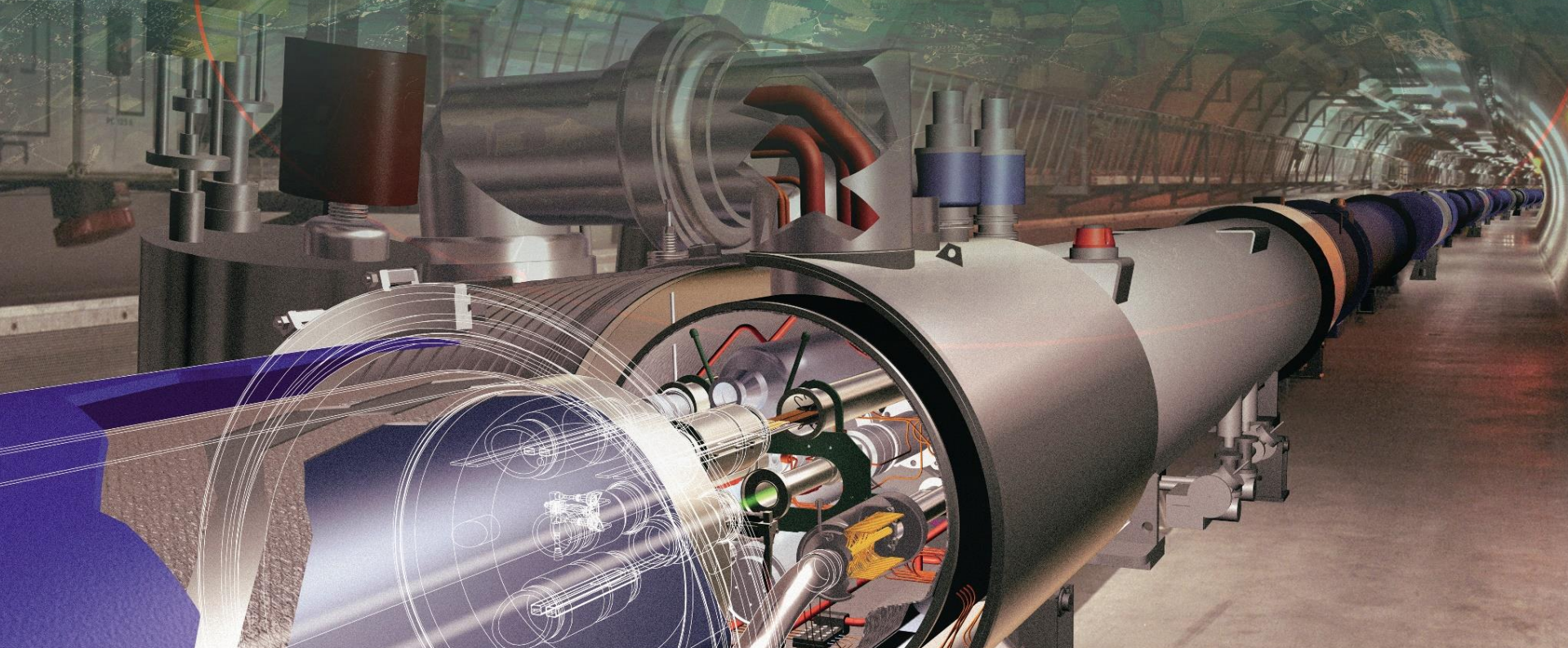


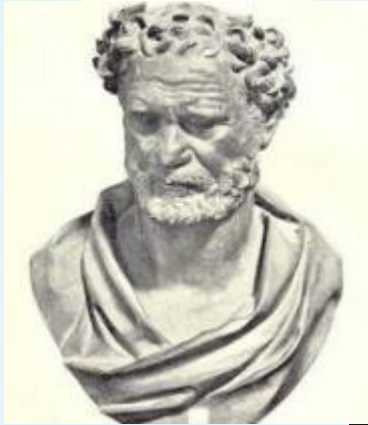
# LHC Fest : alla scoperta della fisica di LHC

- Introduzione alla fisica delle particelle
- L'acceleratore LHC



# LA STRUTTURA DELLA MATERIA

Democrito



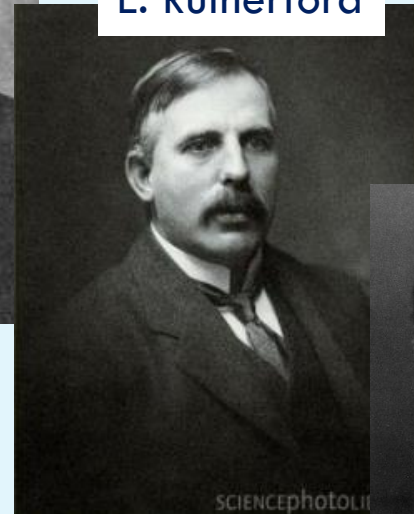
J. Dalton



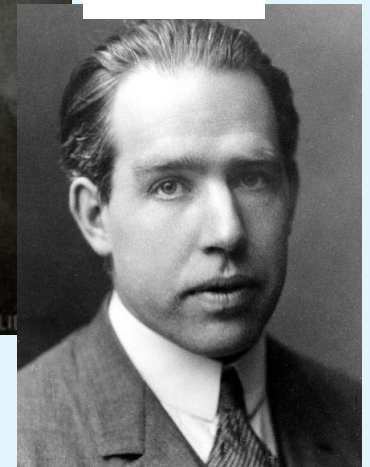
J. J. Thomson



E. Rutherford

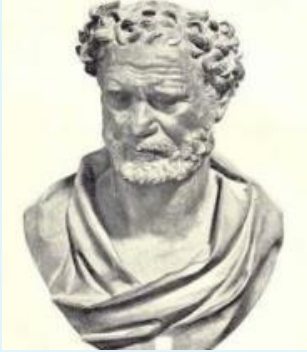


N. Bohr



# LA STRUTTURA DELLA MATERIA

Democrito

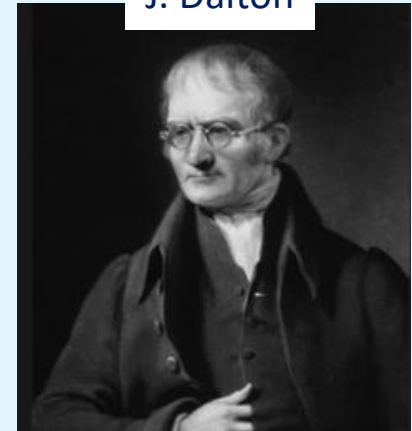


Introduce il concetto di «atomo» (dal greco *átomos* = indivisibile) per definire le entità elementari, indistruttibili e indivisibili, di cui si riteneva fosse costituita la materia (Democrito, 460-370 a.c.)

Dalton (primi dell'800) elabora il primo modello atomico *moderno*:

- la materia è costituita da particelle elementari, indivisibili (atomi), che non possono essere né creati né distrutti;
- gli atomi della stessa specie chimica sono tutti uguali tra di loro.;
- in una trasformazione chimica, gli atomi si combinano tra di loro secondo un rapporto ben definito e costante, espresso da numeri interi.

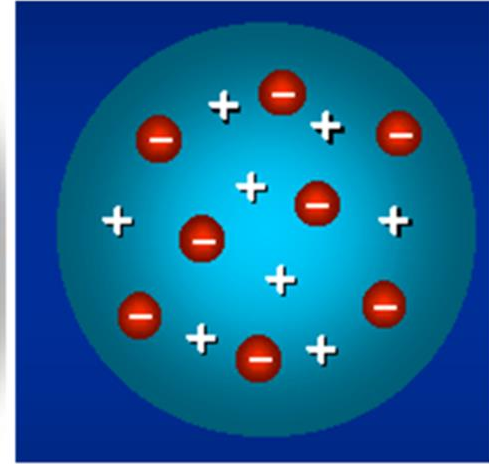
J. Dalton



# LA STRUTTURA DELLA MATERIA

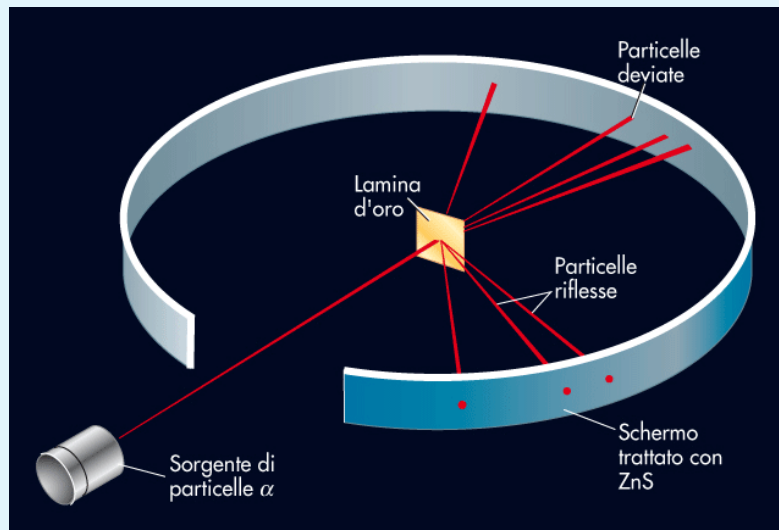
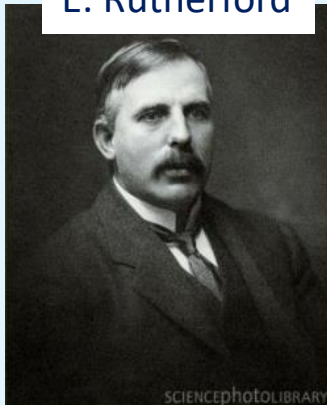
## Modello atomico a panettone (*plum pudding model*)

J. J. Thomson



L'atomo è una sfera di carica positiva in cui gli elettroni sono disseminati come l'uvetta nel panettone (1904)

E. Rutherford

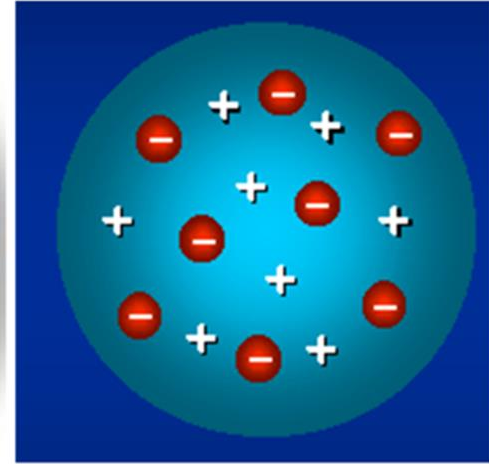


l'atomo deve essere per lo più vuoto!

