

# Masterclass 2024



## Misura della vita media della particella $D^0$ dai dati raccolti all'acceleratore LHC dall'esperimento LHCb

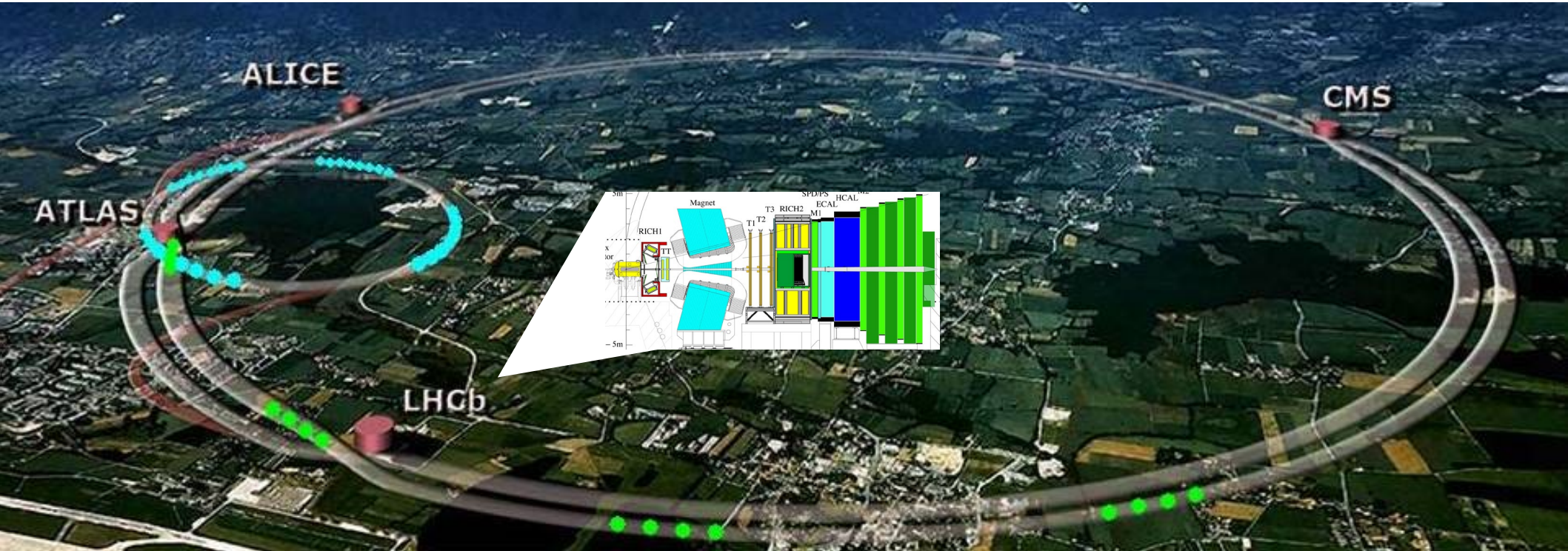
Paolo Carniti

Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Milano Bicocca e INFN

27 Febbraio 2023

# L'esperimento LHCb

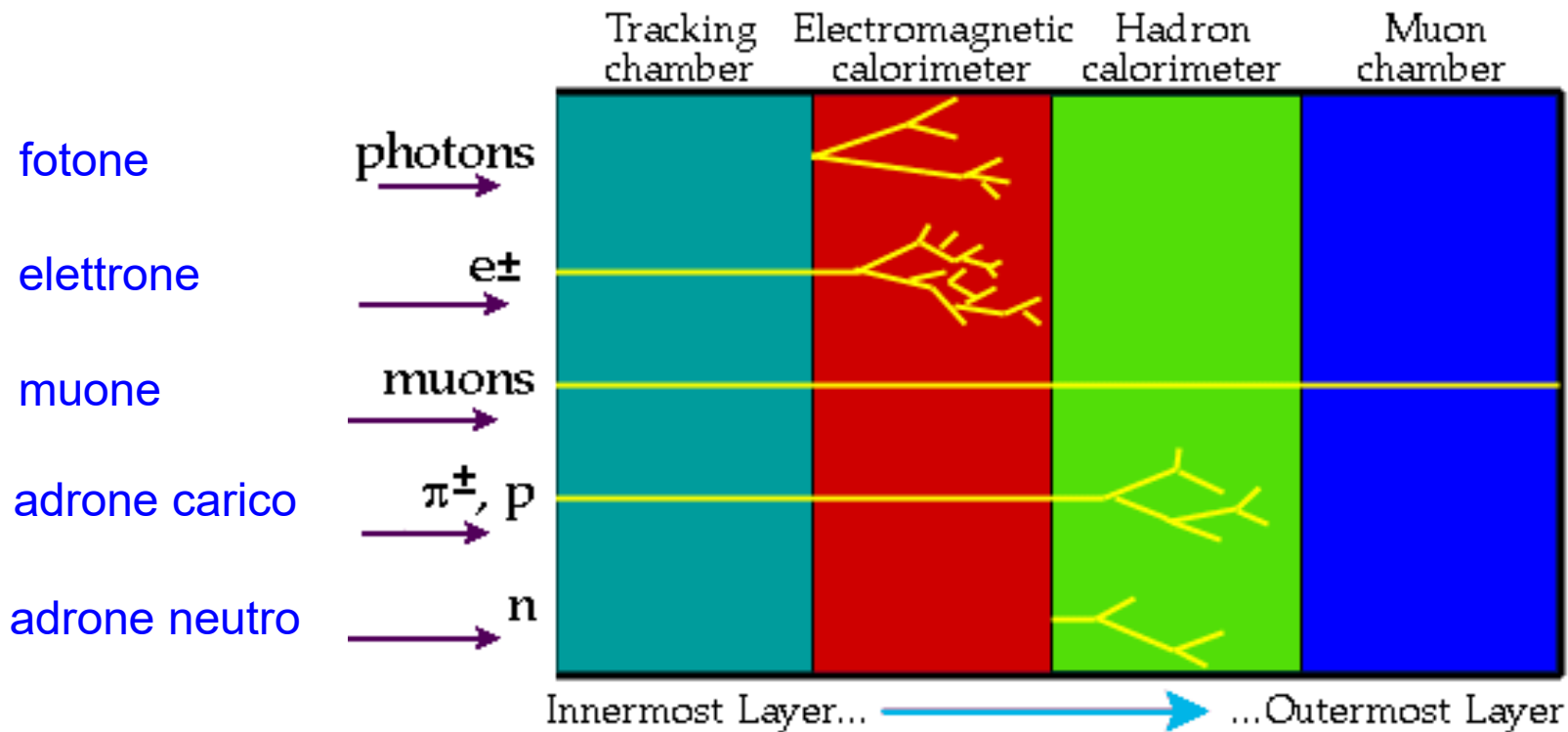
## Large Hadron Collider beauty experiment



- L'esperimento LHCb è posto in uno dei 4 punti di interazione di LHC, dove i due fasci di protoni si scontrano tra loro.
- LHCb studia le particelle prodotte nelle collisioni, in particolare studia gli adroni contenenti il *quark beauty* o il *quark charm*.

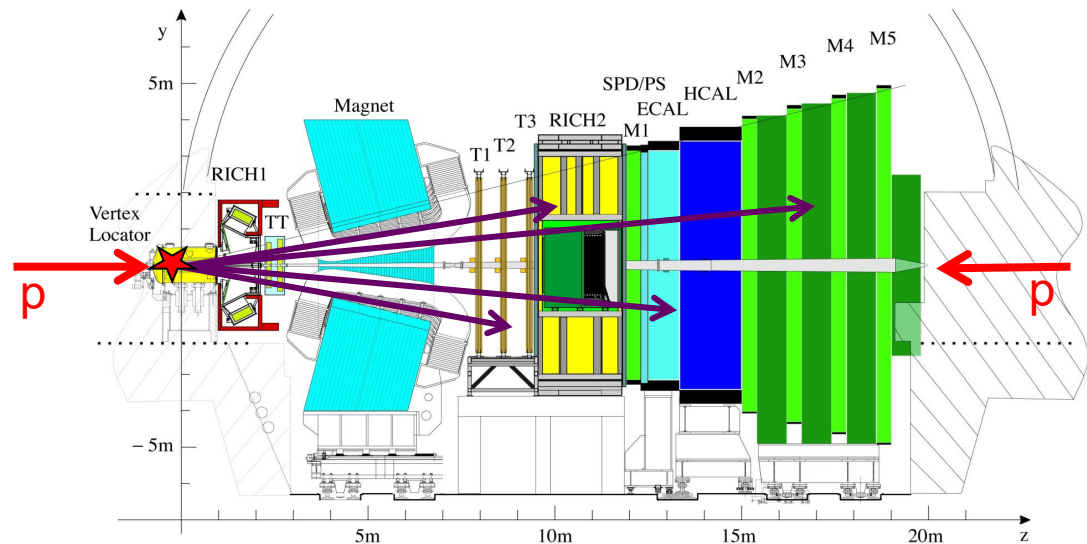
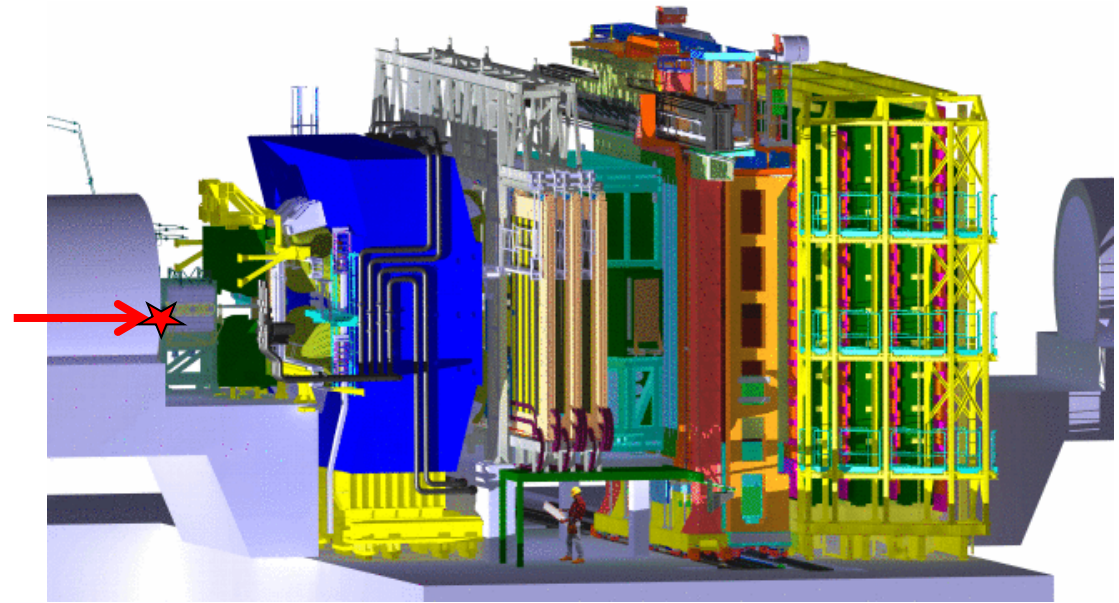
# Come si rivelano le particelle?

- Le particelle *vengono rivelate e identificate* nei rivelatori di particelle, **grazie al loro diverso modo di interagire con la materia**.
- Un **rivelatore di particelle** è tipicamente costituito da diversi “sotto-rivelatori”, ciascuno *sensibile ad una particolare caratteristica* delle particelle che lo attraversano.
- È in grado di rivelare e distinguere tra loro particelle di tipo diverso e misurarne le proprietà.



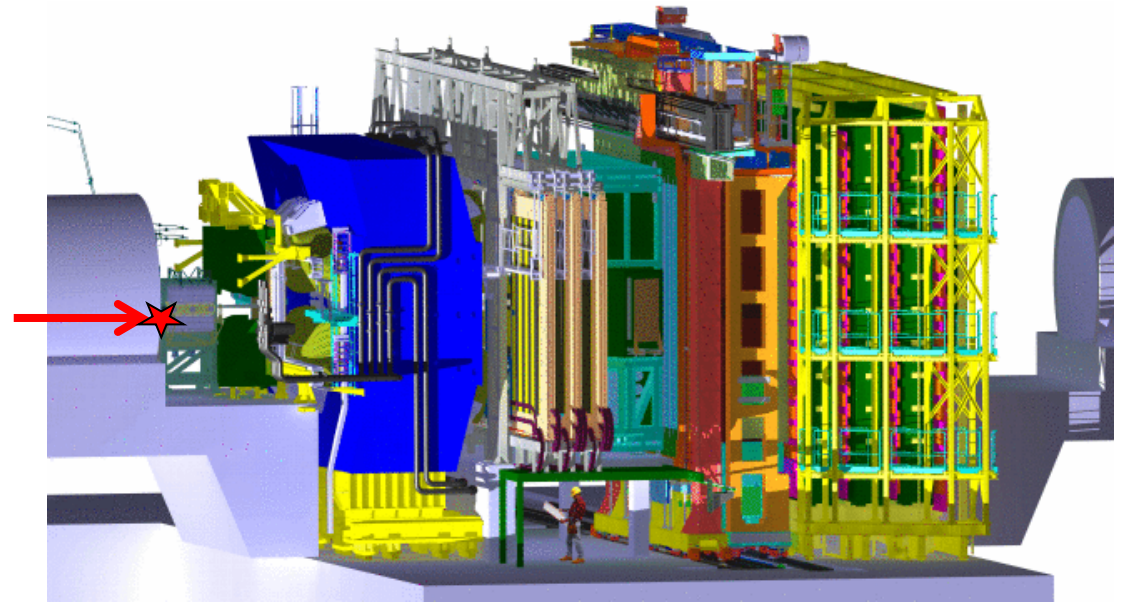
# Il rivelatore LHCb

- LHCb è uno “spettrometro in avanti”
- Le collisioni tra protoni avvengono ad un estremo del rivelatore. Si osserva il flusso di particelle che si propaga da un lato.

