

The background of the title section is a complex, abstract visualization. It consists of numerous thin, glowing lines in shades of green and blue that radiate from various points, creating a sense of depth and movement. Interspersed among these lines are several mathematical symbols:  $z(2, 2)$ ,  $\pi$ , and  $z(1, 1, 2)$ . The overall effect is reminiscent of particle tracks or data points in a high-dimensional space.

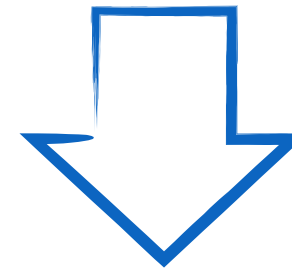
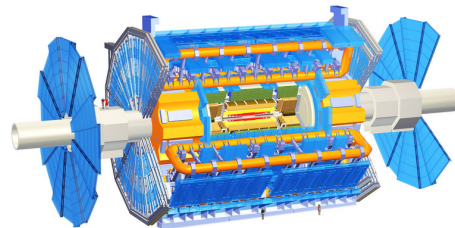
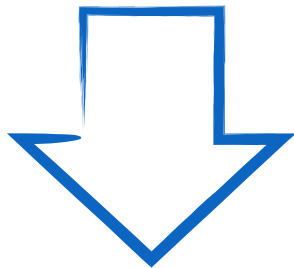
# Alternanza Scuola-Lavoro: Come essere al CERN

**Silvia Biondi** - University & INFN of Bologna

---

Un progetto dell'ATLAS Outreach group:  
ATLAS Open Data

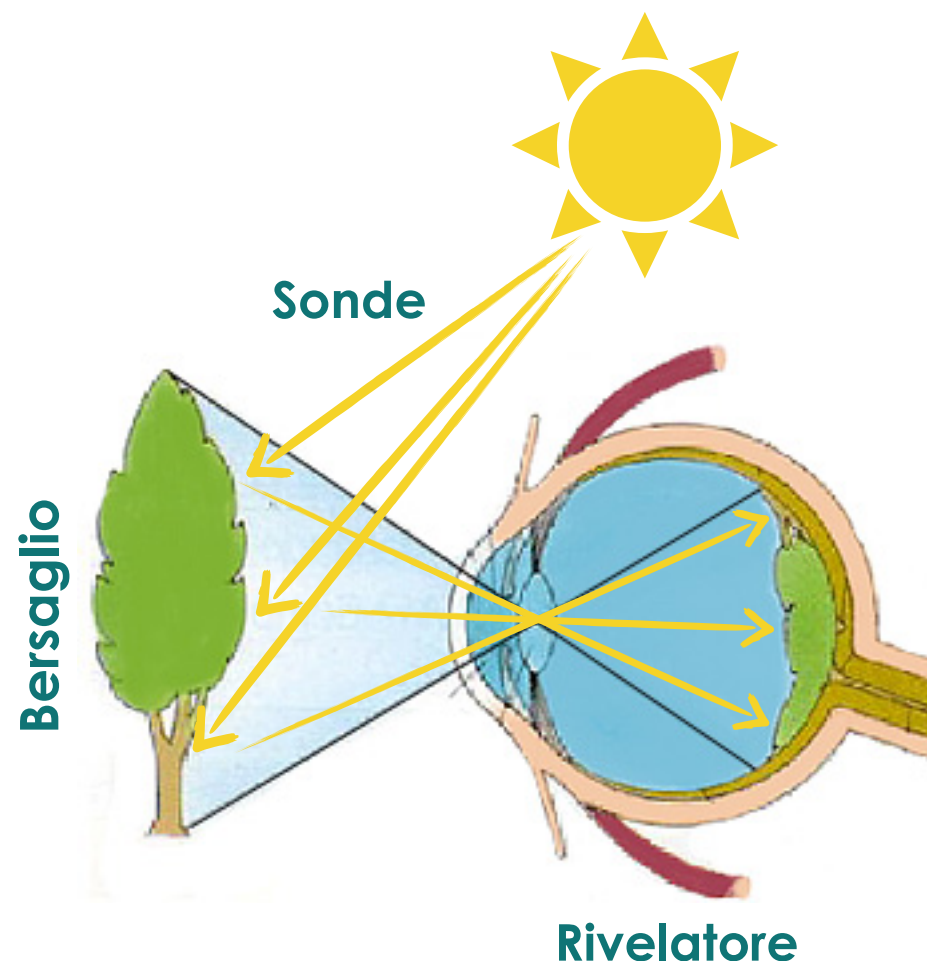
1. Un po' di fisica delle particelle fondamentali:
  1. come facciamo a "vederle";
  2. cosa sono;
2. cosa succede davvero in un acceleratore di particelle;
3. come ricostruiamo un evento di collisione;
4. come analizzare i dati che vengono da un esperimento.



**dati veri raccolti da ATLAS nel 2012**

**(circa 100 trilioni di collisioni  
protone-protone!!)**





1. La luce raggiunge l'albero;
2. Una parte viene assorbita, l'altra rimbalza e arriva all'occhio;
3. Il cervello analizza i dati e forma un'immagine.

Gli occhi (**rivelatore**) vedono le cose come risultato dell'interazione tra i fotoni della banda visibile (**sonde**) e gli oggetti che ci circondano (**bersagli**).

**Ogni tipo di onda può essere usata come sonda!**



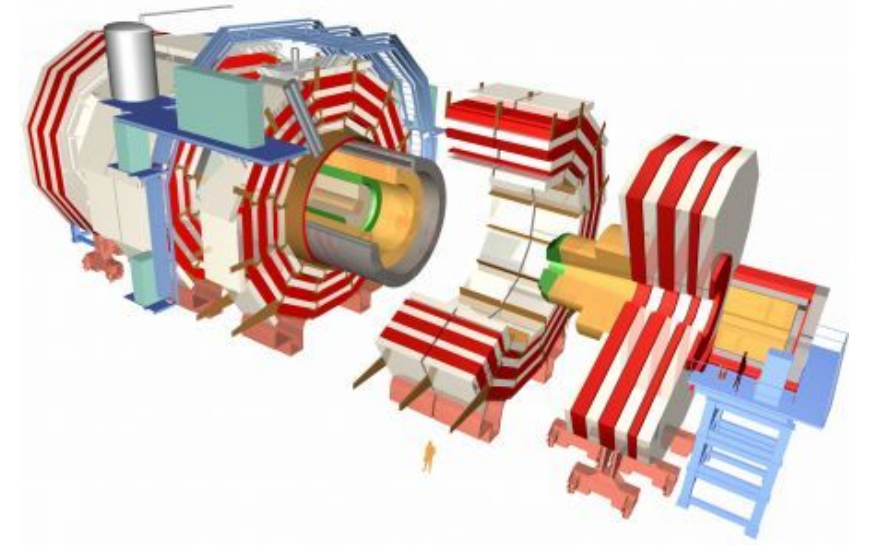
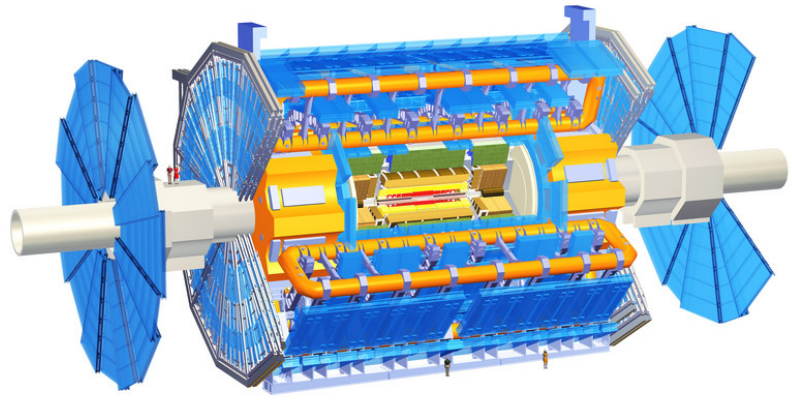
(i pipistrelli usano come “sonde” le onde sonore)



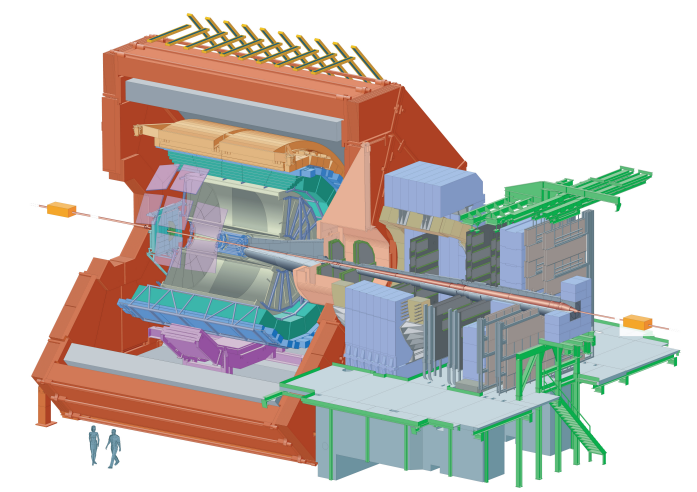
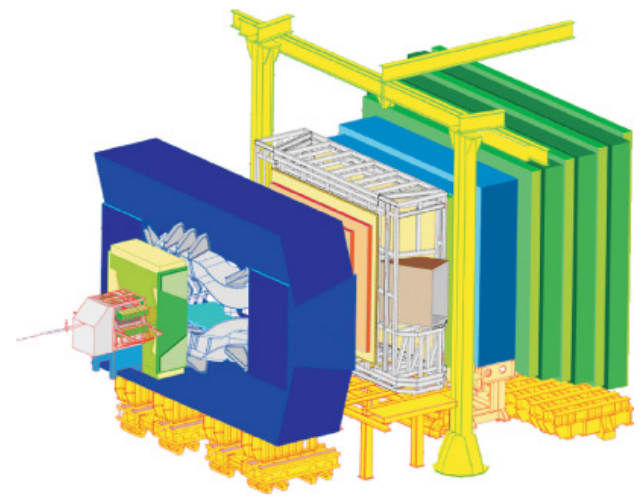




# “Vedere” con i rivelatori di particelle



**Blocchi di materiale** con cui le **particelle interagiscono** producendo **effetti misurabili**  
 (rilascio di cariche libere in zone ben definite)





# Ingrandimento $\neq$ risoluzione

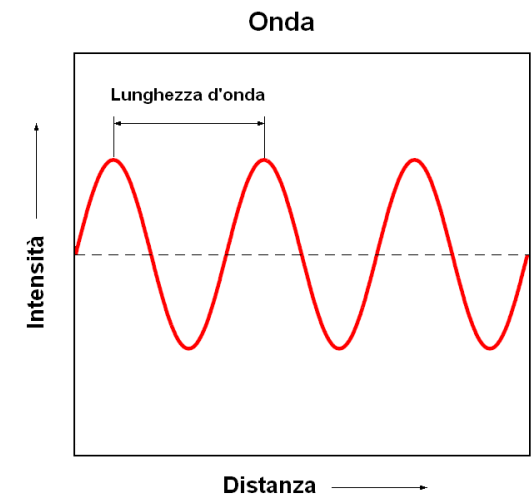




La capacità di distinguere due punti il più possibile vicini tra loro.

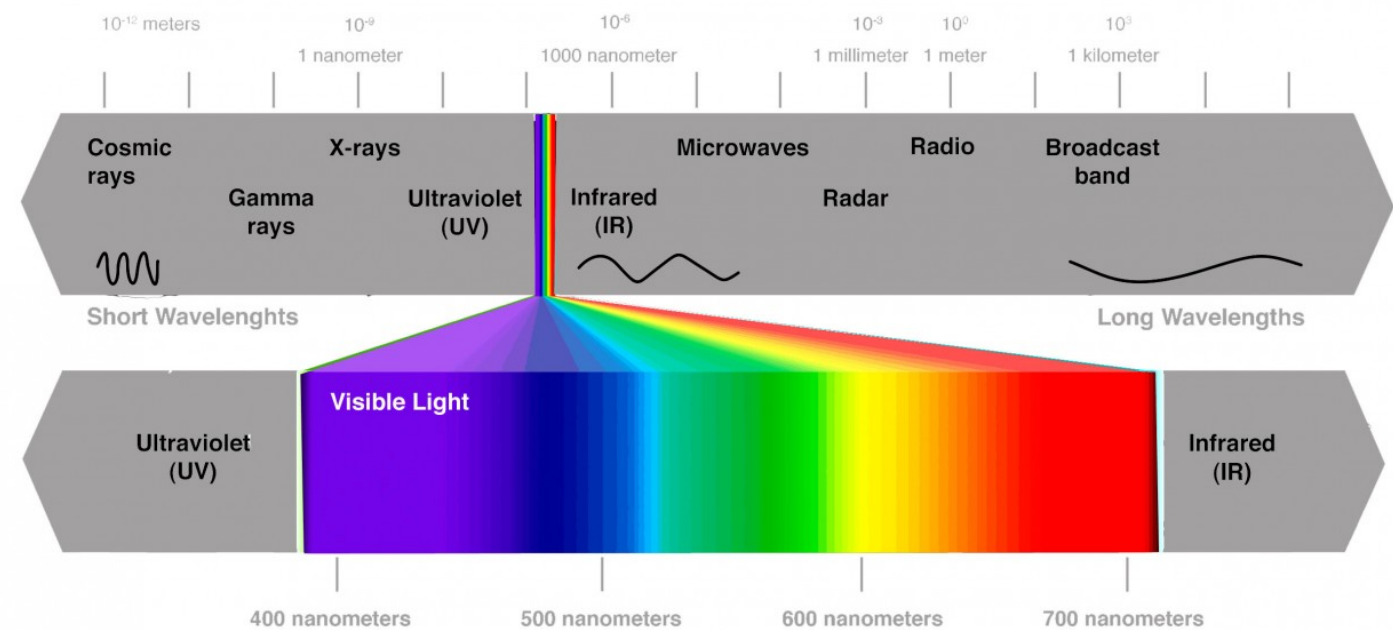
I rivelatori sono limitati dalla lunghezza d'onda  $\lambda$  della "sonda" che utilizzano per "vedere".

$$\text{risoluzione} \propto \frac{1}{\lambda}$$



Microscopio ottico limitato dalla lunghezza d'onda della luce visibile.

~ 0.2  $\mu\text{m}$



Microscopio elettronico usa fascio di elettroni per "vedere", invece dei fotoni.

~ 0.1 nm

**NB!**

$$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

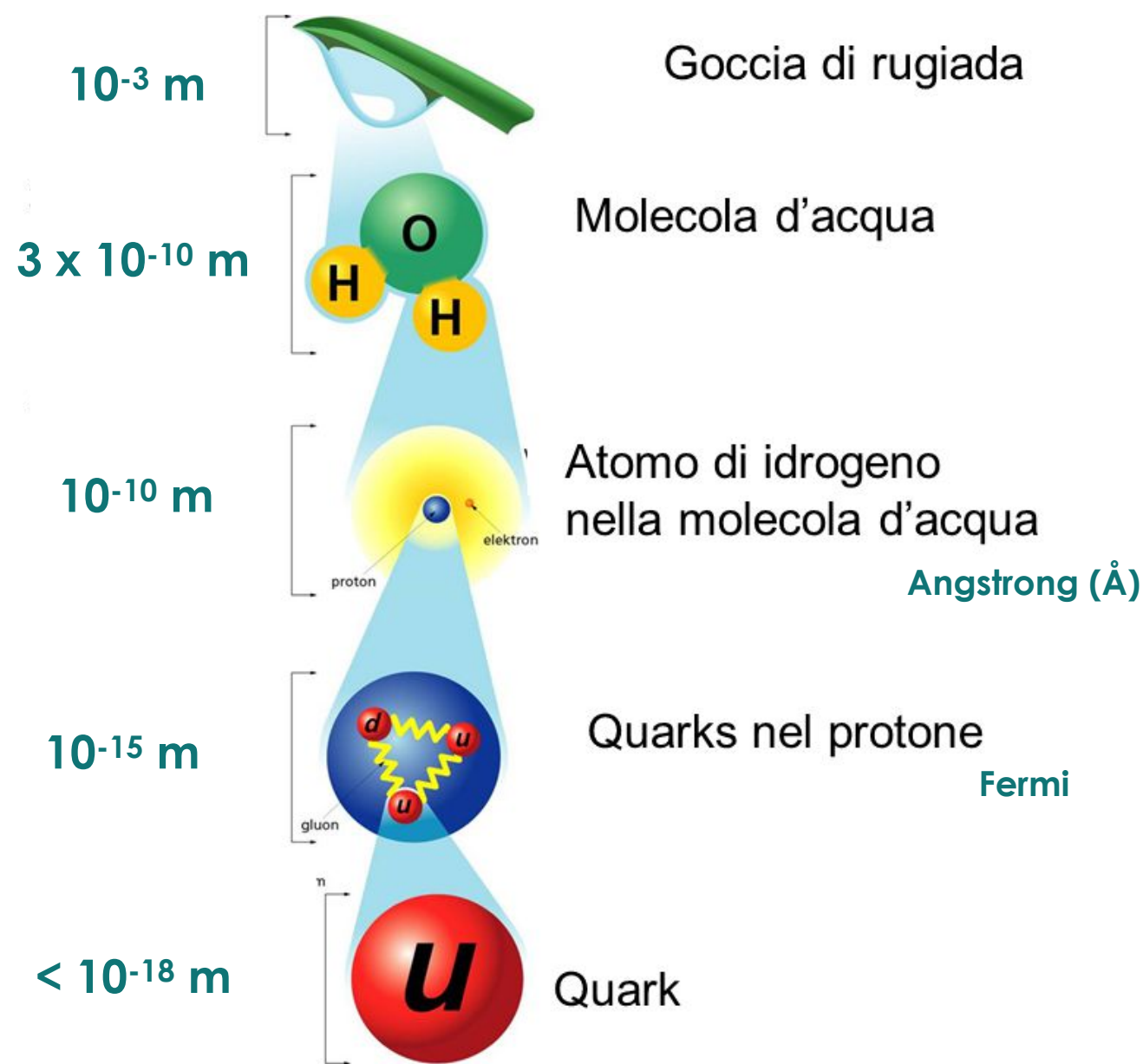
$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$



Nel mondo dei quanti:

$$\lambda \propto \frac{1}{p}$$

$p$  = quantità di moto ( $m \times v$ )

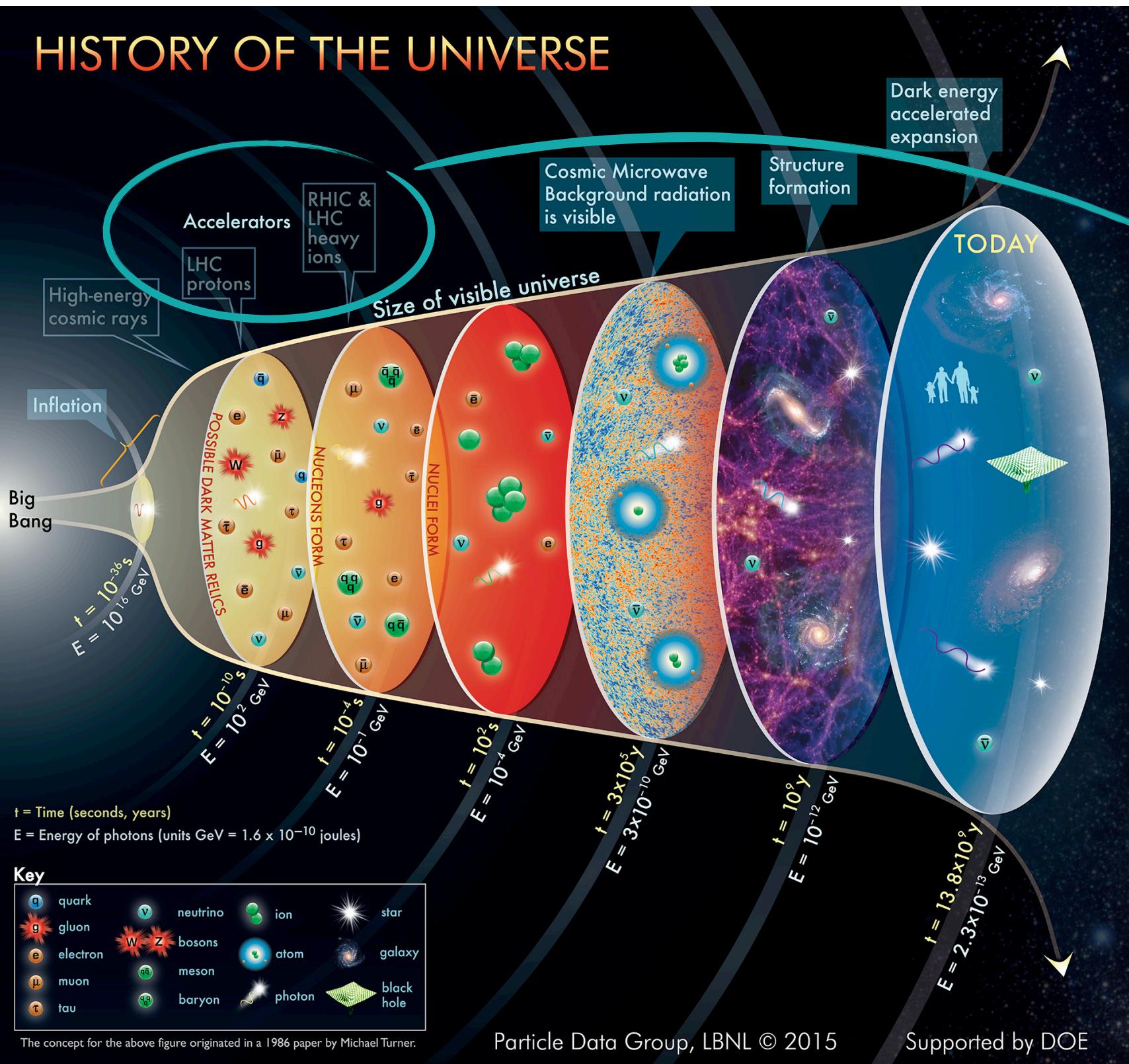


Particelle relativistiche con energia dell'ordine di **1 GeV** (un miliardo di eV) hanno lunghezza d'onda di de Broglie dell'ordine di **1 Fermi**.