# LA STRUTTURA DELLA MATERIA

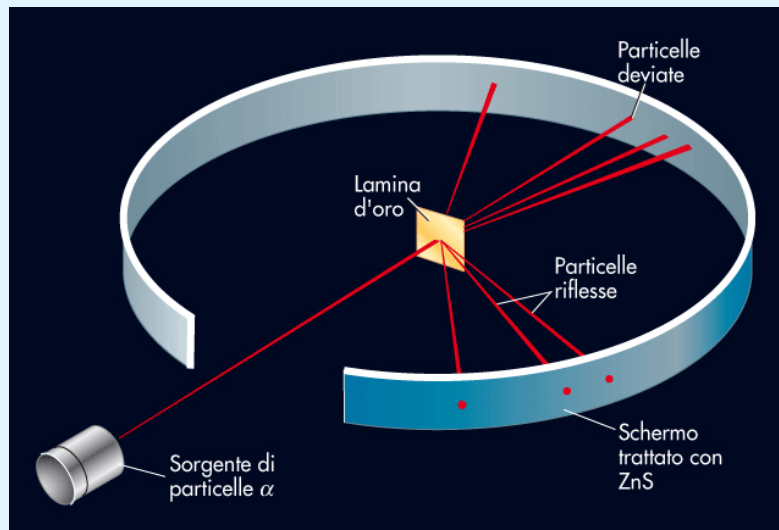
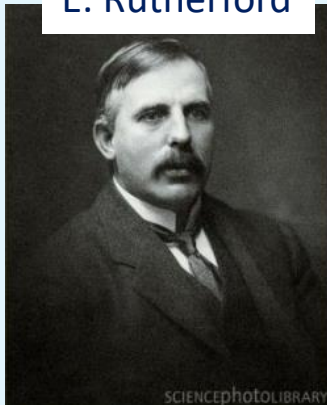
## Modello atomico a panettone (*plum pudding model*)

J. J. Thomson

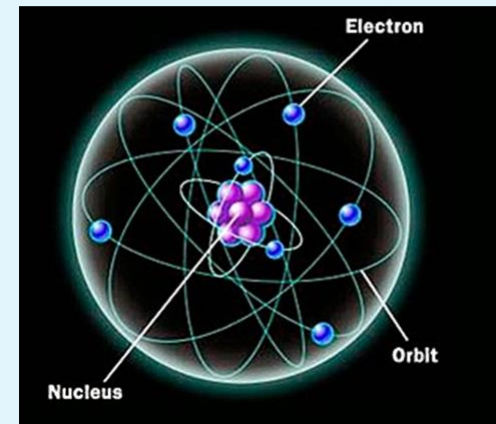


L'atomo è una sfera di carica positiva in cui gli elettroni sono disseminati come l'uvetta nel panettone(1904)

E. Rutherford

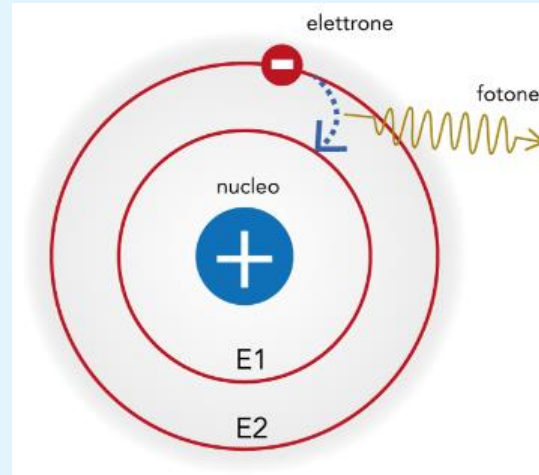


## Modello planetario (1911)



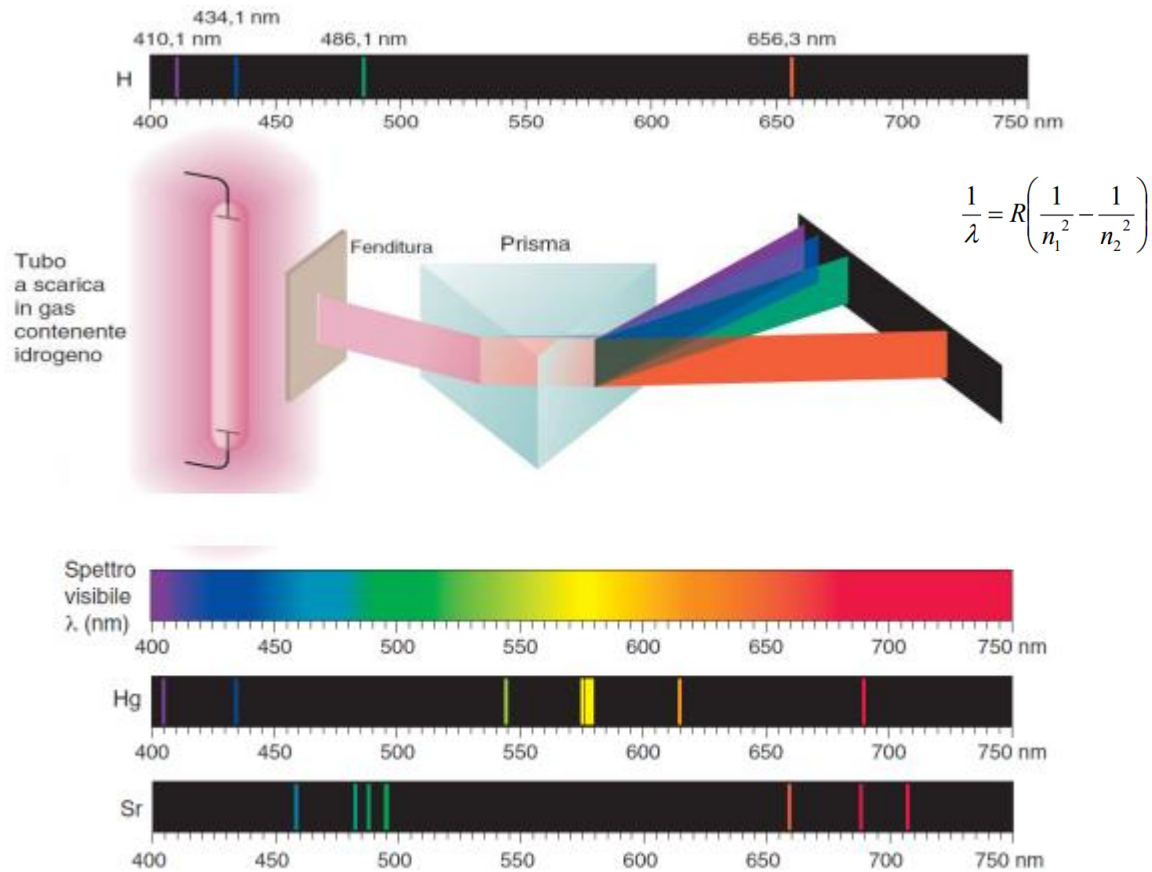
# LA STRUTTURA DELLA MATERIA

N. Bohr



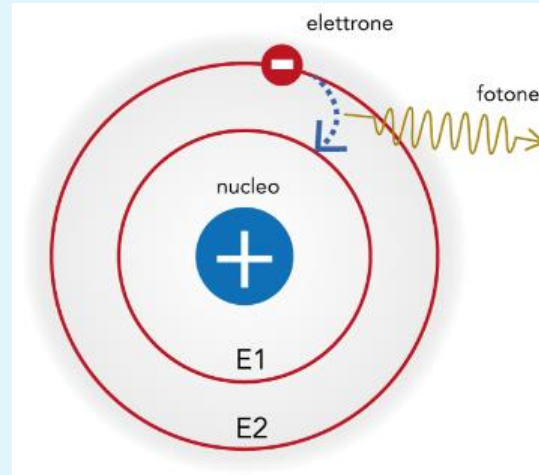
- Gli elettroni descrivono orbite circolari intorno al nucleo.
- Solo alcune orbite sono consentite (quantizzazione dell'energia).
- Un elettrone in orbita intorno al nucleo non emette energia (stati stazionari).
- Gli elettroni possono saltare da un'orbita all'altra mediante assorbimento/emissione di fotoni.

# LA STRUTTURA DELLA MATERIA



# LA STRUTTURA DELLA MATERIA

N. Bohr



- Gli elettroni descrivono orbite circolari intorno al nucleo.
- Solo alcune orbite sono consentite (quantizzazione dell'energia).
- Un elettrone in orbita intorno al nucleo non emette energia (stati stazionari).
- Gli elettroni possono saltare da un'orbita all'altra mediante assorbimento/emissione di fotoni.

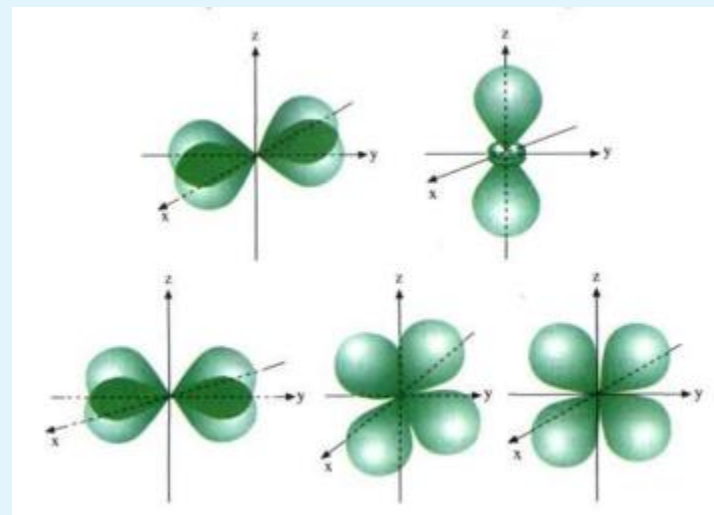
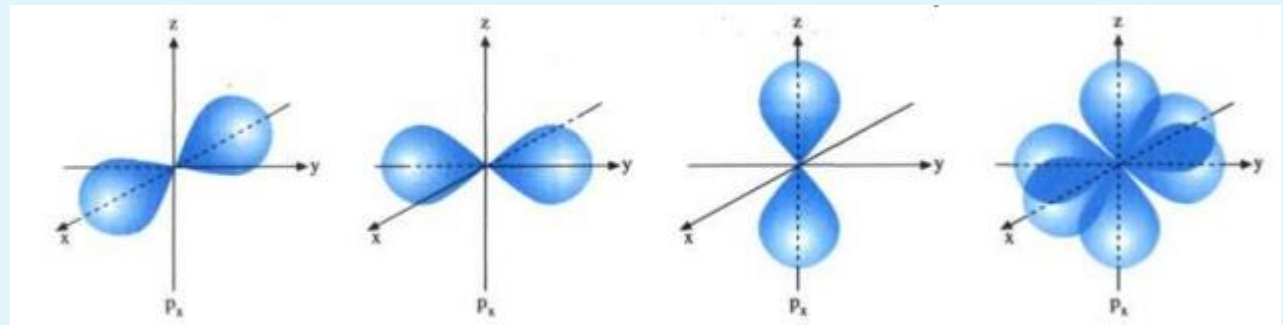
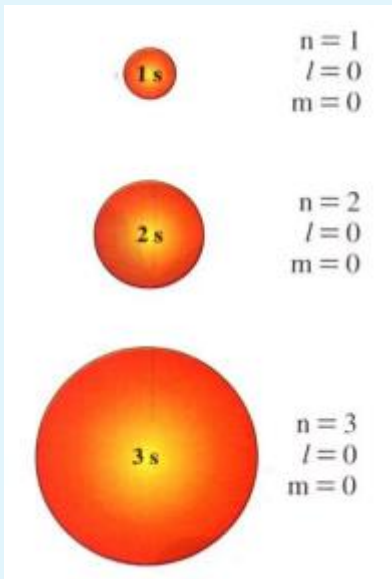
**Il modello di Bohr riusciva a spiegare gli spettri dell'idrogeno e delle specie ionizzate con un solo elettrone, ma falliva nella descrizione degli atomi con più elettroni.**



