

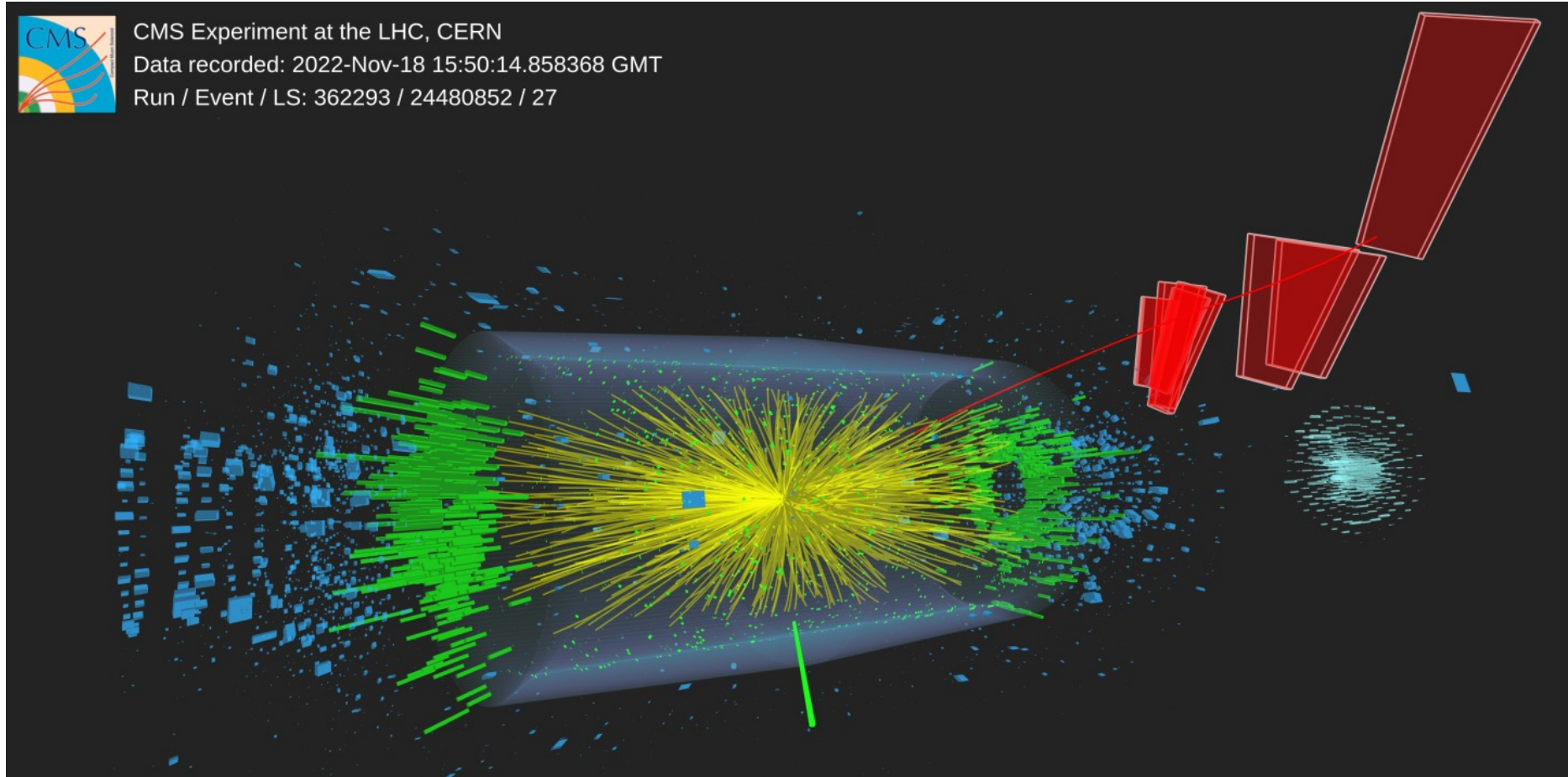
Acceleratori e rivelatori



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2022-Nov-18 15:50:14.858368 GMT

Run / Event / LS: 362293 / 24480852 / 27

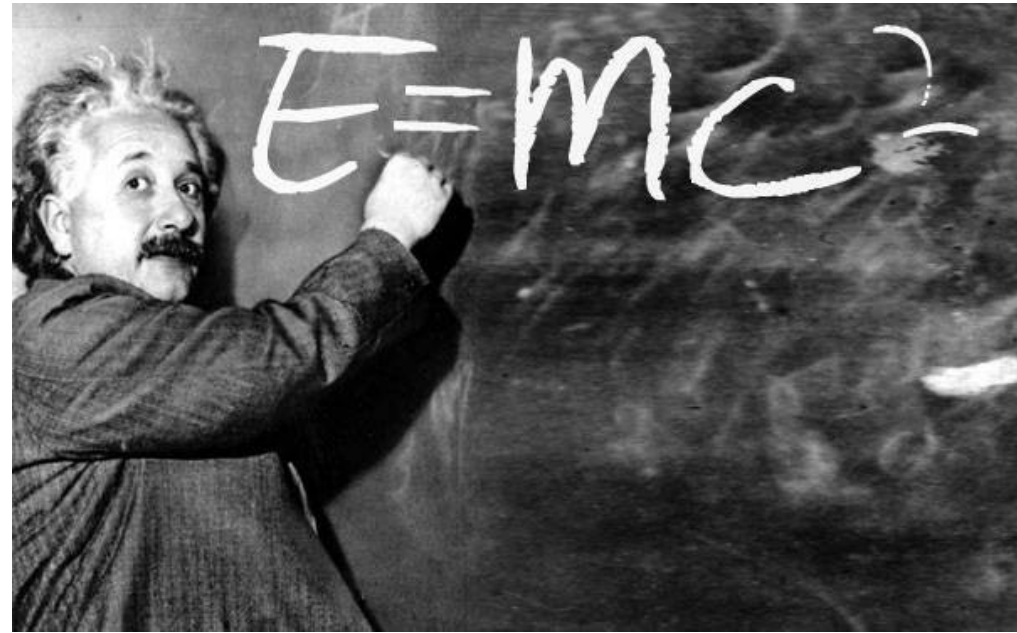


Silvio Donato (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare)

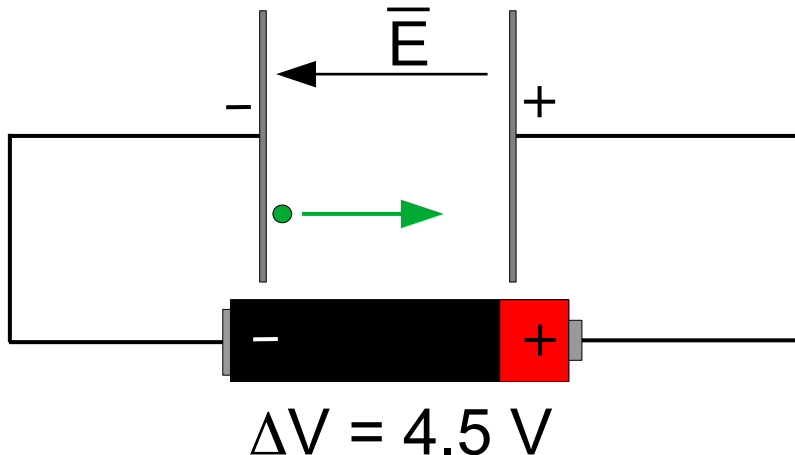
- Sono un ricercatore dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare dal 2019.
- Lavoro all'esperimento CMS al LHC del CERN di Ginevra dal 2012 (tesi di laurea)
 - Mi sono occupato principalmente della ricerca del bosone di Higgs nel decadimento in quark b e muoni, del trigger e del software di CMS.
- Per domande/curiosita' mi potete scrivere a silvio@cern.ch



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

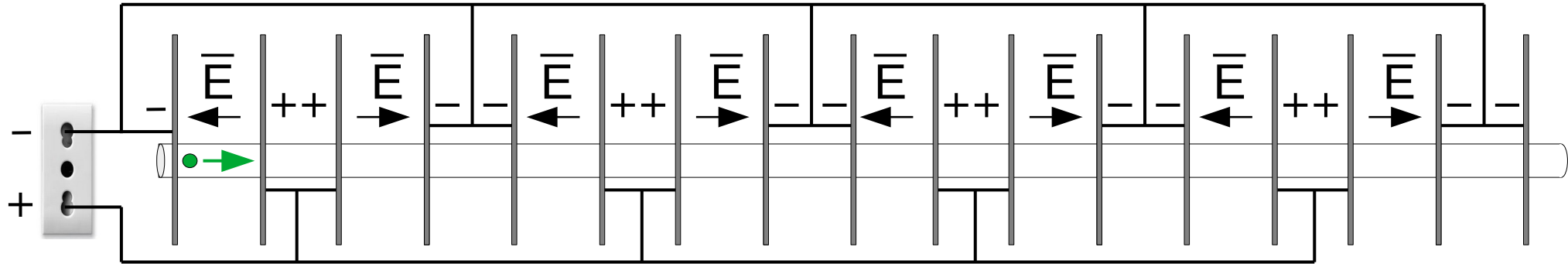


$\Delta V = 10 \text{ kV}$



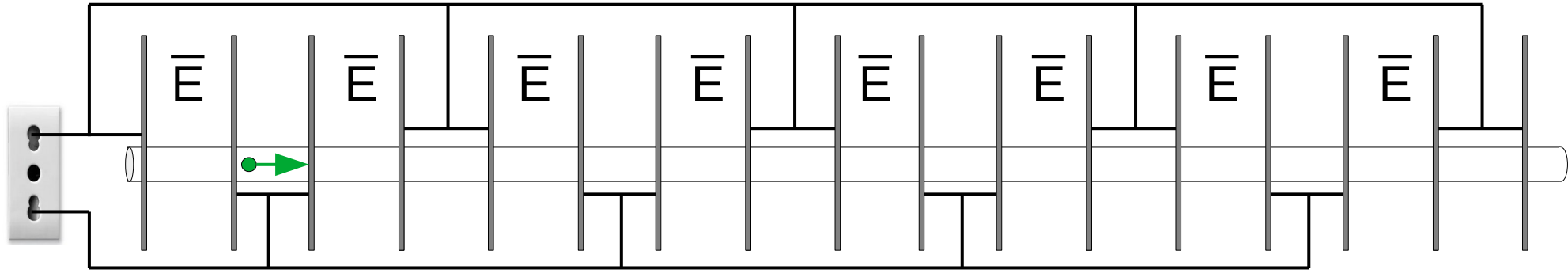
$\Delta V = 600 \text{ kV}$

- 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 $E = q \Delta V$



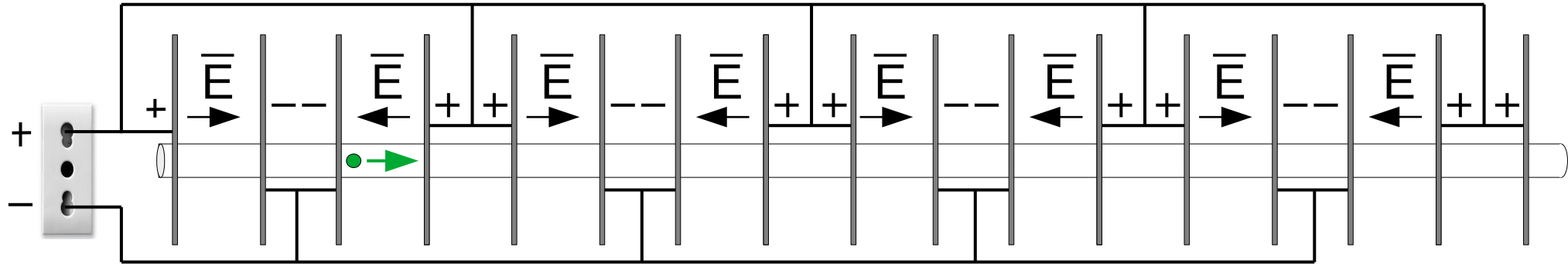
$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- La particella procede verso la successiva coppia di piastre



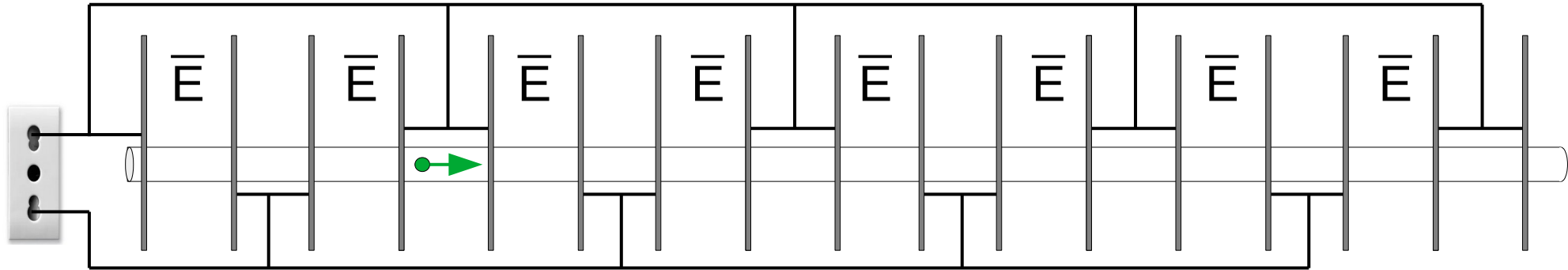
$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- 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!



