

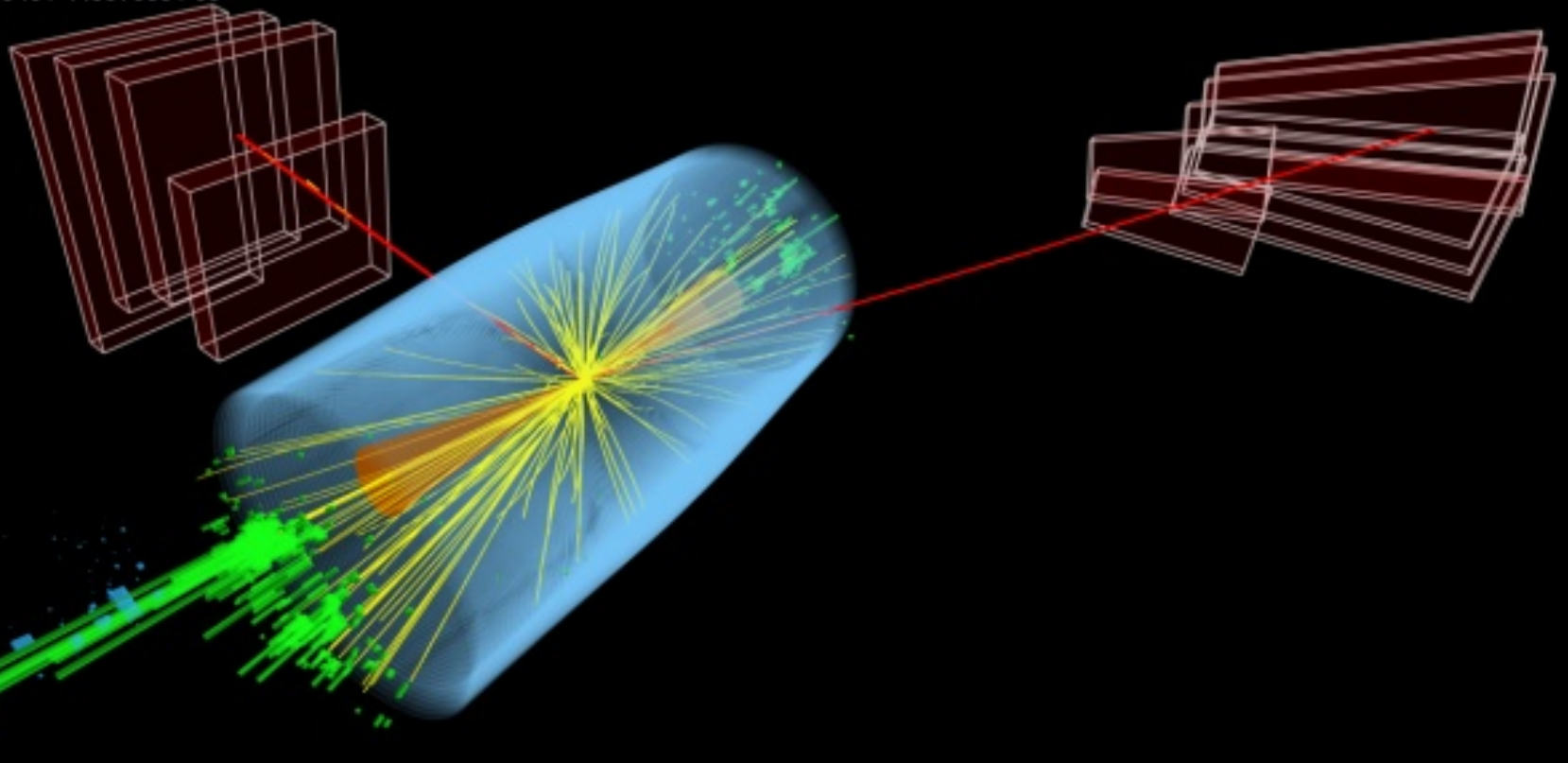
# Acceleratori e rivelatori



CMS Experiment at the LHC, CERN

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

Run / Event / LS: 323940 / 44997009 / 65

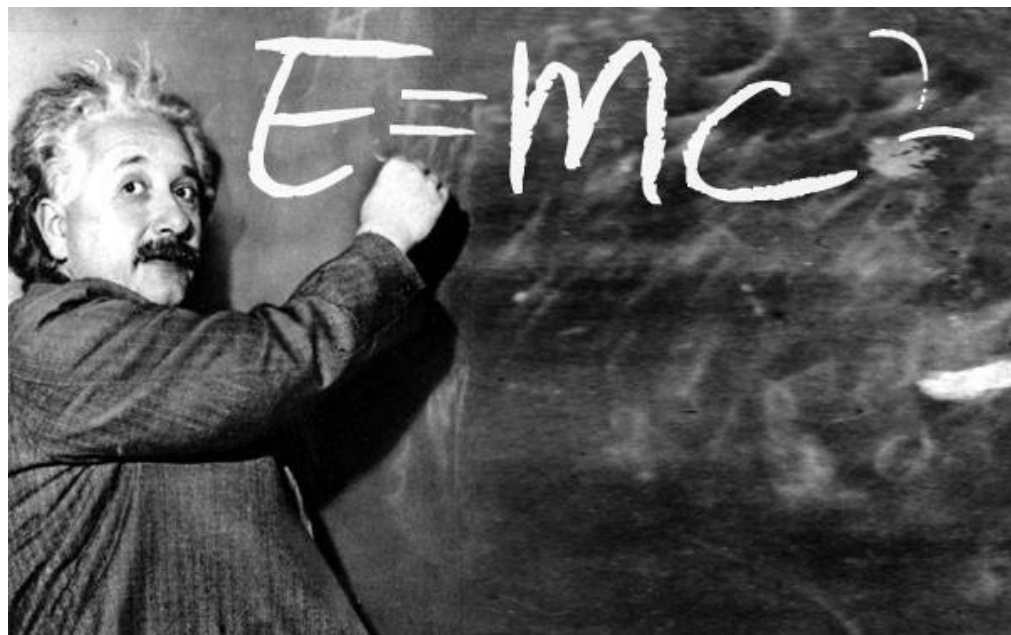




Acceleratori di particelle

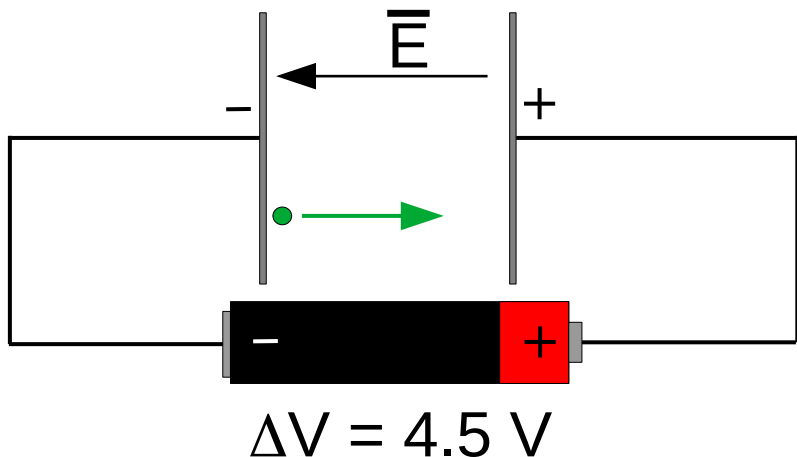
# Perche' gli acceleratori di particelle?

- 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**.

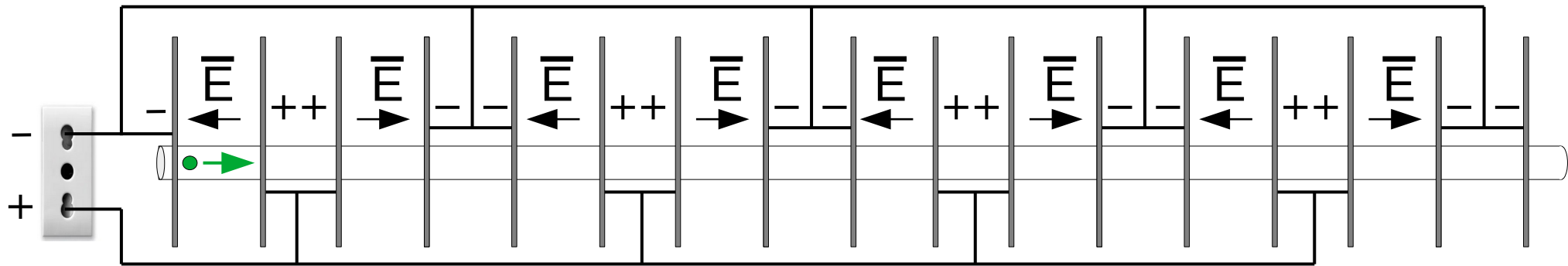


# Acceleratori lineari

- 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  $\Delta V = 1 \text{ V}$ ,  $E = \mathbf{1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}$ .
- ( $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ )  $1 \text{ eV} \rightarrow \sim 600 \text{ km/s}$ .  $600 \text{ k eV} \rightarrow 270 \text{ 000 km/s}$  (non  $450 \text{ 000 km/s}$ !)



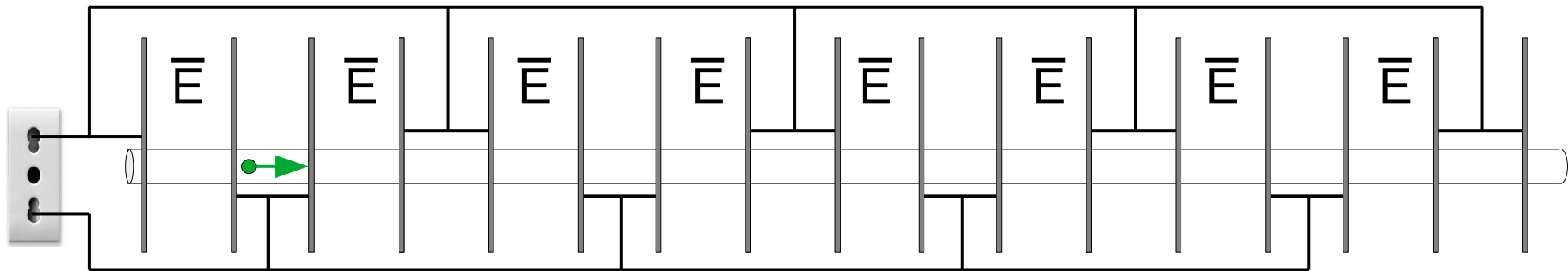
- Possiamo accelerare le particelle piu' volte utilizzando una differenza di potenziale  $\Delta V$  alternata
- Dopo il passaggio tra le prime due piastre la particella riceve un'energia  $E = q \Delta V$