# LA STRUTTURA DELLA MATERIA

Dal concetto (deterministico) di *orbita* al concetto (probabilistico) di *orbitale*

Il modello quanto-meccanico dell'atomo (anni '30)

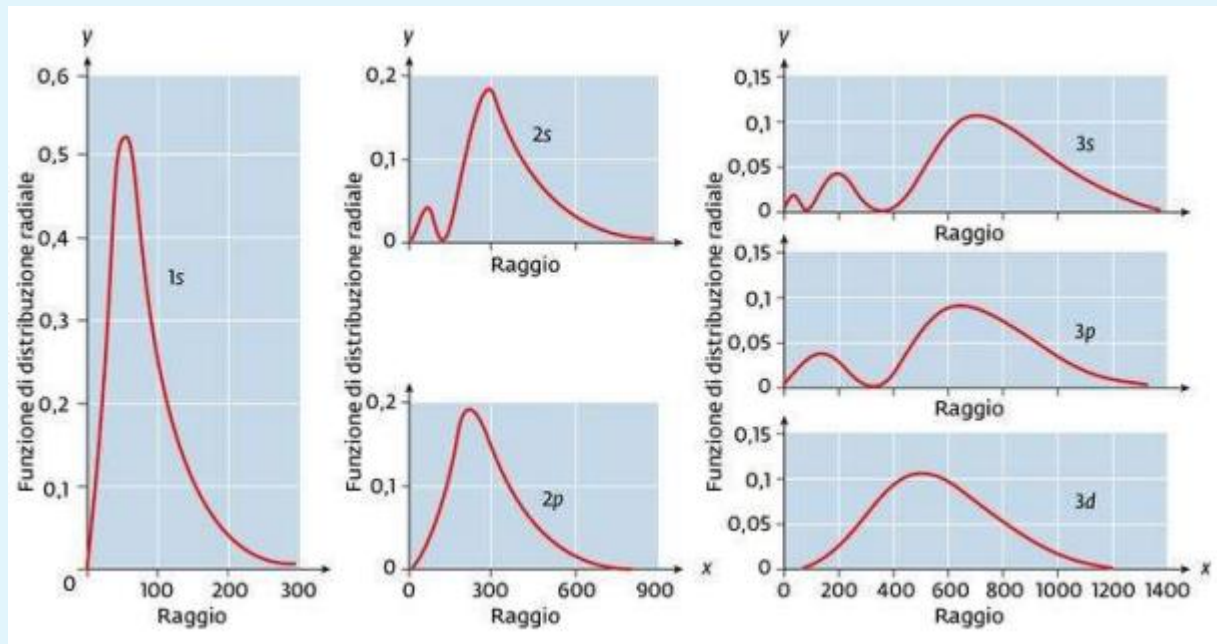


**Orbitale:** funzione matematica,  
mappa di probabilità

# LA STRUTTURA DELLA MATERIA

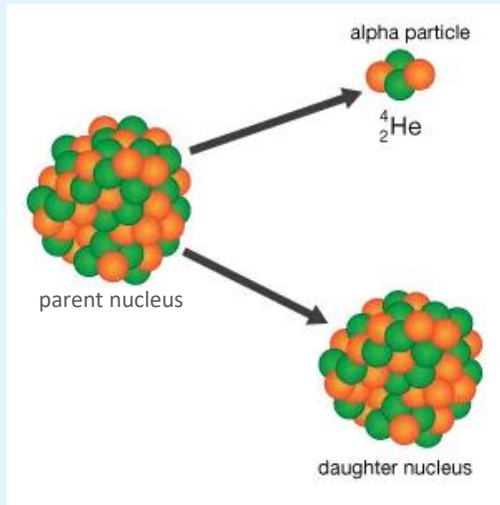
Dal concetto (deterministico) di *orbita* al concetto (probabilistico) di *orbitale*

Il modello quanto-meccanico dell'atomo (anni '30)

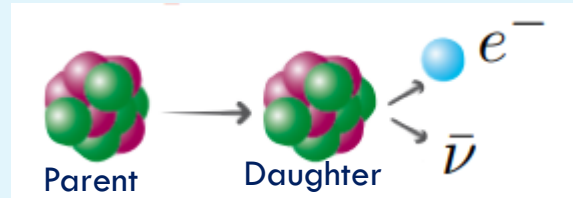


# LA RADIOATTIVITA'

## Decadimento alfa



## Decadimento beta



## Decadimento gamma

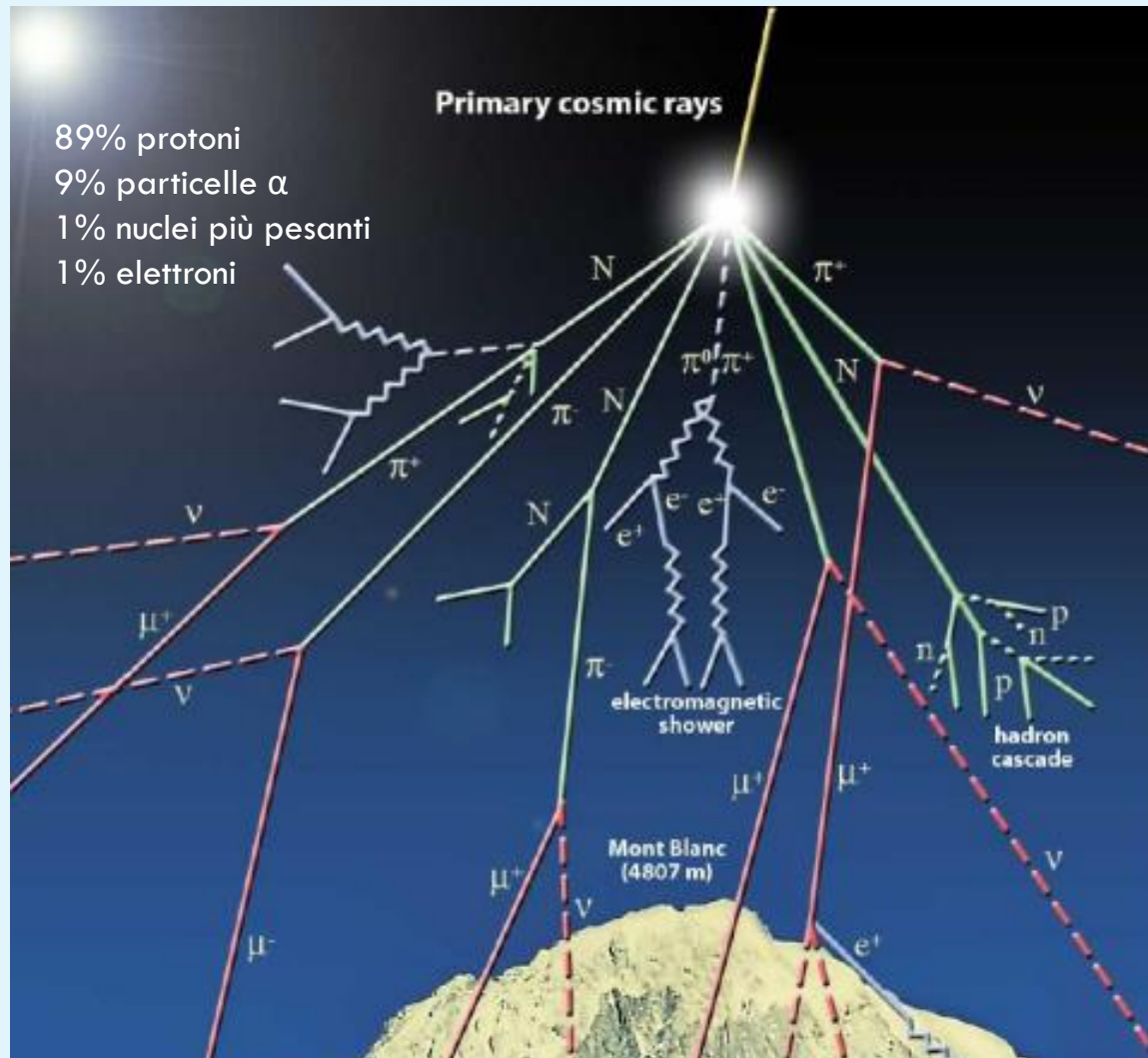


# LA FISICA DELLE PARTICELLE UN SECOLO FA..

Nel 1932 sono solo 4 le particelle «*elementari*» note:

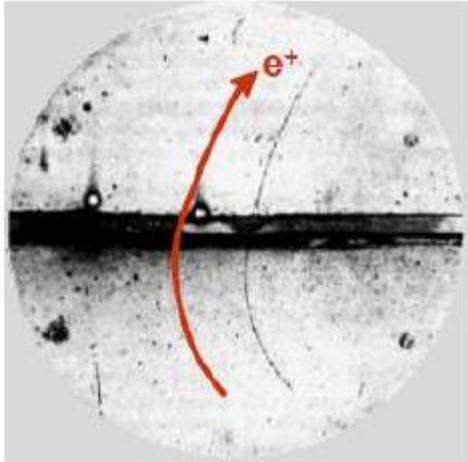
- *Elettrone*
- *Protone*
- *Neutrone*
- *Neutrino*

# RAGGI COSMICI: una *pioggia* di particelle



Raggi cosmici primari, di origine galattica ed extra-galattica, interagiscono con l'alta atmosfera terrestre dando luogo a *sciame* di particelle.