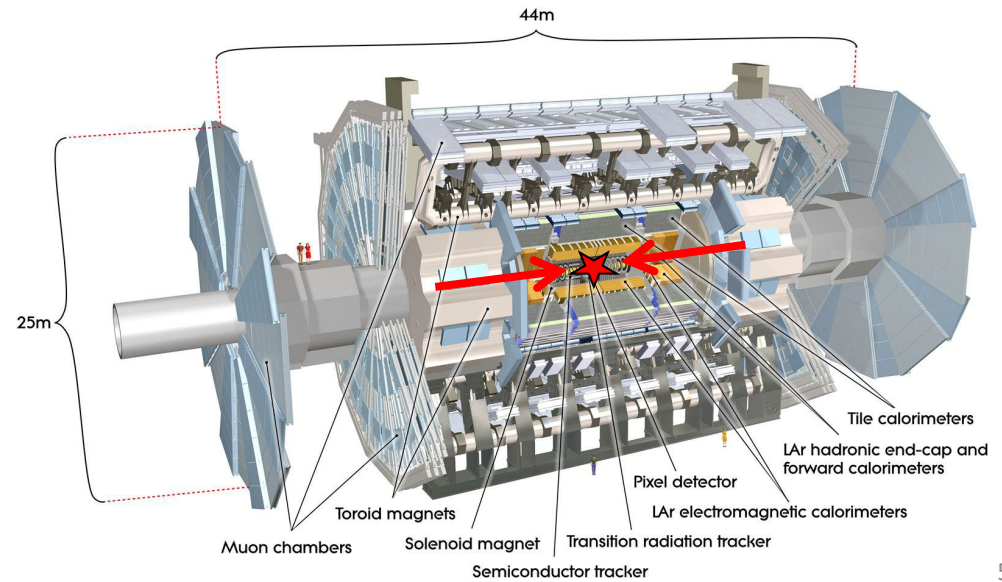


# Il rivelatore LHCb

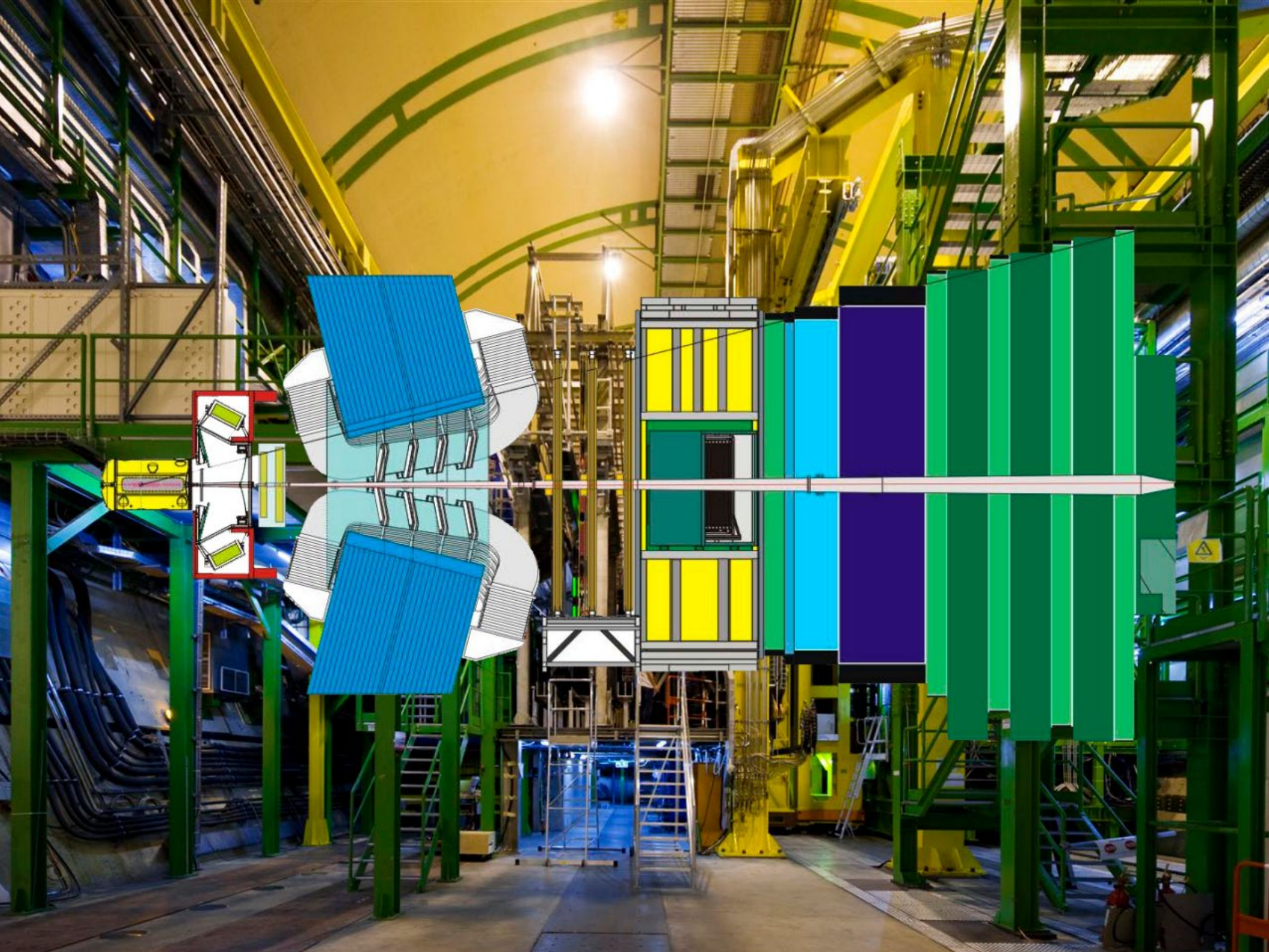
LHCb



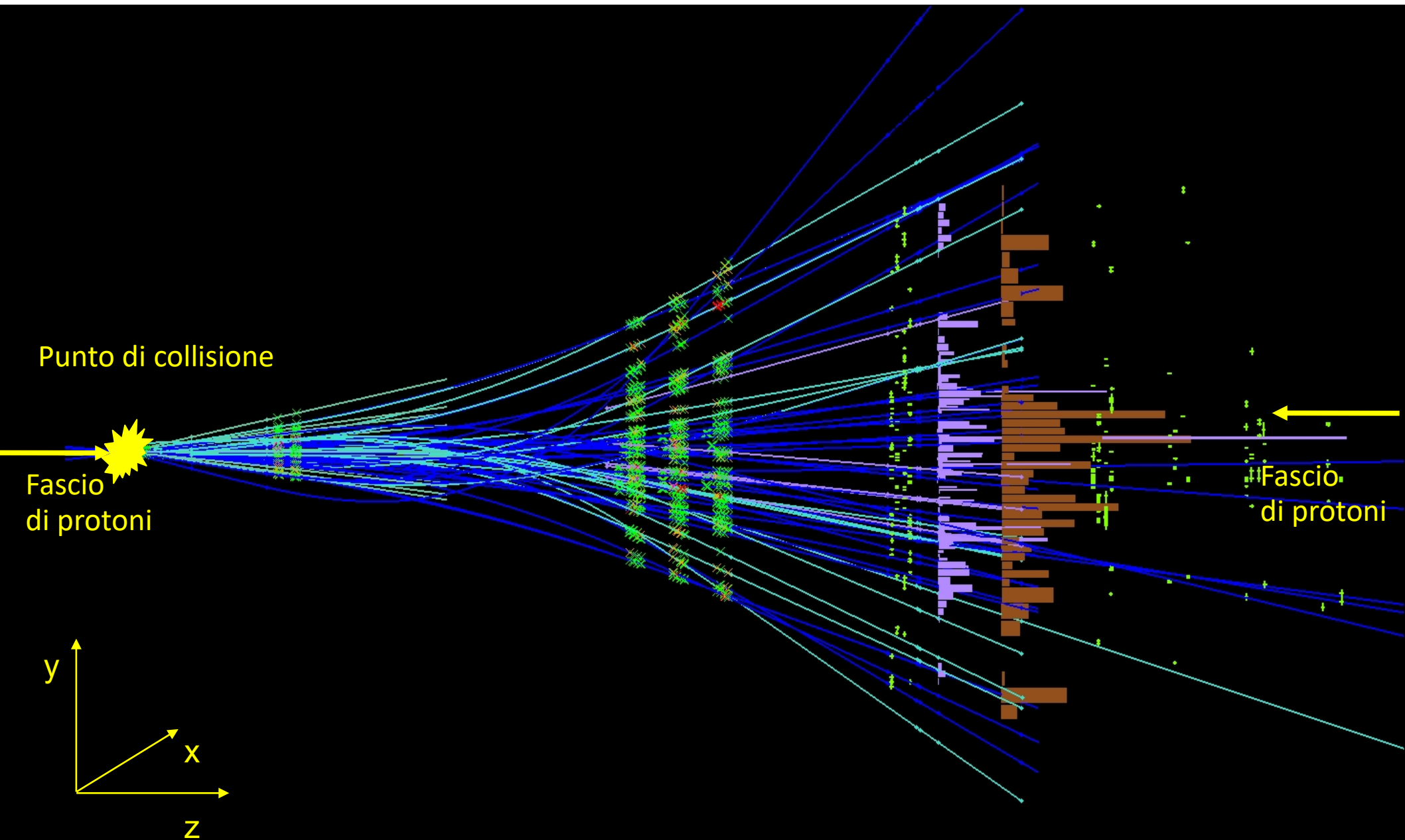
ATLAS  
(CMS, ALICE)