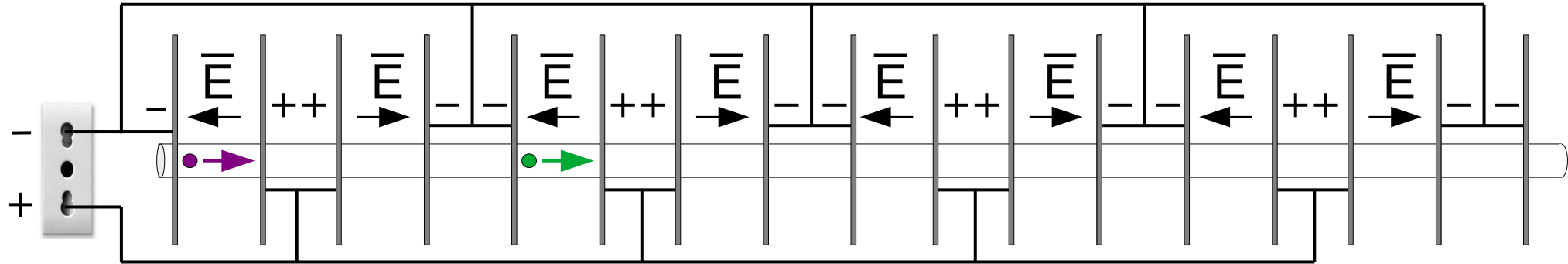
$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

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



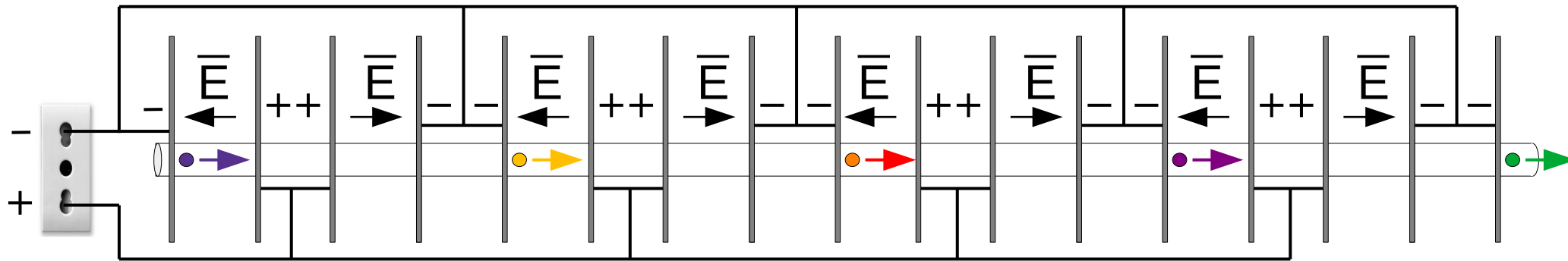
$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$

- 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)

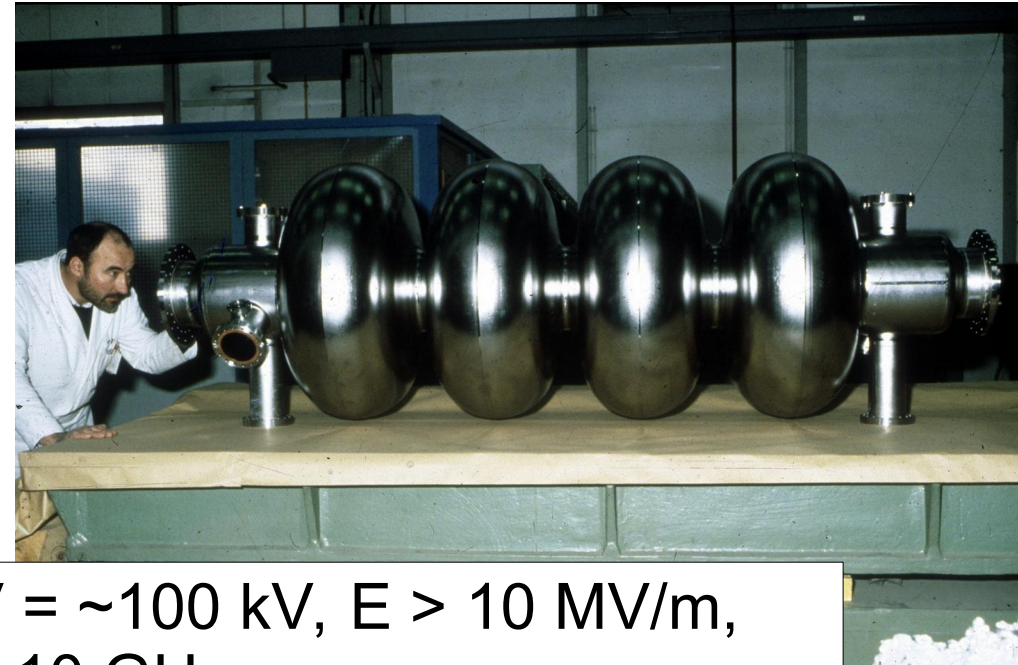
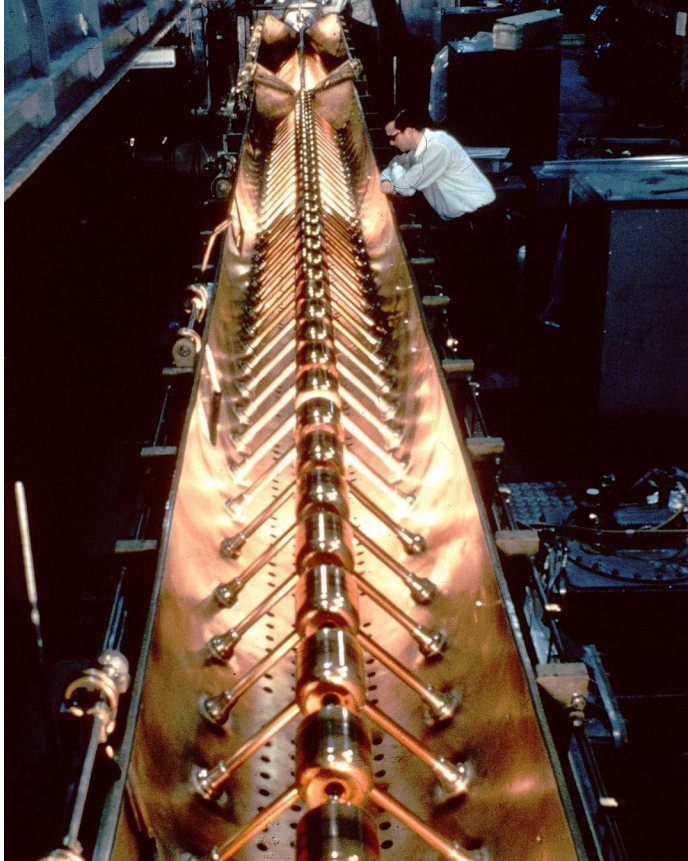


$$\Delta V = 220 \text{ V}, f = 50 \text{ Hz}$$

- 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)



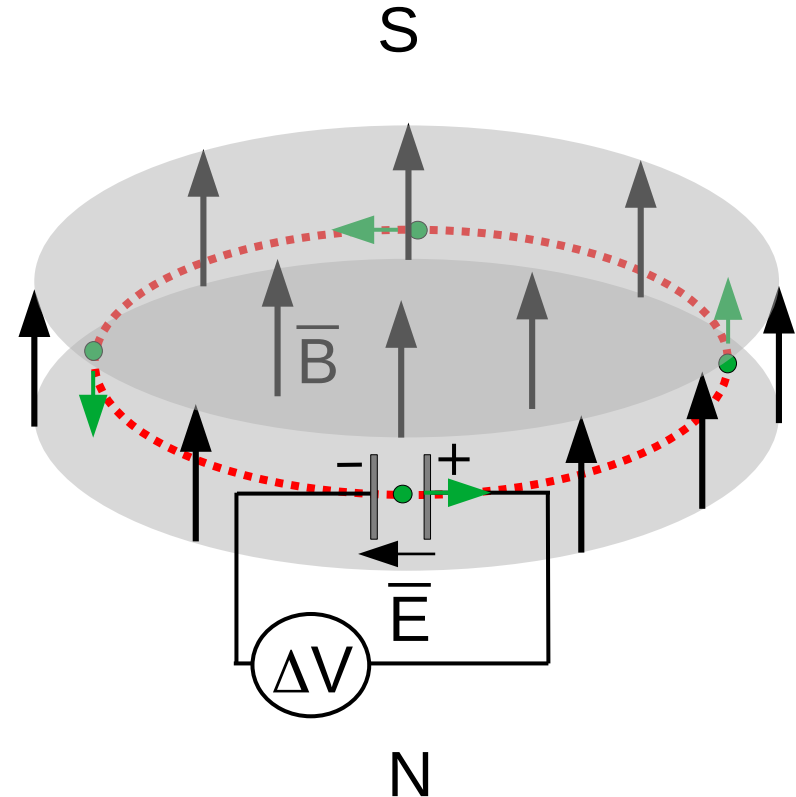
SLAC
(USA)



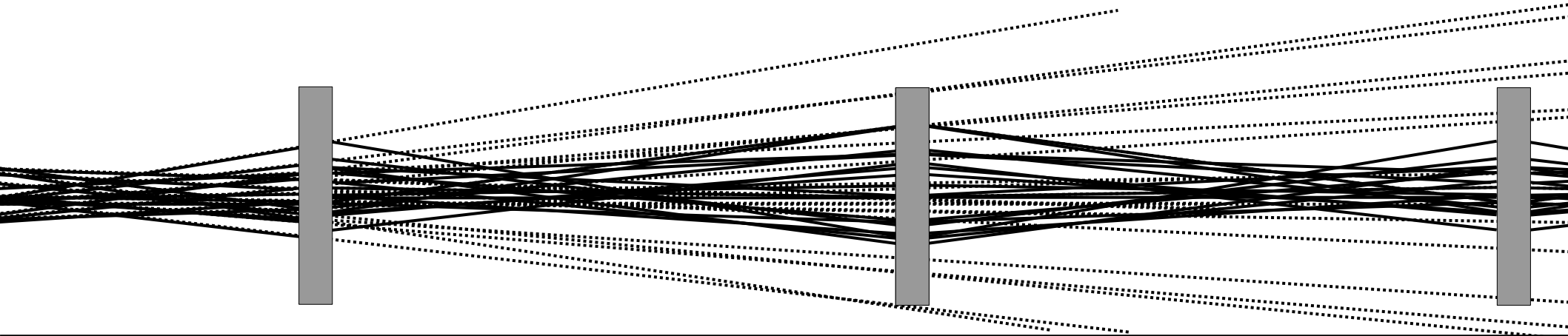
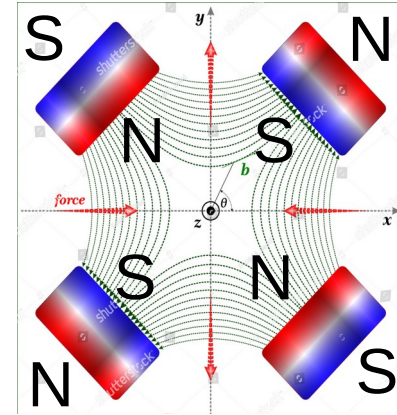


- La maggior parte degli acceleratori lineari vengono utilizzati in medicina per la **radioterapia**.
- Gli elettroni vengono accelerati a ~ 10 MeV e vengono utilizzati per produrre **raggi X** che colpiscono i tumori.
- Per i tumori superficiali vengono utilizzati direttamente gli **elettroni**.