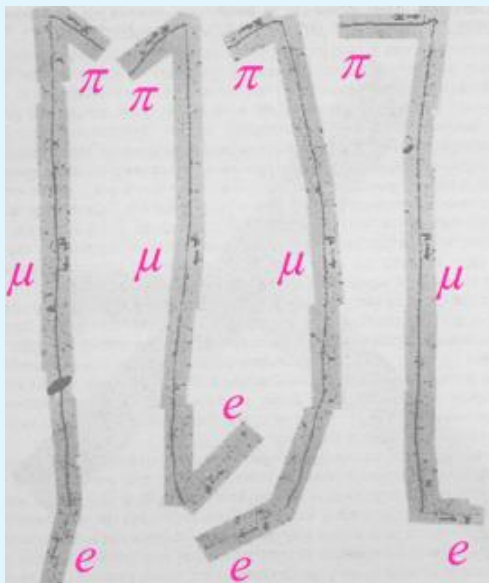
# RAGGI COSMICI: una *pioggia* di particelle



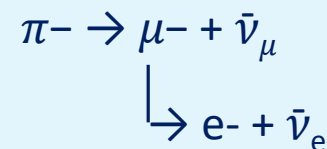
Scoperta del **positrone** (C. D. Anderson, 1932)

Nel 1932 C. Anderson, studiando i raggi cosmici scoperti nel 1912 da Hess, osservò che, impresse su lastre fotografiche usate come rivelatori, vi erano alcune tracce che, in presenza di campo magnetico, sembravano comportarsi come “elettroni con carica positiva”:

viene scoperto il positrone, la prima particella di anti-materia, che valse ad Anderson il Premio Nobel nel 1936.



Nel 1947, Occhialini e Powell osservano il pione (già ipotizzato da Yukawa nel 1936) in lastre fotografiche esposte ai raggi cosmici:



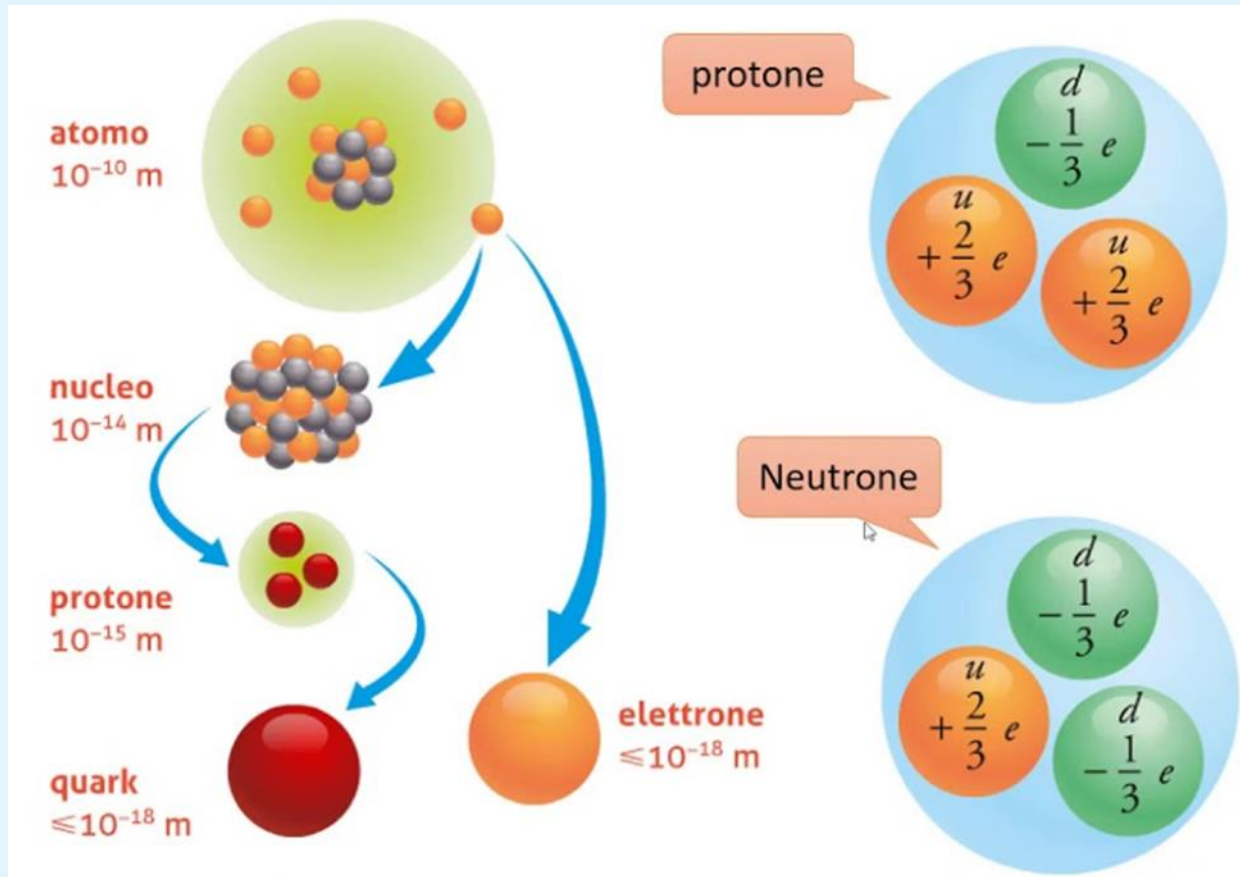
# ACCELERATORI DI PARTICELLE

Negli anni '50 vengono costruiti i primi acceleratori di particelle *di alta energia*.

**Gli acceleratori di particelle rivestono un ruolo fondamentale nello studio della materia.**

Consentono di produrre **fasci di particelle cariche** accelerate a **velocità prossime a quella della luce**, utilizzate come *proiettili* che, sparati contro un bersaglio, sono in grado di romperlo: **studiando le particelle prodotte nelle interazioni tra bersaglio e proiettile, possiamo *sondare* la materia.**

# PARTICELLE ELEMENTARI E NON...





# PARTICELLE ELEMENTARI E NON...

## QUARK

	I	II	III
massa	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$
carica	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top
QUARK	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom (beauty)

CARICA ELETTRICA:  $+2/3 e$

CARICA ELETTRICA:  $-1/3 e$

- Allo stato attuale delle nostre conoscenze, sono **particelle elementari**.
- Possiedono **carica elettrica frazionaria**.
- Si combinano a formare particelle che chiamiamo **adroni**.  
Le combinazioni possibili di quark sono tali che la somma delle cariche elettriche sia un numero intero.

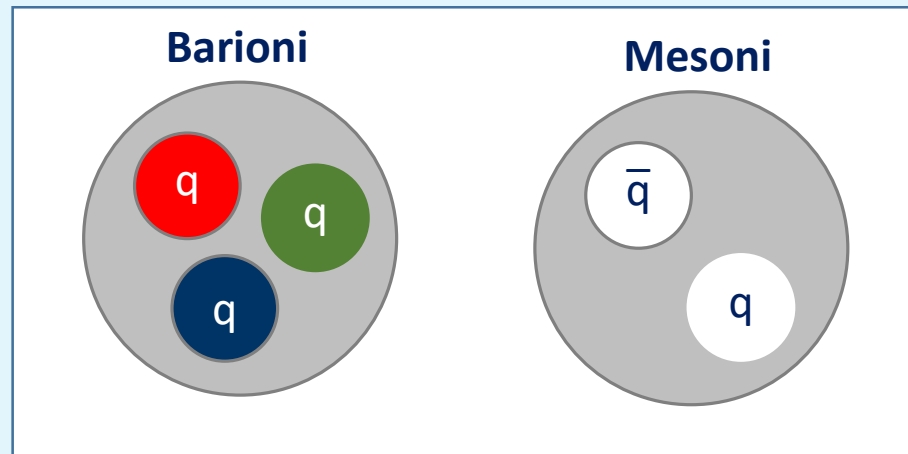
# PARTICELLE ELEMENTARI E NON...

## QUARK

	I	II	III
massa	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$
carica	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom (beauty)

CARICA ELETTRICA:  $+2/3$

CARICA ELETTRICA:  $-1/3$



# PARTICELLE ELEMENTARI E NON...

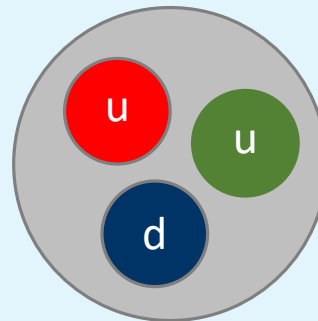
## QUARK

	I	II	III
massa	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$
carica	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top
QUARK	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom (beauty)

CARICA ELETTRICA:  $+2/3$

CARICA ELETTRICA:  $-1/3$

protone



# PARTICELLE ELEMENTARI E NON...

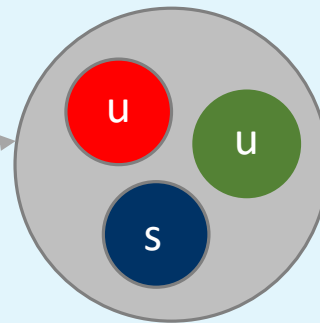
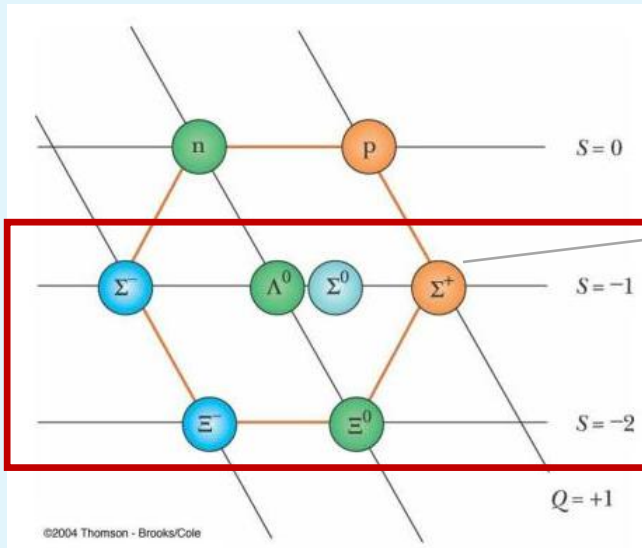
## QUARK

	I	II	III
massa	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$
carica	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom (beauty)
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$

