



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Run: 279685

Event: 690925592

2015-09-18 02:47:06 CEST

# Acceleratori di Particelle

Luca Martinelli



# Cos'è un acceleratore?



**Lineari**

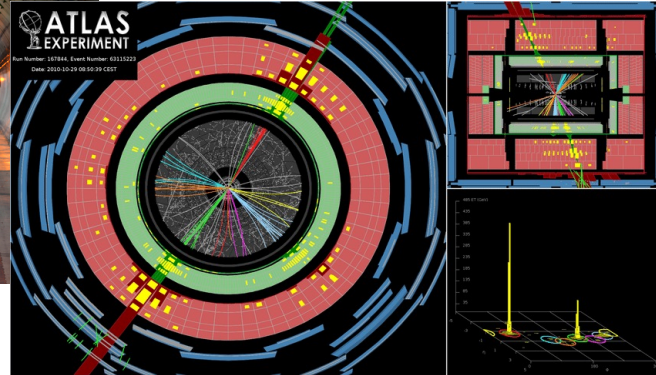
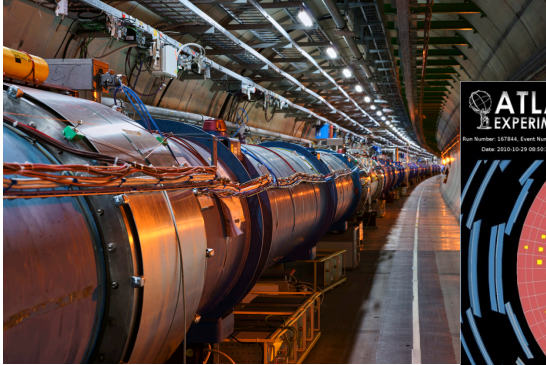
**Circolari**



# A cosa serve?

## Fisica Nucleare e Sub-Nucleare

(LHC, DAΦNE, Tevatron, ....)

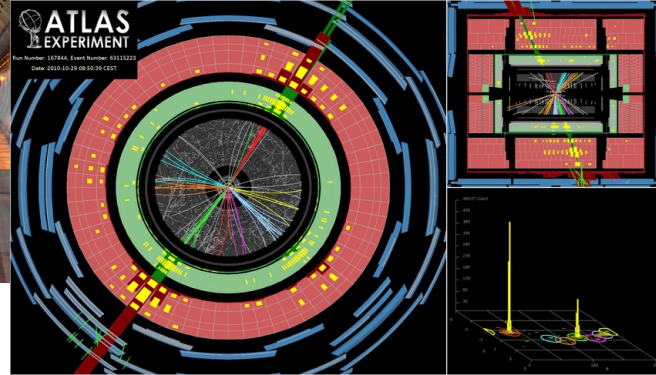
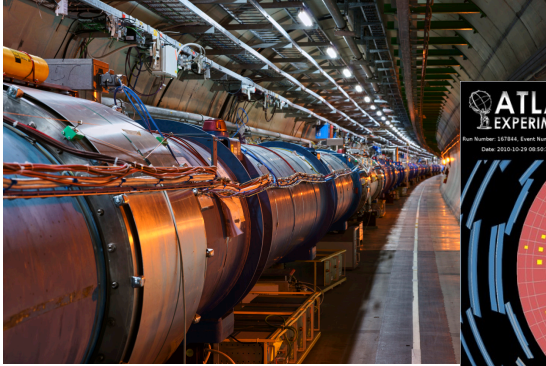




# A cosa serve?

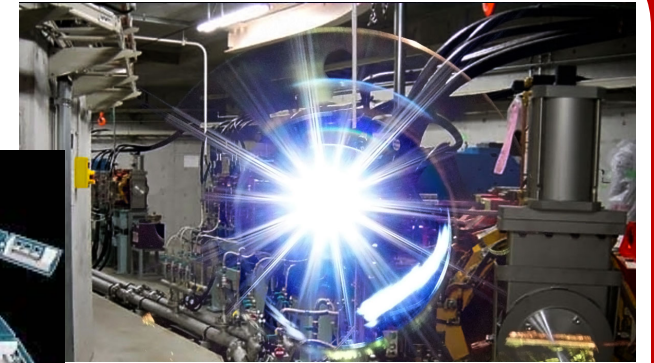
## Fisica Nucleare e Sub-Nucleare

(LHC, DAΦNE, Tevatron, ....)



## Fisica della materia

Luce di sincrotrone per lo studio della struttura dei materiali

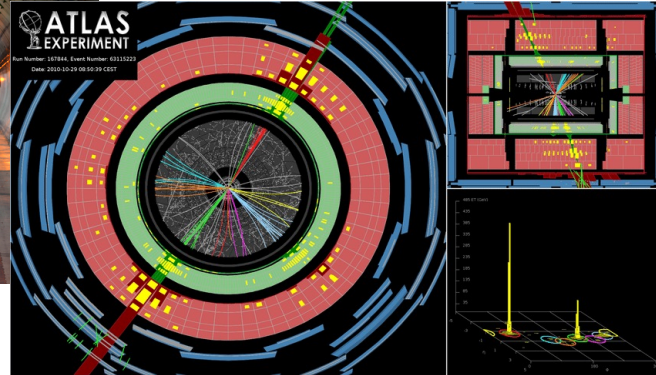
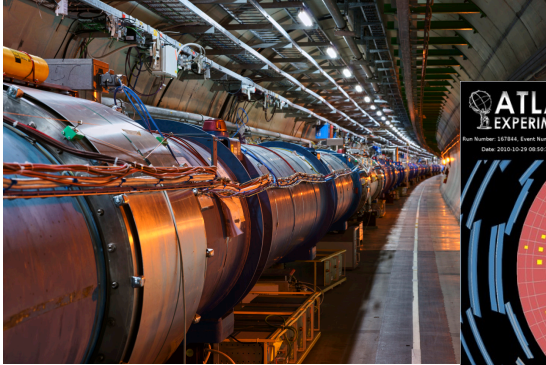




# A cosa serve?

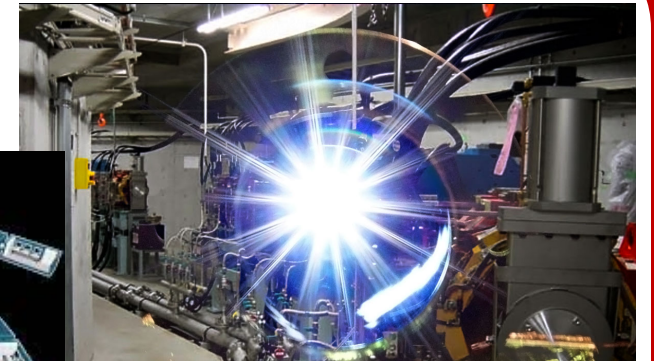
## Fisica Nucleare e Sub-Nucleare

(LHC, DAΦNE, Tevatron, ....)



## Fisica della materia

Luce di sincrotrone per lo studio della struttura dei materiali



## Medicina

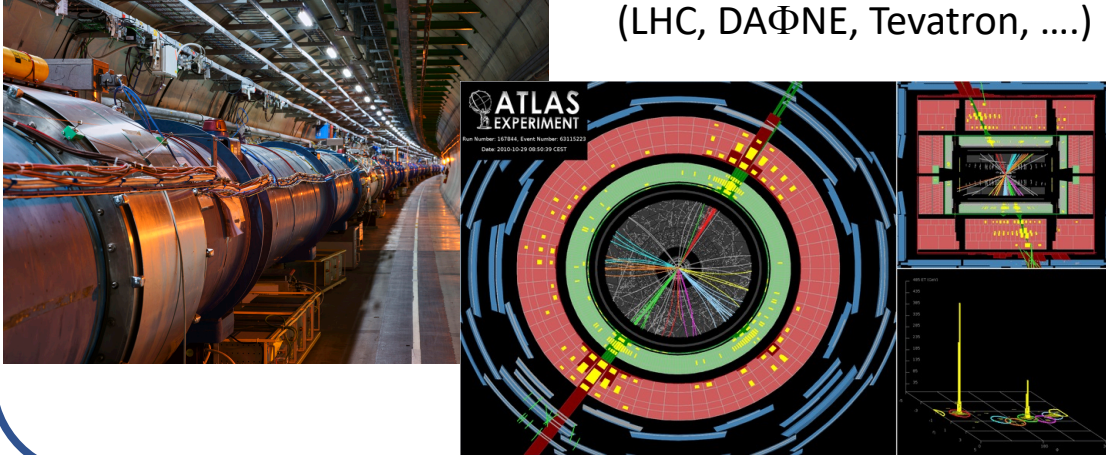
Per la cura dei tumori (CNAO)



# A cosa serve?

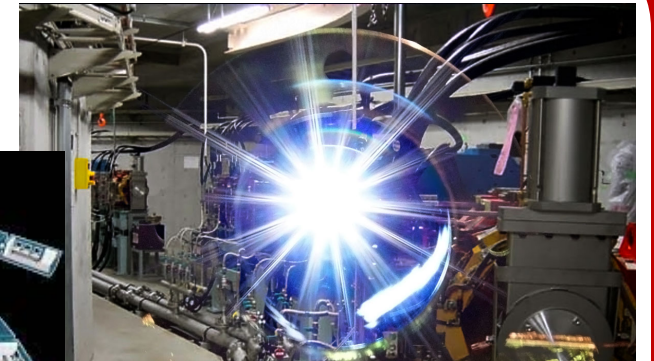
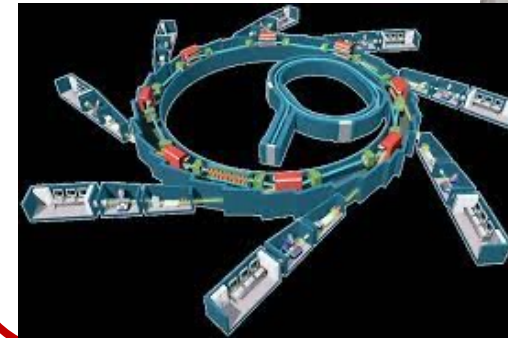
## Fisica Nucleare e Sub-Nucleare

(LHC, DAΦNE, Tevatron, ....)



## Fisica della materia

Luce di sincrotrone per lo studio della struttura dei materiali



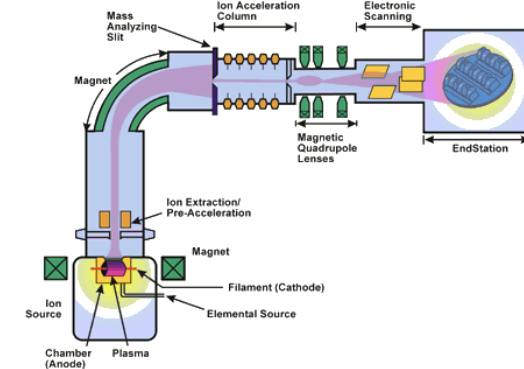
## Medicina

Per la cura dei tumori (CNAO)



## Applicazioni industriali

impiantazione ionica, sterilizzazione materiali,...





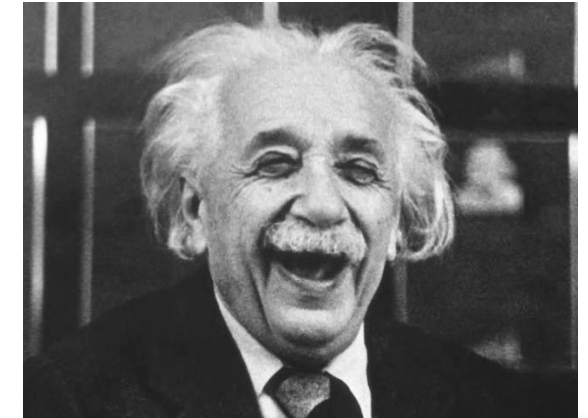
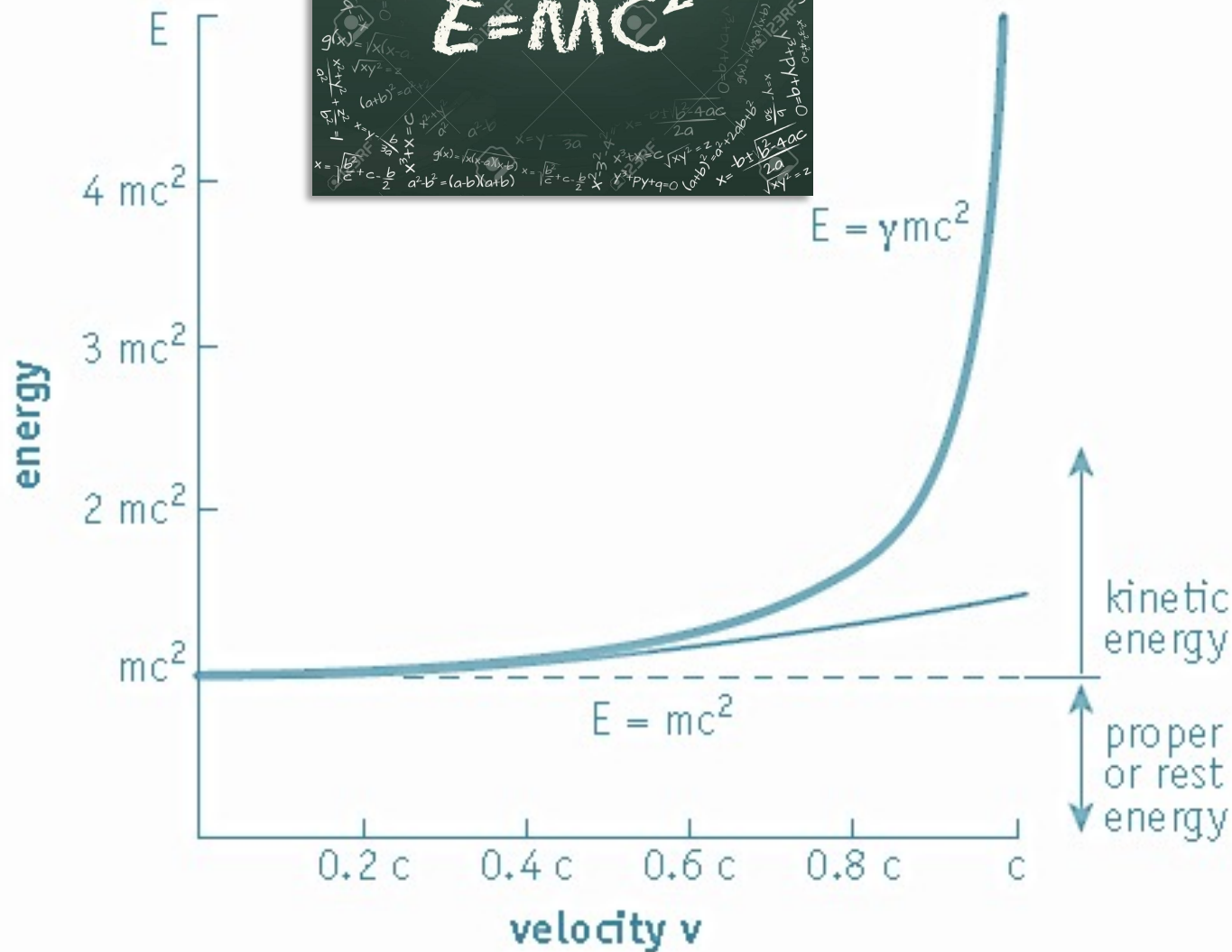
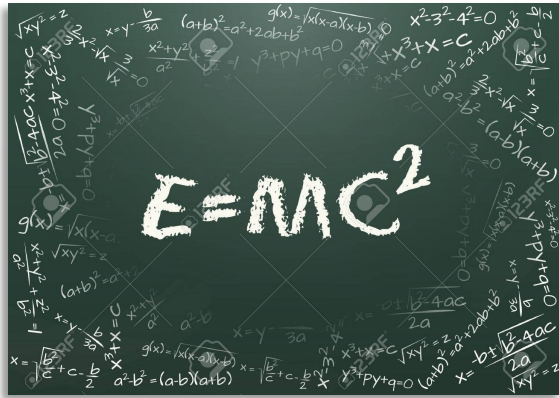
# Unità di misura dell'energia