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

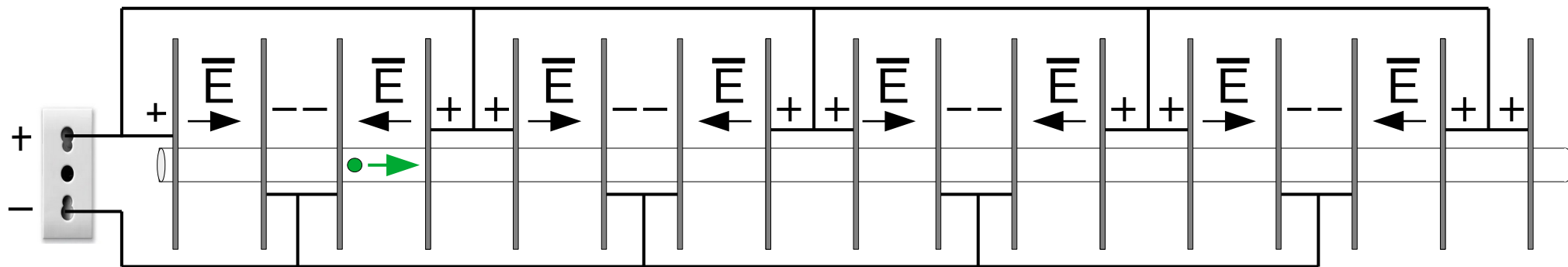
# Acceleratori lineari

- La particella procede verso la successiva coppia di piastre



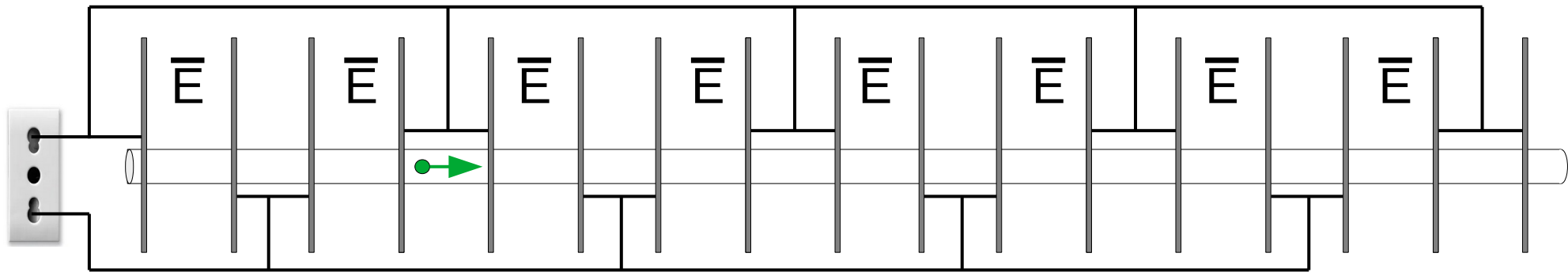
$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- 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 ...  $E_N = N q \Delta V$

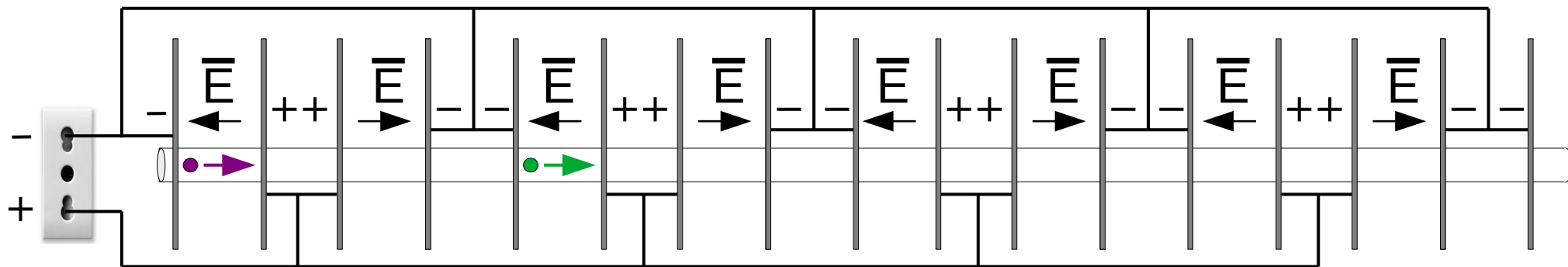


$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$



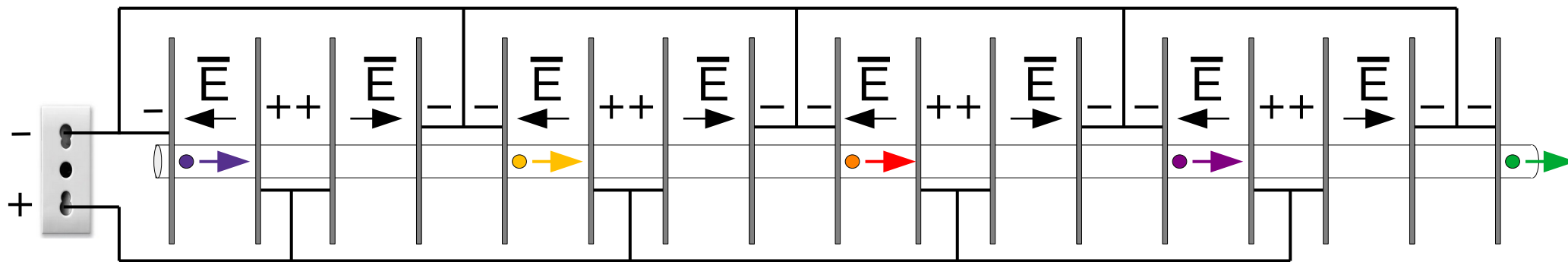
- Per funzionare, l'acceleratore ha bisogno di essere “**sincronizzato**” con il tempo di percorrenza delle particelle tra una piastra e l'altra

$$\Delta t = 1 / 2f \text{ (10 ms se } f = 50 \text{ Hz)}$$



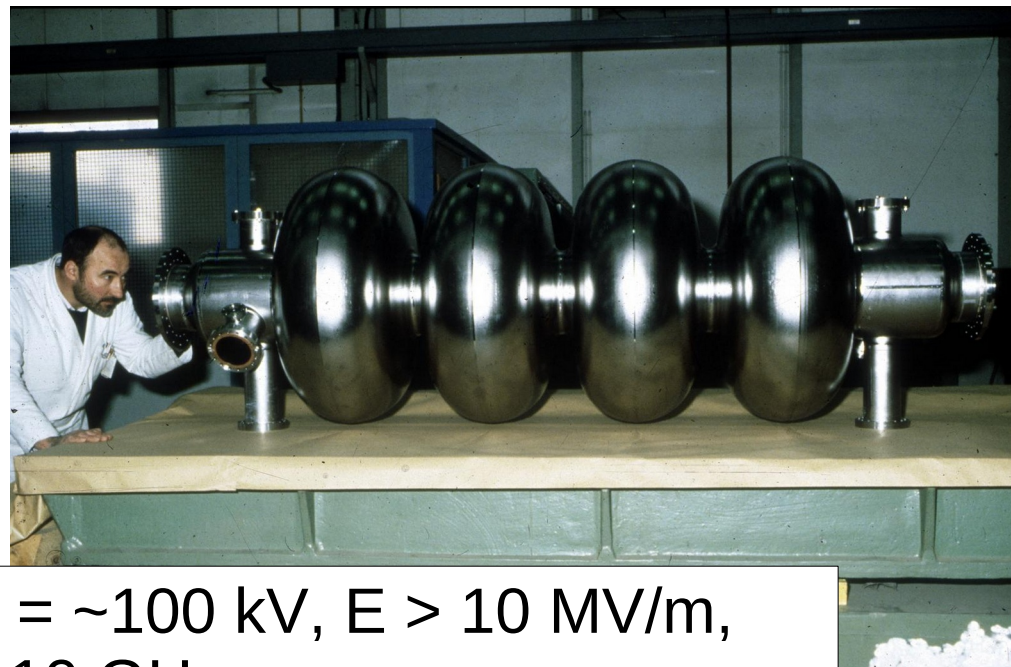
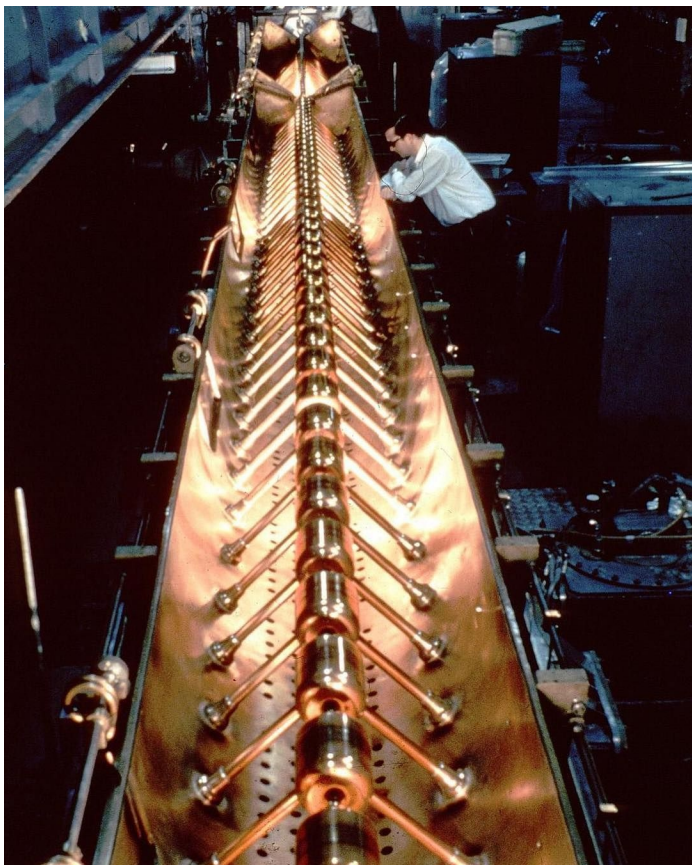
$$\Delta V = 220 \text{ V, } f = 50 \text{ Hz}$$

- 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**”.



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

# Acceleratori lineari



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

# Acceleratori lineari

LINAC CERN  
(Ginevra)



SLAC  
(USA)

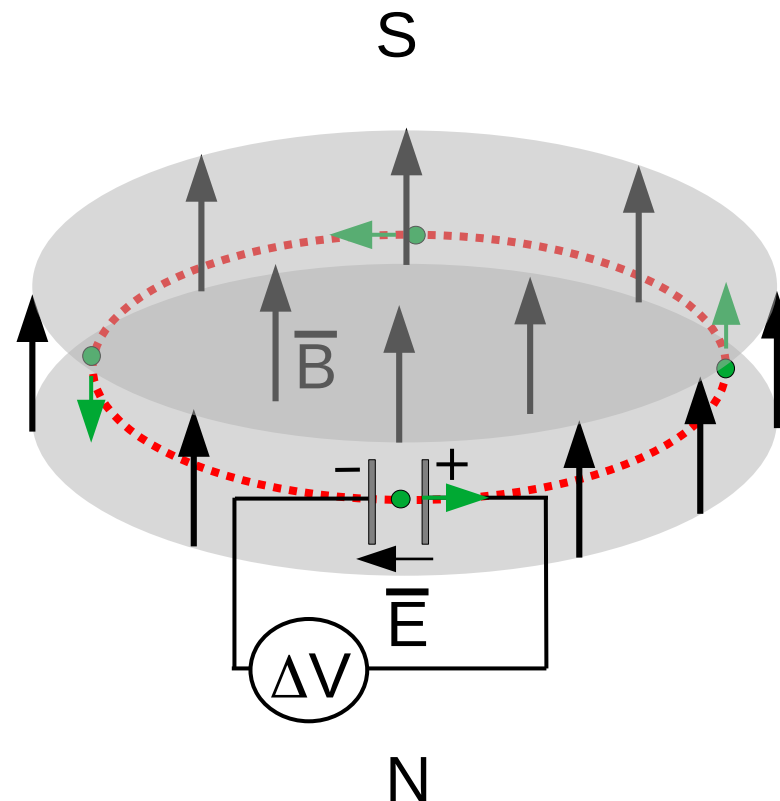


# Acceleratori lineari

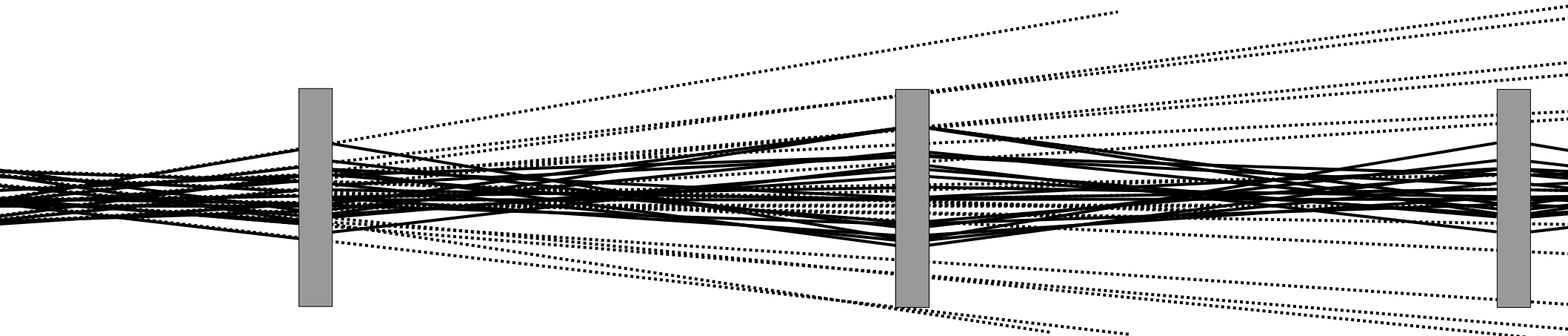
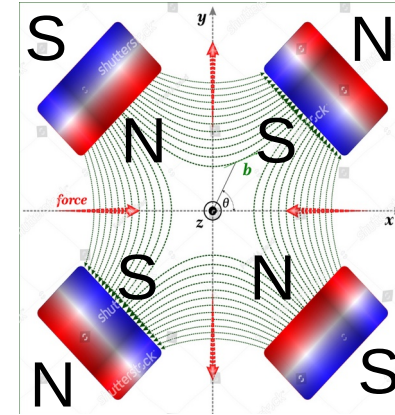


