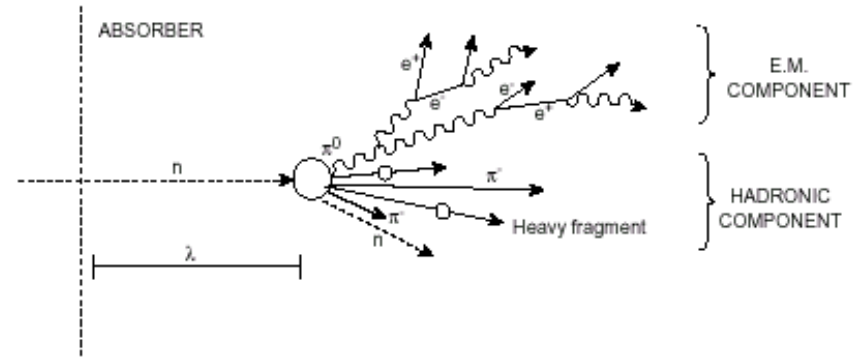
# Il calorimetro elettromagnetico



# Il calorimetro adronico

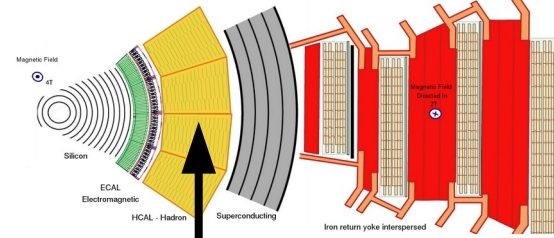


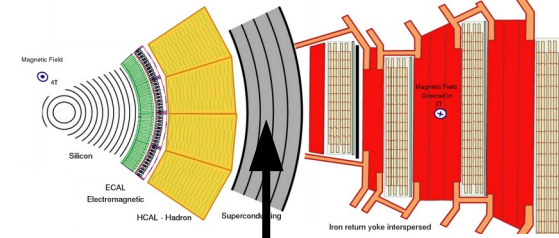
- Il calorimetro adronico (**HCAL**) misura l'energia degli adroni.
- In questo caso la particella interagisce con il rivelatore tramite interazioni adroniche.
- Le particelle cariche formatesi rilasciano parte della loro energia in luce che viene raccolta e misurata.
- A CMS il calorimetro adronico è costituito da lastre di ottone o di acciaio, dove avviene l'interazione adronica, e da uno strato di **scintillatore**, dove viene misurata parte dell'energia rilasciata dalla particelle.