- In fisica delle particelle l'energia si misura in **elettronvolt** (eV)
- 1 eV = *aumento di energia di un elettrone che si muove nel vuoto tra due punti posti ad 1 metro di distanza tra i quali vi è una differenza di potenziale pari a 1 volt*
- $1 \text{ eV} = (1.602 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (1 \text{ V}) = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$

Power of ten	Number	Symbol
$10^{-12}$	0.000000000001	p (pico)
$10^{-9}$	0.000000001	n (nano)
$10^{-6}$	0.000001	$\mu$ (micro)
$10^{-3}$	0.001	m (milli)
$10^{-2}$	0.01	
$10^{-1}$	0.1	
$10^0$	1	
$10^1$	10	
$10^2$	100	
$10^3$	1000	k (kilo)
$10^6$	1 000 000	M (mega)
$10^9$	1 000 000 000	G (giga)
$10^{12}$	1 000 000 000 000	T (tera)
$10^{15}$	1 000 000 000 000 000	P (peta)

Azione	Energia
Salto (1 m)	$\sim 800 \text{ J}$
Calcio Taekwondo	$\sim 200 \text{ J}$
Pugno	$\sim 100 \text{ J}$
Caduta fiocco di neve	$\sim 10^{-6} \text{ J}$
Volo Zanzara (1 m/s)	$\sim 10^{-7} \text{ J}$
Protoni a LHC	6.5 TeV $\sim 10^{-7} \text{ J}$

# Energia delle particelle




- Particelle accelerate a velocità prossime a quella della luce (0.999999991 volte la velocità della luce)
- Aumenta l'energia cinetica delle particelle
- Maggiore energia, più vicini al big bang



# Urti come strumento di indagine





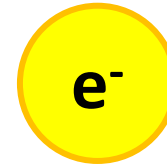


Un “acceleratore naturale”  
i raggi cosmici

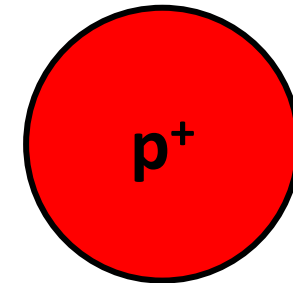
Direttamente da Sole



# Particelle, dove le trovo?



Alte temperature e campi elettrici

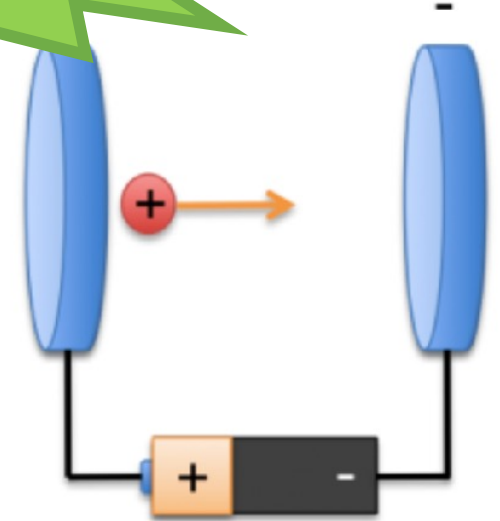


*Si possono accelerare solamente particelle cariche*

## Accelerare le particelle

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

Le cariche positive sono attratte da quelle negative  
Possiamo accelerare le particelle sfruttando i campi elettrici!

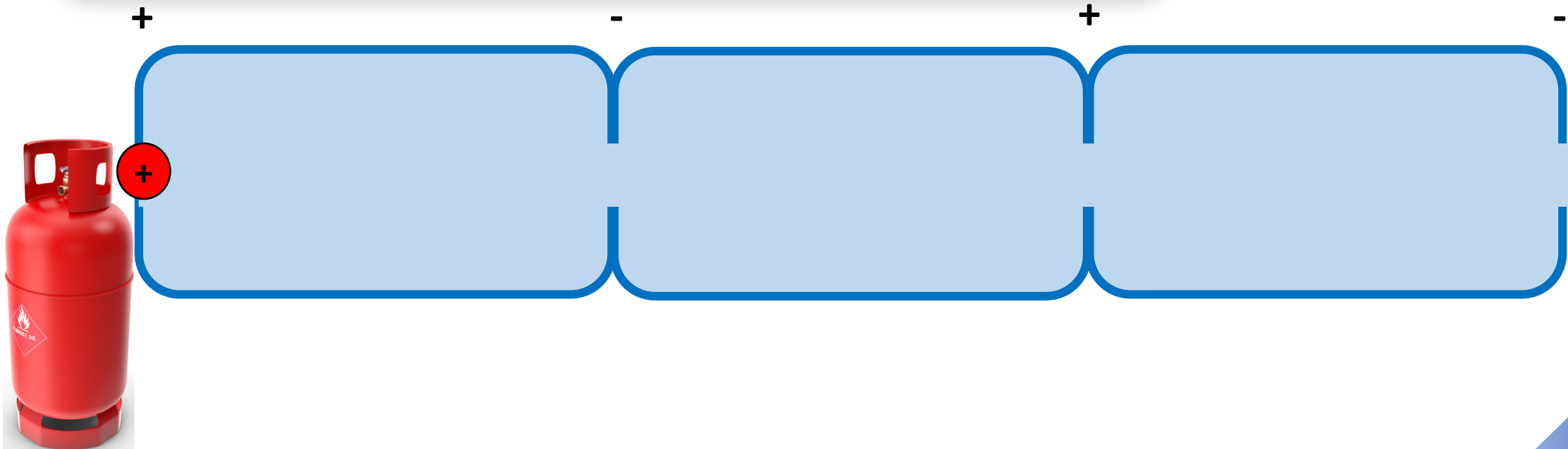
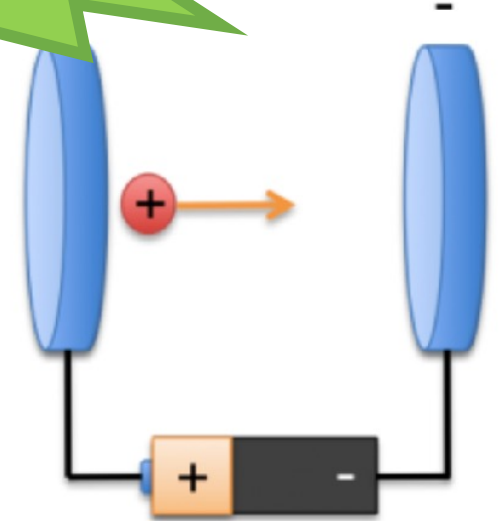




# Accelerare le particelle

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

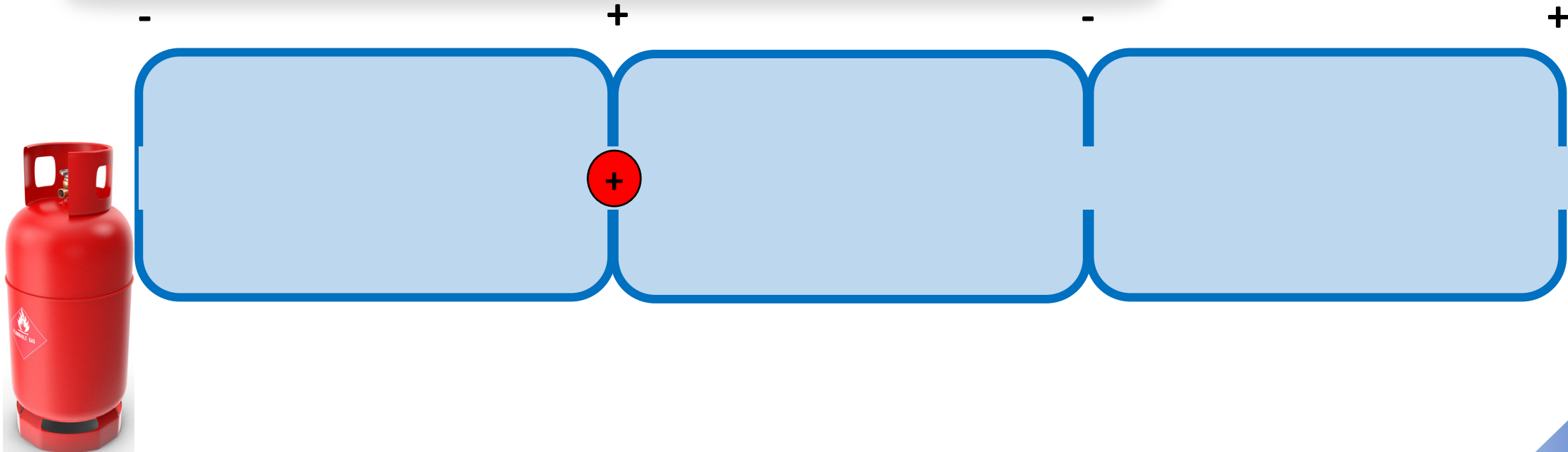
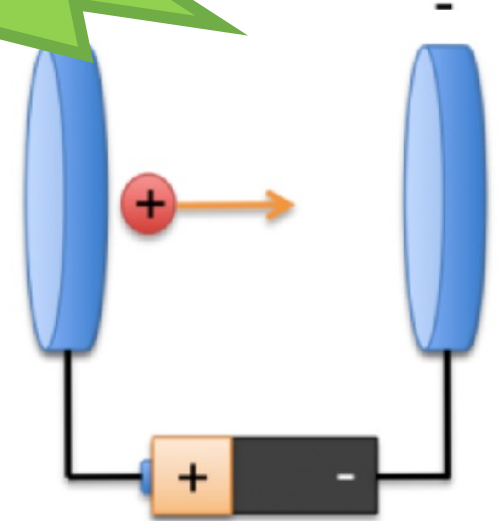
Le cariche positive sono attratte da quelle negative  
Possiamo accelerare le particelle sfruttando i campi elettrici!



# Accelerare le particelle

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

Le cariche positive sono attratte da quelle negative  
Possiamo accelerare le particelle sfruttando i campi elettrici!

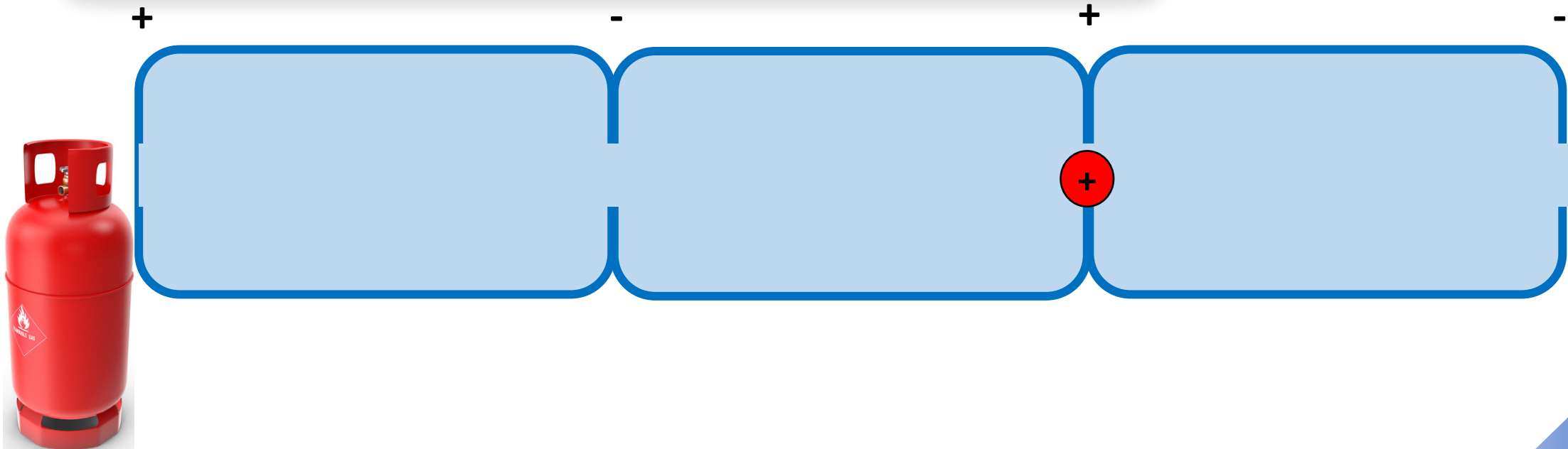
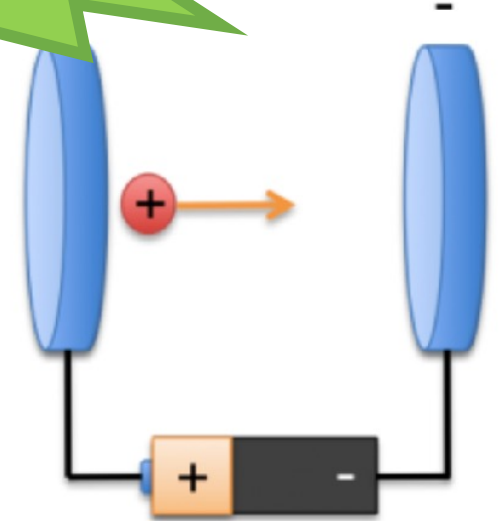