- La maggior parte degli acceleratori lineari vengono utilizzati in medicina per la **radioterapia**.
- Gli elettroni vengono accelerati a  $\sim 10$  MeV e vengono utilizzati per produrre **raggi X** che colpiscono i tumori.
- Per i tumori superficiali vengono utilizzati direttamente gli **elettroni**.

- 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**”

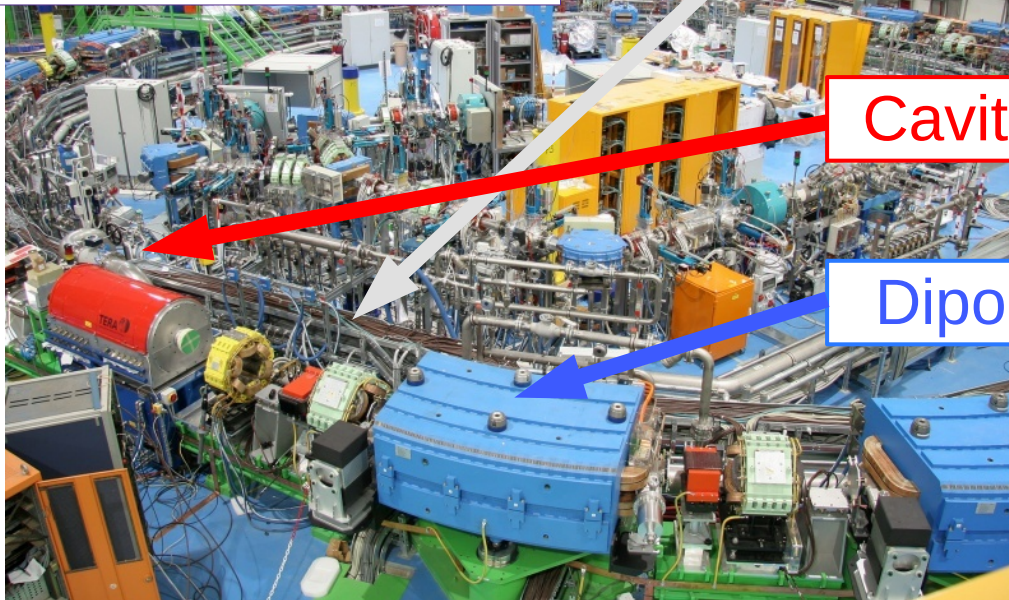


- Per mantenere le particelle “collimate” si utilizzano i quadrupoli magnetici



# Acceleratori circolari

Centro Nazionale  
di Adroterapia  
Oncologica (Pavia)