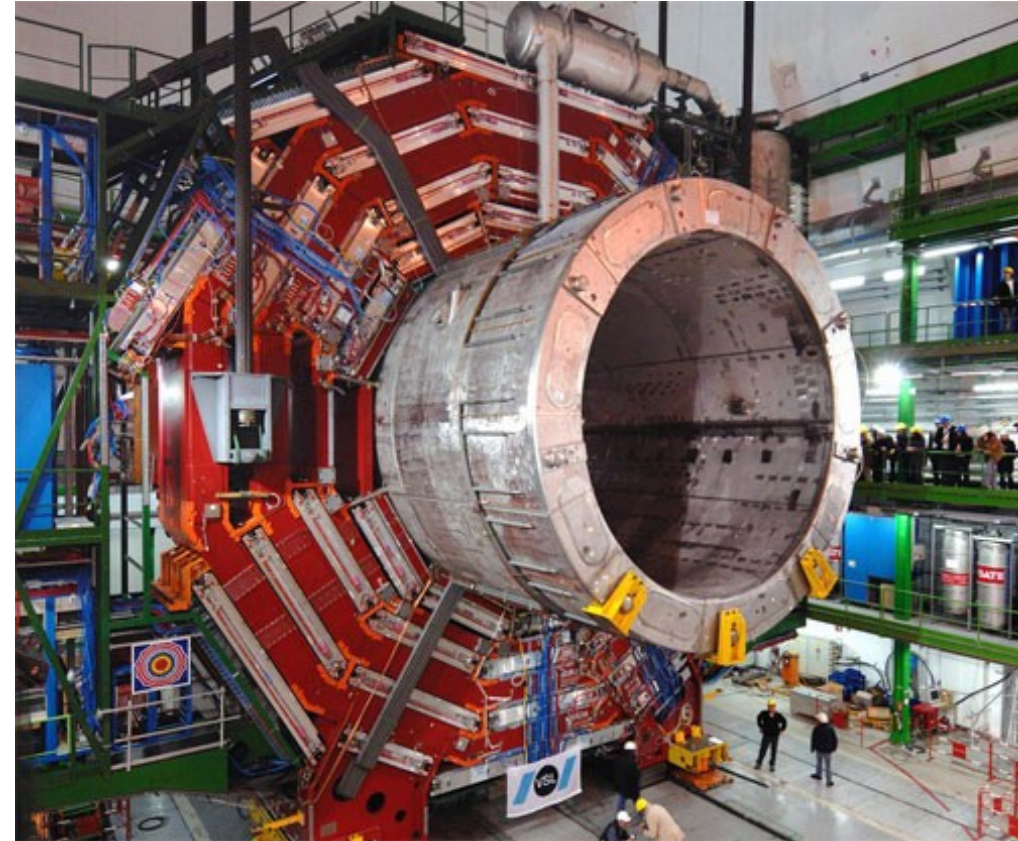


# Il calorimetro adronico

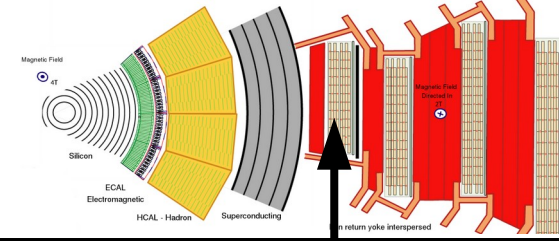




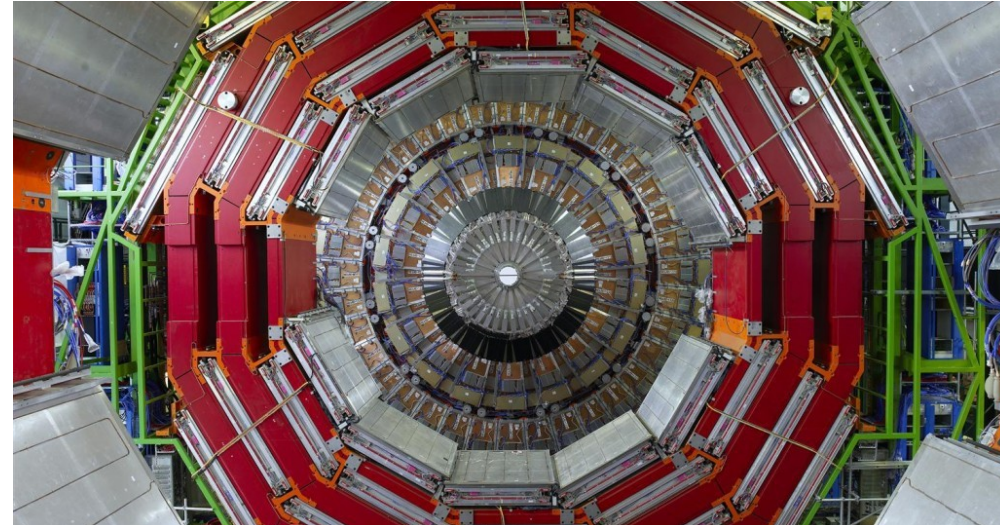
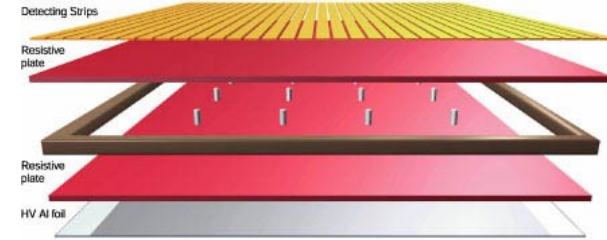
- Nei rivelatori di particelle il campo magnetico serve a distinguere la **carica** delle particelle e misurare la loro **quantità di moto**.
- A CMS sia il tracciatore che i calorimetri sono immersi in un campo magnetico di circa **4T**.
  - Il campo magnetico è generato da un solenoide **superconduttore**.
- Il ferro presente nelle camere muoniche permette di avere un campo magnetico di circa **2T** anche nella parte esterna al solenoide.