# Accelerare le particelle

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

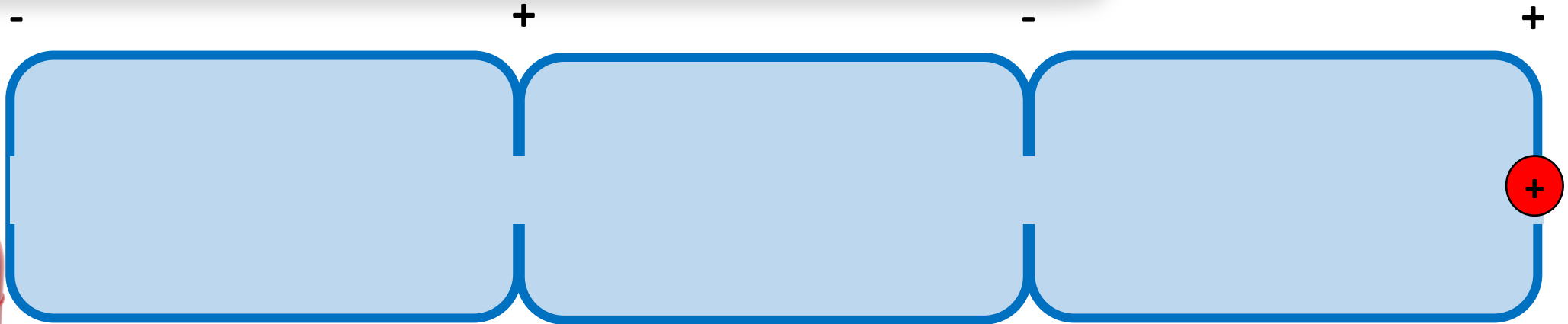
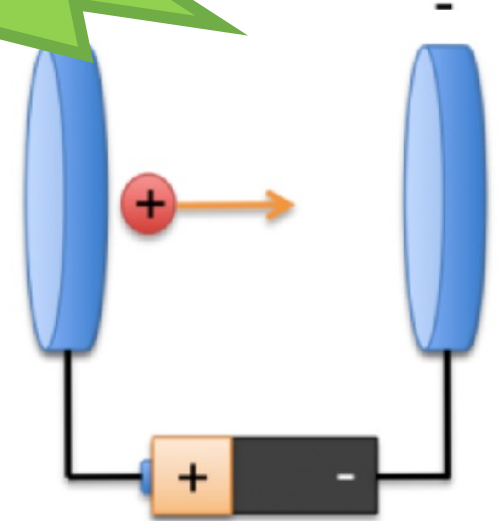
Le cariche positive sono attratte da quelle negative  
Possiamo accelerare le particelle sfruttando i campi elettrici!



# Accelerare le particelle

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

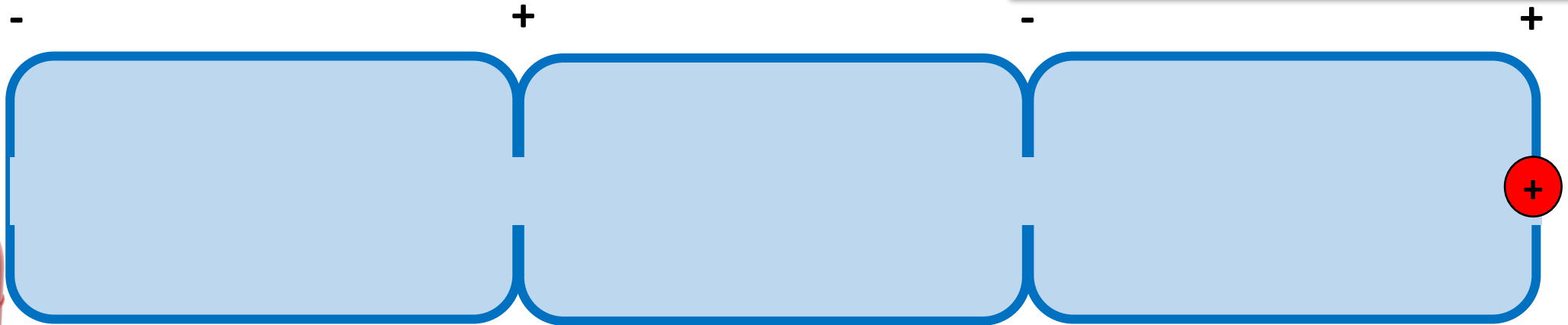
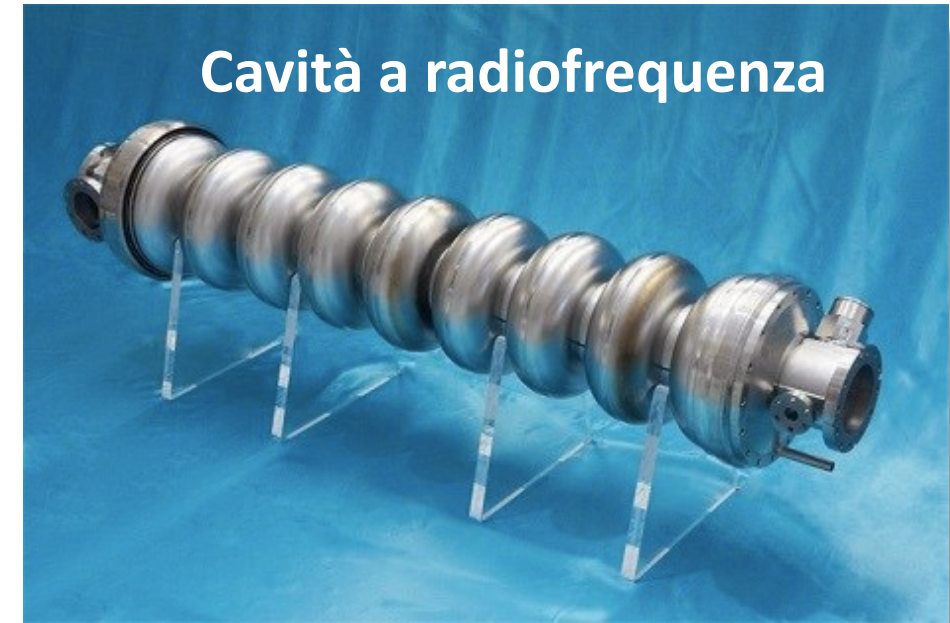
Le cariche positive sono attratte da quelle negative  
Possiamo accelerare le particelle sfruttando i campi elettrici!



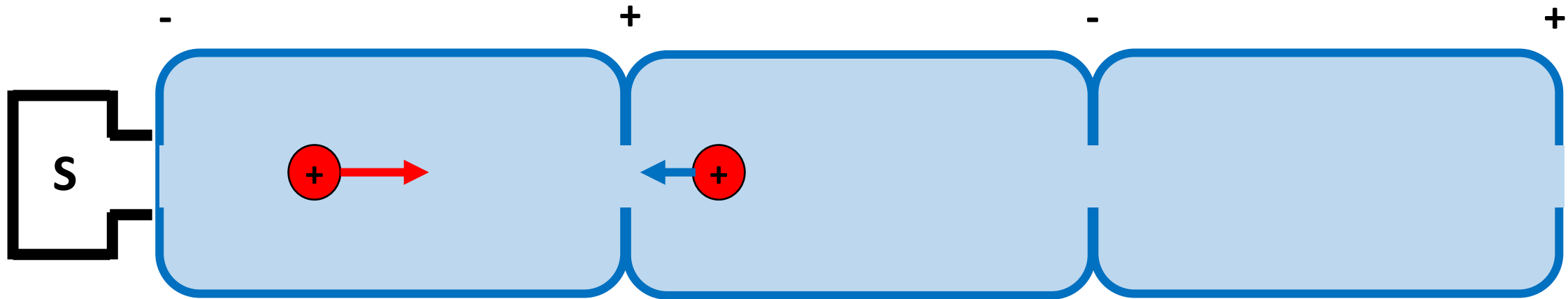
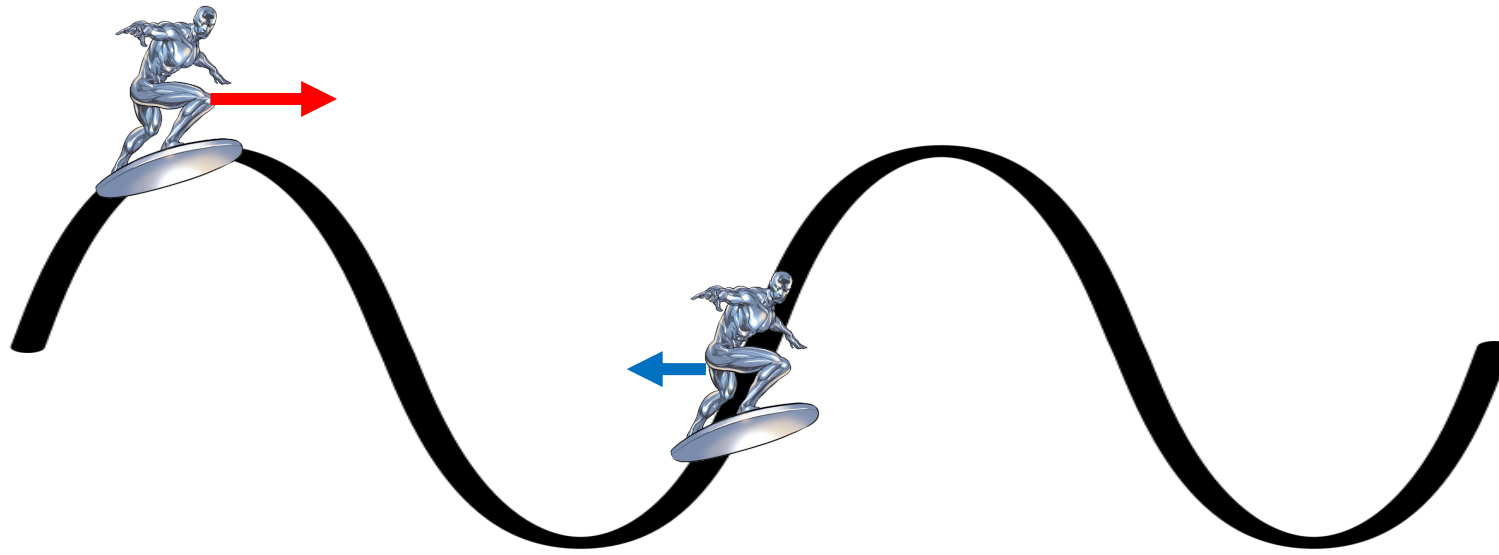


# Accelerare le particelle

La direzione del campo elettrico va invertita in maniera sincrona con il passaggio della particella ► RADIOFREQUENZE