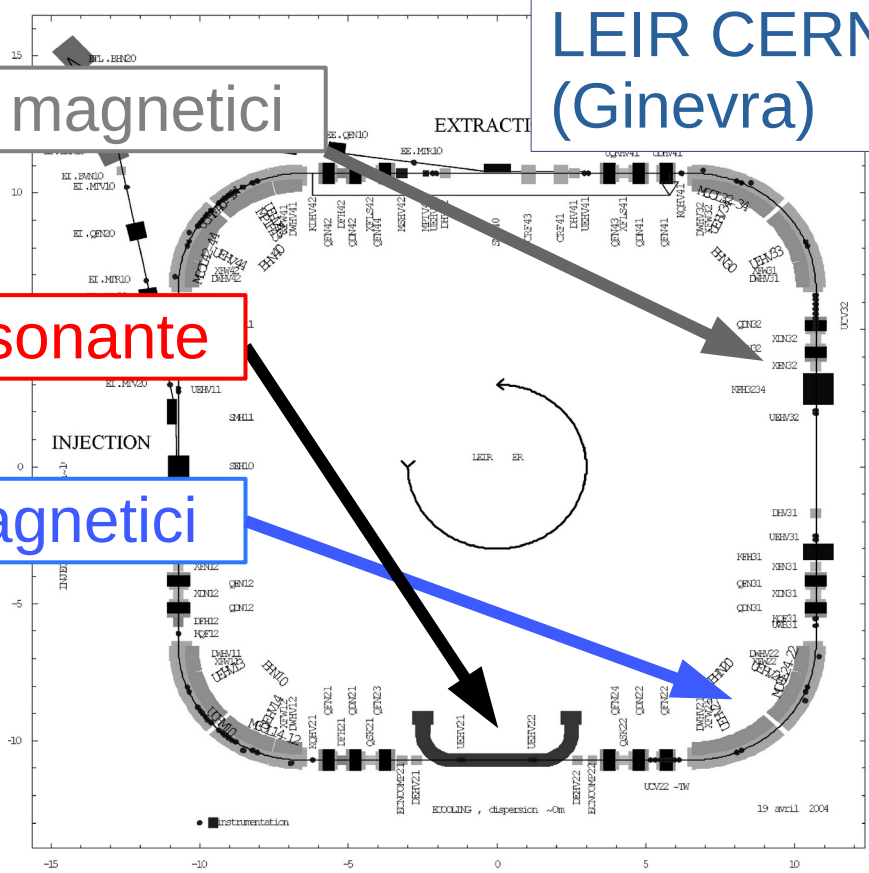


Quadrupoli magnetici

Cavita' risonante

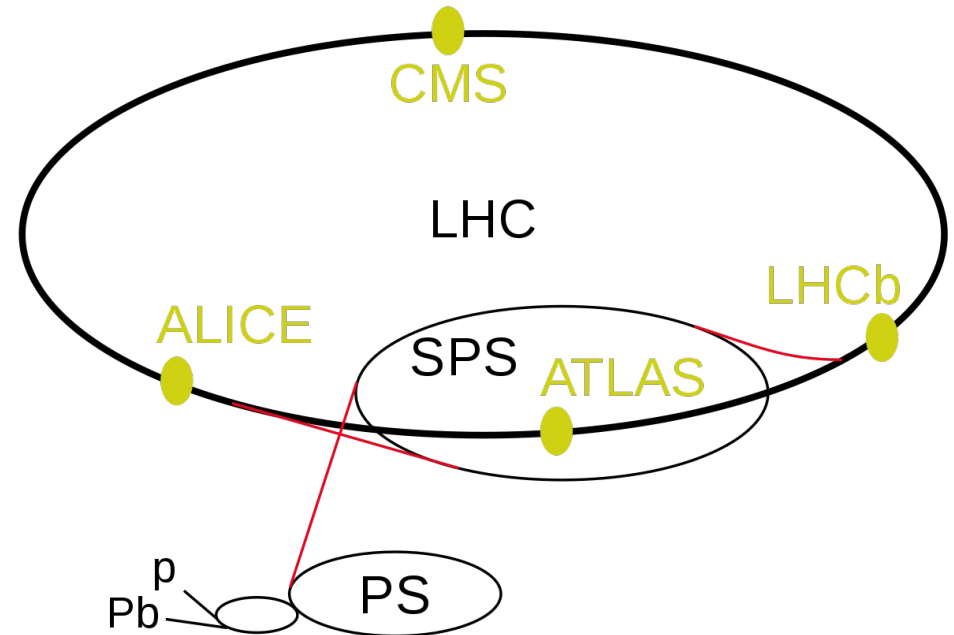
Dipoli magnetici

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

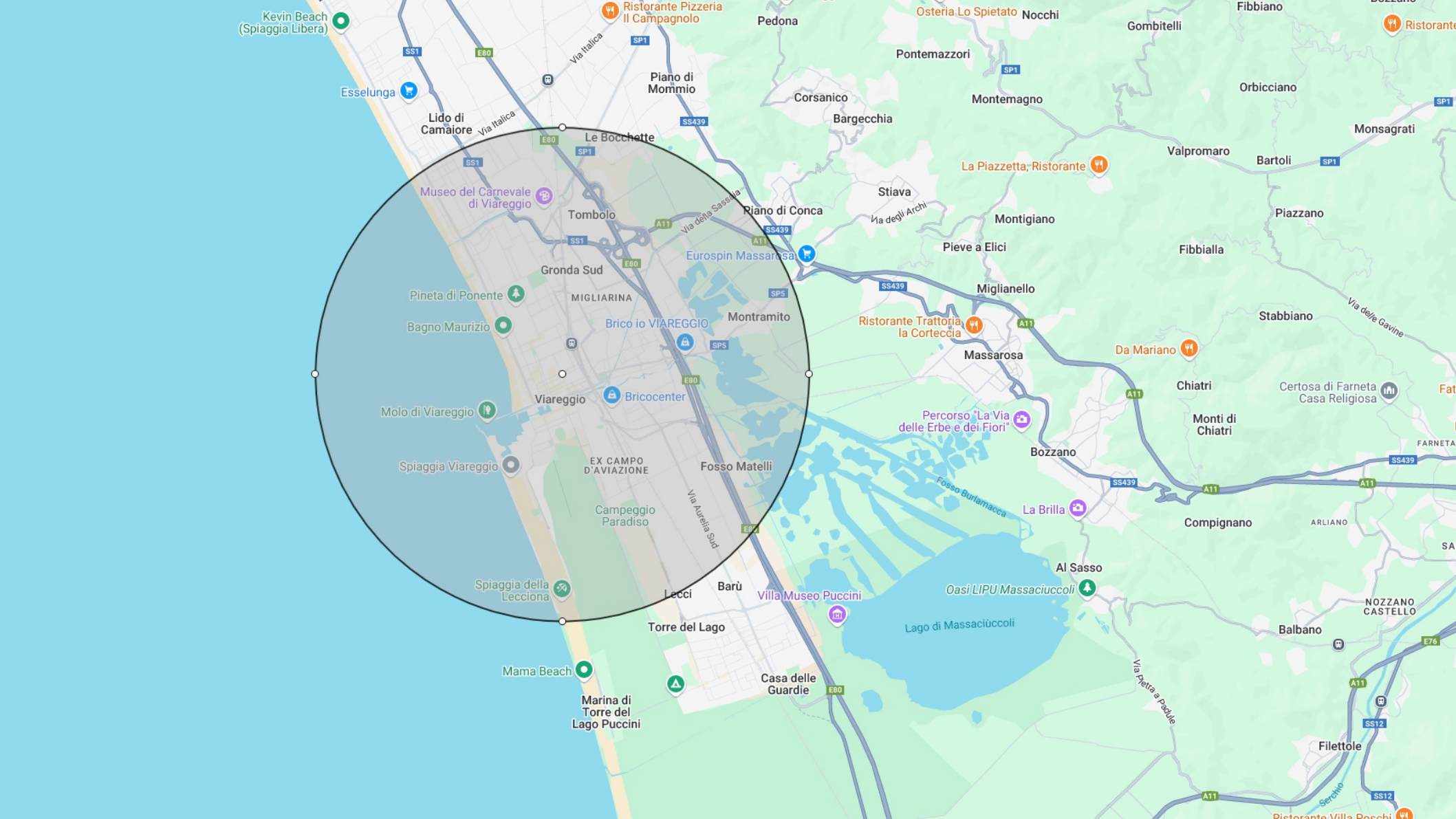
CERN Prévessin

SPS 7 km

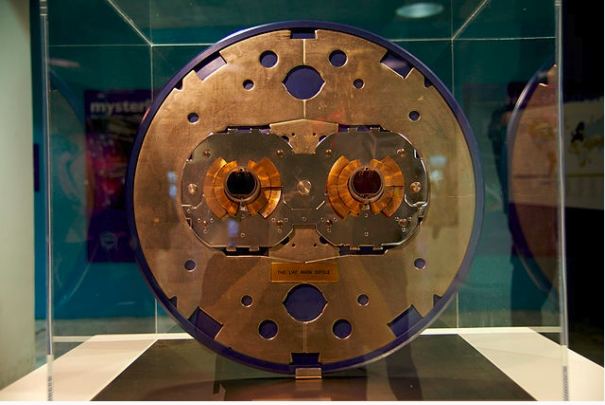
SPS 430 m

ALICE

LHC 27 km





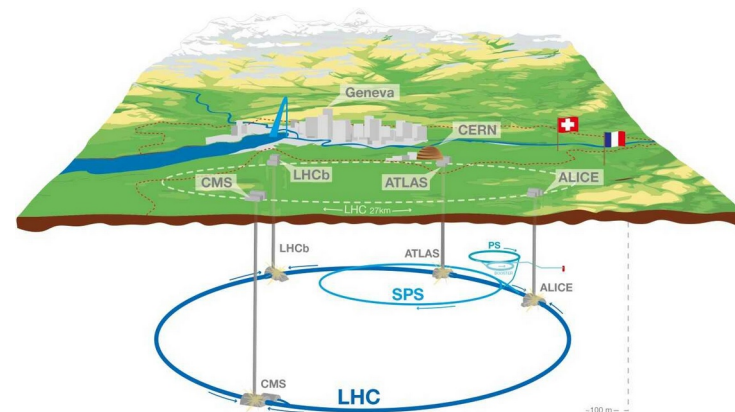
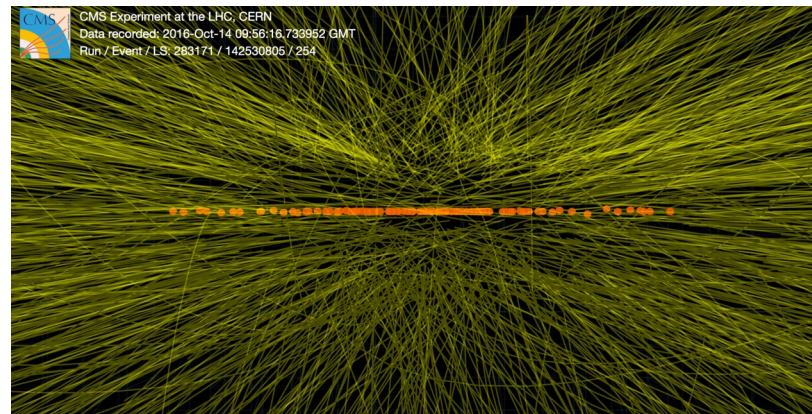


# Gli esperimenti a LHC



- 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**

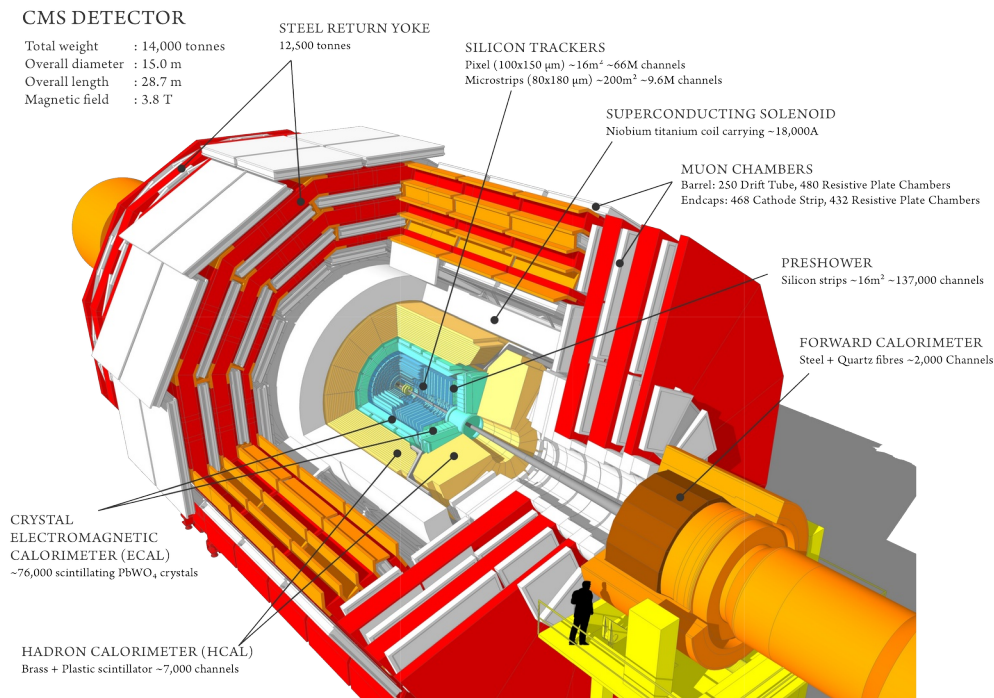


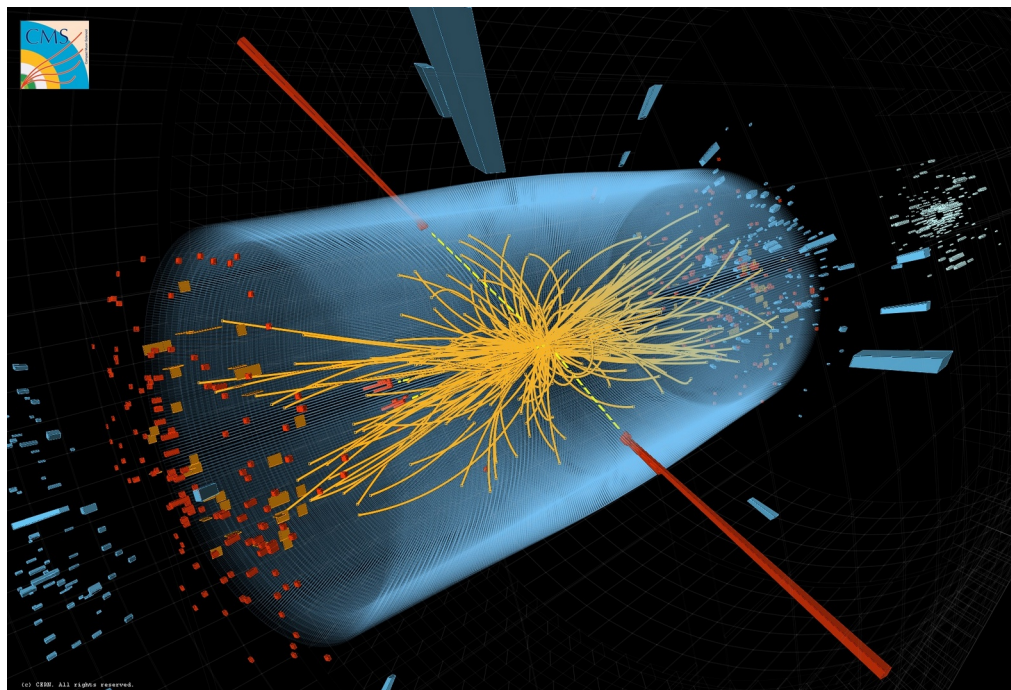


# L'esperienza CMS



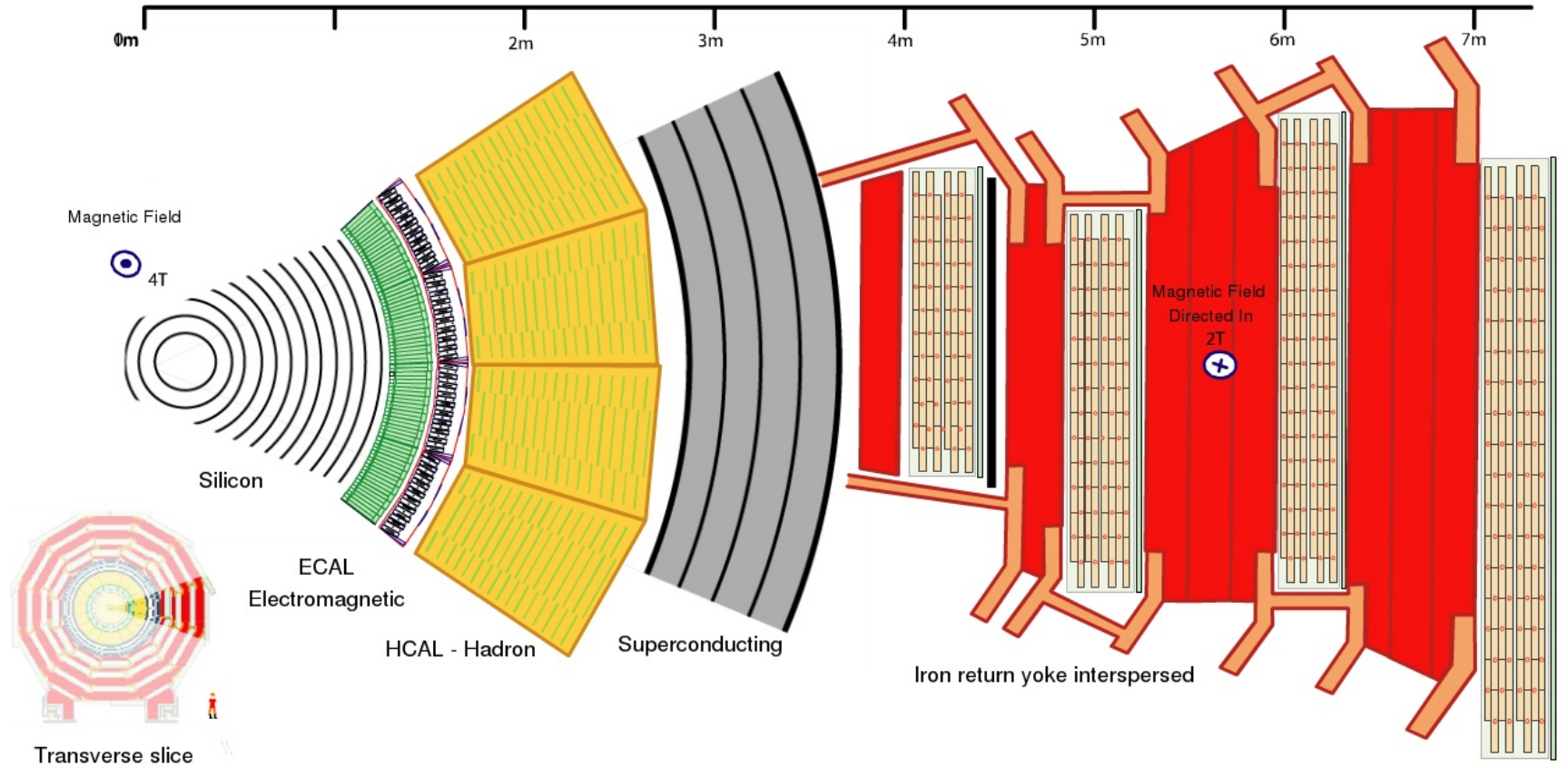
- L'esperimento Compact Muon Solenoid (**CMS**) è composto da un insieme di rivelatori per riconoscere ed identificare le particelle prodotte nelle collisioni protone-protone.
- Alcuni dati:
  - Altezza ~ 15 m
  - Lunghezza ~ 22 m
  - Peso ~ 12500 ton