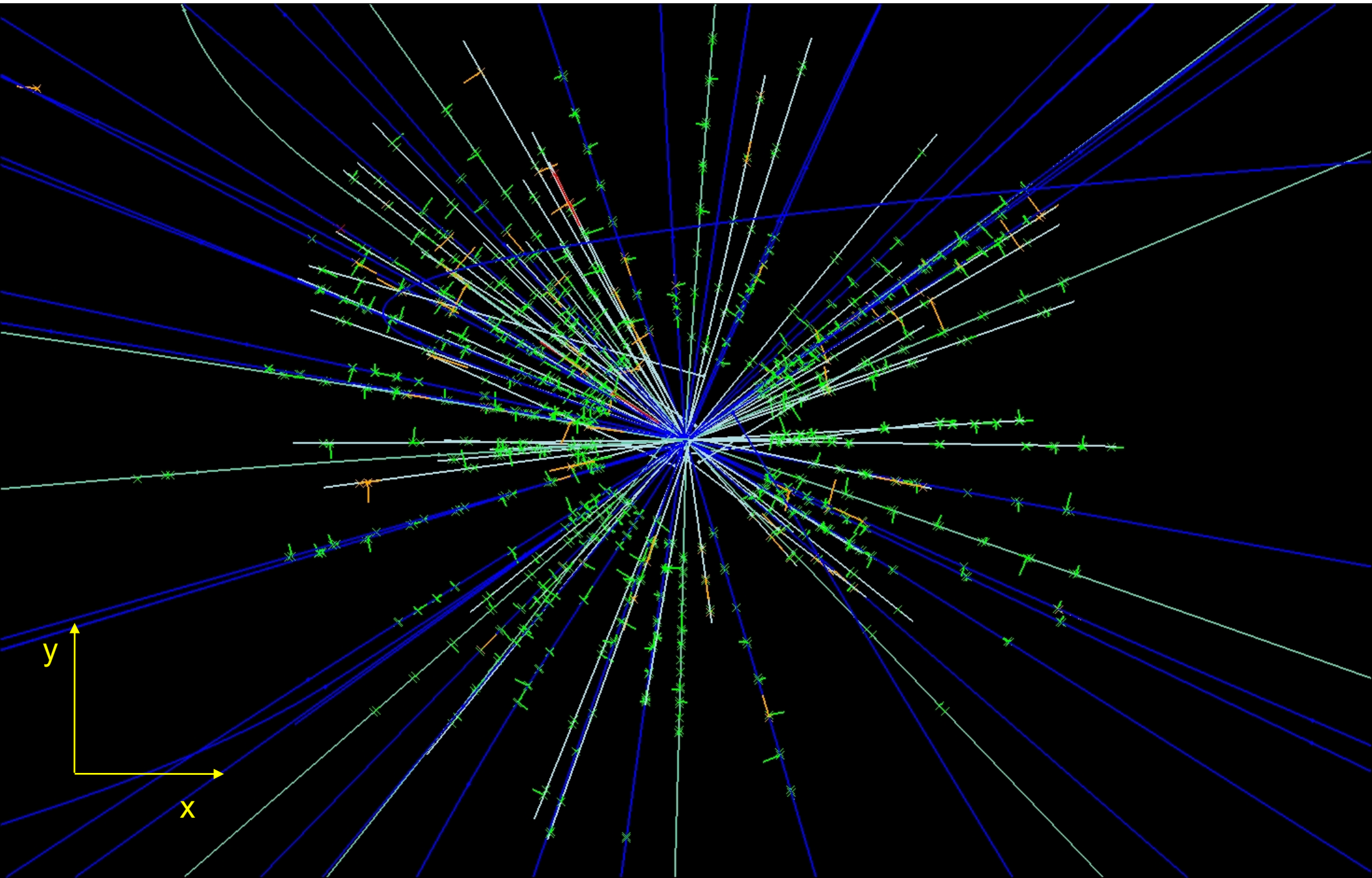


# Una collisione in LHCb

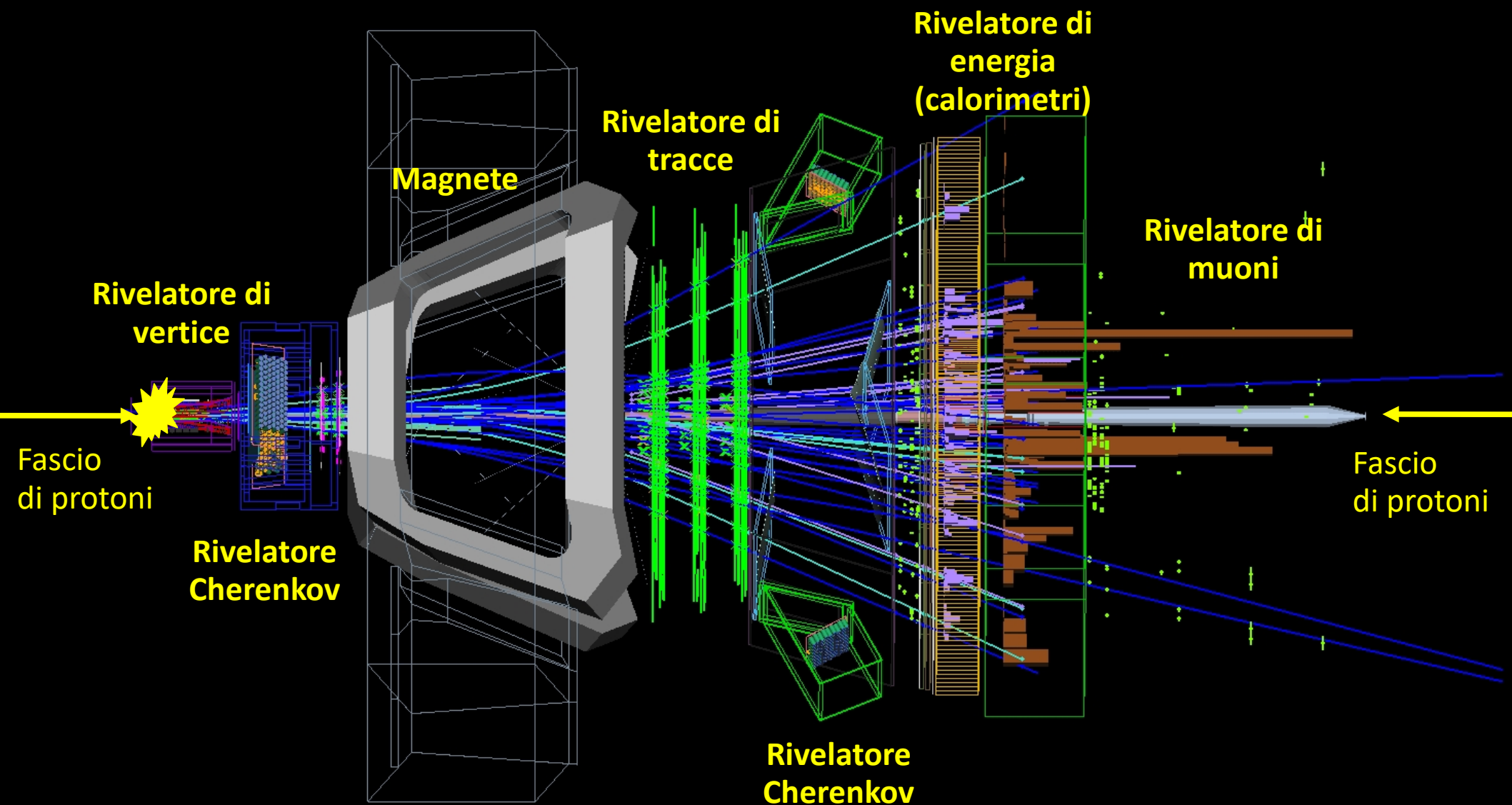




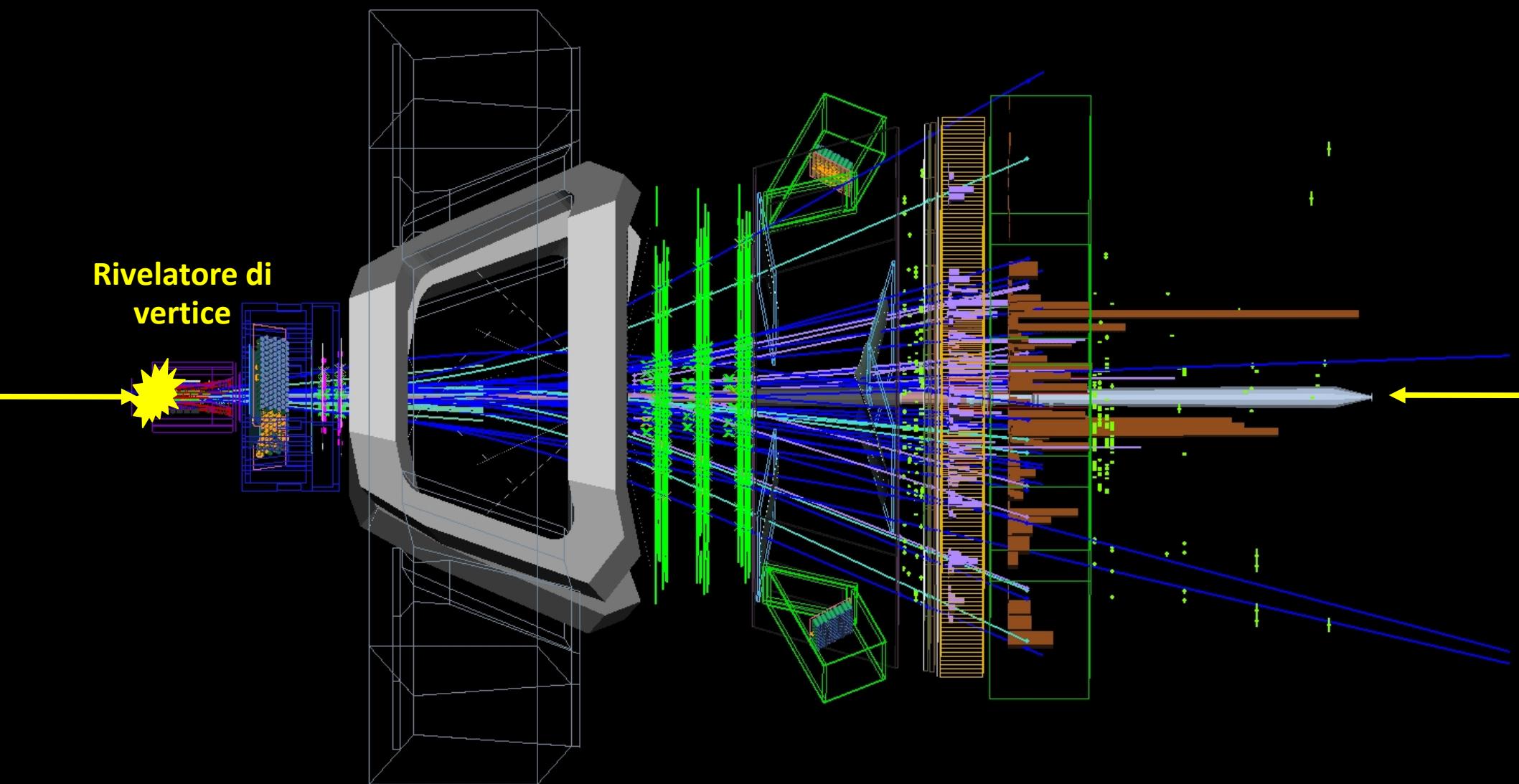
# Una collisione in LHCb



# Come vede le particelle il rivelatore LHCb?

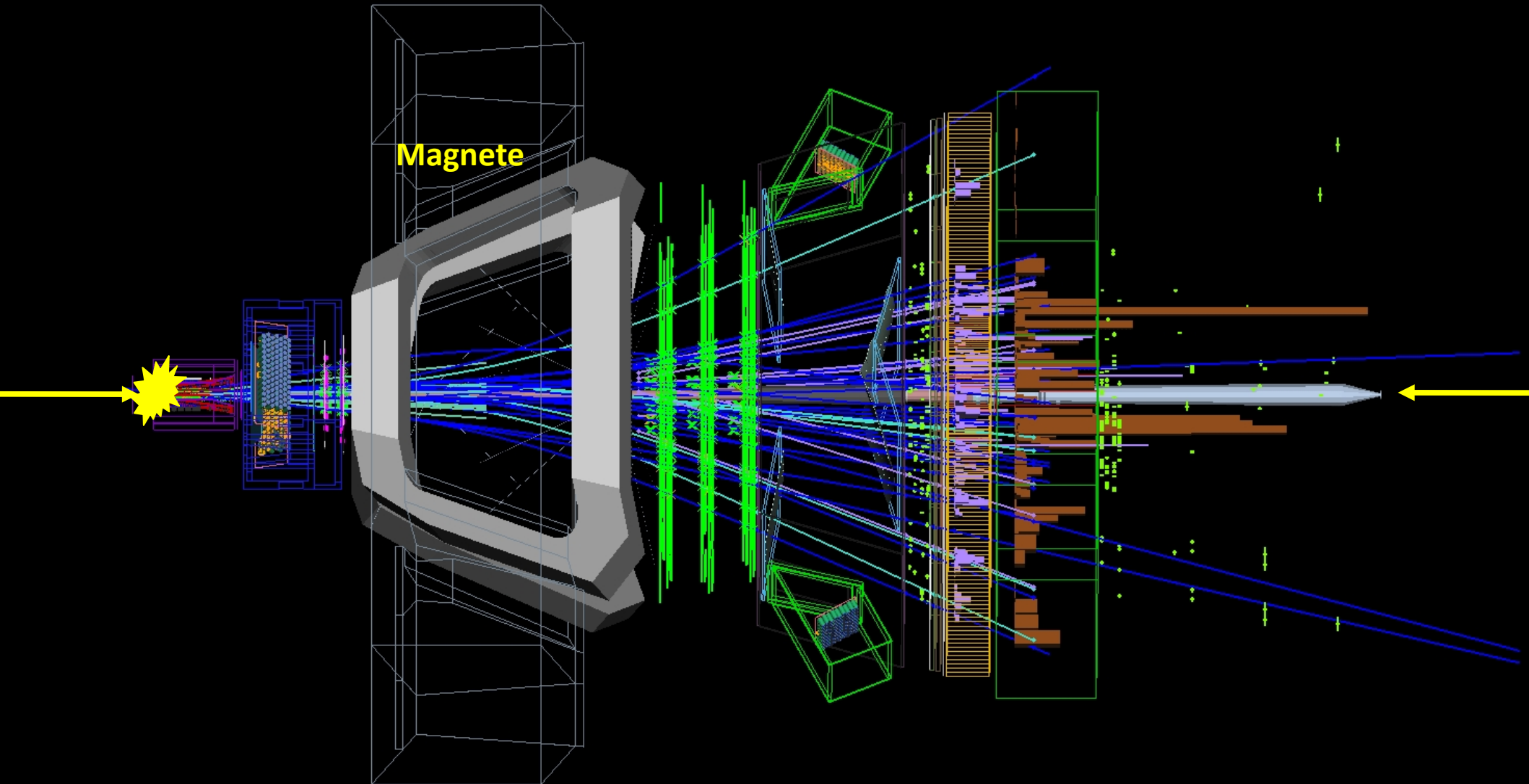


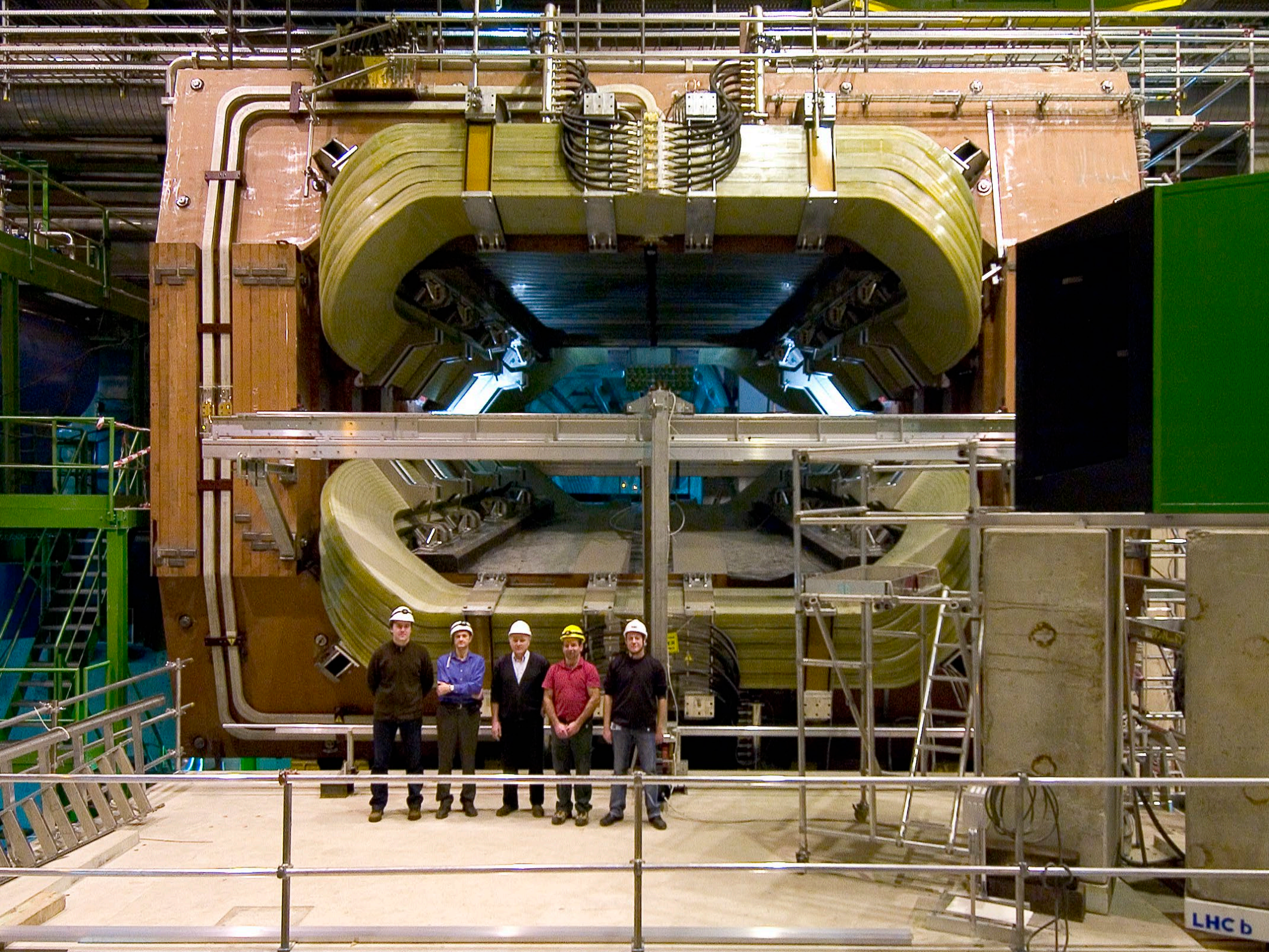
# Come vede le particelle il rivelatore LHCb?





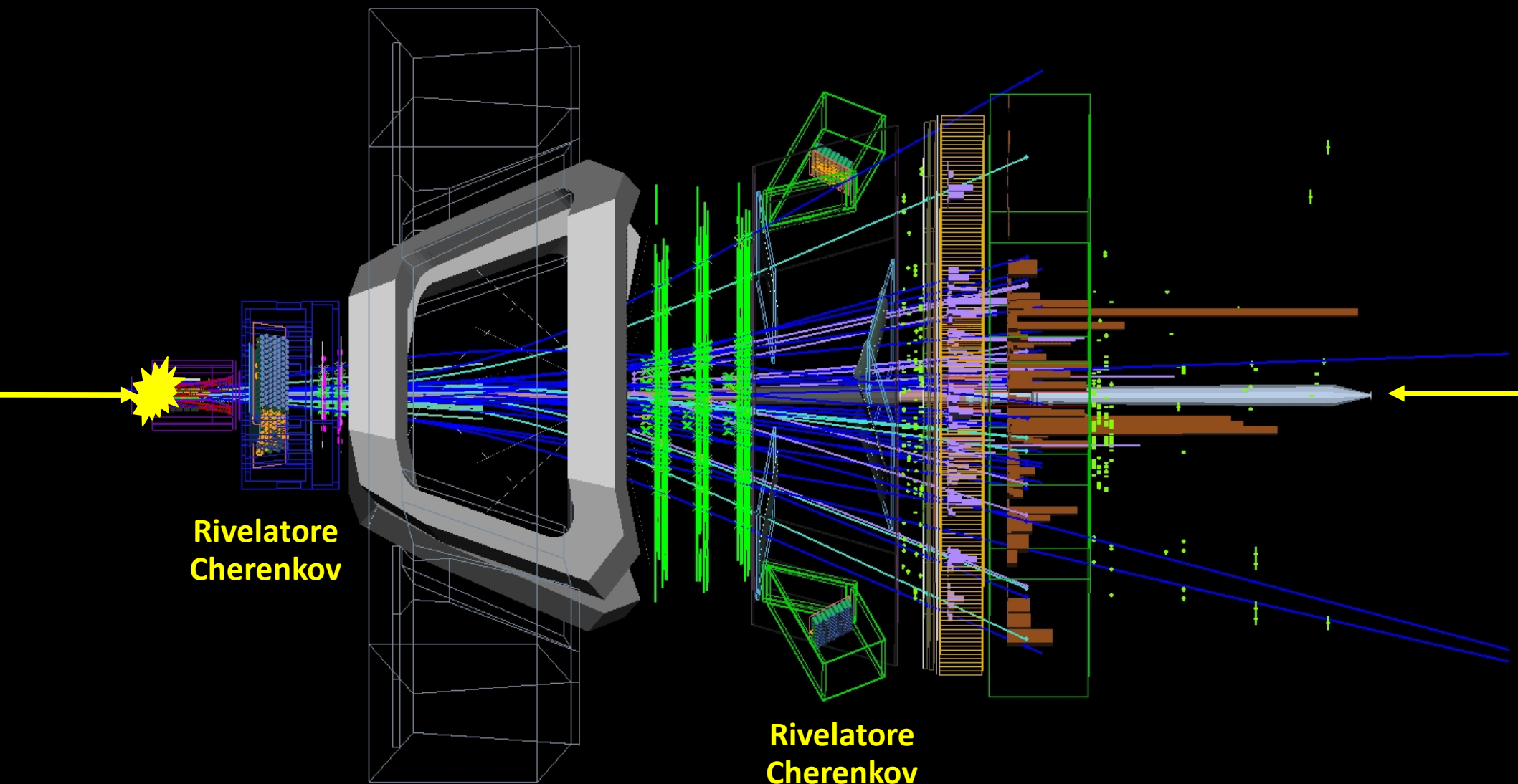
# Come vede le particelle il rivelatore LHCb?