**NB!**

**1 eV** = energia guadagnata o persa da una carica elementare che si sposta nel vuoto tra due punti con differenza di potenziale di 1 Volt





## SCOPO

capire la nascita e l'evoluzione dell'Universo.

Dobbiamo riprodurre condizioni: grande **densità di energia** fondamentale!

Molto difficile, ma....





## Acceleriamo le particelle!

- ▶ **Aumentiamo la loro energia e, quindi, il loro potere risolutivo**
  - ★ possiamo indagare dimensioni sempre più piccole.
- ▶ **Aumentiamo la densità di energia nella zona in cui interagiscono**
  - ★ Possiamo “creare” particelle più pesanti.

## Acceleratori naturali!

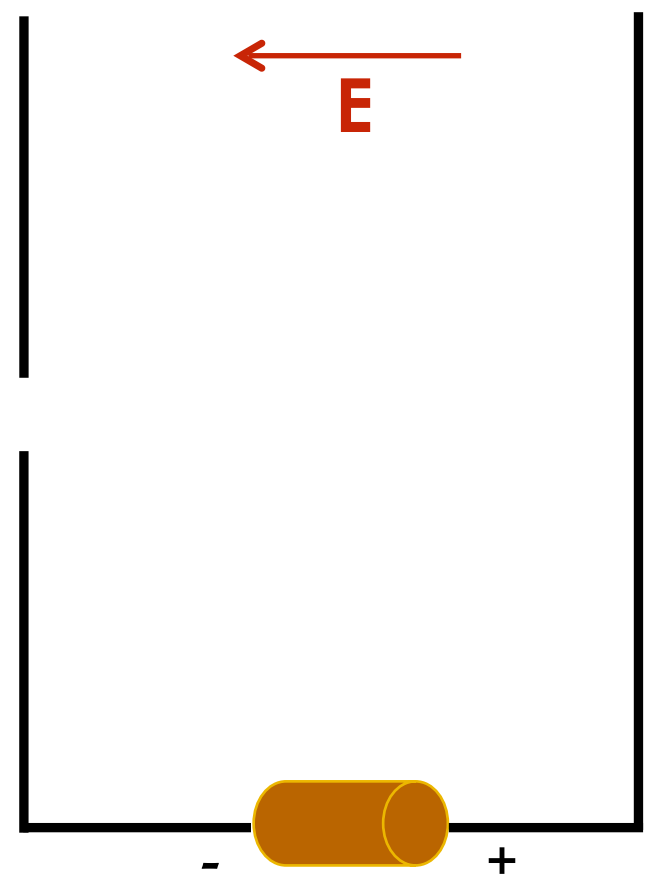
- ▶ **Raggi cosmici**
  - ★ Raggiungono energie molto maggiori di quelle accessibili con gli acceleratori più avanzati.





**NB!** Acceleriamo sempre e solo particelle cariche **NB!**

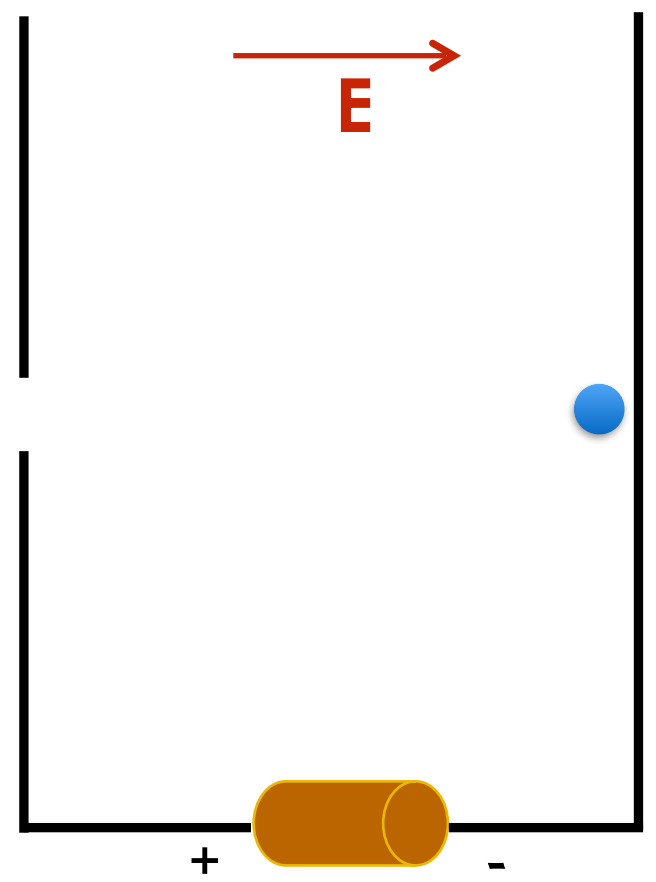
Campi elettrici  
per fornire energia





**NB!** Acceleriamo sempre e solo particelle cariche **NB!**

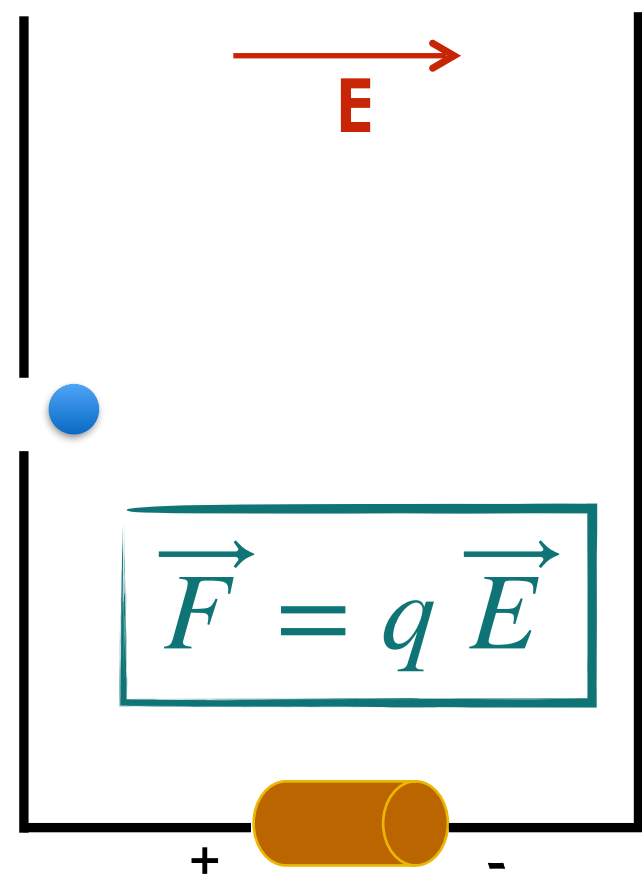
Campi elettrici  
per fornire energia





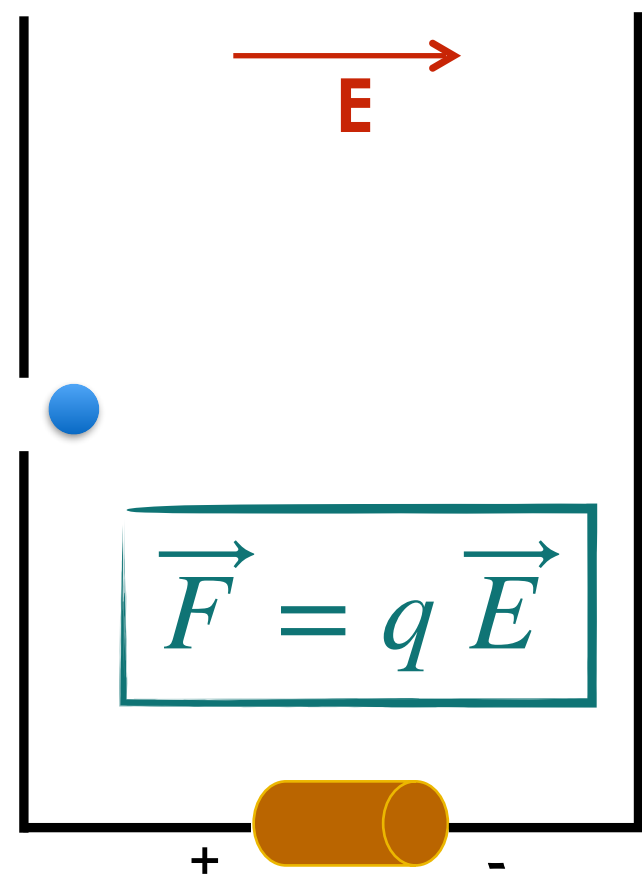
**NB!** Acceleriamo sempre e solo particelle cariche **NB!**

Campi elettrici  
per fornire energia



**NB!** Acceleriamo sempre e solo particelle cariche **NB!**

Campi elettrici  
per fornire energia



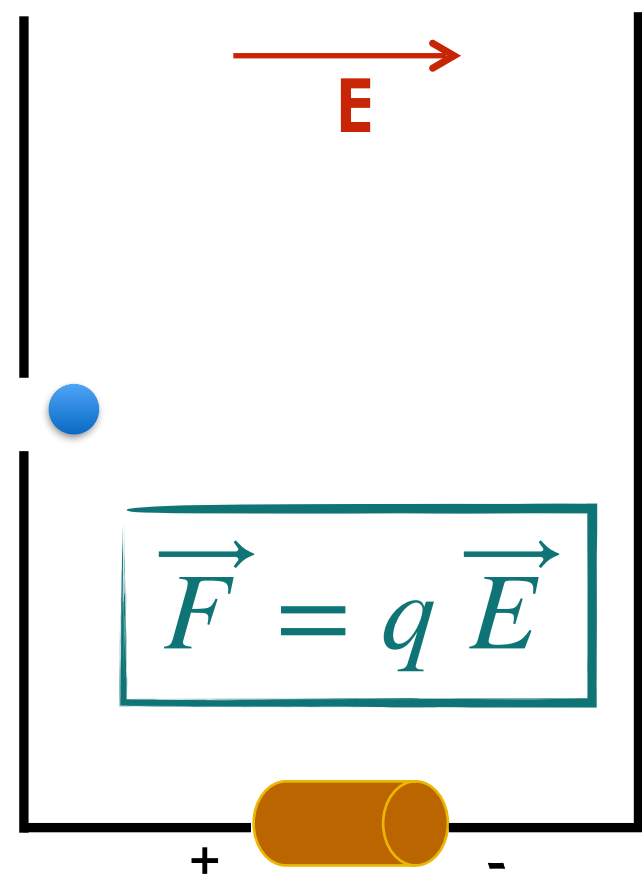
Campi magnetici  
per guidare e focalizzare





**NB!** Acceleriamo sempre e solo particelle cariche **NB!**

Campi elettrici  
per fornire energia



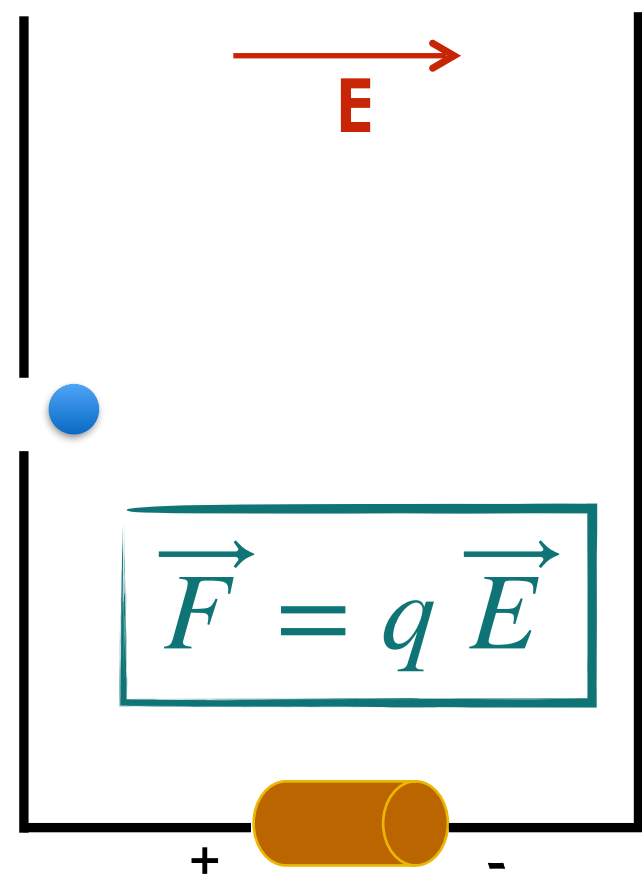
Campi magnetici  
per guidare e focalizzare



