

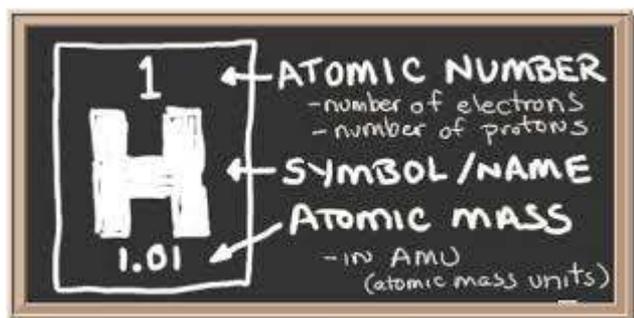
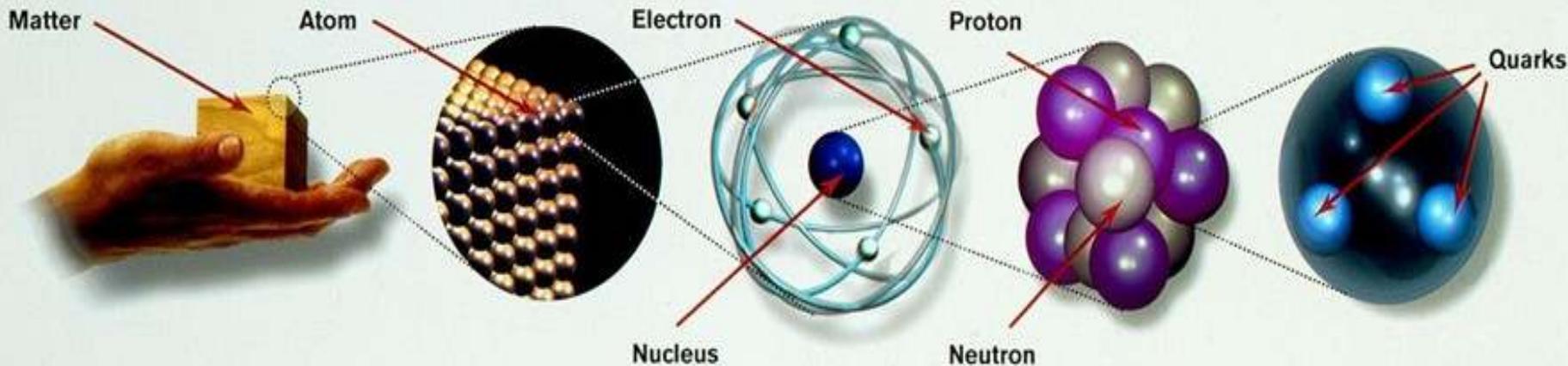
# L'antimateria e LHCb



Simone Stracka - Università di Pisa  
[simone.stracka@cern.ch](mailto:simone.stracka@cern.ch)



# Particelle ...

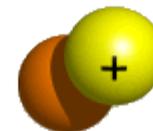


Protium



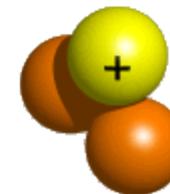
1 proton

Deuterium



1 proton  
1 neutron

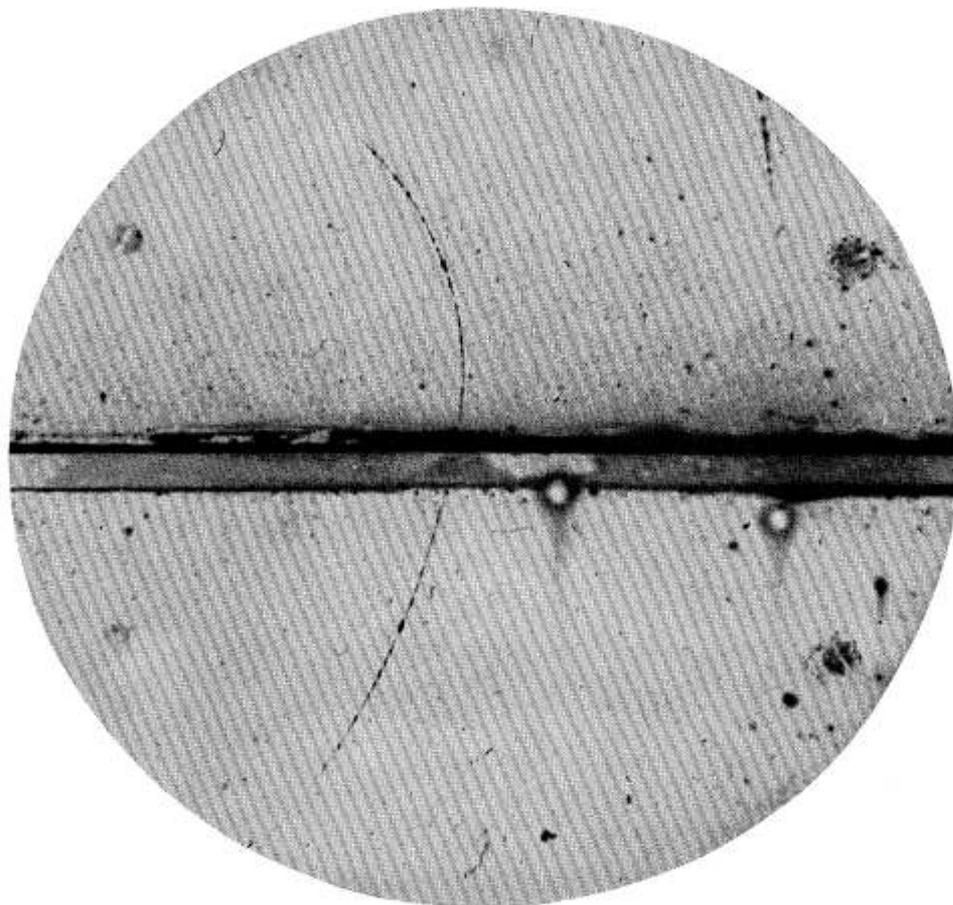
Tritium



1 proton  
2 neutrons



## ... e antiparticelle



Il positrone fu scoperto nel 1932 in immagini di raggi cosmici presi con una camera a nebbia.

La curvatura di una particella in un campo magnetico dipende dalla sua velocità (più è energetica e meno curva) e dalla sua carica.

Per concludere che questa traccia è un “elettrone positivo” occorre osservare come la particella interagisce con il materiale circostante.

FIG. 1. A 63 million volt positron ( $H\rho=2.1\times 10^6$  gauss-cm) passing through a 6 mm lead plate and emerging as a 23 million volt positron ( $H\rho=7.5\times 10^4$  gauss-cm). The length of this latter path is at least ten times greater than the possible length of a proton path of this curvature.

[authors.library.caltech.edu/7189/1/ANDpr33b.pdf](http://authors.library.caltech.edu/7189/1/ANDpr33b.pdf)

<http://www.asimmetrie.it/index.php/particelle-nella-nebbia>

<http://www.symmetrymagazine.org/article/january-2015/how-to-build-your-own-particle-detector>

<http://www.amnh.org/education/resources/rfl/web/einsteinguide/activities/cloud.html>



# Il positrone nella vita di tutti i giorni

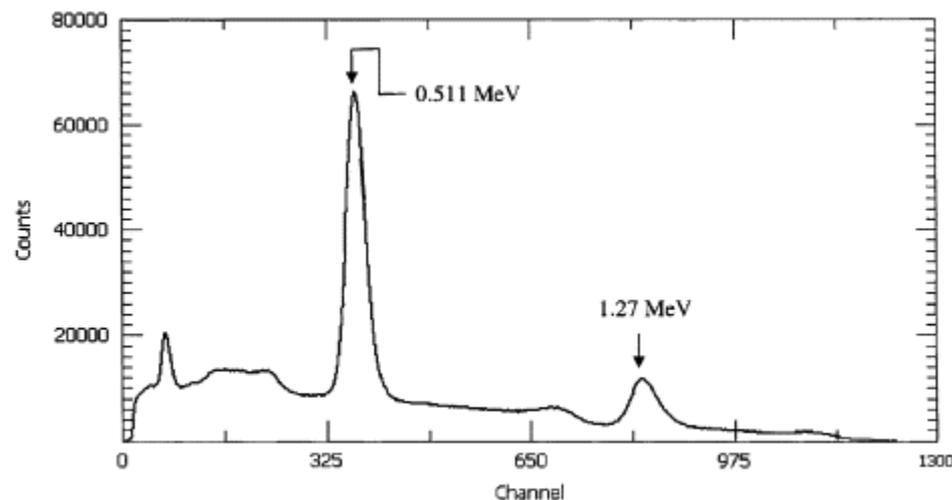


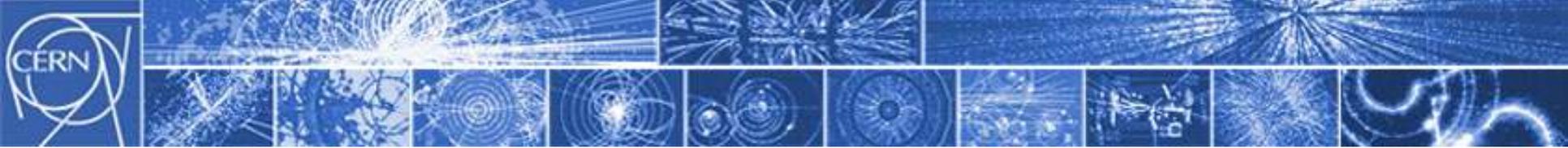
“Una banana (ricca in potassio) produce in media un positrone ogni 75 minuti circa.”

Quando il positrone si ferma nel materiale, finisce per incontrare un elettrone e si annichila.

Il prodotto di questa reazione sono due onde elettromagnetiche di energia caratteristica, che viaggiano in direzioni opposte.

La somma delle due energie e` pari alla massa dei reagenti.





des4.me





# Mesoni

Gli esperimenti hanno svelato l'esistenza di particelle di cui nella vita di tutti i giorni non ci accorgiamo.

Per esempio, esistono oggetti formati da un quark e un antiquark, tenuti insieme dalla forza forte, che chiamiamo mesoni.

Siamo in grado di creare molti di questi oggetti nei moderni acceleratori.

**The PARTICLE ZOO**  
Handmade Subatomic Particle Plushies FROM THE STANDARD MODEL OF PHYSICS & bey  
{ age 18 and up }

**QUARKS**

- UP QUARK**: A teeny little point inside the proton and neutron, it is friends forever with the down quark.
- DOWN QUARK**: A tiny little point inside the proton and neutron, it is friends forever with the up quark.
- CHARM QUARK**: A charming second generation quark.
- STRANGE QUARK**: What's so strange about this second generation quark?
- TOP QUARK**: This heavyweight champion doesn't live long enough to make friends with anyone.
- BOTTOM QUARK**: This third generation quark is puttin' on the pounds.

**LEPTONS**

- ELECTRON-NEUTRINO**: This minuscule bandit is so light, he is practically massless.
- MUON-NEUTRINO**: Like the other 2 neutrinos, he's got an identity crisis from oscillation.
- TAU-NEUTRINO**: He's a tau now, but what type of neutrino will he be next?
- ELECTRON**: A familiar friend, this negatively charged, busy li'l guy likes to bond.
- MUON**: A "heavy electron" who lives fast and dies young.
- TAU**: A "heavy muon" who could stand to lose a little weight.