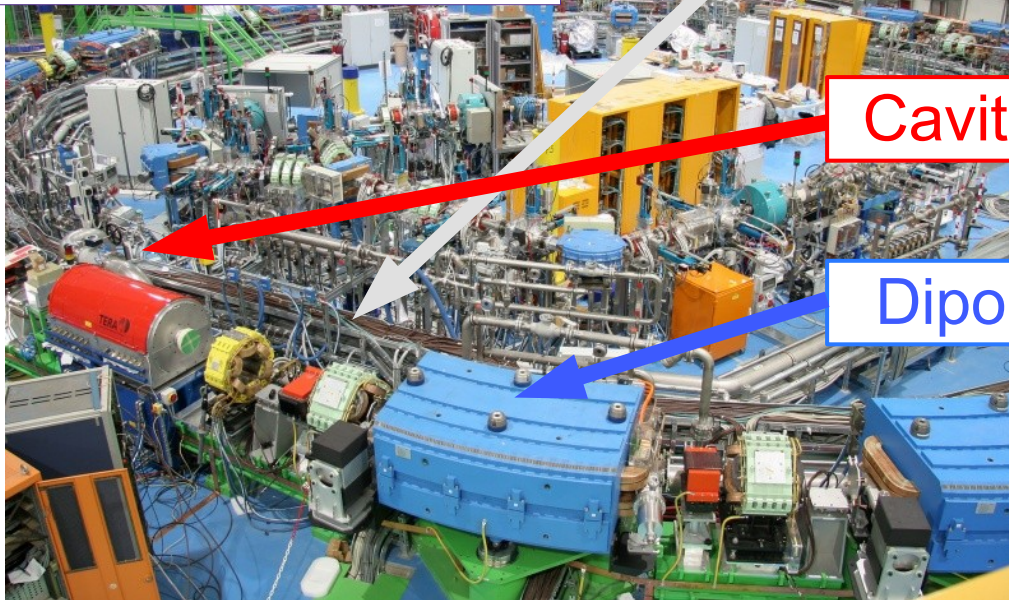
- Possiamo accelerare una particella più volte utilizzando la stessa ΔV utilizzando un acceleratore **circolare**.
- Per curvare una particella utilizziamo un **campo magnetico** costante e ortogonale alla traiettoria circolare.
- Questo tipo di magneti sono detti “**dipoli**”



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



Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (Pavia)

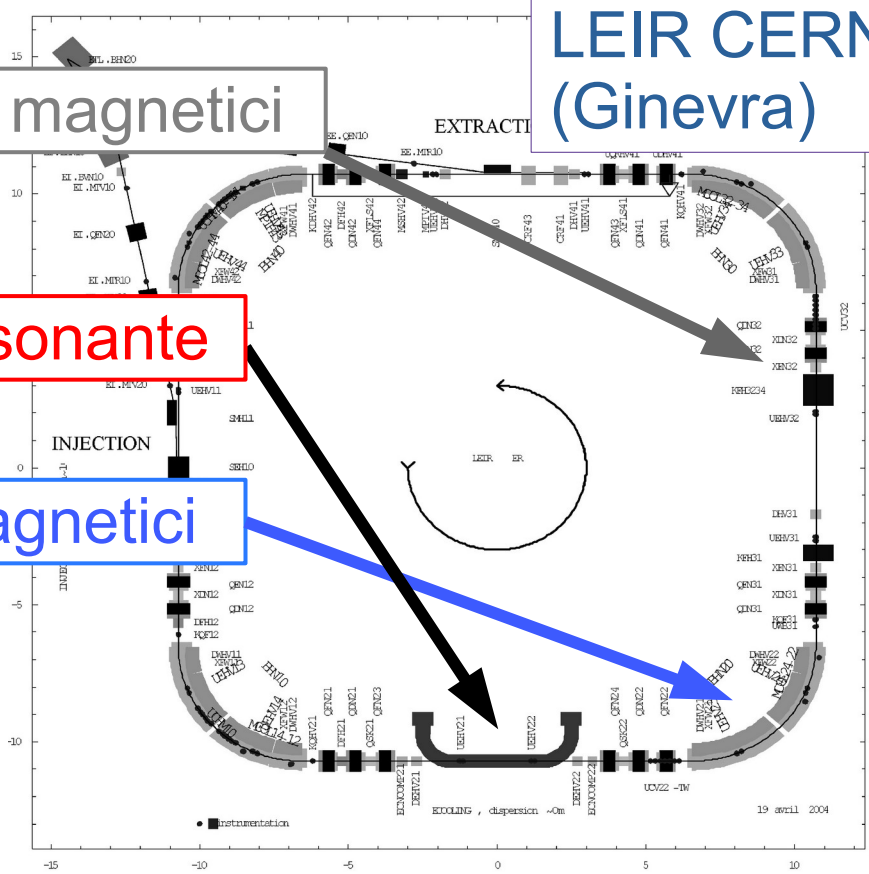


Quadrupoli magnetici

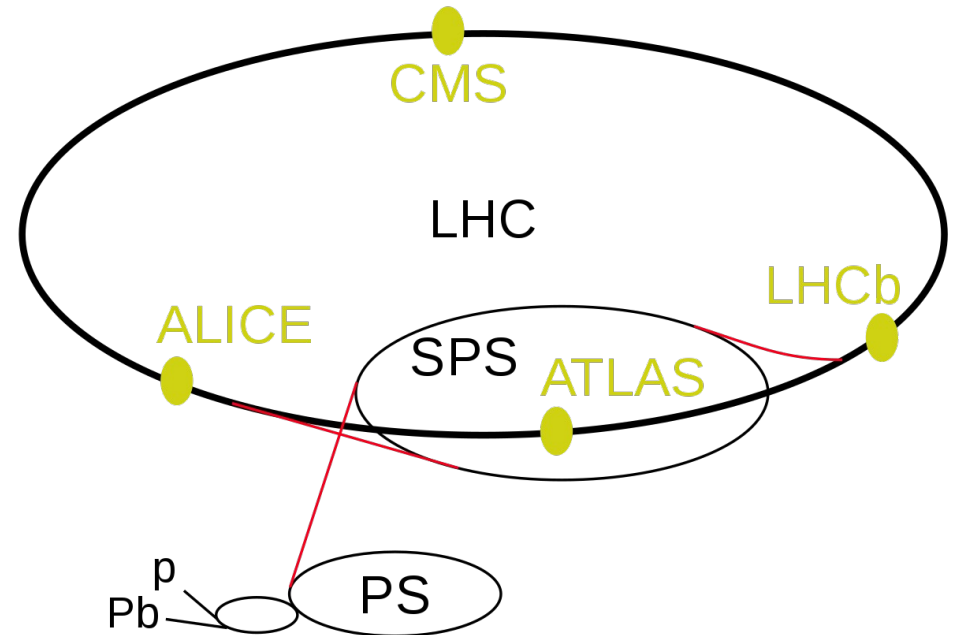
Cavita' risonante

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

ATLAS

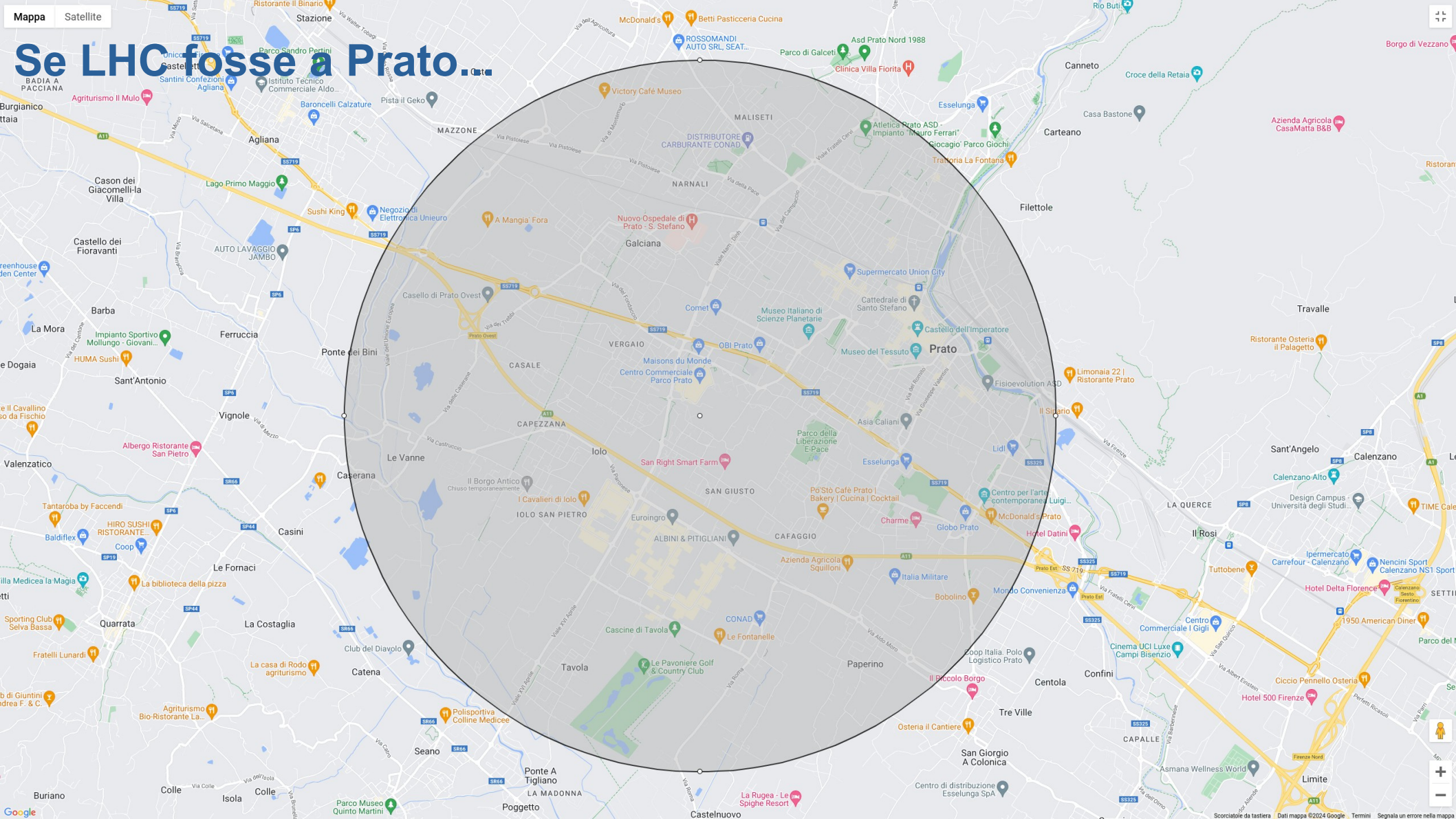
CERN Meyrin

CERN Prévessin

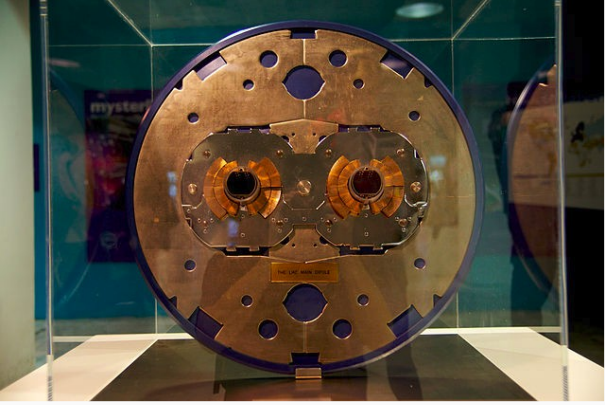
SPS 7 km

ALICE

LHC 27 km

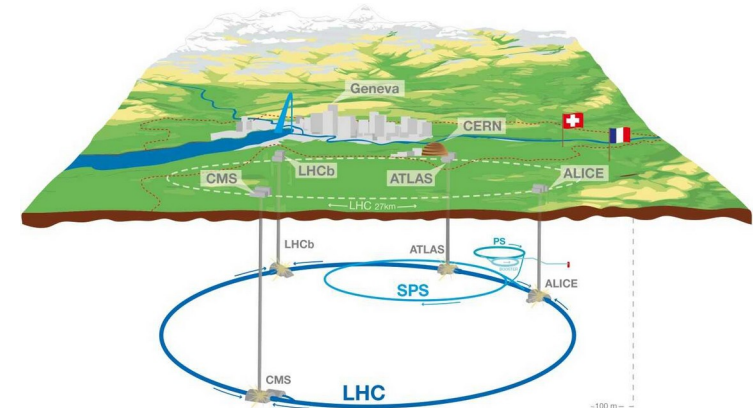
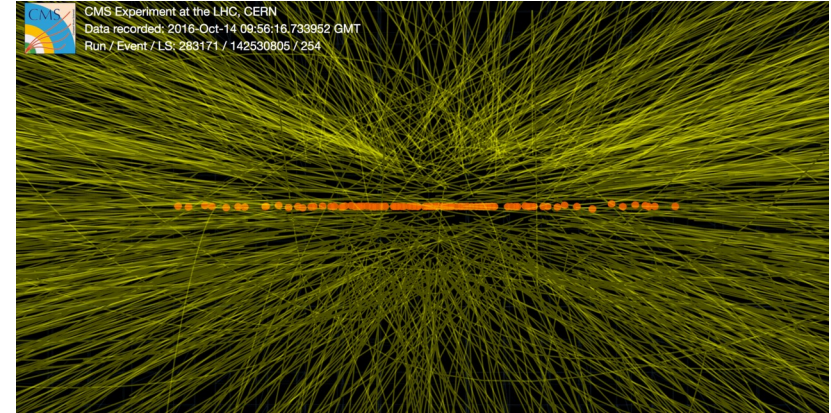


Se LHC fosse a Prato.