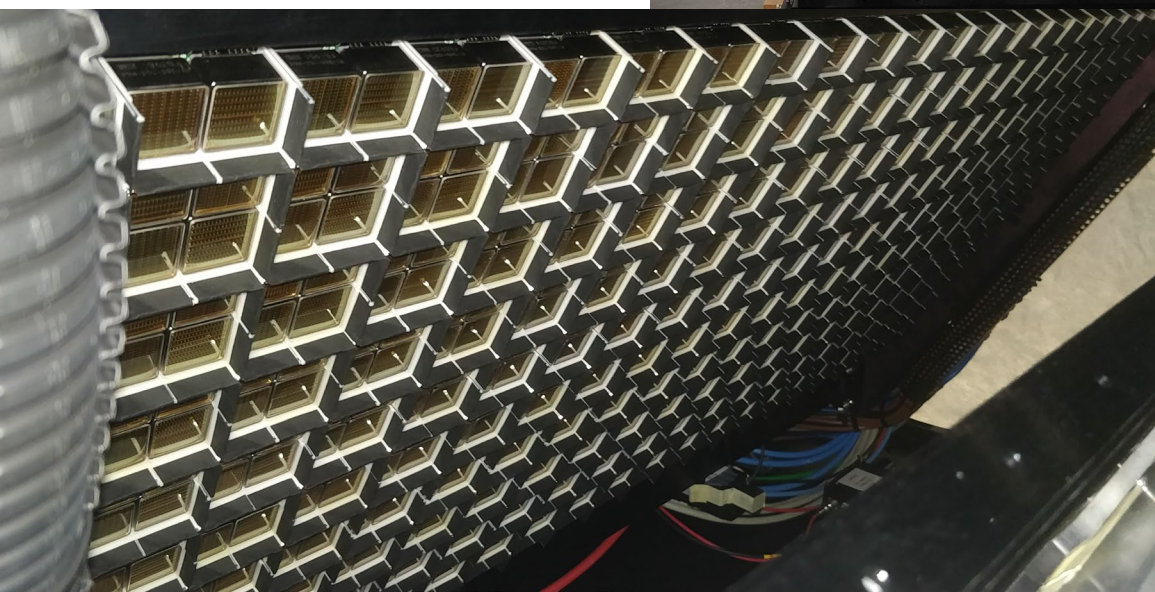




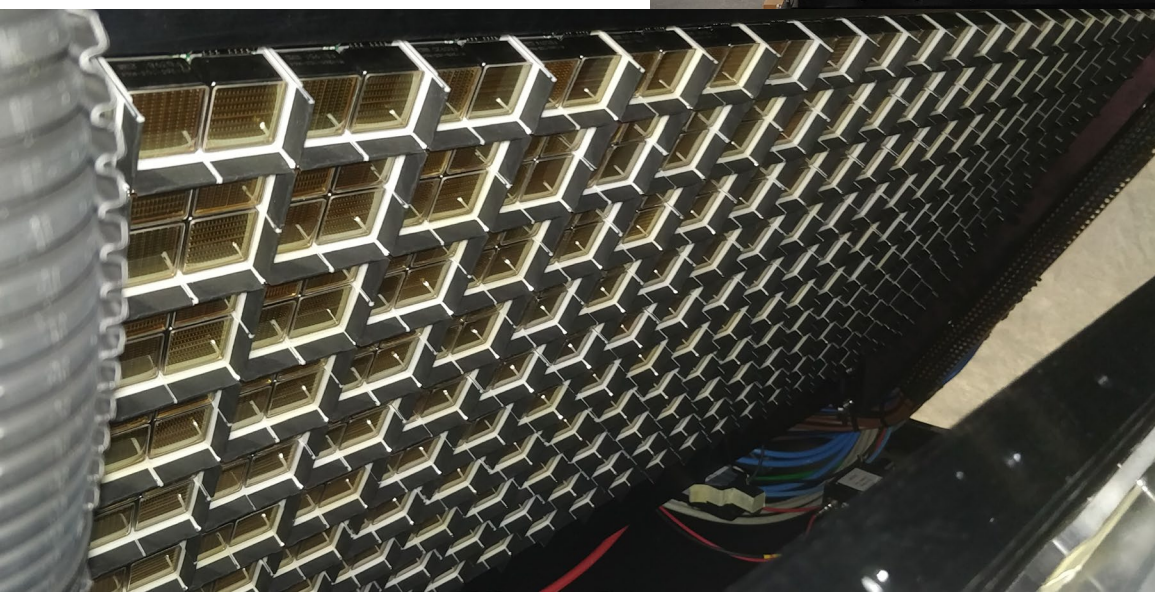
LHC b

# Come vede le particelle il rivelatore LHCb?

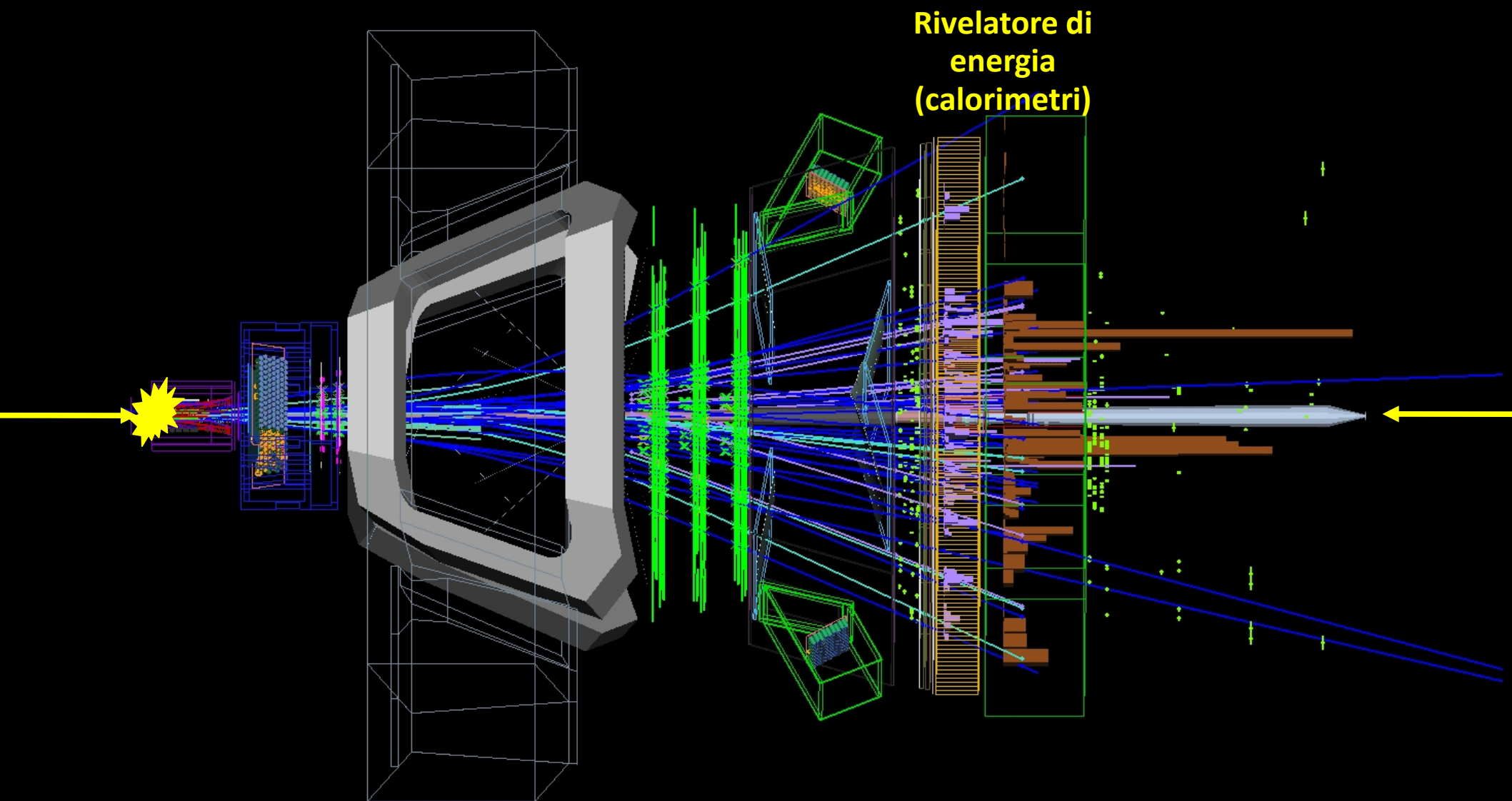


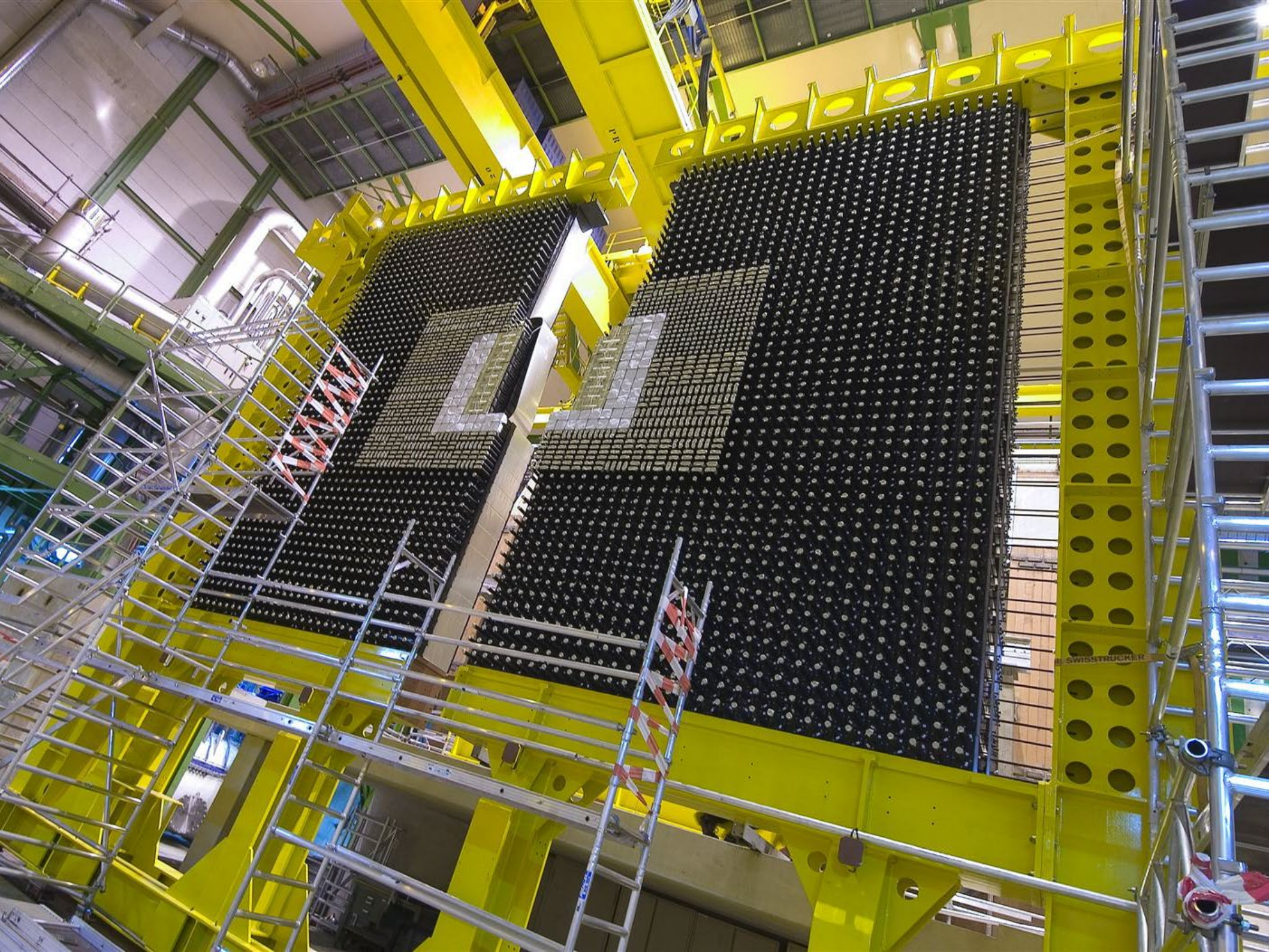






# Come vede le particelle il rivelatore LHCb?

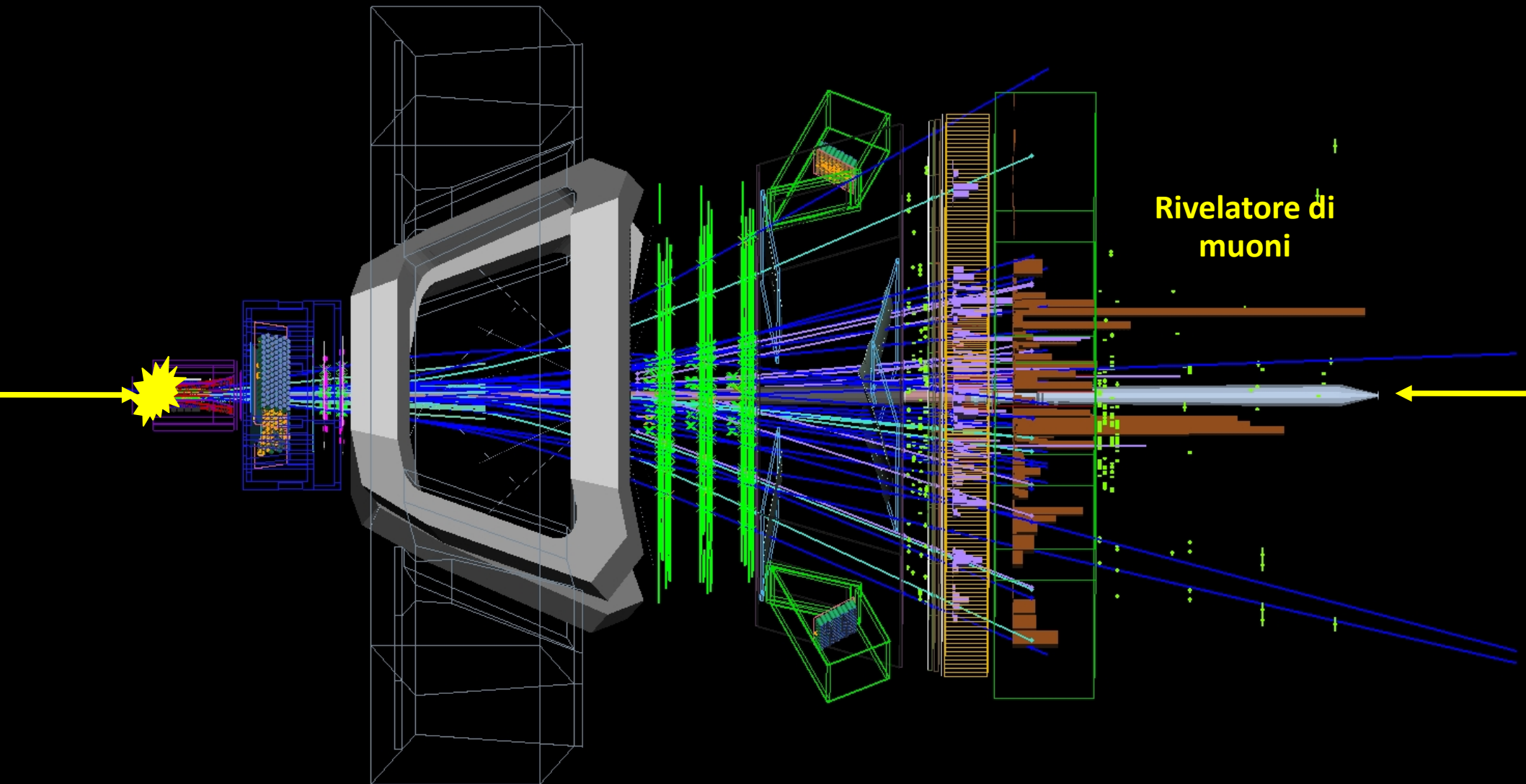


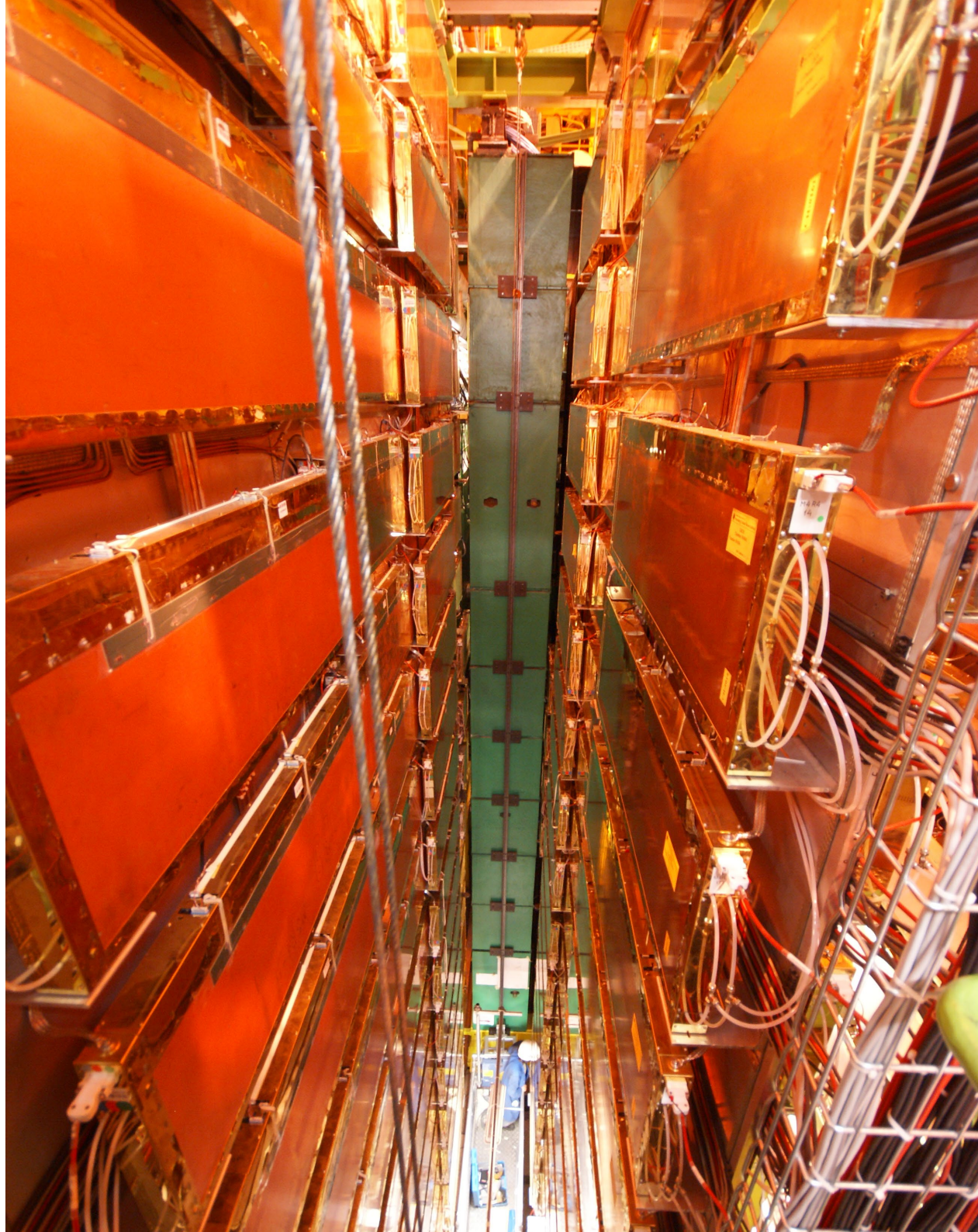


1.1

SWISSSTRÜCKE

# Come vede le particelle il rivelatore LHCb?





# Esercizi Masterclass

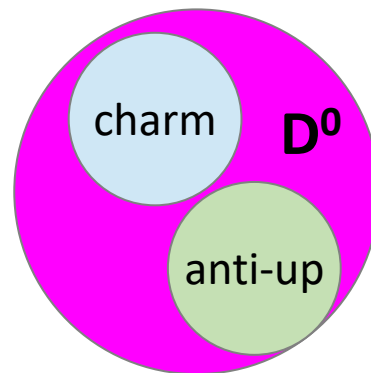
- Negli esercizi che farete userete un **campione di dati raccolti dall'esperimento LHCb** in collisioni p-p all'acceleratore LHC.
- PRIMA PARTE: cercherete la **particella  $D^0$**
- SECONDA PARTE: misurerete una delle proprietà caratteristiche delle particelle: **la vita media**

# La particella $D^0$

- La **particella  $D^0$**  è un **mesone** (= adrone composto da quark e anti-quark) prodotto molto copiosamente ad LHC.
- Il  $D^0$  e la sua anti-particella ( $\bar{D}^0$ ) sono importanti per lo **studio delle differenze tra materia e anti-materia**.
  - Il  $D^0$  è un mesone elettricamente neutro che ha la particolarità (come i mesoni  $K^0$  e  $B^0$ ) di poter “oscillare” nell’anti-mesone prima di decadere.
  - I ricercatori di LHCb studiano le possibili differenze nei decadimenti e nelle “oscillazioni” delle particelle  $D^0$  e anti- $D^0$ . Si cercano differenze anche molto piccole con studi di alta precisione.

# La particella $D^0$

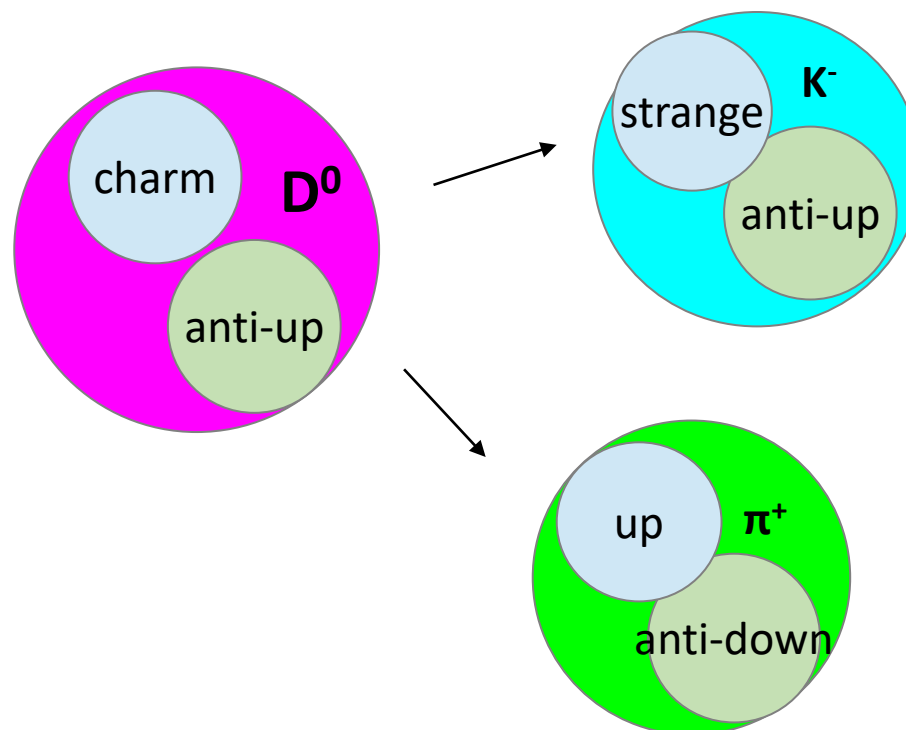
- Il  $D^0$  è composto da un **quark charm e un quark anti-up.**





# La particella $D^0$

- Il  $D^0$  è composto da un **quark charm** e un **quark anti-up**.
- E' una particella instabile: **decade velocemente in altre particelle più leggere**.
- Una delle possibilità di decadimento (tra le innumerevoli): un **kaone** di carica negativa ( $K^-$ ) e un **pione** di carica positiva ( $\pi^+$ )



Per l'anti-particella:

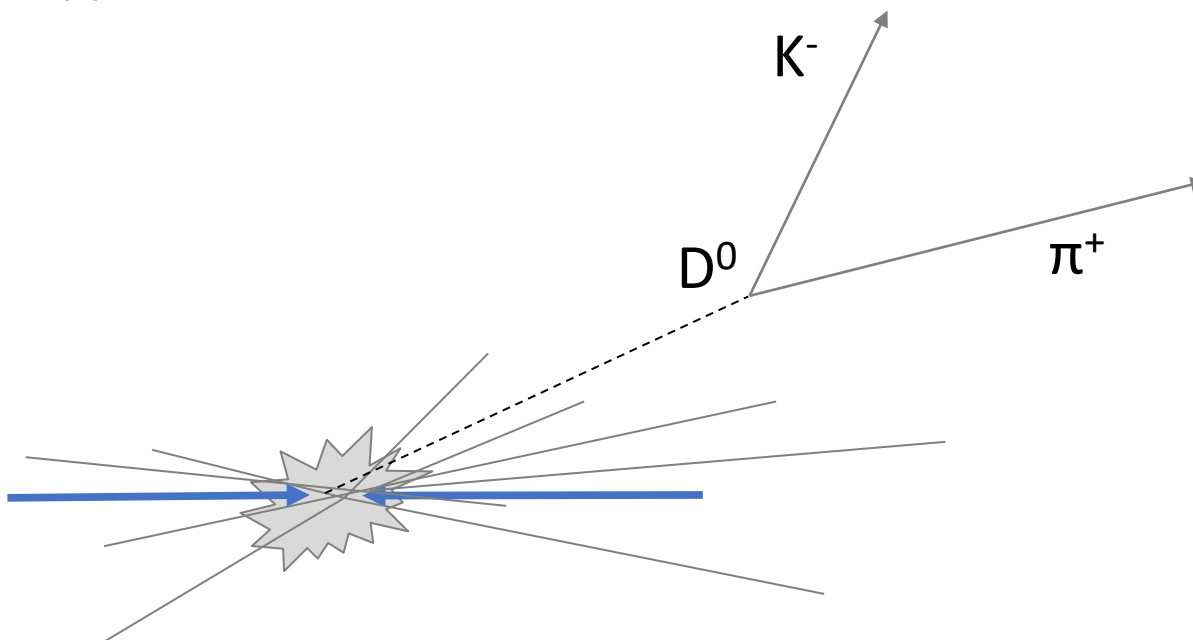


# Esercizio Masterclass: prima parte

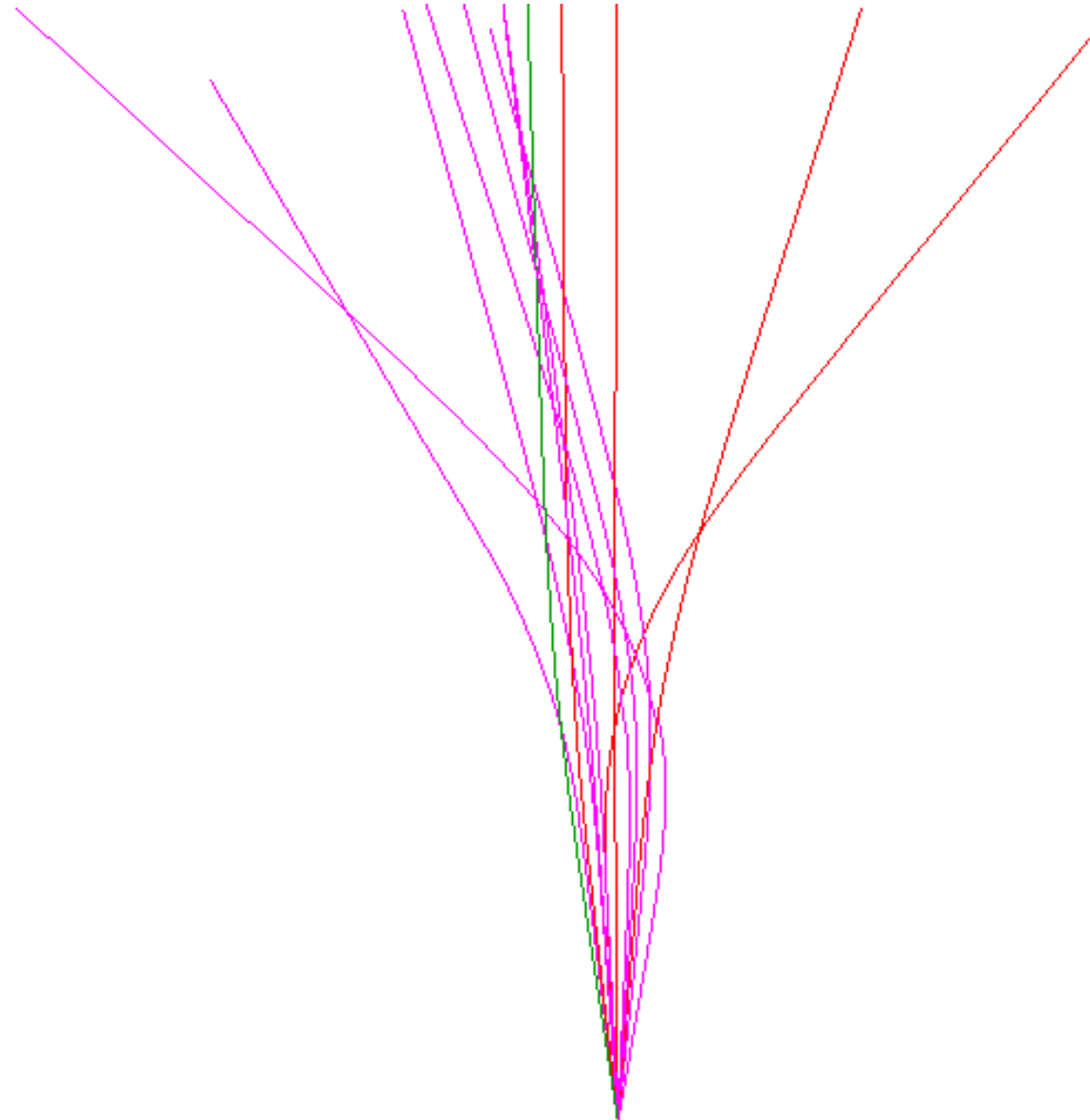
- I dati che userete contengono **eventi** (= collisioni) che sono stati “pre-selezionati” in modo da contenere una particella  $D^0$  con alta probabilità.
- Il vostro compito inizialmente sarà
  - “Ricostruire” i  $D^0$ : **individuare** tra le tracce prodotte in ogni evento quali sono il  $K^-$  e il  $\pi^+$  che formano un  $D^0$
  - Determinare il valore della **massa** della particella ricostruita per poter **distinguere** i **veri  $D^0$**  da quelli **falsi** detti di “fondo”

# Ricostruiamo il $D^0$

- Il  $D^0$  non lascia traccia nel rivelatore, ma **possiamo ricostruirlo e identificarlo se troviamo le tracce delle due particelle kaone e pione in cui è *decaduto* poco dopo esser stato prodotto.**
- Kaone e pione sono carichi e vivono abbastanza a lungo per essere rivelati, misurati e identificati nel rivelatore LHCb.
- Il mesone è elettricamente neutro: **per ricostruirlo dovrò cercare due tracce di carica elettrica opposta:  $K^-$  e  $\pi^+$**



