

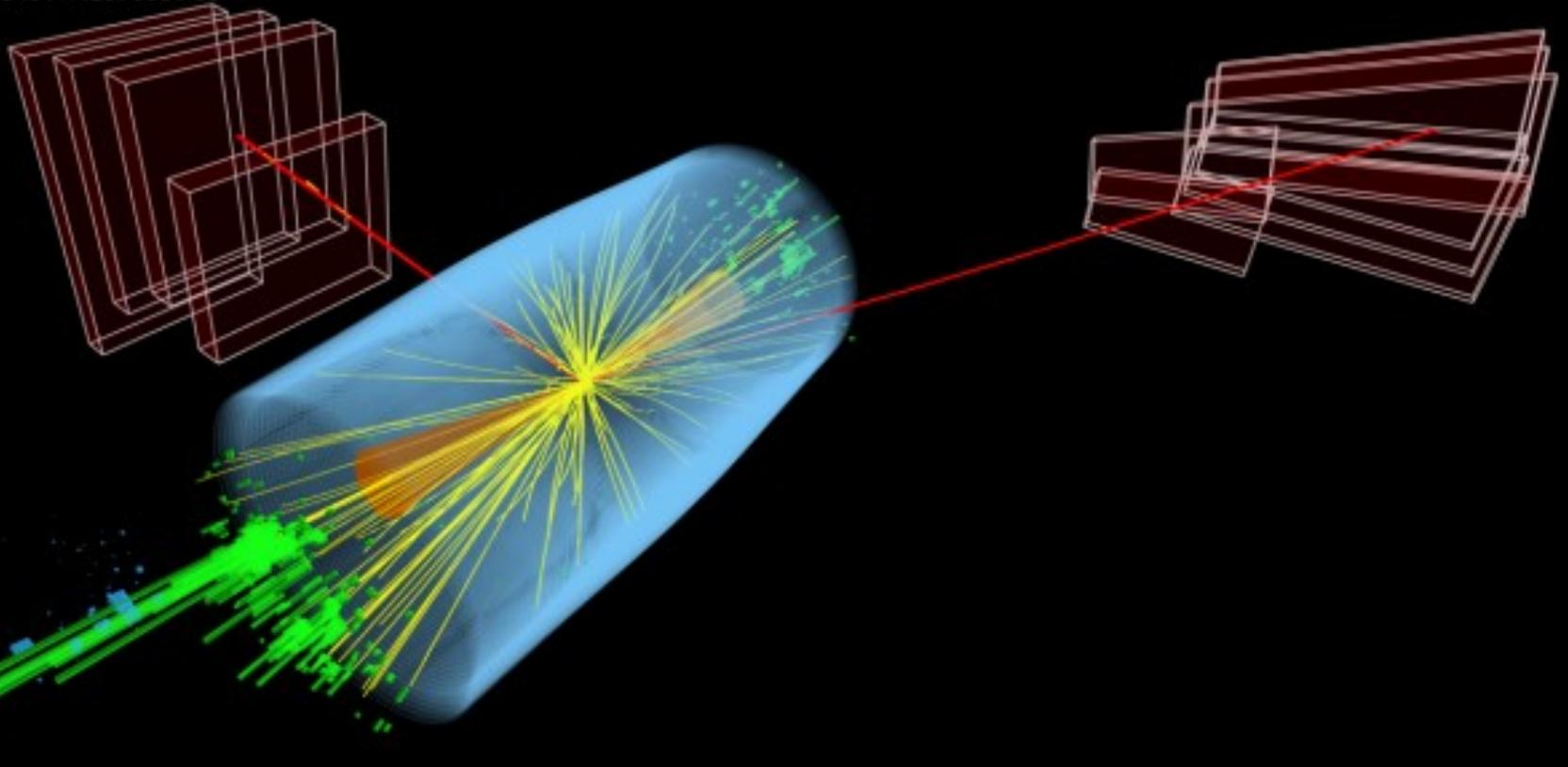
Acceleratori e rivelatori



CMS Experiment at the LHC, CERN

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

Run / Event / LS: 323940 / 44997009 / 65

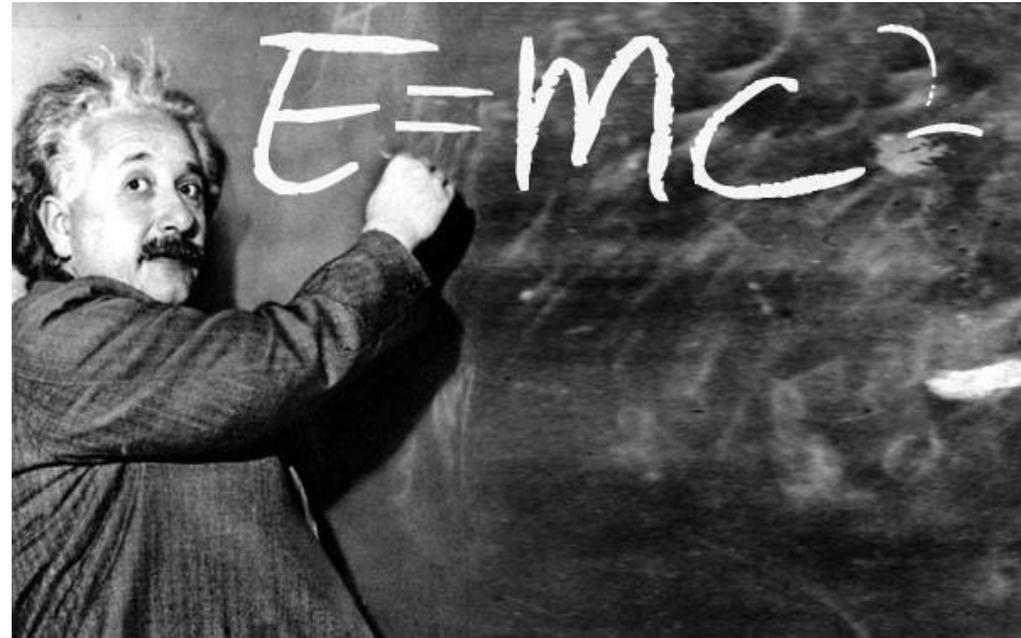


Silvio Donato (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare)

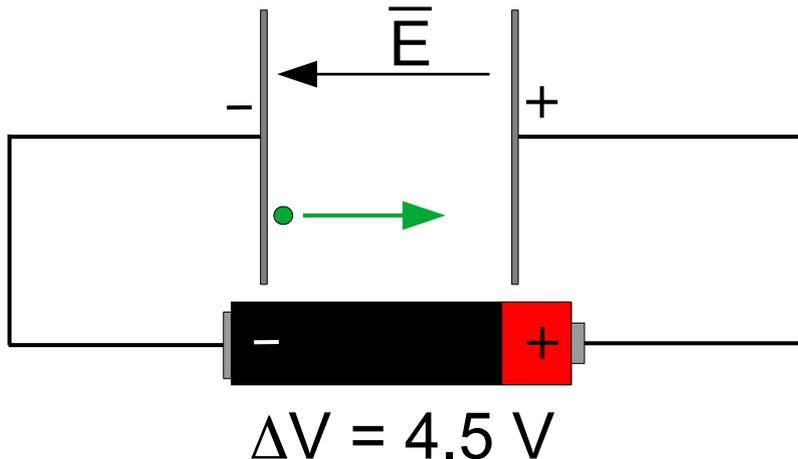


Acceleratori di particelle

- 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 ΔV 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 450 000 km/s !)