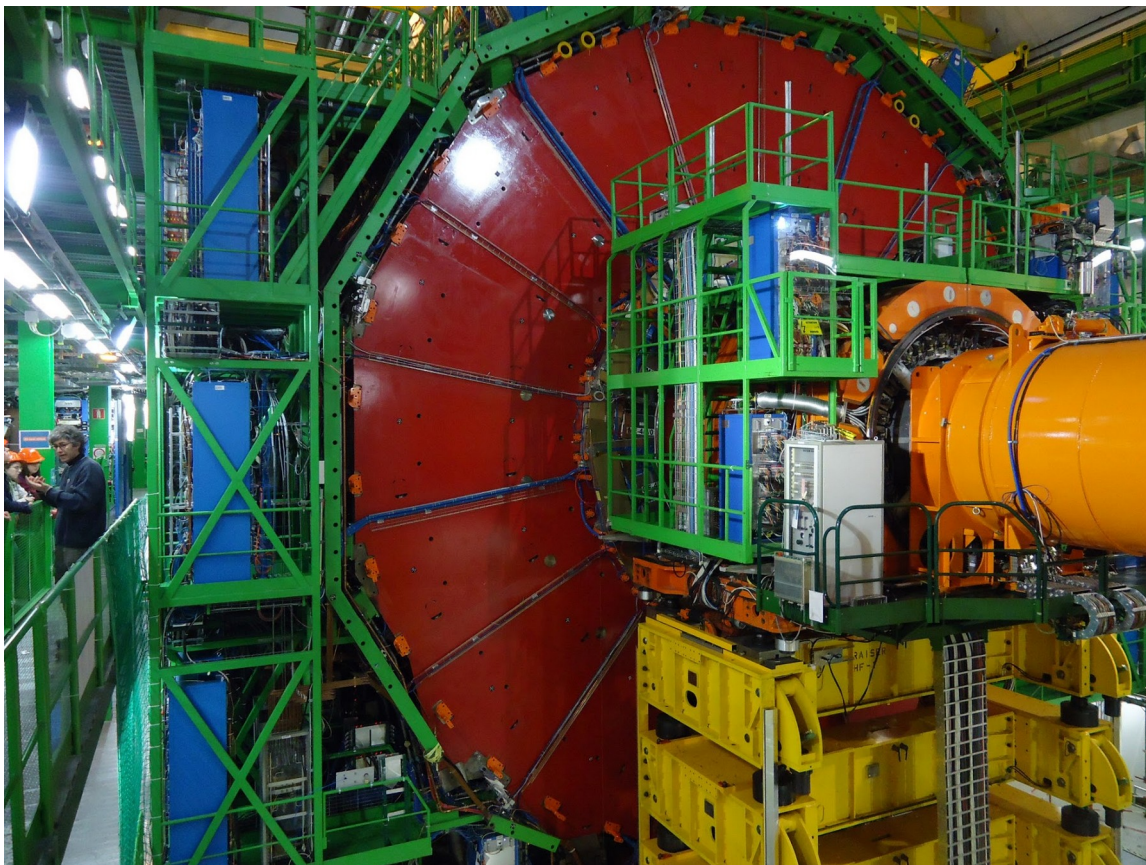
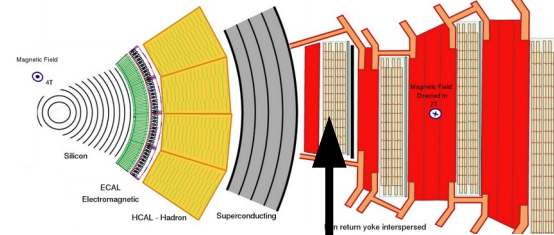


- I **muoni** (e i neutrini) sono le uniche particelle che attraversano tutto l'esperimento CMS.
- Le camere muoniche sono i rivelatori più esterni e servono per identificare i muoni.
- Vengono utilizzati tre tipi di rivelatori a gas:
  - Muon Drift Tubes;
  - Cathode Strip Chambers;
  - Resistive Plate Chambers.