- 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:

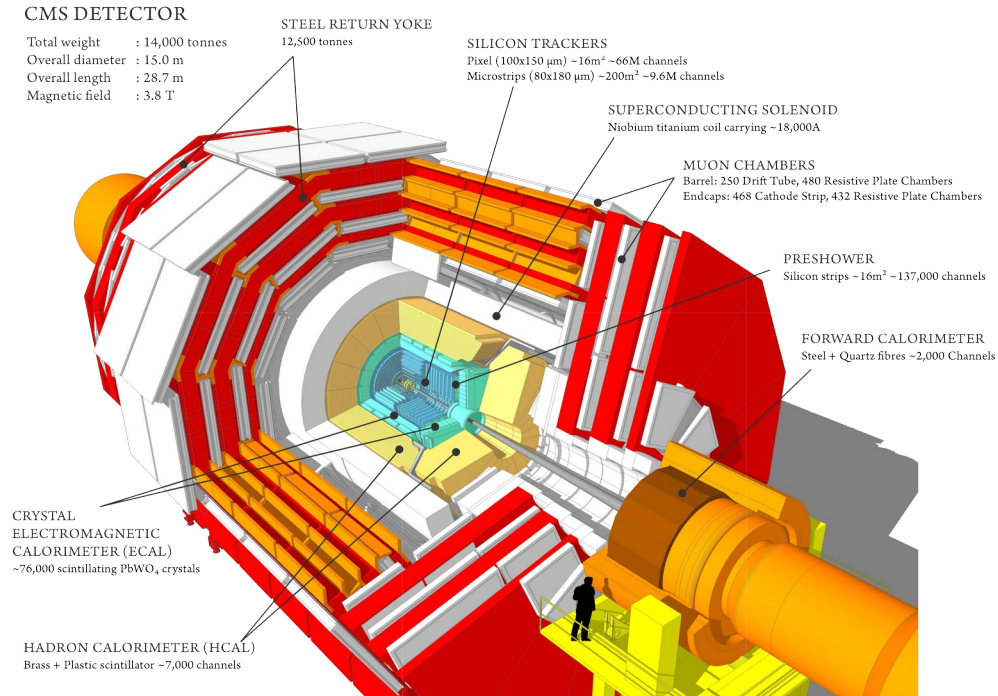
- **CMS**
- **ATLAS**
- **LHCb**
- **ALICE**

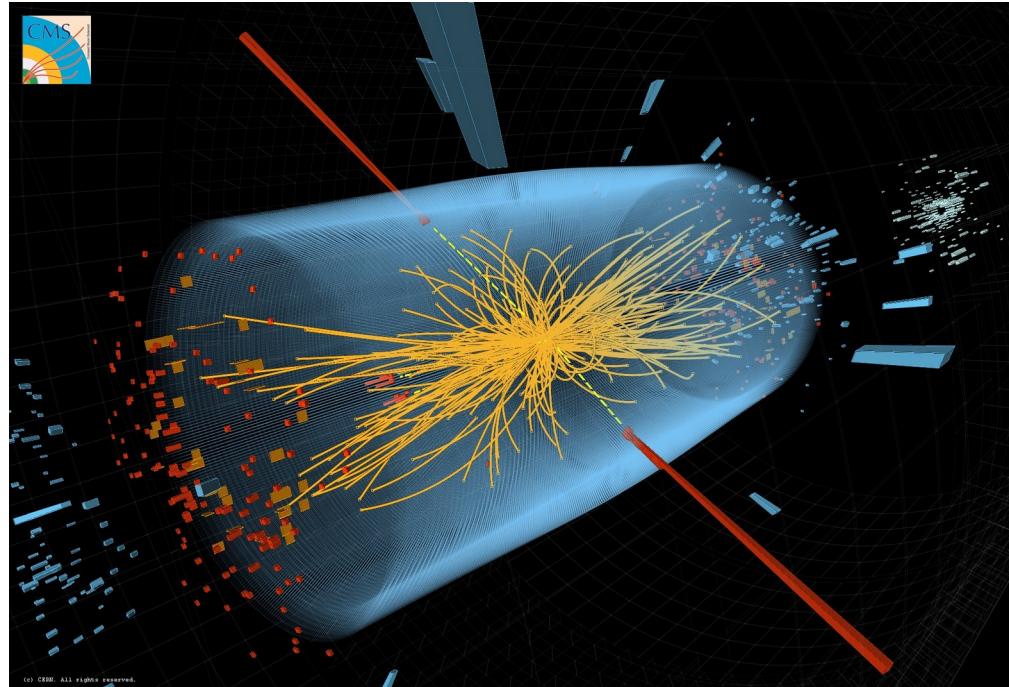




L'esperienza CMS

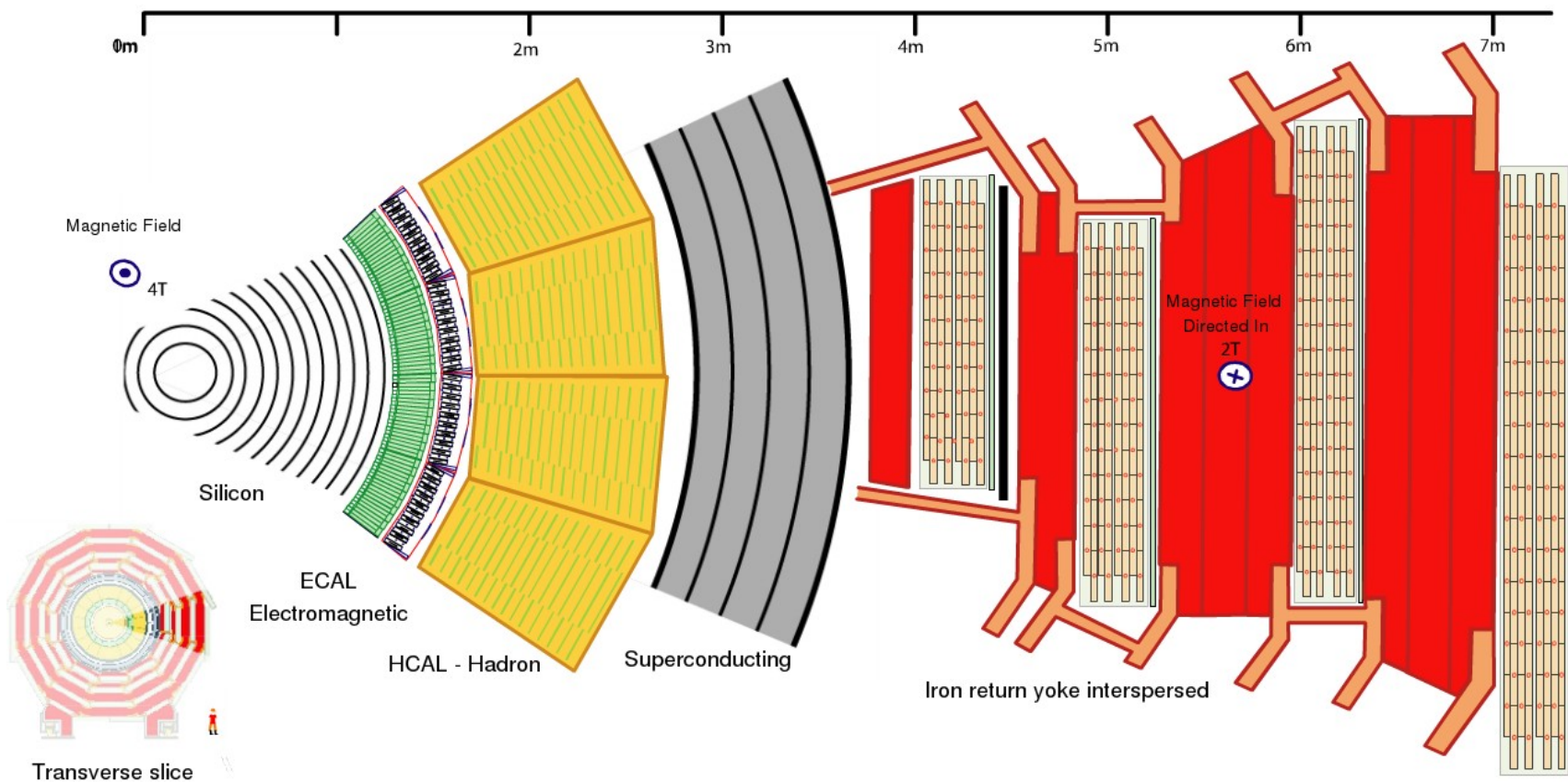
- L'esperimento Compact Muon Solenoid (**CMS**) è composto da un insieme di rivelatori per riconoscere ed identificare le particelle prodotte nelle collisioni protone-protone.
- Alcuni dati:
 - Altezza ~ 15 m
 - Lunghezza ~ 22 m
 - Peso ~ 12500 ton



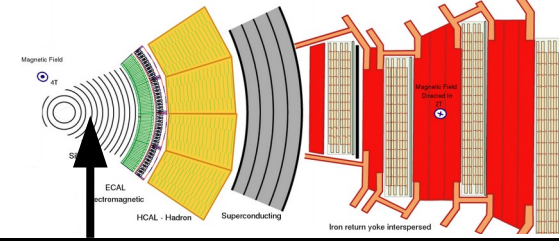


- CMS è un esperimento che si propone più obiettivi, es.:
 - ricerca del bosone di Higgs (e misura delle sue caratteristiche);
 - misure sul Modello Standard (eg. violazione di CP, decadimenti rari, misura massa particelle, sezioni d'urto)
 - ricerca di nuove particelle previste da nuove teorie (eg.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

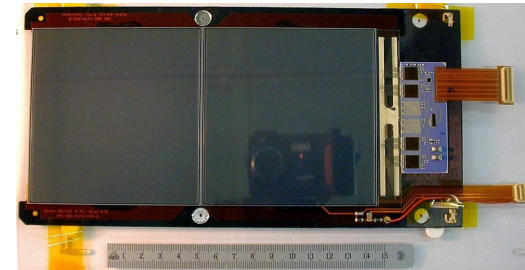
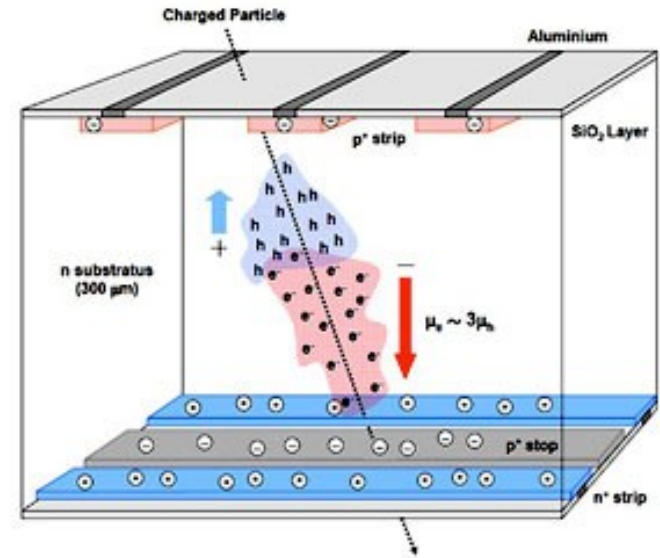
Un esperimento a più strati