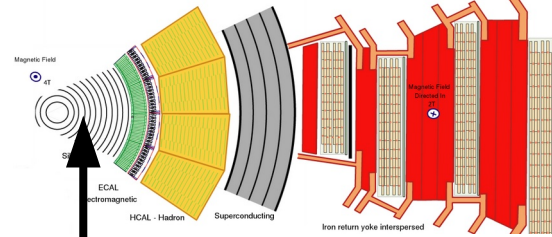


- CMS è un esperimento che si propone più obiettivi, es.:
  - ricerca del bosone di Higgs (e misura delle sue caratteristiche);
  - misure sul Modello Standard (eg. violazione di CP, decadimenti rari, misura massa particelle, sezioni d'urto)
  - ricerca di nuove particelle previste da nuove teorie (eg.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

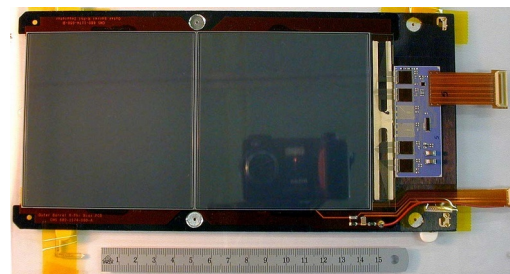
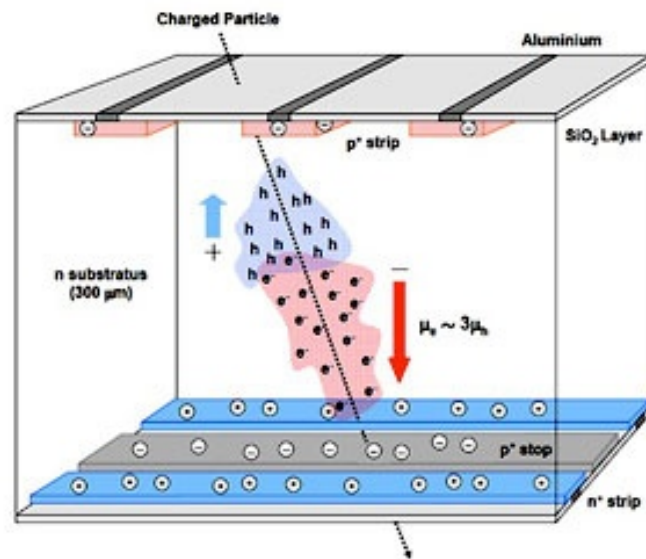
# Un esperimento a più strati



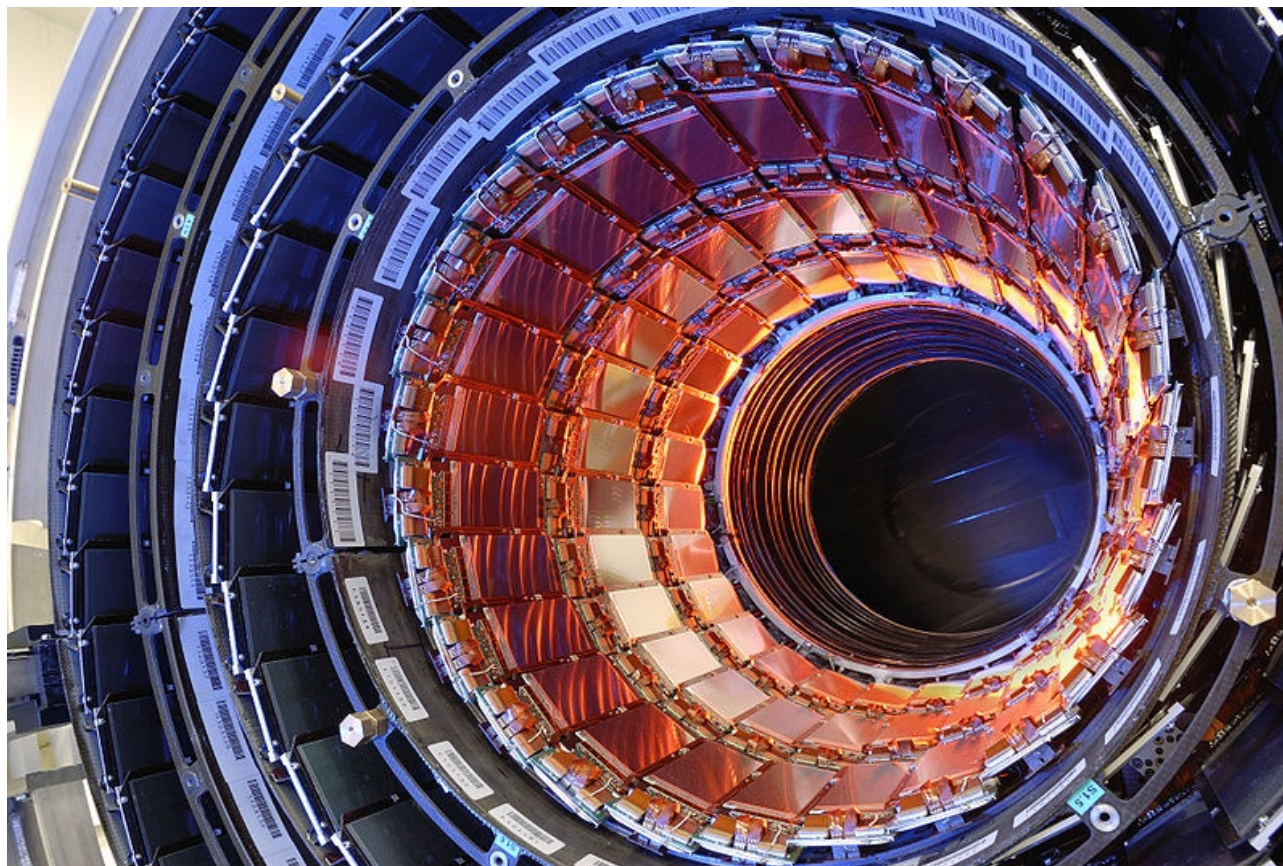
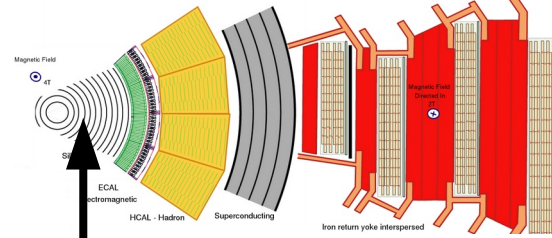
# Il tracciatore



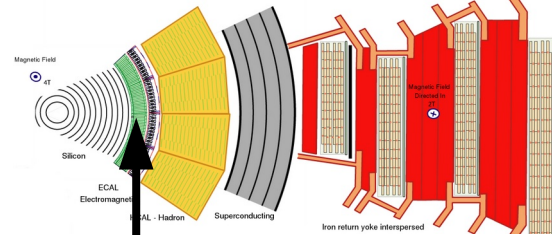
- Il tracciatore al silicio è il cuore di CMS e permette di ricostruire la **traiettoria** delle particelle **cariche**.
- Le particelle cariche strappano gli elettroni dagli atomi di silicio.
- Gli elettroni vengono accelerati da un campo elettrico formando un segnale elettrico.
- Esistono due tipi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



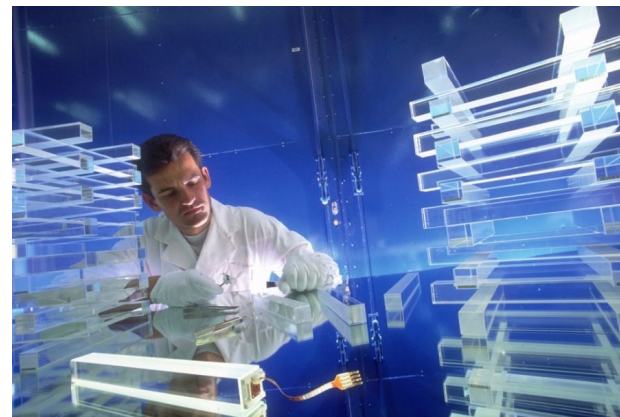
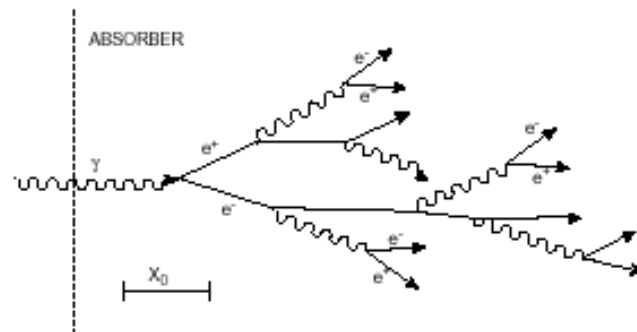
# Il tracciatore



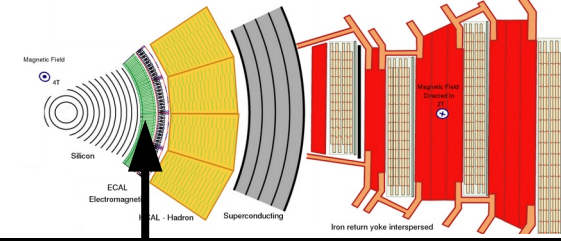
# Il calorimetro elettromagnetico



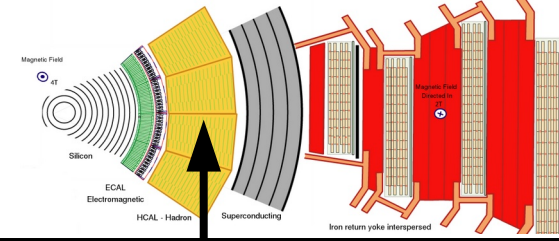
- Il calorimetro elettromagnetico (**ECAL**) è lo strumento che permette di misurare interamente **l'energia di elettroni e fotoni**.
- I fotoni interagiscono con ECAL emettendo coppie **elettrone/positrone**, che a loro volta possono produrre altri **fotoni**, e così' via.
- Le particelle cariche in 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.