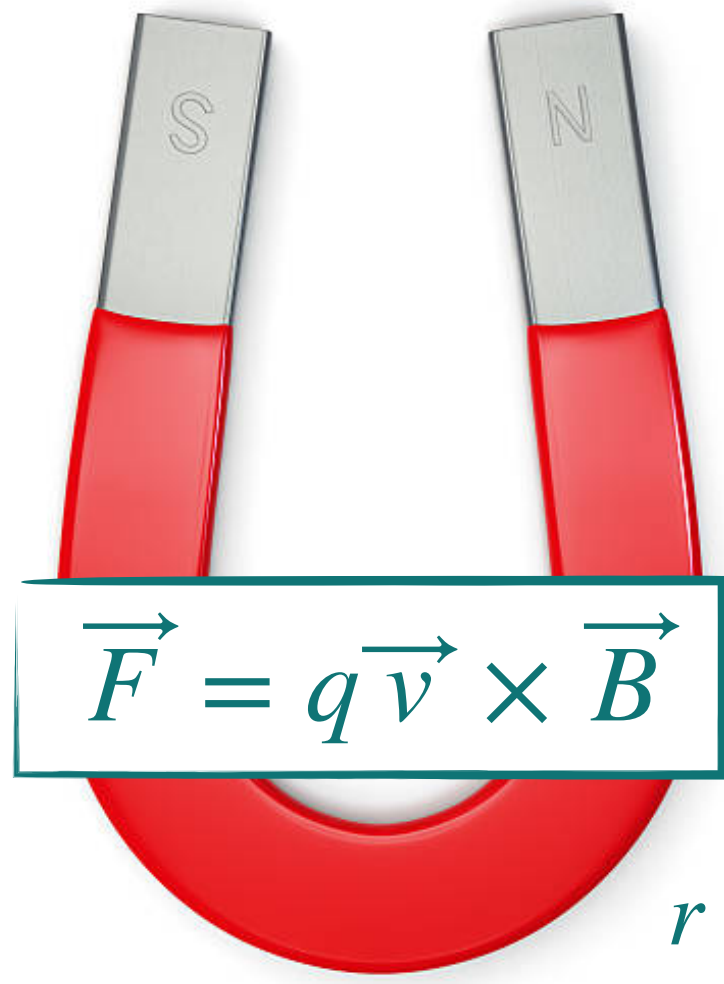


**NB! Acceleriamo sempre e solo particelle cariche NB!**

Campi elettrici  
per fornire energia



Campi magnetici  
per guidare e focalizzare



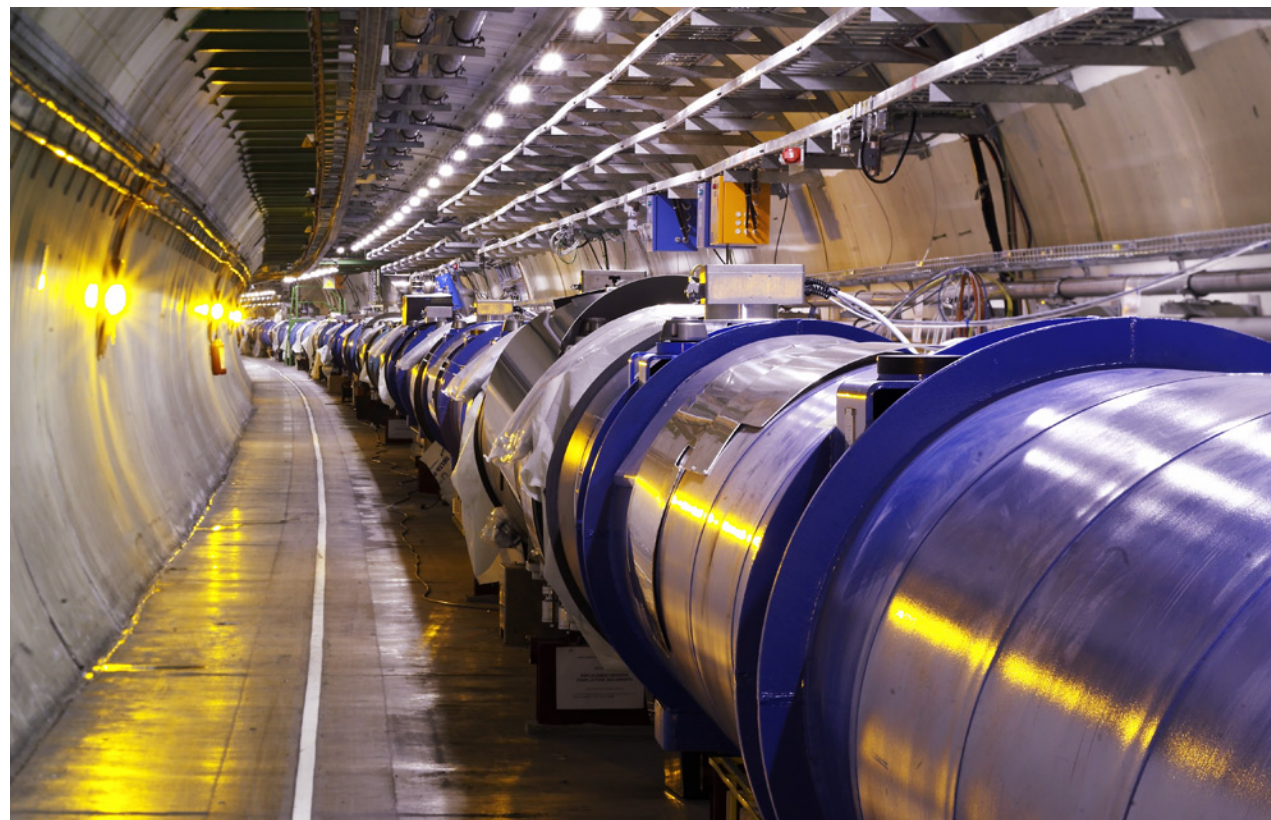
$$r = \frac{m v}{|q| B}$$





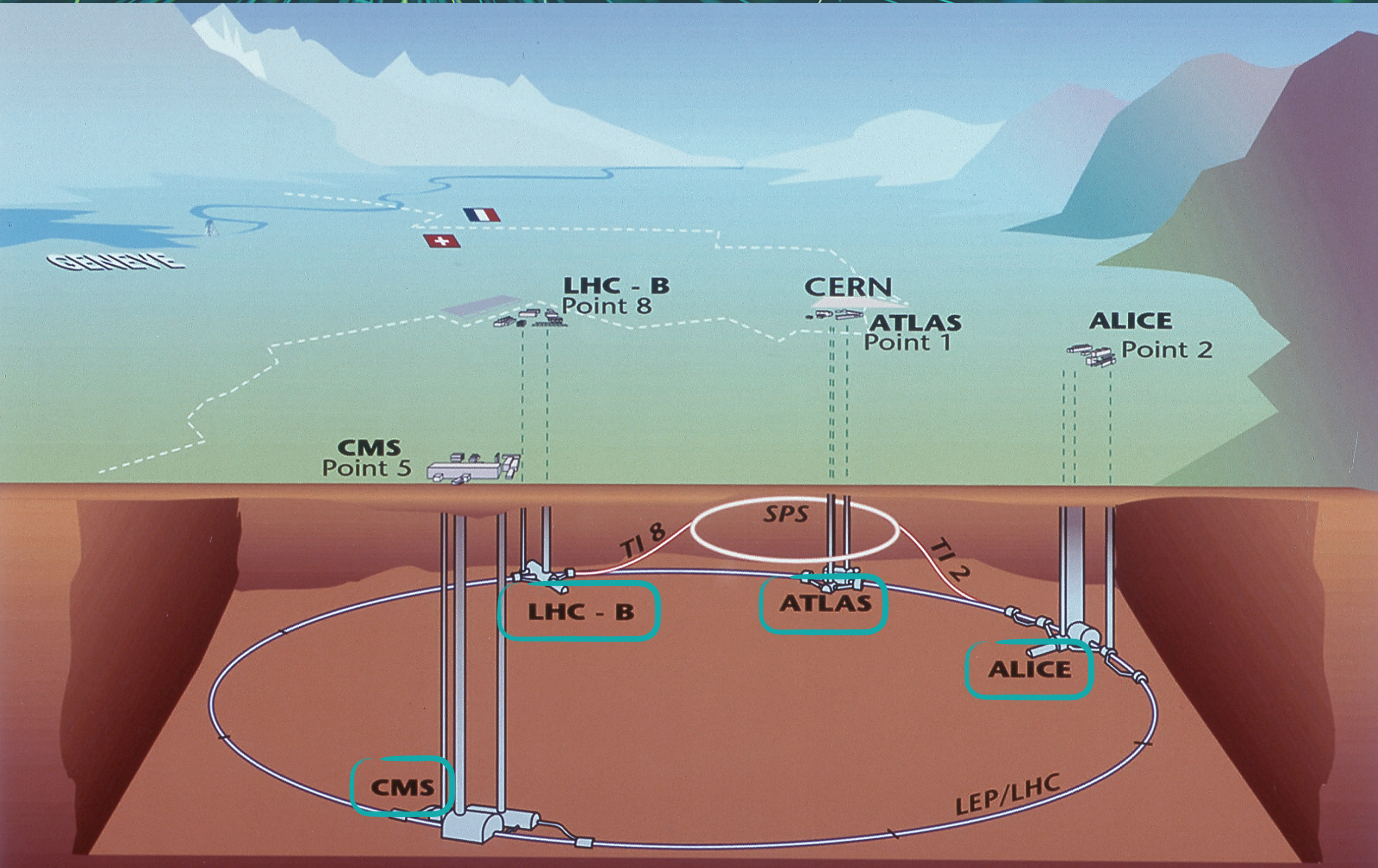
## LHC Large Hadron Collider

- anello di **27 km**
- ~ **100 m** sotto terra
- 8 settori da **~4700 tonnellate** di materiale
- **7 esperimenti** (ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, TOTEM, MoEDAL)



- **1.8 K (-271.3°)**, nello Spazio 2.7 K (-270.5°C)
  - in ogni fascio: **2808 pacchetti (~10<sup>11</sup> protoni)**
  - **luminosità**: n° particelle in ogni pacchetto, frequenza di fascio, n° di pacchetti, area trasversale del fascio
- ➔ influenza **probabilità che un dato processo avvenga**



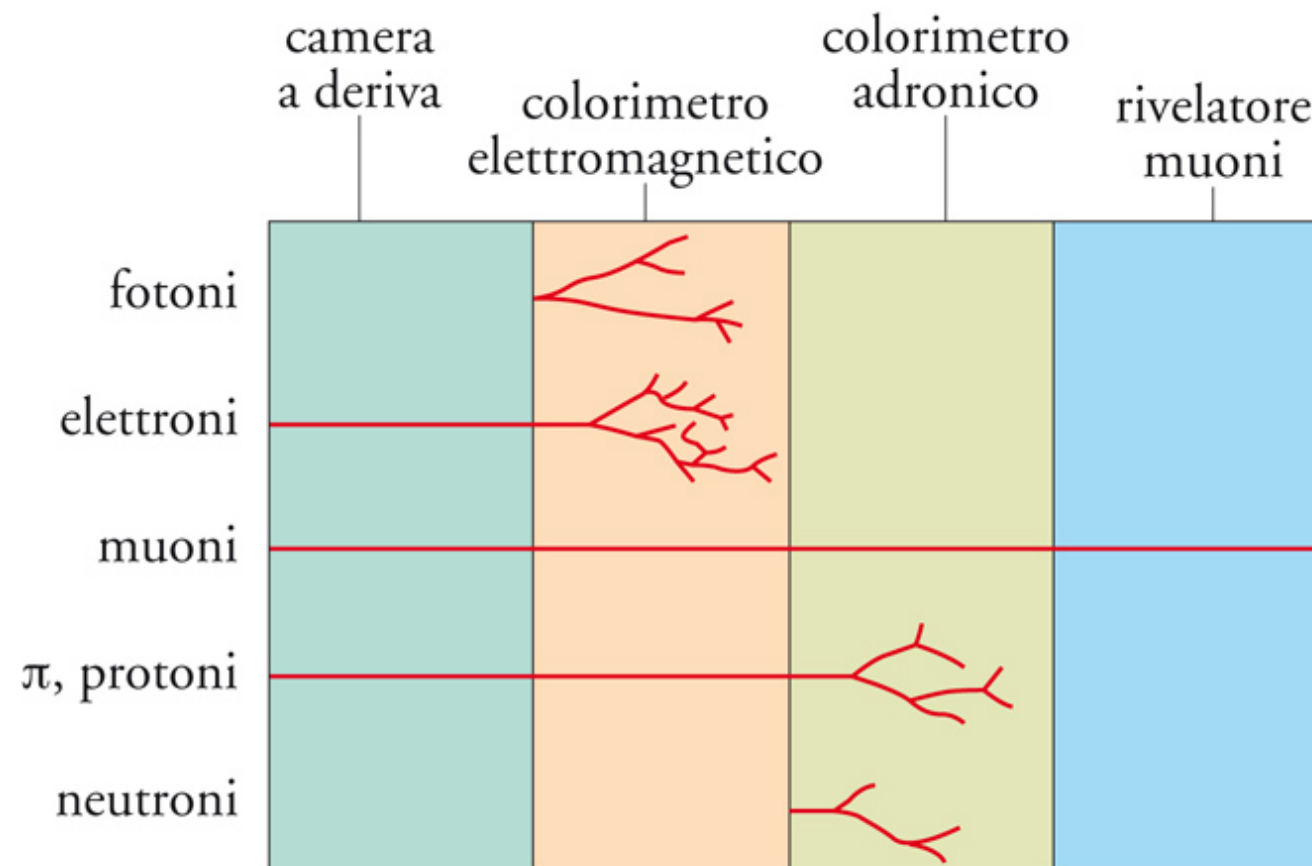
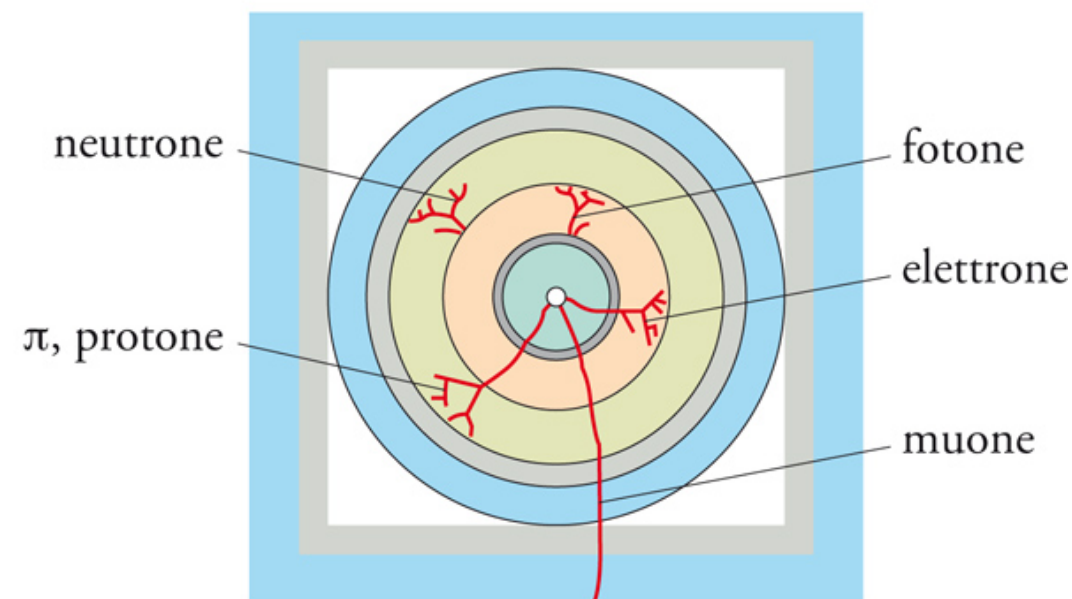




Struttura “**a cipolla**”: tanti strati cilindrici. Dal centro verso l'esterno:

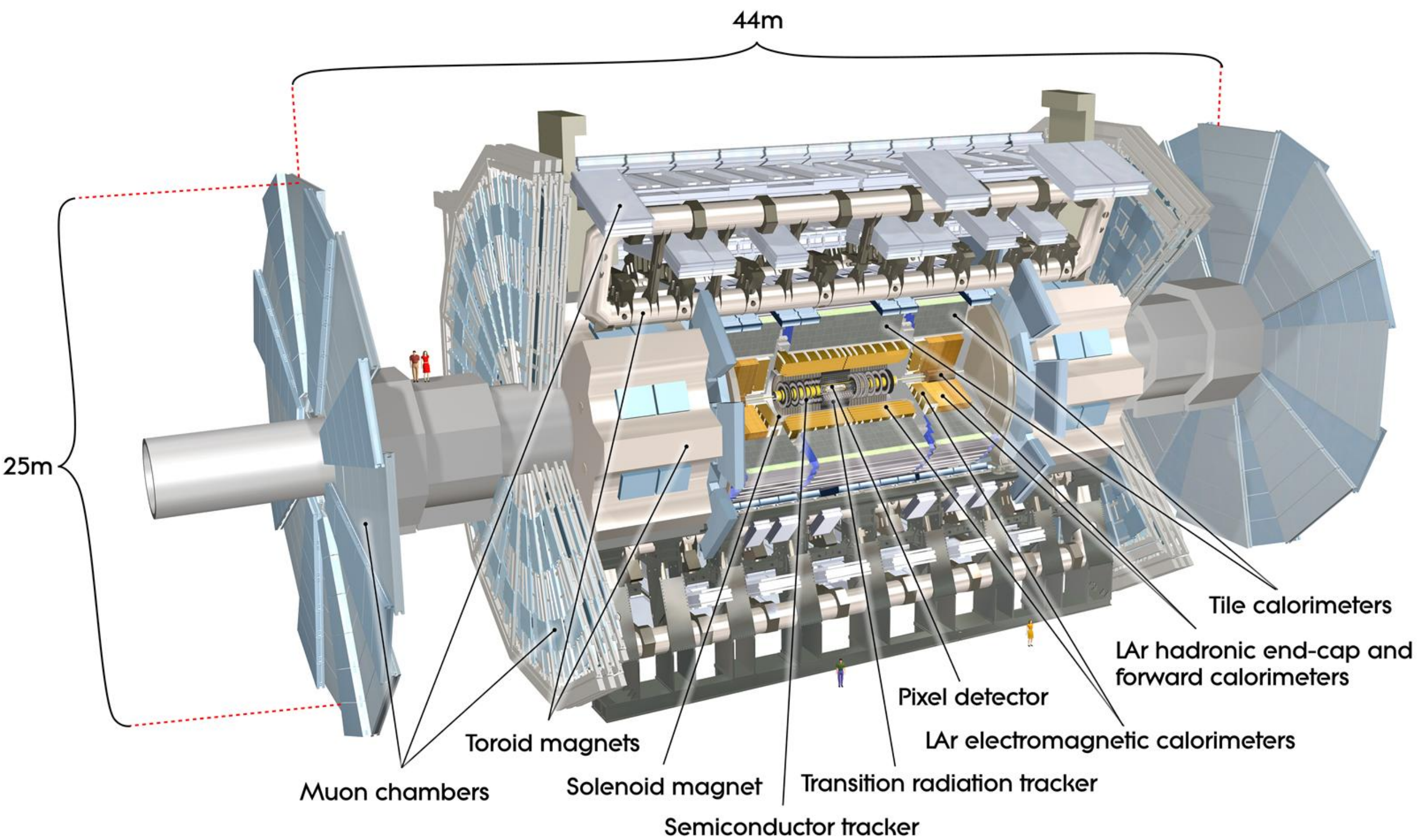
- **tracciatore** per ricostruire la traccia della particella carica;
- **calorimetro elettromagnetico** per assorbire e misurare l'energia di  $e^\pm$  e  $\gamma$ ;
- **calorimetro adronico** per assorbire e misurare l'energia degli adroni ( $n$ ,  $p$ , ...);
- **rivelatore di muoni** (tracciatore esterno);
- **campo magnetico** per deviare le particelle cariche e misurarne la quantità di moto dal raggio di curvatura.

struttura a 'cipolla'





# A Toroidal LHC Apparatus

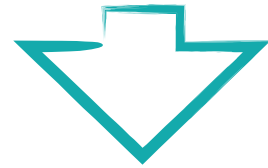




|               |   |  |  |  |   |  |
|---------------|---|--|--|--|---|--|
|               | <p>mass → <math>\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>2/3</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>u</b></p> <p>up</p>    | <p>mass → <math>\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>2/3</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>c</b></p> <p>charm</p>                      | <p>mass → <math>\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>2/3</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>t</b></p> <p>top</p>                       | <p>mass → <math>0</math></p> <p>charge → <math>0</math></p> <p>spin → <math>1</math></p> <p><b>g</b></p> <p>gluon</p>  | <p>mass → <math>\approx 126 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>0</math></p> <p>spin → <math>0</math></p> <p><b>H</b></p> <p>Higgs boson</p> |  |
| <b>QUARKS</b> | <p>mass → <math>\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>-1/3</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>d</b></p> <p>down</p> | <p>mass → <math>\approx 95 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>-1/3</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>s</b></p> <p>strange</p>                      | <p>mass → <math>\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>-1/3</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>b</b></p> <p>bottom</p>                     | <p>mass → <math>0</math></p> <p>charge → <math>0</math></p> <p>spin → <math>1</math></p> <p><b><math>\gamma</math></b></p> <p>photon</p>                                   |   |  |
|               | <p>mass → <math>0.511 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>-1</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b>e</b></p> <p>electron</p>     | <p>mass → <math>105.7 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>-1</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b><math>\mu</math></b></p> <p>muon</p>                 | <p>mass → <math>1.777 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>-1</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b><math>\tau</math></b></p> <p>tau</p>                 | <p>mass → <math>91.2 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>0</math></p> <p>spin → <math>1</math></p> <p><b>Z</b></p> <p>Z boson</p>                                 | <b>GAUGE BOSONS</b>   |  |
|               | <b>LEPTONS</b>  | <p>mass → <math>&lt; 2.2 \text{ eV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>0</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b><math>\nu_e</math></b></p> <p>electron neutrino</p> | <p>mass → <math>&lt; 0.17 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>0</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b><math>\nu_\mu</math></b></p> <p>muon neutrino</p> | <p>mass → <math>&lt; 15.5 \text{ MeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>0</math></p> <p>spin → <math>1/2</math></p> <p><b><math>\nu_\tau</math></b></p> <p>tau neutrino</p> |   | <p>mass → <math>80.4 \text{ GeV}/c^2</math></p> <p>charge → <math>\pm 1</math></p> <p>spin → <math>1</math></p> <p><b>W</b></p> <p>W boson</p> |



Il protone è una particella composta da partoni (gluoni e quark)!

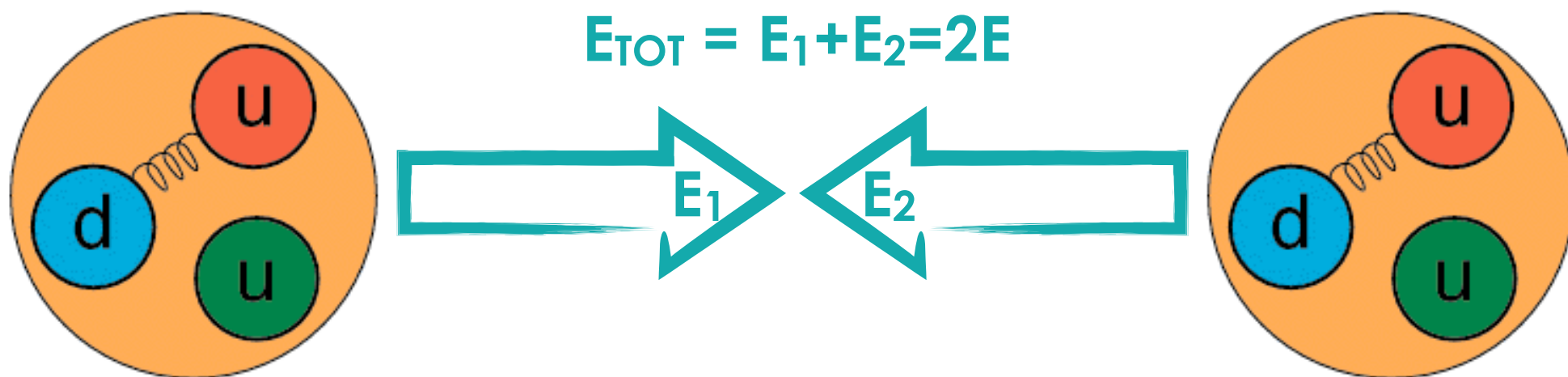


non tutta l'energia iniziale è disponibile per l'urto,  
ma solo una frazione di essa (portata dal partone che urta)

MA

Alcune caratteristiche del sistema ci aiutano a risolvere qualche problema tecnico!

## Sistema di riferimento del centro di massa



Il protone è una particella composta da partoni (gluoni e quark)!



non tutta l'energia iniziale è disponibile per l'urto,  
ma solo una frazione di essa (portata dal partone che urta)

MA

Alcune caratteristiche del sistema ci aiutano a risolvere qualche problema tecnico!

## Conservazione della quantità di moto e dell'energia

Ogni particella ha una quantità di moto (vettoriale)  $\mathbf{p}$  e un'energia (scalare)  $E$  tale che

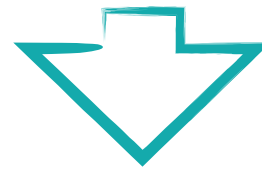
$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$$

Nelle collisioni protone-protone vengono prodotte particelle massive che **decadono in un tempo brevissimo**. In questo caso non siamo in grado di "vedere" direttamente le particelle originarie, ma **solo i loro prodotti di decadimento**.

**In un decadimento, la quantità di moto e l'energia si DEVONO conservare (in qualsiasi sistema di riferimento)!**



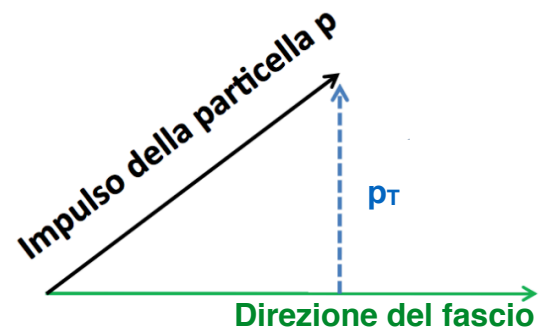
Il protone è una particella composta da partoni (gluoni e quark)!