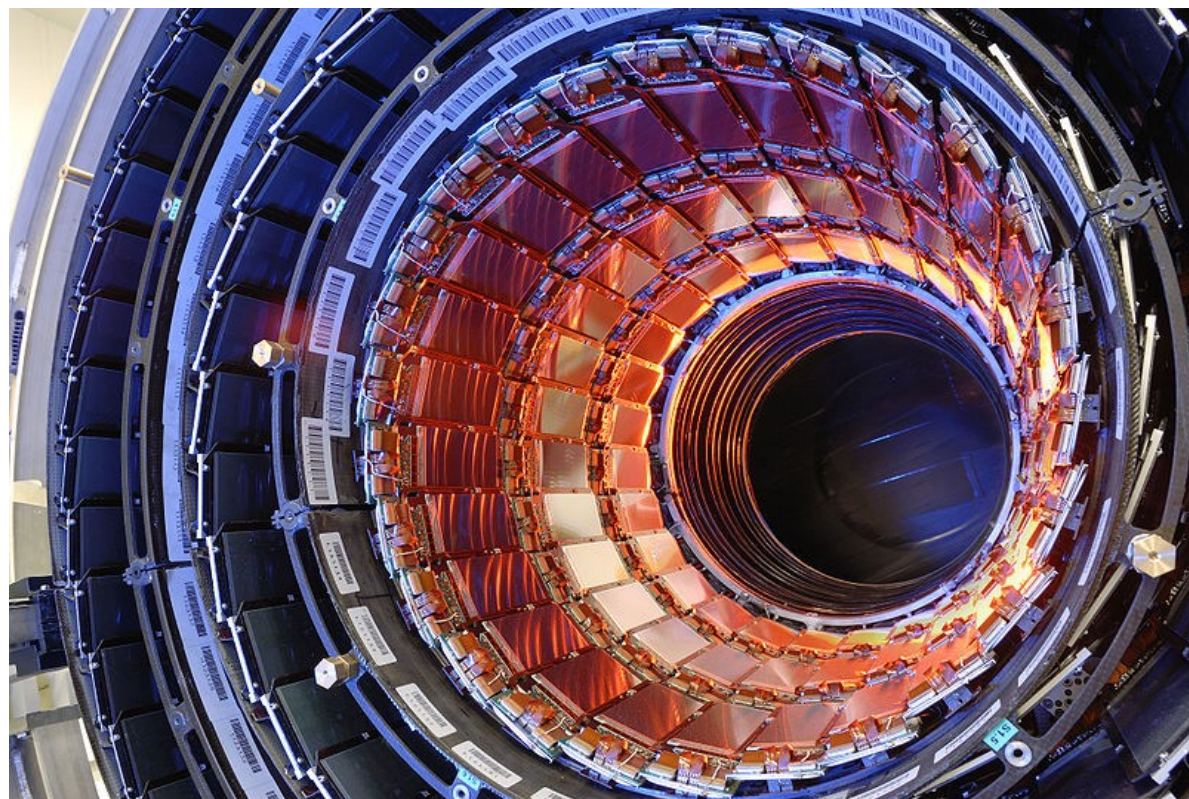
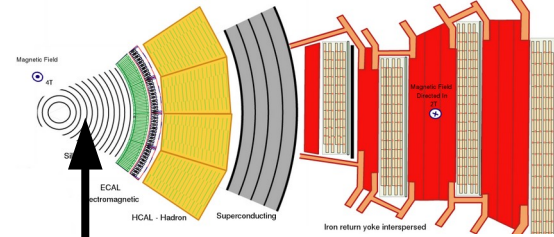
Il tracciatore



- 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.



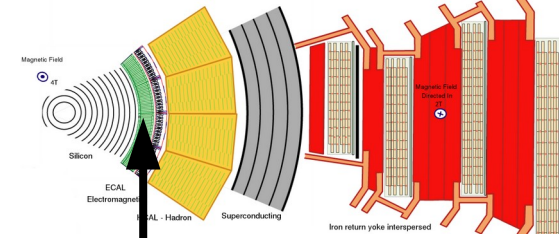
Il tracciatore



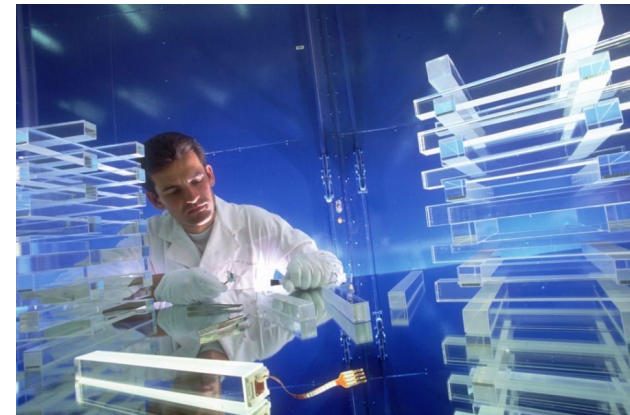
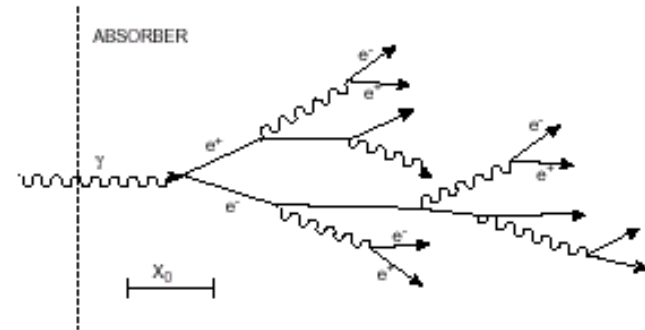
**Prototipo
realizzato a
Pisa prima
del 2008**



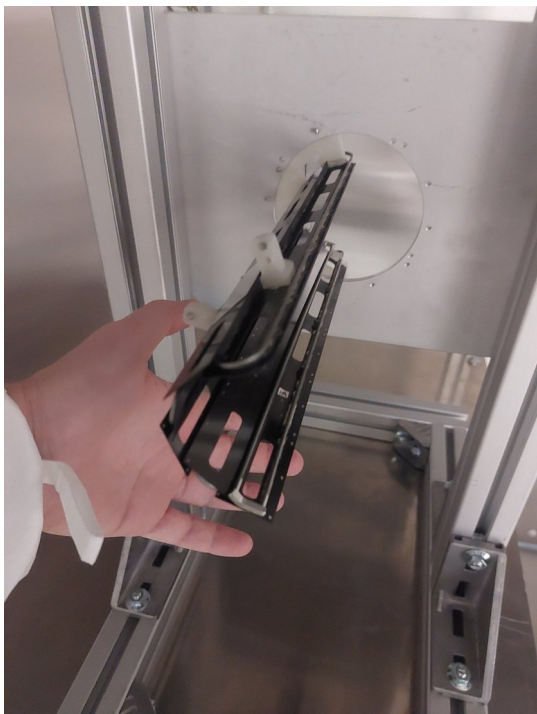
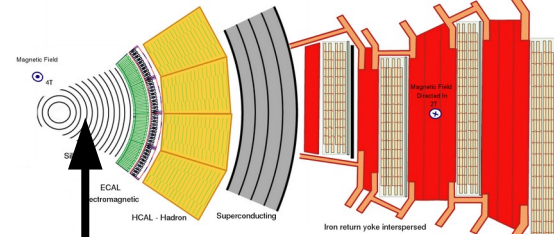
Il calorimetro elettromagnetico



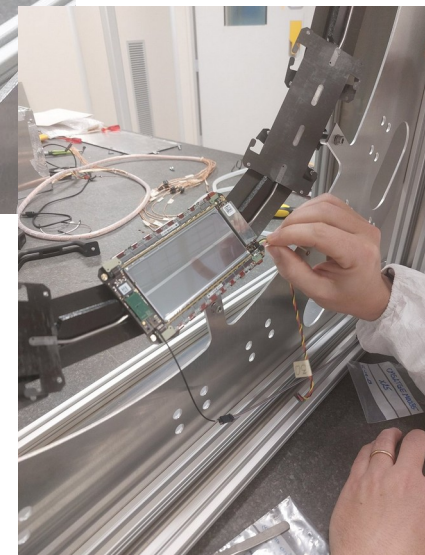
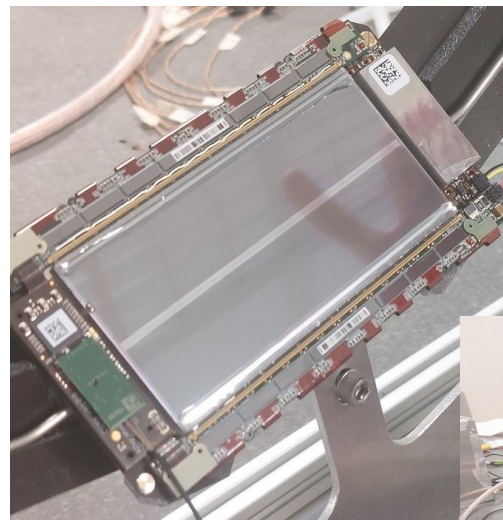
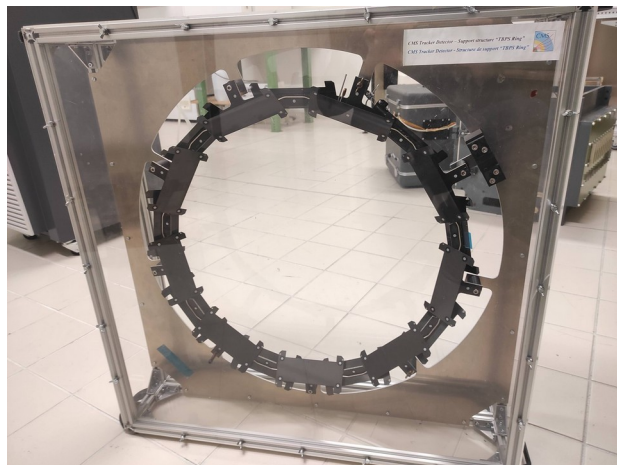
- Il calorimetro elettromagnetico (**ECAL**) è lo strumento che permette di misurare interamente **l'energia di elettroni e fotoni**.
- I fotoni interagiscono con ECAL emettendo coppie **elettrone/positrone**, che a loro volta possono produrre altri **fotoni**, e così' via.
- Le particelle cariche in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



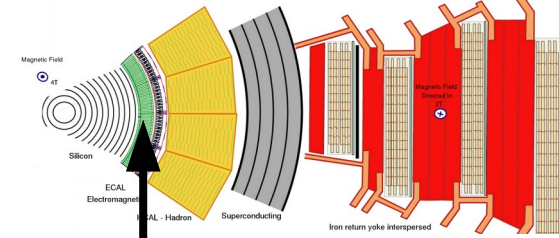
Il tracciatore



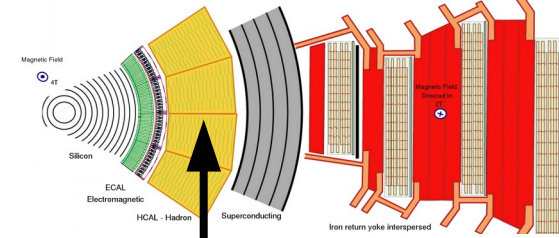
Preparazione del futuro tracciatore di CMS che andra' in funzione nel 2029