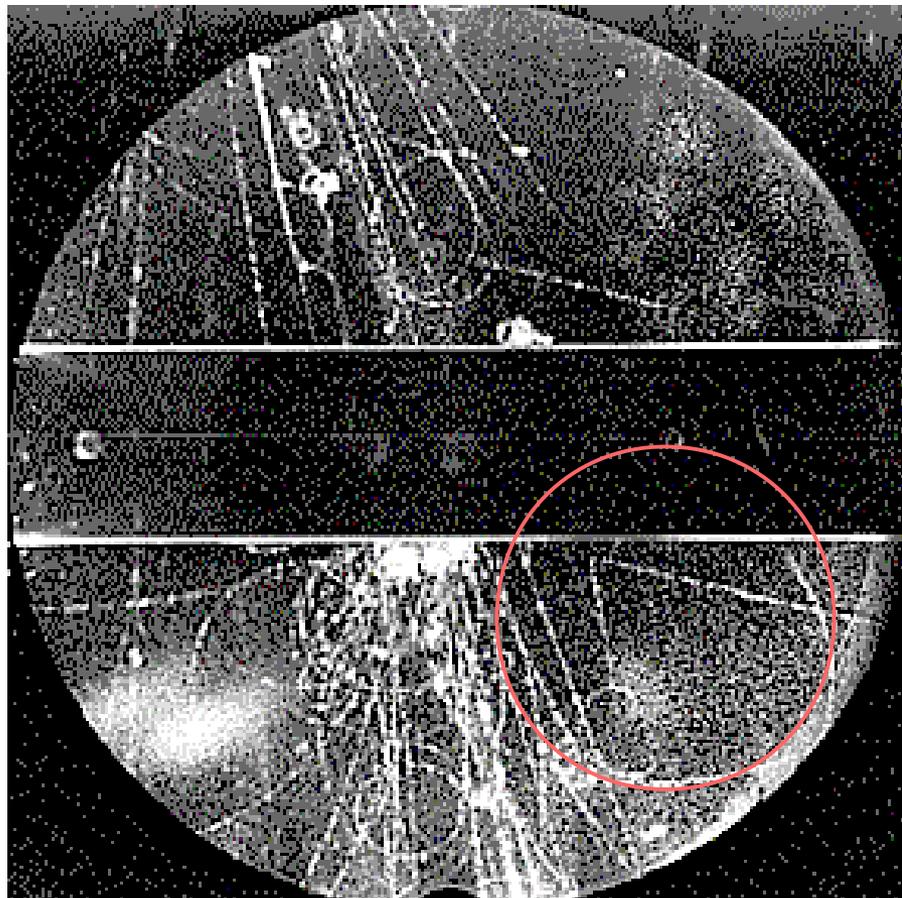
**FORCE CARRIERS**

- PHOTON**: The massless wavicle we know and love.

**OTHER ITEMS:** BUTTON BADGES, NEW! TEMPORARY TATTOOS, THE UNIVERSE, COSMIC MICROWAVE BACKGROUND RADIATION, ZIPPER POUCHES, PARTICLE PLAYING CARDS.



## Nulla e` per sempre ...



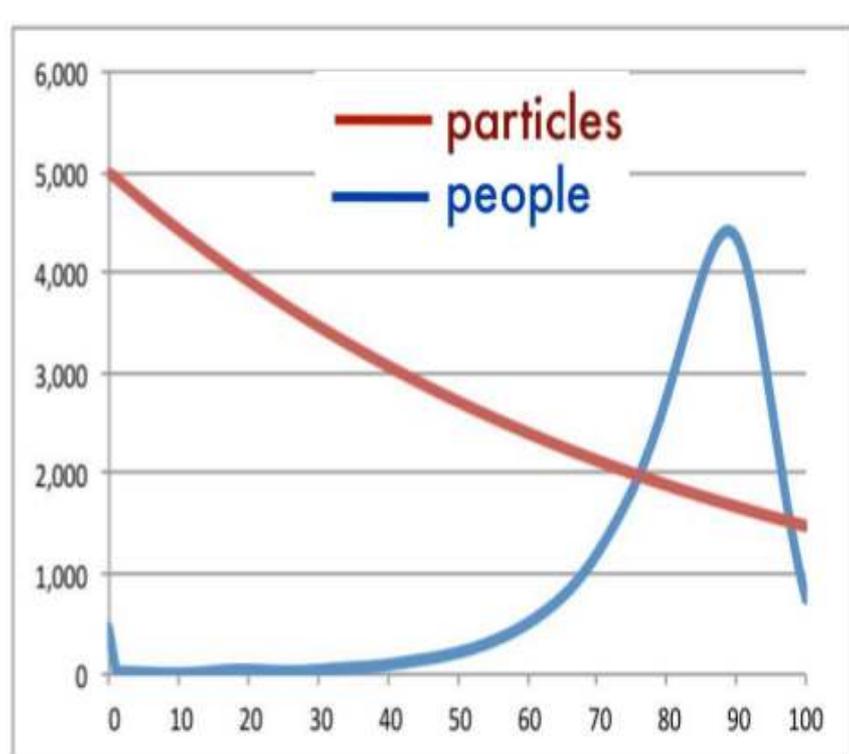
La maggior parte di queste particelle non dura per sempre, ma si disintegra spontaneamente in particelle piu` leggere.

Nella figura sono evidenziati i prodotti del decadimento di un mesone. Il mesone e` inizialmente neutro, e non lo vediamo. I prodotti del suo decadimento invece prima di decadere lasciano due tracce, con un'unica origine, che formano la "V" evidenziata nell'immagine.

Combinando le energie dei prodotti si ricava una stima della massa della particella che decade.



# La vita di una particella



Il tempo che intercorre tra la produzione di una particella e la sua disintegrazione è la “vita” della particella.

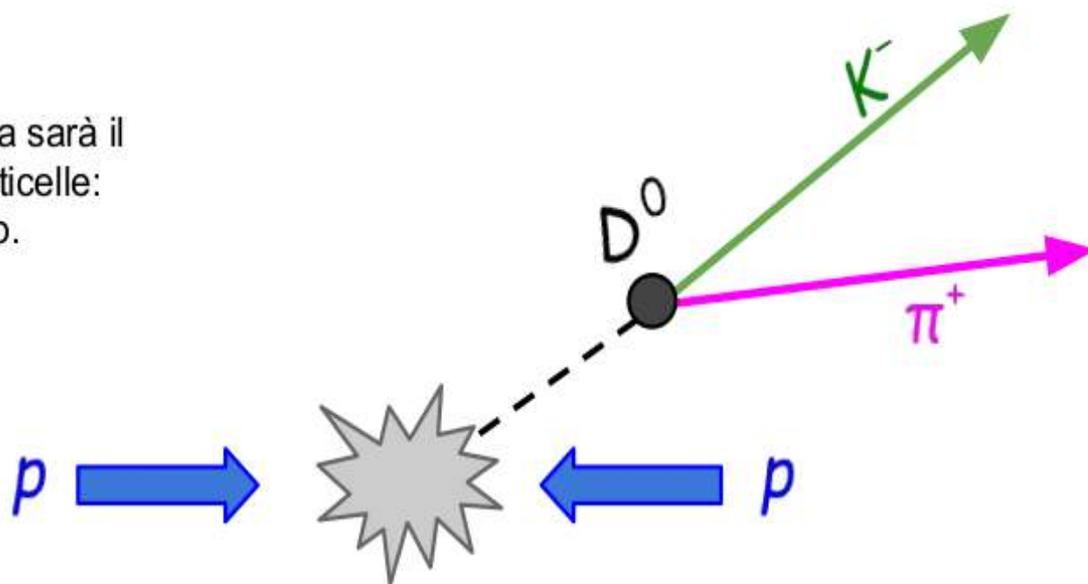
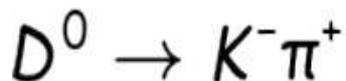
Se prendessimo un insieme di particelle tutte uguali e guardassimo dopo quanto tempo decadono, osserveremmo un grafico simile a questo.



# Un giorno da Fisici!

Oggi avrete la possibilità di “scovare una particella” (il mesone  $D^0$ ), utilizzando **eventi reali** raccolti da LHCb.

La particella di cui adremo a caccia sarà il mesone  $D^0$  che decade in due particelle: il kaone negativo e il pione positivo.



Dopo 0.00000000000004 secondi il mesone D decade!



A parità di velocità, particelle più longeve percorrono distanze maggiori.  
Per una particella, una vita di 0.00000000000004 secondi è considerata lunga ...  
Alla velocità della luce, la distanza percorsa in questo tempo è 0.12 micrometri!

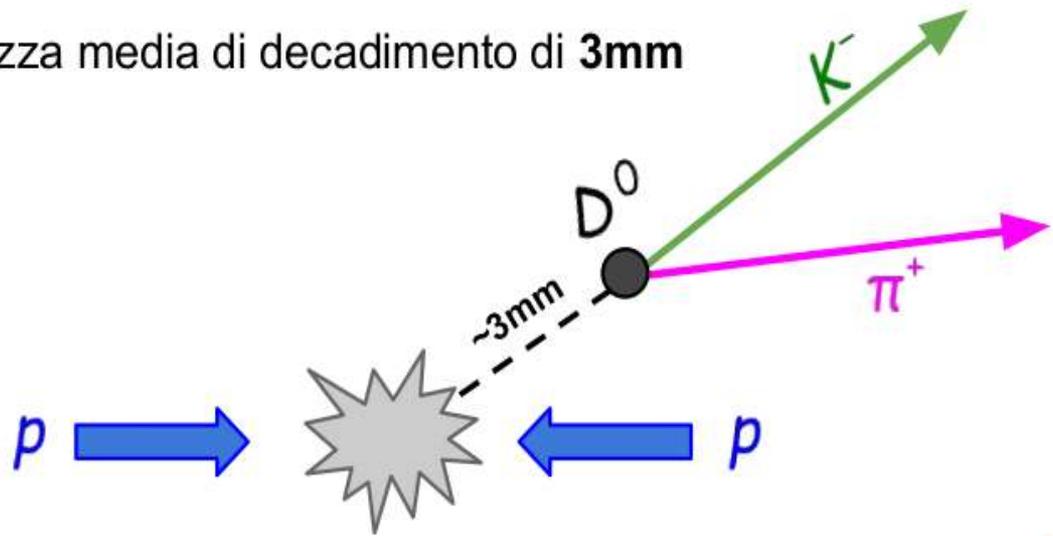
# Vertice secondario

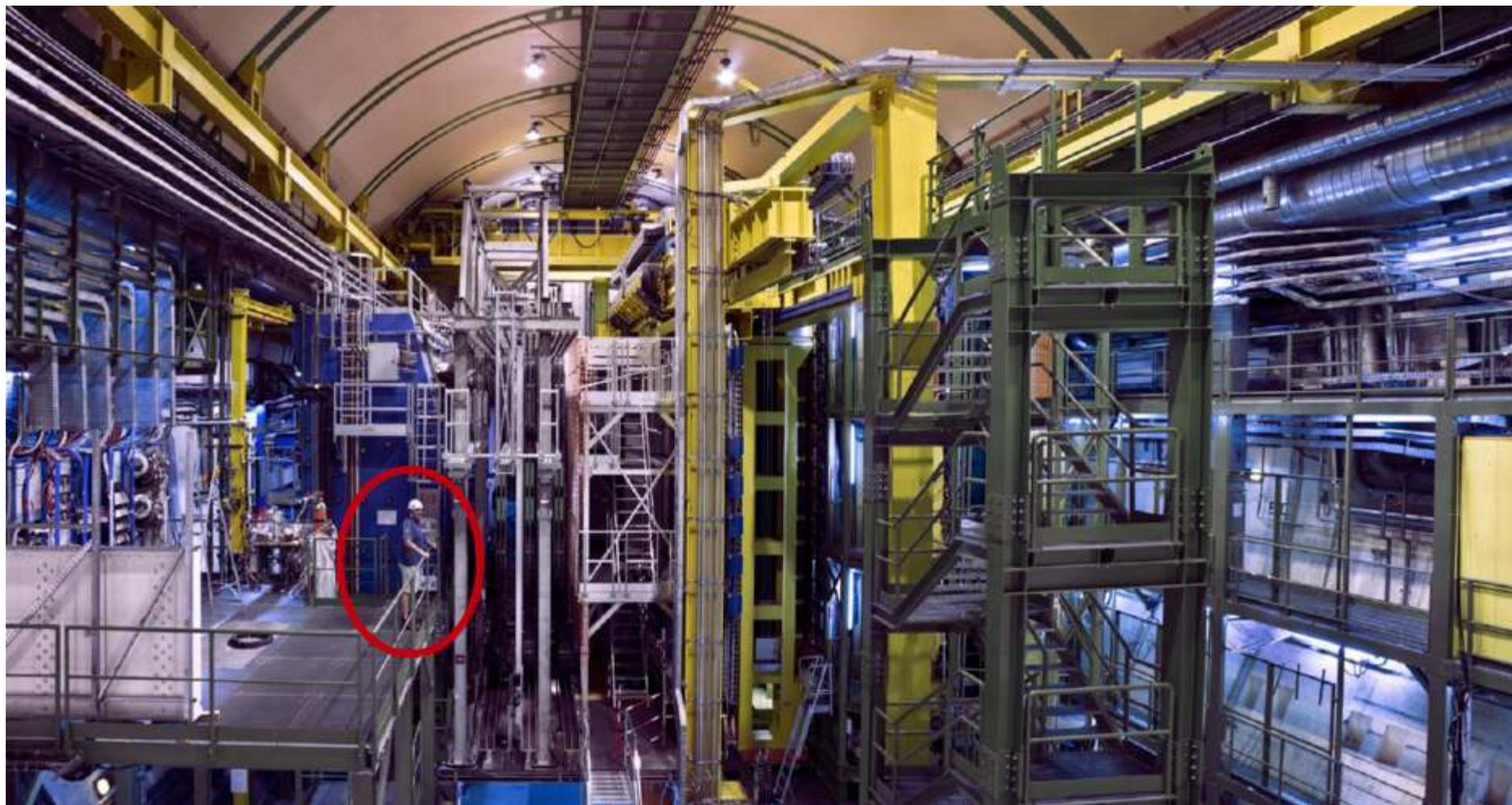
0.12mm non sono tanti, ma ci viene in aiuto la relatività ristretta di Einstein.