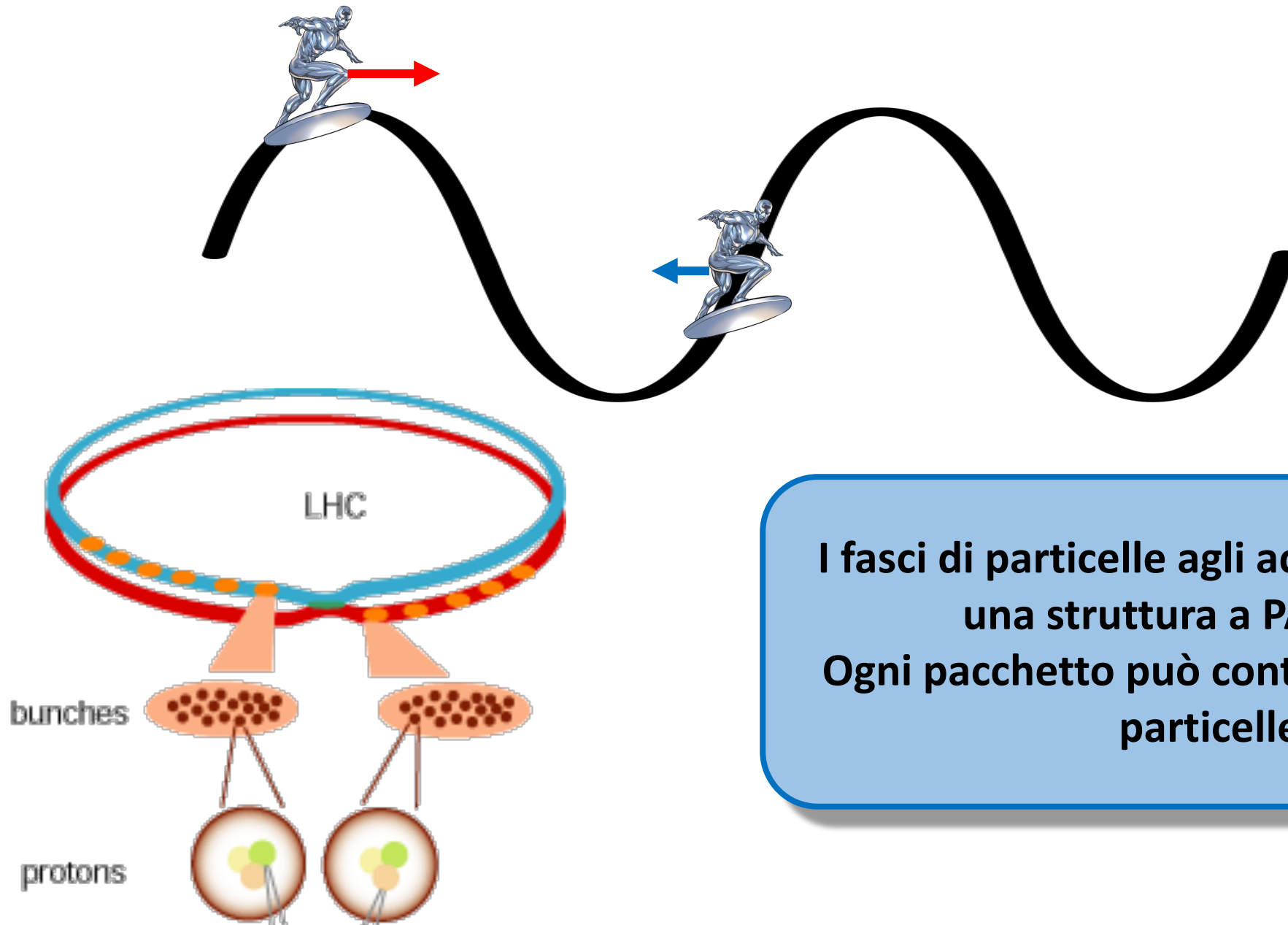


# Accelerare le particelle





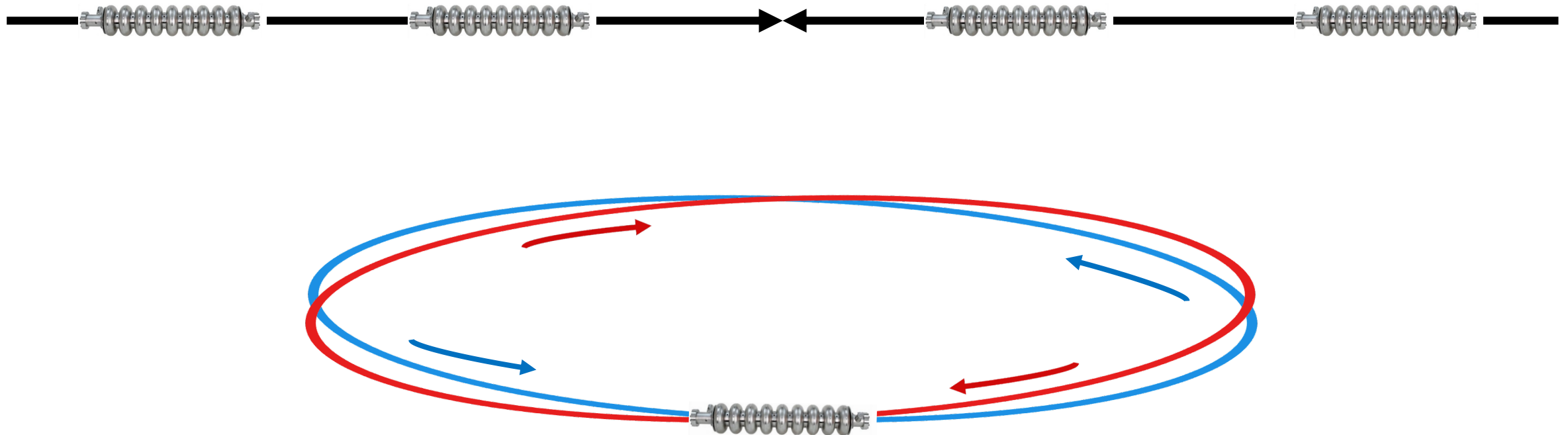
# Accelerare le particelle



**I fasci di particelle agli acceleratori hanno una struttura a PACCHETTI  
Ogni pacchetto può contenere miliardi di particelle!**

# Curvare le particelle - perchè?

Cavità a radiofrequenza = cavità acceleratrici



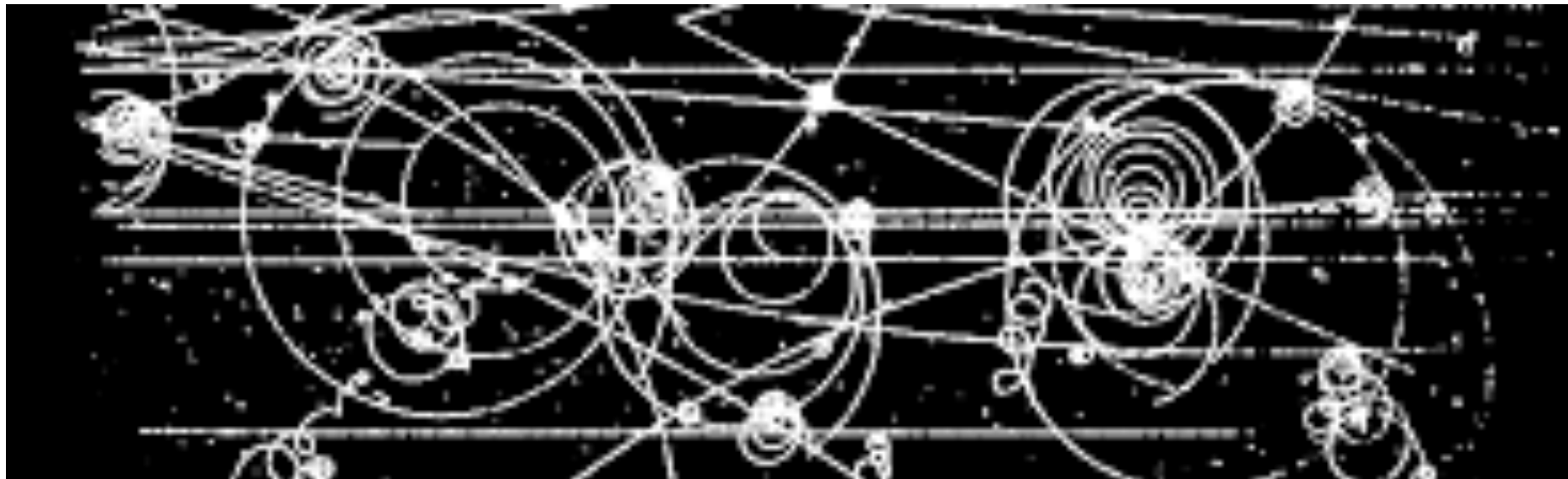
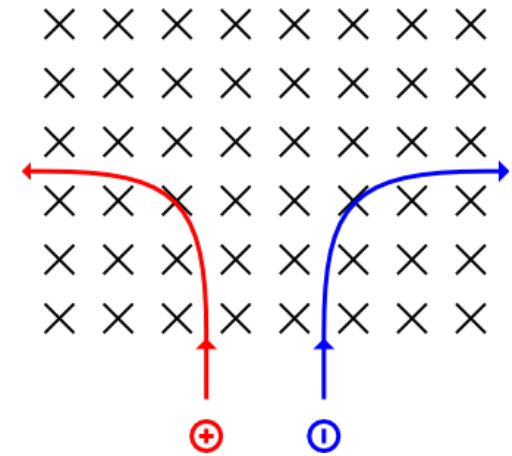
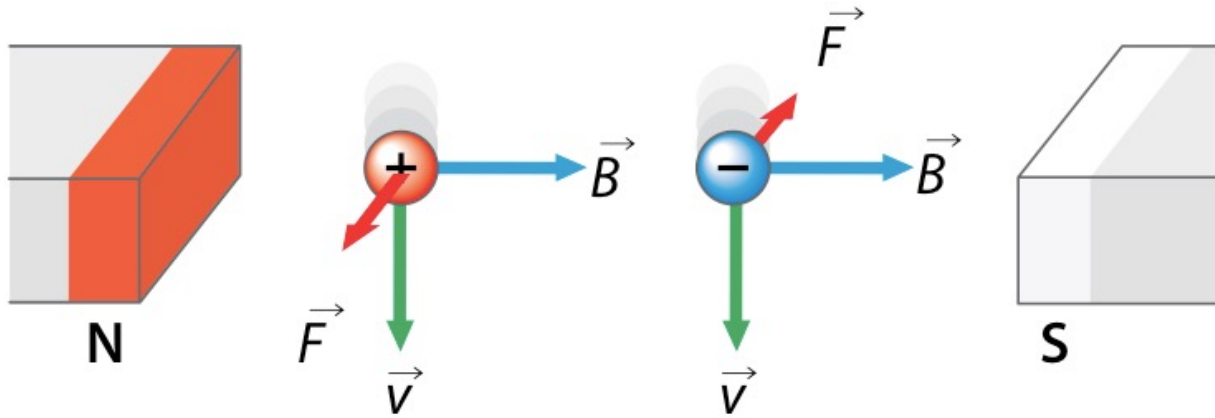
Un pacchetto fa più di un giro prima di scontrarsi!!!



# Curvare le particelle - perchè?

Per curvare le particelle si usano i campi magnetici

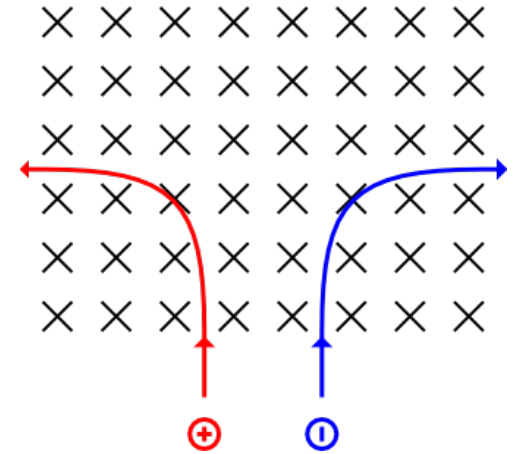
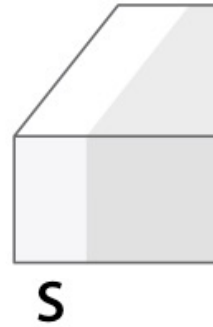
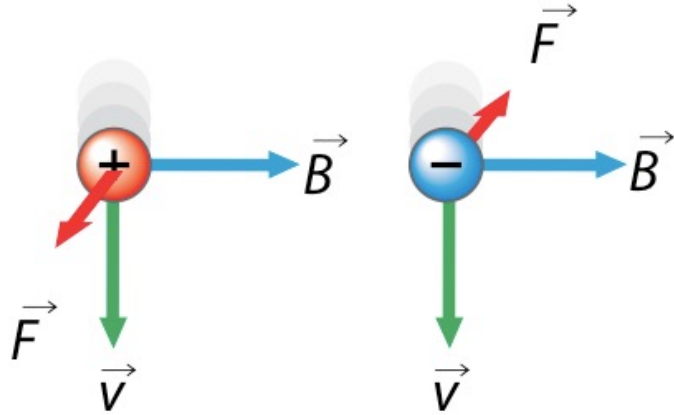
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



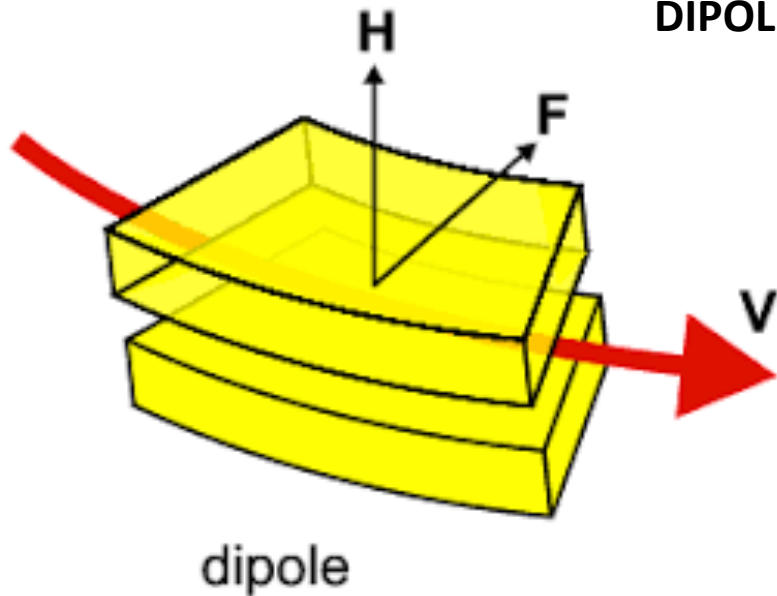
# Curvare le particelle - perchè?

Per curvare le particelle si usano i campi magnetici

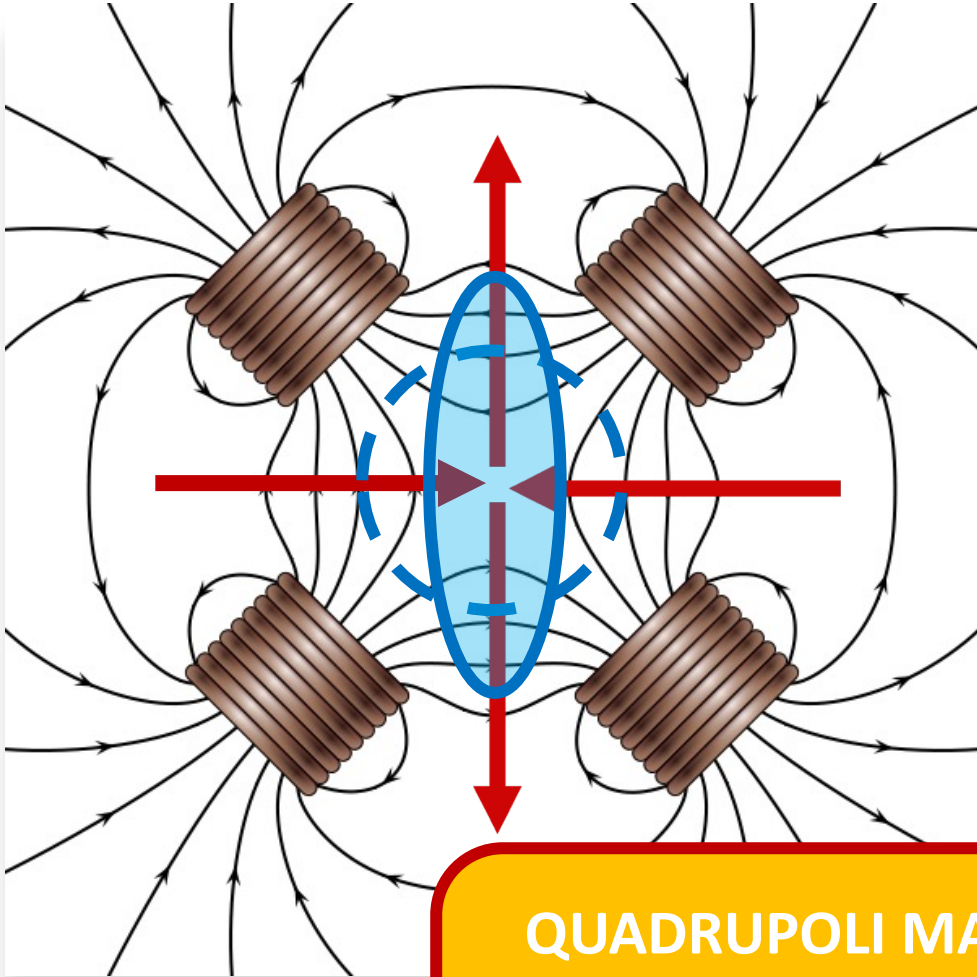
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