# Come si determina la carica elettrica di una particella?



# Come si determina la carica elettrica di una particella?

## Con un campo magnetico!

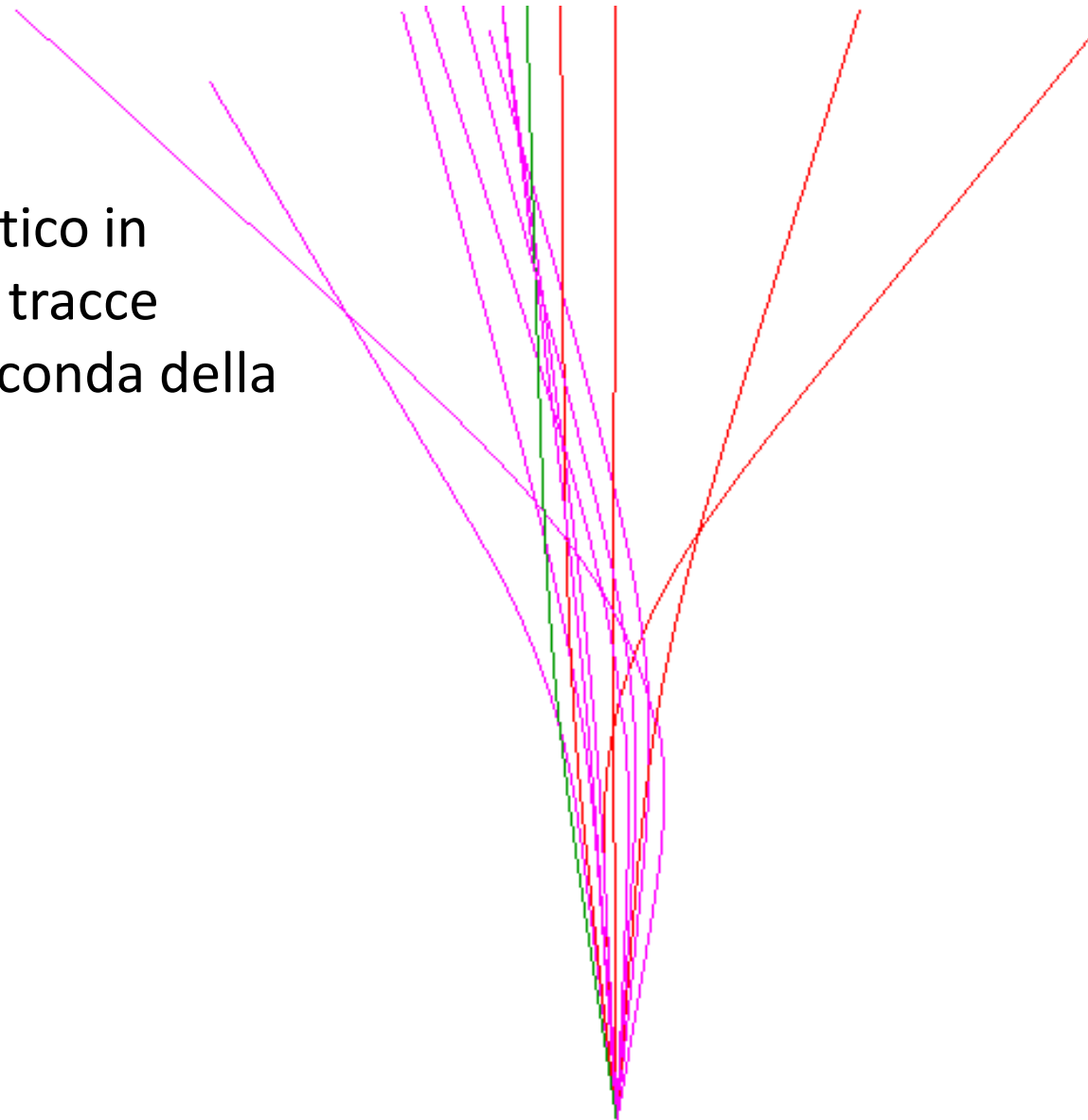
- Se è presente un campo magnetico in direzione entrante nel foglio: le tracce curvano a destra o sinistra, a seconda della carica della particella
- Particelle con carica positiva o negativa curvano in direzione opposta:

Forza di Lorentz:  $\mathbf{F} = q (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$

$q$  = carica

$\mathbf{v}$  = velocità

$\mathbf{B}$  = campo magnetico



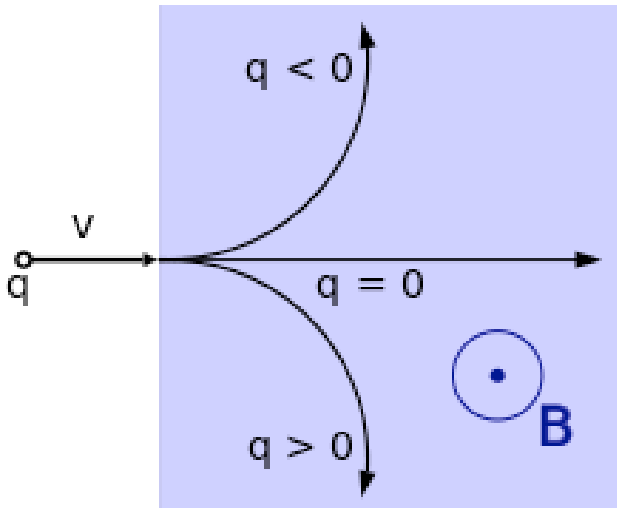
# Curvatura in campo magnetico

- La curvatura della traiettoria nel campo magnetico permette di ricavare la quantità di moto della particella:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

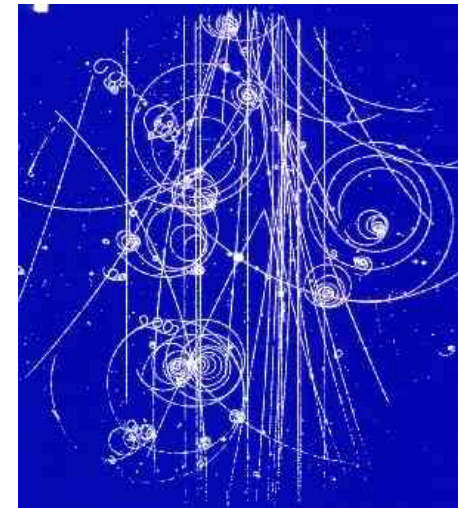
Una particella con velocità  $v$  e massa  $m$ , carica  $q$ , in un campo magnetico  $B$  costante, percorre una traiettoria circolare di raggio  $R$

- Se si ricostruisce la traiettoria della particella e si misura il suo raggio  $R$  si può ricavare la quantità di moto  $p = mv$  (detta anche **momento**)



Grande raggio  
→ grande momento

Piccolo raggio  
→ piccolo momento



# Energia e massa di una particella

- In fisica classica

il momento di una particella e l'energia cinetica sono legati alla massa e alla velocità dalle relazioni

$$\mathbf{p} = m \mathbf{v}$$

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

- La relatività ristretta ci dice che per particelle che viaggiano a velocità prossima a quella della luce vale

$$E^2 = p^2 c^2 + (m c^2)^2$$

Da cui possiamo ricavare:  $(m c^2)^2 = E^2 - p^2 c^2$

→ Posso calcolare la massa della particella dalla misura della sua energia e del suo momento

# Energia e massa di una particella

- Il momento e l'energia del  $D^0$  sono dati dalla **somma dei valori misurati per i suoi prodotti di decadimento**: kaone e pione

$$\vec{p}_{D^0} = \vec{p}_K + \vec{p}_\pi$$

$$E_{D^0} = E_K + E_\pi$$

In conclusione:

- Trovati il kaone e il pione che formano il  $D^0$  e misurati i loro momenti ed energie, si possono ricavare momento, energia e quindi massa del  $D^0$

$$(mc^2)^2 = E^2 - p^2c^2 \rightarrow m^2c^2 = E^2/c^2 - p^2$$

$$m_{D^0}c = \sqrt{\frac{E_{D^0}^2}{c^2} - p_{D^0}^2}$$



# Esercizio Masterclass: prima parte

Dovrete individuare le due tracce che compongono un  $D^0$

- ✓ un kaone e un pione
- ✓ di carica elettrica opposta
- ✓ la massa della particella composta deve risultare uguale a quella della particella  $D^0$

.... proprio uguale??

Il programma calcolerà per voi la massa della particella composta 😊

# La massa del $D^0$

La misura della massa della particella  $D^0$  effettuata da diversi esperimenti è


$$m(D_0) = 1864.8 \text{ MeV}/c^2$$

Questo è quello che mi aspetto di trovare per veri  $D^0$

## Ma

- La ricostruzione delle tracce e la misura del loro momento non è perfetta: ci sono **incertezze di misura** che si riflettono in variazioni del valore della massa ottenuto in ciascuna misura rispetto quello vero.
  - Non tutti i  $D^0$  ricostruiti sono veri e per quelli falsi (combinazioni di due tracce di altra provenienza), detti di **“fondo”**, il valore della massa è casuale.
- Troverete una *distribuzione* di valori per le masse dei  $D^0$  ricostruiti

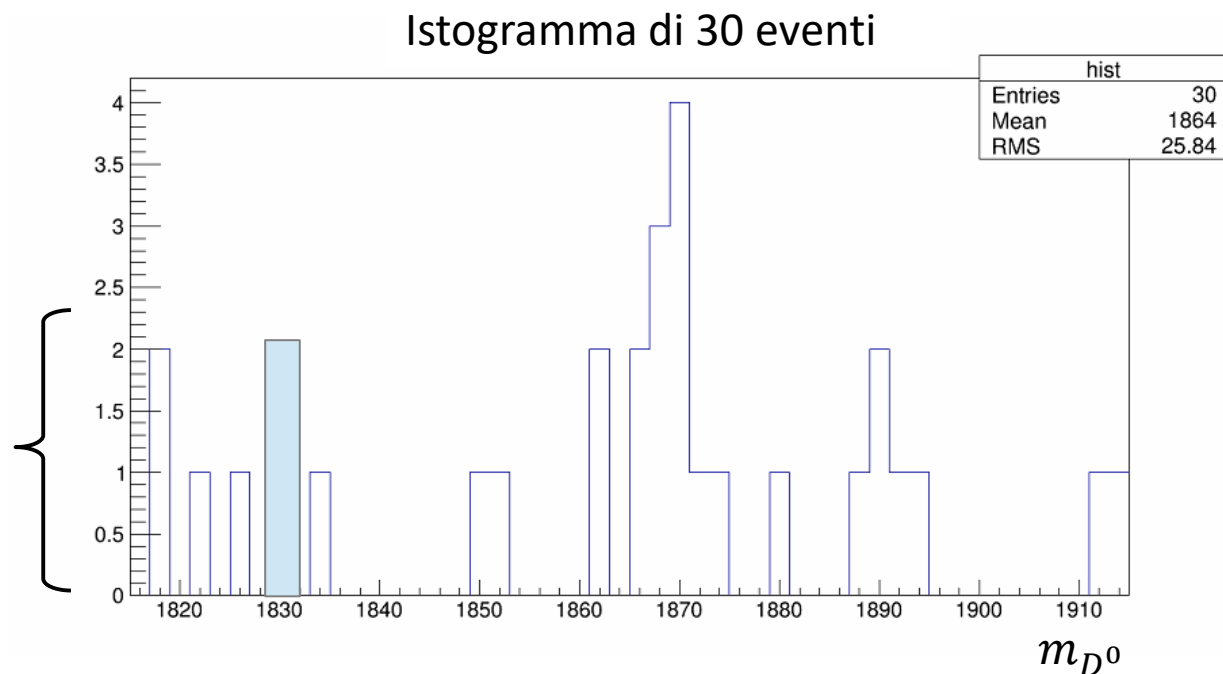
# Una parentesi: come rappresentiamo i risultati delle misure? Gli istogrammi

Supponiamo di avere misurato più volte una grandezza  $X$ .

Un modo conveniente per rappresentare i valori ottenuti è l'**istogramma**.

Istogramma dei valori misurati per la massa del  $D^0$

*Altezza dei rettangoli = numero di  $D^0$  misurati per ciascun valore della massa*



*Il valore centrale dell'istogramma, per un numero sufficientemente elevato di misure dovrebbe corrispondere al valore vero della massa del  $D^0$ .*

# Esercizio Masterclass: prima parte

Loggarsi nel PC

Dovrebbe aprirsi automaticamente la pagina web  
«WELCOME\_MASTERCLASS.html»

Altrimenti, clic su "Testo e Consegna" e poi su cartella TESTO

Aprire «WELCOME\_MASTERCLASS.html»

Collegarsi al link [1]:

<https://lhcb-d0.web.cern.ch/>

Inserire i propri dati (a piacere)

Scegliere la combinazione (identica al PC)

Cliccare Save

Scegliere il primo esercizio



*Puoi zoomare,  
cambiare vista,  
ruotare,  
togliere/mettere il rivelatore*

### Event Display Exercise

Event handler  
event\_1\_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

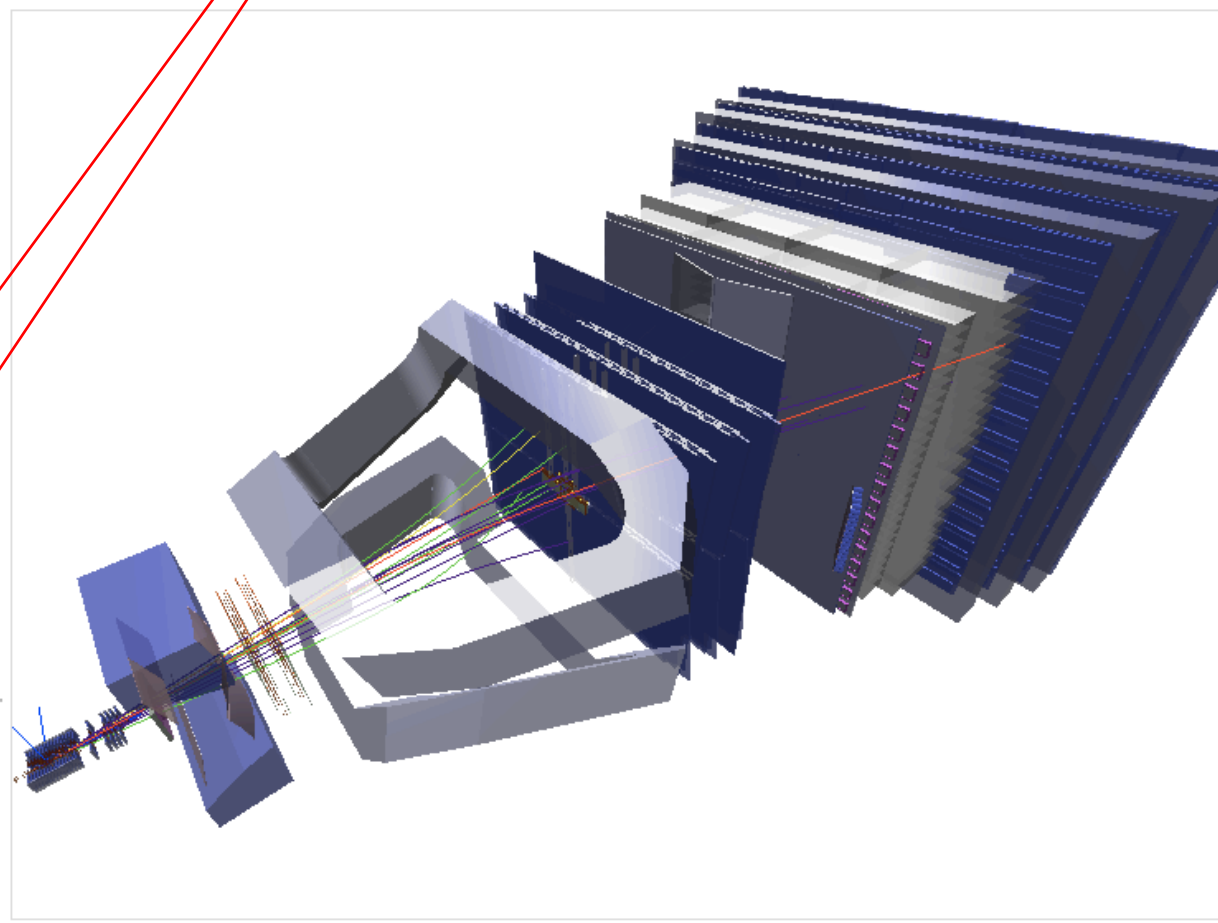
Help

View

Auto rotate

Legend

- K<sup>-</sup> —
- K<sup>+</sup> —
- pi<sup>+</sup> —
- pi<sup>-</sup> —
- D<sup>0</sup> —



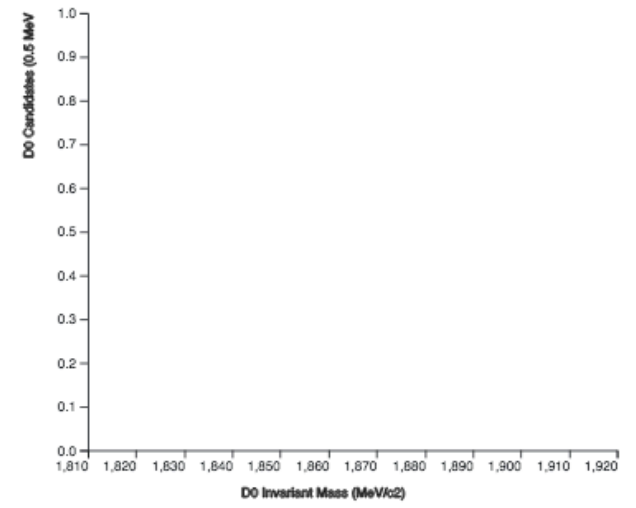
Particle information

|        |                            |
|--------|----------------------------|
| E      | 4555.439 MeV               |
| chi2   | 0.775                      |
| ipchi2 | 5.767                      |
| mass   | 139.570 MeV/c <sup>2</sup> |
| name   | pi <sup>+</sup>            |
| ZFstM  | 94.103                     |

My particles

Mass MeV/c<sup>2</sup>

Add



*Posizionando il mouse su una traccia, ne scoprirai le caratteristiche principali.*

- *Cliccandoci sopra la selezionerai*
- *Con due tracce verrà calcolata la massa*

LHCb Masterclass

### Event Display Exercise

Event handler  
event\_1\_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View

Auto rotate

Legend

K<sup>-</sup> —

K<sup>+</sup> —

pi<sup>+</sup> —

pi<sup>-</sup> —

D<sup>0</sup> —

Particle information

|        |                            |
|--------|----------------------------|
| E      | 23057.251 MeV              |
| chi2   | 1.003                      |
| ipchi2 | 6.051                      |
| mass   | 493.677 MeV/c <sup>2</sup> |
| name   | K <sup>-</sup>             |
| ZFstM  | 124.088                    |

My particles

pi<sup>+</sup>

K<sup>-</sup>

Mass

**1867.780 MeV/c<sup>2</sup>**

Add

*Ripeti l'operazione per i 30 eventi del tuo campione e salva l'istogramma complessivo.*

*Puoi inserire nell'istogramma la combinazione di due tracce cliccando Add.*

# Esempio di zoom

## Event Display Exercise

Event handler  
event\_32\_4.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View