**non tutta l'energia iniziale è disponibile per l'urto,  
ma solo una frazione di essa (portata dal partone che urta)**

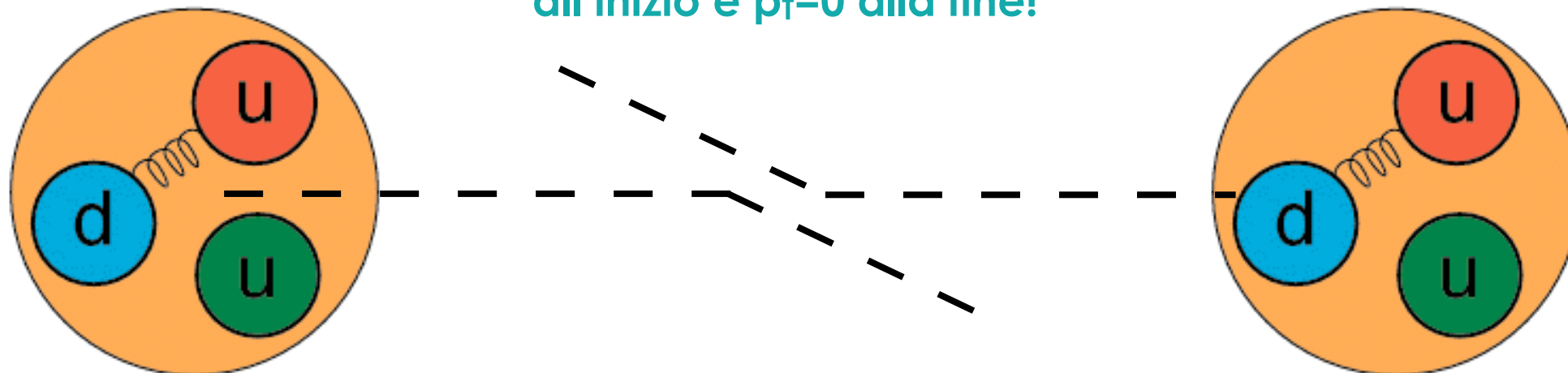
MA

Alcune caratteristiche del sistema ci aiutano a risolvere qualche problema tecnico!



## Concetto di momento trasverso $p_T$

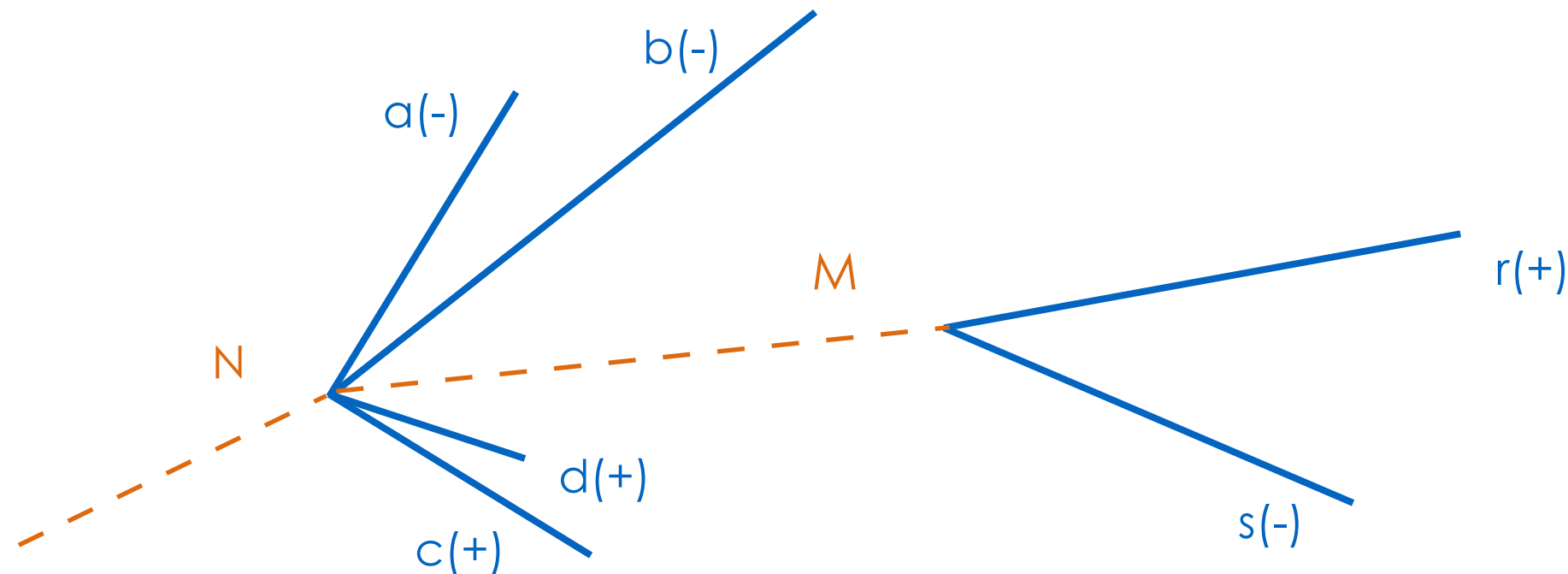
Gli impulsi dei due partoni iniziali non sono uguali, mentre **nel piano trasverso  $p_T=0$  all'inizio e  $p_T=0$  alla fine!**



# Ricostruzione di particelle

## Cosa vuol dire ricostruire una particella?

Supponiamo che il nostro rivelatore ricostruisca le **tracce** di alcune particelle cariche



- Si può facilmente dedurre che **r** e **s** provengano da una particella **M** neutra e che **a**, **b**, **c**, **d** hanno un “genitore” **N**;
- è possibile, inoltre, che **M**, **a**, **b**, **c**, **d** siano prodotte da un unico “genitore” (**N**);
- ciascuna combinazione (**a,c**), (**b,d**), (**a,b,c**), etc. potrebbe a sua volta derivare da una particella a brevissima vita media.

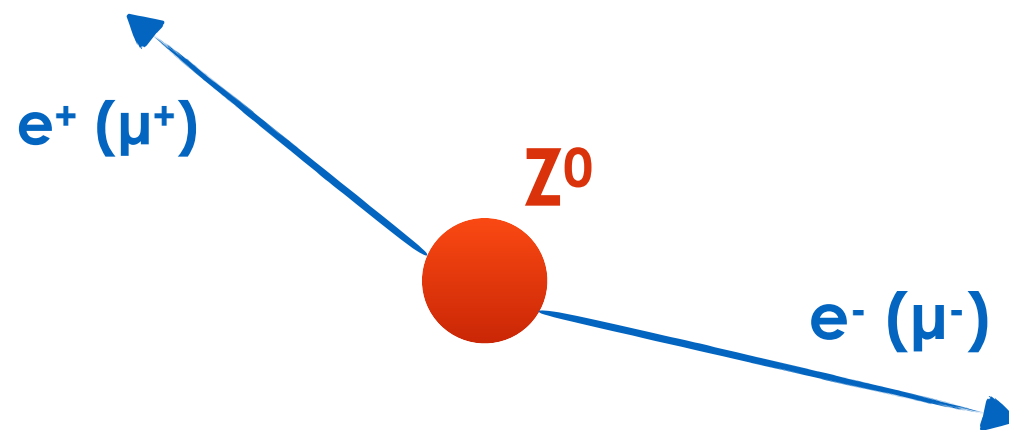


# Ricostruzione del bosone Z

$$M_Z \approx 91 \text{ GeV}$$

$$\text{vita media } \tau \approx 3 \times 10^{-25} \text{ s}$$

- Consideriamo solo i decadimenti in coppie  $e^\pm, \mu^\pm$
- Il decadimento è immediato:  $c\tau_Z \approx 10^{-16} \text{ m}$



## Segnatura dello stato finale:

- **2 muoni** segno opposto  
oppure
- **2 elettroni** segno opposto

Conoscendo l'**energia** e l'**impulso** dei **prodotti di decadimento** si può calcolare la **massa del "genitore"** (leggi di conservazione + cinematica relativistica), ovvero la **massa invariante**.

Se decade in una coppia di muoni (idem per elettroni):

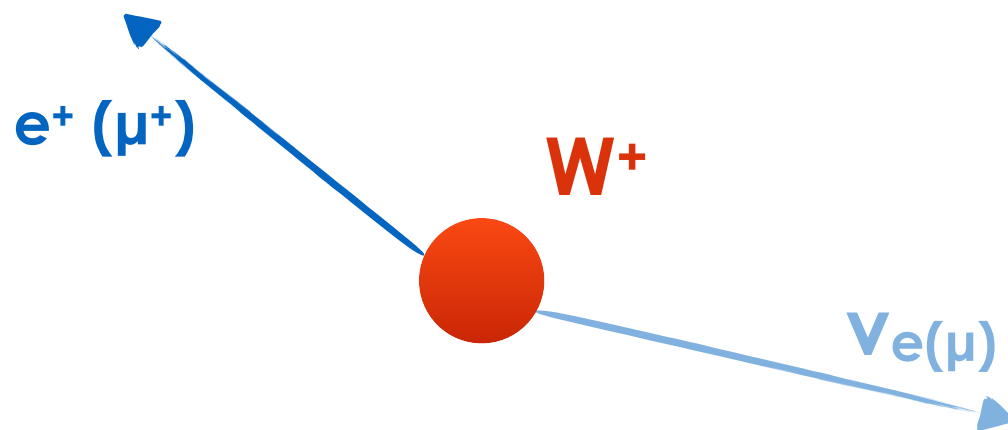
$$M_{Z_0} = \sqrt{\left(\frac{E_{\mu^+}}{c^2} + \frac{E_{\mu^-}}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{\vec{p}_{\mu^+}}{c} + \frac{\vec{p}_{\mu^-}}{c}\right)^2}$$

# Ricostruzione del bosone W

$$M_W \approx 80 \text{ GeV}$$

$$\text{vita media } \tau \approx 3 \times 10^{-25} \text{ s}$$

- Consideriamo solo i decadimenti con elettroni e muoni
- Il decadimento è immediato:  $c\tau_W \approx 10^{-16} \text{ m}$



## Segnatura dello stato finale:

- **1 muone** e un neutrino
- oppure
- **1 elettrone** e un neutrino

Non conosciamo l'**energia** e l'**impulso** di TUTTI i **prodotti di decadimento** (il neutrino non lascia traccia!), quindi abbiamo un momento trasverso mancante (stesso motivo del momento trasverso!).

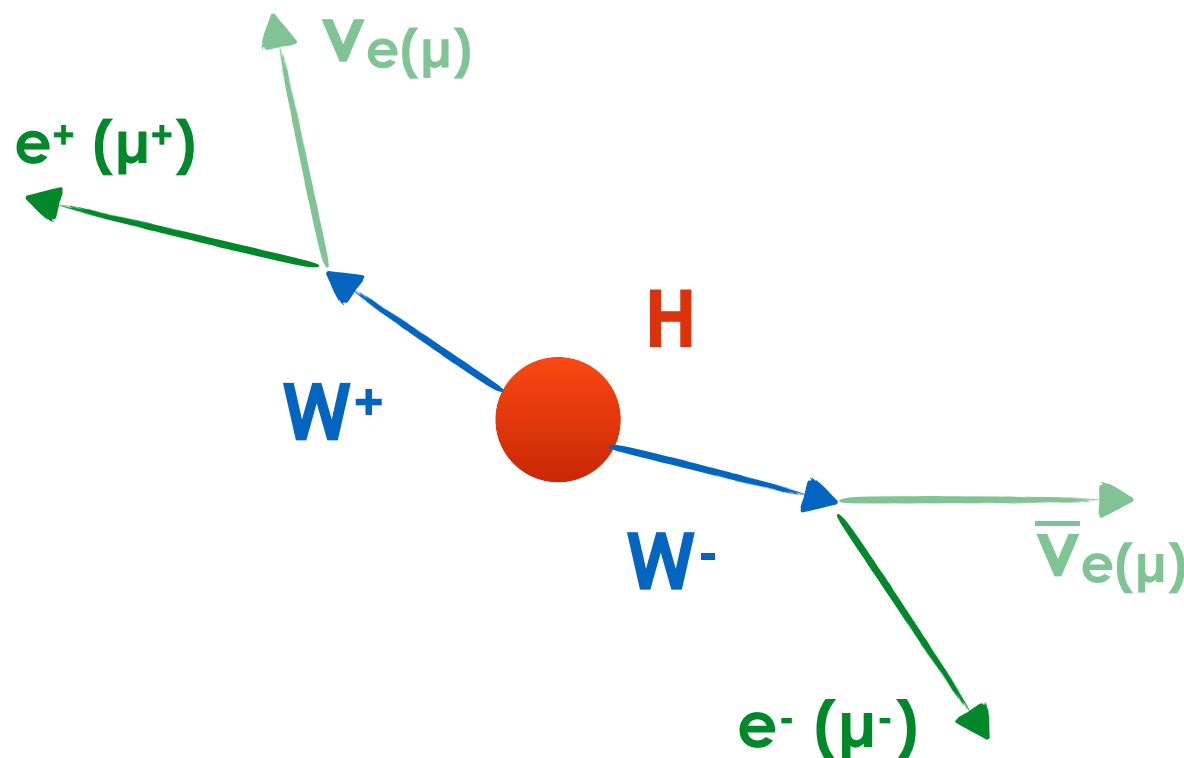
Bisogna calcolare la **massa trasversa** e l'**energia trasversa mancante** (leggi di conservazione + cinematica relativistica):

$$M_T = \sqrt{2 p_{e,T} E_T (1 - \cos(\phi_e - \phi_{E_T}))}$$



$M_H \approx 125 \text{ GeV}$   
 vita media  $\tau \approx 10^{-22} \text{ s}$

- Consideriamo solo un decadimento:
  - 2 bosoni W che decadono in **coppie di elettroni e muoni**
- Il decadimento è immediato:  $c\tau_H \approx 10^{-14} \text{ m}$
- Probabilità di decadimento in due W:  $\sim 21\%$



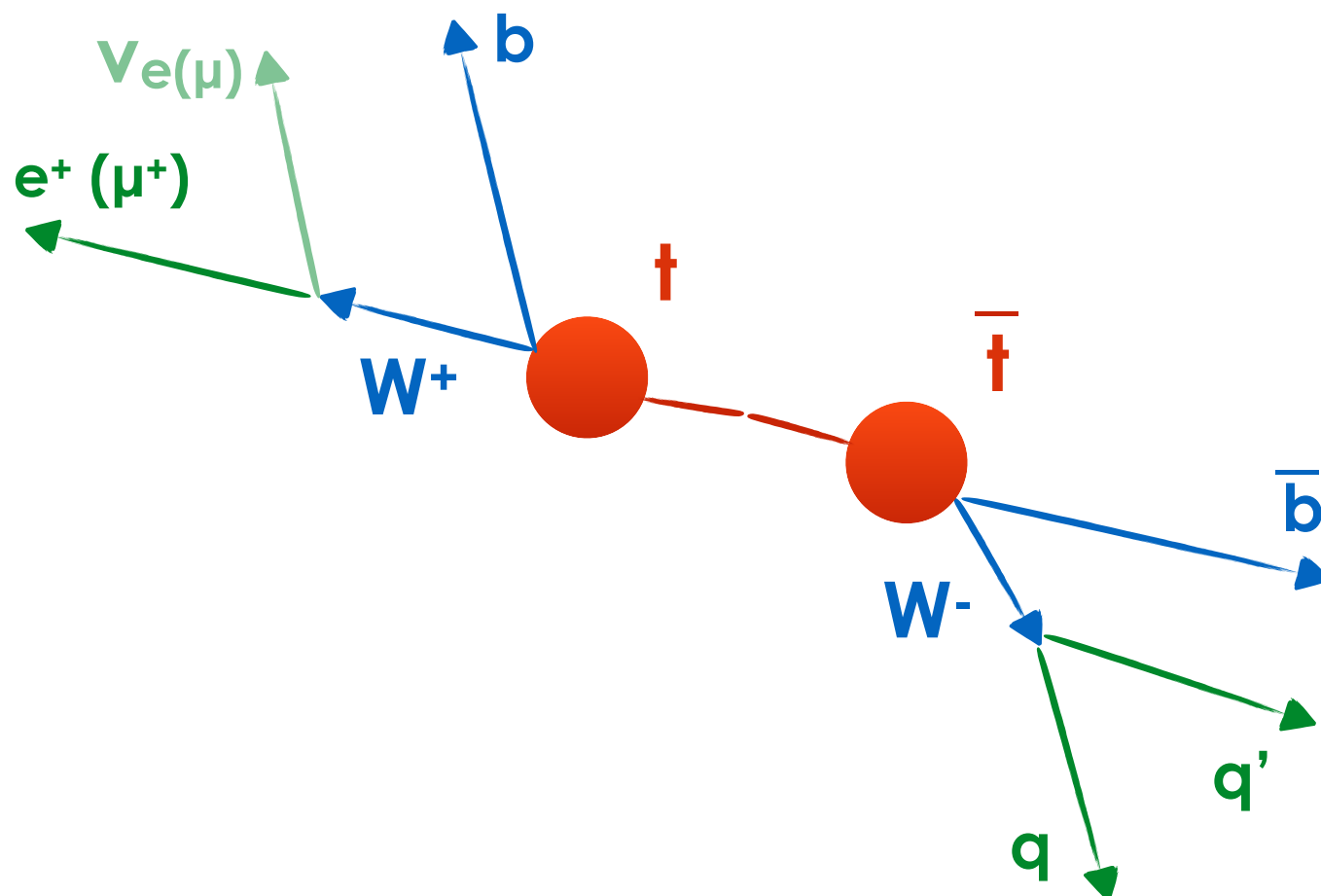
### Segnatura dello stato finale:

- **2 elettroni** (uno positivo e uno negativo)
- oppure
- **2 muoni** (uno positivo e uno negativo)

# Ricostruzione del quark Top

$M_t \approx 173 \text{ GeV}$   
 vita media  $\tau \approx 10^{-24} \text{ s}$

- Consideriamo due decadimenti:
  - leptonic: un quark bottom e un bosone W, che decade in **coppie di elettroni/muoni e neutrini**
  - adronico: un quark bottom e un bosone W, che decade in **coppie di quark**
- Il decadimento è immediato:  $c_{TH} \approx 10^{-16} \text{ m}$



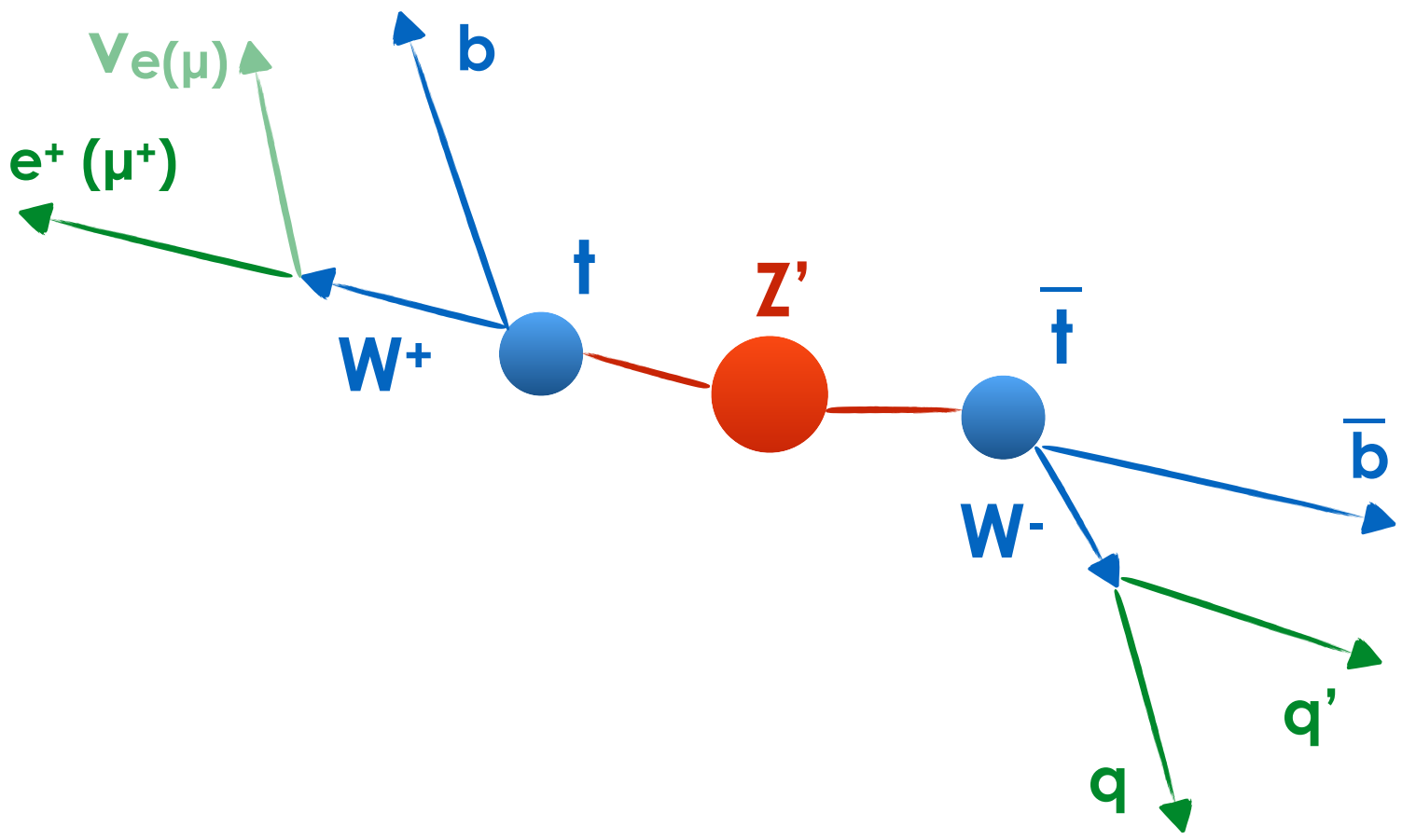
## Segnatura dello stato finale:

- 2 quark b
- 1 elettrone o muone (positivo o negativo)
- 2 quark



$M_{Z'} \approx 350 \text{ GeV}$   
 vita media  $\tau \approx 10^{-22} \text{ s}$

- Consideriamo due decadimenti:
  - leptónico: un quark bottom e un bosone W, che decade in **coppie di elettroni/muoni e neutrini**
  - adronico: un quark bottom e un bosone W, che decade in **coppie di quark**
- Il decadimento è immediato:  $c_{TH} \approx 10^{-14} \text{ m}$



**Segnatura dello stato finale:**

- 2 quark b
- 1 elettrone o muone (positivo o negativo)
- 2 quark



[Pagina principale  
con tante info](#)

## Progetto per riprodurre “a casa” l’analisi dati dell’esperimento ATLAS al CERN

### Avrete a disposizione:

- dati veri resi pubblici da ATLAS;
- programma per simulare sistema operativo (Virtual Machine);
- software: insieme di codici e script già funzionanti per analizzare dati.