# Le camere muoniche



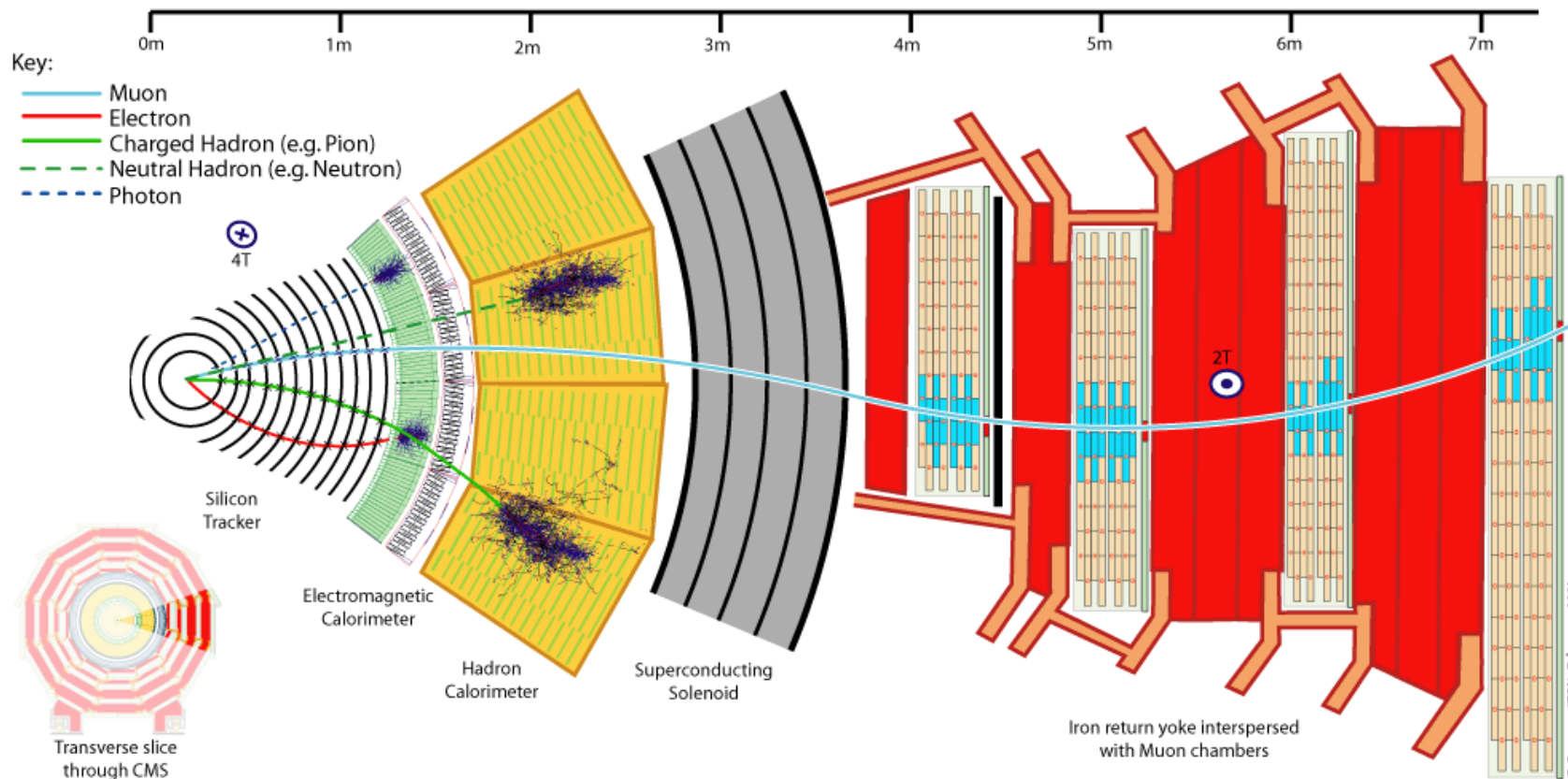




Directed in  
IT







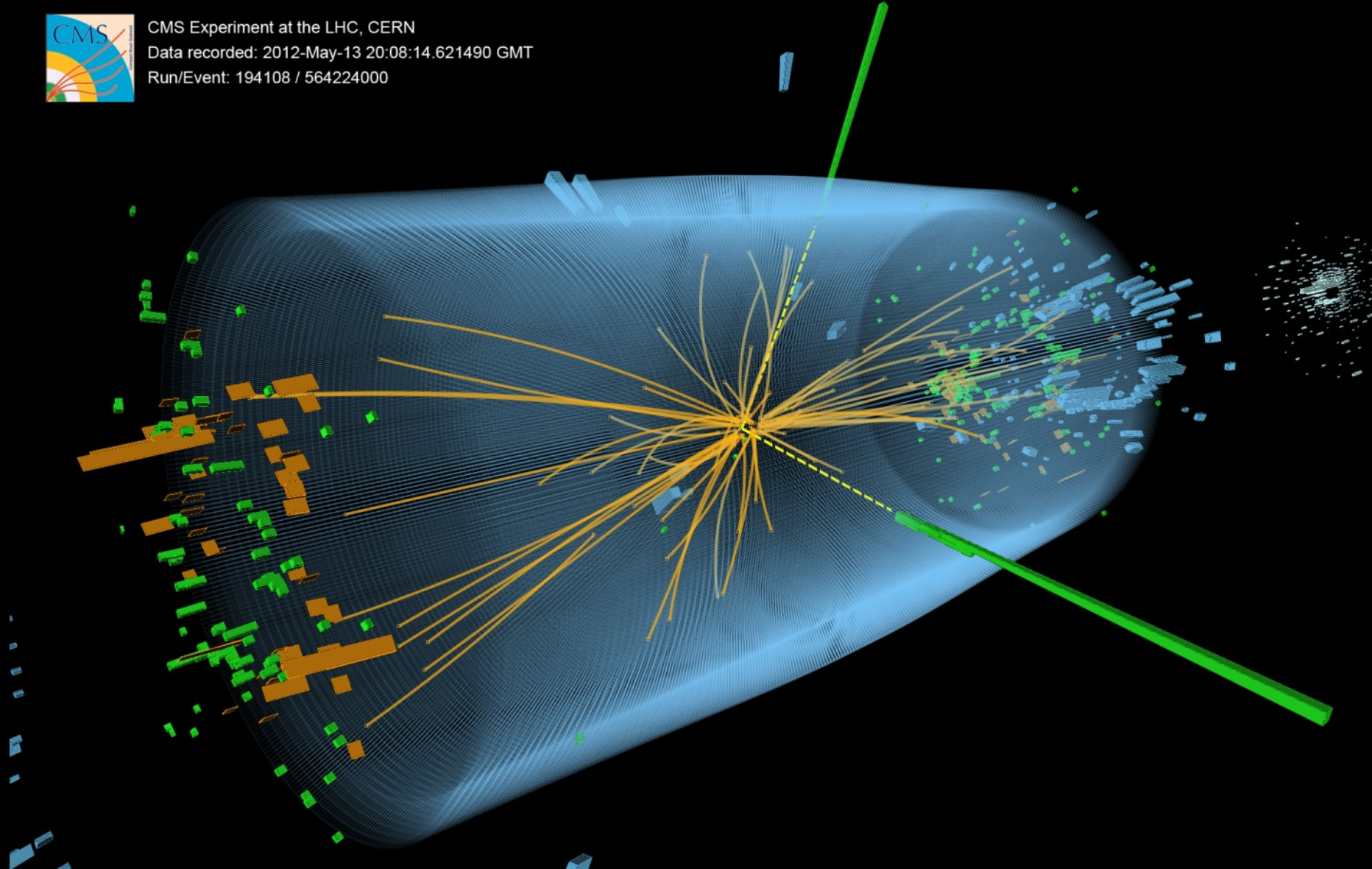