CARICA ELETTRICA:  $+2/3$

CARICA ELETTRICA:  $-1/3$



(alcune) particelle *strane*



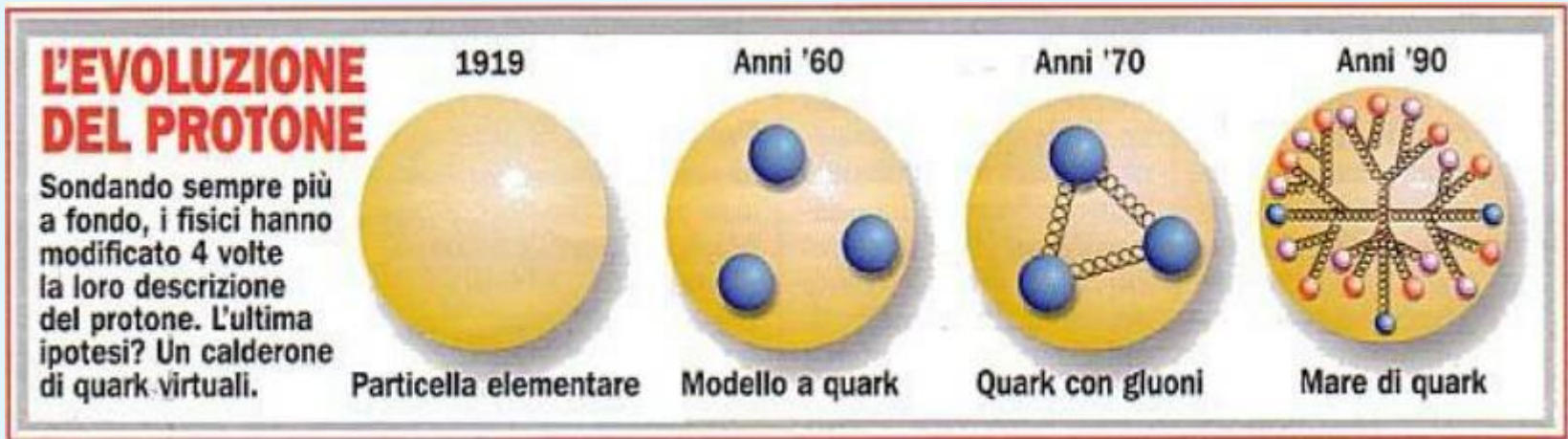


# LE INTERAZIONI FONDAMENTALI

## Forze o interazioni

	<i>Intensità relativa</i>	<i>Raggio d'azione</i>		
<b>forte</b>	<b>1</b>	<b><math>\sim 10^{-15} m</math></b>	<b>attrattiva</b>	
<b>e.m.</b>	<b><math>1/10^2</math></b>	<b>infinito</b>	<b>attrattiva o repulsiva</b>	
<b>debole</b>	<b><math>1/10^5</math></b>	<b><math>\sim 10^{-18} m</math></b>		
				
<b>gravità</b>	<b><math>1/10^{40}</math></b>	<b>infinito</b>	<b>attrattiva</b>	

# PARTICELLE ELEMENTARI E NON...



# LE PARTICELLE ELEMENTARI

		tre generazioni della materia (fermioni)			mediatori delle forze / interazioni (bosoni)	
		I	II	III		
QUARK	massa	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
	carica	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
	spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
		<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>g</b> gluone	<b>H</b> higgs
		$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	0	
		$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
		<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b><math>\gamma</math></b> fotone	
		$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	
		-1	-1	-1	0	
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
		<b>e</b> elettrone	<b><math>\mu</math></b> muone	<b><math>\tau</math></b> tauone	<b>Z</b> bosone Z	
LEPTONI		$< 1.0 \text{ eV}/c^2$	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	
		0	0	0	$\pm 1$	
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
		<b><math>\nu_e</math></b> neutrino elettronico	<b><math>\nu_\mu</math></b> neutrino muonico	<b><math>\nu_\tau</math></b> neutrino tauonico	<b>W</b> bosone W	

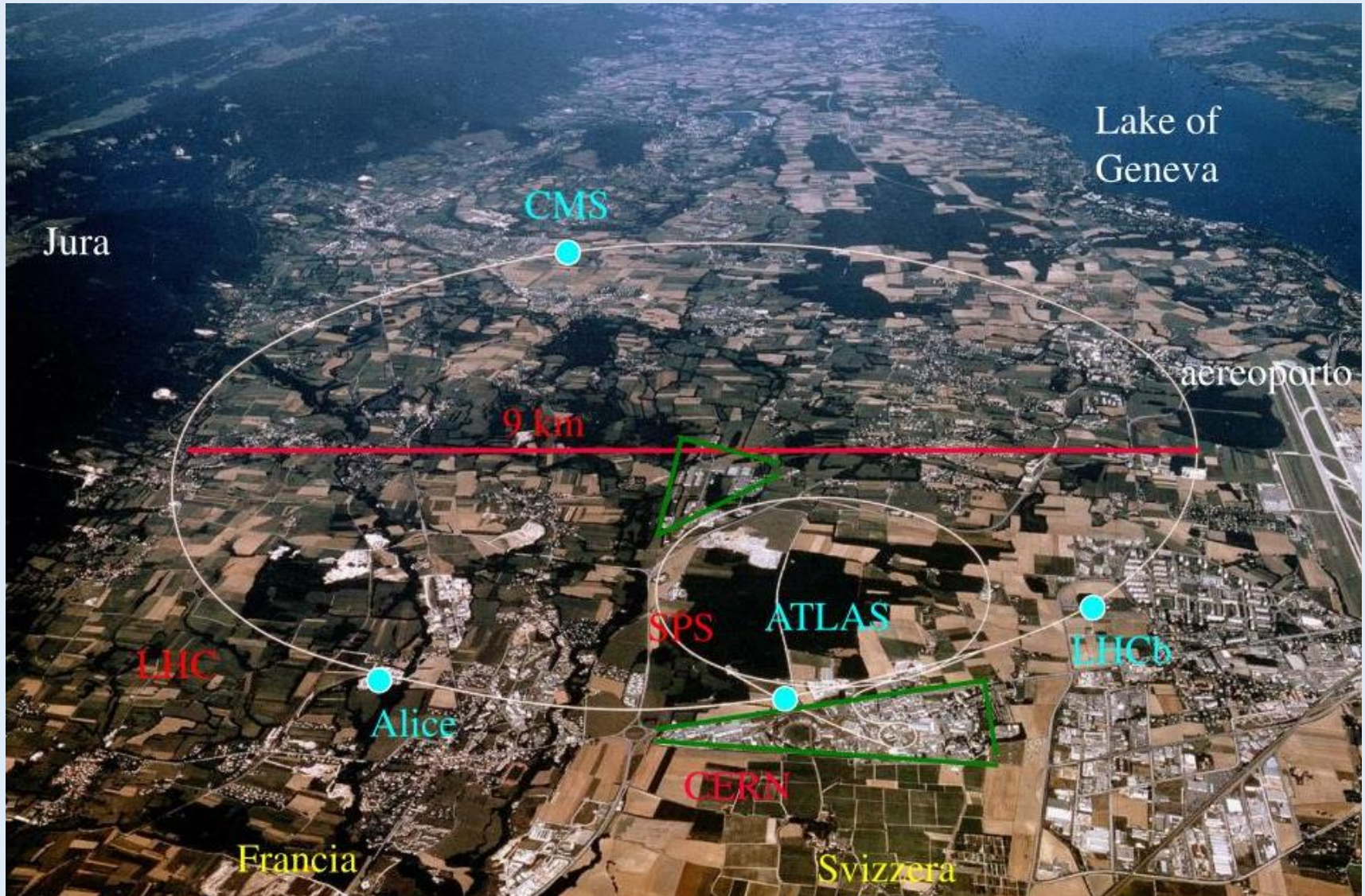


# ACCELERATORI DI PARTICELLE

## Cosa serve per realizzare un acceleratore di particelle?

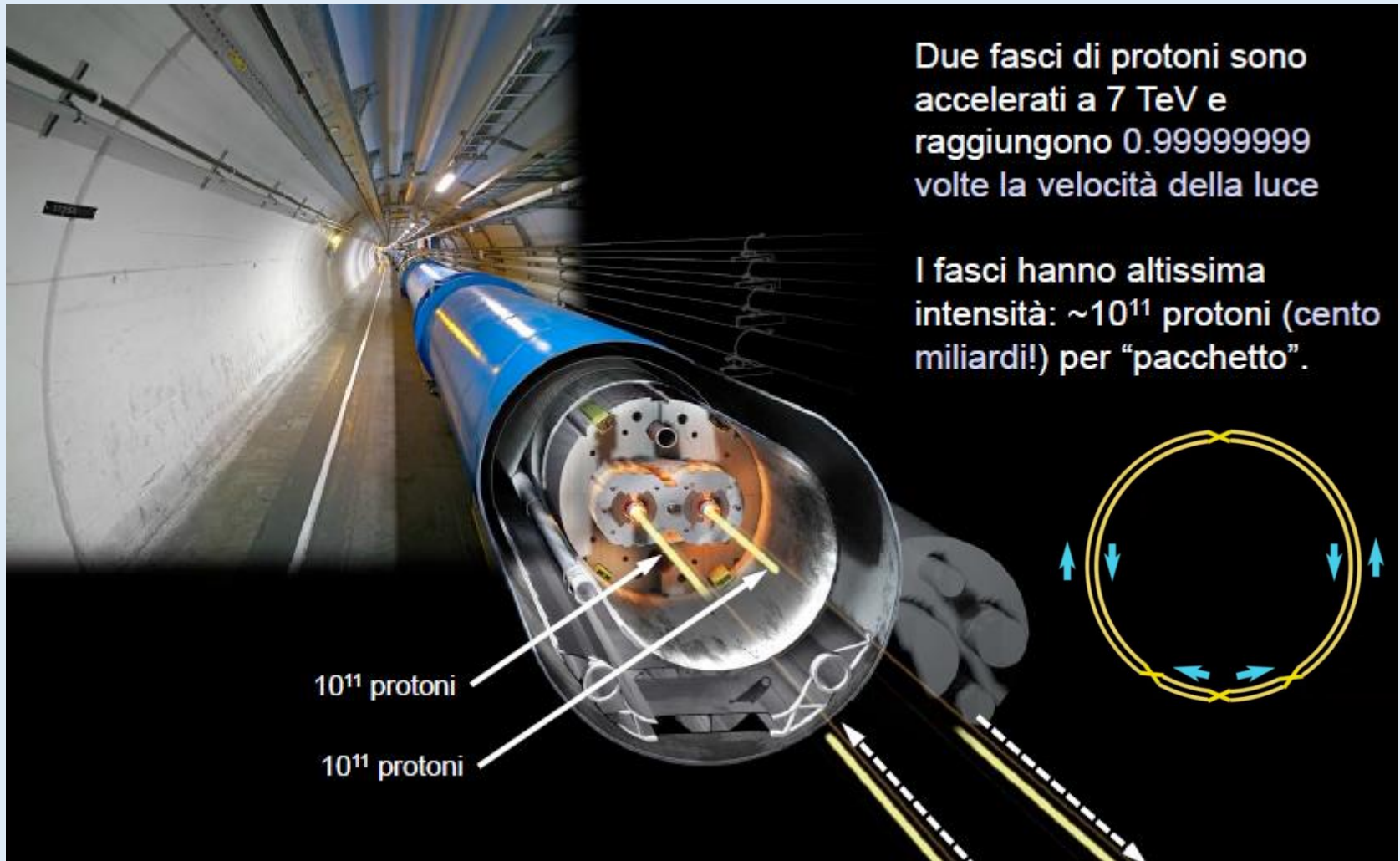
- Campi elettrici per fornire energia alle particelle aumentandone la velocità.
- Negli acceleratori circolari, campi magnetici per far descrivere alle particelle la traiettoria voluta e per focalizzare i fasci di particelle.