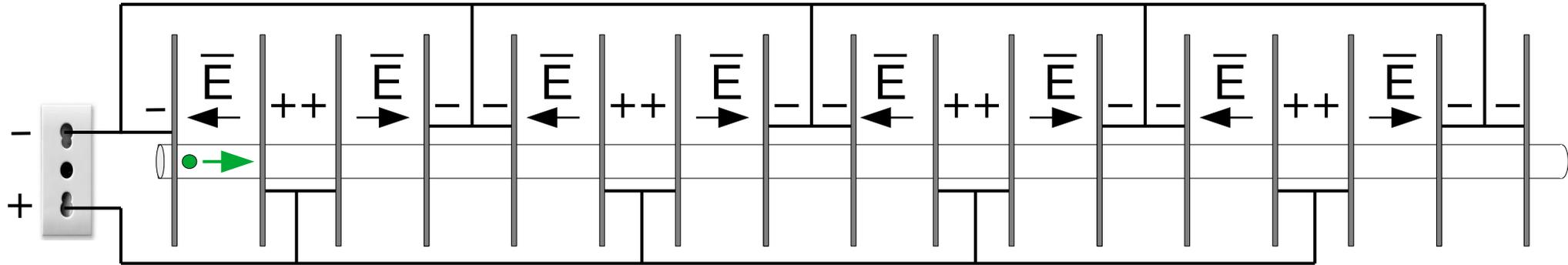


$\Delta V = 10 \text{ kV}$



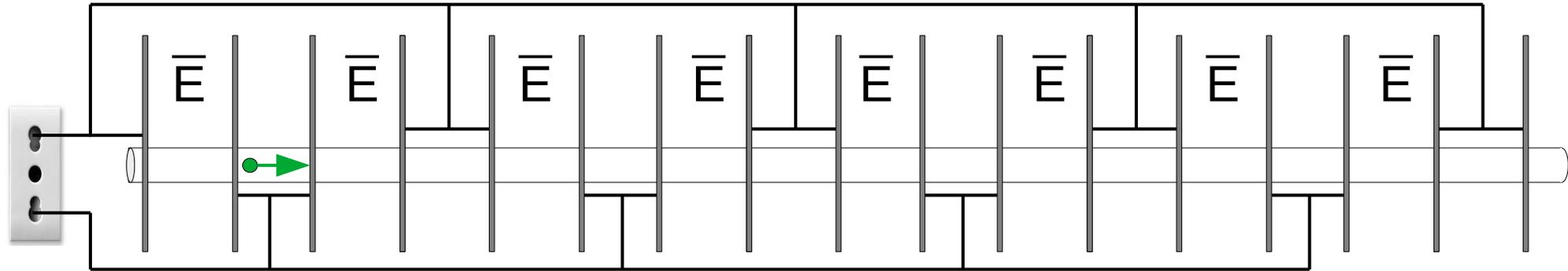
$\Delta V = 600 \text{ kV}$

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



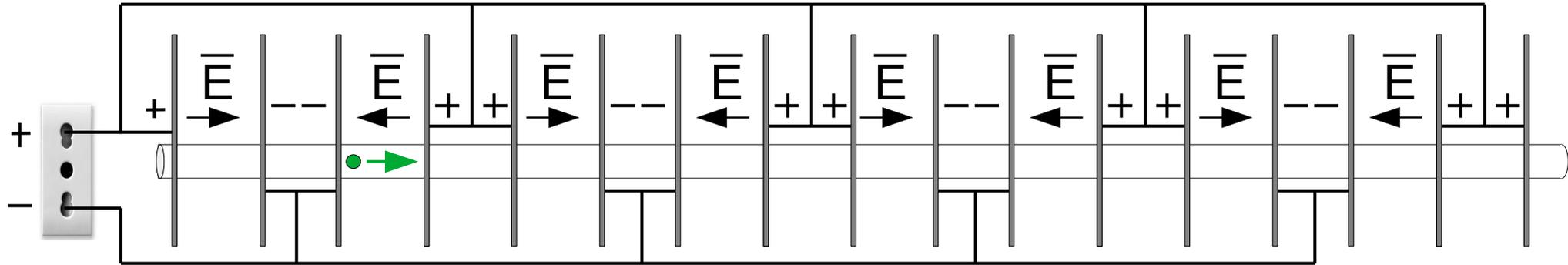
$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- La particella procede verso la successiva coppia di piastre



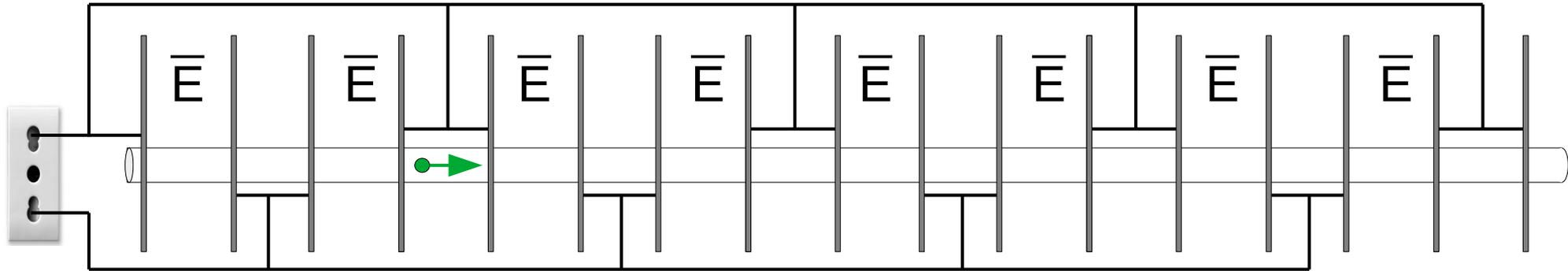
$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- Quando la particella raggiungerà le nuove piastre sarà passato un tempo Δt .
- 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!



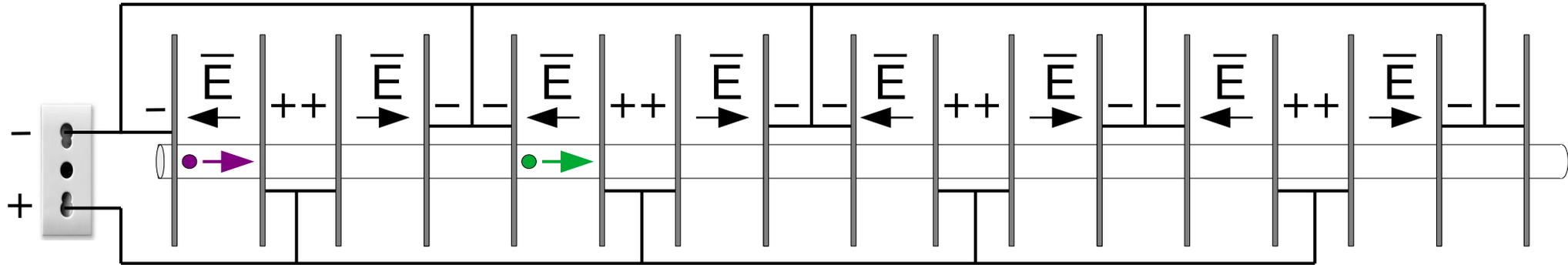
$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

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



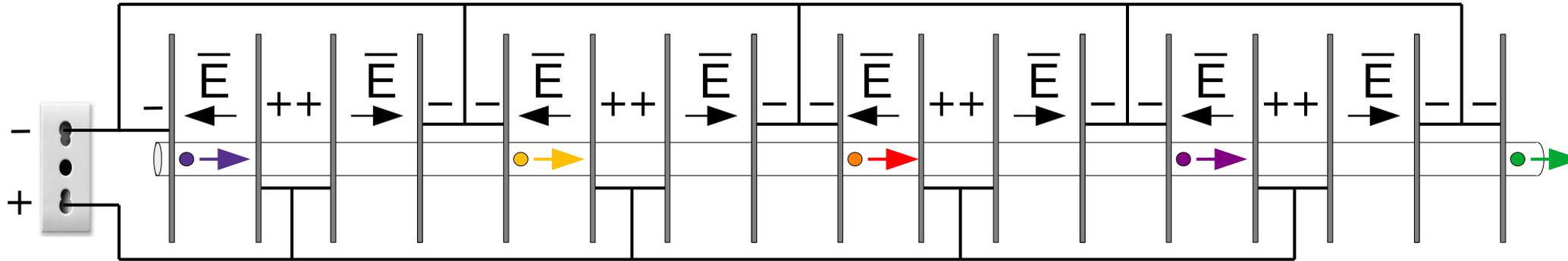
$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- 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)

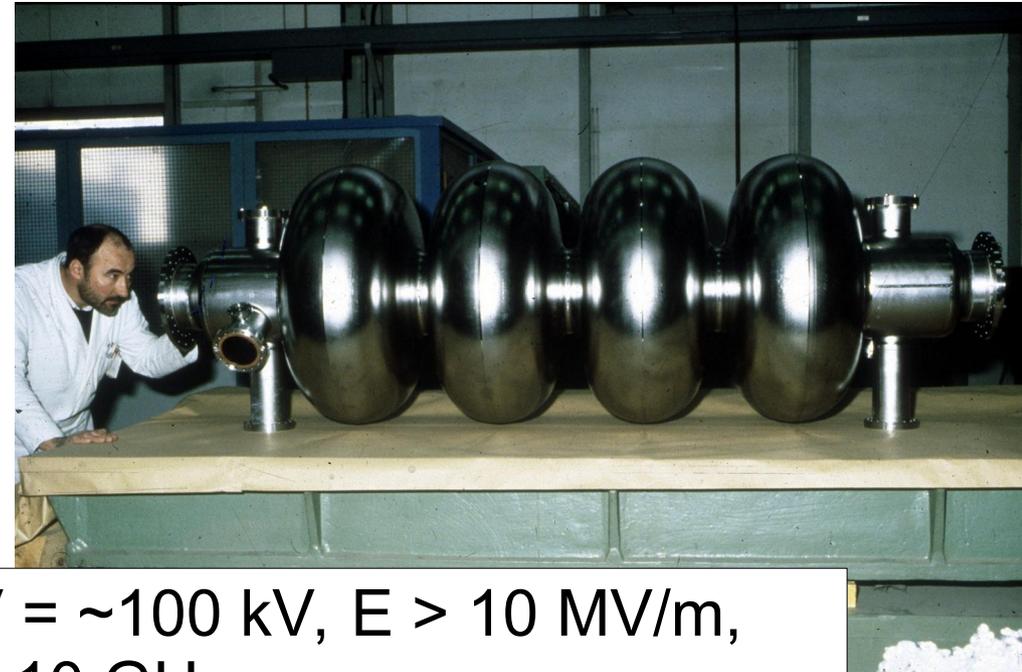
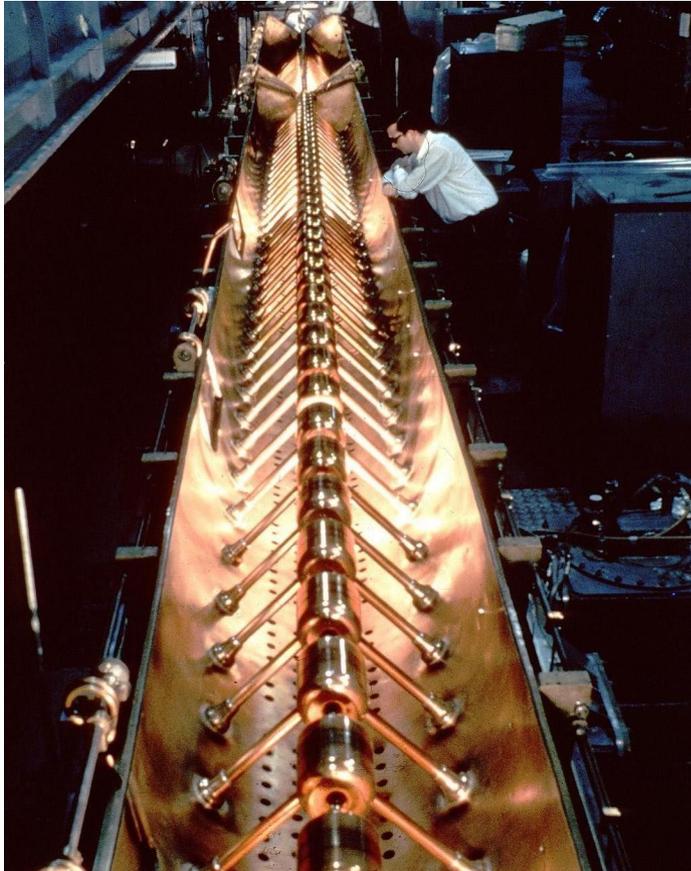


$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- Possiamo accelerare piu' gruppi di particelle simultaneamente ad una distanza Δt tra loro.
- Utilizzando la differenza di potenziale alternata, le particelle vengono accelerate a “**pacchetti**”.