Per i corpi che si muovono a velocità prossime a quella della luce il tempo si dilata.

Questo porta ad una lunghezza media di decadimento di **3mm**

Quindi per scovare il  $D^0$  bisogna cercare un *vertice secondario*, spostato dal vertice primario.



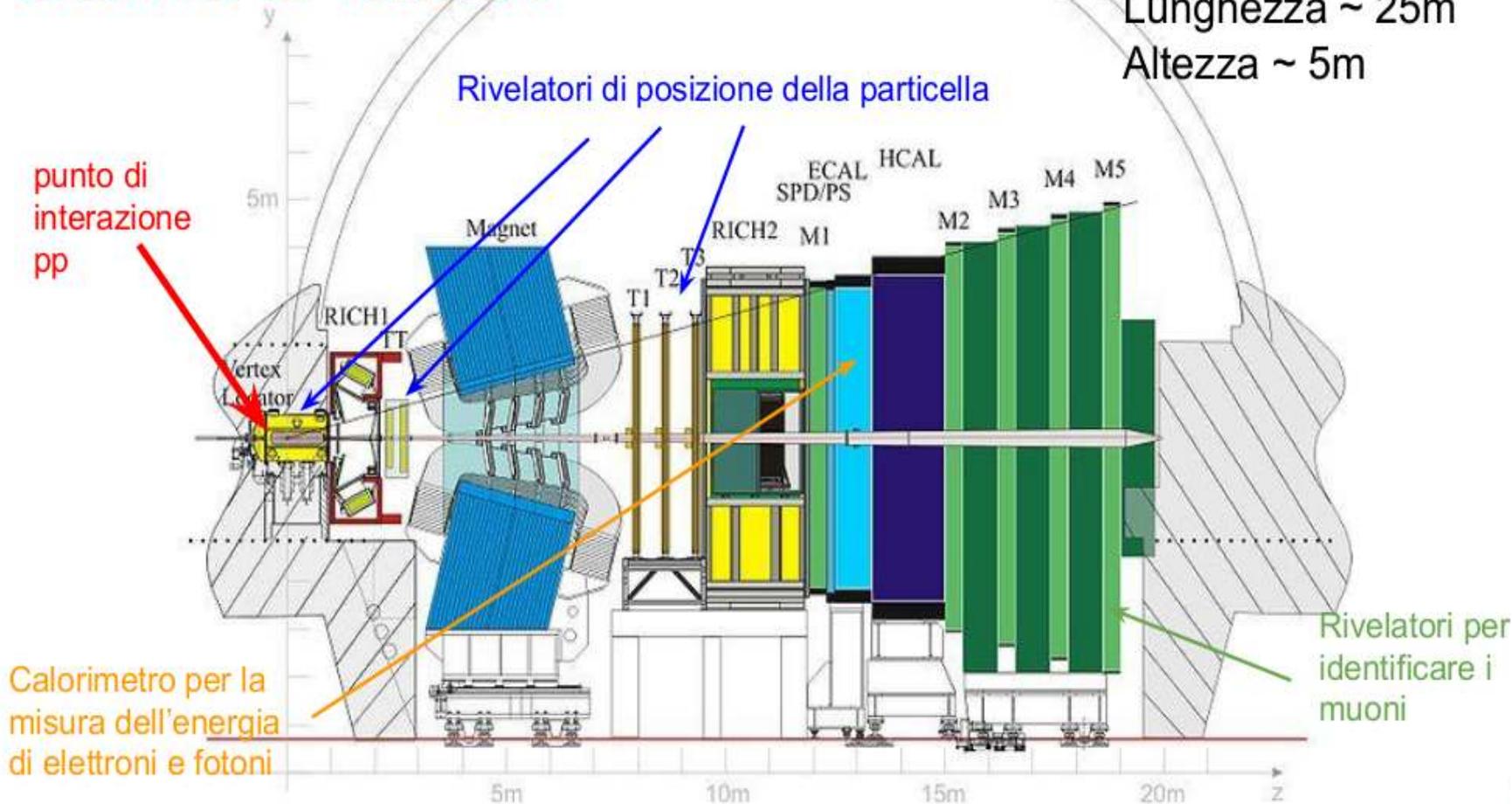


<http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/>  
(cercate "Virtual Tours" in basso a destra)



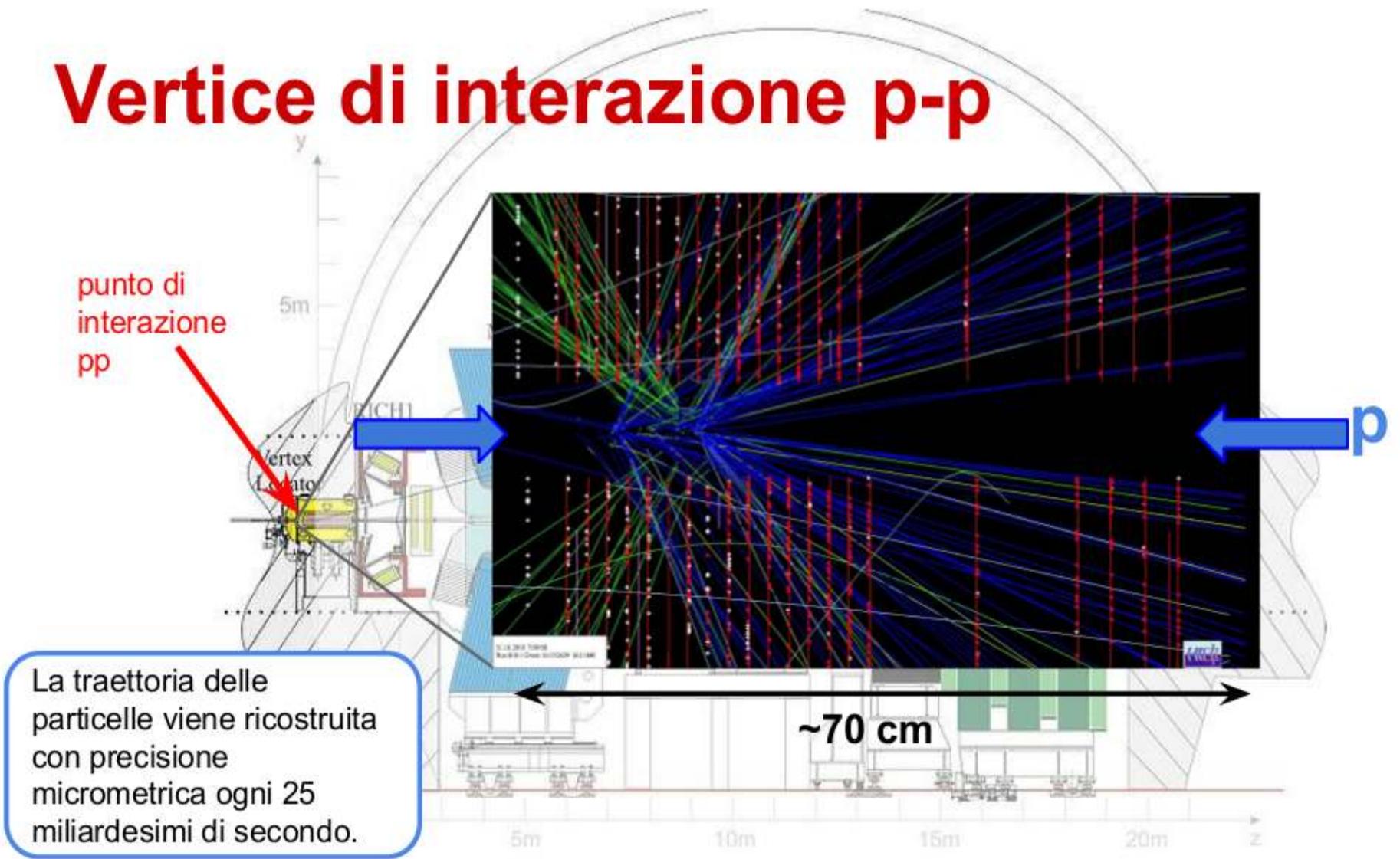
# Come è fatto?

Peso: 45000 ton  
Lunghezza ~ 25m  
Altezza ~ 5m





# Vertice di interazione p-p



punto di interazione pp

5m

Vertex Lontano

PICHU

p

1.1.8.2010 10:00  
Rabbit/Chris/01/000P/01/000

www.cern.ch

~70 cm

5m

10m

15m

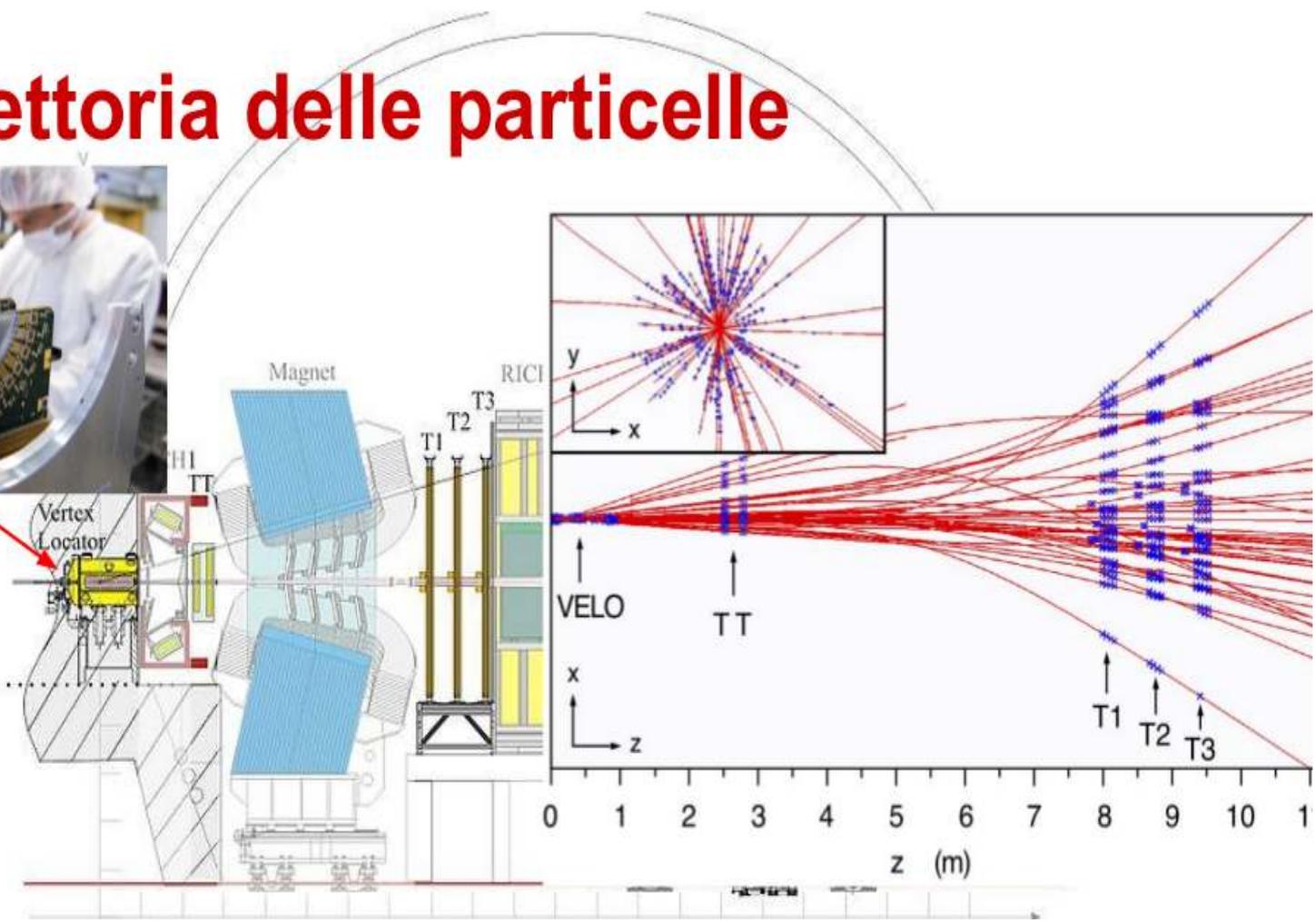
20m

z

La traiettoria delle particelle viene ricostruita con precisione micrometrica ogni 25 miliardesimi di secondo.