Perspective ▾

Auto rotate

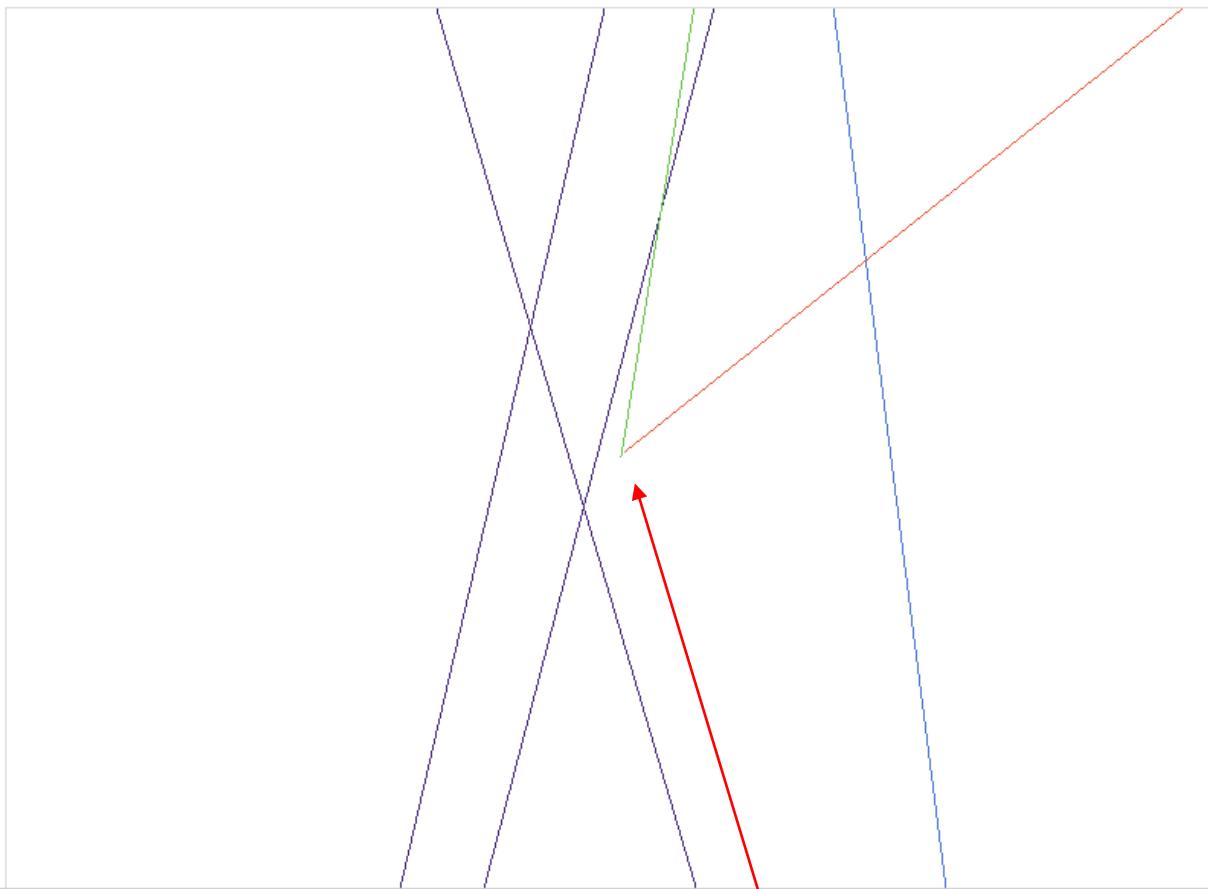
Legend

K<sup>-</sup> —

K<sup>+</sup> —

pi<sup>+</sup> —

pi<sup>-</sup> —



Particle information

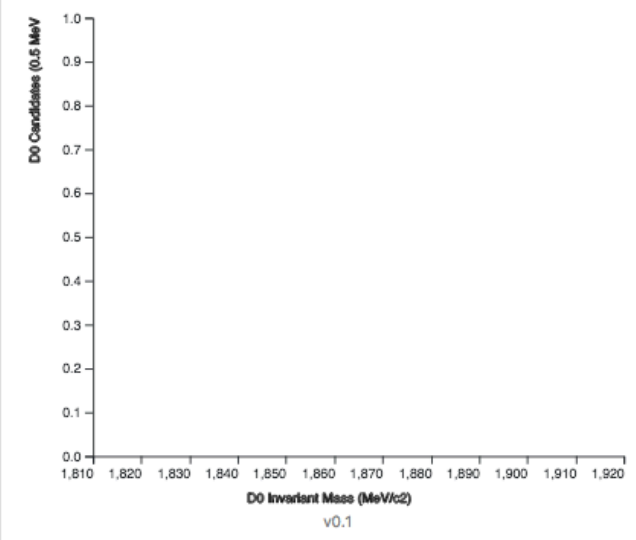
|        |                    |
|--------|--------------------|
| E      | MeV                |
| chi2   |                    |
| ipchi2 |                    |
| mass   | MeV/c <sup>2</sup> |
| name   |                    |
| ZFstM  |                    |

My particles

Mass

MeV/c<sup>2</sup>

Add



Vertice delle due tracce

# Dopo l'esercizio: pausa pranzo

Consegna pranzo al sacco:  
**U9-06 ore 12:45**

Dopo pranzo:  
**U9-06 ore 13:45**



# Esercizio Masterclass: prima parte

## LAB910

Liceo Frisi, Monza

## LAB911

Liceo Banfi, Vimercate

Liceo Vittorini, Milano

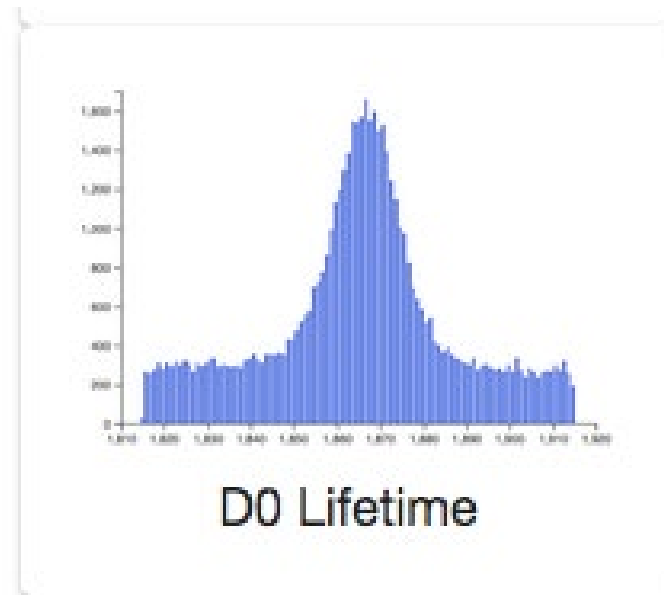
## LAB907

Tutti gli altri

Dopo pranzo:  
**Ritrovo in  
U9-06 ore 13:45**

Pausa pranzo

## Misura della vita media della particella $D^0$

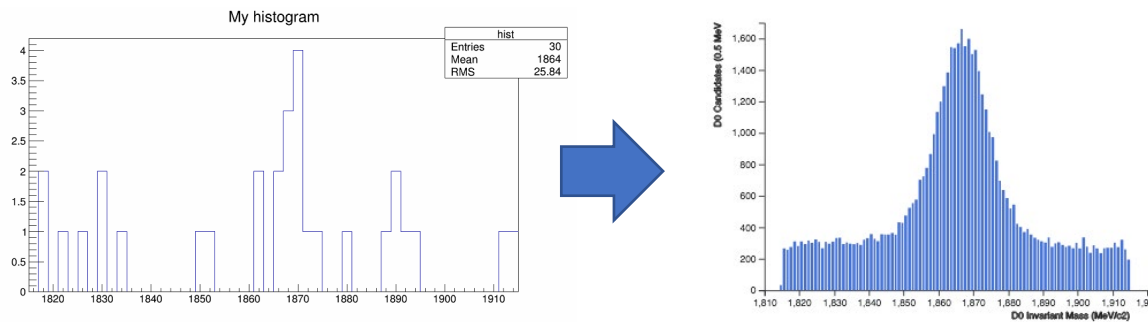


SCOPO:

- **Misurare** la **vita media della particella  $D^0$**  interpolando la distribuzione dei **tempi di decadimento** dei veri  $D^0$  ricostruiti

# Segnale e Fondo

- In questo secondo esercizio utilizzerete un **campione di dati molto più ampio** del precedente, pre-selezionato in modo da contenere un numero elevato di particelle  $D^0$ .



- Poiché solo in una piccola frazione delle collisioni protone-protone registrate da LHCb vengono prodotti dei  $D^0$ , nel campione sono presenti anche **“falsi  $D^0$ ”** = combinazioni di tracce che non provengono dal  $D^0$  ma che per caso danno un valore della massa vicino a quella del  $D^0$
- Chiamiamo:  
Particella che stiamo cercando → **SEGNALE**  
Tutto il resto → **FONDO**

# Come distinguere segnale e fondo?

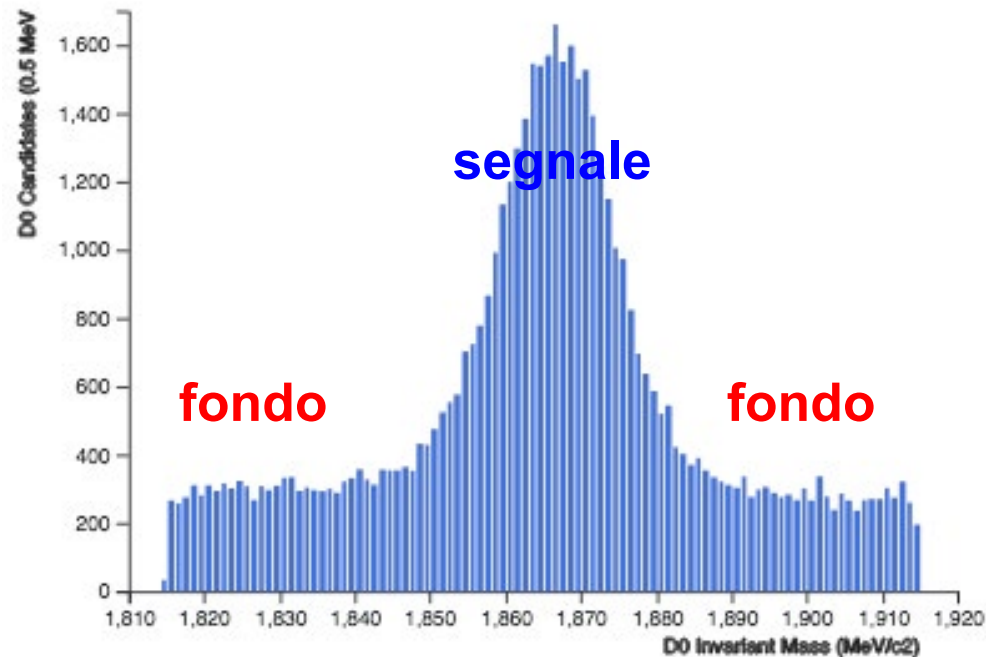
Utilizzo la distribuzione delle masse misurate per **sottrarre in modo “statistico”** gli eventi di fondo rimasti nel campione

**Posso anche migliorare la selezione** con opportuni «tagli», ovvero tenendo solo i  $D^0$  che hanno le proprietà tipiche dei veri  $D^0$ . Devo quindi aggiungere delle richieste sulle proprietà che hanno i candidati  $D^0$

In questo esercizio potrete considerare quattro grandezze:

- La massa
- Il momento trasverso ( $p_T$ )
- Il parametro di impatto (IP)
- Il tempo di decadimento ( $t$ )

# Distribuzione di massa

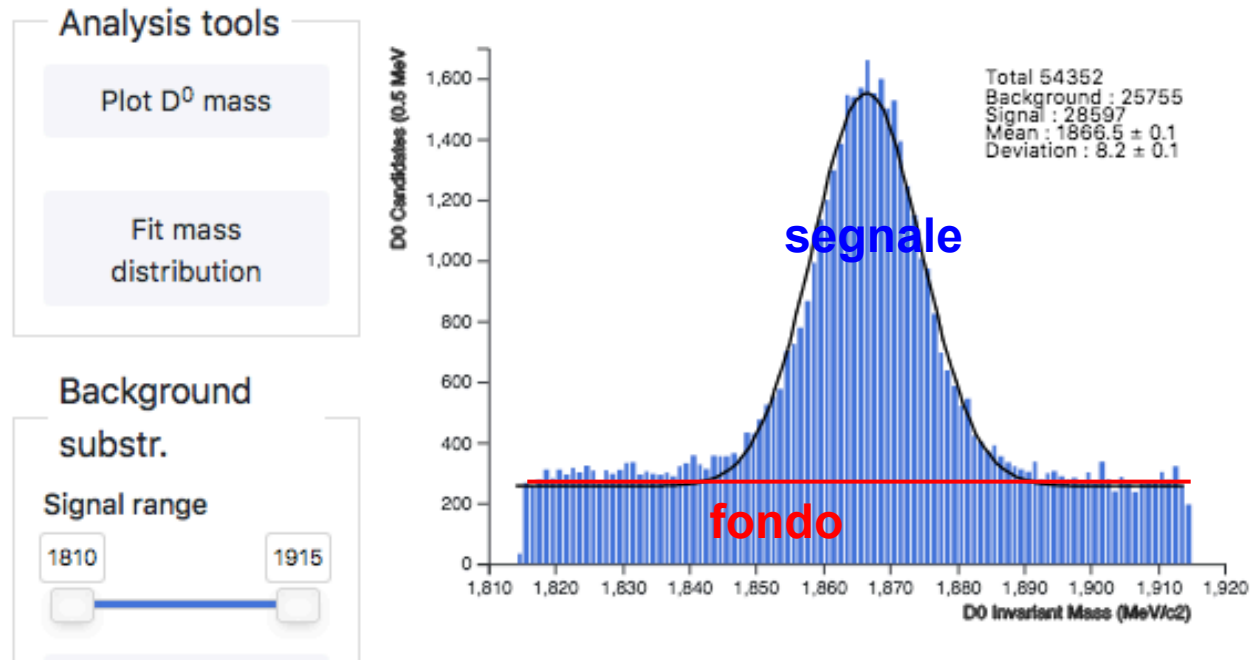


- La massa ricostruita per gli eventi di **segnale** ha valori più vicini al valore vero. L'insieme degli eventi di segnale costituisce pertanto “un picco” centrato sul valore vero.
- Gli eventi di **fondo** derivano da combinazioni casuali di tracce, la massa ricostruita può assumere qualsiasi valore, la sua distribuzione è piatta, uniforme.

La sovrapposizione dei due contributi determina la distribuzione osservata.

# Interpolazione (fit) della distribuzione di massa

## D<sup>0</sup> lifetime Exercise



- La distribuzione di massa viene interpolata con due curve che rappresentano il **segnale** (funzione Gaussiana) e il **fondo** (una retta)
- Il candidati di segnale possono essere studiati “sottraendo” nelle loro distribuzioni (istogrammi) i candidati di fondo

# D<sup>0</sup> lifetime Exercise

Analysis tools

- 1 Plot D<sup>0</sup> mass
- 2 Fit mass distribution

Background subtr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions

Variable range

D<sup>0</sup> PT

2.5 20

D<sup>0</sup> TAU

0 10

D<sup>0</sup> IP

-4 1.5

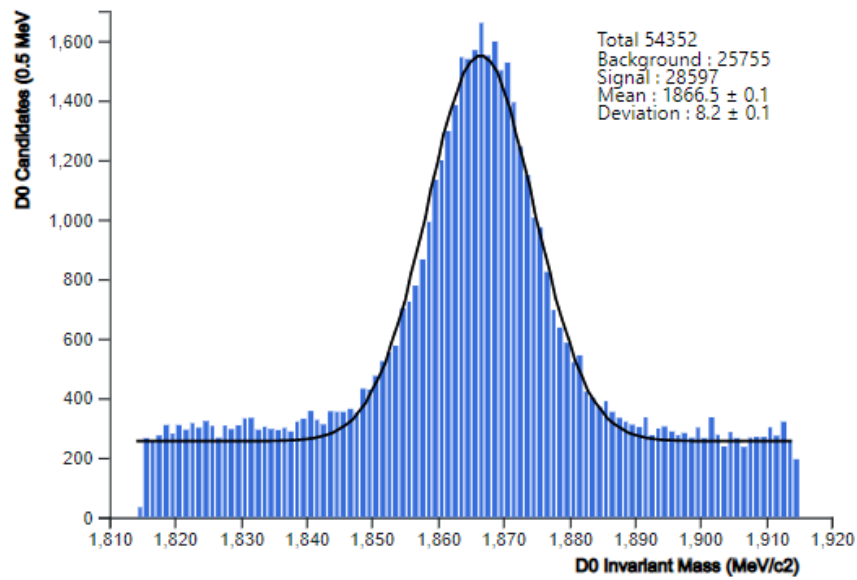
Refresh

Time fit

Fit result (ps) Fit Error

Save result

Read instructions





# D<sup>0</sup> lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D<sup>0</sup> mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