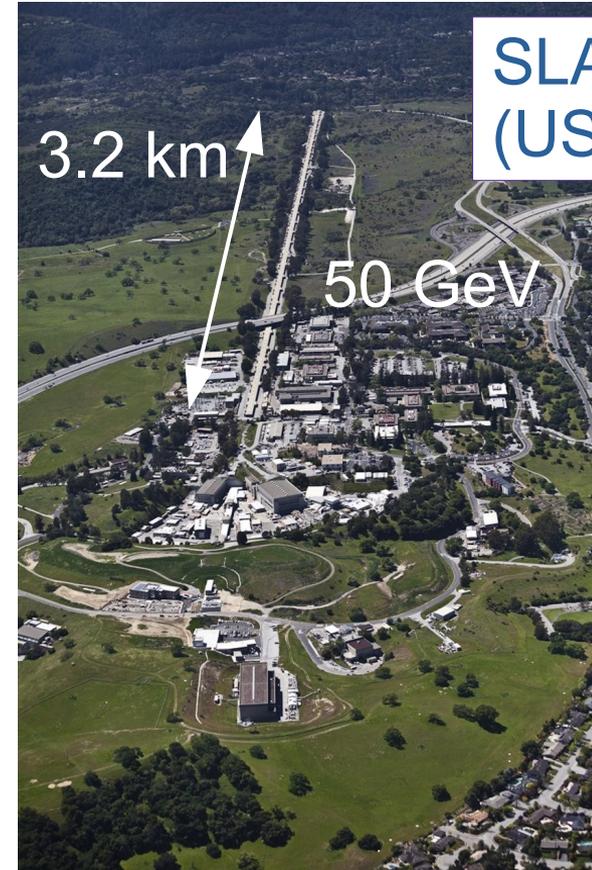


$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$



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

LINAC CERN
(Ginevra)

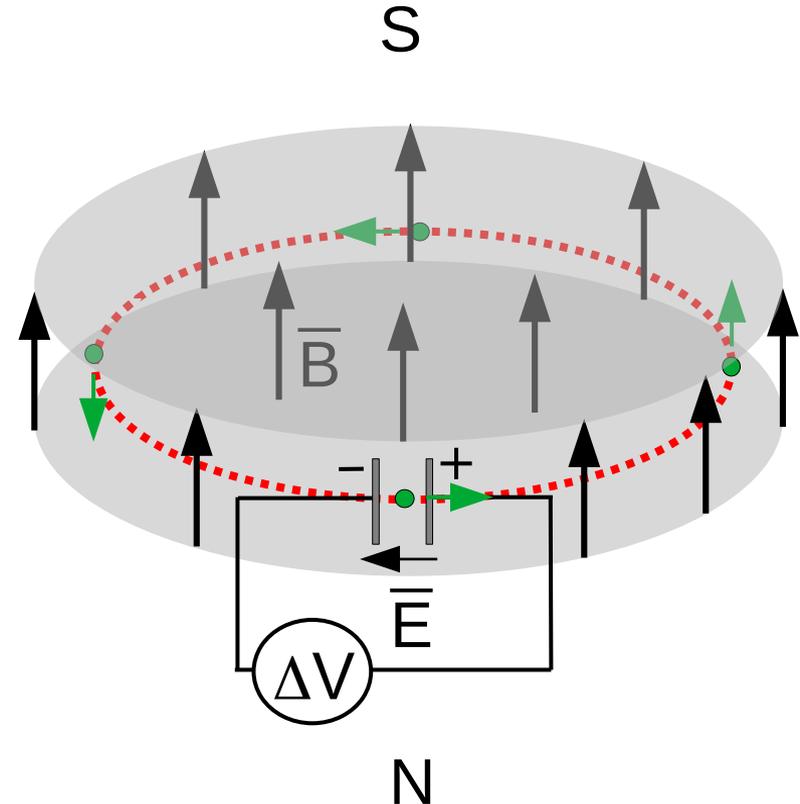


SLAC
(USA)

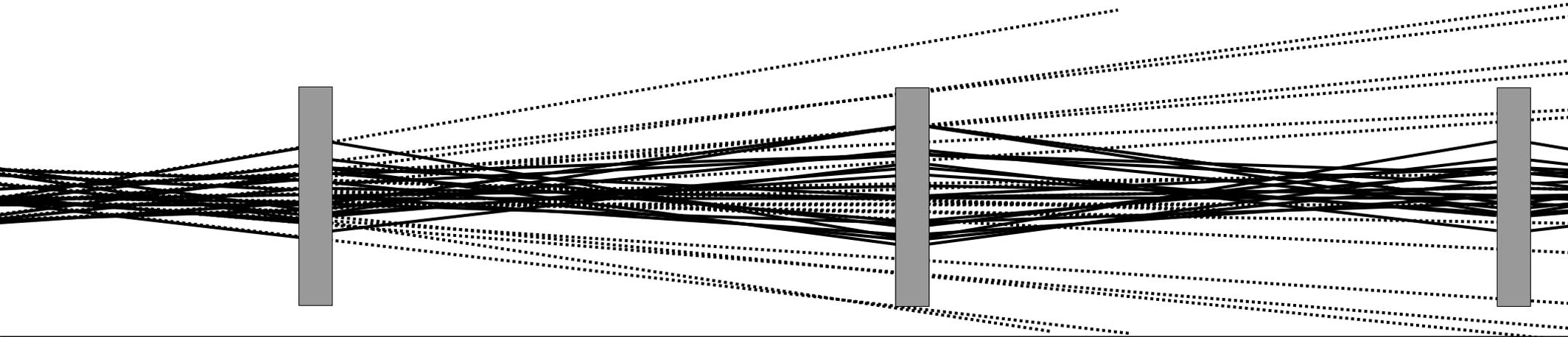
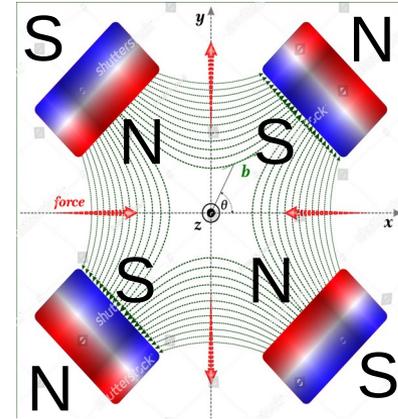


- La maggior parte degli acceleratori lineari vengono utilizzati in medicina per la **radioterapia**.
- Gli elettroni vengono accelerati a ~ 10 MeV e vengono utilizzati per produrre **raggi X** che colpiscono i tumori.
- Per i tumori superficiali vengono utilizzati direttamente gli **elettroni**.

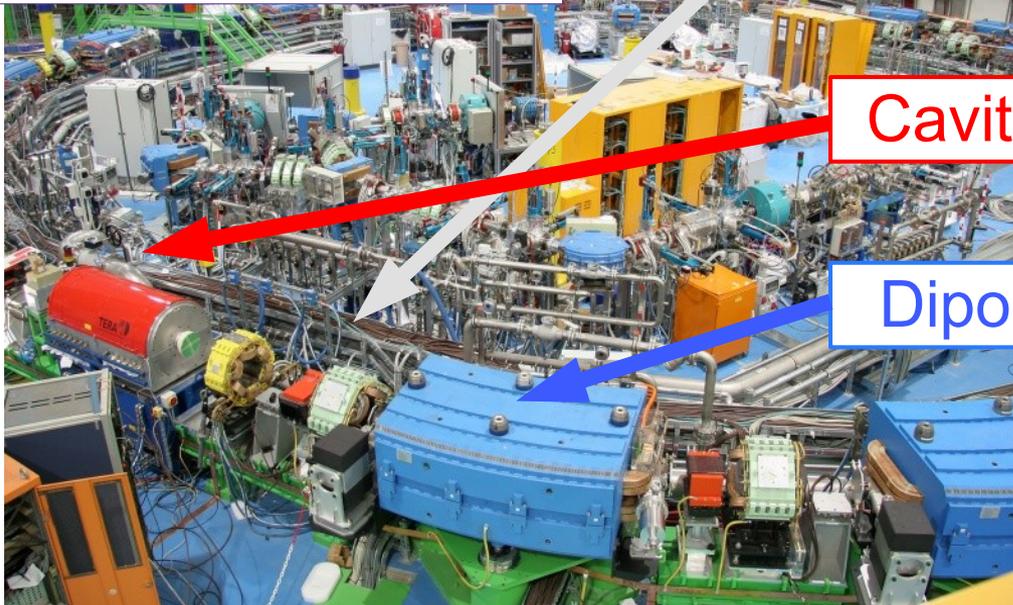
- Possiamo accelerare una particella più volte utilizzando la stessa ΔV utilizzando un acceleratore **circolare**.
- Per curvare una particella utilizziamo un **campo magnetico** costante e ortogonale alla traiettoria circolare.
- Questo tipo di magneti sono detti “**dipoli**”



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



Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (Pavia)