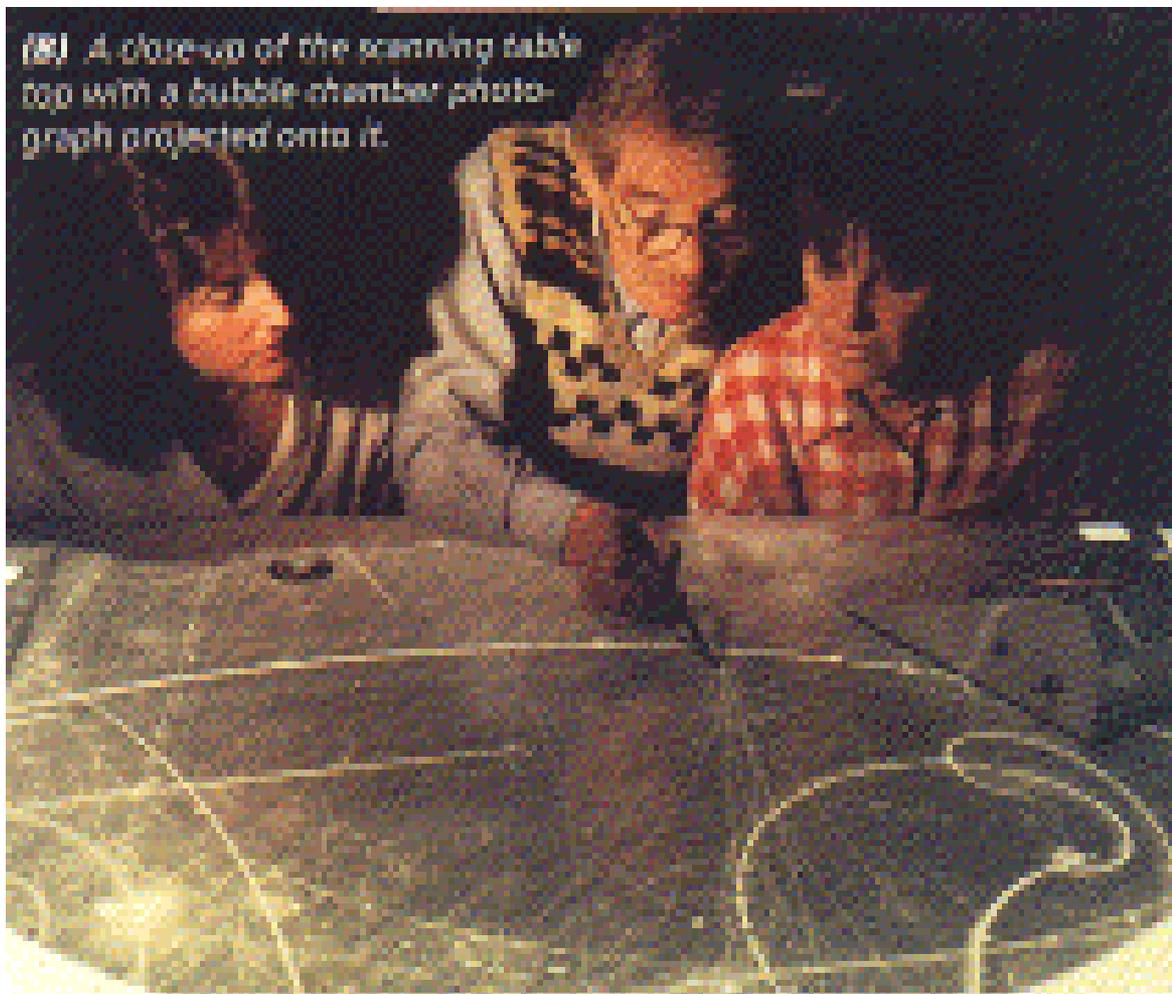


# Traiettoria delle particelle

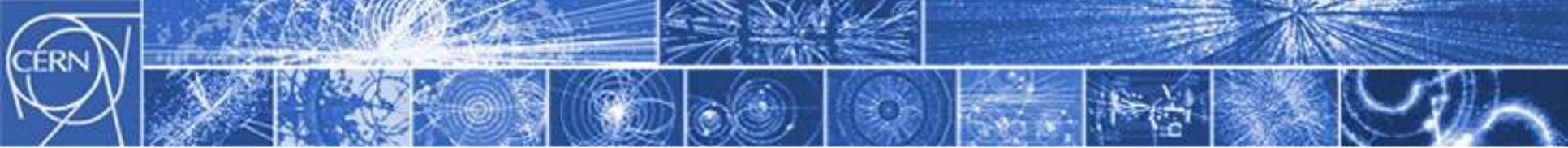




(8) A close-up of the scanning table top with a bubble chamber photograph projected onto it.



Tanto tempo fa gli  
eventi si  
guardavano così ...



... mentre oggi si guardano così`

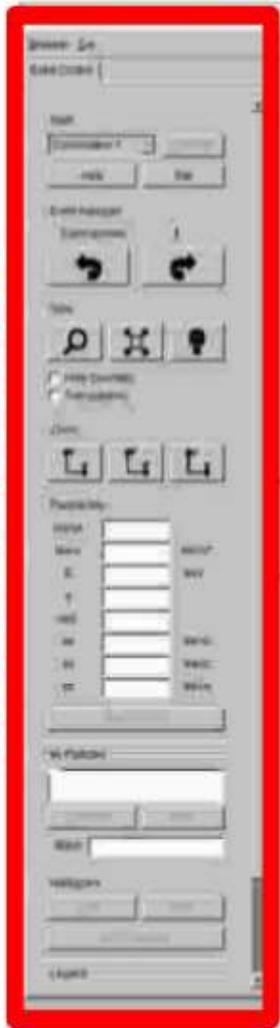


<http://www.konbini.com/us/inspiration/luca-locatellis-photographic-tour-cern-large-hadron-collider/>

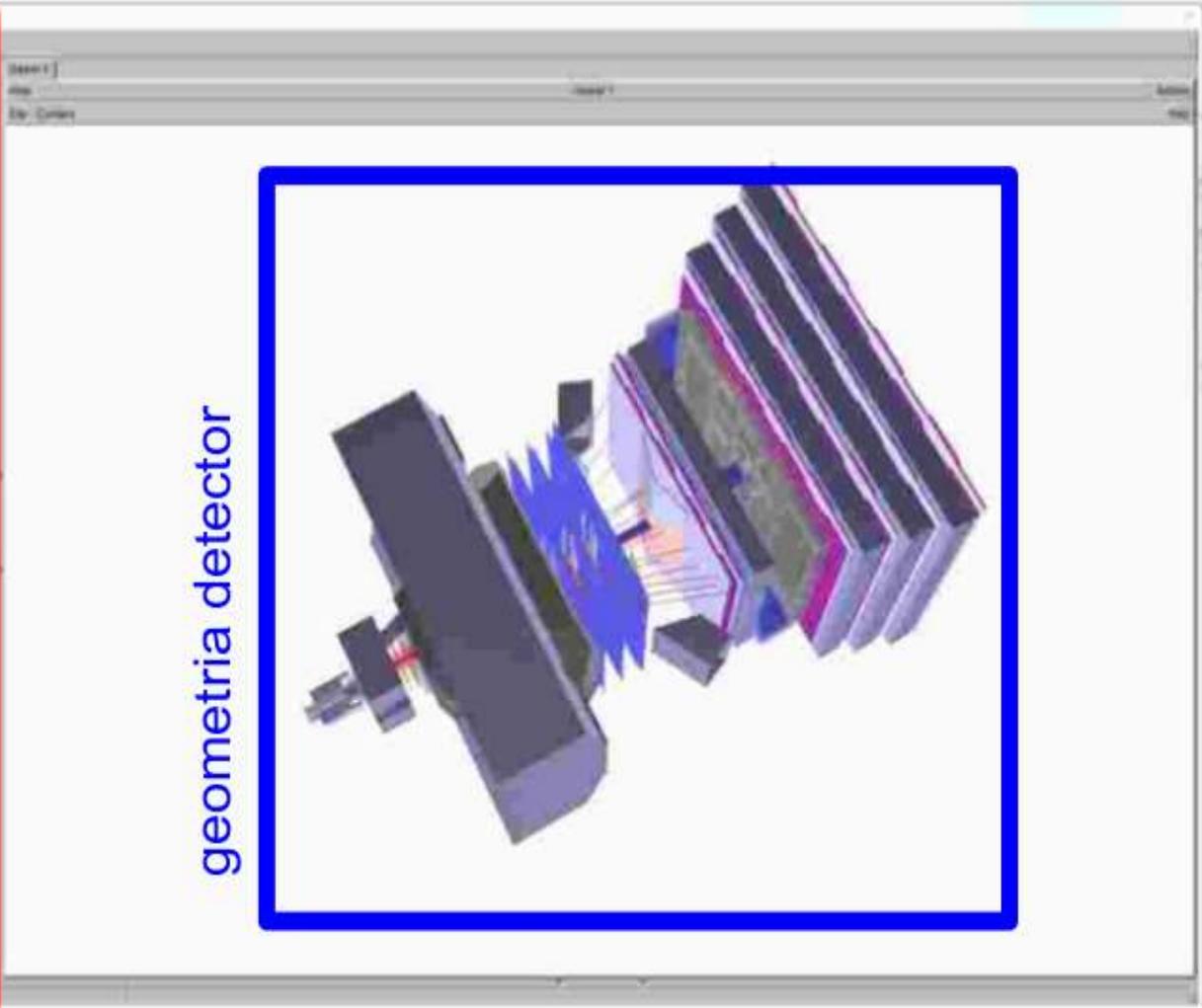
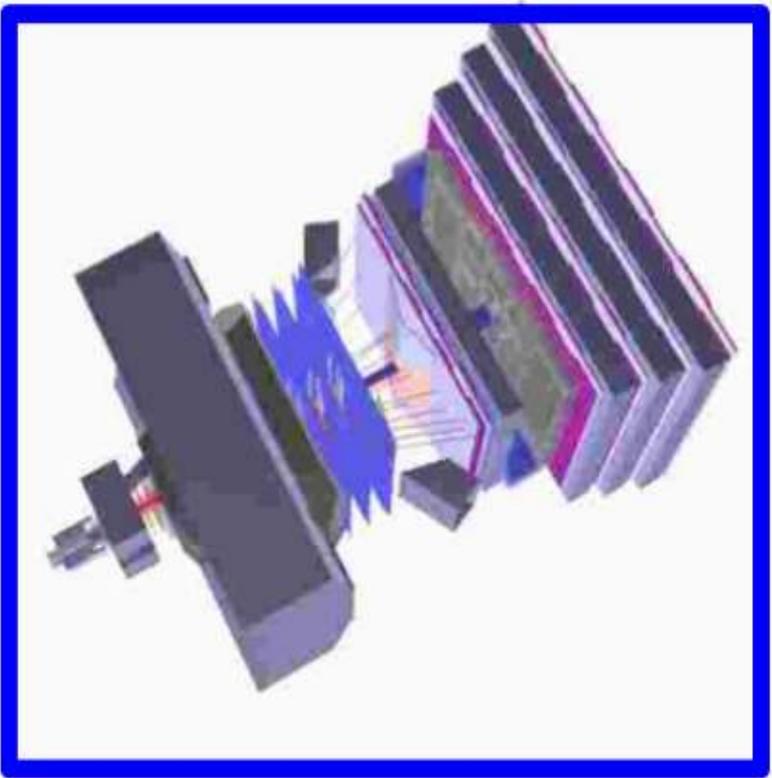