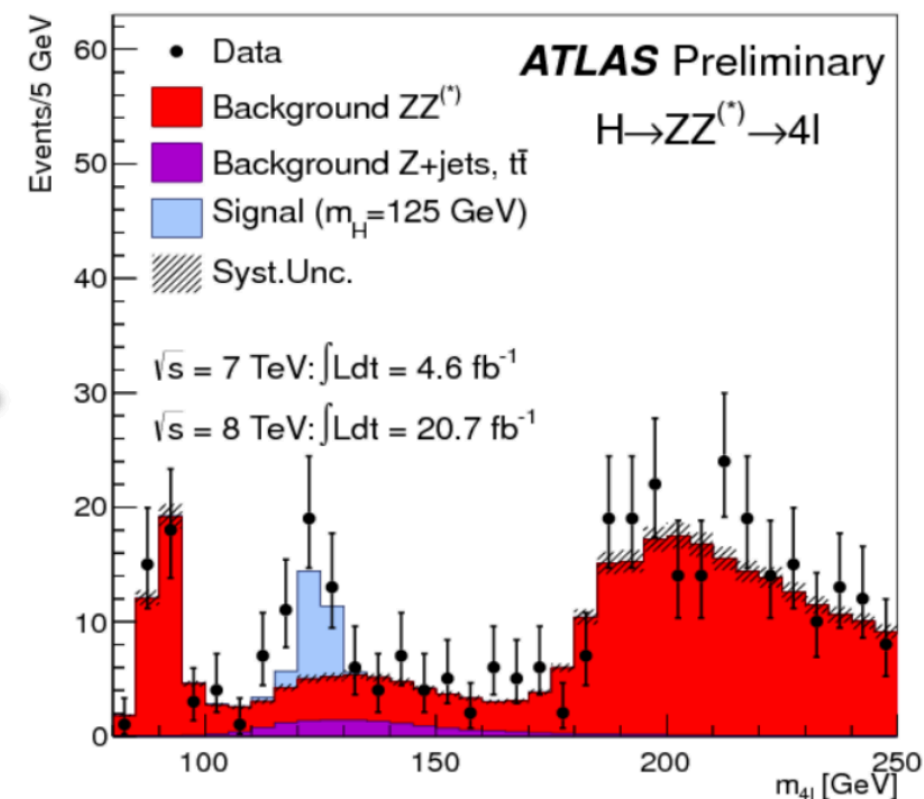
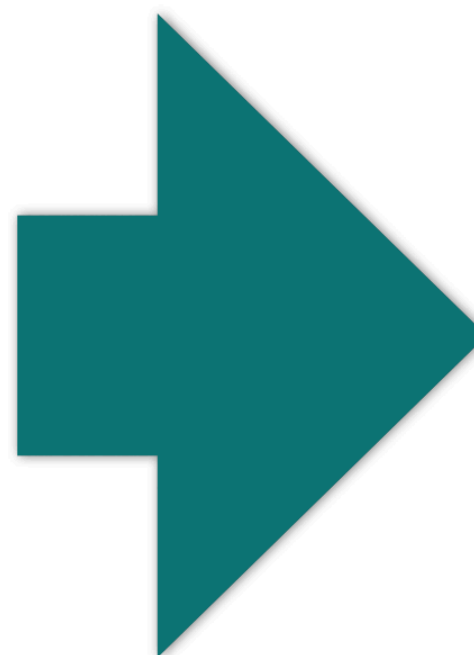
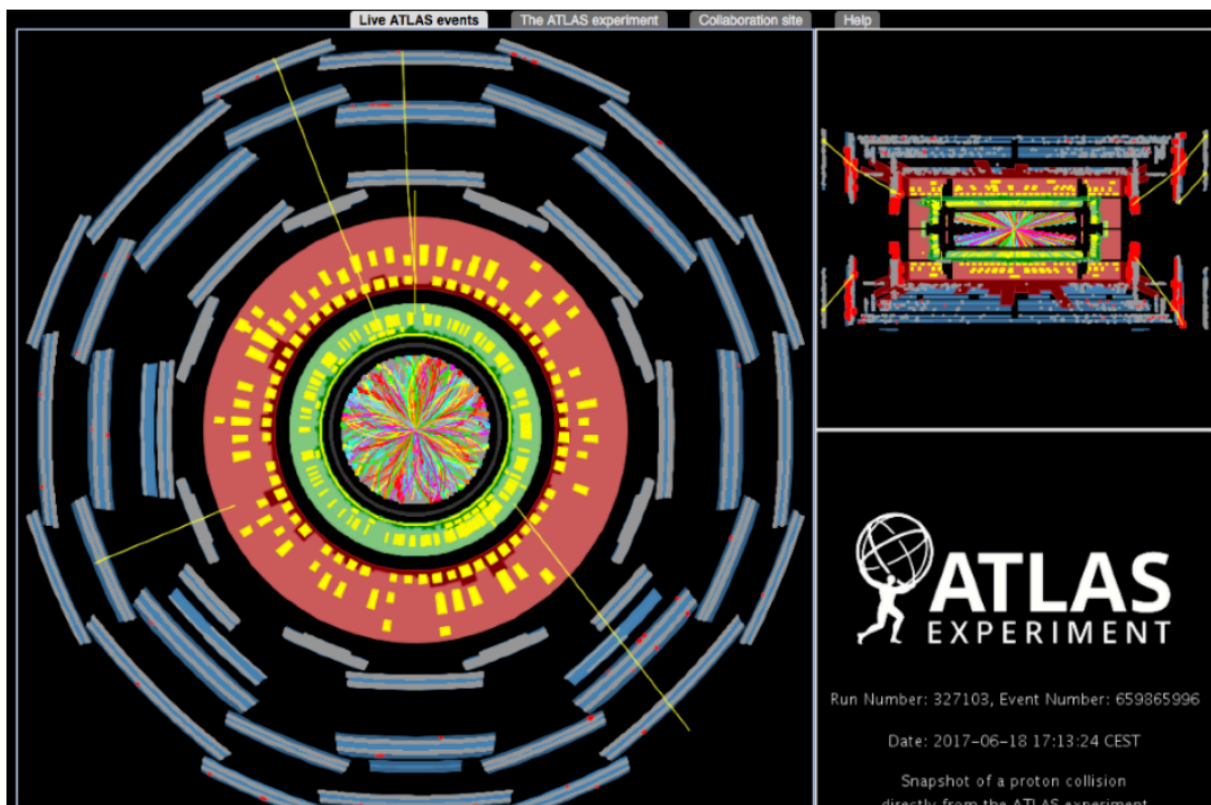
### Cosa farete:

- scegliere una tra le 7 analisi disponibili (7 diversi processi di fisica);
- riprodurre l’analisi scelta e provare a cambiare qualcosa (la curiosità è fondamentale!);
- presentare i vostri risultati a tutti, con una serie di slides dove si dovrà spiegare il fenomeno fisico scelto e il lavoro che si è fatto.



Ricostruzione degli eventi  
provenienti dall'esperimento

Grafico finale da includere  
in un articolo scientifico



COSA C'E' QUI IN MEZZO??

Glossario del linguaggio del fisico





# HANDS-ON



**Produzione del bosone W**

$$W \rightarrow l\nu_l$$

**Produzione del bosone Z**

$$Z \rightarrow l^+l^-$$

**Produzione di una coppia di bosoni: WZ**

$$WZ \rightarrow l\nu_l l'^+l'^-$$

**Produzione di una coppia di bosoni: ZZ**

$$ZZ \rightarrow l^+l^-l'^+l'^-$$

**Produzione del bosone di Higgs (H) che decade in una coppia di bosoni WW**

$$H \rightarrow W^+W^- \rightarrow l^+l^- \nu\bar{\nu}$$

**Produzione di una coppia di quark t e t**

$$t\bar{t} \rightarrow W^+W^- b\bar{b} \rightarrow q\bar{q} l\bar{\nu} b\bar{b}$$

**Produzione di Z' che decade in una coppia di quark t e t**

$$Z' \rightarrow t\bar{t} \rightarrow W^+W^- b\bar{b} \rightarrow q\bar{q} l\bar{\nu} b\bar{b}$$



Criteri di selezione (tagli) delle analisi



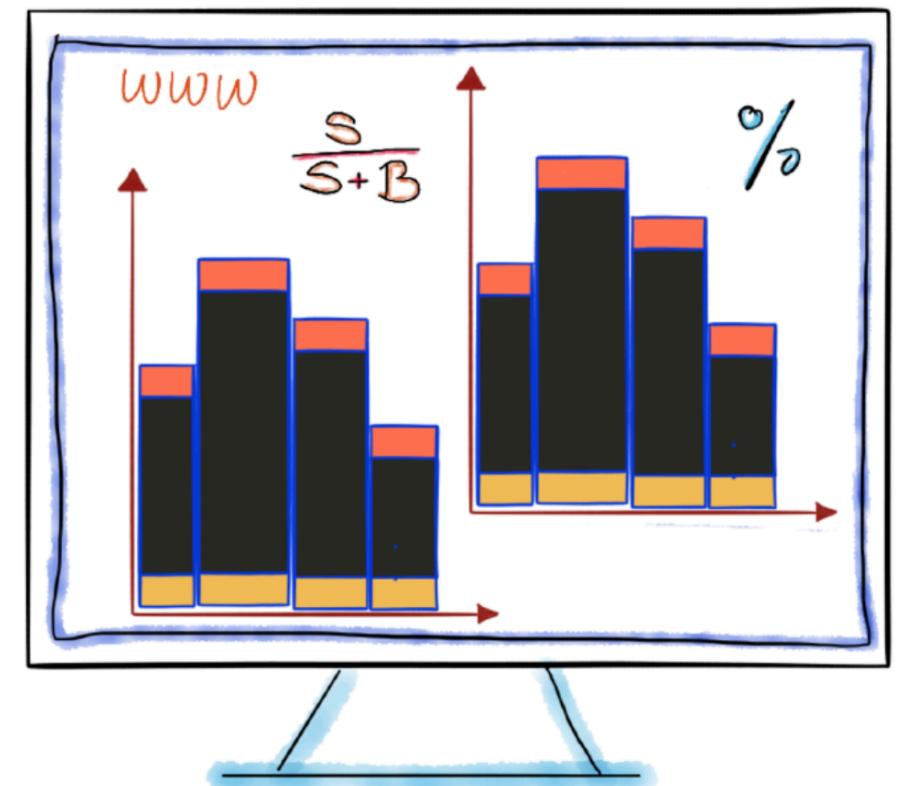
## ISTOGRAMMI

- Troviamo spesso più facile interpretare i risultati creando istogrammi di varie forme e colori invece che tabelle di numeri;
- più intuitivo da capire e più facile per interpretare i dati e trovare correlazioni tra grandezze;
- più facile per interpretare la selezione dei dati.
- Prova qui a cambiare la selezione degli eventi!



## SEGNALE E FONDO

- Segnale (S): tutti gli eventi interessanti che contengono i prodotti di decadimento delle particelle che vogliamo studiare;
- Fondo (B): tutti gli eventi che “mimano” il segnale e che possono essere rimossi (più o meno facilmente) o non rimossi affatto;
- La selezione degli eventi serve proprio per massimizzare il segnale e minimizzare il fondo!






## PYTHON

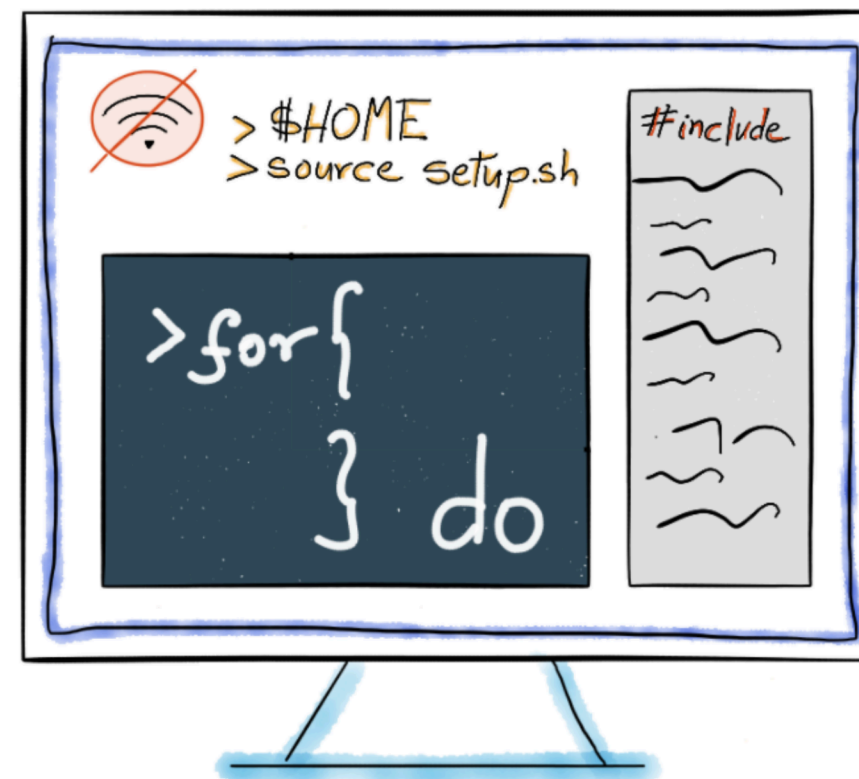
Nella ricerca spesso scopriamo **come** cercare qualcosa durante il processo stesso di ricerca, perciò servono **strumenti estremamente flessibili e personalizzabili**



**SOLUZIONE: ce li creiamo noi!**

Scriviamo il codice dei programmi di analisi in linguaggio C++ o Python (o altri ancora)

- Linguaggio scelto per questa esperienza: Python
- Ovviamente, nessuno si aspetta che sappiate usare o impariate a programmare in Python in una settimana!
- Codici già fatti (e funzionanti) a vostra disposizione, che potrete modificare.
- **Video tutorial di 10 minuti!** 



## ROOT

framework per analisi dati utilizzato da noi fisici delle particelle per leggere in modo veloce degli istogrammi



I dati sono raccolti in file con formato **.root**

Si può usare **direttamente da terminale** con una serie di comandi.

### nel terminale

```
root -l
```

```
[0] TFile *f = new TFile("percorso/nomeFile.root");
```

```
[1] f->ls();
```

```
.....
```

```
[2] nomeTree->Print();
```

```
[3] new TBrowser();
```

```
[4] .q
```

apre Root

apre file .root in percorso/

"naviga" nel file: stampa tutti i contenuti (TTree)

stampa tutte le variabili contenute nel TTree che si chiama nomeTree

apre interfaccia grafica

chiude Root

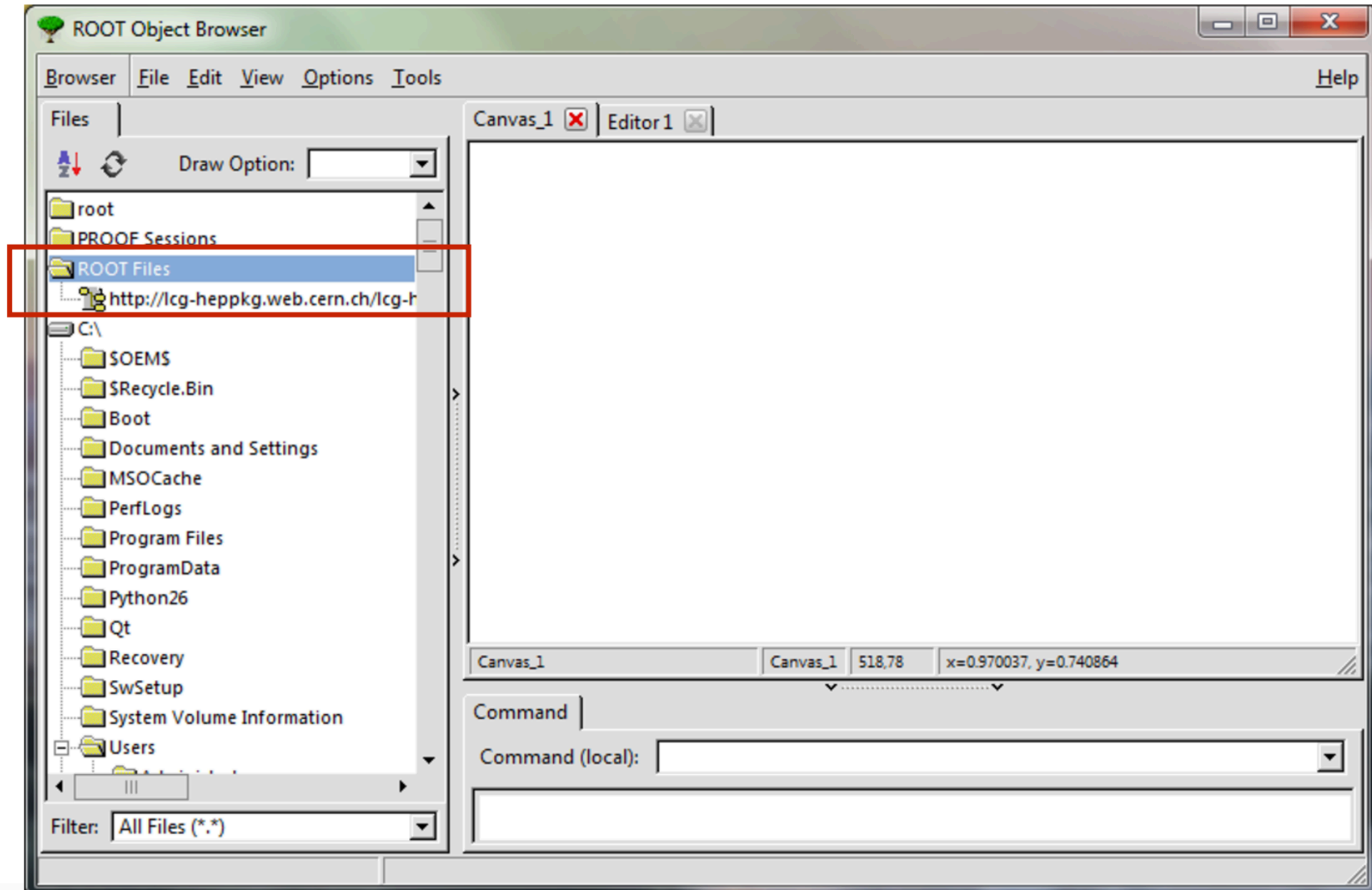
[Tutorial su Root](#)





## ROOT

Potete guardare direttamente nei file cliccando sul menù a tendina a sinistra



## ROOT

Potete guardare quali grandezze fisiche (dette “variabili”) sono contenute nel file e come sono fatte le loro distribuzioni

The screenshot displays the ROOT Object Browser window. On the left, the 'Files' panel shows a tree view with 'ROOT Files' highlighted in a red box. The main canvas shows a histogram titled 'event.fParticles.fPosZ'. The x-axis is labeled 'event.fParticles.fPosZ' and ranges from -60 to 100. The y-axis ranges from 0 to 900. A statistics box in the top right corner provides the following data:

| htemp   |       |
|---------|-------|
| Entries | 22994 |
| Mean    | 9.893 |
| RMS     | 19.1  |

At the bottom of the window, there is a 'Command' section with a 'Command (local):' input field.