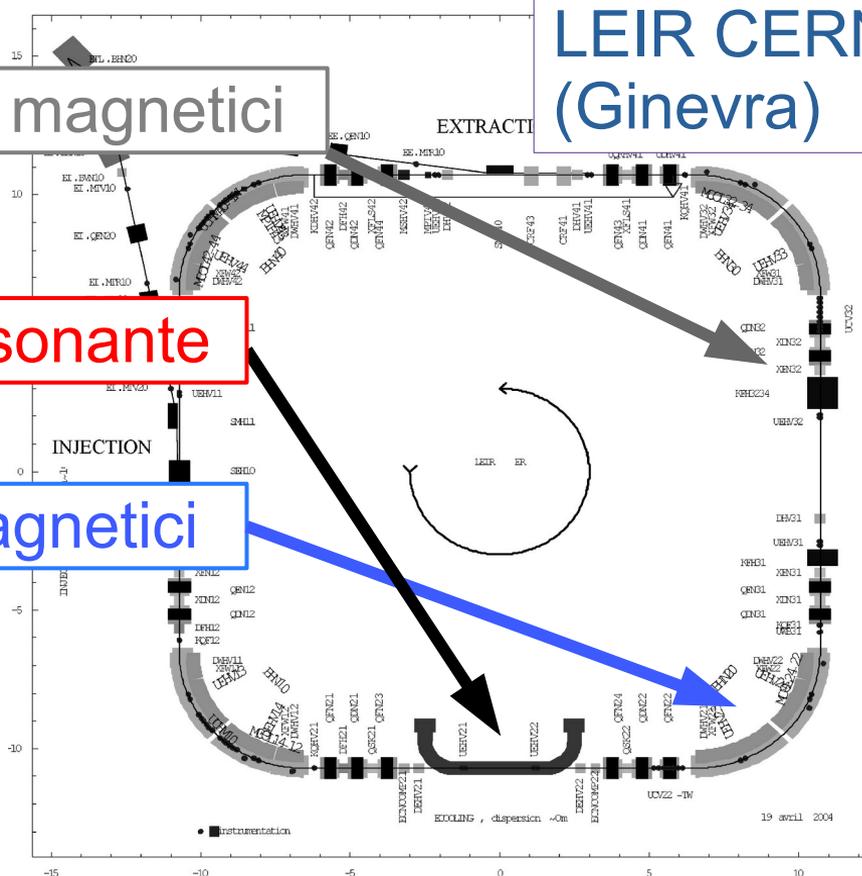


Quadrupoli magnetici

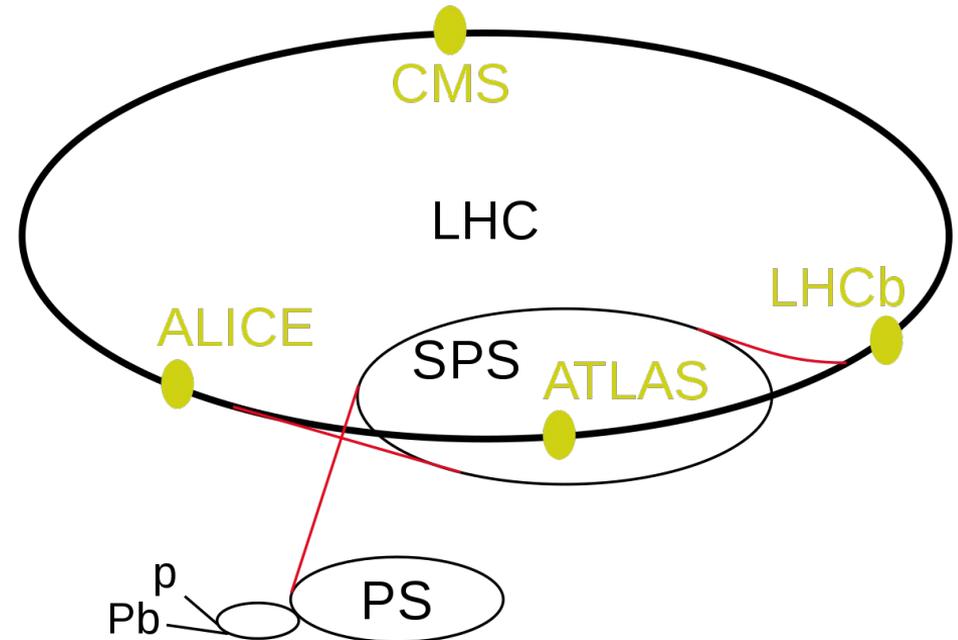
Cavita' risonante

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

CERN Prévessin

ATLAS

CERN Meyrin

SPS 7 km

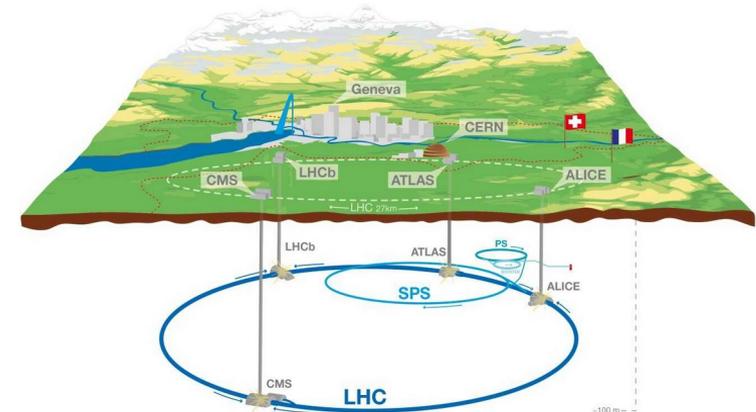
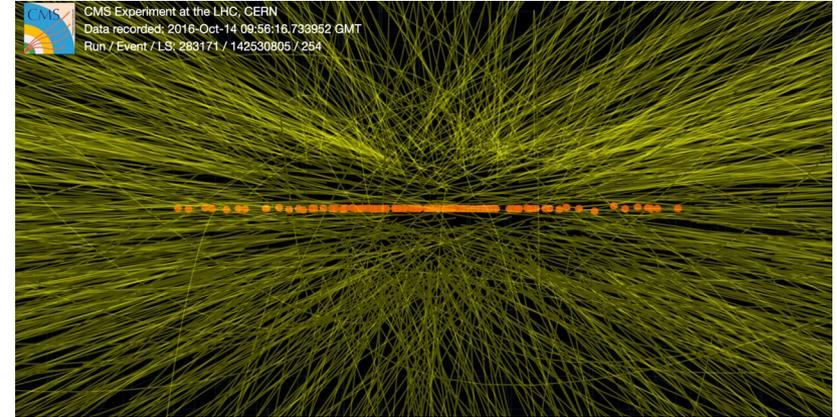
ALICE

LHC 27 km



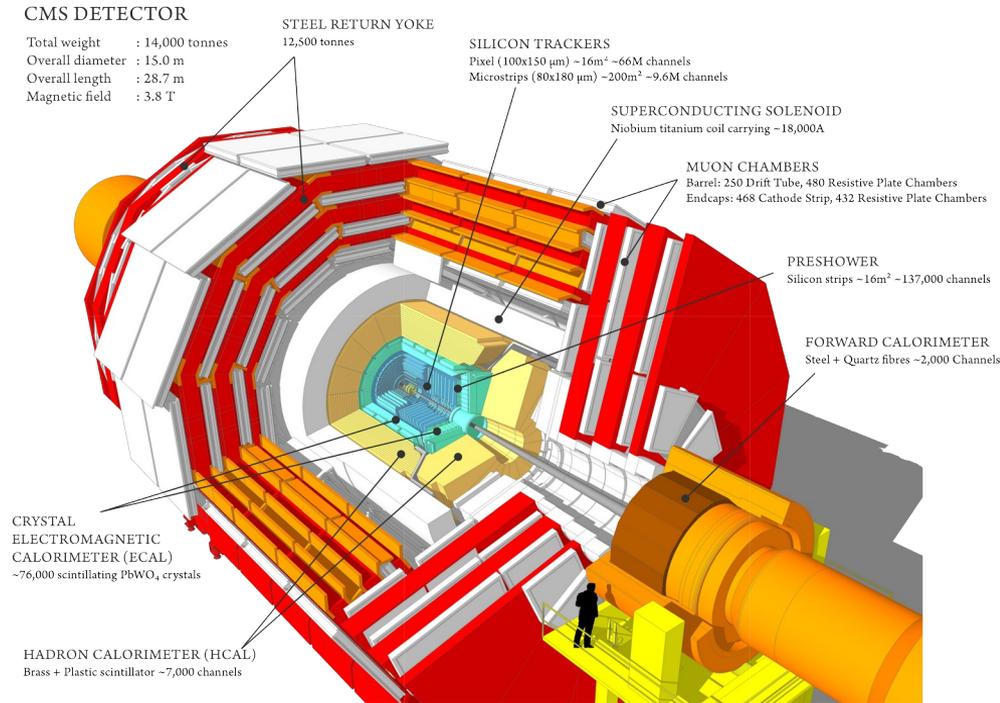
- Quando due pacchetti si scontrano avvengono circa 60 collisioni protone-protone.
- I pacchetti di protoni si incrociano ogni 25 ns nei quattro punti di interazione dove si trovano gli esperimenti/rivelatori:

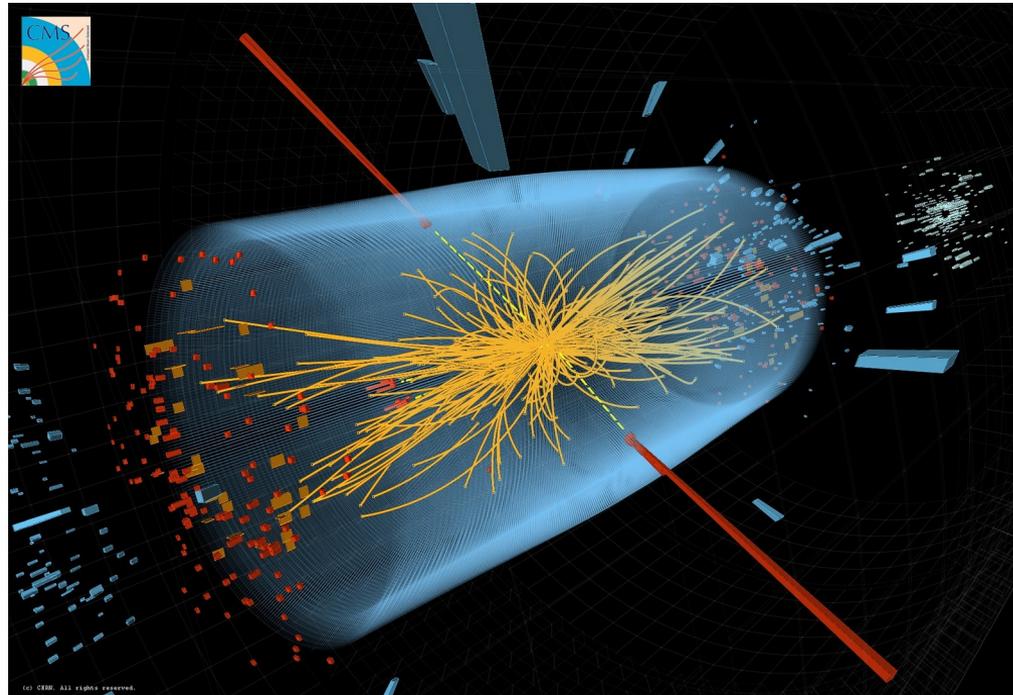
- **CMS**
- **ATLAS**
- **LHCb**
- **ALICE**



L'esperimento CMS

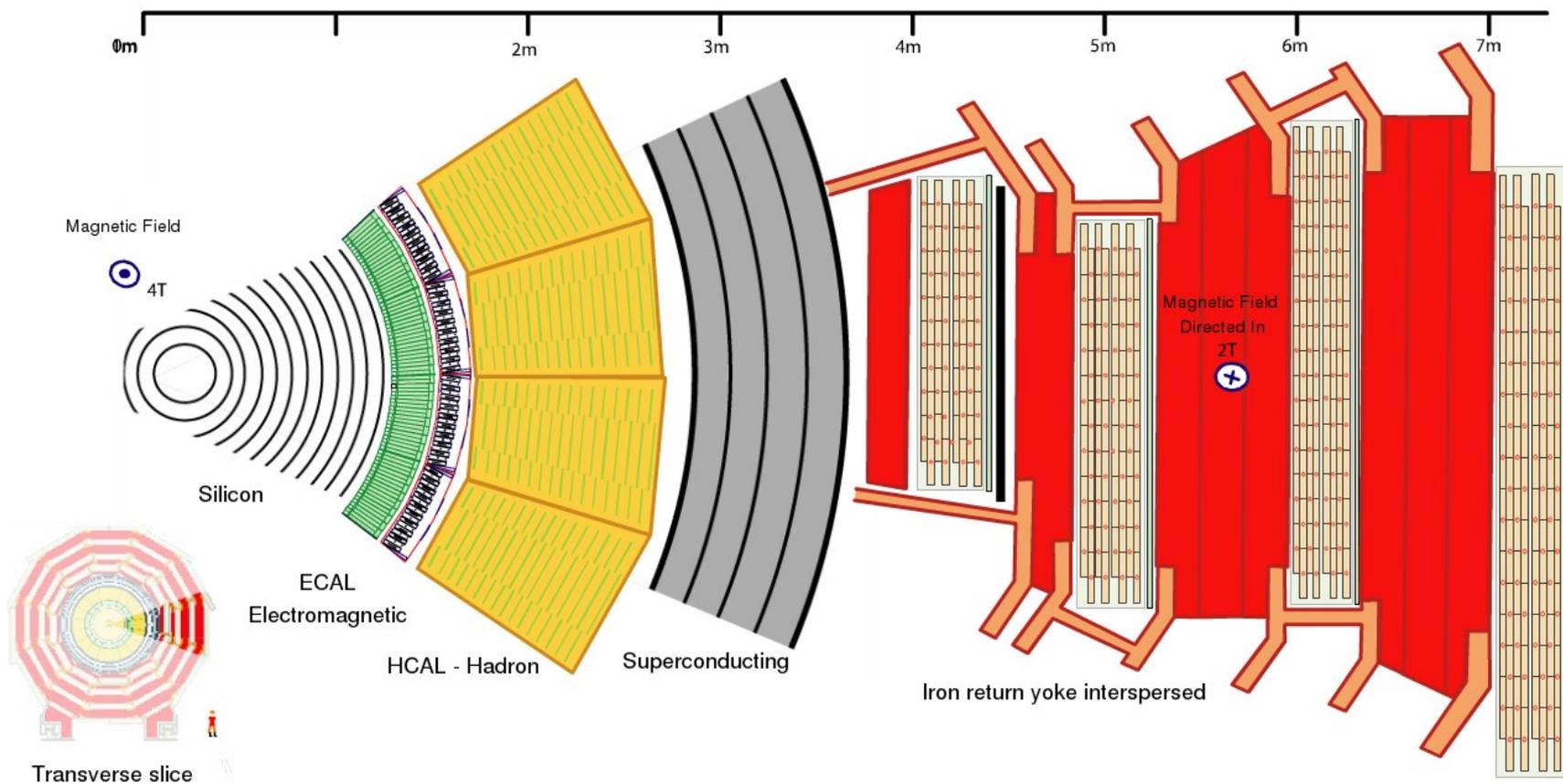
- L'esperimento Compact Muon Solenoid (**CMS**) è composto da un insieme di rivelatori per riconoscere ed identificare le particelle prodotte nelle collisioni protone-protone.
- Alcuni dati:
 - Altezza ~ 15 m
 - Lunghezza ~ 22 m
 - Peso ~ 12500 ton



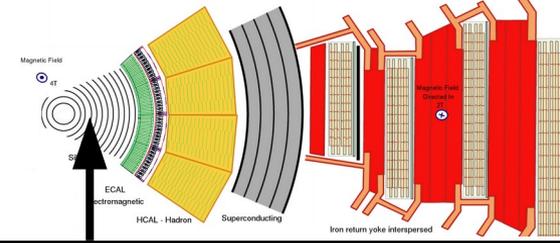


- CMS è un esperimento che si propone più obiettivi, es.:
 - ricerca del bosone di Higgs (e misura delle sue caratteristiche);
 - misure sul Modello Standard (eg. violazione di CP, decadimenti rari, misura massa particelle, sezioni d'urto)
 - ricerca di nuove particelle previste da nuove teorie (eg.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

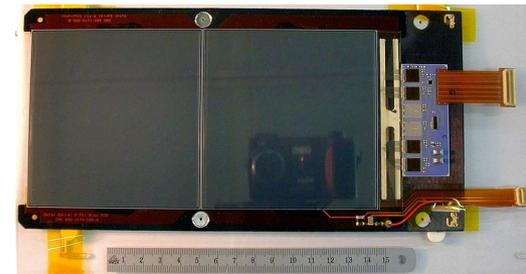
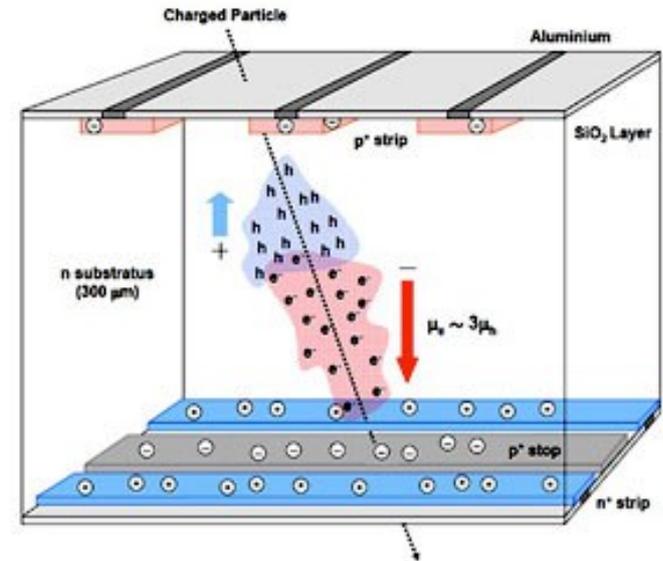
Un esperimento a più strati