DIPOLI MAGNETICI



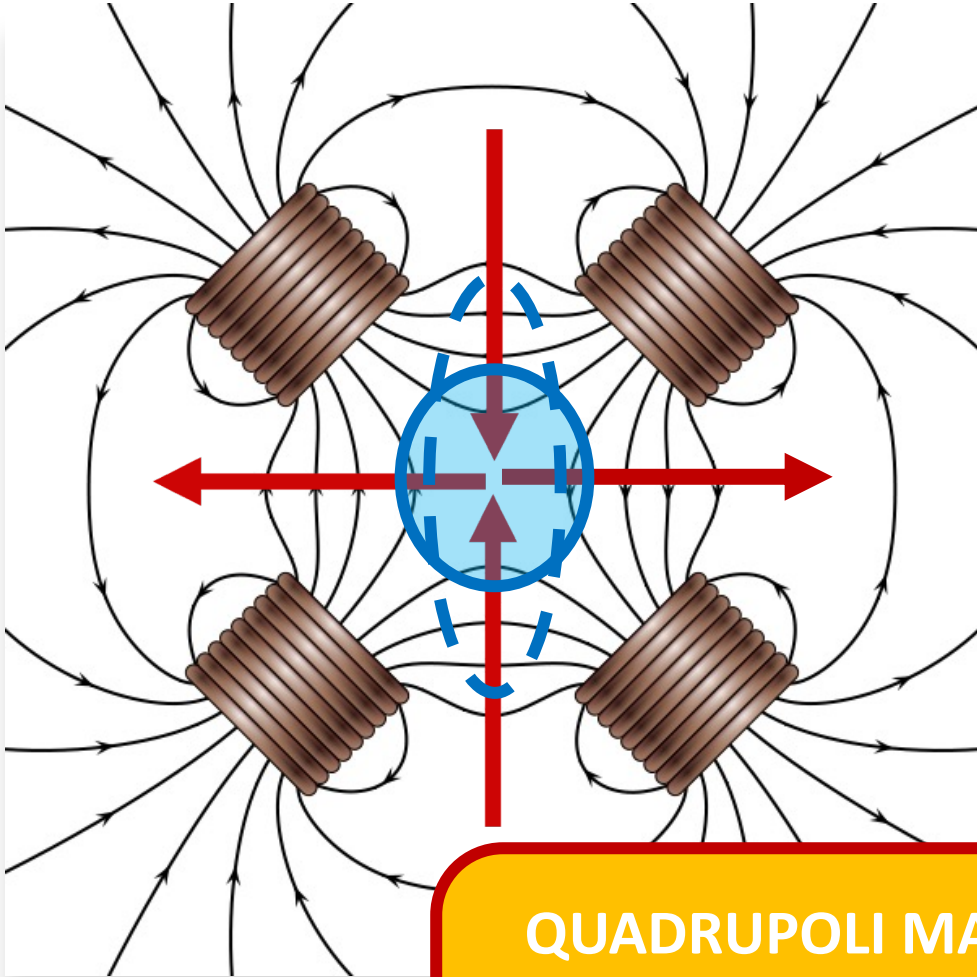
# Focalizzare le particelle



**QUADRUPOLI MAGNETICI** – si alternano quadrupoli che stringono il fascio in una direzione e allargano nell'altro. L'effetto complessivo è un fascio più compatto



# Focalizzare le particelle



**QUADRUPOLI MAGNETICI** – si alternano quadrupoli che stringono il fascio in una direzione e allargano nell'altro. L'effetto complessivo è un fascio più compatto



**VUOTO ultra-spinto perchè le particelle non interagiscano con molecole di gas residuo  
A LHC è 10 volte quello presente sulla Luna**

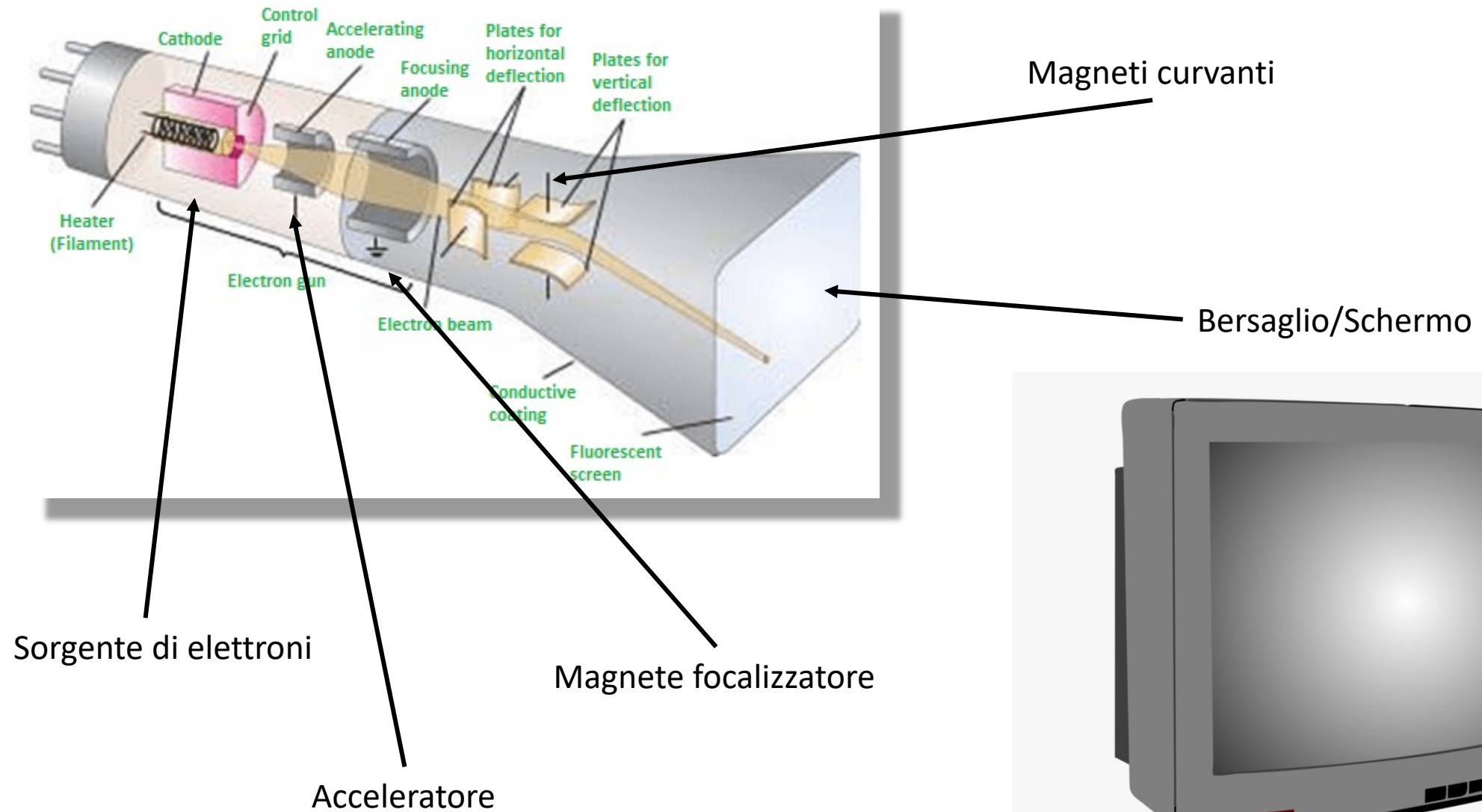


**Vuoto**

---



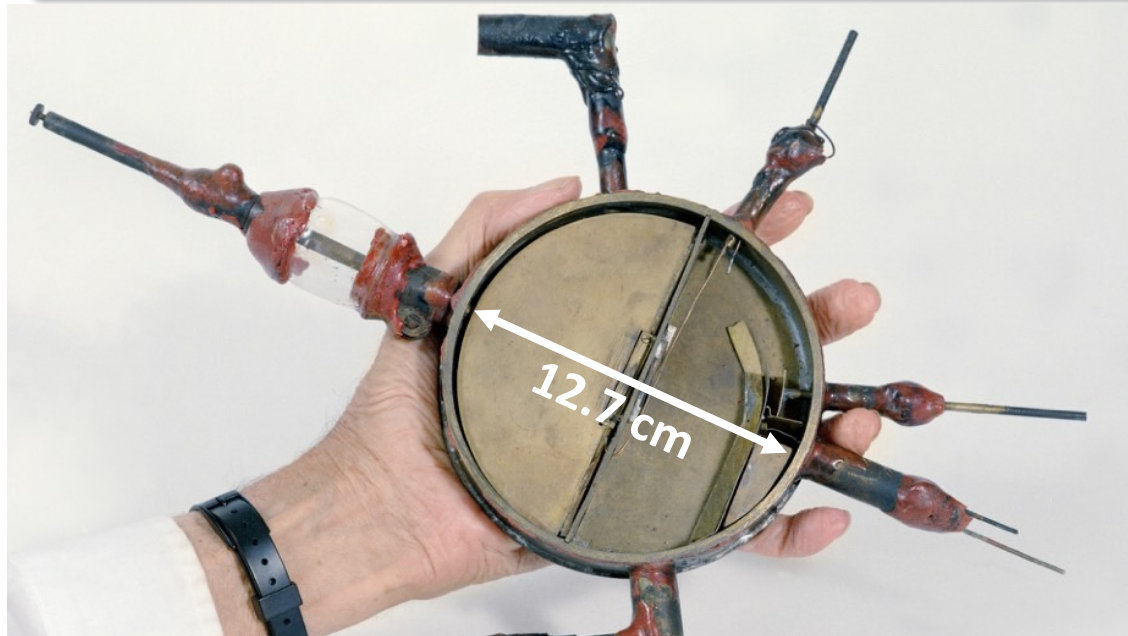
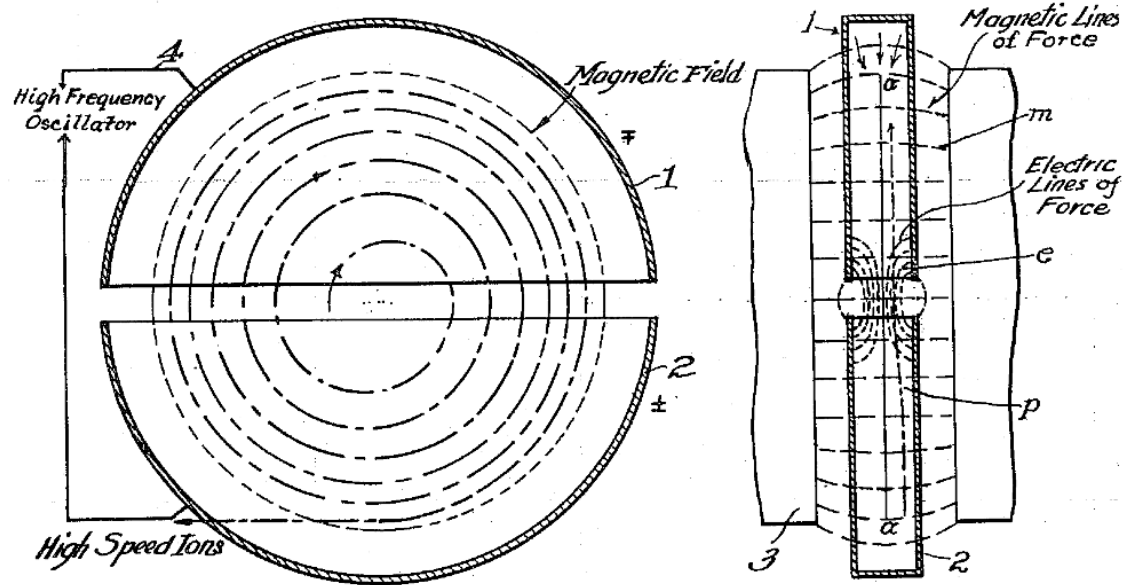
# Acceleratore (di una volta) in casa...





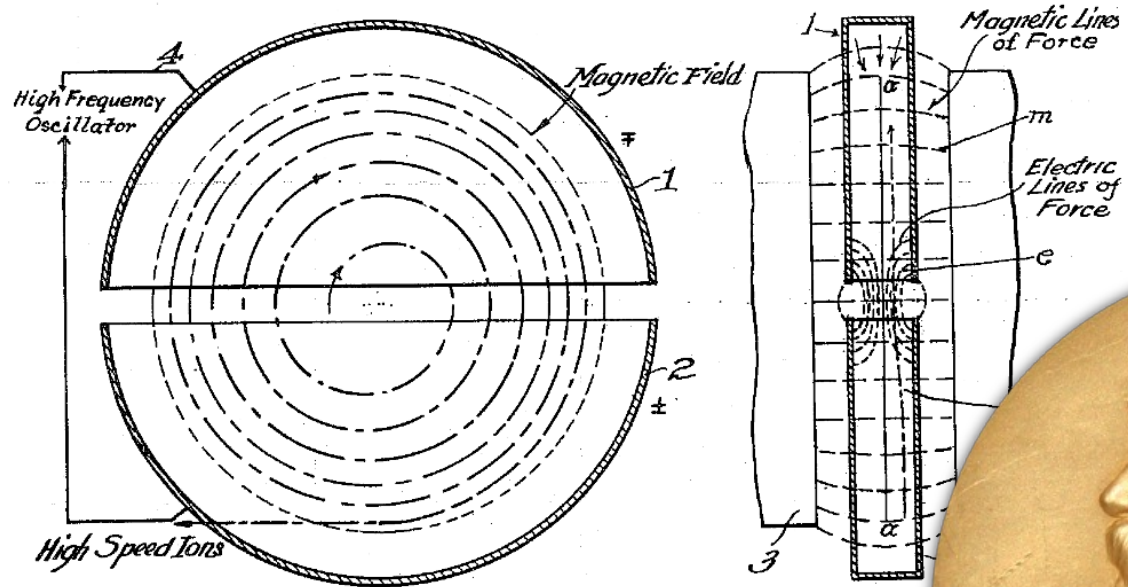
# Evoluzione degli acceleratori – Primo Acceleratore (E. O. Lawrence)