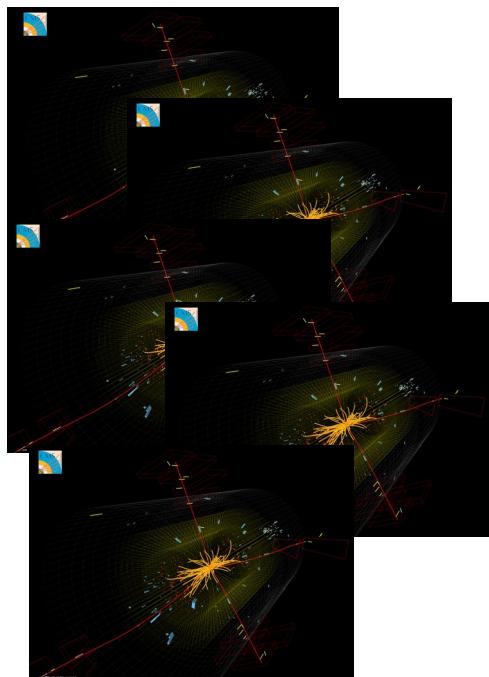


CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT

Run/Event: 194108 / 564224000

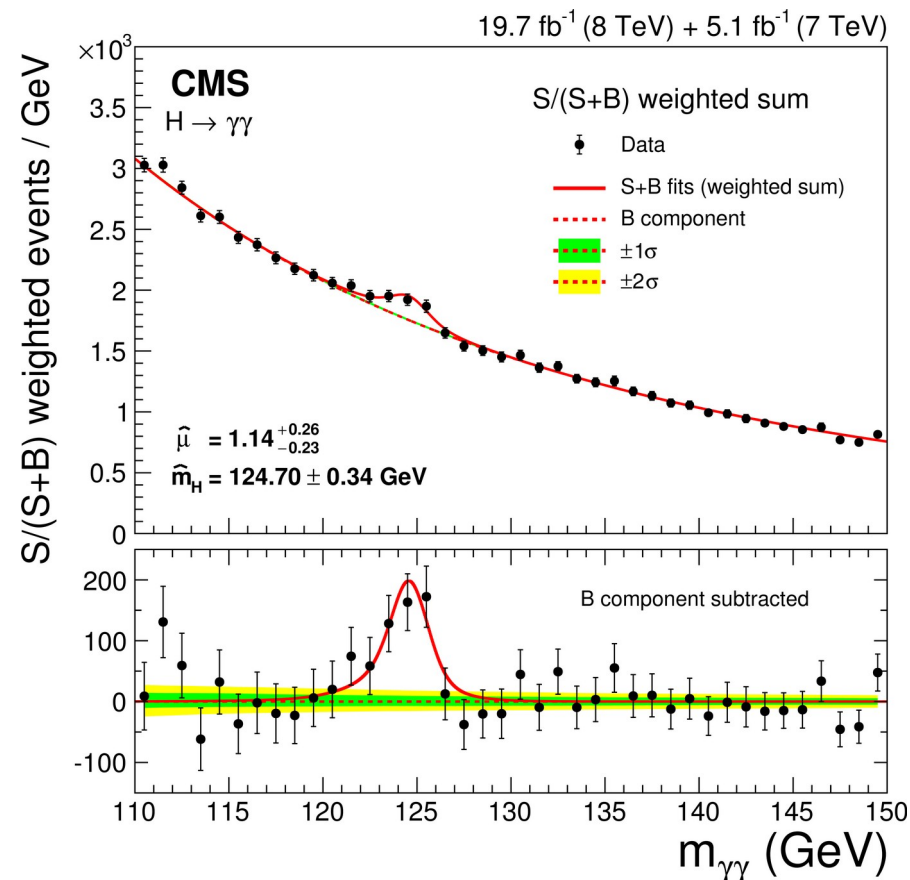




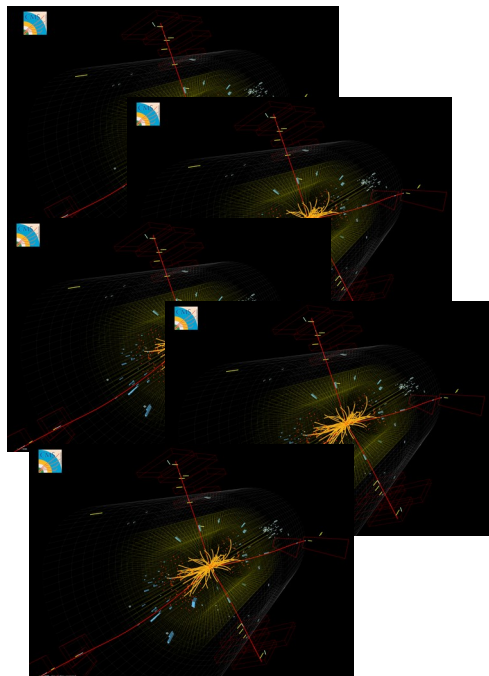
dopo 40 milioni  
di collisioni al  
secondo per  
2 anni ...