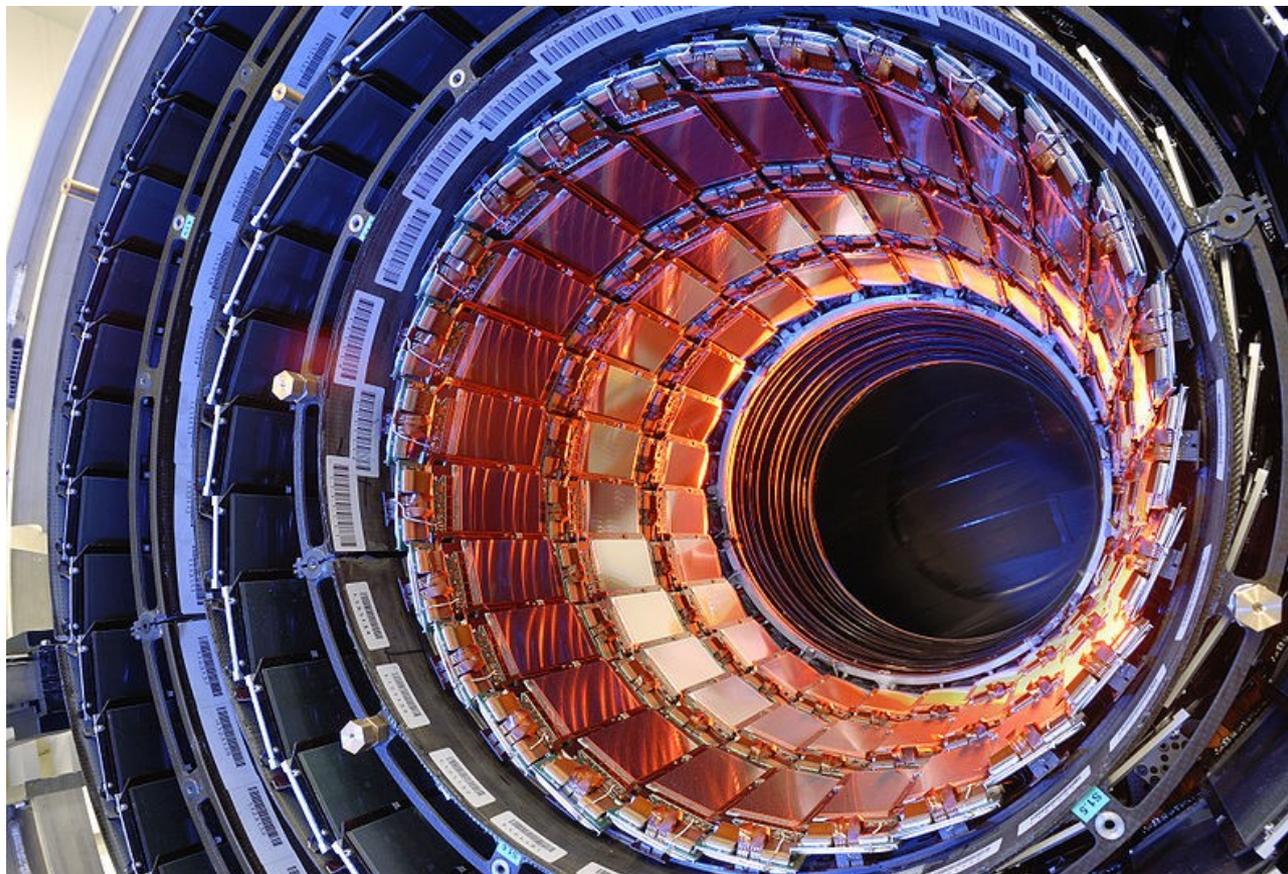
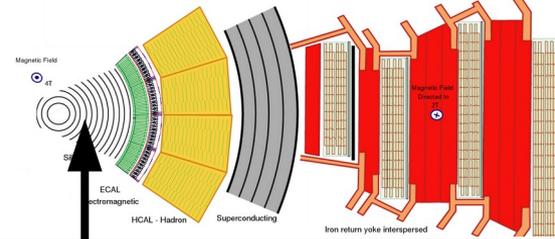
Il tracciatore



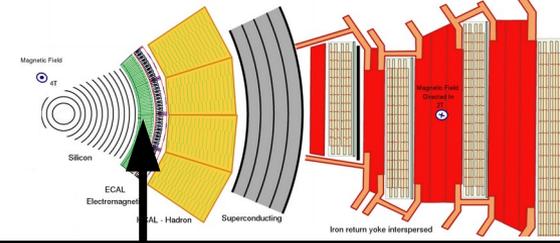
- Il tracciatore al silicio è il cuore di CMS e permette di ricostruire la **traiettoria** delle particelle **cariche**.
- Le particelle cariche strappano gli elettroni dagli atomi di silicio.
- Gli elettroni vengono accelerati da un campo elettrico formando un segnale elettrico.
- Esistono due tipi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



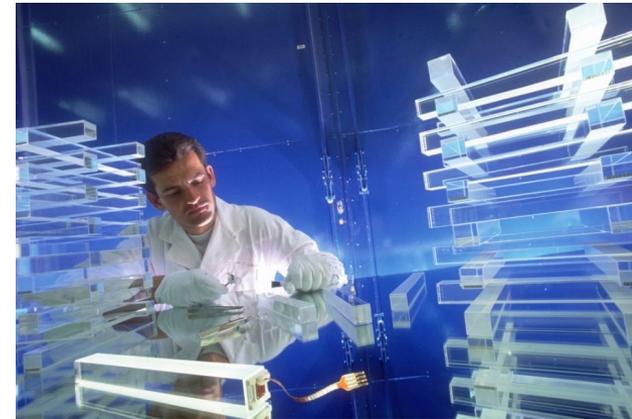
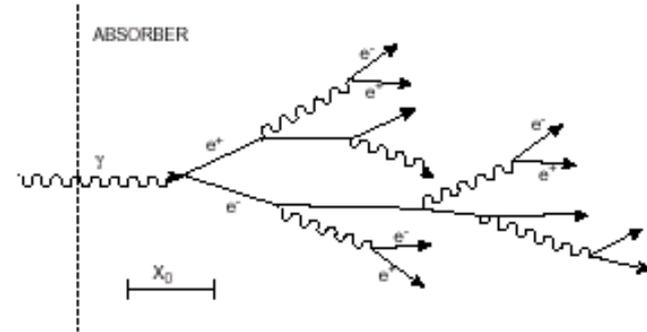
Il tracciatore



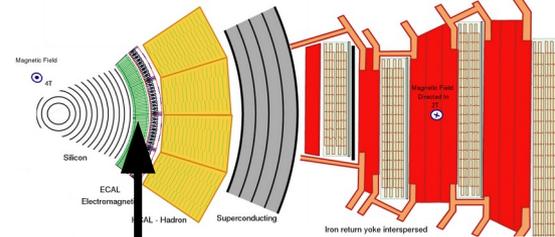
Il calorimetro elettromagnetico



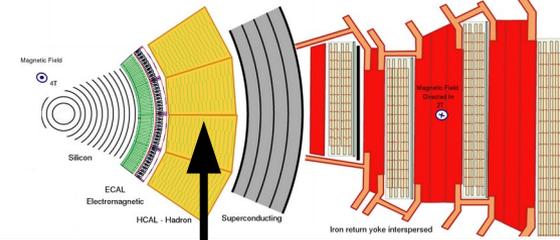
- Il calorimetro elettromagnetico (**ECAL**) è lo strumento che permette di misurare interamente **l'energia di elettroni e fotoni**.
- I fotoni interagiscono con ECAL emettendo coppie **elettrone/positrone**, che a loro volta possono produrre altri **fotoni**, e così via.
- Le particelle cariche in 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 (**PbWO₄**). Nonostante siano composti da ~80% di metallo sono trasparenti!
- Nel calorimetro elettromagnetico anche altre **particelle cariche** rilasciano un piccolo segnale.



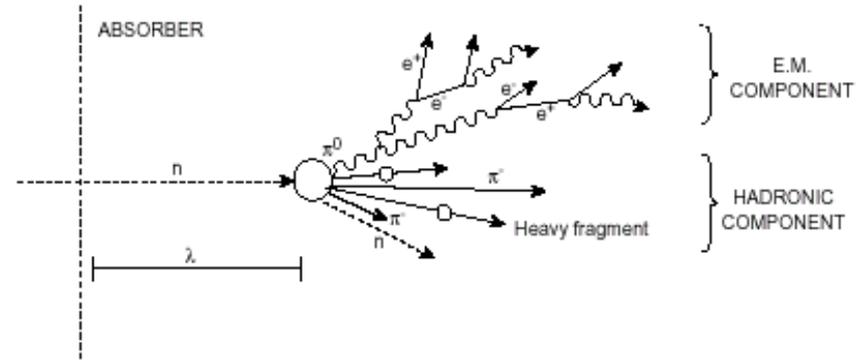
Il calorimetro elettromagnetico



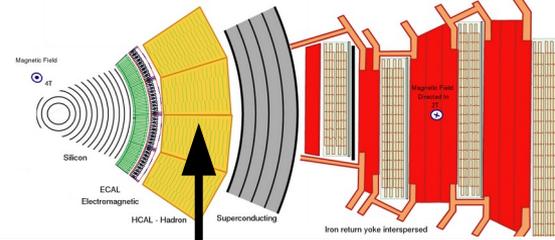
Il calorimetro adronico

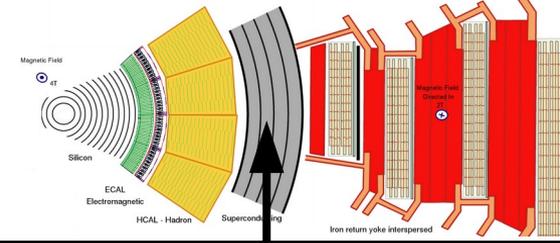


- Il calorimetro adronico (**HCAL**) misura l'energia degli adroni.
- In questo caso la particella interagisce con il rivelatore tramite interazioni adroniche.
- Le particelle cariche formatesi rilasciano parte della loro energia in luce che viene raccolta e misurata.
- A CMS il calorimetro adronico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