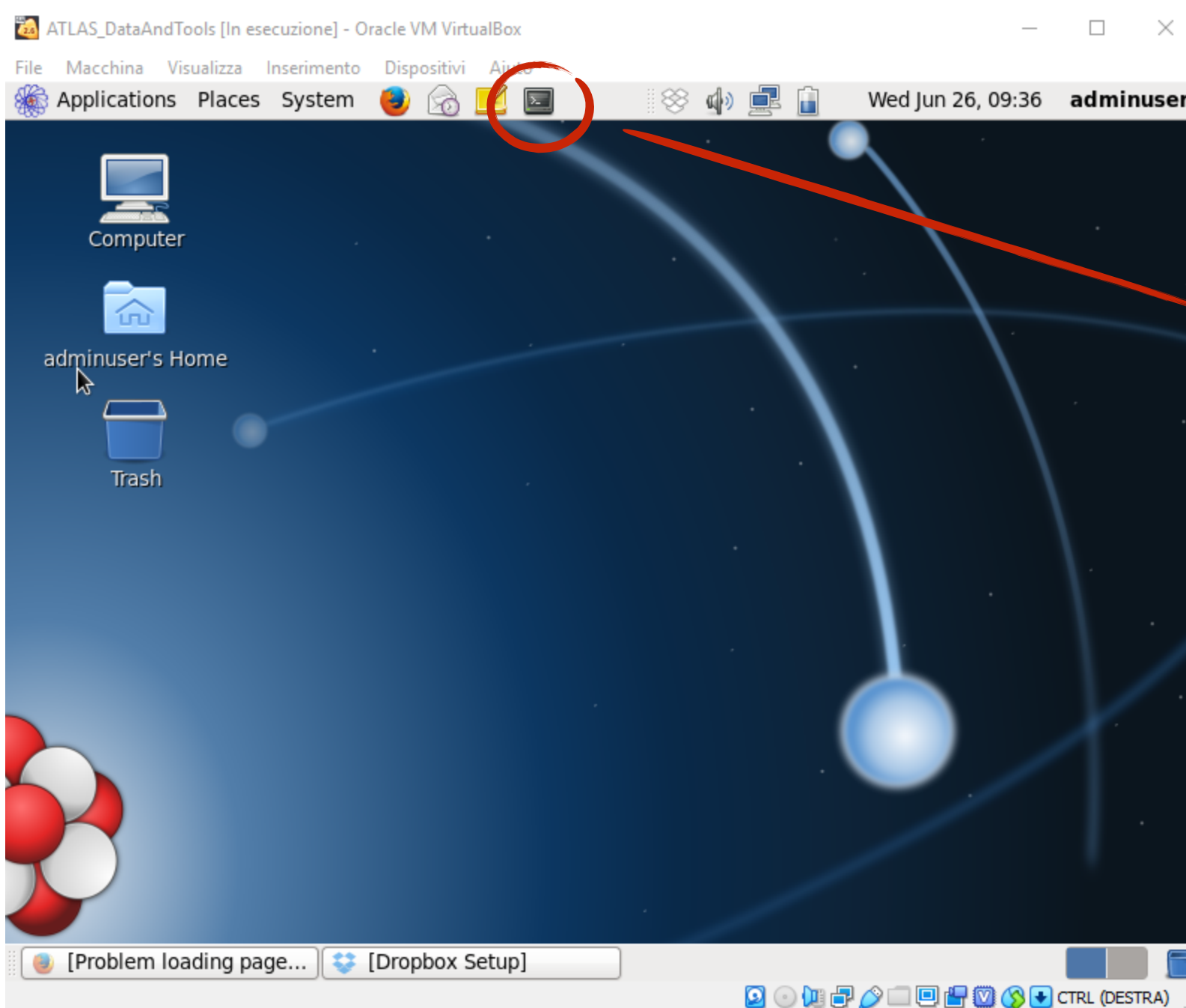
## VIRTUAL MACHINE

- Simulazione di un ambiente o sistema operativo diverso da quello installato sul vostro laptop;
- permette di utilizzare tutti i software installati sull'ambiente virtuale, come se fossero proprio sul vostro pc;
- nella **VirtualBox** potrete utilizzare un terminale e processare i dati pubblici di ATLAS!



## NAVIGARE NELLE CARTELLE: un po' di comandi utili

- uno degli strumenti che utilizzerete per fare TUTTO è il **terminale**;

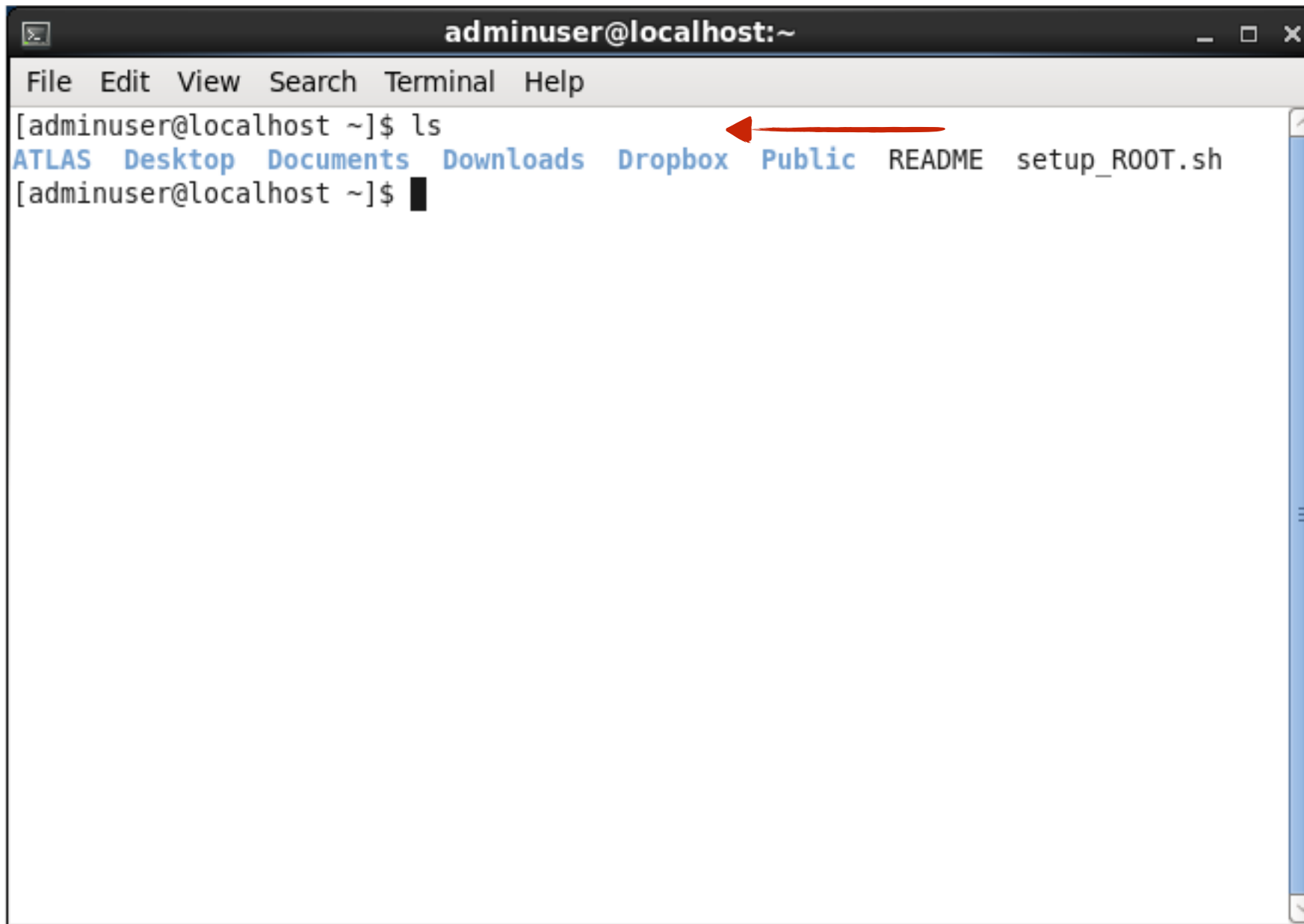


Cliccando su questa icona, aprirete un terminale nuovo su cui lavorare.



## NAVIGARE NELLE CARTELLE: un po' di comandi utili

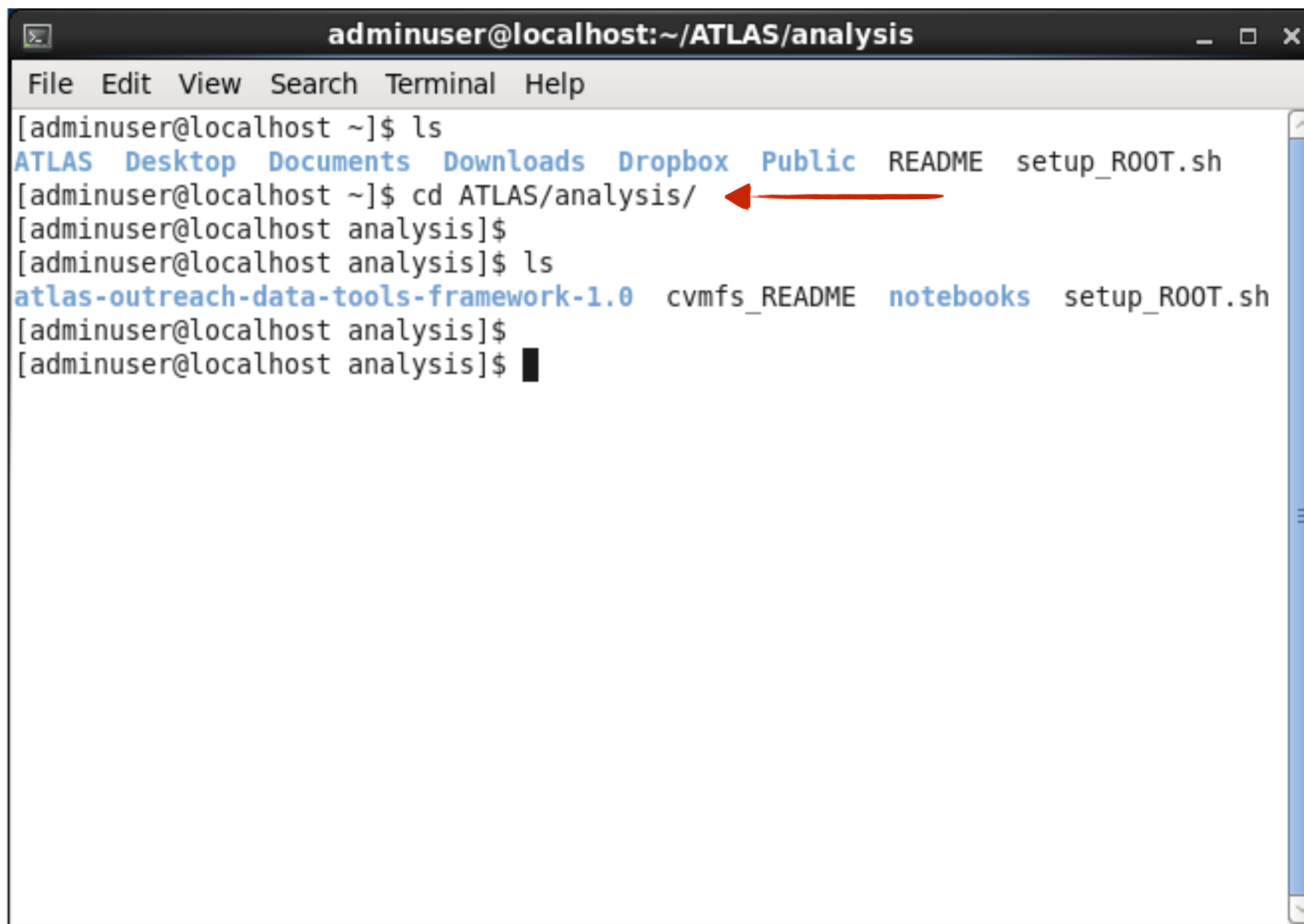
- il comando **ls** serve per “guardare” nella cartella in cui ci troviamo:
- in questo caso vedete che ci sono 6 cartelle (in blu) e due file



```
adminuser@localhost:~  
File Edit View Search Terminal Help  
[adminuser@localhost ~]$ ls  
ATLAS Desktop Documents Downloads Dropbox Public README setup_ROOT.sh  
[adminuser@localhost ~]$
```

## NAVIGARE NELLE CARTELLE: un po' di comandi utili

- il comando **cd** serve per “entrare” in una cartella:
- basta specificare il nome della cartella o il path (ovvero il percorso della cartella in cui volete andare)



```
adminuser@localhost:~/ATLAS/analysis
File Edit View Search Terminal Help
[adminuser@localhost ~]$ ls
ATLAS Desktop Documents Downloads Dropbox Public README setup_ROOT.sh
[adminuser@localhost ~]$ cd ATLAS/analysis/
[adminuser@localhost analysis]$
[adminuser@localhost analysis]$ ls
atlas-outreach-data-tools-framework-1.0 cvmfs_README notebooks setup_ROOT.sh
[adminuser@localhost analysis]$
[adminuser@localhost analysis]$
```



## NAVIGARE NELLE CARTELLE: un po' di comandi utili

- la cartella in cui c'è l'insieme di codici che ci servono è chiamata **atlas-outreach-data-tools-framework-1.0**
- dentro ci sono diverse cartelle che imparerete a riconoscere strada facendo:

```
adminuser@localhost:~/ATLAS/analysis/atlas-outreach-data-tools-framewo _ □ ×
File Edit View Search Terminal Help
[adminuser@localhost ~]$ ls
ATLAS Desktop Documents Downloads Dropbox Public README setup_ROOT.sh
[adminuser@localhost ~]$ cd ATLAS/analysis/
[adminuser@localhost analysis]$
[adminuser@localhost analysis]$ ls
atlas-outreach-data-tools-framework-1.0 cvmfs_README notebooks setup_ROOT.sh
[adminuser@localhost analysis]$
[adminuser@localhost analysis]$ cd atlas-outreach-data-tools-framework-1.0/
[adminuser@localhost atlas-outreach-data-tools-framework-1.0]$
[adminuser@localhost atlas-outreach-data-tools-framework-1.0]$ ls
Analysis      Input  PlotResults.py  README.md  RunScript.py
Configurations  Output  Plotting      results
[adminuser@localhost atlas-outreach-data-tools-framework-1.0]$
[adminuser@localhost atlas-outreach-data-tools-framework-1.0]$
```

## NAVIGARE NELLE CARTELLE: un po' di comandi utili

- la cartella in cui c'è l'insieme di codici che ci servono è chiamata **atlas-outreach-data-tools-framework-1.0**
- dentro ci sono diverse cartelle che imparerete a riconoscere strada facendo:

```
adminuser@localhost:~/ATLAS/analysis/atlas-outreach-data-tools-framework-1.0
File Edit View Search Terminal Help
[adminuser@localhost ~]$ ls
ATLAS Desktop Documents Downloads Dropbox Public README setup_ROOT.sh
[adminuser@localhost ~]$ cd ATLAS/analysis/
[adminuser@localhost analysis]$
[adminuser@localhost analysis]$ ls
atlas-outreach-data-tools-framework-1.0 cvmfs_README notebooks setup_ROOT.sh
[adminuser@localhost analysis]$
[adminuser@localhost analysis]$ cd atlas-outreach-data-tools-framework-1.0/
[adminuser@localhost atlas-outreach-data-tools-framework-1.0]$
[adminuser@localhost atlas-outreach-data-tools-framework-1.0]$ ls
Analysis      Input  PlotResults.py  README.md  RunScript.py
Configurations  Output Plotting         results
```

**Analysis:** codici di tutte e 7 le analisi

**Configurations:** script di configurazione per far partire le analisi (run) e per la creazione dei grafici finali (plot)

**Input:** file con dati e simulazioni MonteCarlo (MC)

**Output:** i vostri plot finali vengono scritti qui

**Plotting:** file di configurazione dove potete scegliere l'"estetica" dei vostri plot

**results:** quando un'analisi ha finito, crea un file .root con istogrammi, usati poi per fare i plot



## Facciamo il setup del nostro ambiente di lavoro e qualche passo in più

- prima di tutto facciamo il **setup** di tutti i pacchetti che ci servono
- poi andiamo nella **cartella del software vero e proprio**

```

$ ls

$ cd ATLAS/analysis

$ source setup_ROOT.sh

$ cd atlas-outreach-data-tools-framework-1.0
    
```

- proviamo a guardare dentro i file .root per vedere come sono fatti

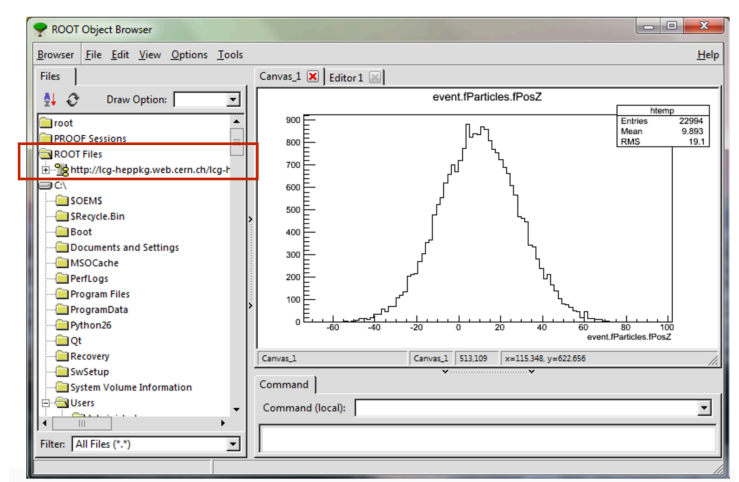
```

$ cd Input

$ cd MC

$ root -l mc_1447770.Zee.root

$ root[0] new TBrowser
...
$ root[...] .q
    
```



# Procedura completa di analisi

- a questo punto ogni gruppo ha un'analisi definitiva da fare;
- proviamo a fare tutti i passaggi:

```
$ pwd → dice dove siamo
```

```
/home/adminuser/ATLAS/analysis/atlas-outreach-data-tools-framework-1.0/Input/MC
```

```
$ cd ../../
```

- siamo tornati nella cartella principale, dove lanciamo tutti gli script per far partire l'analisi
- abbiamo molti dati a disposizione, ma per questa primissima prova ne usiamo solo il 10%
- bisogna modificare il file di configurazione per questa modifica
  - ricordiamoci di rimetterlo a posto per l'analisi vera!!