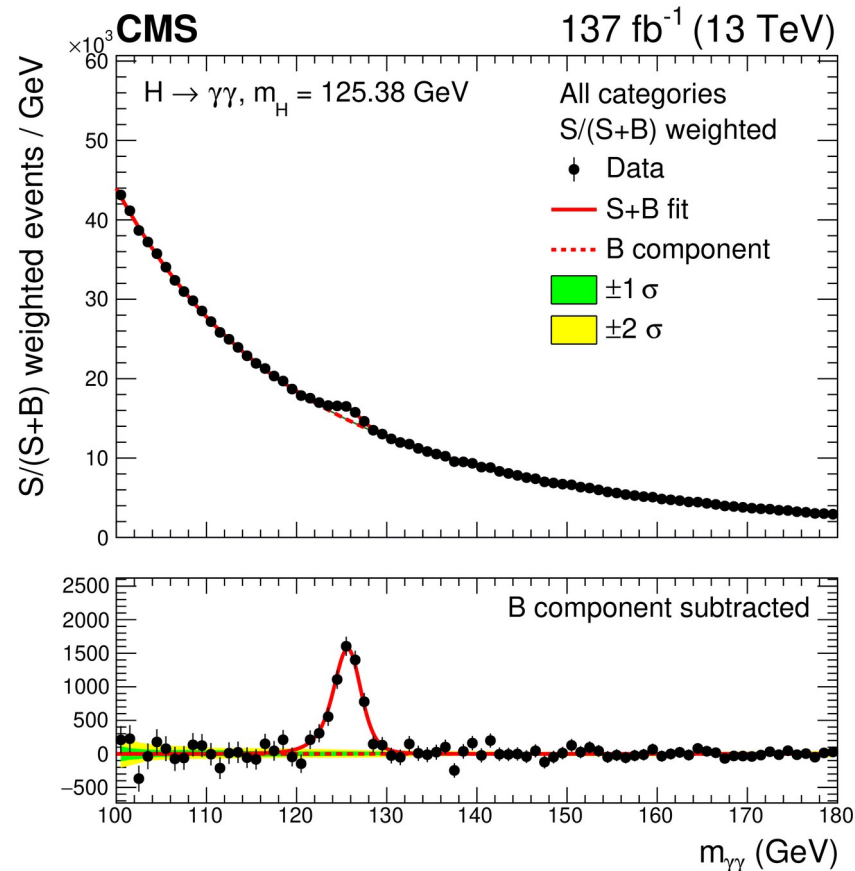
<https://youtu.be/pQhbhpU9Wrg>



# Scoprire una particella



dopo 40 milioni  
di collisioni al  
secondo per  
2 anni ...