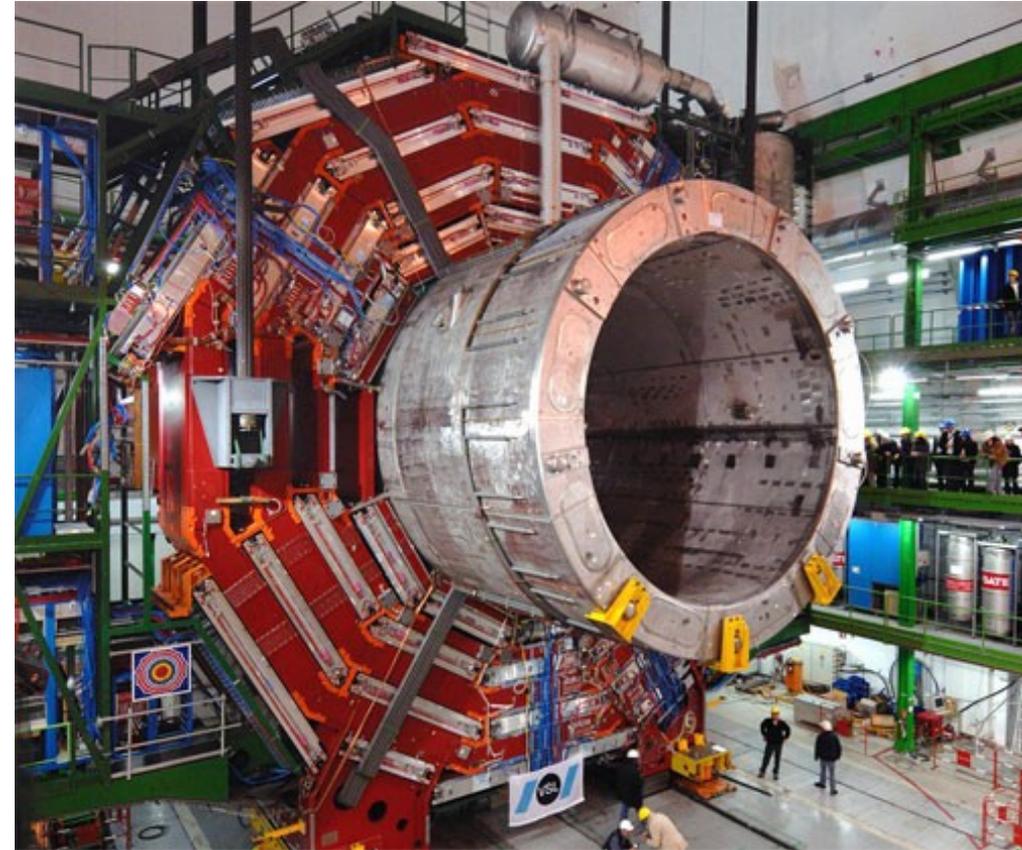


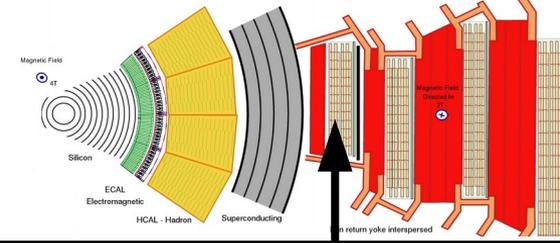
Il calorimetro adronico



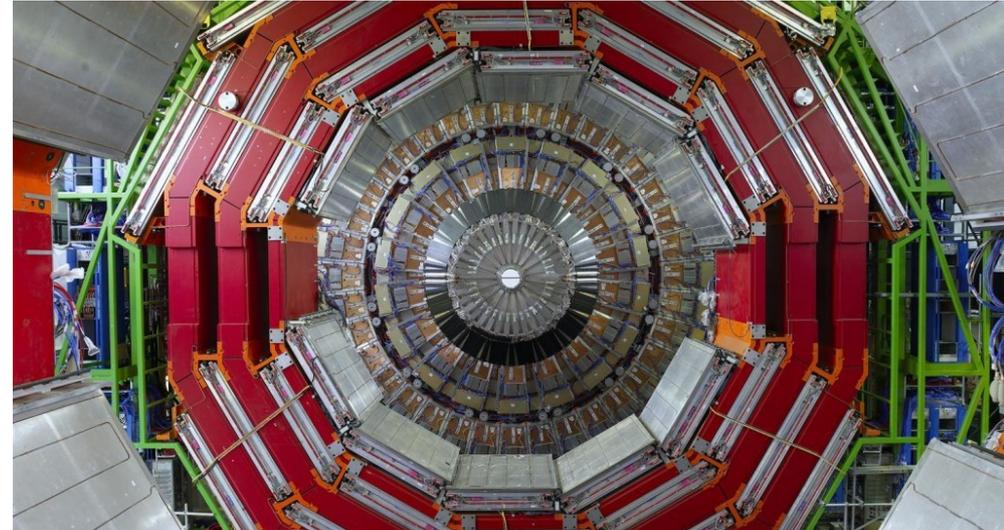
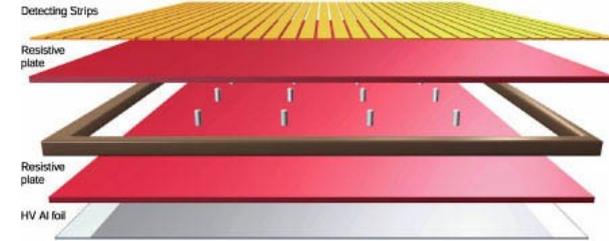


- Nei rivelatori di particelle il campo magnetico serve a distinguere la **carica** delle particelle e misurare la loro **quantità di moto**.
- A CMS sia il tracciatore che i calorimetri sono immersi in un campo magnetico di circa **4T**.
 - Il campo magnetico è generato da un solenoide **superconduttore**.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

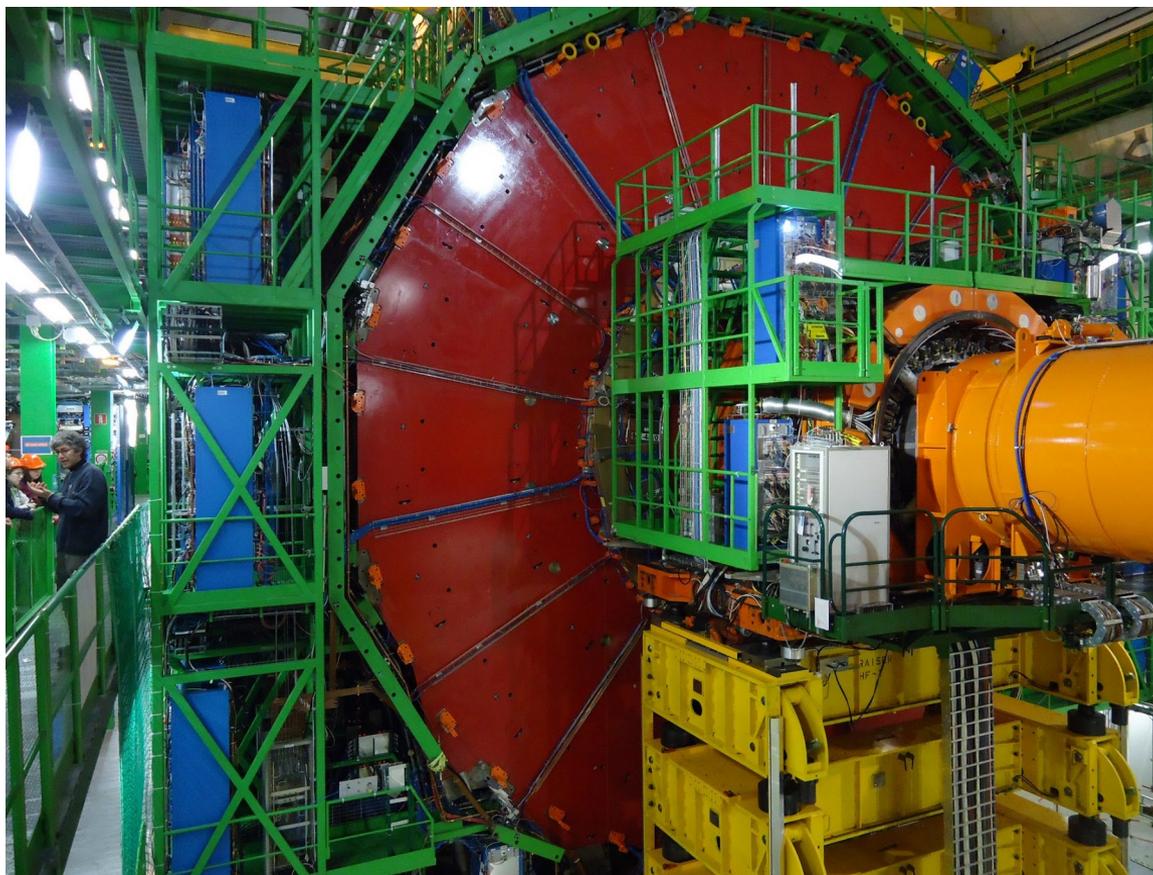
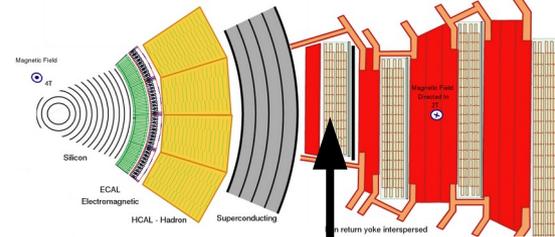




- I **muoni** (e i neutrini) sono le uniche particelle che attraversano tutto l'esperimento CMS.
- Le camere muoniche sono rivelatori i rivelatore più esterni e servono per identificare i muoni.
- Vengono utilizzati tre tipi di rivelatori a gas:
 - Muon Drift Tubes;
 - Cathode Strip Chambers;
 - Resistive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