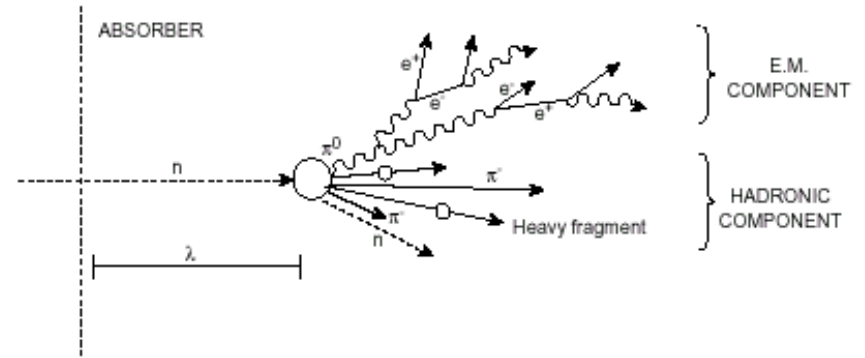
Il calorimetro elettromagnetico



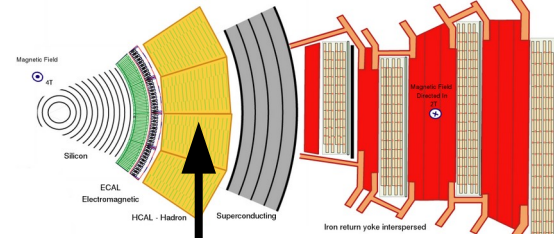
Il calorimetro adronico

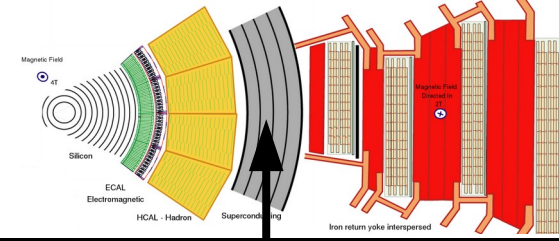


- Il calorimetro adronico (**HCAL**) misura l'energia degli adroni.
- In questo caso la particella interagisce con il rivelatore tramite interazioni adroniche.
- Le particelle cariche formatesi rilasciano parte della loro energia in luce che viene raccolta e misurata.
- A CMS il calorimetro adronico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

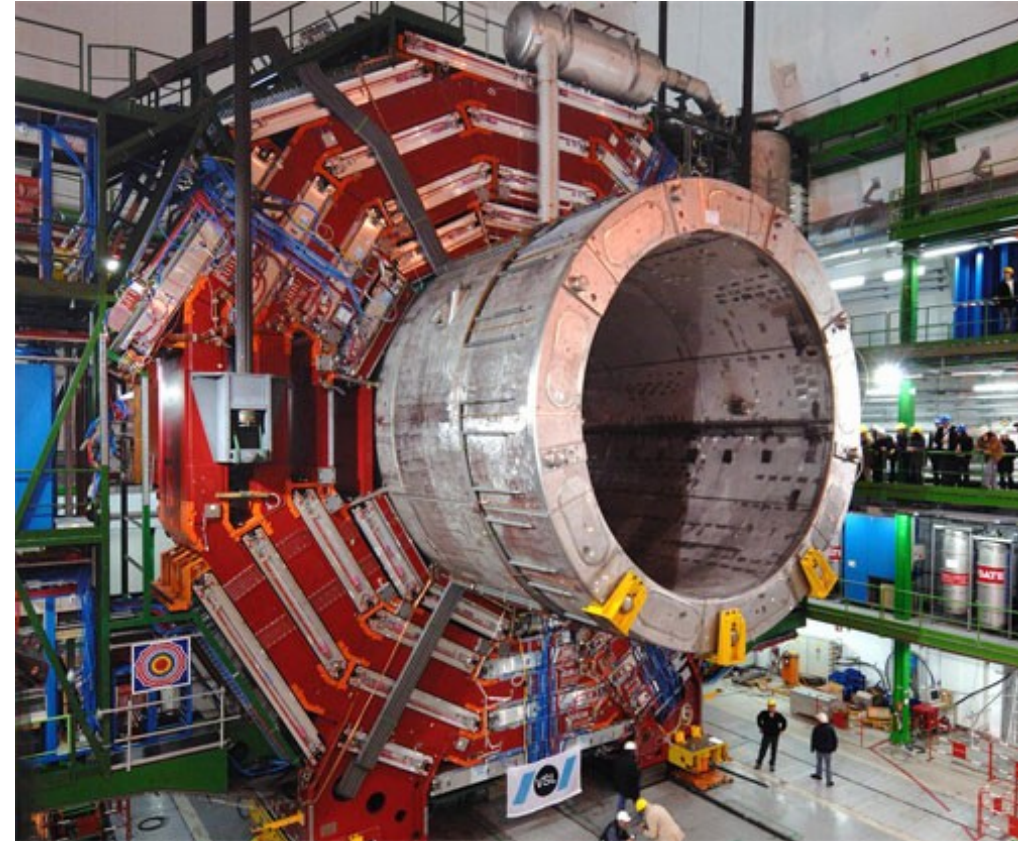


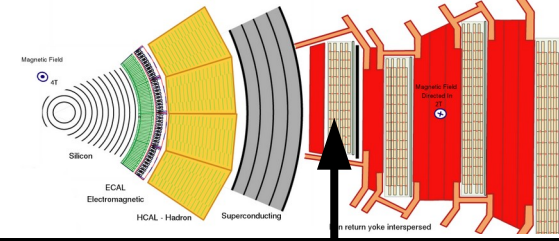
Il calorimetro adronico



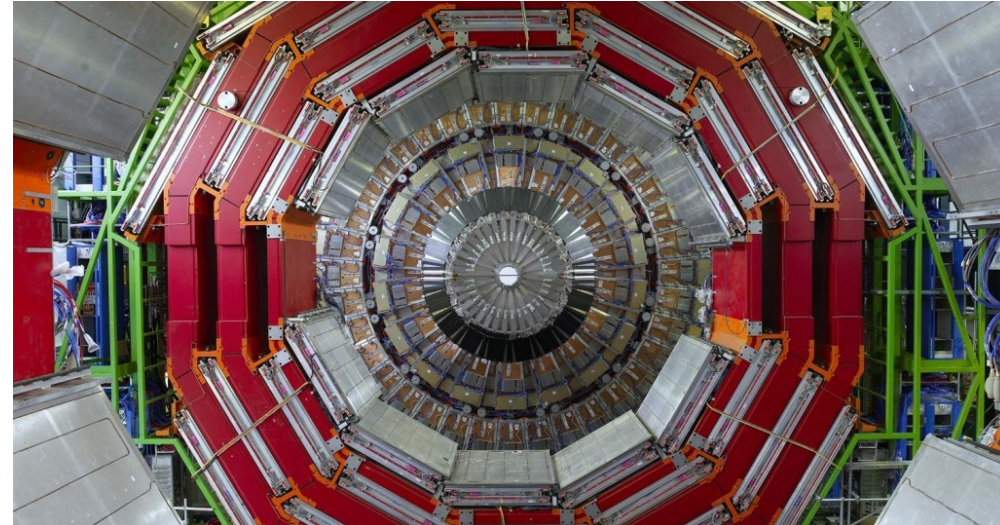
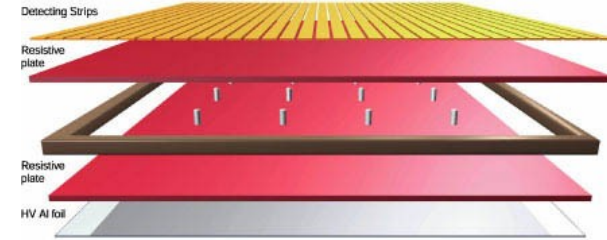


- Nei rivelatori di particelle il campo magnetico serve a distinguere la **carica** delle particelle e misurare la loro **quantità di moto**.
- A CMS sia il tracciatore che i calorimetri sono immersi in un campo magnetico di circa **4T**.
 - Il campo magnetico è generato da un solenoide **superconduttore**.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

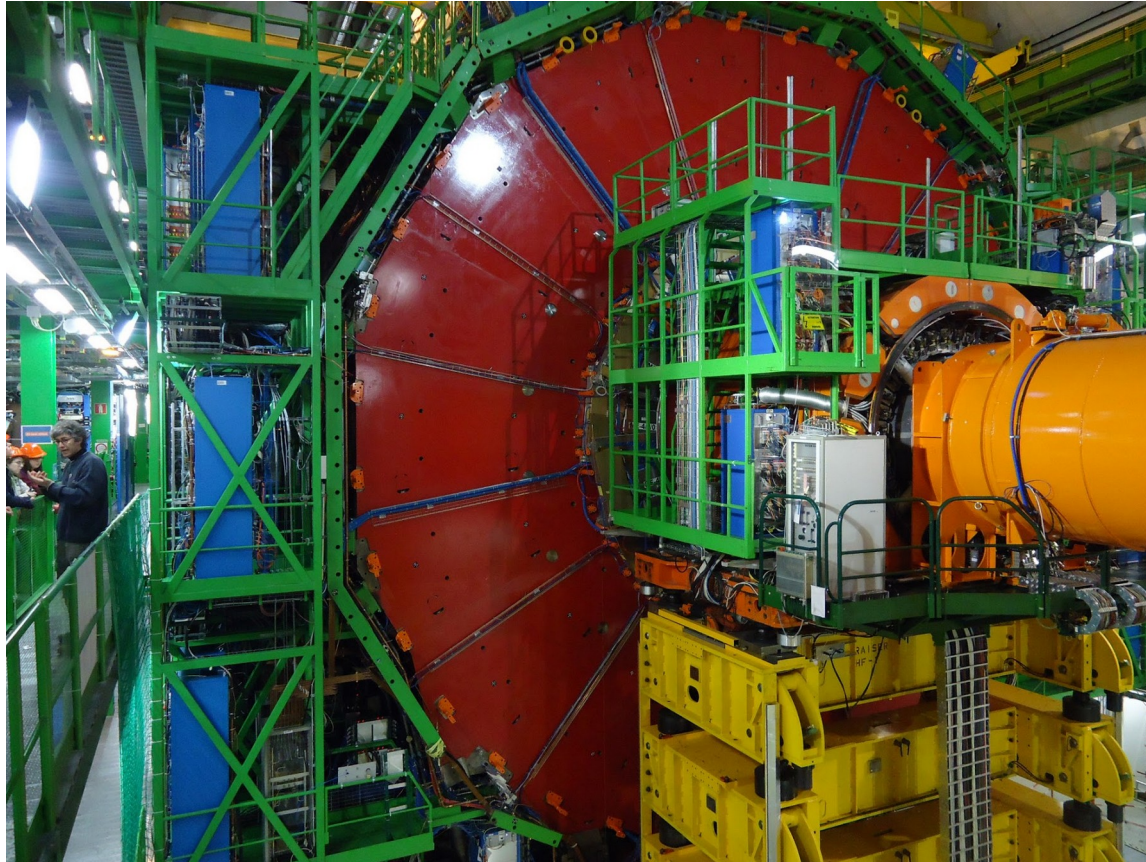
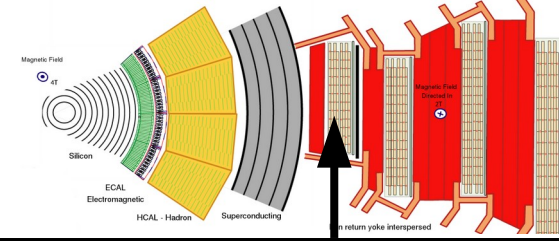




- I **muoni** (e i neutrini) sono le uniche particelle che attraversano tutto l'esperimento CMS.
- Le camere muoniche sono i rivelatori più esterni e servono per identificare i muoni.
- Vengono utilizzati tre tipi di rivelatori a gas:
 - Muon Drift Tubes;
 - Cathode Strip Chambers;
 - Resistive Plate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