# Procedura completa di analisi

- nella cartella Configurations apriamo il file Configuration.py

```
1 Job = {
2   "Batch"      : True,
3   "Analysis"   : "TTbarAnalysis",
4   "Fraction"   : 1,
5   "MaxEvents"  : 1234567890,
6   "OutputDirectory" : "results/"
7 }
8
9 #VBSAnalysis
10
11 Processes = {
12   # Diboson processes
13   "WW"         : "Input/MC/mc_105985.WW.root",
14   "ZZ"         : "Input/MC/mc_105986.ZZ.root",
15   "WZ"         : "Input/MC/mc_105987.WZ.root",
16
17   # single top processes
18   "stop_tchan_top"      : "Input/MC/mc_110090.stop_tchan_top.root",
19   "stop_tchan_antitop" : "Input/MC/mc_110091.stop_tchan_antitop.root",
20   "stop_schan"         : "Input/MC/mc_110119.stop_schan.root",
21   "stop_wtchan"        : "Input/MC/mc_110140.stop_wtchan.root",
22
23   # top pair processes
24   "ttbar_had"          : "Input/MC/mc_117049.ttbar_had.root",
25   "ttbar_lep"          : "Input/MC/mc_117050.ttbar_lep.root",
26
27   # Z+jets processes
28   "Zee"                : "Input/MC/mc_147770.Zee.root",
29   "Zmumu"              : "Input/MC/mc_147771.Zmumu.root",
```

mettiamo 0.1 al posto di 1

qui c'è la lista di tutti i processi fisici considerati nelle analisi e il path dove trovare i relativi file .root da usare

- assicuratevi di aver salvato le modifiche fatte, sempre!
- ora torniamo sul nostro terminale:

```

$ python RunScript.py -a *Analysis
. . .
$ root -l results/WZ.root
$ root[] new TBrowser
. . .
$ root[] .q
$ python PlotResults.py Configurations/PlotConf_*Analysis.py
$ ls Output/
$ evince Output/lep_pt.pdf &

```

→ fa partire lo script per l'analisi \*Analysis  
 (qui mettete il nome della vostra analisi, es. ZAnalysis)

→ guardate gli istogrammi creati in Root

→ fa partire lo script per fare i plot  
 (anche qui mettete il nome della vostra analisi)

→ apre i file .pdf (o immagini in generale) da terminale  
 oppure potete aprirli direttamente nella cartella



- nella cartella Analysis ci sono diversi file .py, aprite **AnalysisHelpers.py** :  **Significato delle variabili**

```

def isGoodElectron(Lepton):
    if not Lepton.isTight(): return False
    if not Lepton.pt() > 25: return False
    if not Lepton.isoetconerel20() < 0.15: return False
    if not Lepton.isoptconerel30() < 0.15: return False
    return True;

def isGoodMuon(Lepton):
    if not Lepton.isTight(): return False
    if not Lepton.pt() > 25: return False
    if not Lepton.isoetconerel20() < 0.15: return False
    if not Lepton.isoptconerel30() < 0.15: return False
    return True;

def isGoodJet(jet):
    if jet.pt() < 25: return False
    if abs(jet.eta()) > 2.5: return False
    if jet.pt() < 50 and abs(jet.eta()) < 2.4 and jet.jvf() < 0.5: return False
    return True

# Utility function
def selectAndSortContainer(container, selectingFunction, sortingFunction):
    selectedContainer = [particle for particle in container if selectingFunction(particle)]
    return sorted(selectedContainer, key=sortingFunction, reverse=True)

# Event Selection Helpers
def StandardEventCuts(eventinfo):
    if not (eventinfo.triggeredByElectron() or eventinfo.triggeredByMuon()): return False
    if not eventinfo.passGRL(): return False
    if not eventinfo.hasGoodVertex(): return False
    return True;

```

l'elettrone deve essere isolato dagli altri oggetti e con  $p_T > 25$  GeV

il muone deve essere isolato dagli altri oggetti e con  $p_T > 25$  GeV

il jet deve essere ben ricostruito, con  $p_T > 25$  GeV e pseudo-rapidità sopra una certa soglia (dovuta a potere di ricostruzione dell'esperimento)

il muone deve essere isolato dagli altri oggetti e con  $p_T > 25$  GeV

gli oggetti devono passare il trigger, la GoodRunList e il vertice primario deve avere almeno 5 tracce associate

- ora aprite **ZPrimeAnalysis.py** :

## Significato delle variabili

```
def analyze(self):
    # retrieving objects
    eventinfo = self.Store.getEventInfo()
    weight = eventinfo.scalefactor()*eventinfo.eventWeight() if not self.getIsData() else 1
    self.countEvent("no cut", weight)

    # apply standard event based selection
    if not AH.StandardEventCuts(eventinfo): return False
    self.countEvent("EventCuts", weight)

    # Lepton Requirements
    goodLeptons = AH.selectAndSortContainer(self.Store.getLeptons(), AH.isGoodLepton, lambda p: p.pt())
    if not (len(goodLeptons) == 1): return False
    self.countEvent("1 high pt Leptons", weight)

    etmiss = self.Store.getEtMiss()
    if not etmiss.et() > 30.: return False
    self.countEvent("etmiss", weight)

    goodJets = AH.selectAndSortContainer(self.Store.getJets(), AH.isGoodJet, lambda p: p.pt())
    if not len(goodJets) >= 4: return False
    self.countEvent("4 jets", weight)

    if not sum([1 for jet in goodJets if jet.mv1() >= 0.7892]) >= 1: return False
    self.countEvent("btag", weight)

    lepton = goodLeptons[0]
    mTW = AH.WTransverseMass(lepton, etmiss)
    if not mTW > 30: return False;
    if not mTW + etmiss.et() > 60: return False
    self.countEvent("masses", weight)
```

- prende gli oggetti ricostruiti e li "pesa"
- conta gli eventi che passano i diversi tagli della selezione
- esattamente un leptone "buono"
- energia trasversa mancante > 30 GeV
- almeno 4 jet "buoni"
- almeno 1 jet proveniente da quark b
- massa trasversa del W + energia trasversa mancante > 60 GeV



- nello stesso file, un po' più in basso:

```
# vertex histograms
self.hist_vxp_z.Fill(eventinfo.primaryVertexPosition(), weight)
self.hist_pvxp_n.Fill(eventinfo.numberOfVertices(), weight)

# W boson histogram
self.WtMass.Fill(mTW, weight)

# missing transverse momentum histogram
self.hist_etmiss.Fill(etmiss.et(), weight)

# lepton histograms
self.hist_leptpt.Fill(lepton.pt(), weight)
self.hist_lepteta.Fill(lepton.eta(), weight)
self.hist_leptE.Fill(lepton.e(), weight)
self.hist_leptphi.Fill(lepton.phi(), weight)
self.hist_leptch.Fill(lepton.charge(), weight)
self.hist_leptID.Fill(lepton.pdgId(), weight)
self.hist_leptptc.Fill(lepton.isoetconerel30(), weight)
self.hist_leptetc.Fill(lepton.isoetconerel20(), weight)
self.hist_lepz0.Fill(lepton.z0(), weight)
self.hist_lepd0.Fill(lepton.d0(), weight)

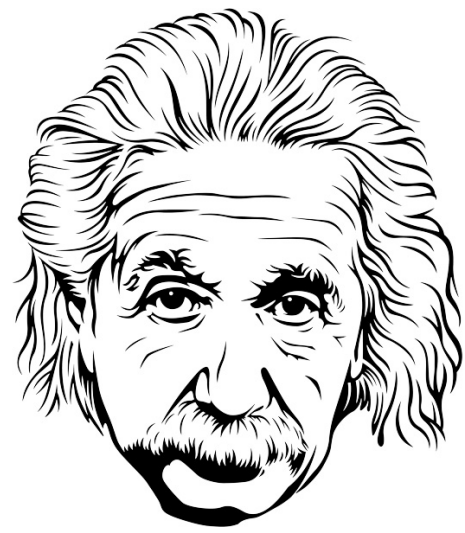
# jet histograms
self.hist_njets.Fill(len(goodJets), weight)
[self.hist_jetm.Fill(jet.m(), weight) for jet in goodJets]
[self.hist_jetspt.Fill(jet.pt(), weight) for jet in goodJets]
[self.hist_jetJVF.Fill(jet.jvf(), weight) for jet in goodJets]
[self.hist_jeteta.Fill(jet.eta(), weight) for jet in goodJets]
[self.hist_jetmv1.Fill(jet.mv1(), weight) for jet in goodJets]
return True
```

qui vengono riempiti gli istogrammi con le caratteristiche degli eventi che hanno passato tutti i tagli della selezione



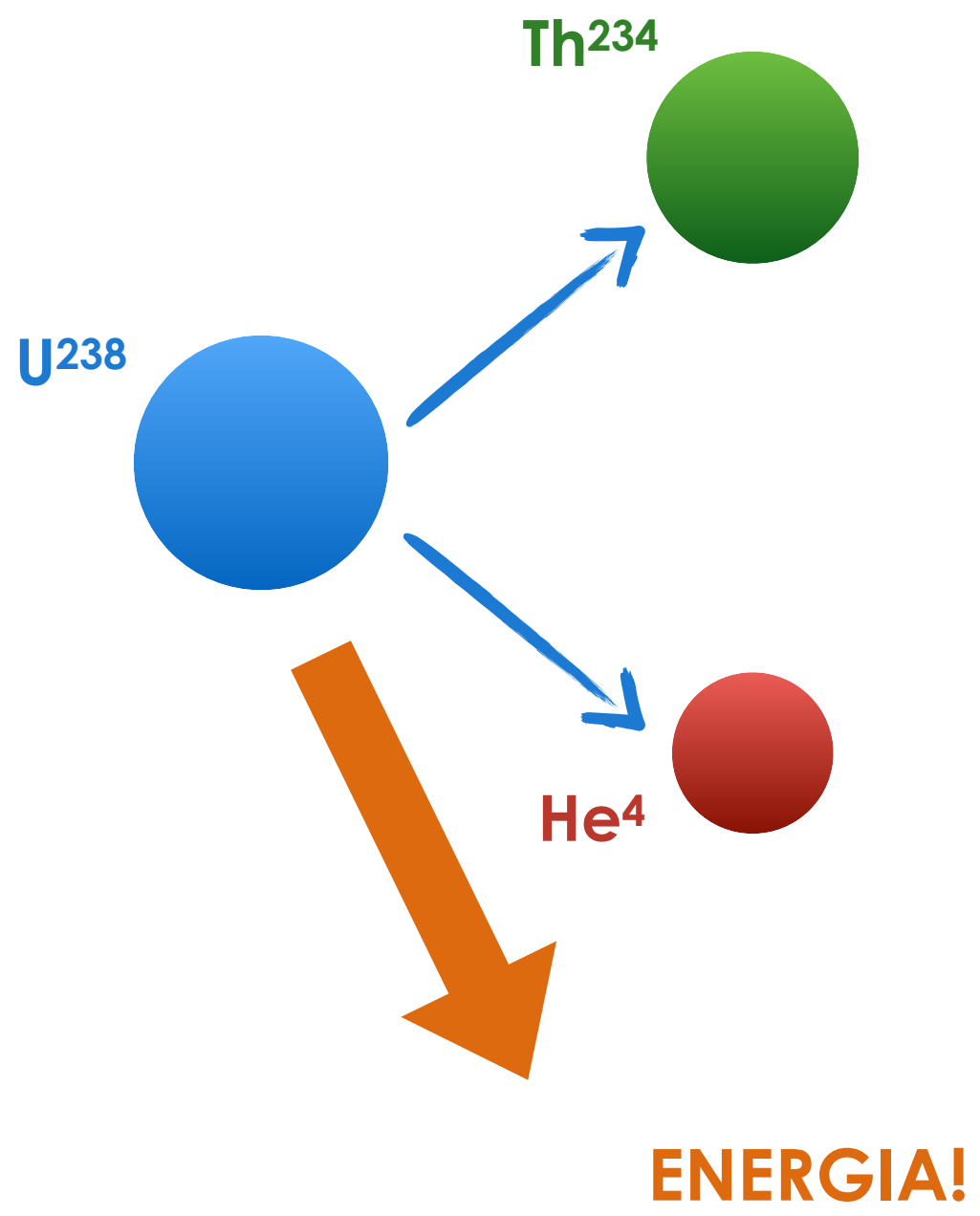
# BACKUP





$$E = m c^2$$

1. La massa, considerata isolatamente, non si conserva, ma subisce continue variazioni (aumenta quando assorbe energia, diminuisce quando la perde).
2. La massa è una forma di energia.
3. Qualsiasi corpo a riposo possiede un'energia per il solo fatto di avere una massa.
4. La conservazione dell'energia comprende: energia cinetica, energia potenziale e massa.



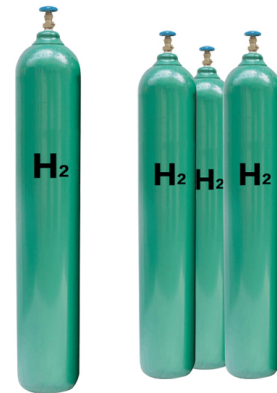
La somma della massa dei due prodotti è minore della massa iniziale!

Massa mancante:  
 $7,6 \times 10^{-30}$  kg



★ **Struttura:**

- **Sorgente** (elettroni, protoni):
- Uno o più **tubi a vuoto**;
- Elementi **acceleranti** e di **guida/focalizzazione**;
- **Bersaglio** (o target o fascio stesso).



## ★ Struttura:

- **Sorgente** (elettroni, protoni):
- Uno o più **tubi a vuoto**;
- Elementi **acceleranti** e di **guida/focalizzazione**;
- **Bersaglio** (o target o fascio stesso).



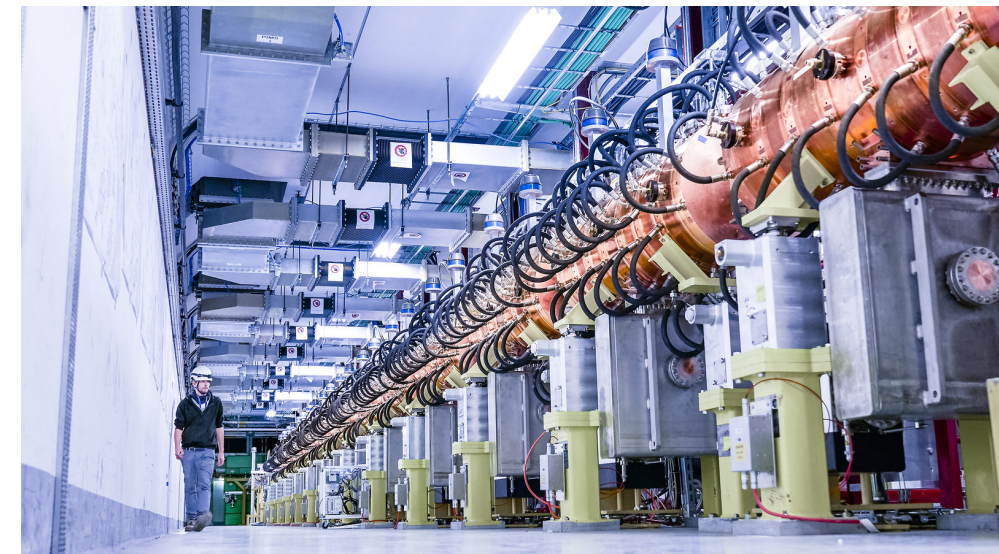
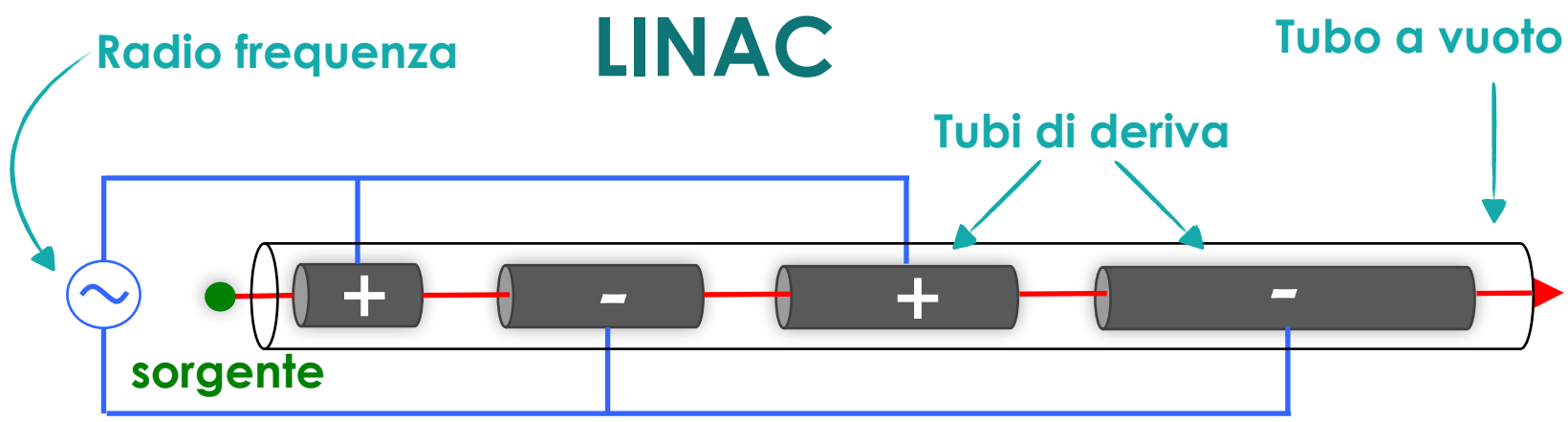
## ★ Tipologia dipende da:

- **Tipo di particella accelerata** ( $e^+/e^- + p/\text{anti-}p$ );
- **Forma**: lineare o circolare;
- **Bersaglio**: fisso o collisionatori (collider).