<https://youtu.be/pQhbhpU9Wrg>

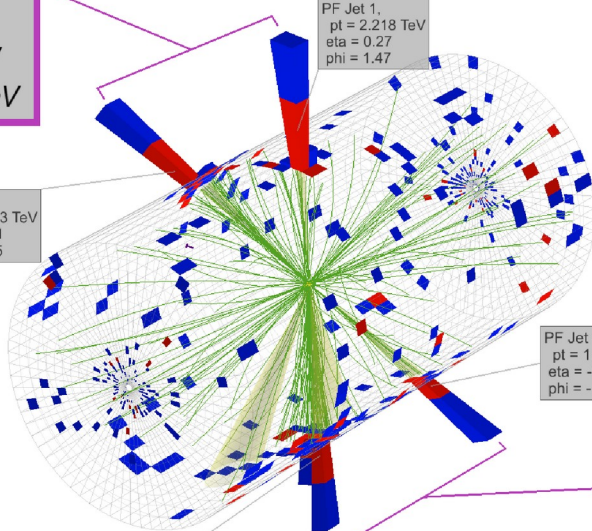




**Dijet Pair 1:**  
 $pt = 3.49 \text{ TeV}$   
 $Mass = 1.88 \text{ TeV}$

PF Jet 3,  
 $pt = 1.733 \text{ TeV}$   
 $\eta = 0.21$   
 $\phi = 2.45$

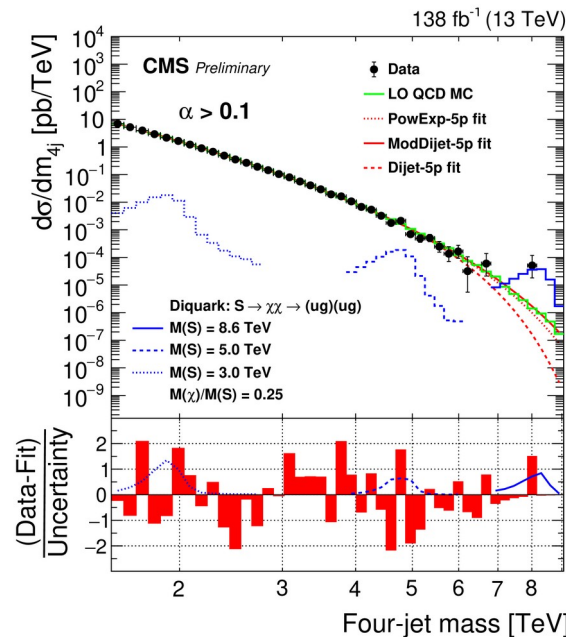
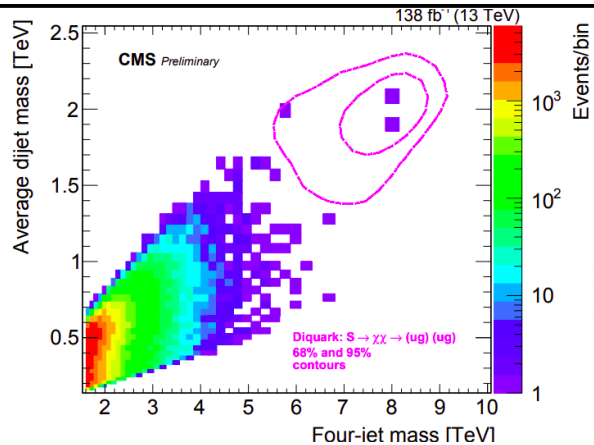
PF Jet 1,  
 $pt = 2.218 \text{ TeV}$   
 $\eta = 0.27$   
 $\phi = 1.47$



PF Jet 4,  
 $pt = 1.408 \text{ TeV}$   
 $\eta = -0.74$   
 $\phi = -1.17$

PF Jet 2,  
 $pt = 2.042 \text{ TeV}$   
 $\eta = 0.29$   
 $\phi = -1.27$

**Dijet Pair 2:**  
 $pt = 3.45 \text{ TeV}$   
 $Mass = 1.86 \text{ TeV}$



CMS Experiment at LHC, CERN  
 Data recorded: Sat Oct 28 12:41:12 2017 EEST  
 Run/Event: 305814 / 971086788  
 Lumi section: 610

- 4000 scienziati
  - di cui 1000 studenti PhD.
- 206 istituti.
- 47 nazioni.







Ultra-legacy reprocessing  
preparation, status and first results

PRO  
Prep  
Information  
CNS





cmsexperiment

Message



126 posts 17.8k followers 174 following

Compact Muon Solenoid at CERN

CMS is a particle detector on the #LHC @CERN

Sitting peacefully 100m underground, investigating secrets of the Universe while watching protons collide

cms.cern

Followed by raffaelegerosa, cern, andrea.carlo.marini +5 more



ICHEP2020



LHCP2020...



CMS facts



LP2019@T...



EPS-HEP ...



Detector ...



Virtual



inf\_n Insights

Message

345 posts 11.6k followers

INFN

Science, Technology & Engineering

Con gli occhi puntati sull'infinitamente

home.inf\_n.it/it

Followed by soffilivia, raffaelegerosa, cern +1 more



#INFN70



Art&Science



TRACCE



La Fisica



cern

Message



1,287 posts 735k followers

CERN

#CERN, the European Organization particle physics laboratory.

Images © CERN, unless otherwise s

home.cern

Followed by raffaelegerosa, isabellavoj, andrea.c



S. DONATO (LINE

POSTS

IGTV



INFN70



INFN70

- LHC video:

<https://www.youtube.com/watch?v=pQhbhpU9Wrg&t=1s>

- Physics's girl:

<https://www.youtube.com/watch?v=nrXhK3Gh5EE>

- Canali YouTube:

<https://www.youtube.com/c/CMSExperiment>

<https://www.youtube.com/c/CERN>

- Tutta colpa di Einstein:

[https://www.mediasetplay.mediaset.it/programmi-tv/tuttacolpadieinstein\\_SE000000000325](https://www.mediasetplay.mediaset.it/programmi-tv/tuttacolpadieinstein_SE000000000325)