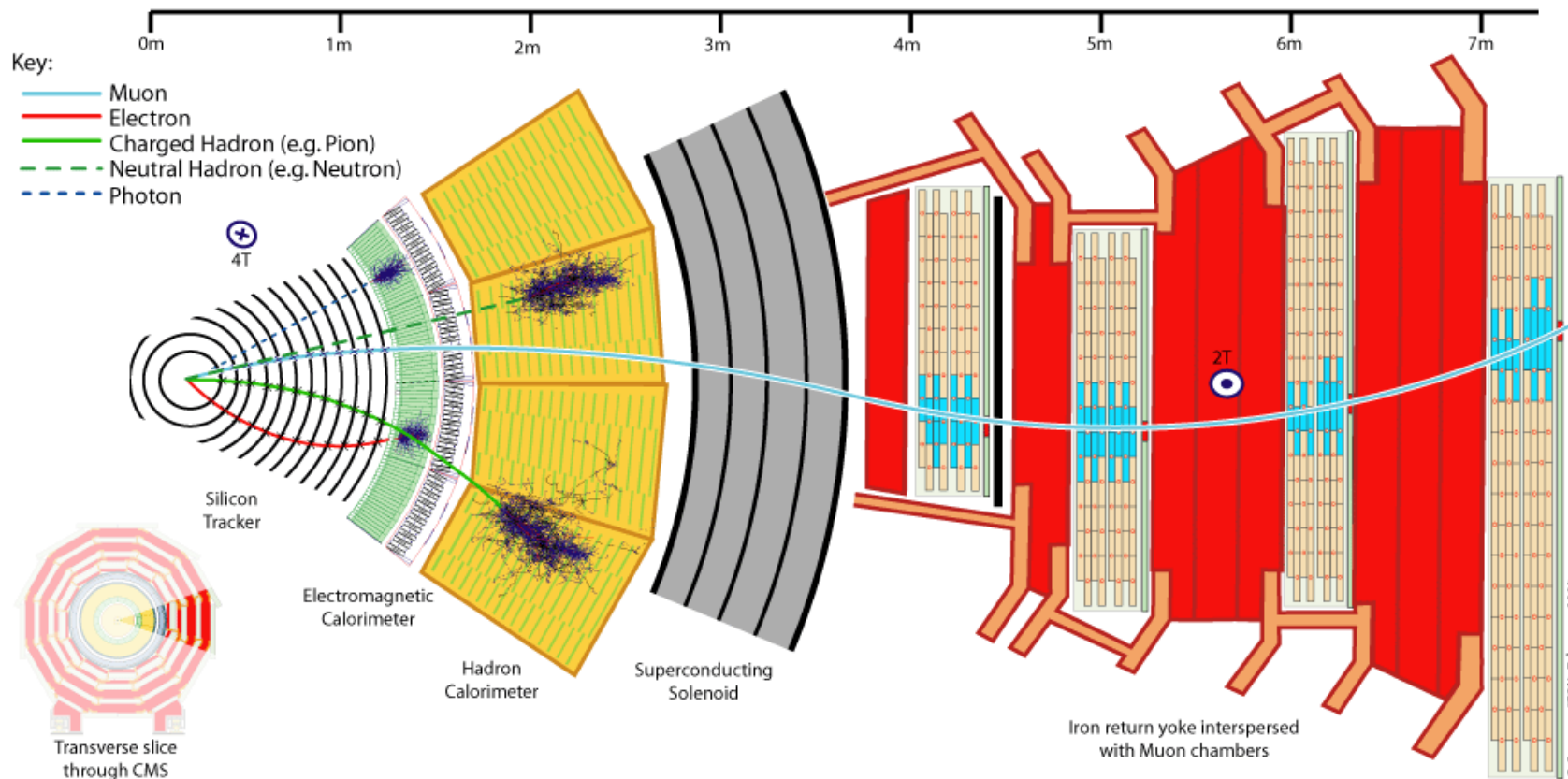
Le camere muoniche





Directed in
IT

ZEC
7

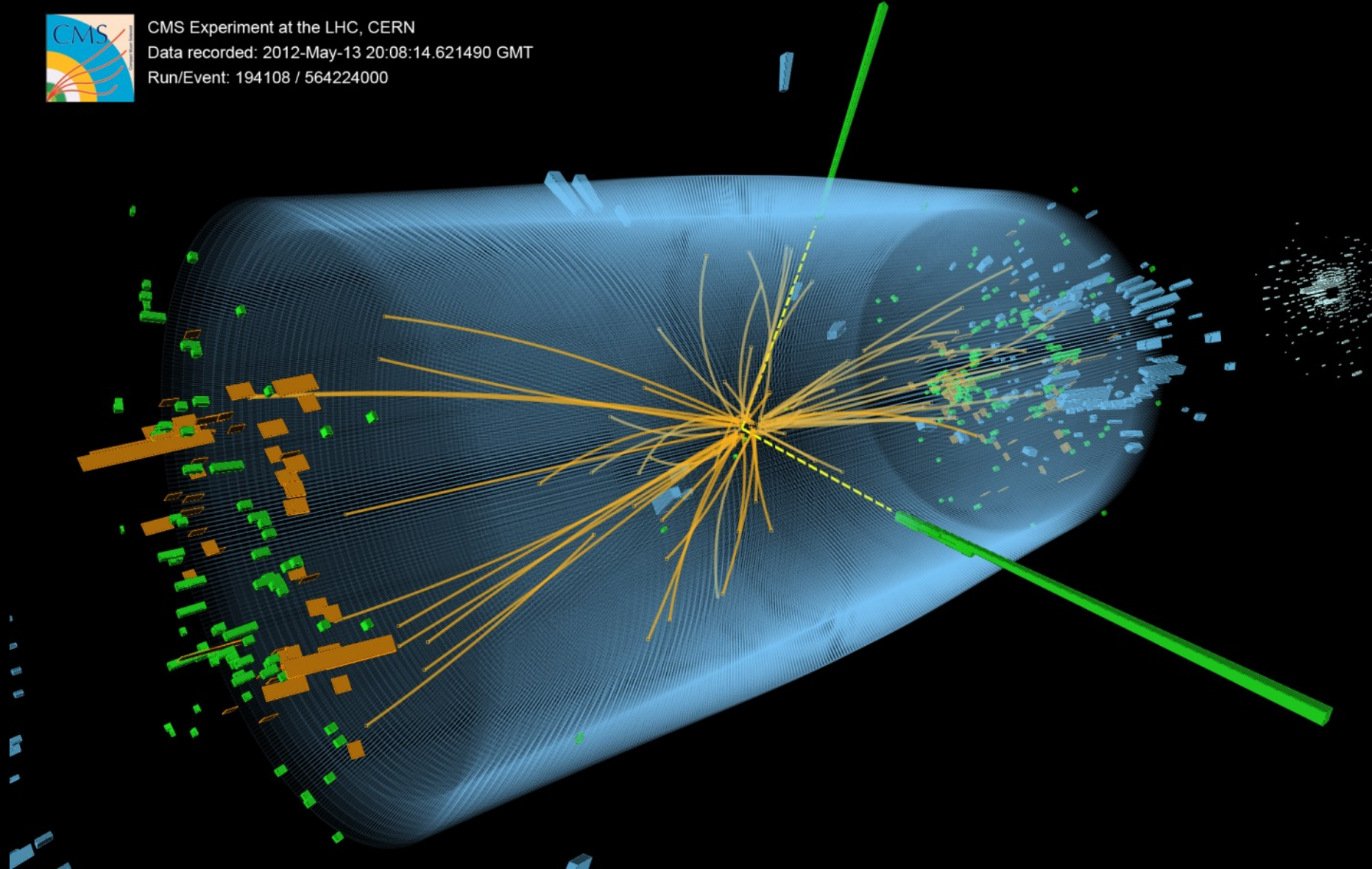




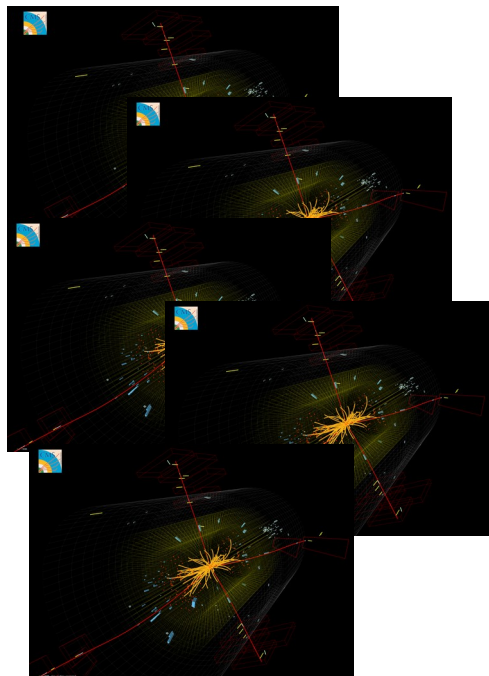
CMS Experiment at the LHC, CERN

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

Run/Event: 194108 / 564224000



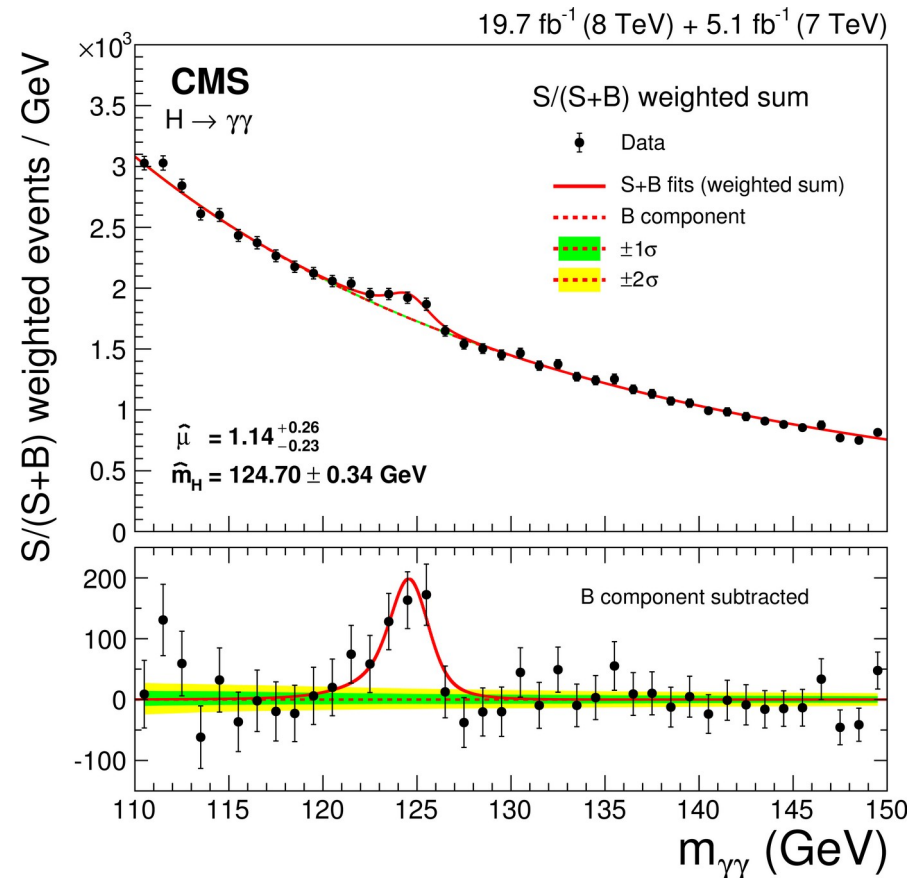
Scoprire una particella



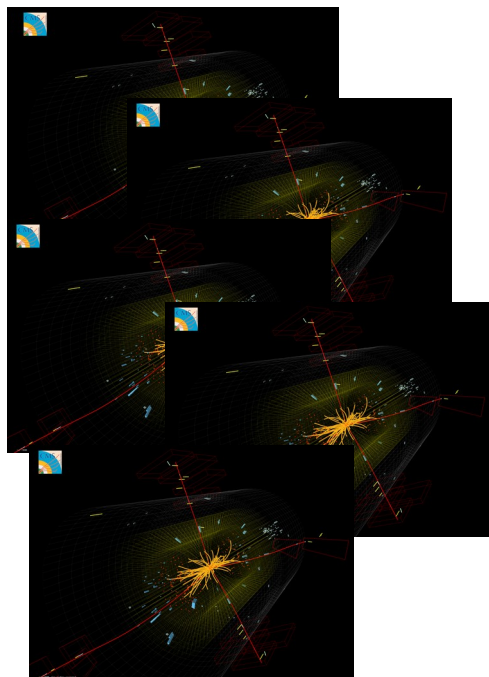
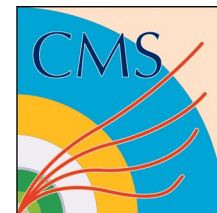
dopo 40 milioni
di collisioni al
secondo per
2 anni ...