1930

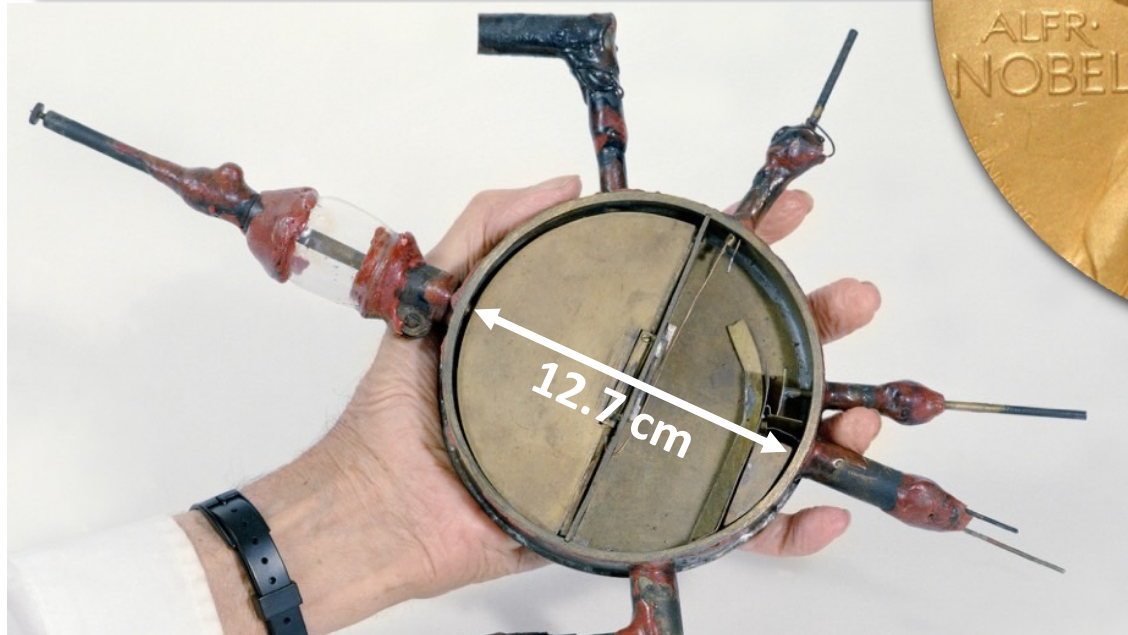


# Evoluzione degli acceleratori – Primo Acceleratore (E. O. Lawrence)

1930



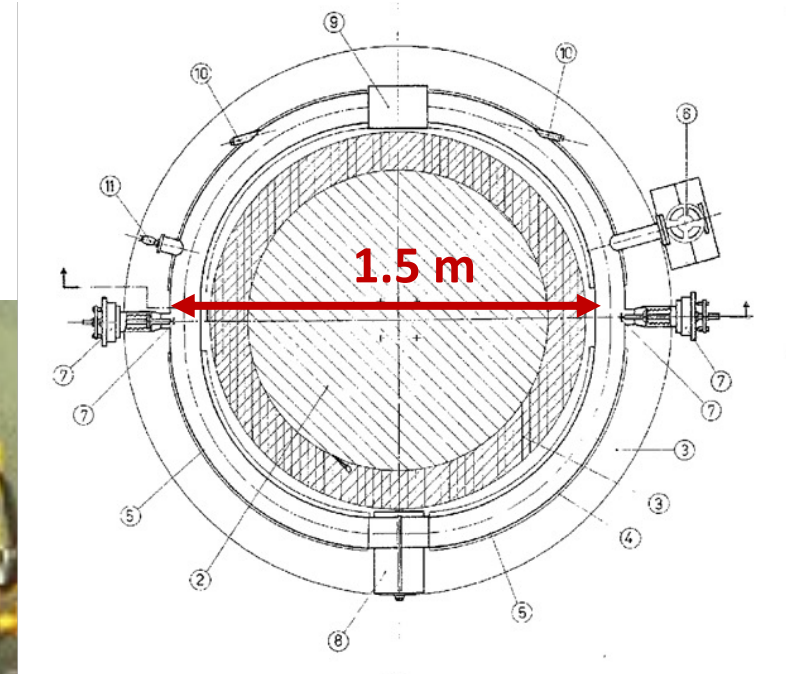
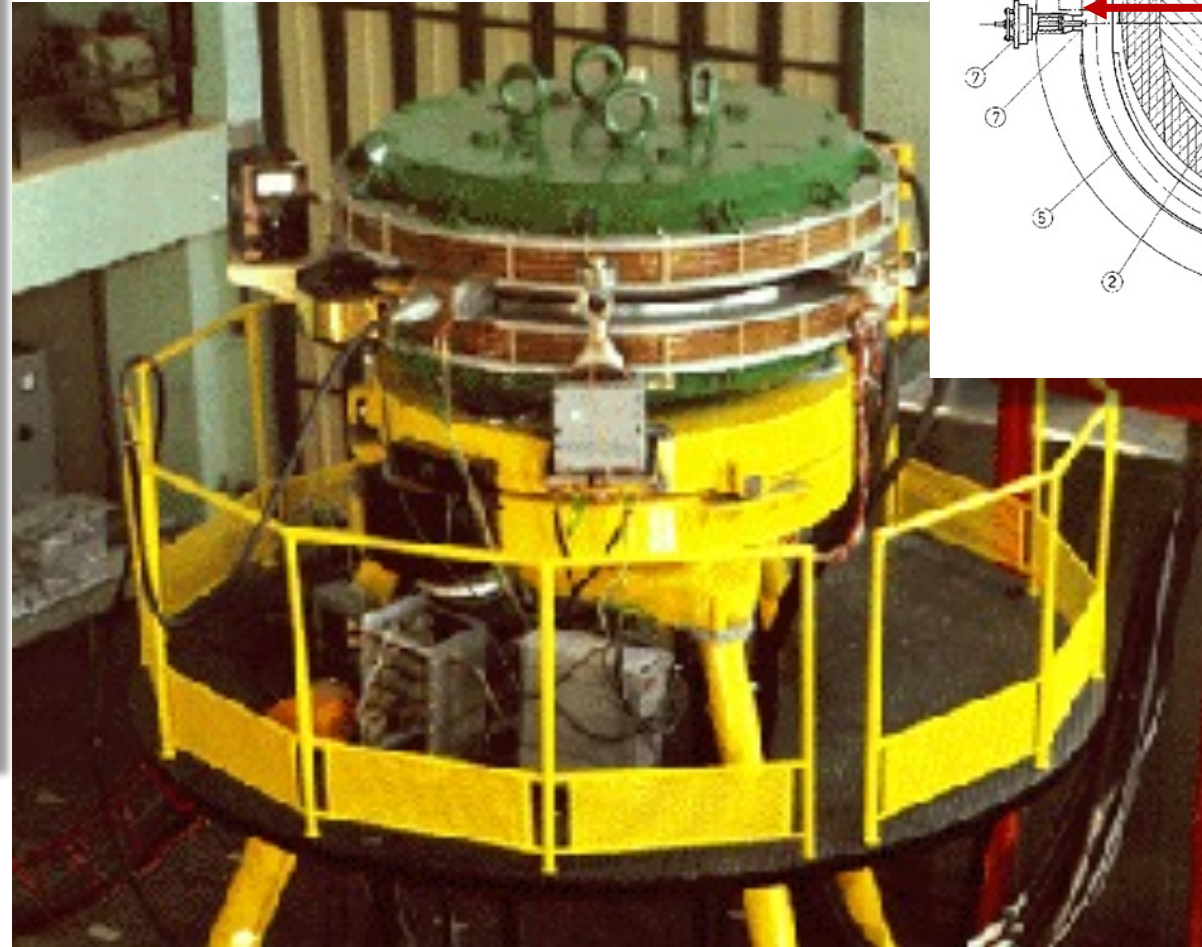
1939





# Evoluzione degli acceleratori – Primo Collider (B. Thouscheck)

1960



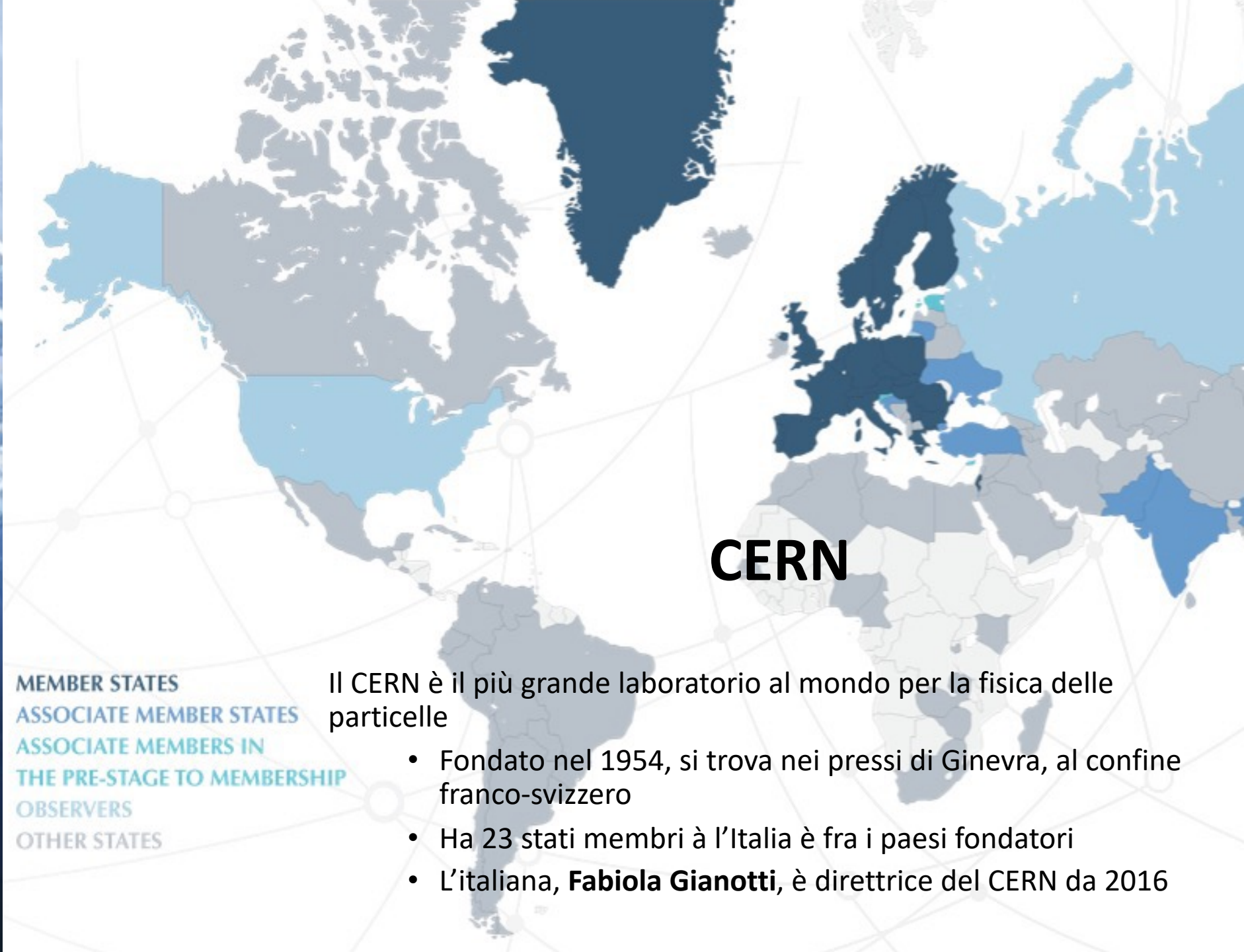


**CERN significa: Consiglio Europeo per la  
ricerca nucleare**

**E' un grandissimo laboratorio di Fisica**

**II CERN**





MEMBER STATES  
ASSOCIATE MEMBER STATES  
ASSOCIATE MEMBERS IN  
THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP  
OBSERVERS  
OTHER STATES

Il CERN è il più grande laboratorio al mondo per la fisica delle particelle

- Fondato nel 1954, si trova nei pressi di Ginevra, al confine franco-svizzero
- Ha 23 stati membri à l'Italia è fra i paesi fondatori
- L'italiana, **Fabiola Gianotti**, è direttrice del CERN da 2016