# Il display

barra degli strumenti



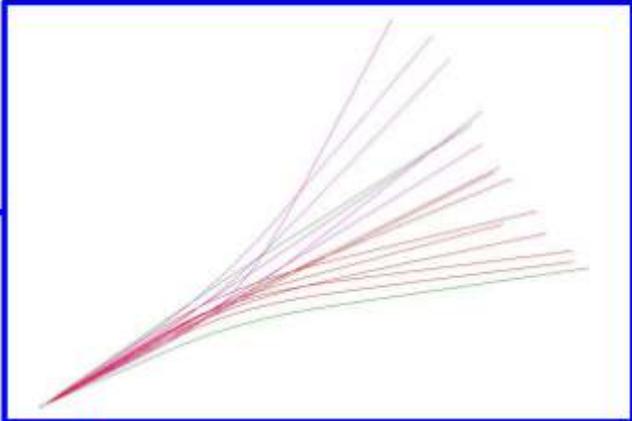
geometria detector





# Strumenti

Per muoversi tra gli eventi.



Gestore degli eventi

Numero di evento: 1

Visualizza

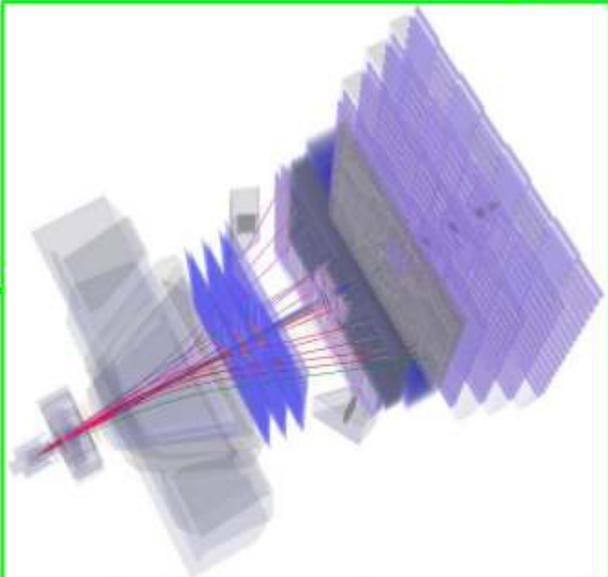
Nascondi la geometria

Trasparenza

Aiuto

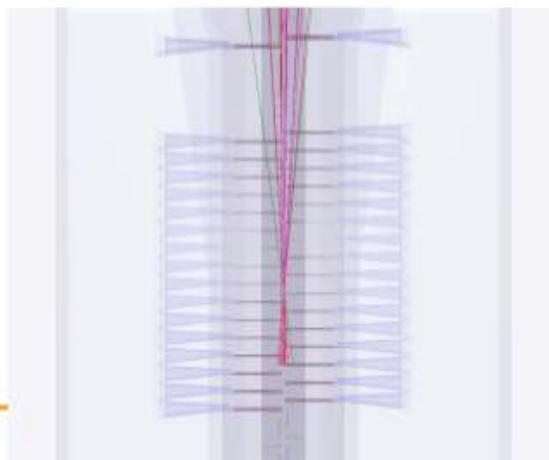
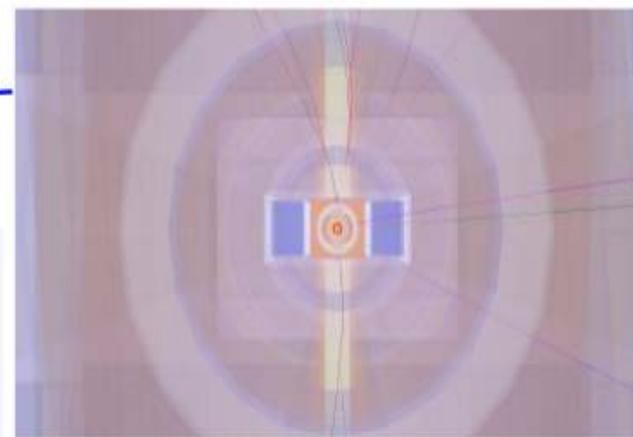
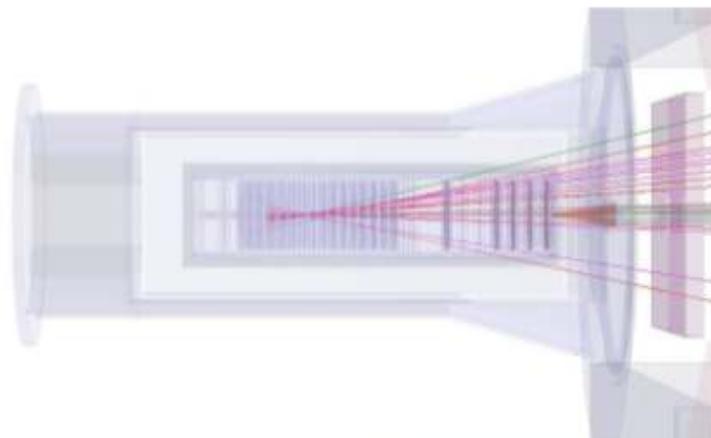
Zoom

This block contains a software interface for event management and visualization. It includes a 'Gestore degli eventi' section with a 'Numero di evento' field set to '1' and two navigation arrows. The 'Visualizza' section contains a magnifying glass icon, a square with four arrows icon, a 'Nascondi la geometria' checkbox (unchecked), a 'Trasparenza' checkbox (checked), an 'Aiuto' button, and a lightbulb icon. The 'Zoom' section contains three coordinate system icons.





# Strumenti II



Gestore degli eventi

Numero di evento: 1

Visualizza

Nascondi la geometria

Trasparenza

Aiuto

Zoom

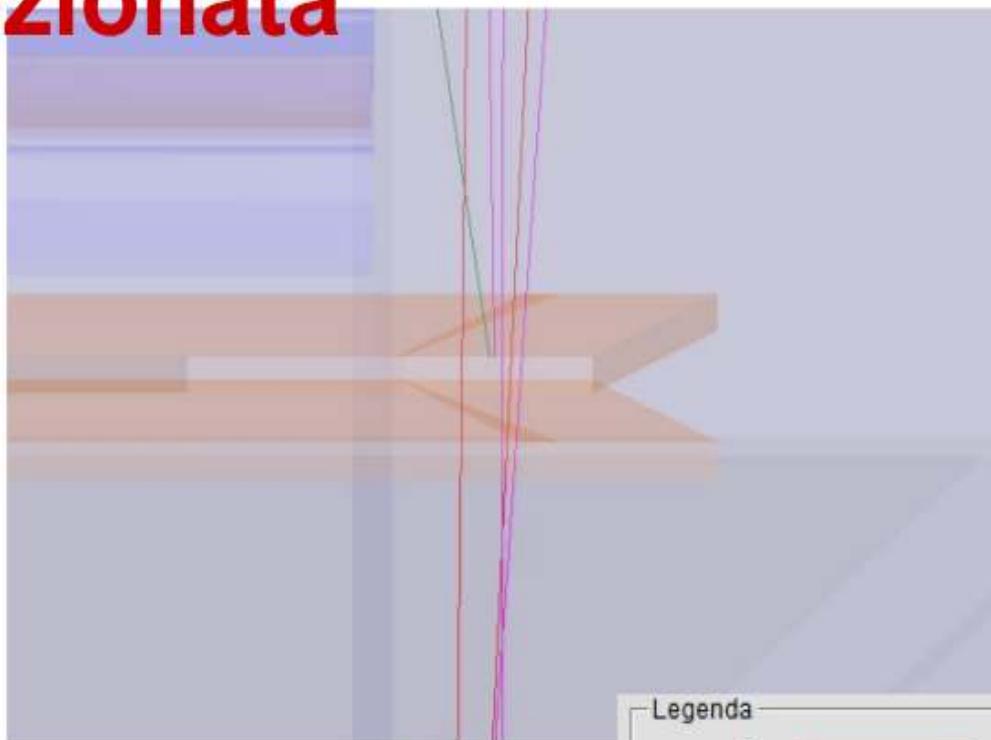




# Particella selezionata

Informazioni sulla particella

Nome	<input type="text" value="K-"/>	
Massa	<input type="text" value="493.68"/>	MeV/c <sup>2</sup>
E	<input type="text" value="23057.25"/>	MeV
q	<input type="text" value="-1.00"/>	
chi <sup>2</sup>	<input type="text" value="1.00"/>	
px	<input type="text" value="2672.77"/>	MeV/c
py	<input type="text" value="161.98"/>	MeV/c
pz	<input type="text" value="22895.92"/>	MeV/c



Le mie particelle

Massa

Cliccando sulla particella compaiono tutte le informazioni su di essa.

Legenda

K-	<input type="checkbox"/>	<span style="color: green;">█</span>
K+	<input type="checkbox"/>	<span style="color: blue;">█</span>
pi-	<input type="checkbox"/>	<span style="color: red;">█</span>
pi+	<input type="checkbox"/>	<span style="color: magenta;">█</span>



# Calcolo della massa invariante

Informazioni sulla particella

Nome	<input type="text" value="K-"/>	
Massa	<input type="text" value="493.68"/>	MeV/c <sup>2</sup>
E	<input type="text" value="23057.25"/>	MeV
q	<input type="text" value="-1.00"/>	
chi2	<input type="text" value="1.00"/>	
px	<input type="text" value="2672.77"/>	MeV/c
py	<input type="text" value="161.98"/>	MeV/c
pz	<input type="text" value="22895.92"/>	MeV/c

Le mie particelle

<input type="text"/>
----------------------

Massa

Le mie particelle

<input type="text" value="My particle: K-"/>
<input type="text" value="My particle: pi+"/>

Massa

Istogramma

Cliccando su **“Salva la particella”**, la particella viene aggiunta nella lista delle particelle.



# Calcolo della massa invariante

Informazioni sulla particella

Nome	<input type="text" value="K-"/>	
Massa	<input type="text" value="493.68"/>	MeV/c <sup>2</sup>
E	<input type="text" value="23057.25"/>	MeV
q	<input type="text" value="-1.00"/>	
chi2	<input type="text" value="1.00"/>	
px	<input type="text" value="2672.77"/>	MeV/c
py	<input type="text" value="161.98"/>	MeV/c
pz	<input type="text" value="22895.92"/>	MeV/c

Le mie particelle

<input type="text"/>
<input type="button" value="Calcola"/> <input type="button" value="Cancella"/>
Massa <input type="text"/>

Le mie particelle

<input type="text" value="My particle: K-"/> <input type="text" value="My particle: pi+"/>
<input type="button" value="Calcola"/> <input type="button" value="Cancella"/>
Massa <input type="text" value="1867.78"/>

Istogramma

<input type="button" value="Aggiungi"/>	<input type="button" value="Disegna"/>
<input type="button" value="Salva l'Istogramma"/>	
<input type="button" value="Esci"/>	

Dopo aver aggiunto 2 particelle (il kaone negativo e il pione positivo), premendo **“Calcola”** viene **calcolata la massa delle due particelle.**



# Calcolo della massa invariante

Informazioni sulla particella

Nome	<input type="text" value="K-"/>	
Massa	<input type="text" value="493.68"/>	MeV/c <sup>2</sup>
E	<input type="text" value="23057.25"/>	MeV
q	<input type="text" value="-1.00"/>	
chi <sup>2</sup>	<input type="text" value="1.00"/>	
px	<input type="text" value="2672.77"/>	MeV/c
py	<input type="text" value="161.98"/>	MeV/c
pz	<input type="text" value="22895.92"/>	MeV/c

Le mie particelle

Massa

Le mie particelle

My particle: K-  
My particle: pi+

Massa

Istogramma

Dopo aver aggiunto 2 particelle (il kaone negativo e il pione positivo), premendo **“Calcola”** viene **calcolata la massa delle due particelle.**

Una volta calcolata la massa, **ricordate** di premere **“Aggiungi”**, per aggiungere nell'istogramma la massa appena calcolata.