# LHC: *Large Hadron Collider*



**LHC è un anello di 27 km di circonferenza costruito in una galleria sotterranea a circa 100 m sotto terra.**

# LHC: *Large Hadron Collider*



Due fasci di protoni, accelerati a velocità prossime a quella della luce, viaggiano in verso opposto e vengono fatti collidere ogni 25 ns (40 milioni di volte al secondo!) in quattro punti (*pit*) ove sono collocati gli apparati sperimentali.

# L'elettronVolt

Si definisce **elettronVolt** l'energia acquistata da una particella con carica elettrica pari a quella dell'elettrone ( $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ), accelerata da una differenza di potenziale elettrico pari a 1V:

In fisica spesso si utilizzano multipli dell'eV:

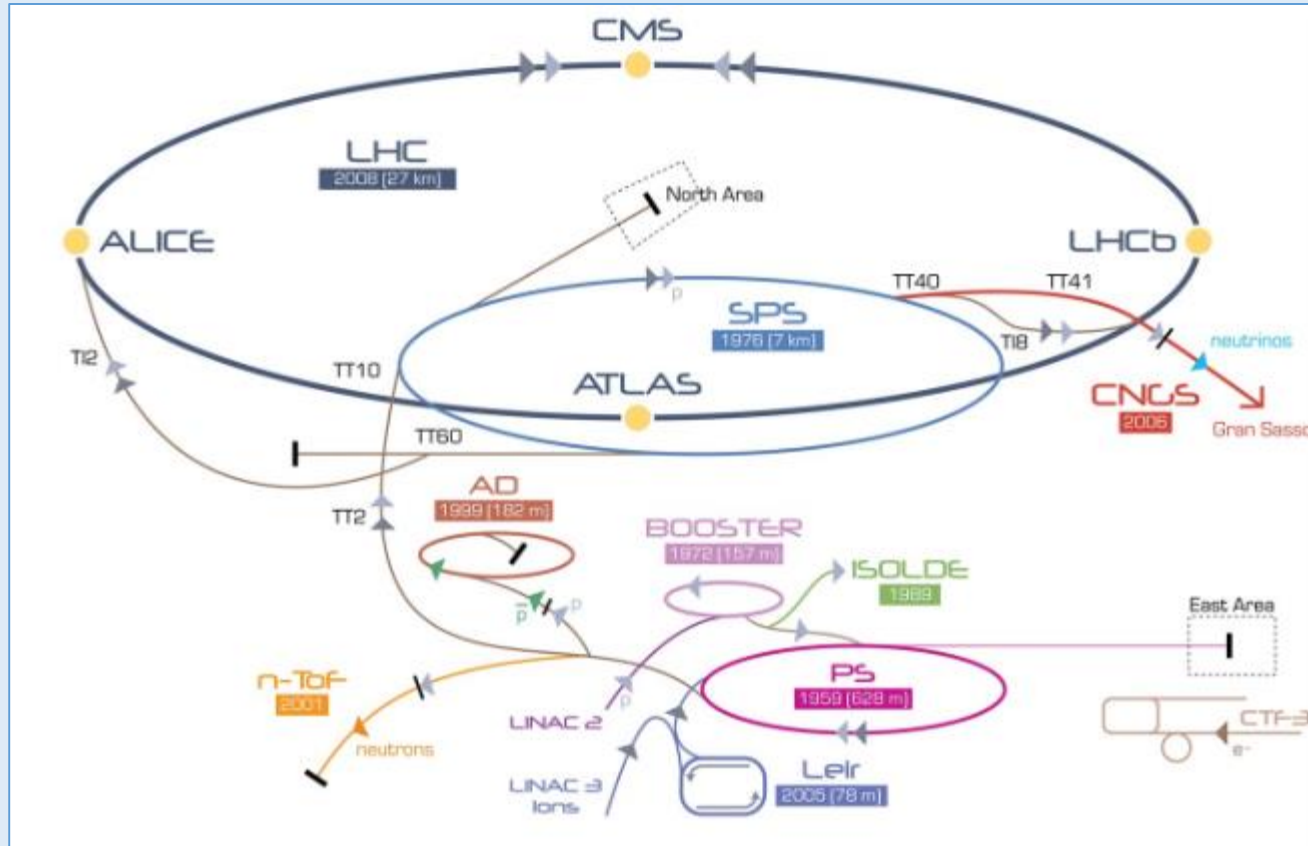
$$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

$$1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$$

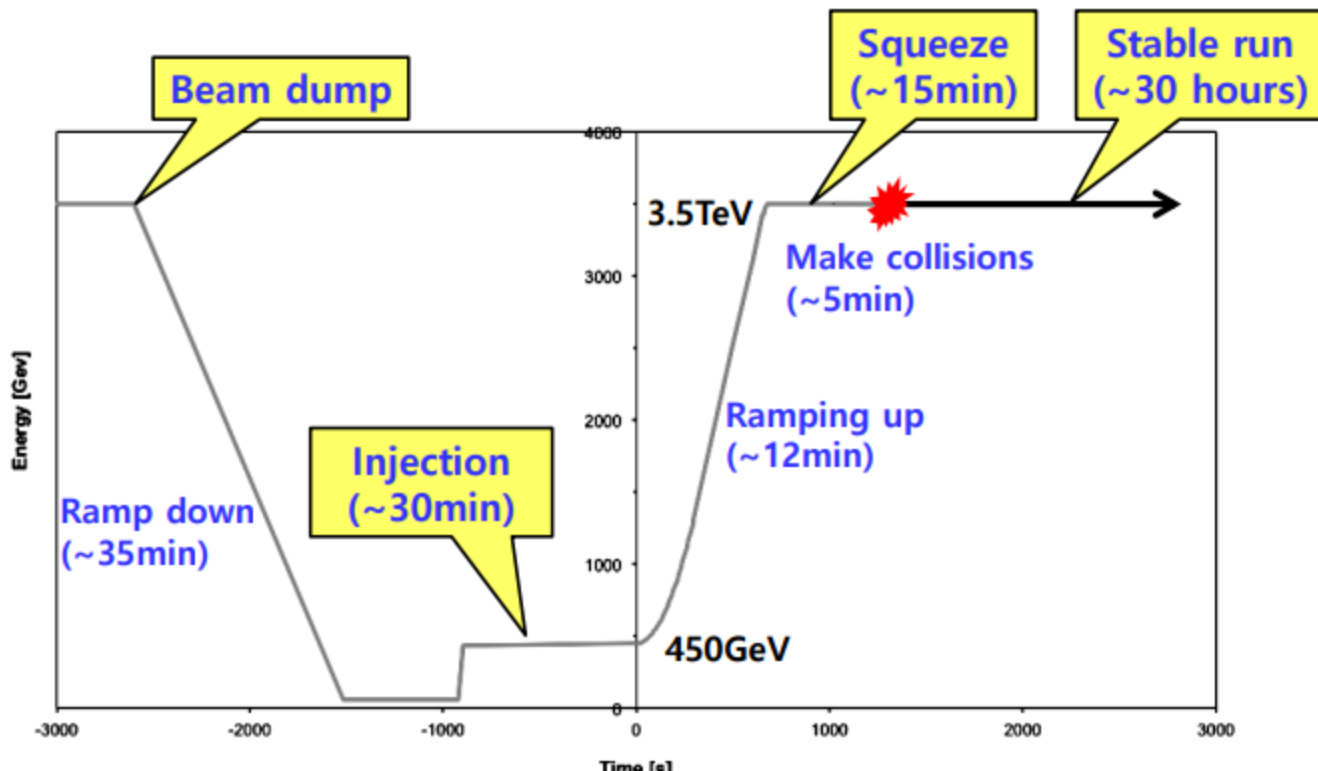
# LHC: *Large Hadron Collider*



Attraverso acceleratori lineari e circolari, l'energia dei protoni aumenta fino a 450 GeV (SPS), quindi le particelle vengono iniettate nell'anello di LHC dove sono accelerate fino a 7 TeV.