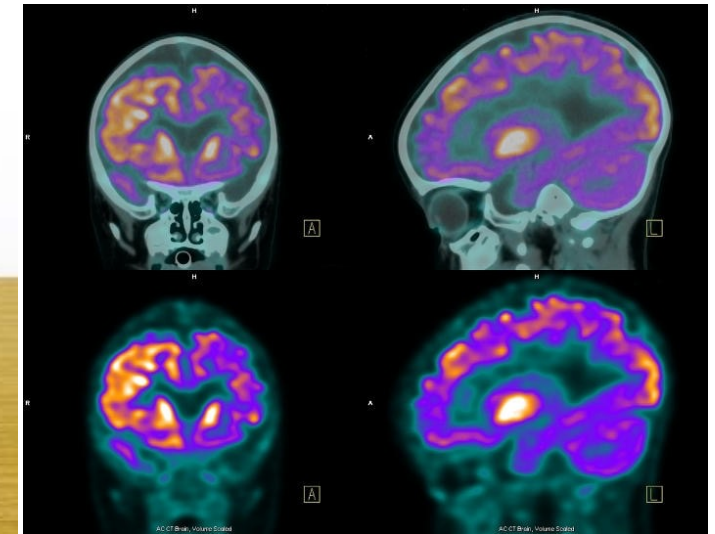
## World Wide Web



Touch Screen



PET



# L'impatto del CERN nella nostra vita



Monte Bianco

# IL LARGE HADRON COLLIDER (LHC)

Svizzera

SUISSE  
FRANCE

LHCb

ATLAS

CERN Meyrin

CERN Evry

SPS 7 km

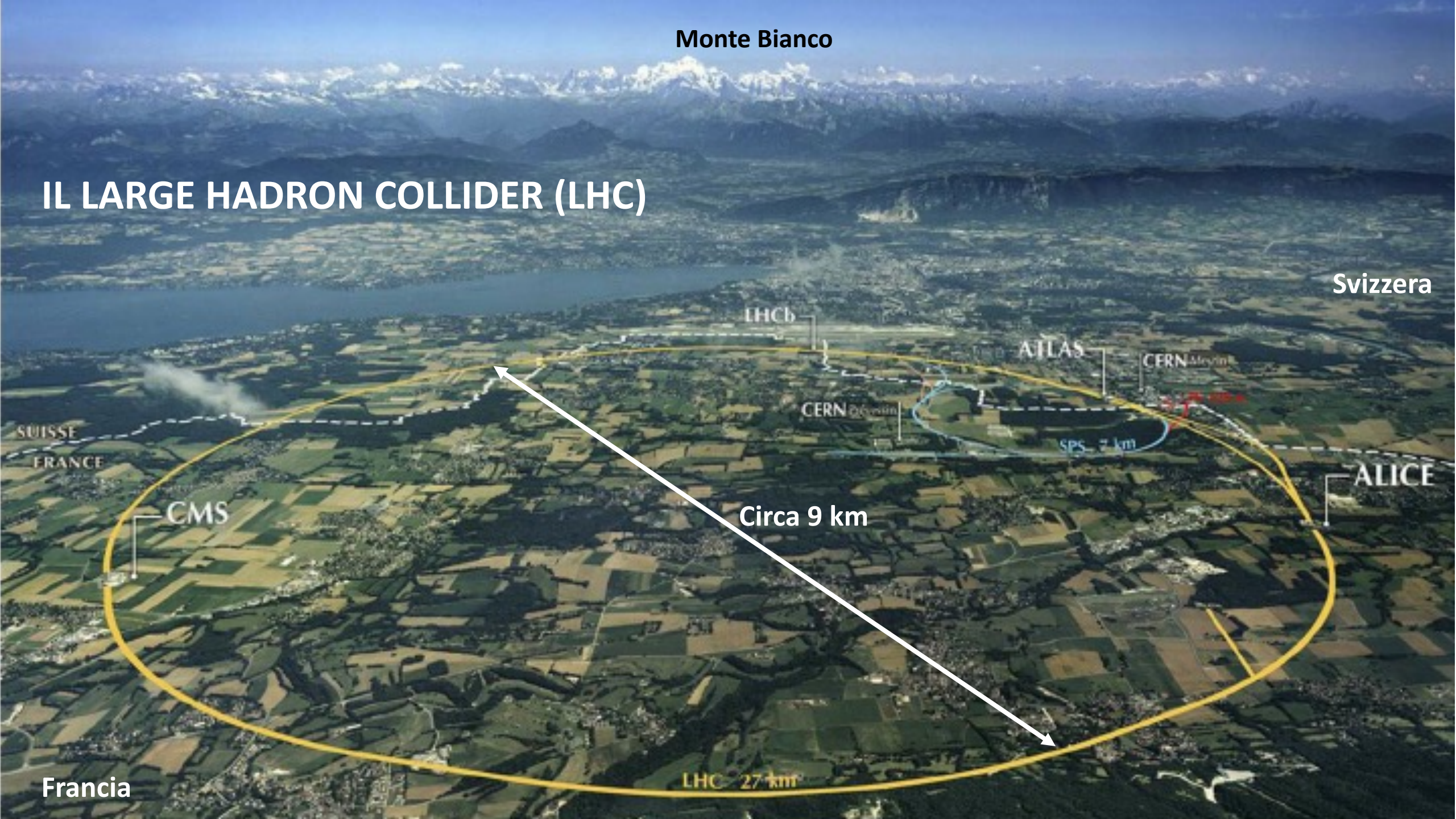
CMS

Circa 9 km

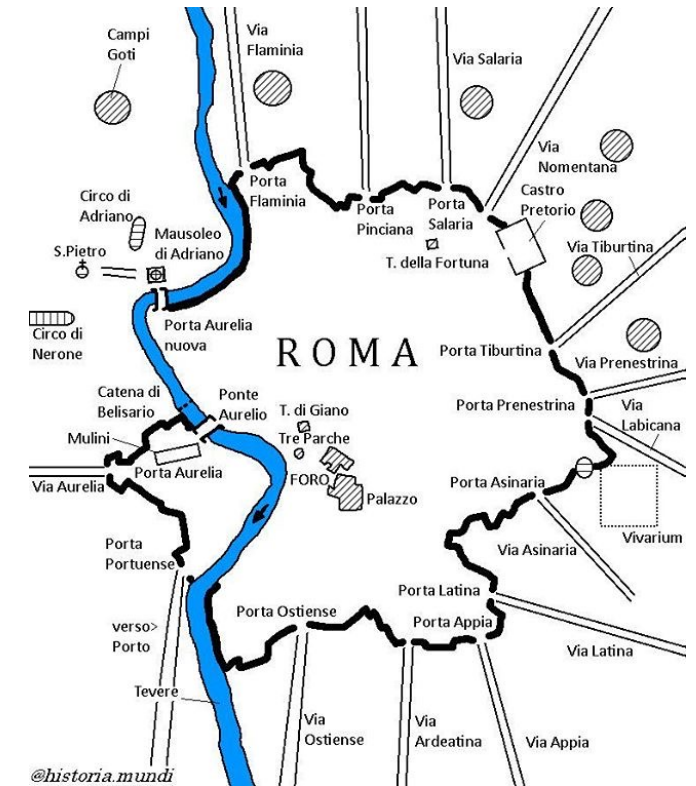
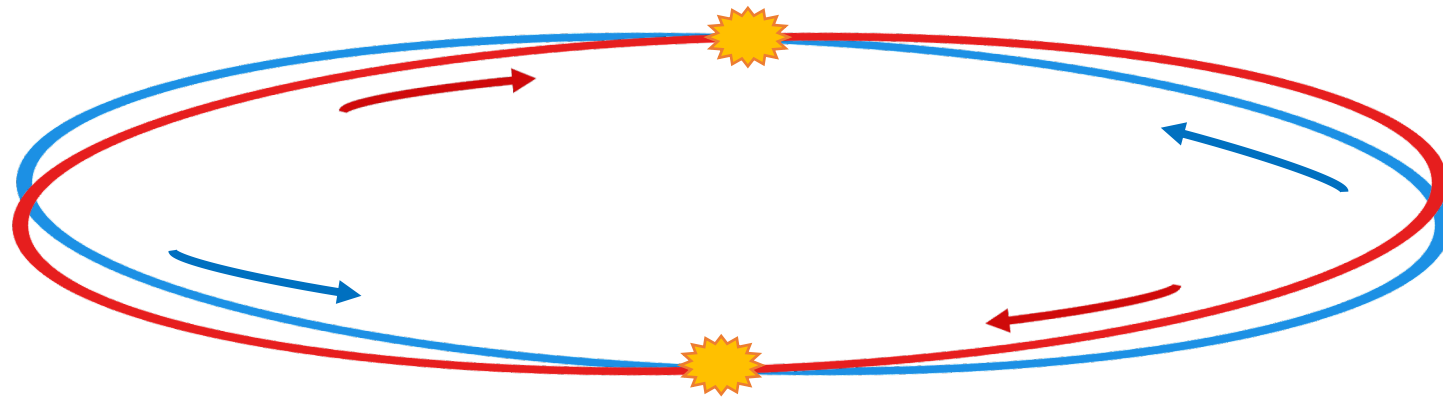
ALICE

Francia

LHC 27 km







**Mura Aureliane : 19 km**

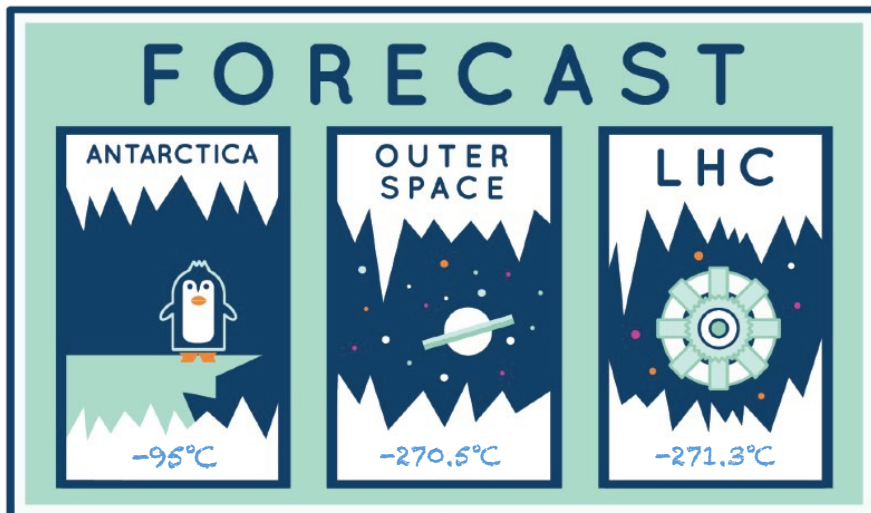
- **LARGE** ▶ grande circonferenza (**27 km**)
- **HADRON** ▶ accelera protoni e ioni (nuclei) ovvero ADRONI
- **COLLIDER** ▶ accelera 2 fasci in direzioni opposte facendoli collidere nei PUNTI D'INTERAZIONE dove sono collocati gli esperimenti



# LHC

- Più energia  $\Rightarrow$  servono MAGNETI con campi elevati
- LHC ha **9600 magneti** per ottimizzare la traiettoria delle particelle
- 1232 sono DIPOLI **SUPERCONDUTTORI** (materiali che avendo resistenza nulla riescono a creare campi magnetici elevati)  $\Rightarrow$  campo magnetico **8.3 T** se raffreddati a 1.9 K = **-271.3 °C**
- Campo magnetico terrestre: **25-65  $\mu$ T**
- Campo magnetico risonanza: **0.7-3 T**

$$\vec{p} = 0.3 \vec{B} \times \vec{R}$$



LHC da solo, infatti, consuma **1.3 TWh/anno**, da confrontare con i 3 TWh/anno di energia elettrica consumati dall'intero cantone di Ginevra

# Facciamo un po di conti in tasca



- Costruzione di LHC + 4 esperimenti:
  - **7 miliardi** di euro su 15 anni
  - 60% pagati dal CERN (22 paesi)
  - 40% divisi tra le collaborazioni (113 paesi)

- che equivalgono a:

- **0.01%** della guerra in Iraq (**600 miliardi** su 8 anni)
- **0.9%** dell'evasione fiscale in Italia (**80 miliardi** per anno)
- 5 aerei stealth
- **0.32 centesimi al giorno** ad ogni italiano per 1 anno
- Un anno di pubblicità in Italia





*"That's all, Folks!"*





## Qualche numero

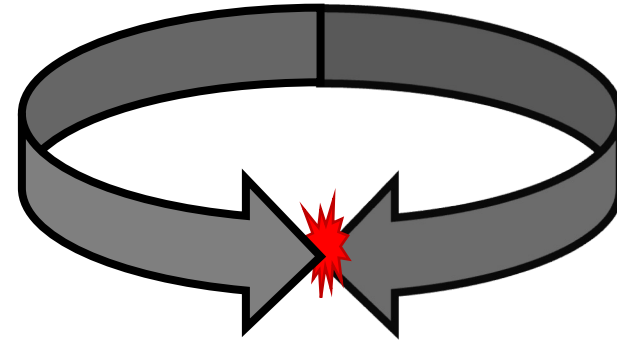
<b>Ricerca</b>		<b>6%</b>
	Fisica sub-nucleare	0,5%
	Fisica nucleare e fisica della materia	0,5%
	Biologia	5%
<b>Applicazioni mediche</b>		<b>35%</b>
	Diagnostica e trattamento con raggi-X o elettroni	33%
	Produzione di radio-isotopi	2%
	Trattamento con protoni o ioni	0,1%
<b>Applicazioni industriali</b>		<b>59%</b>
	Impiantazione degli ioni	34%
	Saldature con elettroni	15%
	Polimerizzazione	7%
	Altro	3%

**Più di 30'000  
acceleratori di  
particelle nel  
mondo**

# Curvare le particelle - perchè?



Accelerare particelle e farle collidere su un bersaglio



Accelerare particelle e farle collidere tra di loro

$$E_{particella} = 6.5 \text{ TeV}$$

$$E_{collisione} = \sqrt{2m_{bersaglio}E_{particella}} = 115 \text{ GeV}$$

$$E_{collisione} = E_{particella1} + E_{particella2} = 13 \text{ TeV}$$

## Energia collisione particella su bersaglio

---

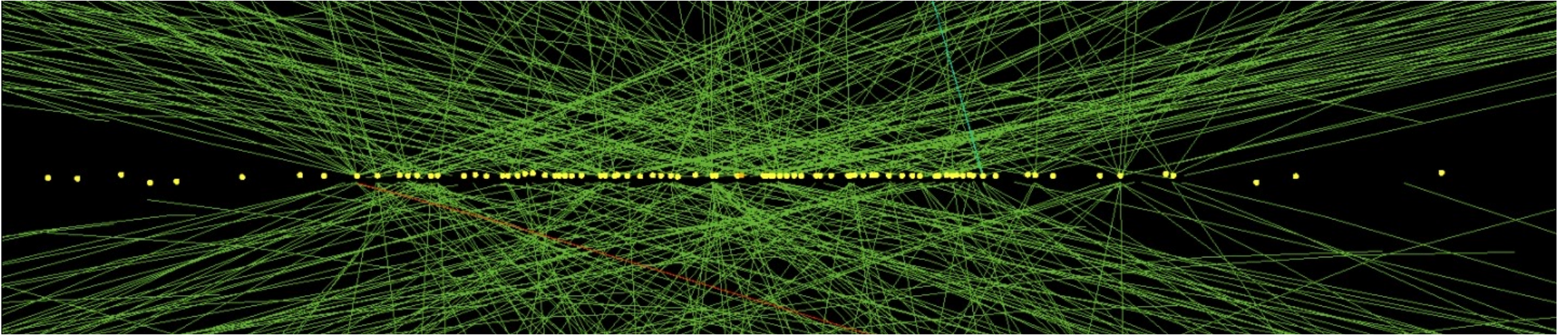
$$\sqrt{s} = E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2} = \sqrt{m^2 + p^2}$$

$$m = \sqrt{E^2 - p^2}$$

$$\begin{aligned}\sqrt{s} = E &= \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - |\vec{p}_1 + \vec{p}_2|^2 c^2} = \sqrt{(E_1 + m_2 c^2)^2 - |\vec{p}_1|^2 c^2} \\ &= \sqrt{m_1 c^2 + m_2 c^2 + 2E_1 m_2 c^2} \cong \sqrt{2E_1 m_2 c^2}\end{aligned}$$