# Calcolo della massa invariante

Informazioni sulla particella

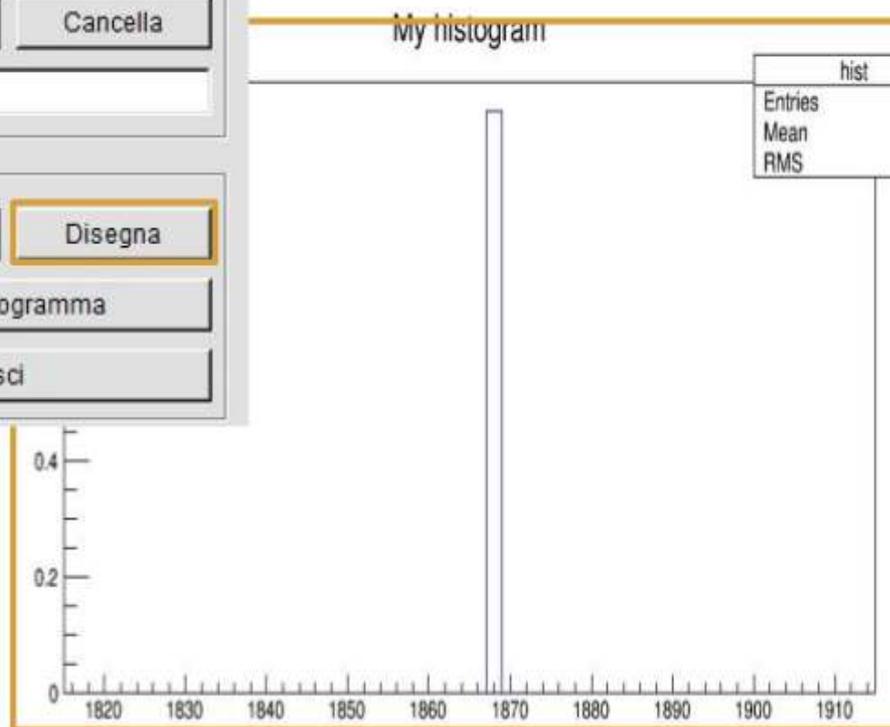
Nome	<input type="text" value="K-"/>	
Massa	<input type="text" value="493.68"/>	MeV/c <sup>2</sup>
E	<input type="text" value="23057.25"/>	MeV
q	<input type="text" value="-1.00"/>	
chi2	<input type="text" value="1.00"/>	
px	<input type="text" value="2672.77"/>	MeV/c
py	<input type="text" value="161.98"/>	MeV/c
pz	<input type="text" value="22895.92"/>	MeV/c

Le mie particelle

My particle: K-  
My particle: pi+

Massa

Istogramma



Le mie particelle

Massa



# Calcolo della massa invariante

Informazioni sulla particella

Nome	<input type="text" value="K-"/>	
Massa	<input type="text" value="493.68"/>	MeV/c <sup>2</sup>
E	<input type="text" value="23057.25"/>	MeV
q	<input type="text" value="-1.00"/>	
chi2	<input type="text" value="1.00"/>	
px	<input type="text" value="2672.77"/>	MeV/c
py	<input type="text" value="161.98"/>	MeV/c
pz	<input type="text" value="22895.92"/>	MeV/c

Le mie particelle

Massa

Le mie particelle

My particle: K-  
My particle: pi+

Massa

Istogramma

Quando avete finito, prima di cliccare "Esci", **non** dimenticate di Salvare il file cliccando "Salva l'istogramma". Altrimenti tutti mesoni  $D^0$  trovati andranno persi.



# Se non ricordate più i comandi

**Gestore degli eventi**

Numero di evento: 1

[Previous] [Next]

**Visualizza**

[Zoom In] [Zoom Out]

Nascondi la geometria  
 Trasparenza

**Aiuto** [Lightbulb icon]

**Zoom**

[3D View] [2D View] [2D View]

**HELP**

Fullscreen view ti mostra la visuale completa del rivelatore LHCb e delle tracce delle particelle

Zoom fornisce una vista ravvicinata della collisione

Hint ti mostra il DD nascosto e i suoi "figli"

Puoi nascondere la geometria per vedere le tracce delle particelle

Usa le proiezioni per guardare le particelle da una angolazione diversa

Clicca su una traccia per visualizzare le proprietà della particella

Scegli attentamente le particelle che vuoi salvare, perché da esse otterrai una nuova massa che potrebbe non essere quella giusta!

Aggiungi e Disegna i tuoi risultati su un istogramma. Non dimenticare di salvare l'istogramma quando hai finito!

Proprietà	
Nome	p <sup>+</sup>
MASS	150.87 MeV
E	3403.92 MeV
q	1.00
IMP	0.38
DP	-125.11 MeV/c
BP	619.93 MeV/c
BC	970.38 MeV/c

My Particles

My particle: p<sup>+</sup>

My particle: p<sup>+</sup>

Mass: 150.87

Plot

Draw

Save Histogram

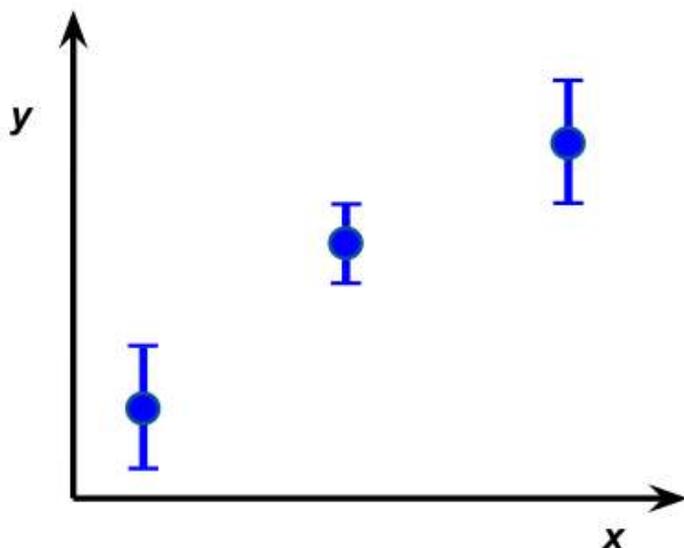


## Fare un fit

Nella seconda parte dell'esercizio vi verrà chiesto di fare un fit della massa del  $D^0$  e della sua vita media. Che significa fare un fit?

Ogni misura ha un errore associato.

- C'è una relazione tra questi punti?
- Qual è?





# Fare un fit

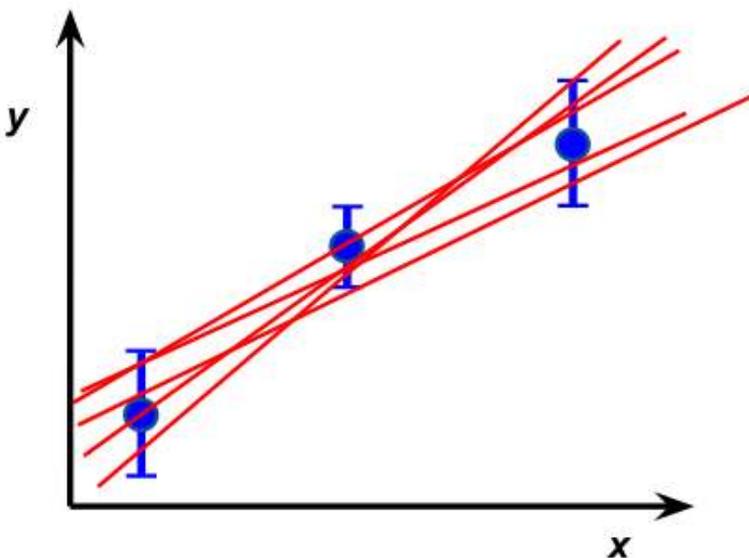
Nella seconda parte dell'esercizio vi verrà chiesto di fare un fit della massa del  $D^0$  e della sua vita media. Che significa fare un fit?

Ogni misura ha un errore associato.

- C'è una relazione tra questi punti?
- Qual è?

Ci sono tante rette possibili, quale scegliere?

Ci sono delle tecniche matematiche che forniscono la "migliore retta" (o in generale la "migliore funzione") compatibile con i dati.

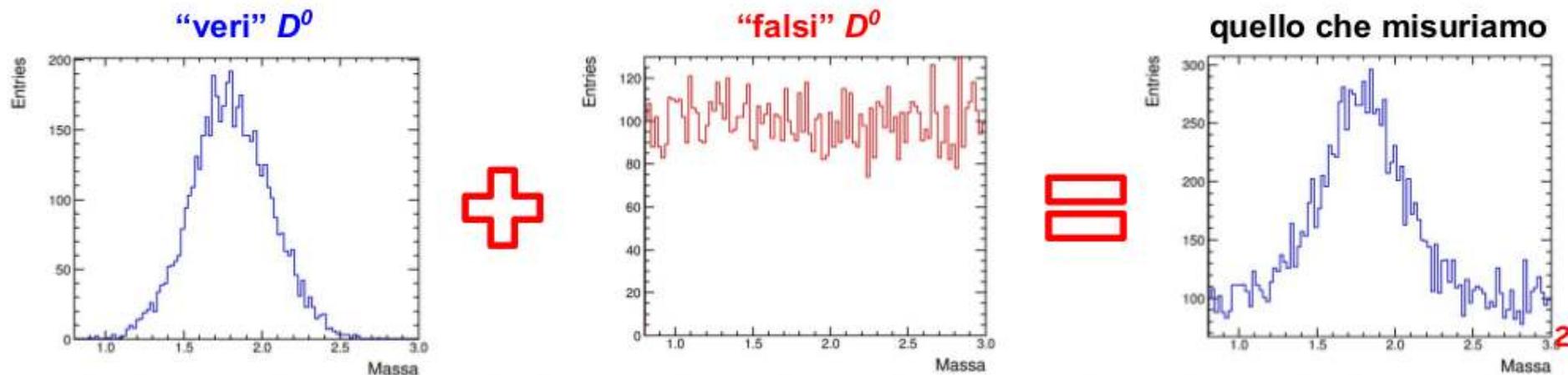




# Segnale e fondo

Quando ricostruiamo una particella, che ci sembra un  $D^0$ , a volte possiamo sbagliare. Quindi nell'istogramma di massa del  $D^0$  troviamo sia “veri”  $D^0$  (il **segnale**) che “falsi”  $D^0$  (il **fondo**).

Da dove vengono questi “falsi”  $D^0$ ? Sono due tracce che vengono fuori dall'evento  $pp$  che casualmente si trovano vicini e hanno la massa simile a quella del  $D^0$ .