# LHC: *Large Hadron Collider*

## Typical LHC operational cycle

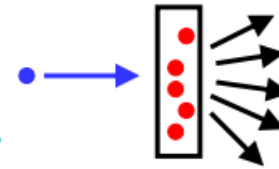


# A cosa serve un collider come LHC?

- **Fixed target**

- $E_{CM} \sim \sqrt{2m_T E_{beam}}$

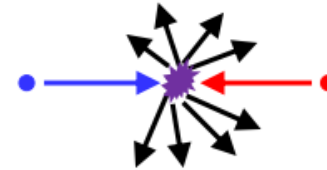
- ✓ 7TeV beam will make  $E_{CM} \sim 1.2\text{TeV}$



- **Collider**

- $E_{CM} = 2E_{beam}$

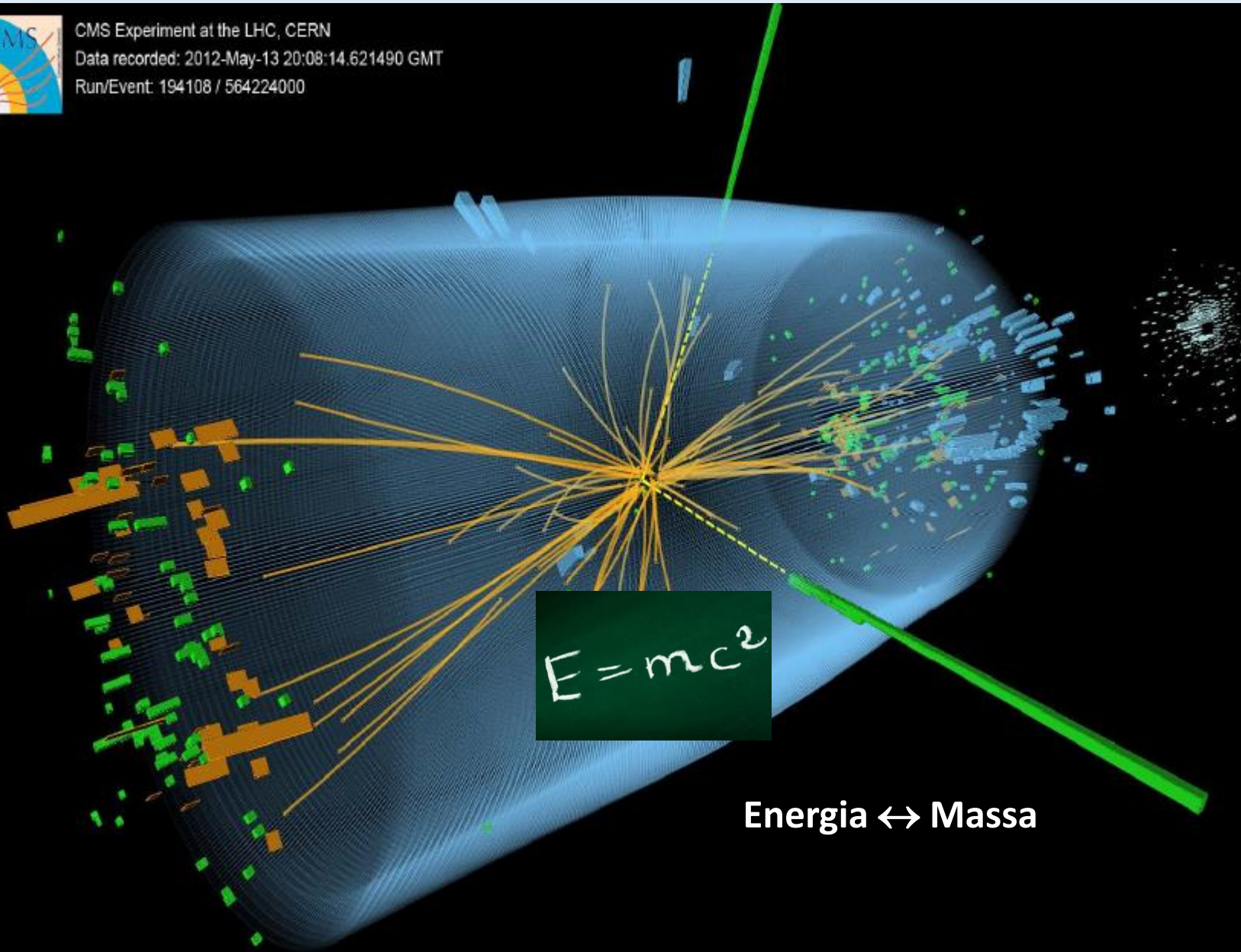
- ✓ 7TeV beam will make  $E_{CM} \sim 14\text{TeV}$



# A cosa serve un collider come LHC?



CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
Run/Event: 194108 / 564224000



$$E = mc^2$$

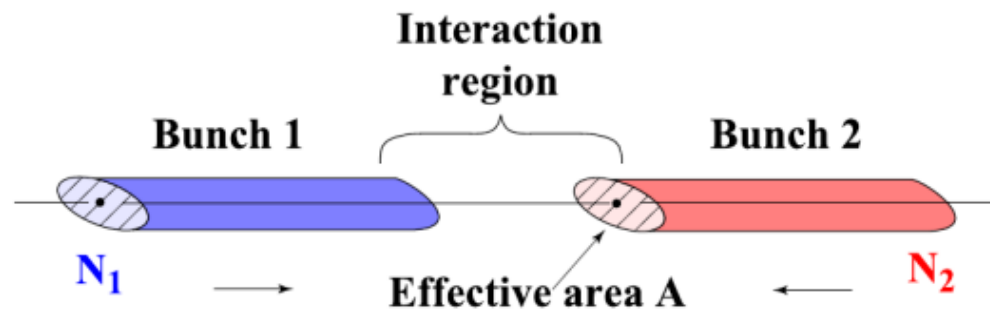
Energia ↔ Massa



# LUMINOSITÀ

La **luminosità** può essere determinata a partire dai parametri della macchina (caratteristiche geometriche e cinematiche del fascio)

$$\mathcal{L} = n_b \frac{N_1 N_2 f}{A_{eff}} \rightarrow \text{Sezione trasversale del fascio}$$



$N_1$  : Numero medio di particelle in ciascun pacchetto del fascio 1

$N_2$  : Numero medio di particelle in ciascun pacchetto del fascio 2

$n_b$  : Numero di pacchetti

$f$  : Frequenza di rivoluzione dell'acceleratore

La luminosità ha le dimensioni di un flusso  $cm^{-2}s^{-1}$

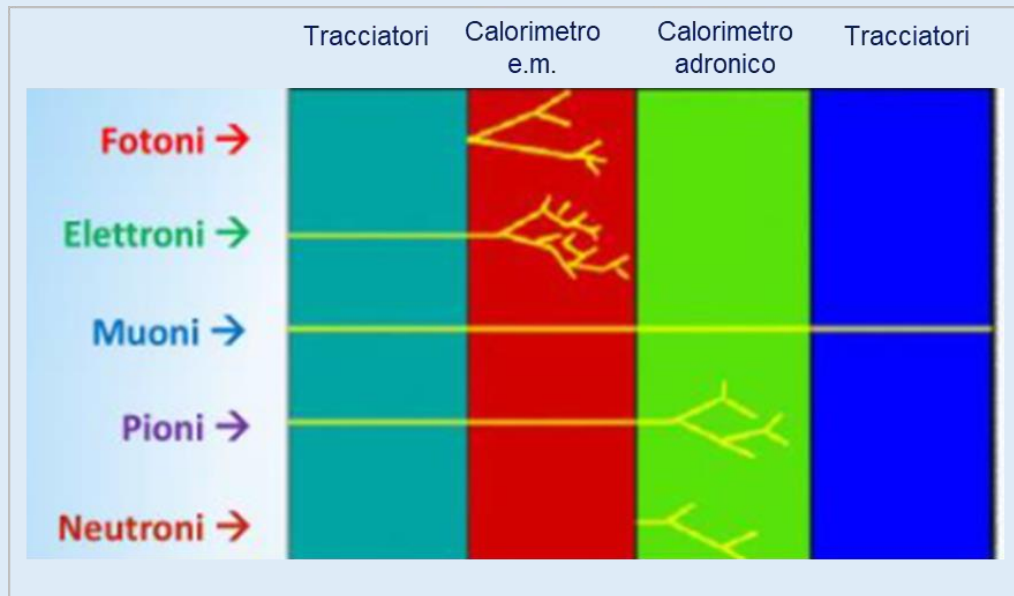
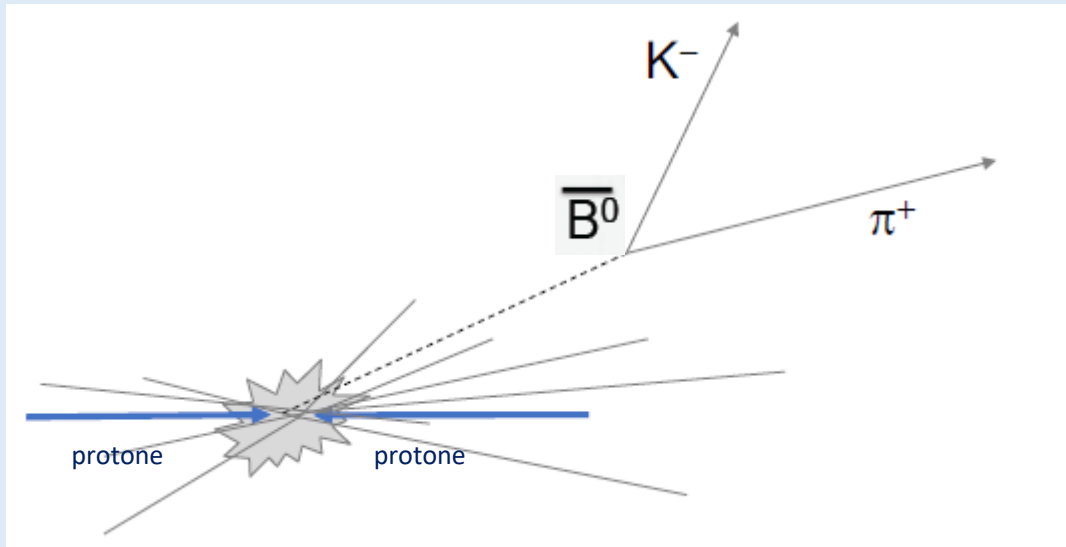
La **luminosità integrata** è definita come