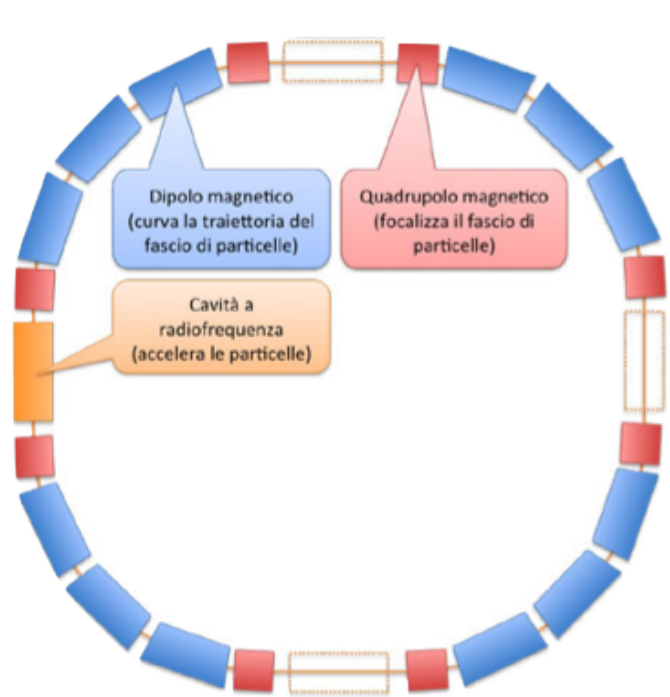


**Diversi limiti:**  
 $E_{\text{max}}$ ,  $I_{\text{max}}$ , **costi**

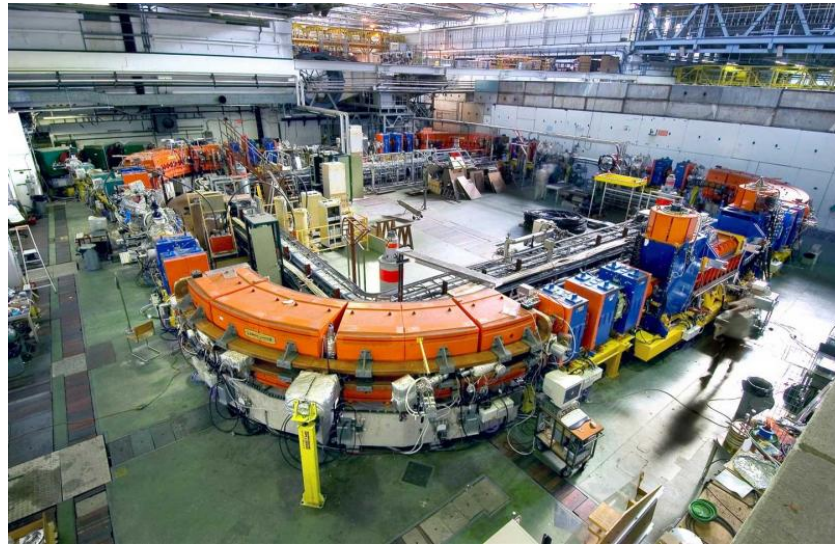




## SINCROTRONI



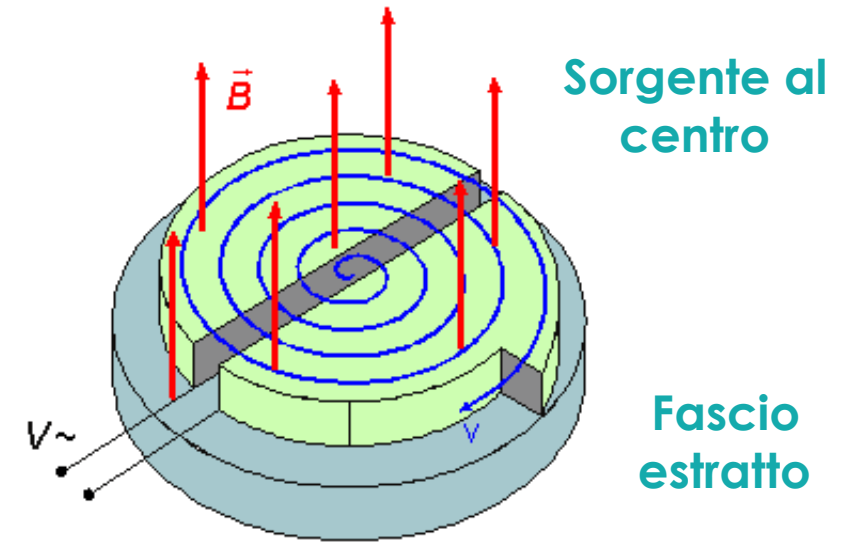
LEIR



CNAO



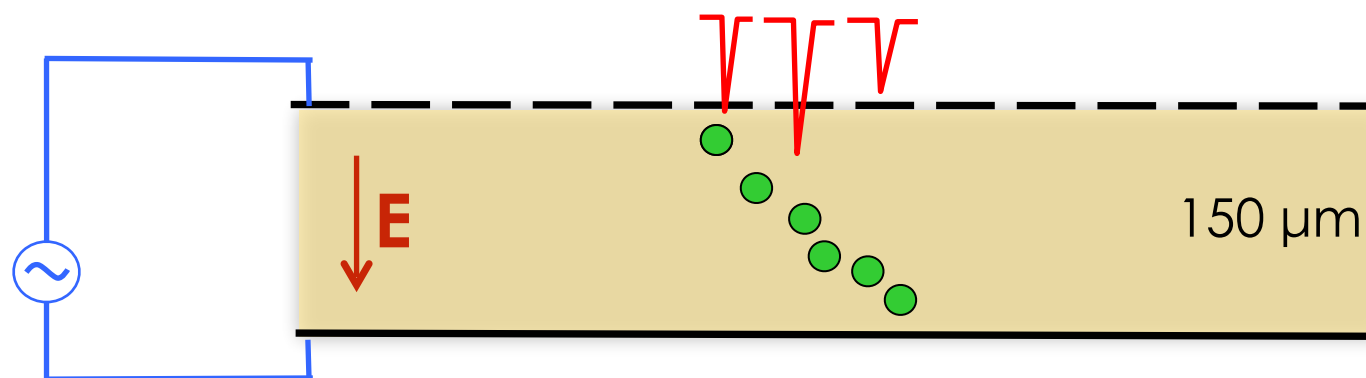
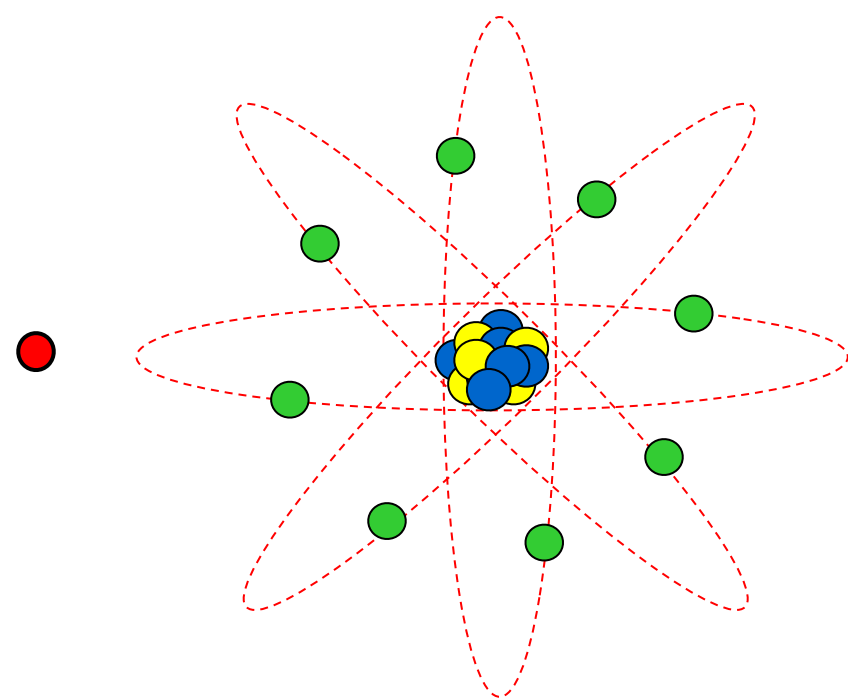
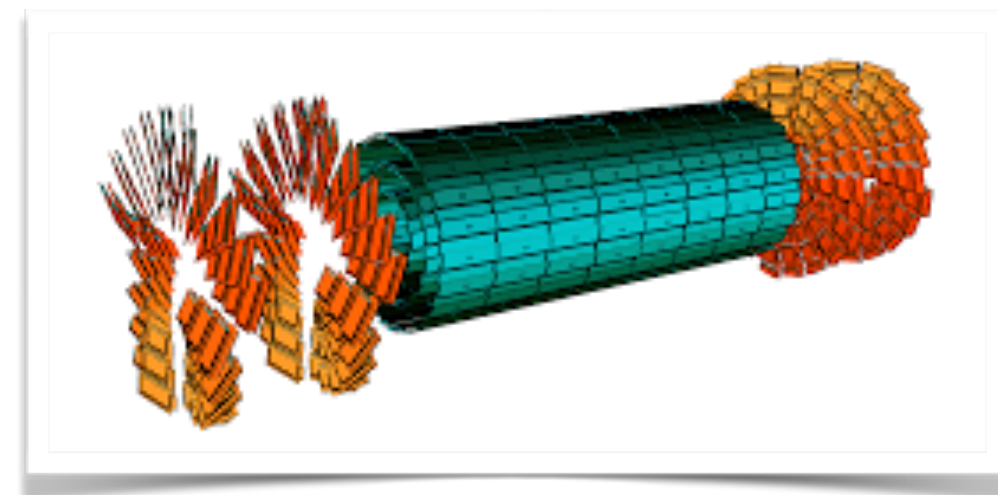
## CICLOTRONI





Le particelle cariche **ionizzano** il materiale che attraversano. Le cariche libere vengono raccolte su **elettrodi dove si registra un segnale**.

- volume cilindrico di **~ 2.5 m**;
- più di 10 strati di **pixel** (celle  $100 \times 150 \mu\text{m}^2$ ) vicino al punto di interazione;
- fornisce tracce di particelle cariche con **alta precisione**.

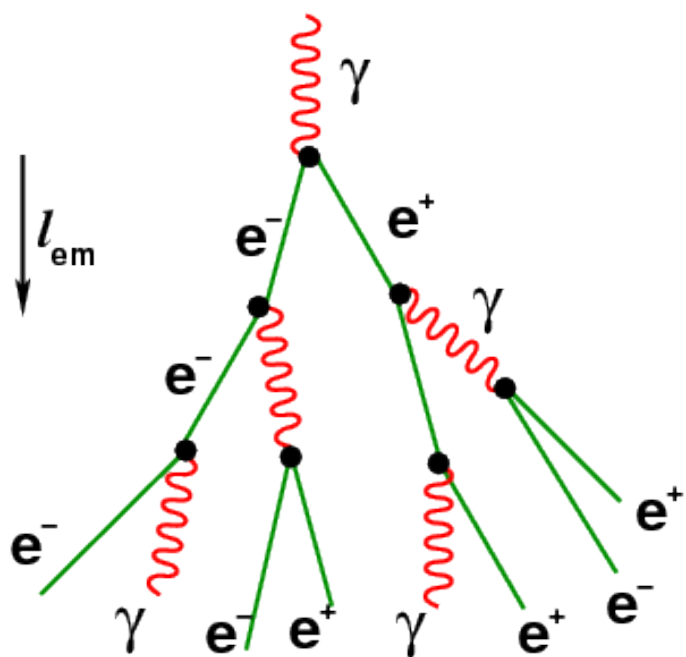




- **Assorbono completamente** le particelle per cui sono costruiti e ne misurano **l'energia**;
- tipicamente composti da strati di **materiale passivo** (assorbitore) e strati di **materiale sensibile** (scintillatori, rivelatori a gas, liquidi,...);
- calorimetri elettromagnetici possono essere anche **omogenei** (cristalli, scintillatori,...).

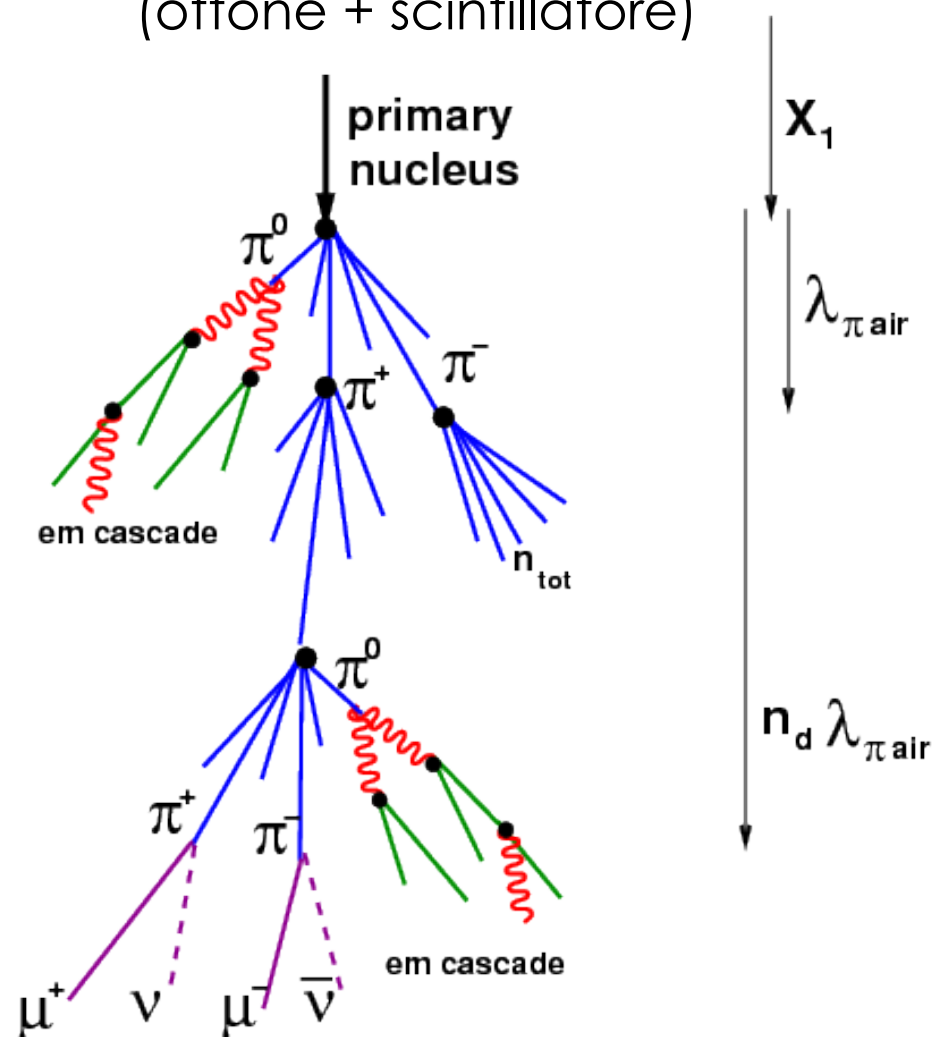
## Sciame elettromagnetico

calorimetro omogeneo  
(~70000 cristalli di PbWO<sub>4</sub>)



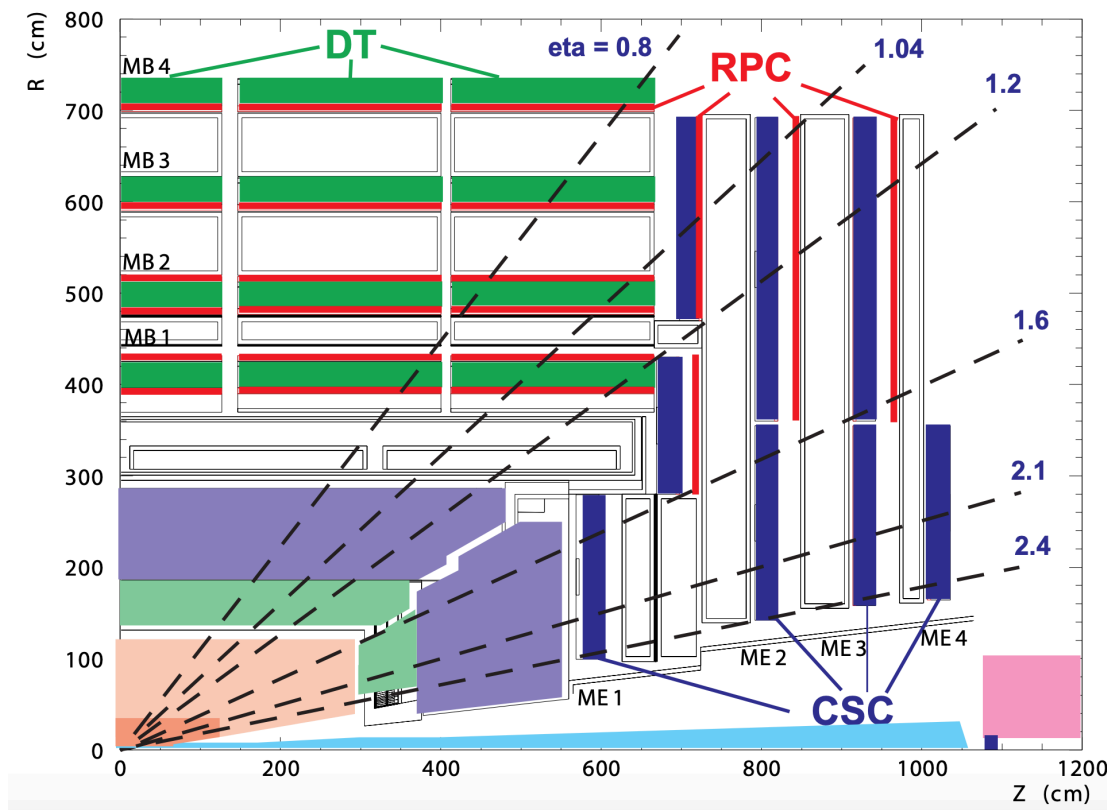
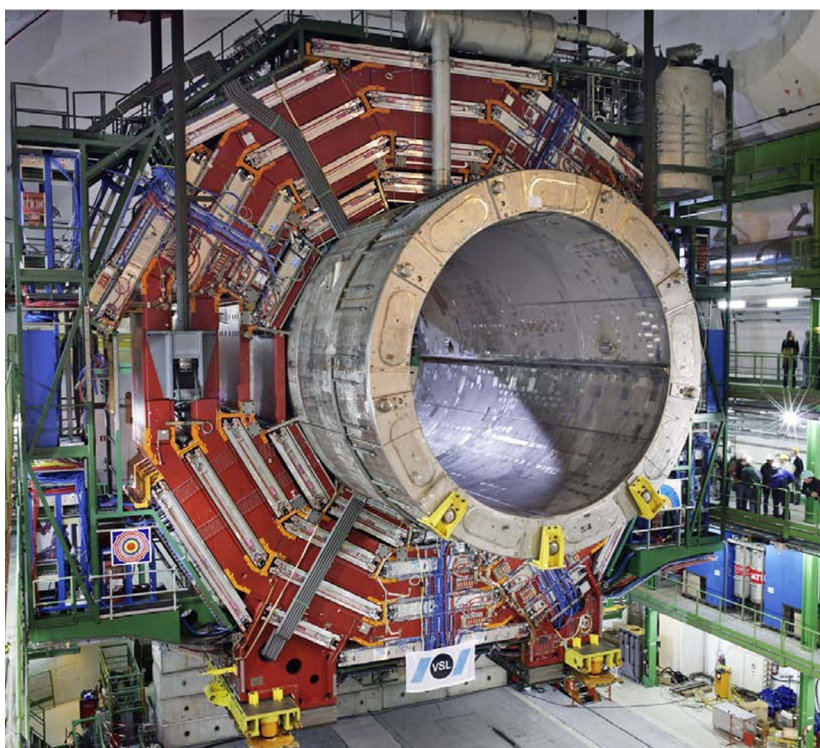
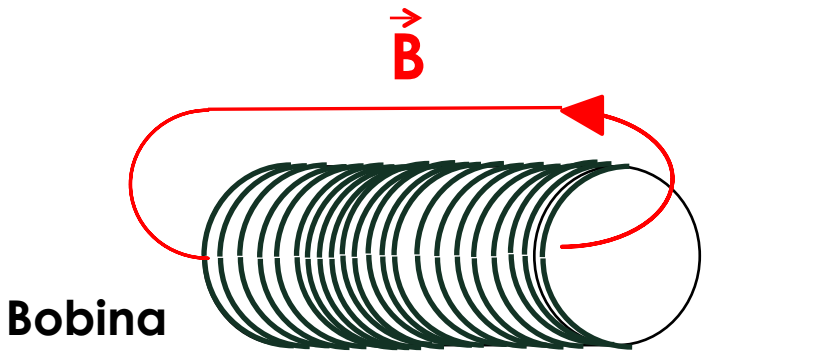
## Sciame adronico

calorimetro a campionamento  
(ottone + scintillatore)



- **Grande magnete solenooidale superconduttore (~2000 spire)** circonda il tracciatore ed entrambi i calorimetri;
- magneti superconduttori per generare campo toroidale intorno a rivelatore.

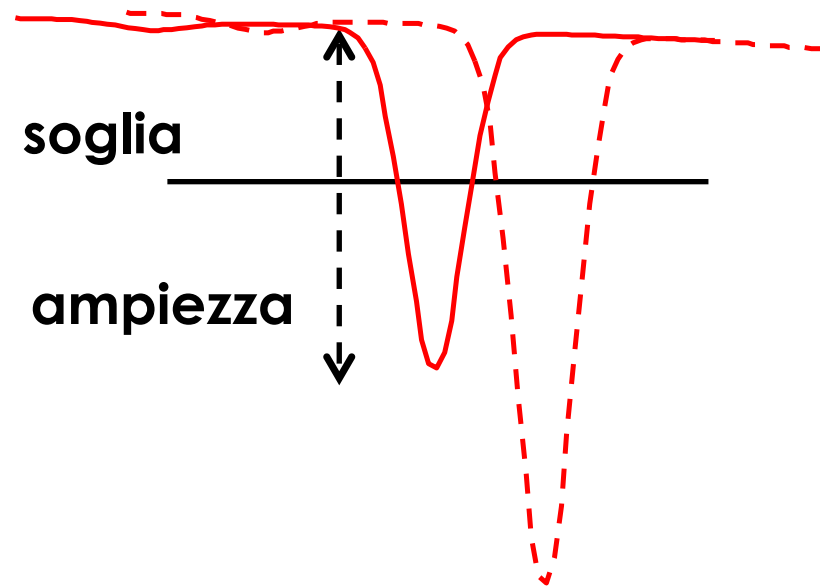
- Diversi tipi di **rivelatori a gas** (tubi, camere, strip,...);
- **intorno al magnete**, contengono il "ritorno" del campo magnetico;
- grande risoluzione per la misura delle **tracce lasciate dai muoni, curvate dal campo magnetico**.





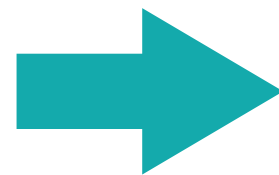
Molti rivelatori, un solo problema:

**estrarre informazioni da un segnale elettrico analogico.**



- è passata una particella?
- quando?
- di che energia?
- ...

**SEGNALE ELETTRICO ANALOGICO**



**INFORMAZIONE DIGITALE**

**~75 milioni di segnali per evento  
~ 40 milioni di eventi al secondo**