3

4 Plot distributions

Variable range

D<sup>0</sup> PT

D<sup>0</sup> TAU

D<sup>0</sup> IP

Refresh

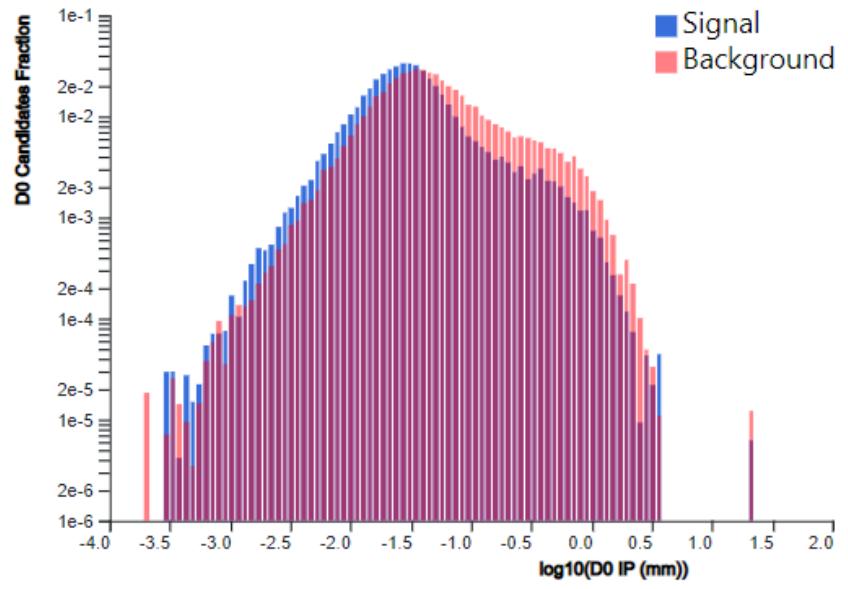
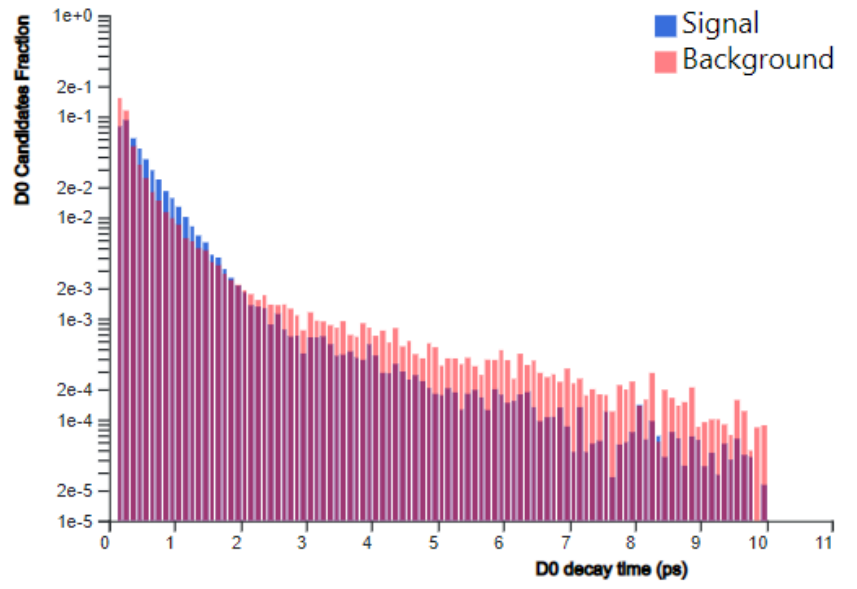
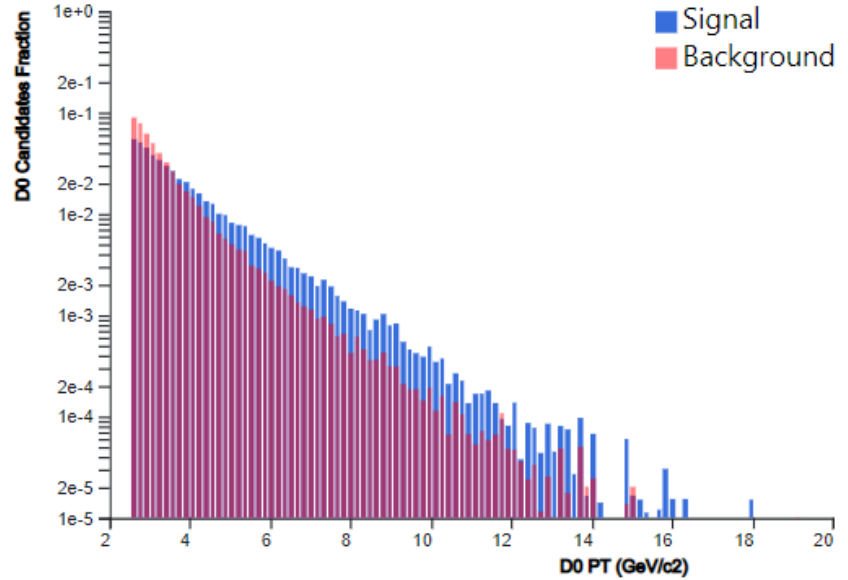
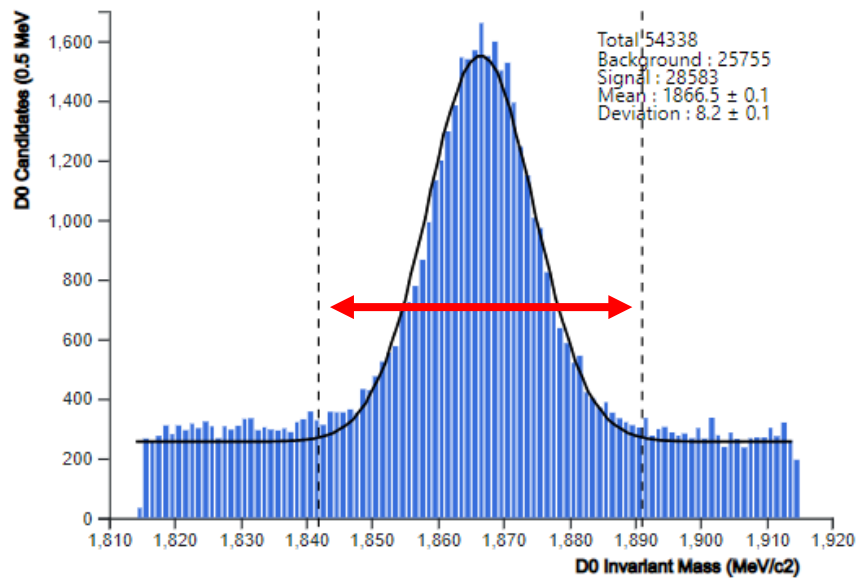
Time fit

Fit result (ps) Fit Error

0.480 0.0039

5 Save result

Read instructions



# D<sup>0</sup> lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D<sup>0</sup> mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1842 1891

Plot distributions

Variable range

D<sup>0</sup> PT

2.5 20

D<sup>0</sup> TAU

0 10

D<sup>0</sup> IP

-4 1.5

**6**

**7** Refresh

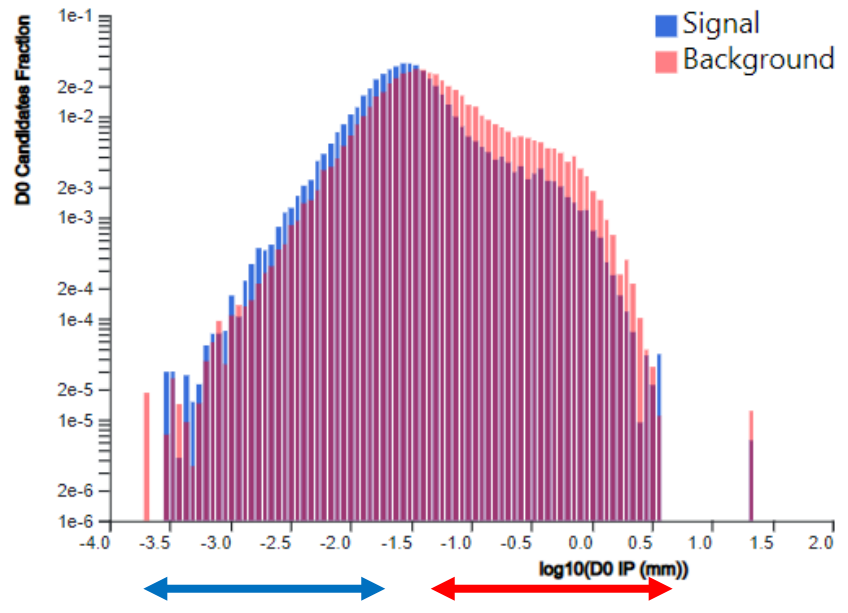
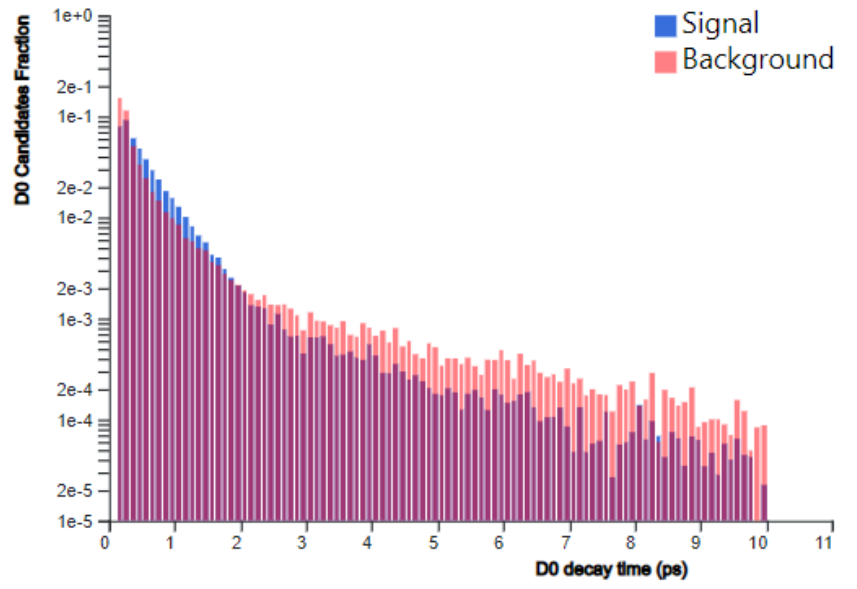
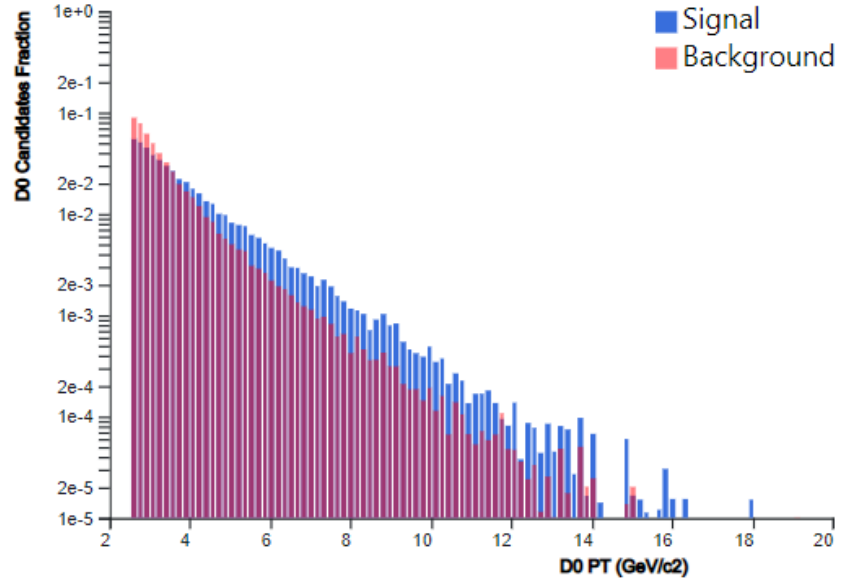
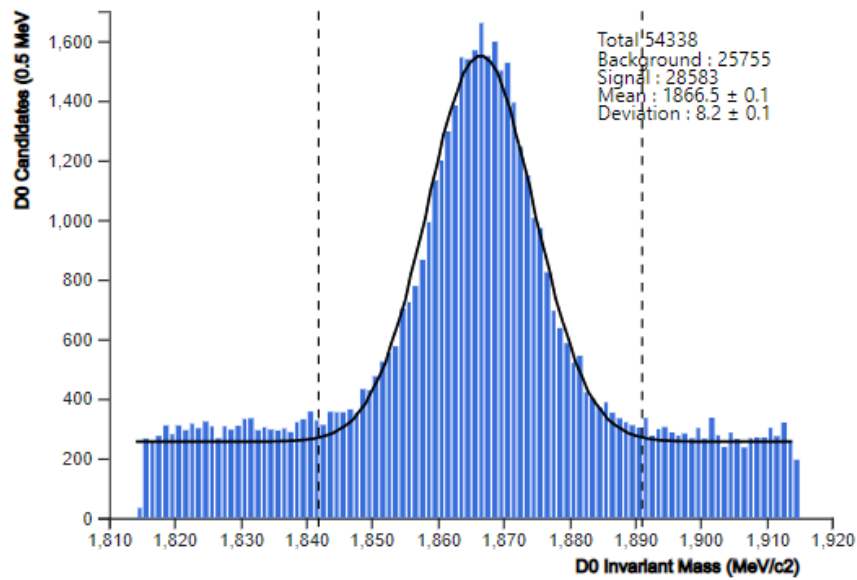
Time fit

Fit result (ps) Fit Error

0.480 0.0039

Save result

Read instructions



# D<sup>0</sup> lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D<sup>0</sup> mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1842 1891

Plot distributions

Variable range

D<sup>0</sup> PT

2.5 20

D<sup>0</sup> TAU

0 10

D<sup>0</sup> IP

-4 -1.02

Refresh

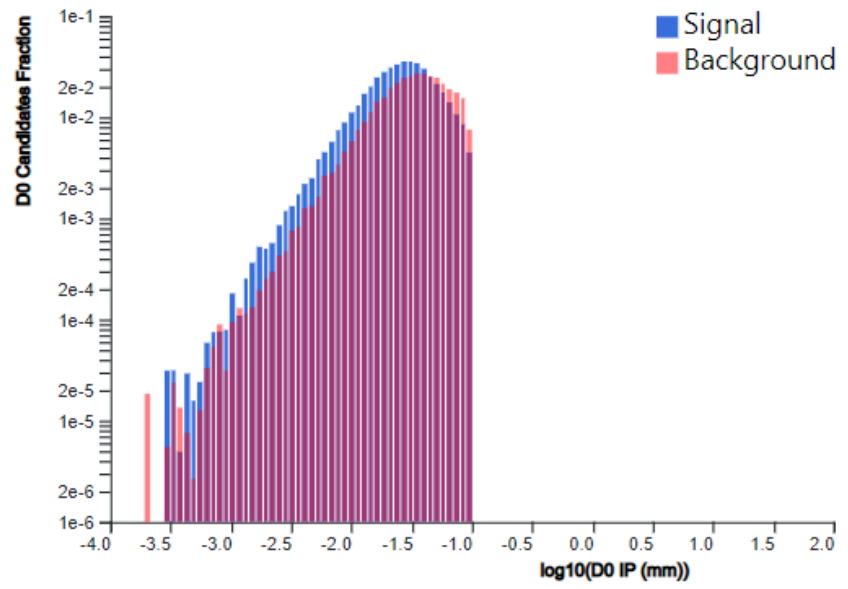
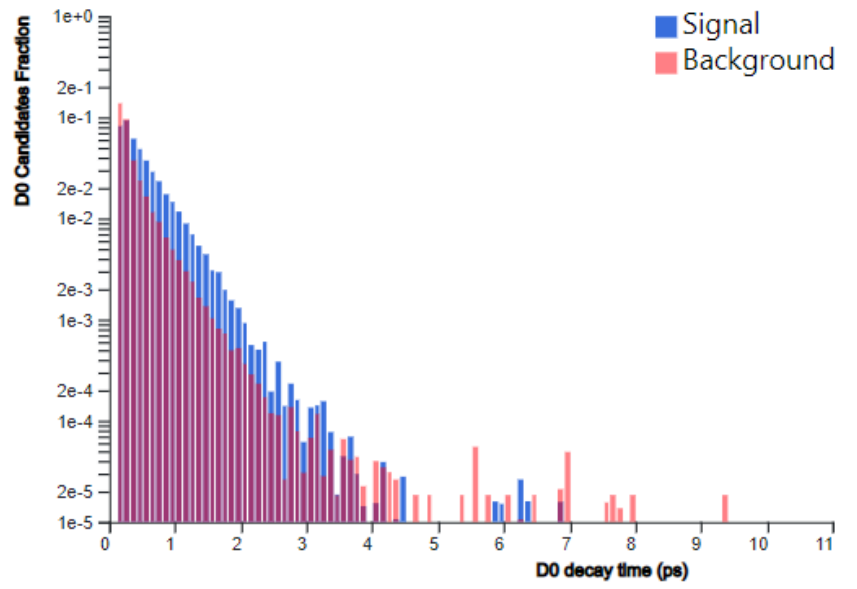
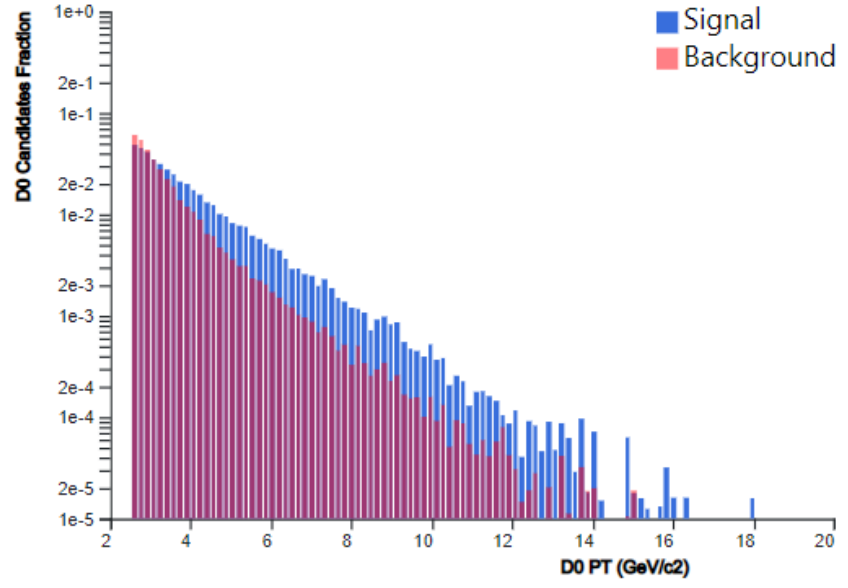
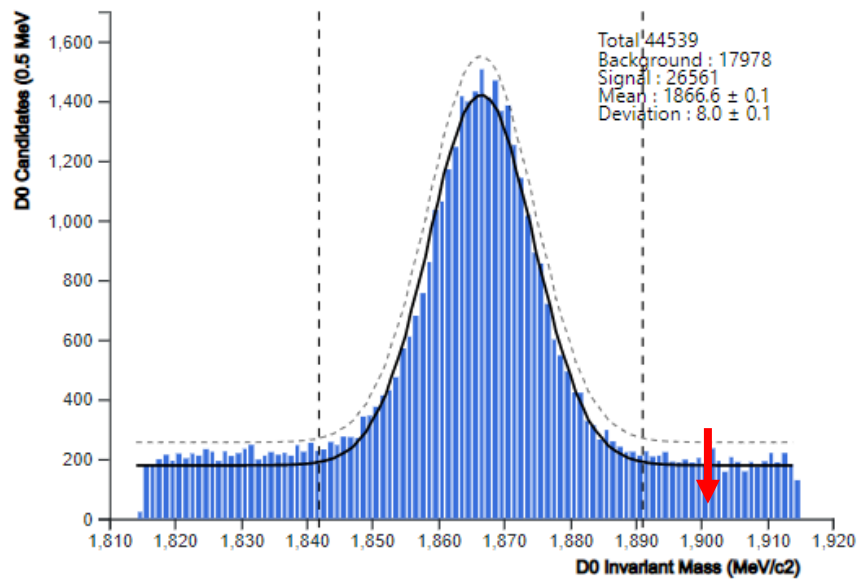
Time fit