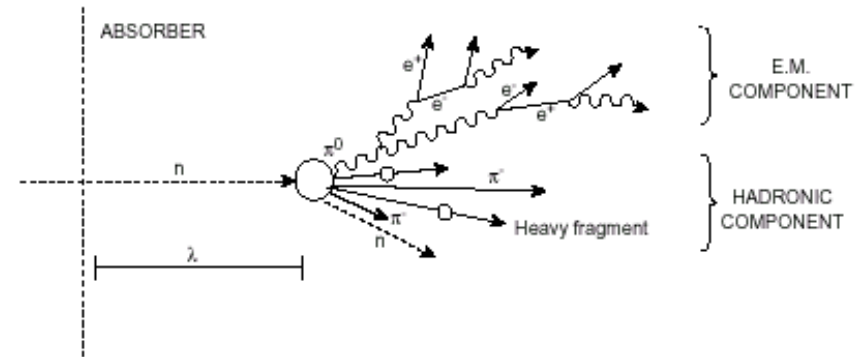
# Il calorimetro elettromagnetico



# Il calorimetro adronico

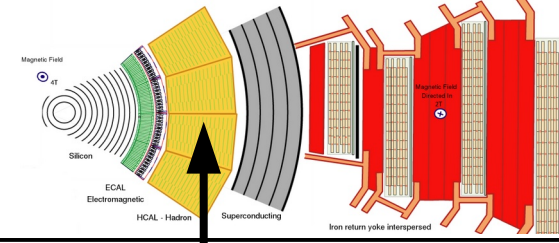


- Il calorimetro adronico (**HCAL**) misura l'energia degli adroni.
- In questo caso la particella interagisce con il rivelatore tramite interazioni adroniche.
- Le particelle cariche formatesi rilasciano parte della loro energia in luce che viene raccolta e misurata.
- A CMS il calorimetro adronico 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.

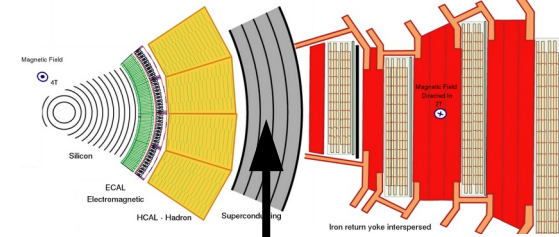




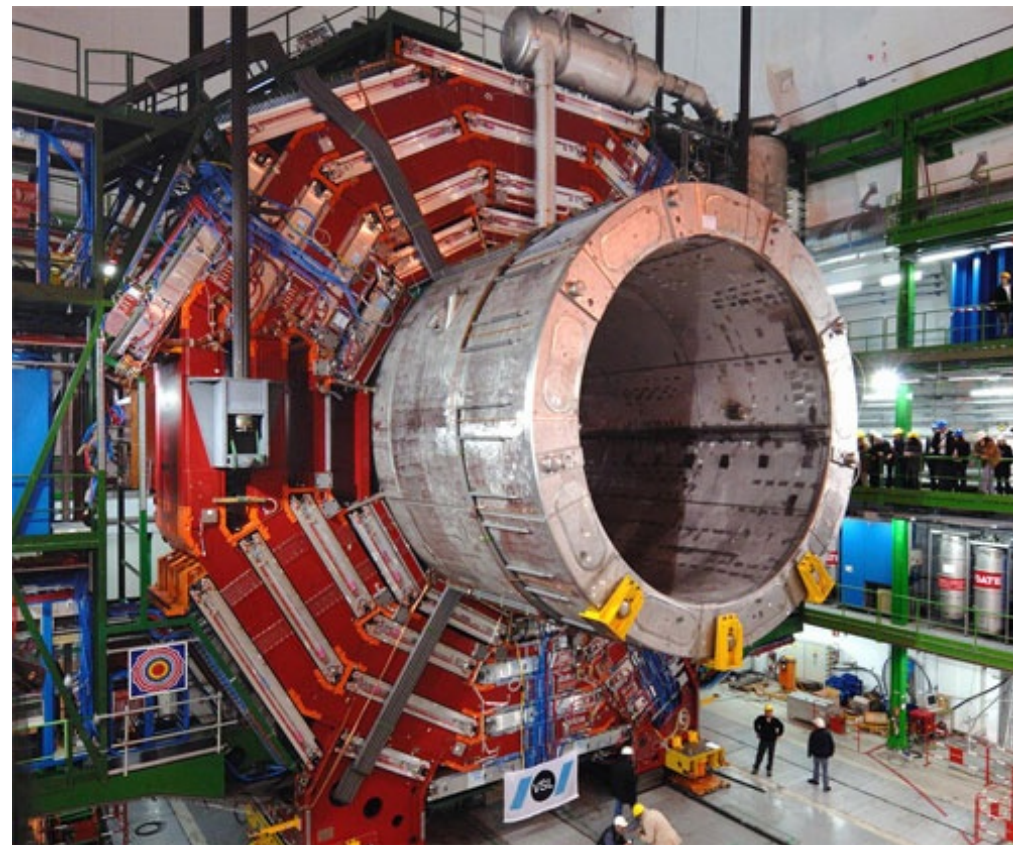
# Il calorimetro adronico



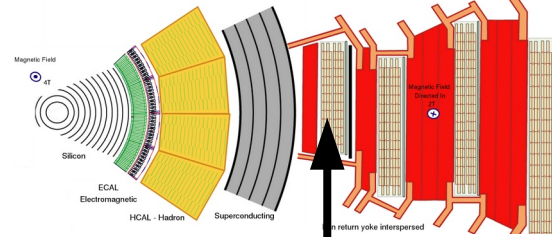
# Il solenoide superconduttore



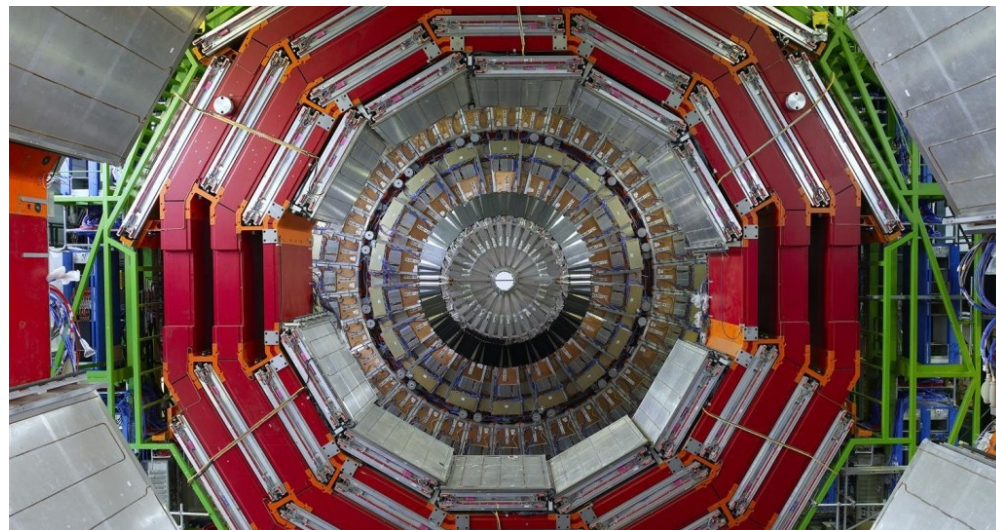
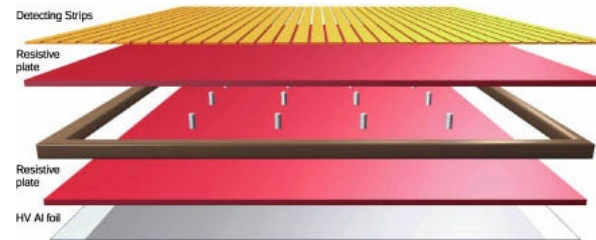
- Nei rivelatori di particelle il campo magnetico serve a distinguere la **carica** delle particelle e misurare la loro **quantità di moto**.
- A CMS sia il tracciatore che i calorimetri sono immersi in un campo magnetico di circa **4T**.
  - Il campo magnetico è generato da un solenoide **superconduttore**.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



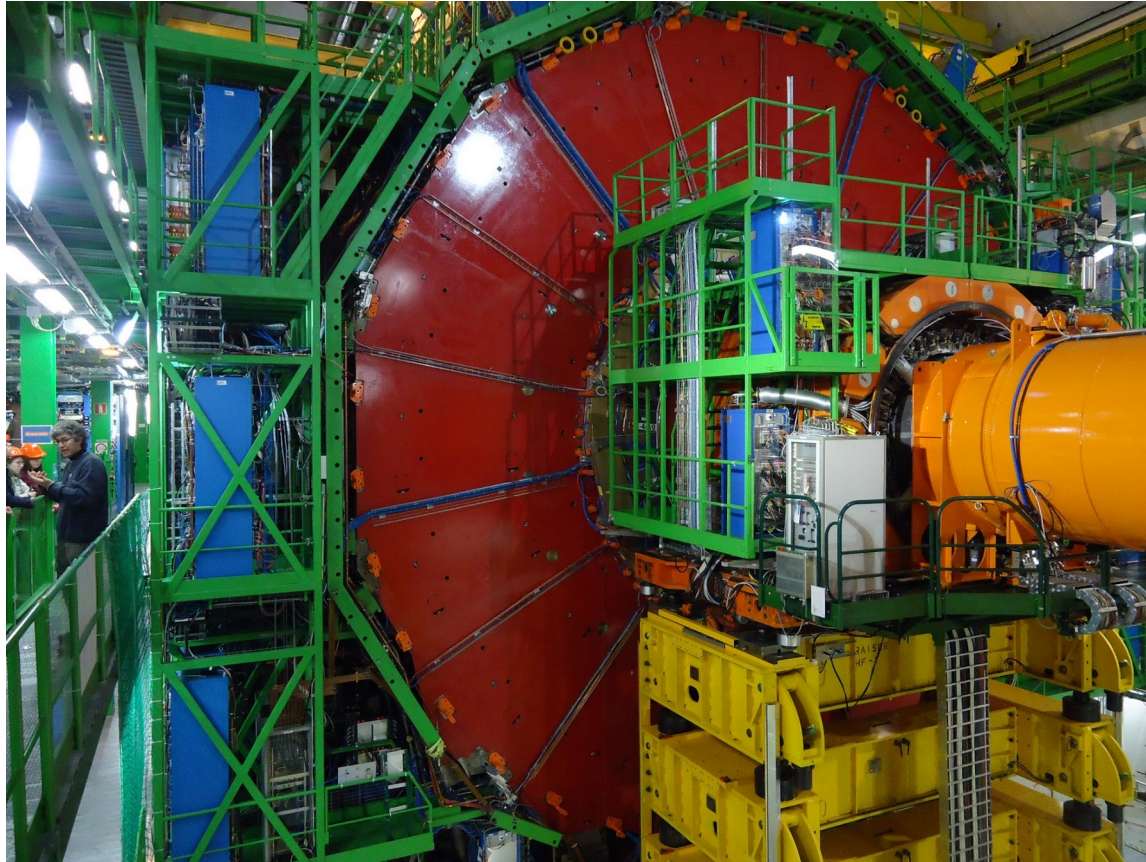
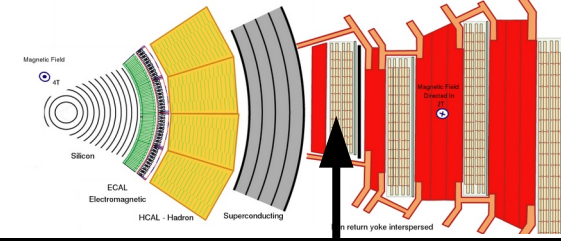
# Le camere muoniche



- 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.