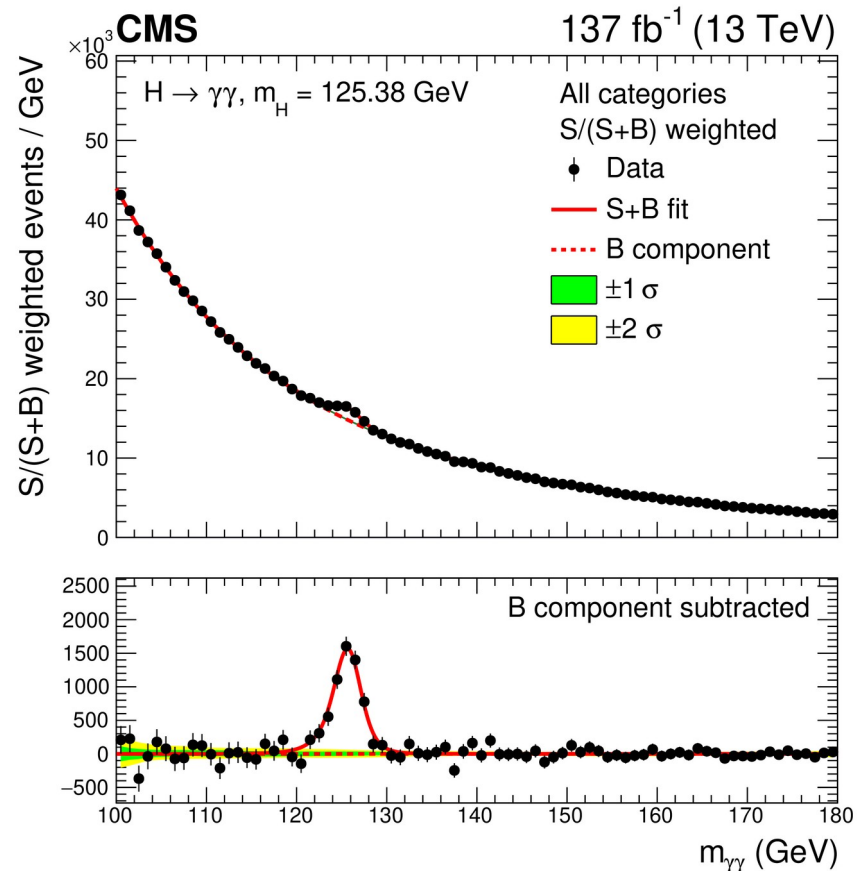
<https://youtu.be/pQhbhpU9Wrg>



Scoprire una particella



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



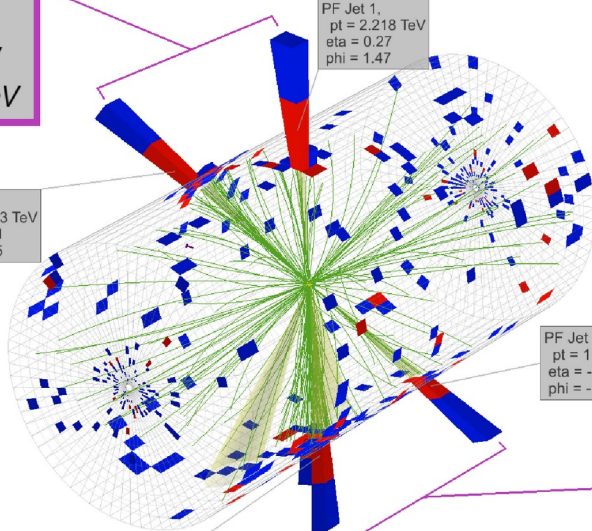
<https://youtu.be/pQhbhpU9Wrg>



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

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

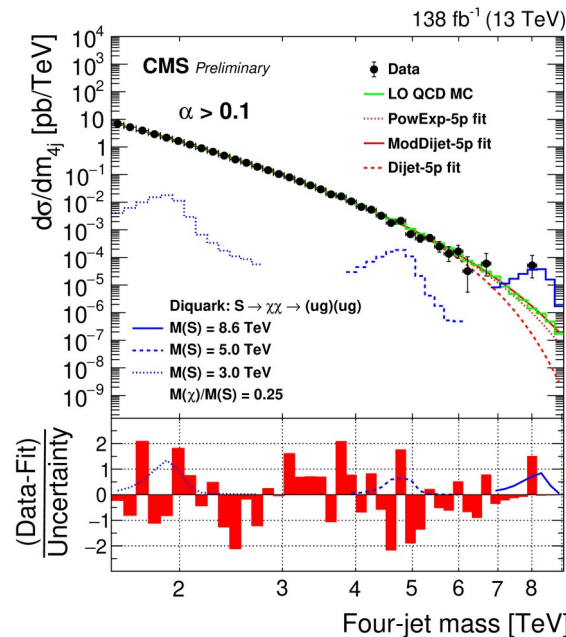
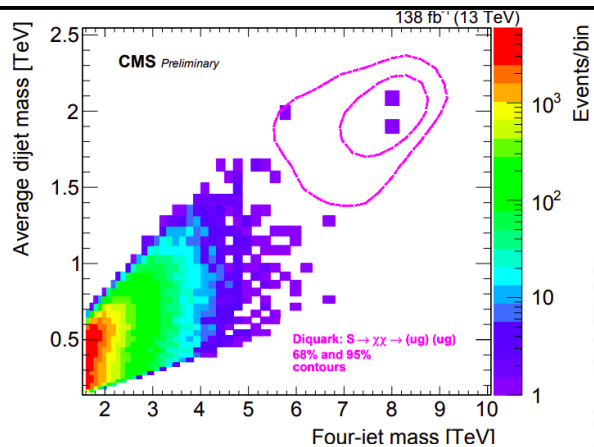
PF Jet 1,
 $pt = 2.218 \text{ TeV}$
 $\eta = 0.27$
 $\phi = 1.47$



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

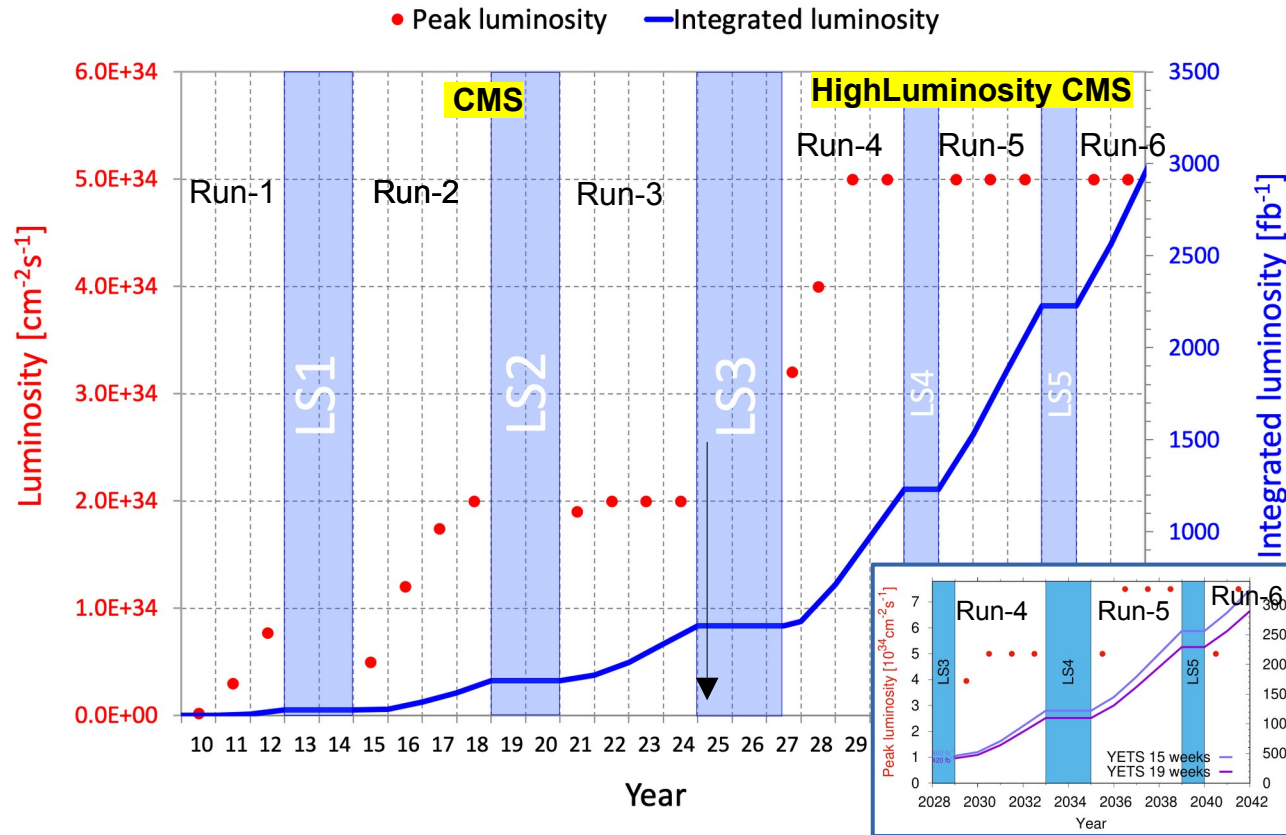
- 4000 scienziati
 - di cui 1000 studenti PhD.
- 206 istituti.
- 47 nazioni.





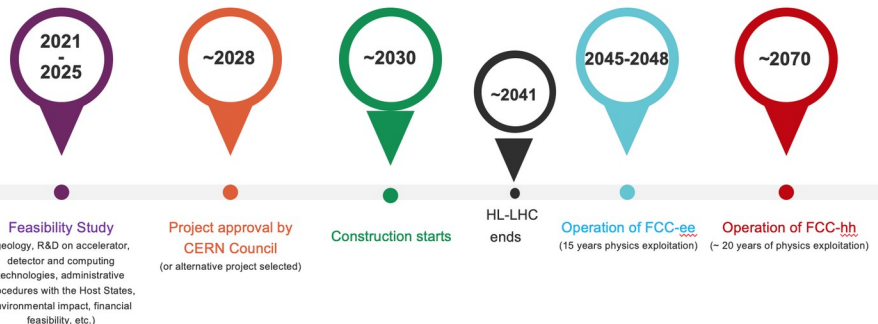
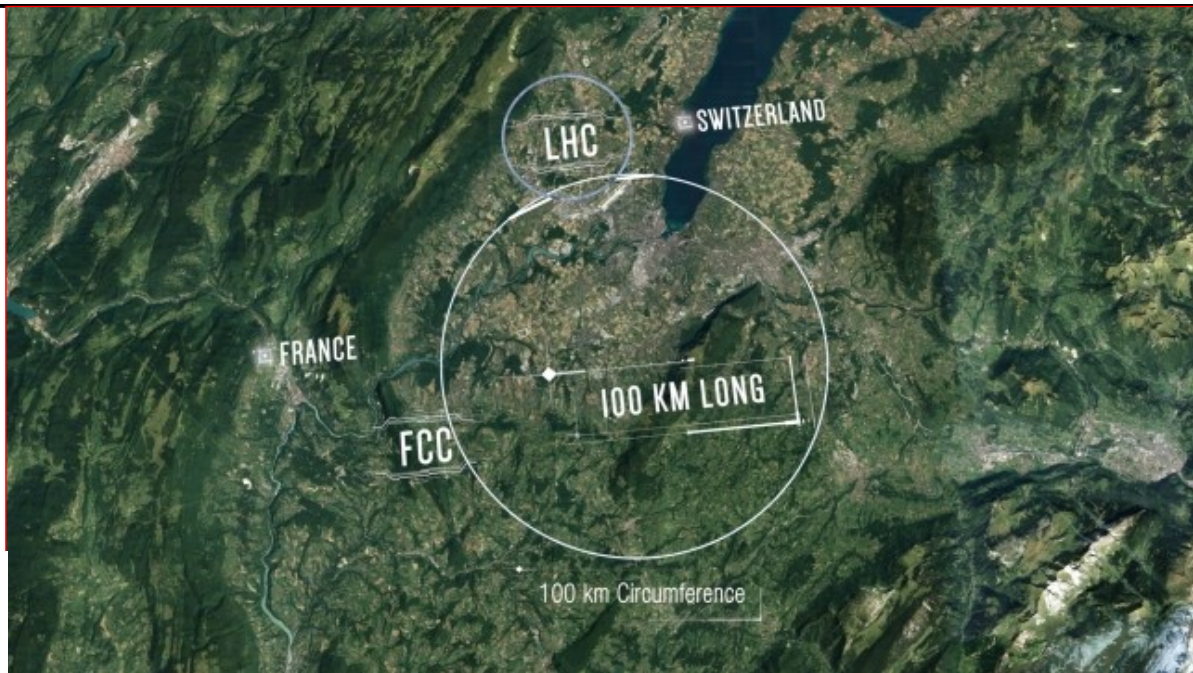
CERN Council Meeting - June 16/17

- Council met last Thursday/Friday to debate and vote on several issues, with the following decisions
 - Finance
 - To reduce the American contribution to CERN for 2022 to the amount already committed to the Organization, 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.
 - To begin reviewing the feasibility of raising extra money to ensure the full implementation of the Agreement, as soon as possible.



- Run-1: 2010-12
- Run-2: 2015-18
- Run-3: 2022-25
- High Luminosity: 2029-2042

- FCC: Future Circular Collider
- Lungo 91 km
- Collisionatore e^+e^- per produrre il bosone di Higgs in ambiente “pulito” (fino a 350 GeV)
- Collisionatore pp per scoprire nuove particelle (fino a 100 TeV)





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



FisicaTr...



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



Domande?