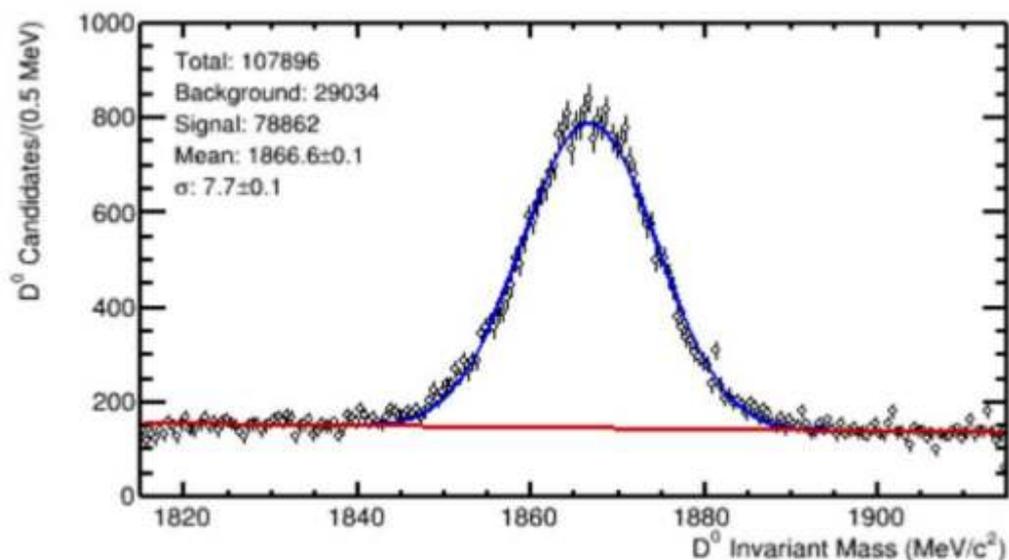




# Separazione segnale e fondo

Per separare il **segnale** dal **fondo** si fa un fit in cui si mette una funzione per il segnale (una gaussiana) e una per il fondo (un esponenziale).

$$f_{\text{segnale}} \cdot \text{Gauss}(\mu, \sigma) + (1 - f_{\text{segnale}}) \cdot \text{Exp}(-\lambda x)$$



In questo modo è possibile determinare la frazione del segnale, ovvero quanti D<sup>0</sup> abbiamo ricostruito.



Strumenti

Invariant Mass Distribution

Intervalli delle variabili

D0 PT : 2.5 20.0  
D0 TAU : 0.15 10.15  
D0 IP : -4.0 1.5

Strumenti di analisi

Grafico massa D0  
Fit distribuzione massa

Sottrazione del fondo

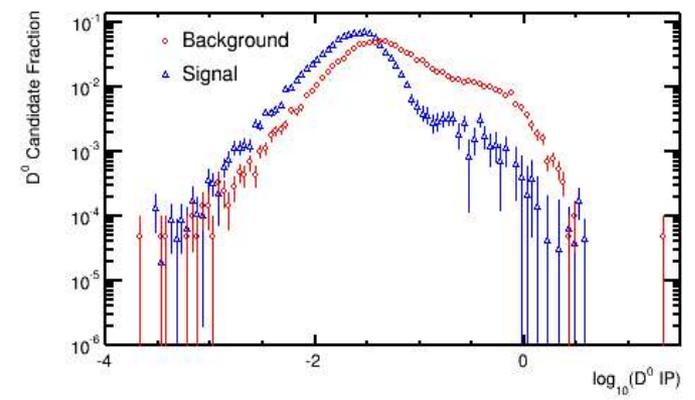
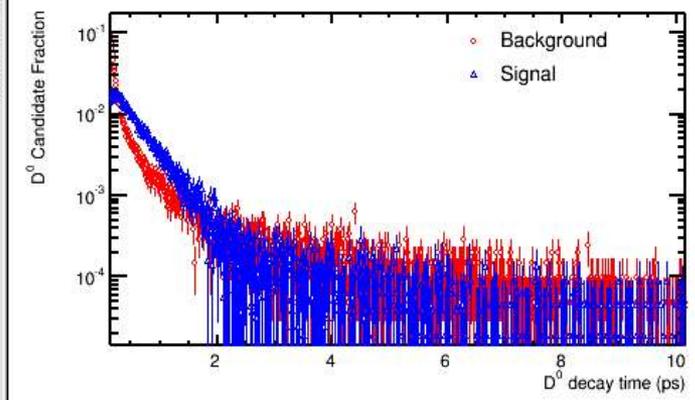
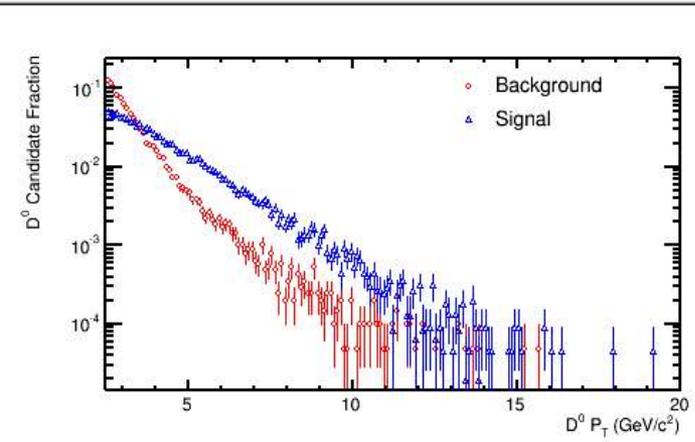
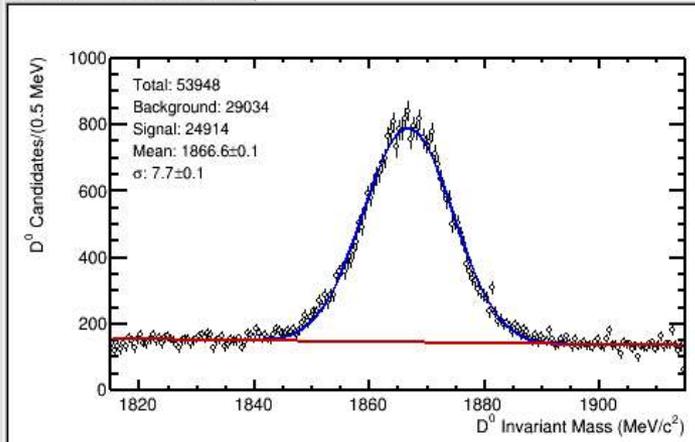
Sig range: 1841.4 1877.6  
Grafici distribuzioni

Fit vita media

Fit tempo decadimento  
Fit Result: 0.0000  
Fit Error: 0.0000

Salva risultati

Trend vs. max IP  
Salva risultati fit  
Grafico Azzera grafico





# Fit massa e vita media

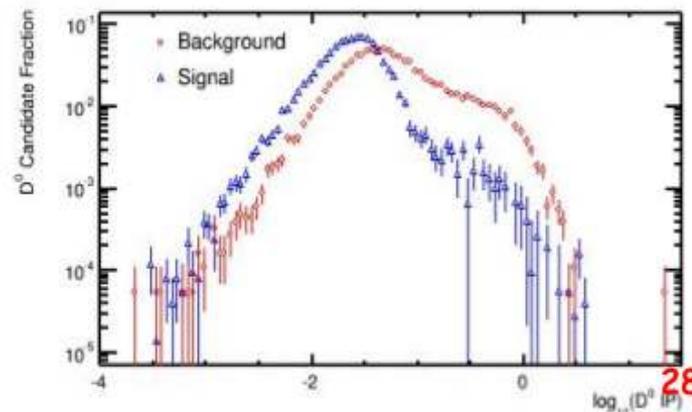
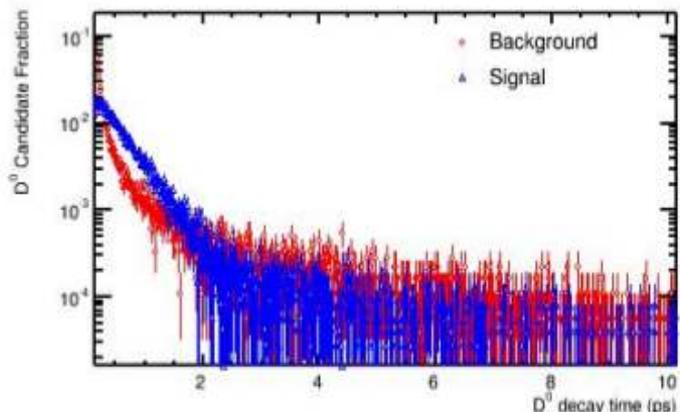
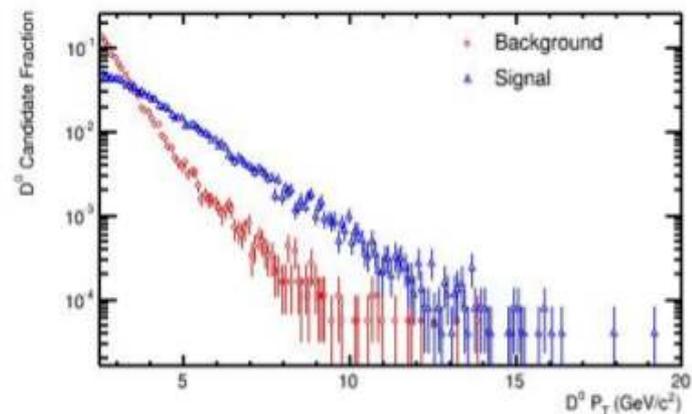
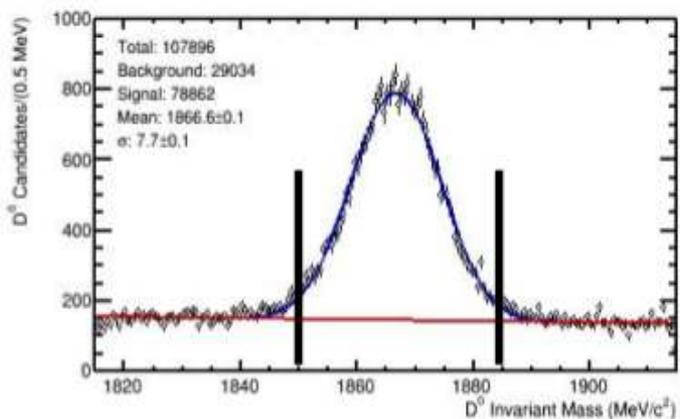
Sottrazione del fondo

Sig range: | 1844.3 | 1884.0

Grafici distribuzioni



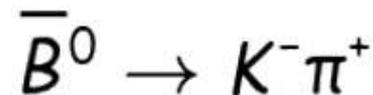
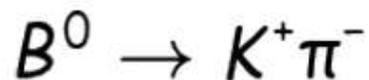
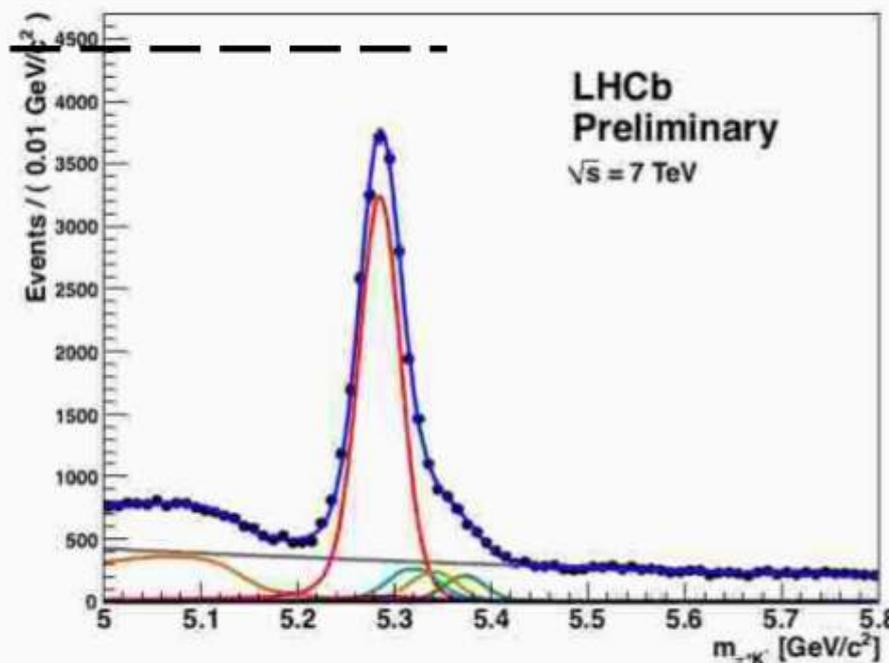
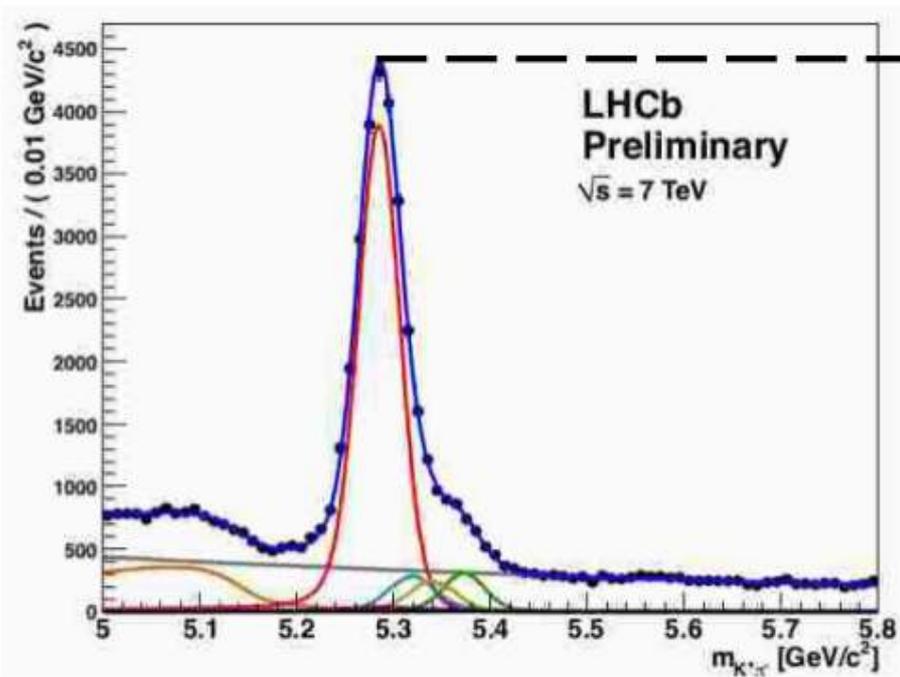
Intervallo di  
massa del  
segnale.