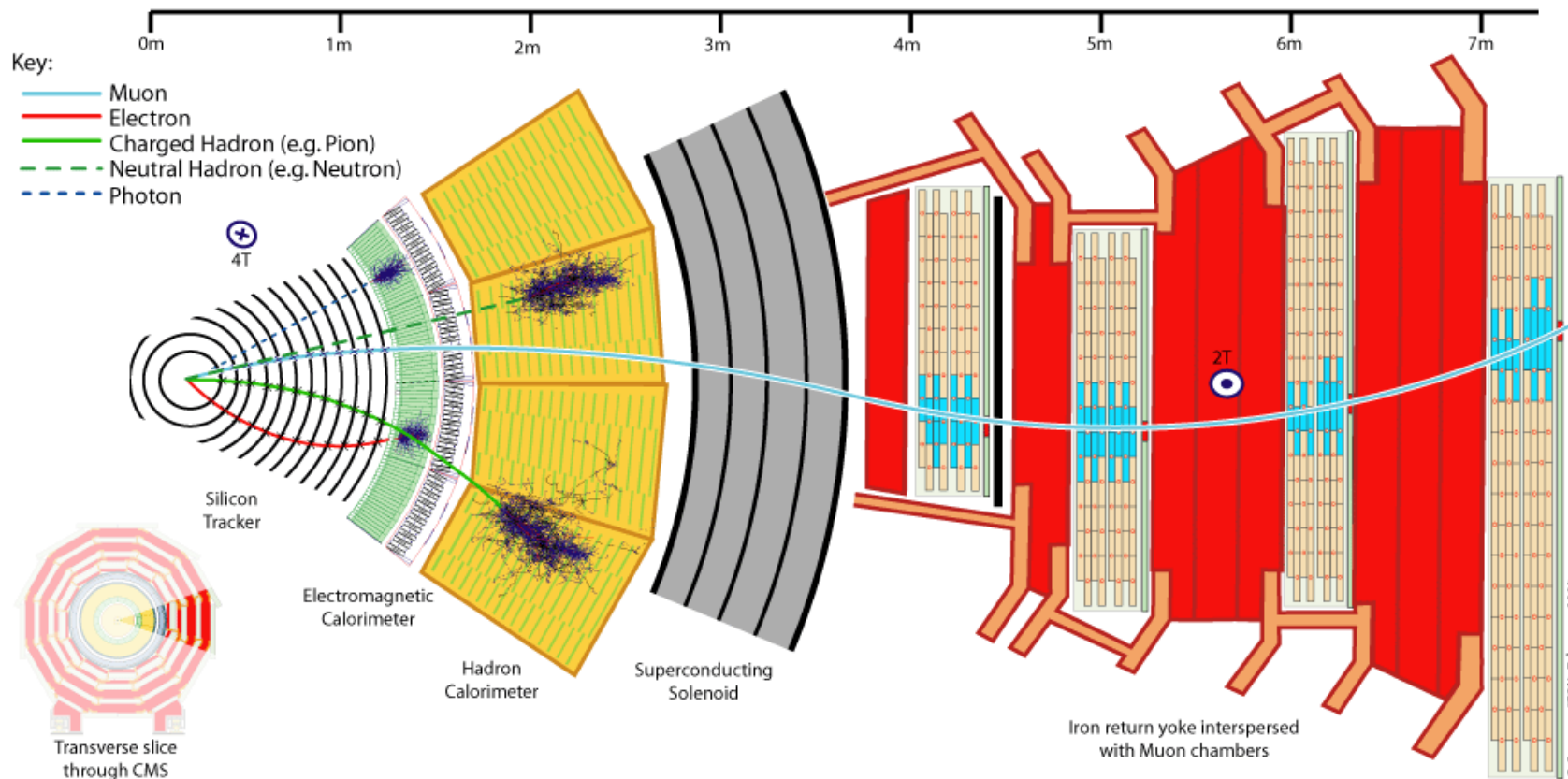


# Le camere muoniche





# Identificare e misurare le particelle

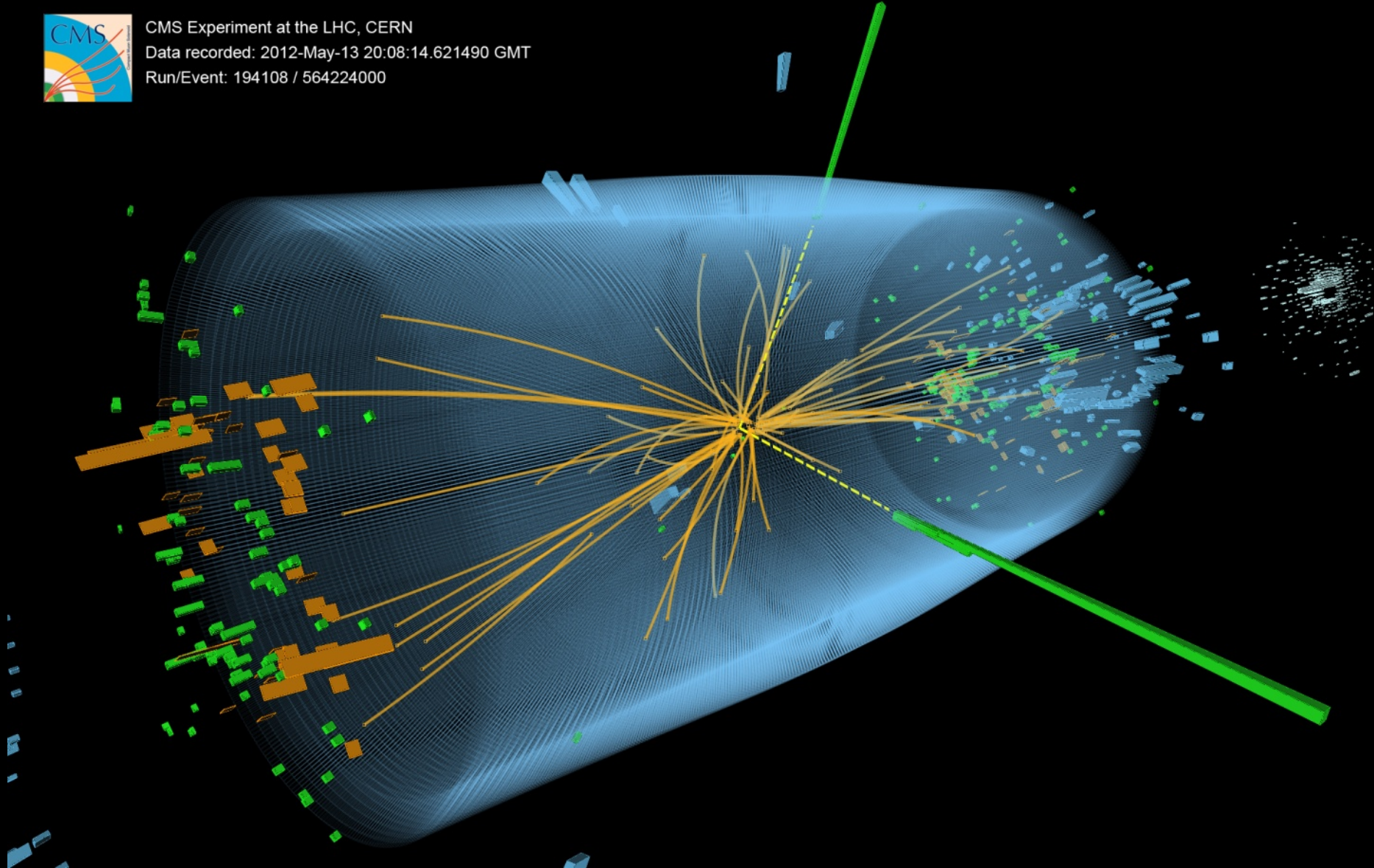




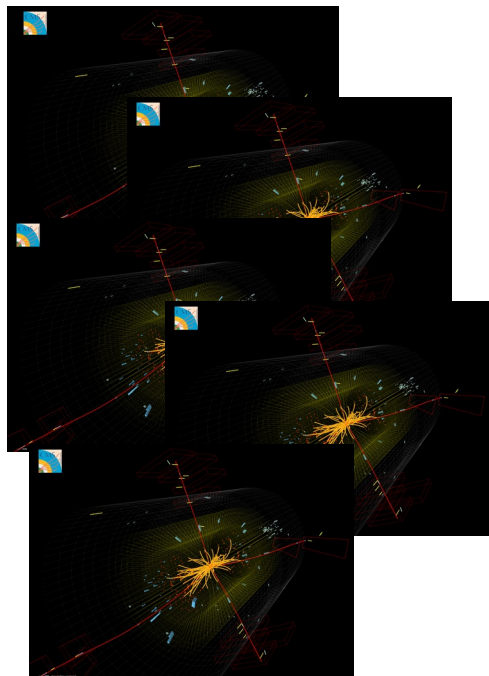
CMS Experiment at the LHC, CERN

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

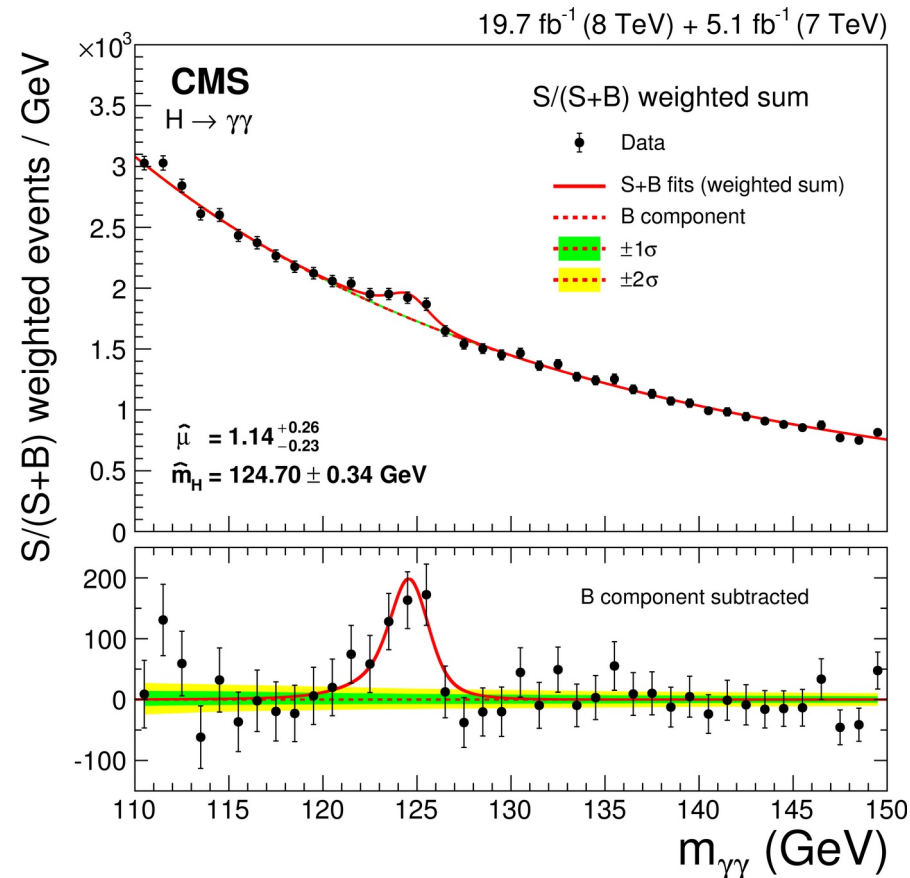
Run/Event: 194108 / 564224000



# Scoprire una particella



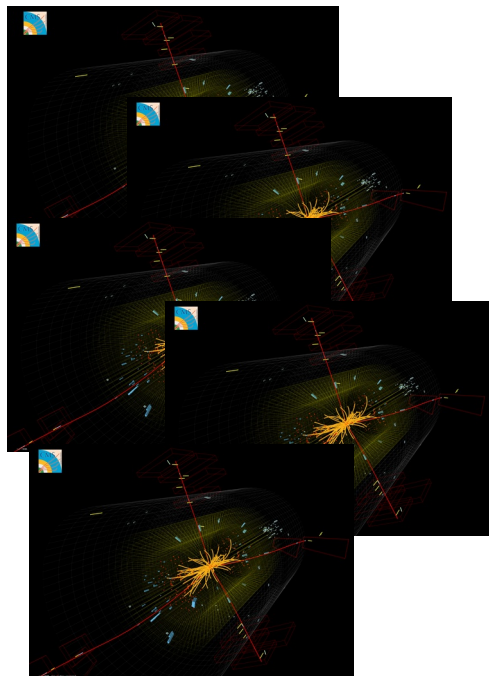
dopo 40 milioni  
di collisioni al  
secondo per  
2 anni Run-1  
(2011-12)...