Le camere muoniche

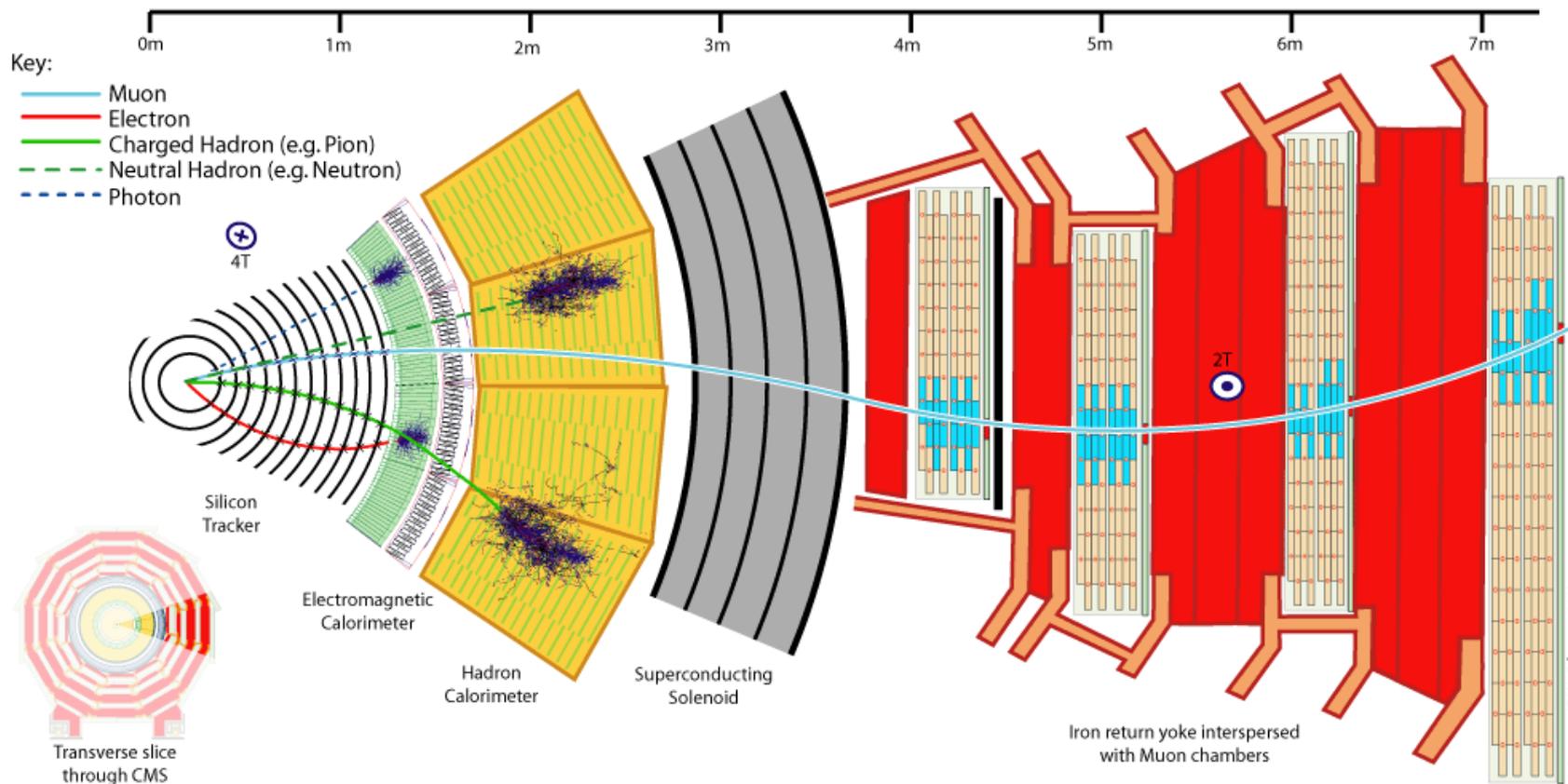




Directed in
IT



ZEC
7

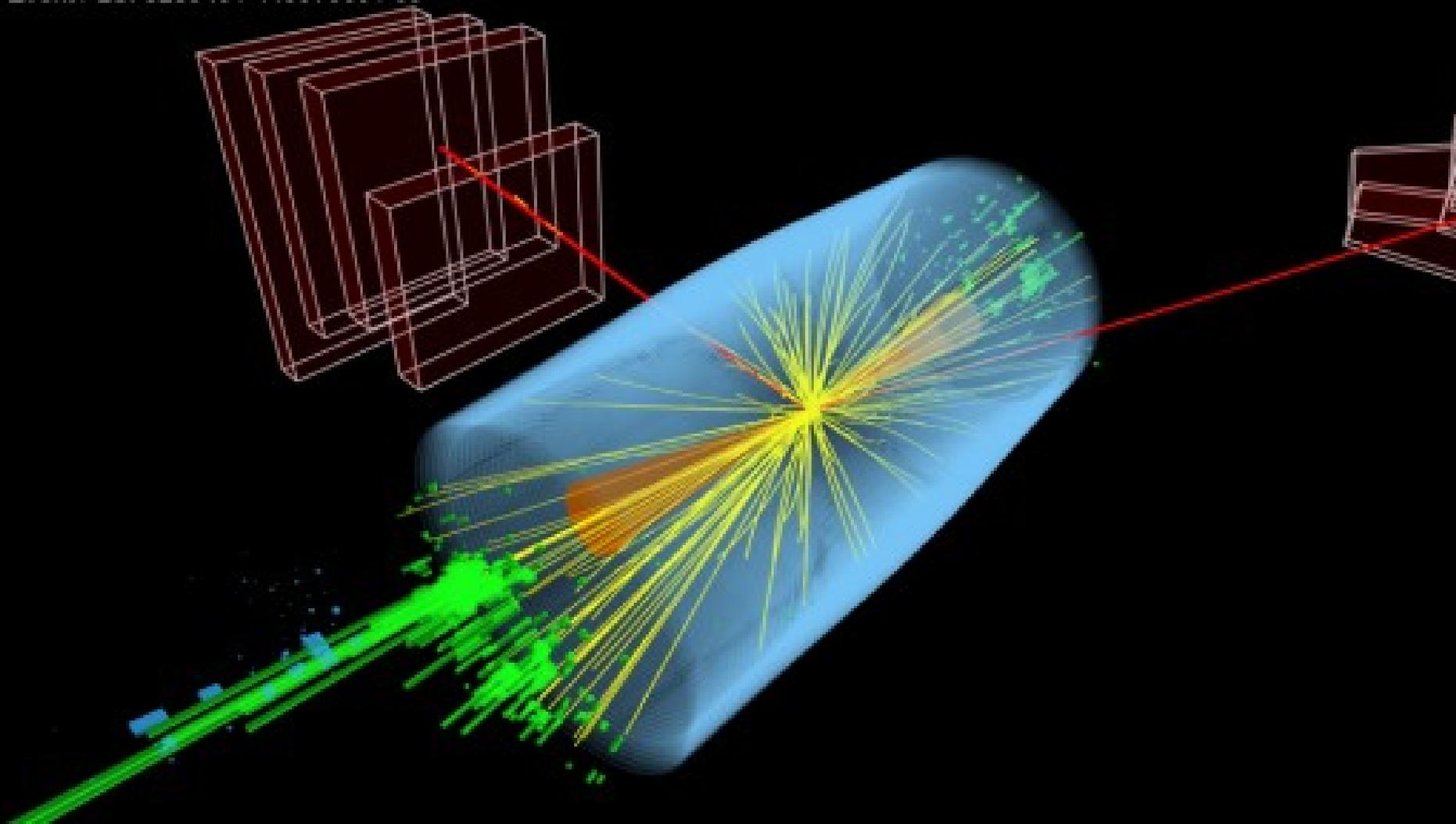


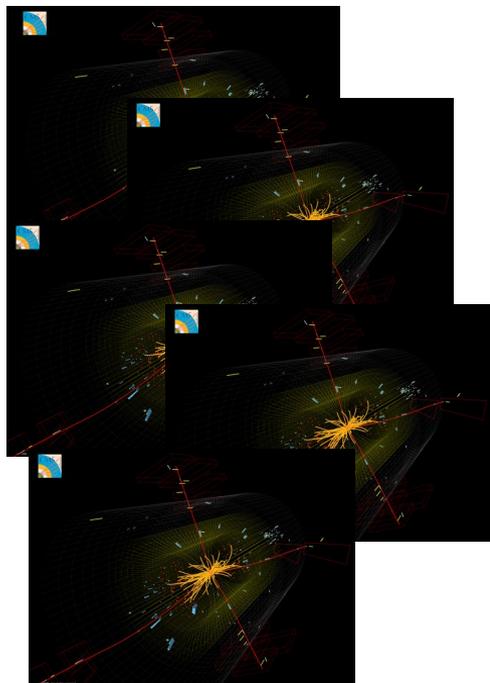


CMS Experiment at the LHC, CERN

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

Run / Event / LS: 323940 / 44997009 / 65

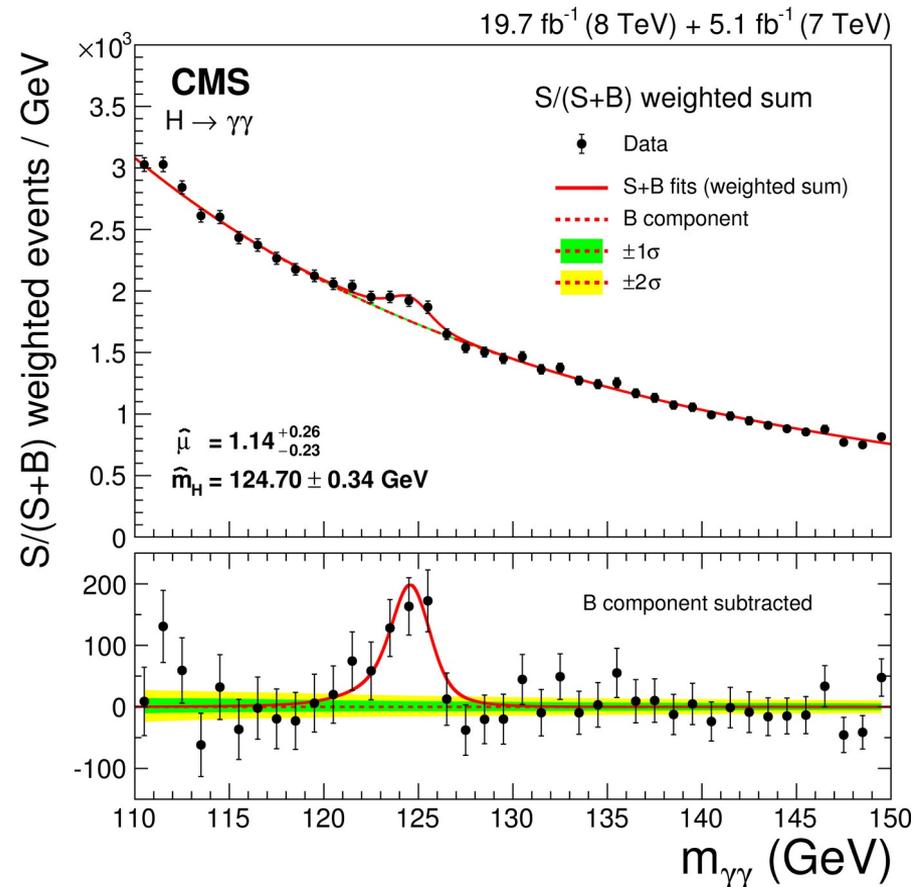




dopo 40 milioni
di collisioni al
secondo per
2 anni ...



<https://youtu.be/pQhbhpU9Wrg>



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