# Collisioni a LHC



**Ogni pacchetto di particelle a LHC  
contiene 100000000000 protoni!**

**Le dimensioni di un pacchetto sono  
0.003 mm**

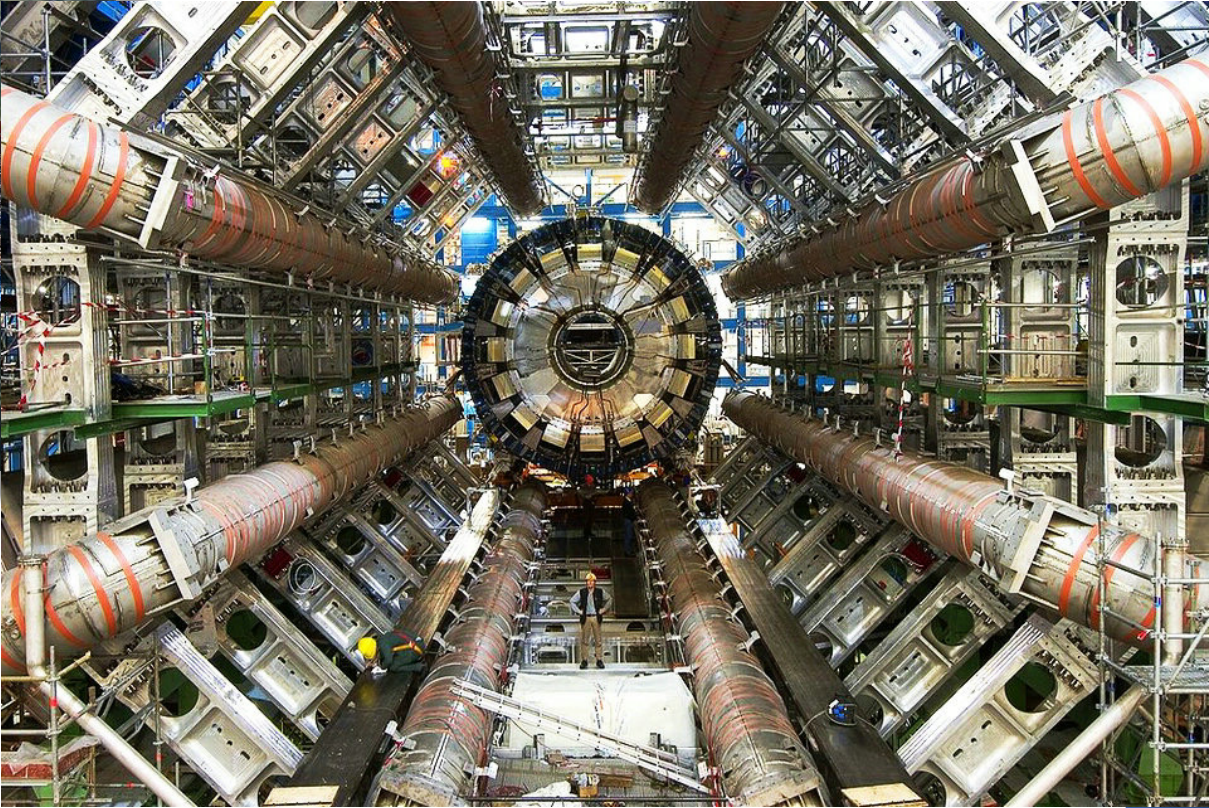
**Nel 2018 si avevano circa 40  
scontri tra protoni ogni incrocio!**



# Gli esperimenti lungo LHC



ATLAS

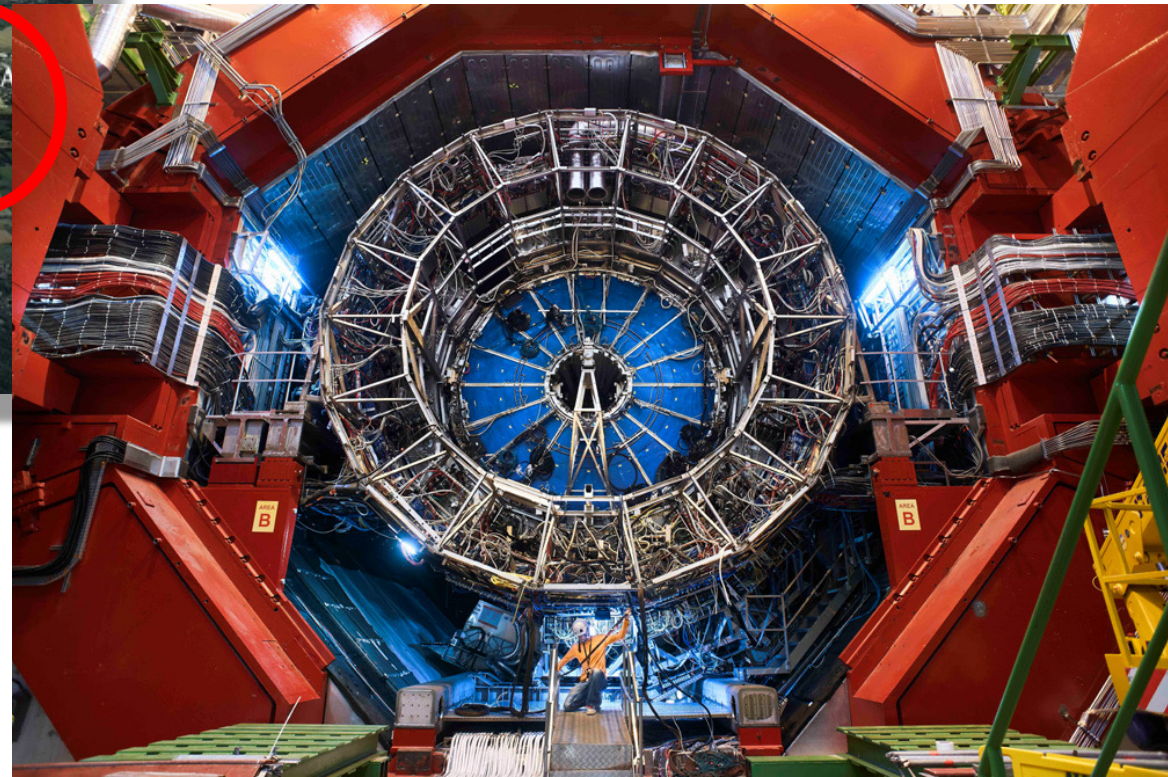




# Gli esperimenti lungo LHC

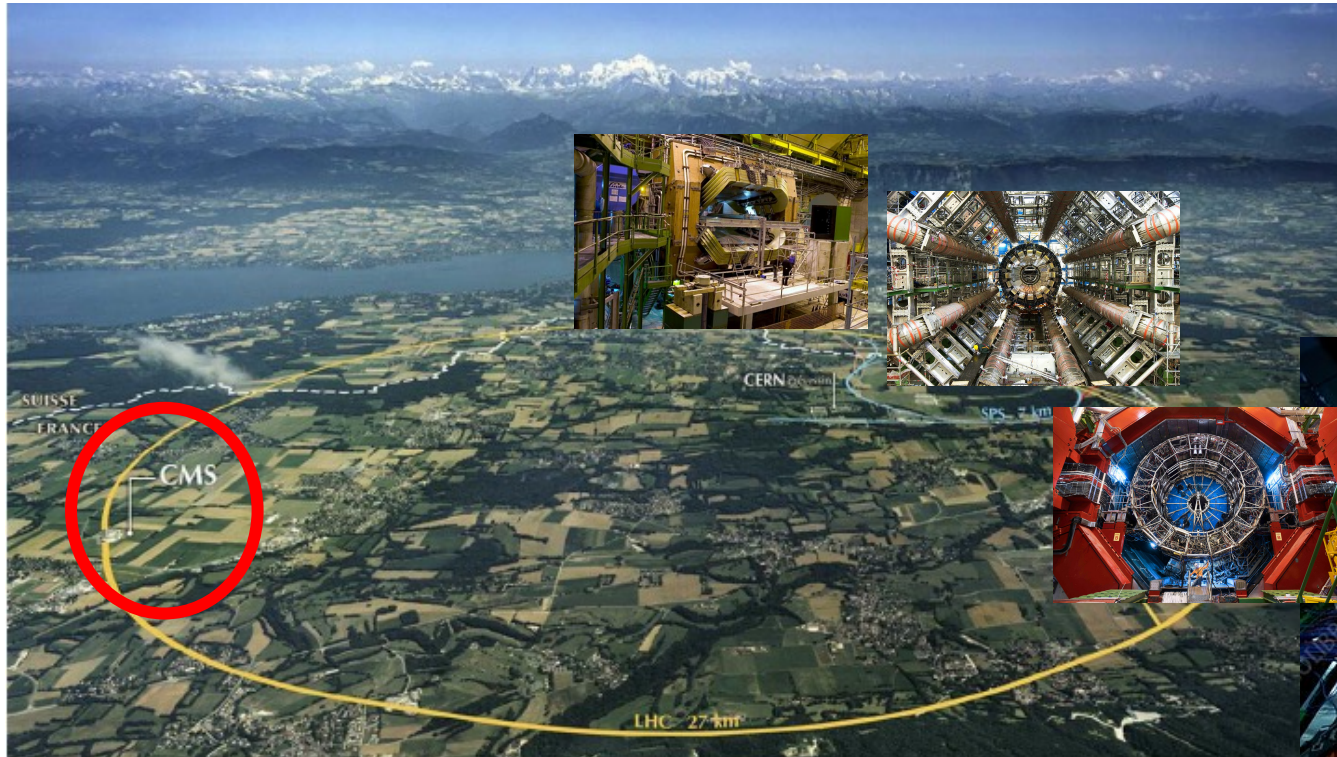


ALICE

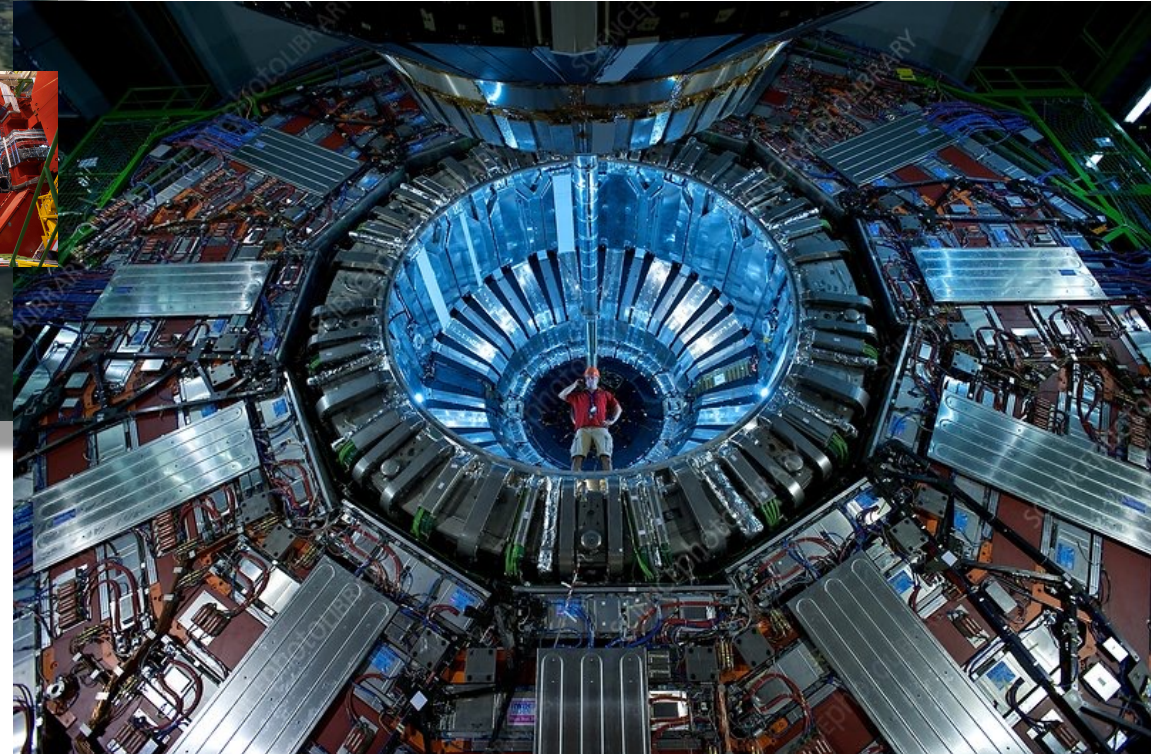




# Gli esperimenti lungo LHC

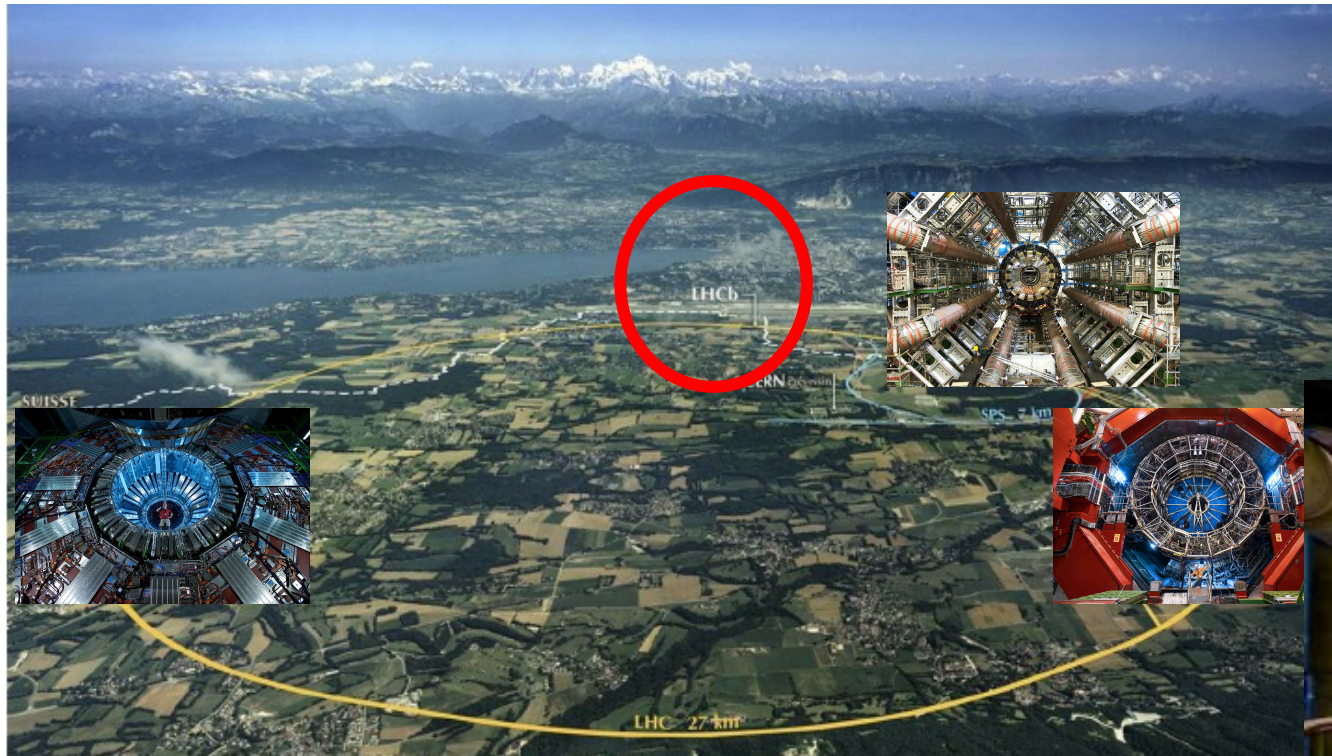


CMS





# Gli esperimenti lungo LHC



LHCb