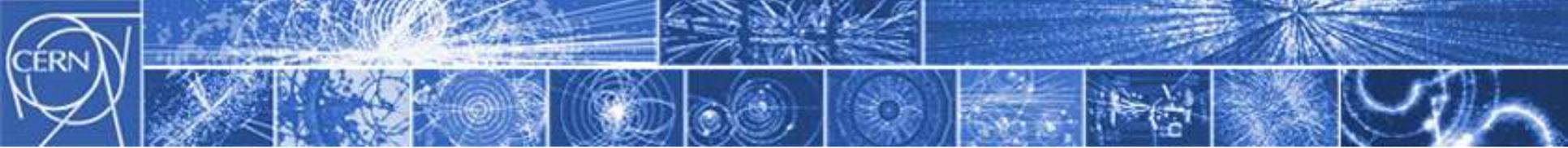


Perche` si fa tutto questo?

## Un esempio



Materia e antimateria sono “quasi” l'una l'opposto dell'altra, ma solo “quasi”

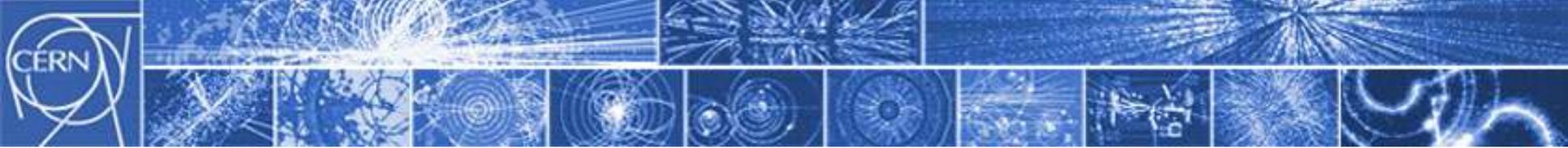


# Dov'è andata a finire l'antimateria?



<http://ams.cern.ch/>

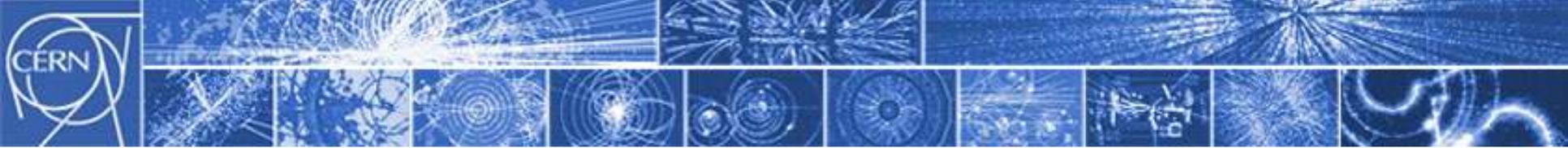




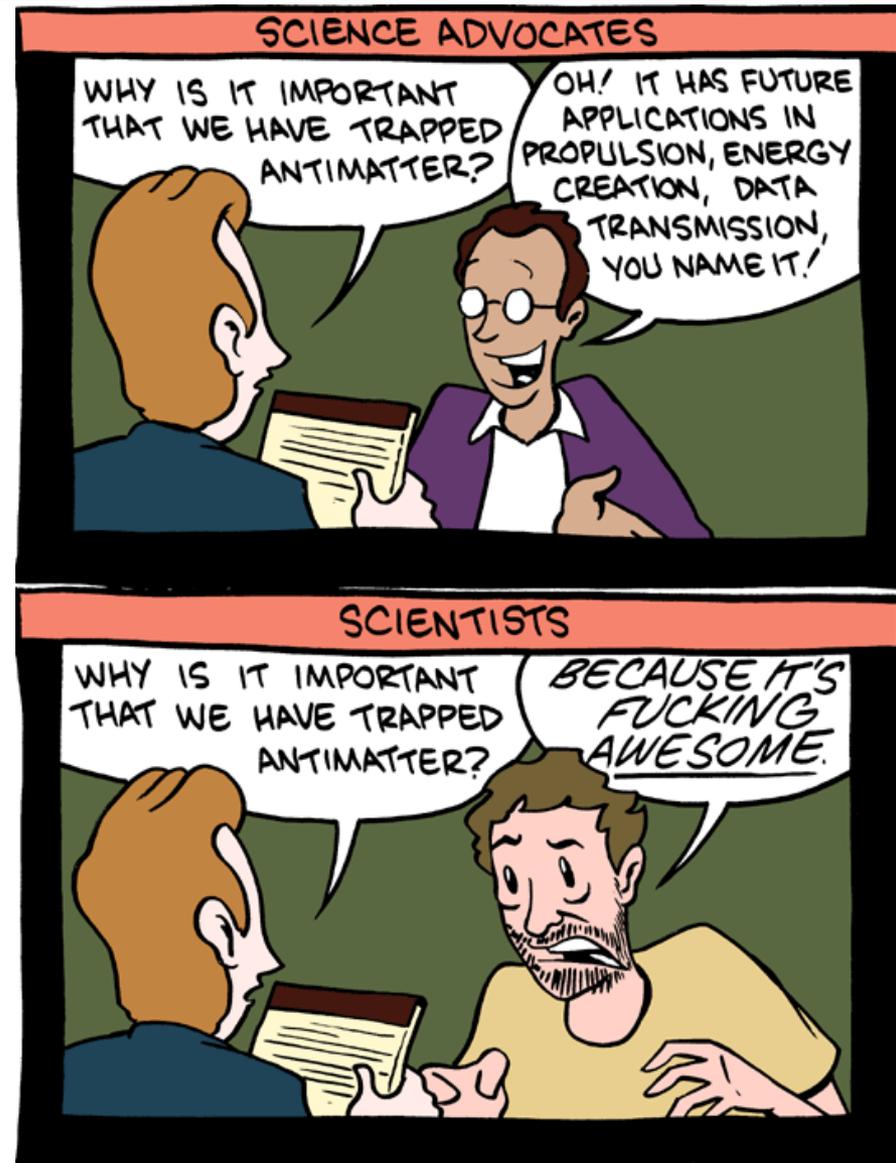
# La fabbrica di antimateria

Quella vera, non quella di “Angeli e Demoni” ...

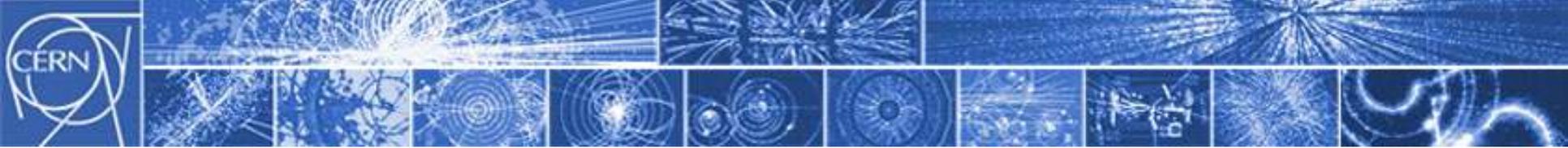




<http://beamline-for-schools.web.cern.ch/>



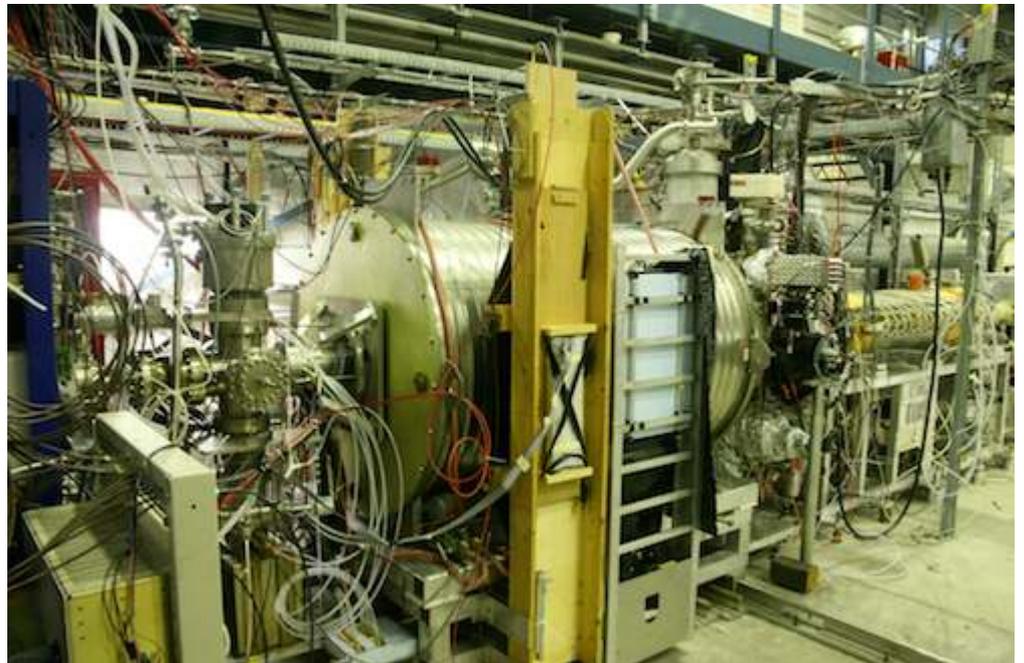
<http://smbc-comics.com/index.php?db=comics&id=2088#comic>



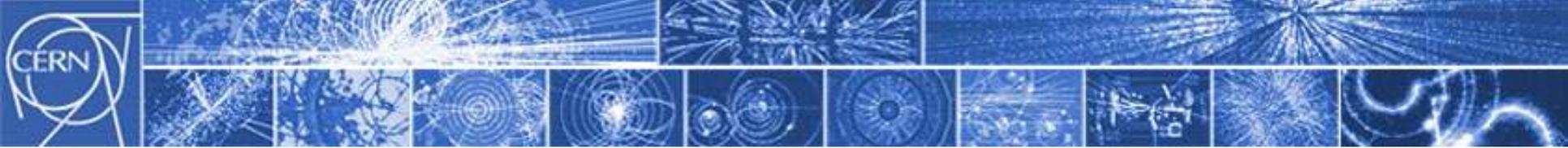
Idrogeno ...



<http://alpha.web.cern.ch/node/59>



e anti-idrogeno ...



L'elio è molto utilizzato negli esperimenti (compreso l'LHC), in forma gassosa, liquida, e superfluida ...

<https://www.youtube.com/watch?v=9FudzqfpLLs>

<https://cds.cern.ch/record/1092437/files/CERN-Brochure-2008-001<sup>18</sup>Eng.pdf>