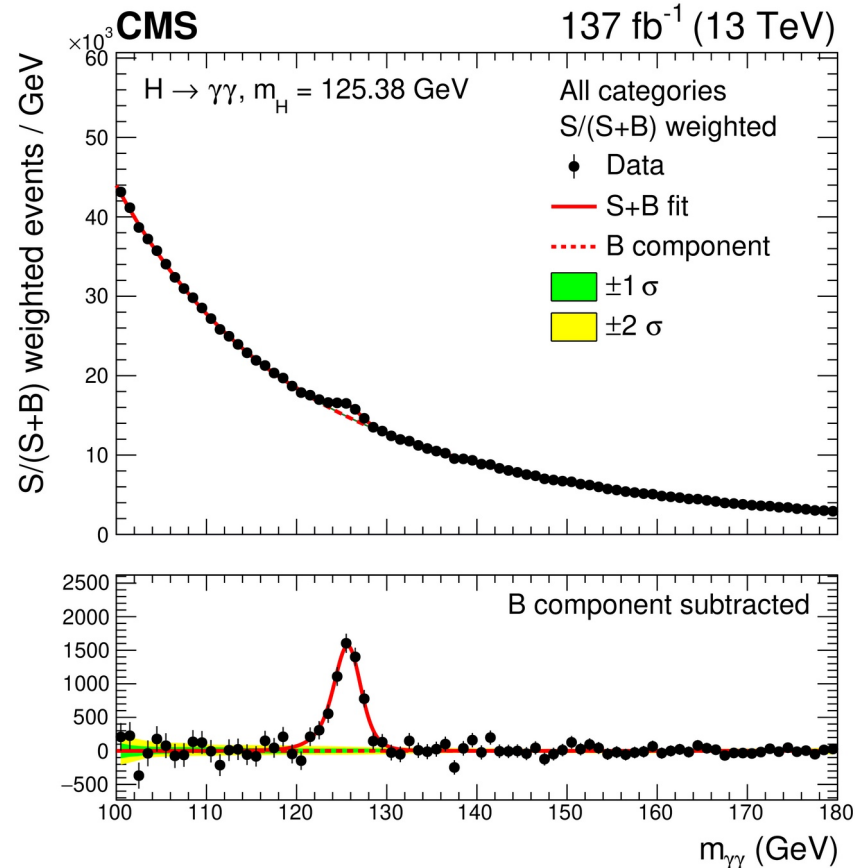
<https://youtu.be/pQhbhpU9Wrg>



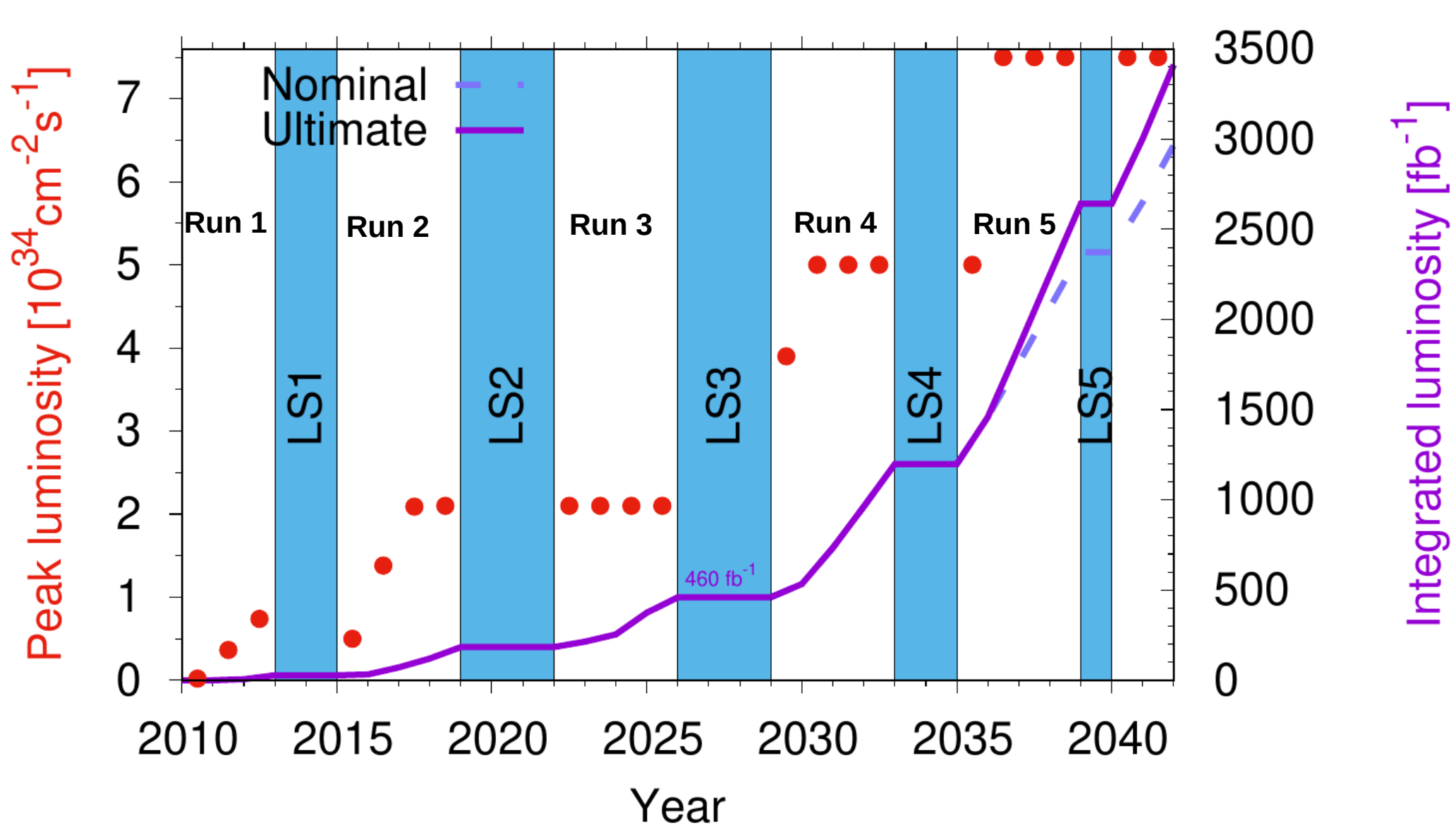
# Scoprire una particella

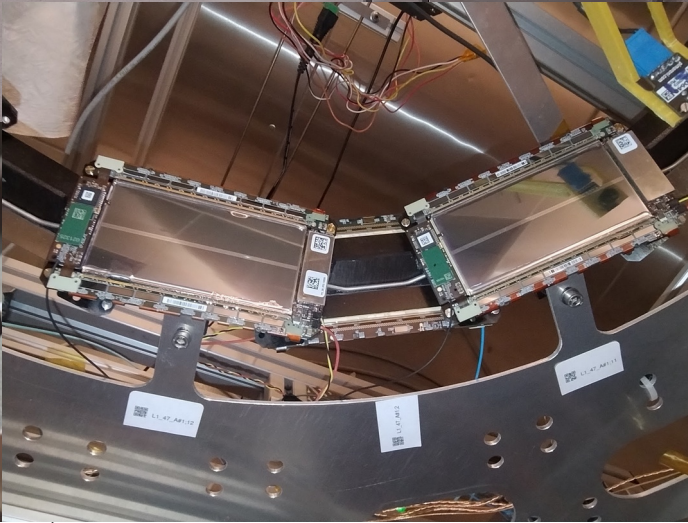
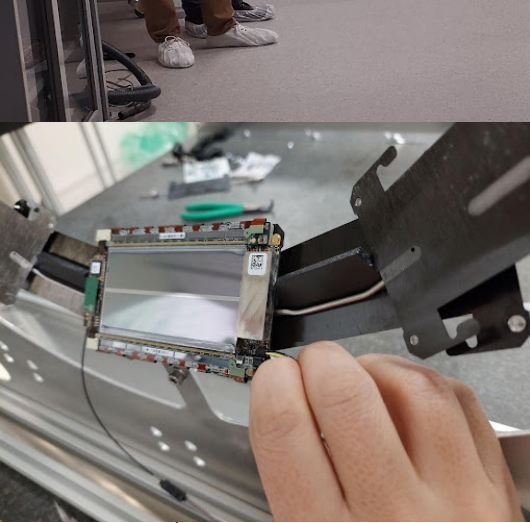


dopo 40 milioni  
di collisioni al  
secondo per  
3 anni Run-2  
(2016-18)...



<https://youtu.be/pQhbhpU9Wrg>





# Scoprire una particella



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

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

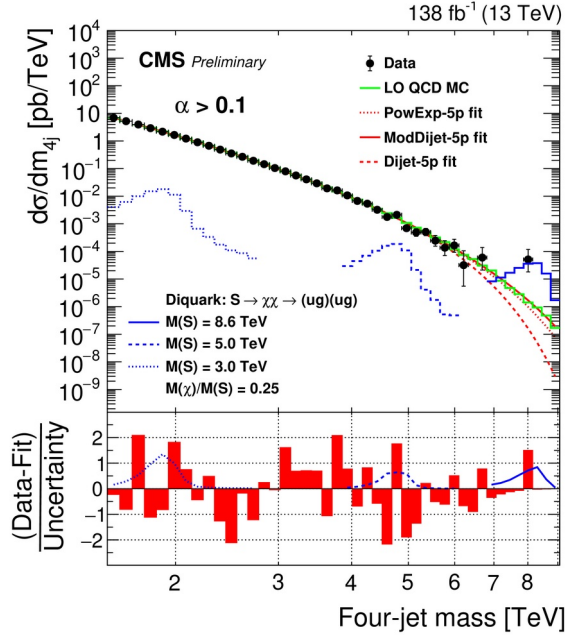
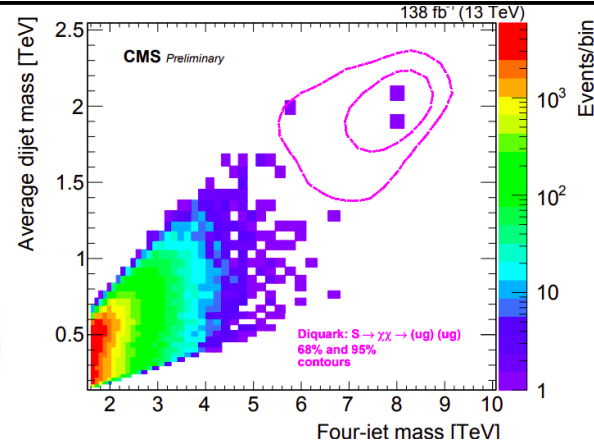
PF Jet 1,  
 $pt = 2.218 \text{ TeV}$   
 $\eta = 0.27$   
 $\phi = 1.47$

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



# La collaborazione CMS



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





## CERN Council Meeting - June 16/17

- Council met last Thursday/Friday to debate and vote on several issues, with the following decisions
  - Licence
  - To reduce the Liberator contribution to CERN for 2022 to the amount already committed to the Liberator, thereby waiving the second instalment of the contribution
  - That the member states will cover the resulting shortfall by increasing their 2022 contribution in proportion to their share of the CERN budget
  - That the Council will continue to discuss ways to ensure the full implementation of the Agreement, as soon as possible



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

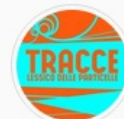
Followed by soffilivia, raffaelegerosa, cern +1 more



#INFN70



Art&Science



TRACCE



la Fisica tra le ONDE



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 (INFN)

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)





Domande?