$$L = \int_0^t \mathcal{L}(t') dt'$$

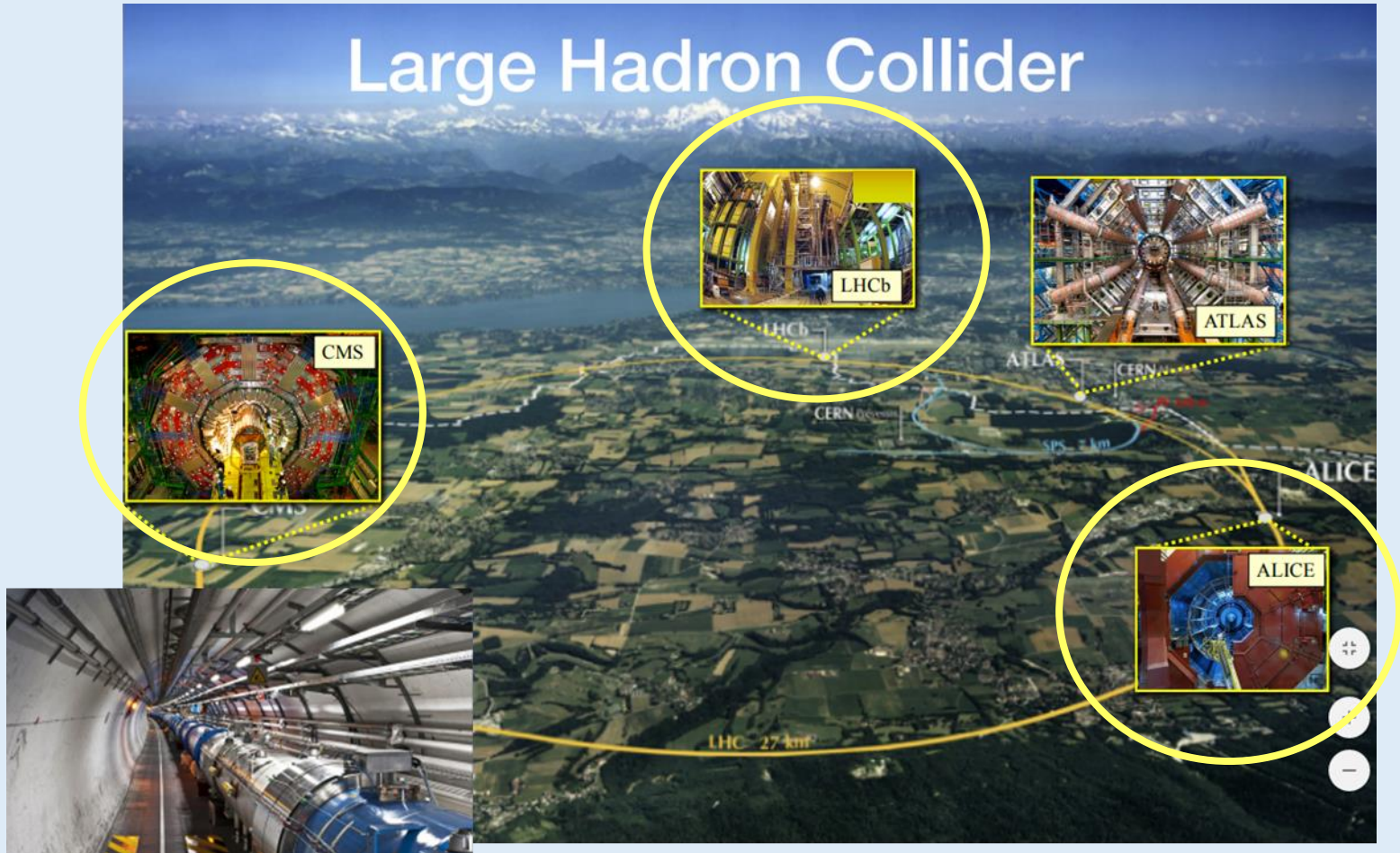
Unità di misura:  $cm^{-2}$

Unità di misura utilizzata:  $1 \text{ b}^{-1} = 10^{24} \text{ cm}^{-2}$

# Come si rivelano le particelle?

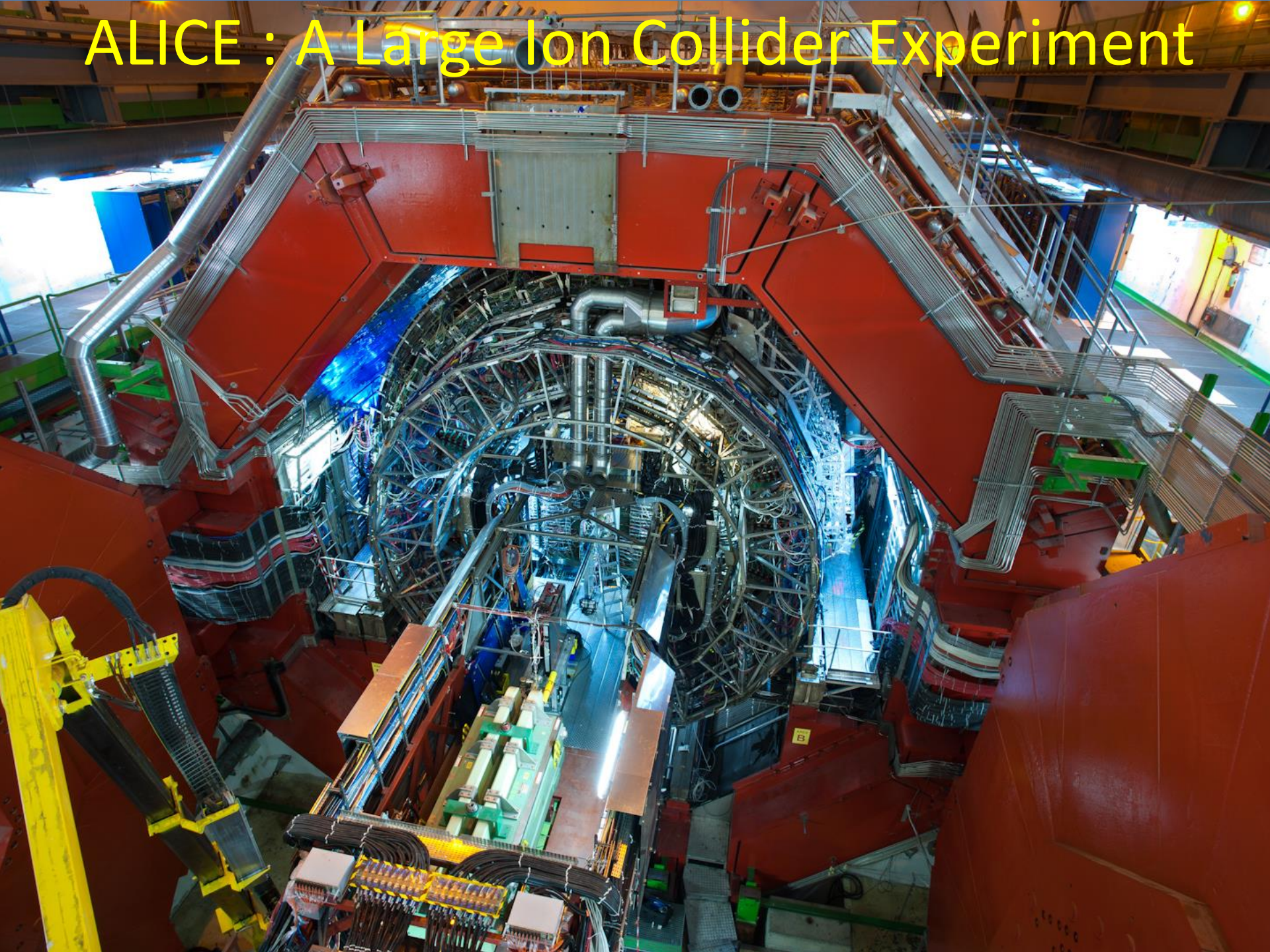


# Gli esperimenti a LHC

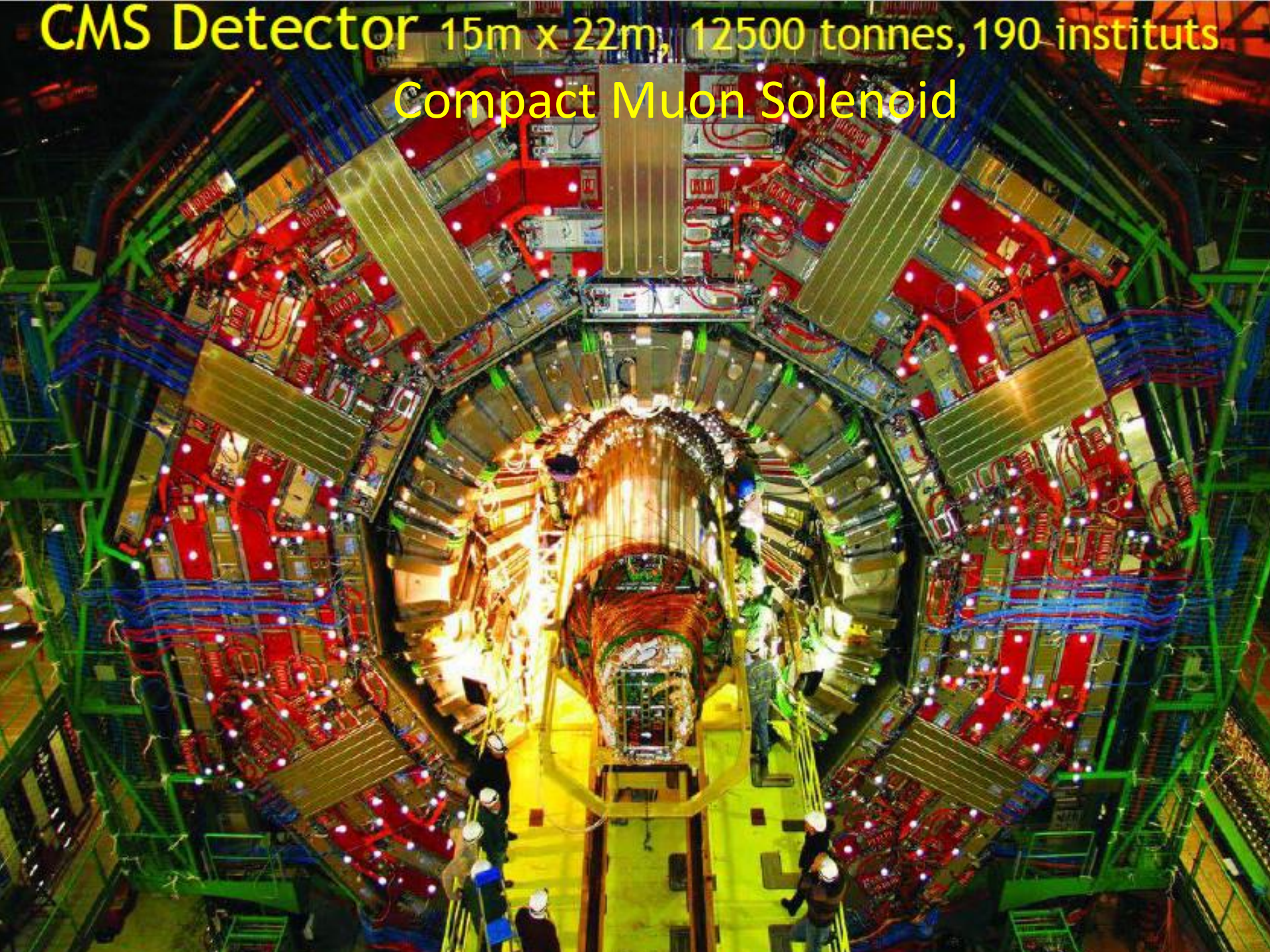


**Sono 4 i principali esperimenti operanti presso l'acceleratore LHC del CERN.**

# ALICE : A Large Ion Collider Experiment



CMS Detector 15m x 22m, 12500 tonnes, 190 instituts  
Compact Muon Solenoid



# LHCb: Large Hadron Collider beauty



# LHC Fest : alla scoperta della fisica di LHC

The End