Fit result (ps) Fit Error 0.0032

0.419

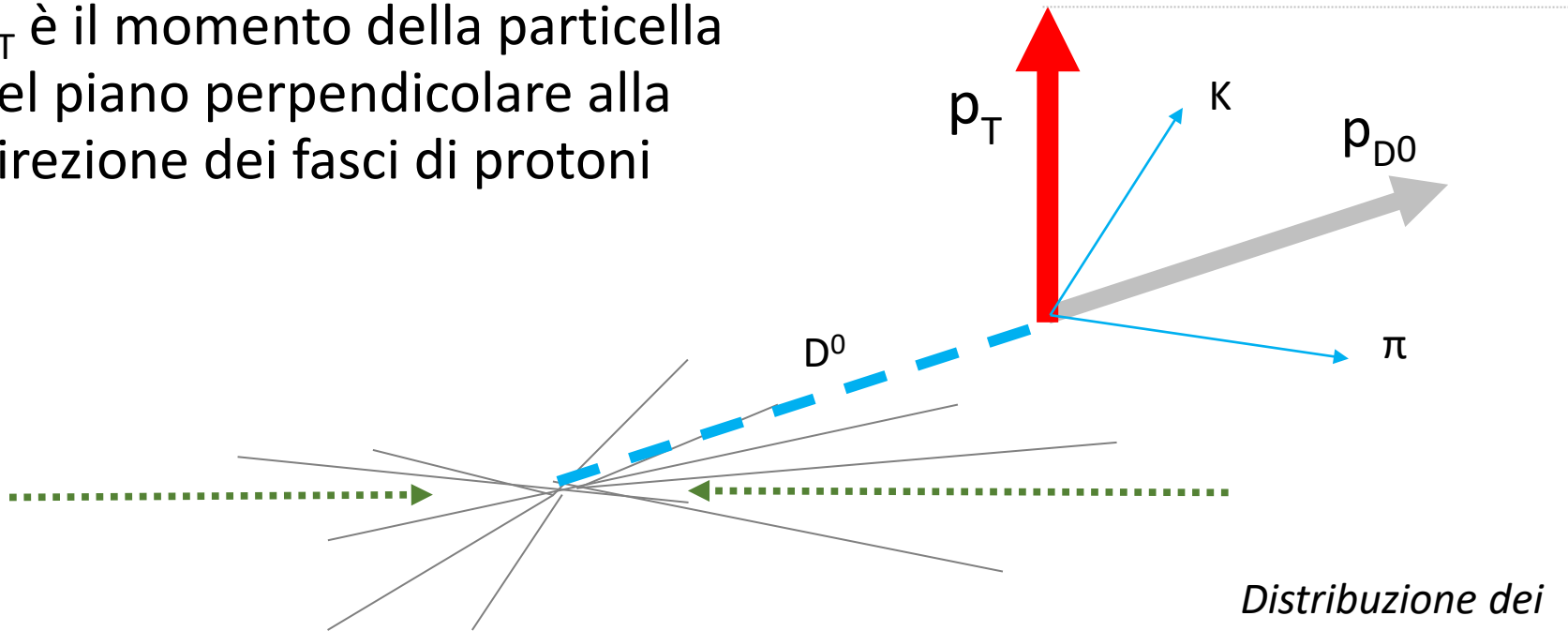
8 Save result

Read instructions



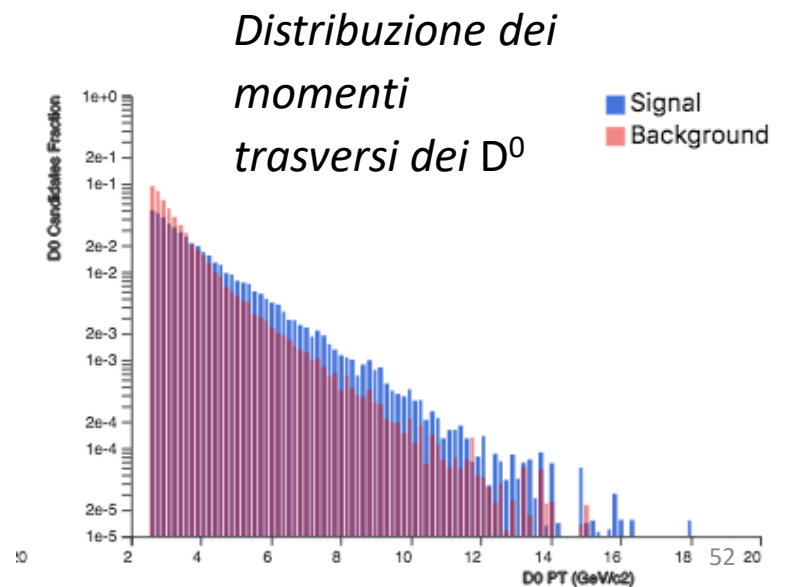
# Momento trasverso $p_T$

$p_T$  è il momento della particella nel piano perpendicolare alla direzione dei fasci di protoni

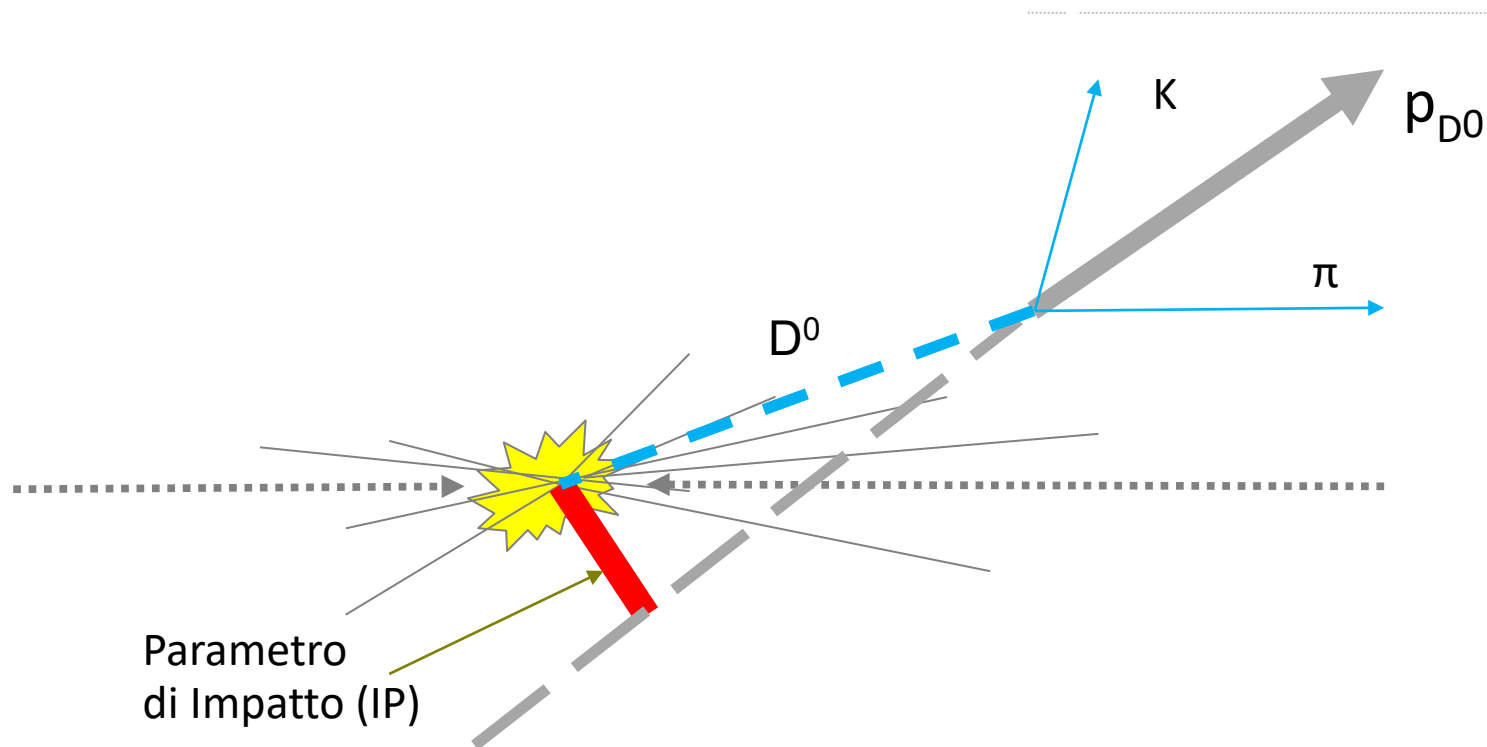


Eventi di scattering o contenenti particelle di massa ridotta hanno tracce con momento trasverso più basso

I veri  $D^0$  hanno un momento trasverso elevato



# Parametro d'impatto IP



IP è la **minima distanza** tra la **retta** che descrive la direzione della particella e il **punto** dove è avvenuta la collisione tra i protoni (vertice primario)

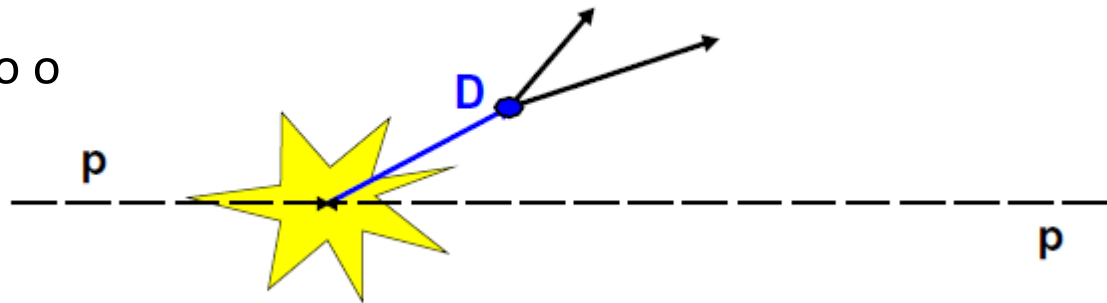
I  $D^0$  prodotti nel punto di collisione hanno  $IP \approx 0$

# La produzione della particella $D^0$

La particella  $D^0$  può essere prodotta in due modi:

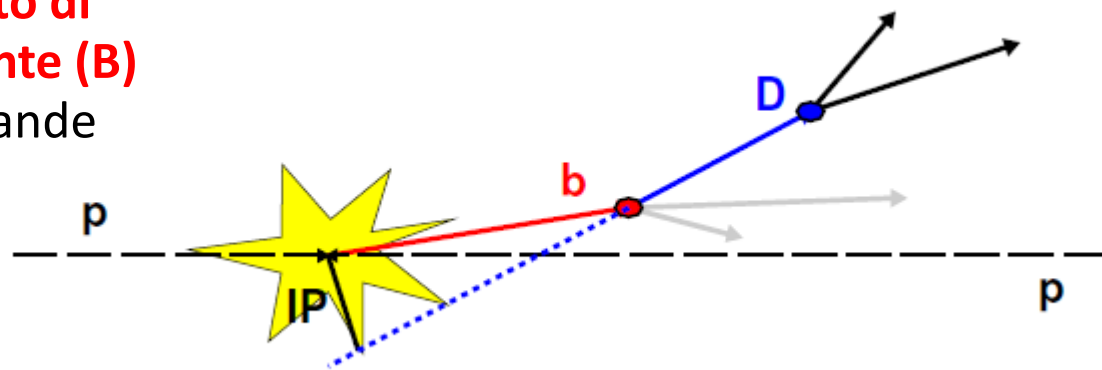
## Produzione diretta

Il parametro d'impatto è nullo o piccolo

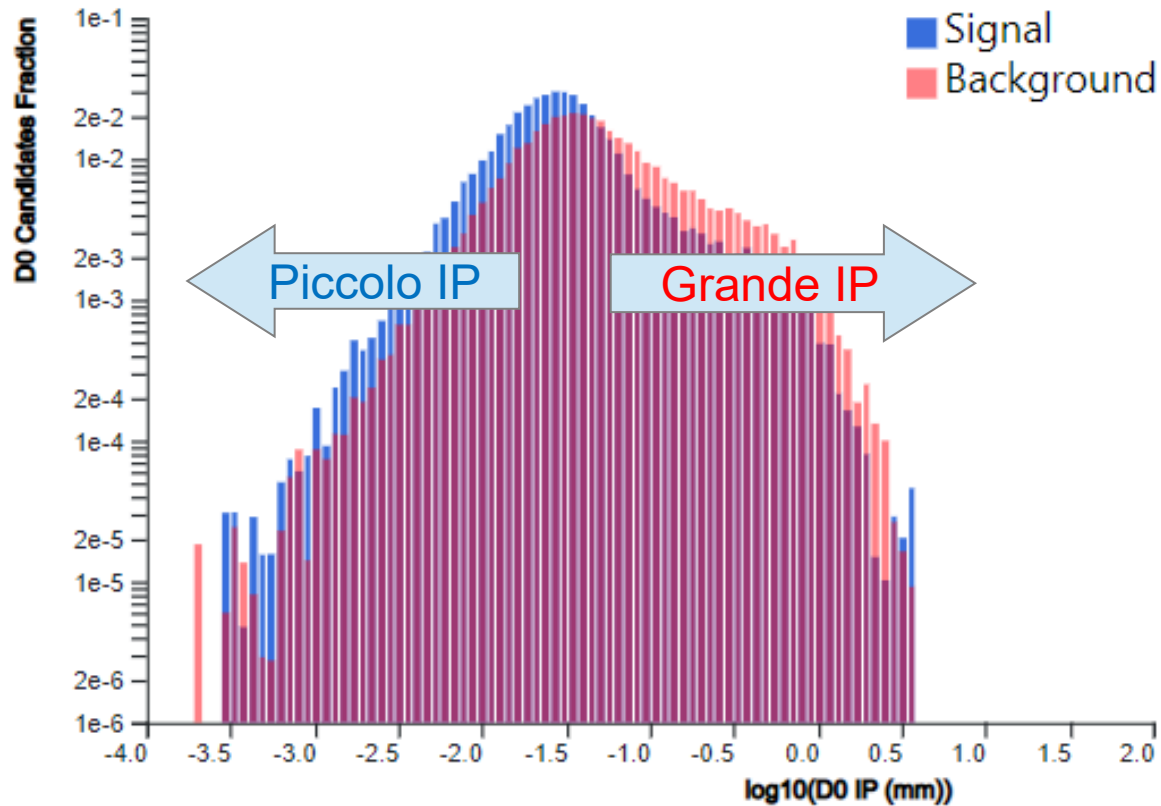


## Produzione dal decadimento di un'altra particella più pesante (B)

Il parametro d'impatto è grande



# Parametro d'impatto IP



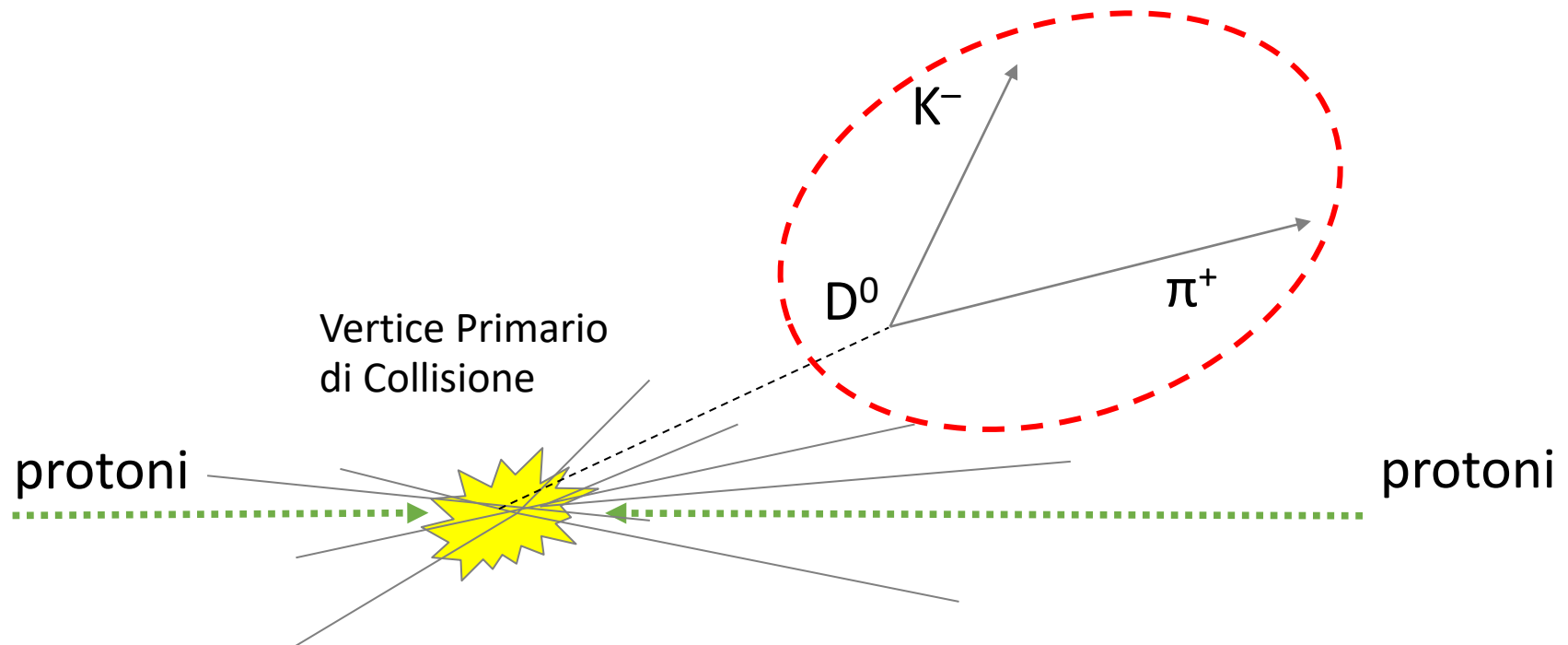
Per evidenziare meglio le differenze tra segnale e fondo mettiamo in grafico il logaritmo del parametro di impatto

IP piccolo  $\rightarrow$  Log (IP) tende a  $-\infty$

IP grande  $\rightarrow$  Log (IP) tende a  $+\infty$

# Tempo di decadimento del $D^0$

Il  $D^0$  è una particella instabile e, dopo un certo tempo, decade in  $K^- \pi^+$



- Dopo quanto tempo decade il  $D^0$ ?
- Come posso misurare questo tempo?
- Tutti i  $D^0$  vivono lo stesso tempo?

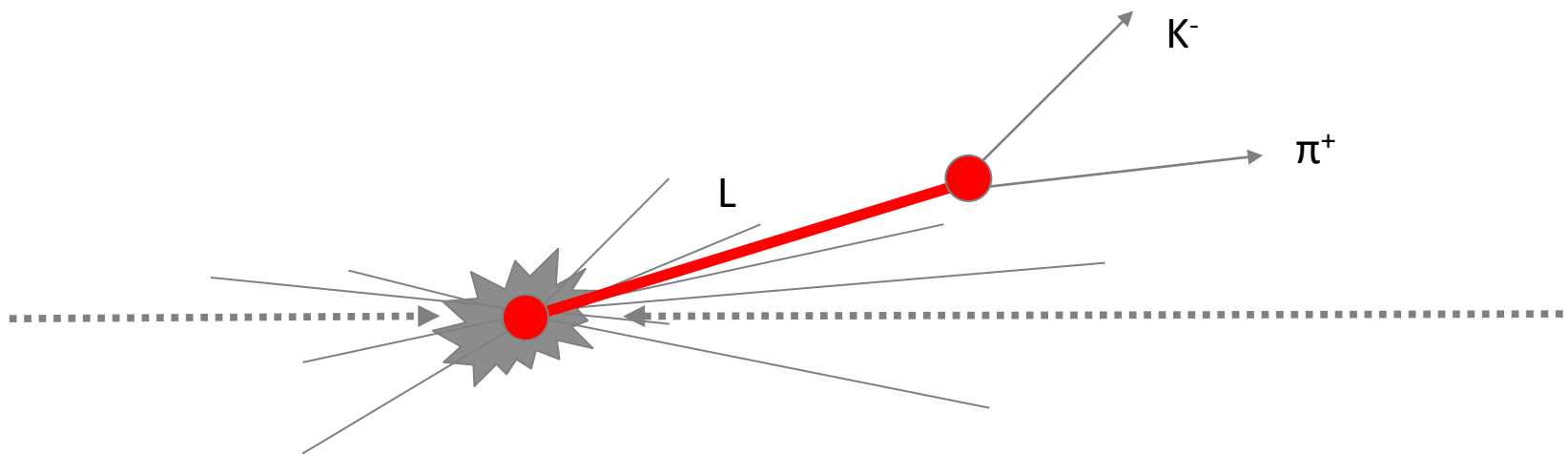


# Quanto a lungo vive una particella?

| Type   | Name                  | Symbol            | Energy (MeV) | Mean lifetime                 |
|--------|-----------------------|-------------------|--------------|-------------------------------|
| Lepton | Electron / Positron   | $e^- / e^+$       | 0.511        | $> 4.6 \times 10^{26}$ years  |
|        | Muon / Antimuon       | $\mu^- / \mu^+$   | 105.7        | $2.2 \times 10^{-6}$ seconds  |
|        | Tau lepton / Antitau  | $\tau^- / \tau^+$ | 1777         | $2.9 \times 10^{-13}$ seconds |
| Meson  | Neutral Pion          | $\pi^0$           | 135          | $8.4 \times 10^{-17}$ seconds |
|        | Charged Pion          | $\pi^+ / \pi^-$   | 139.6        | $2.6 \times 10^{-8}$ seconds  |
| Baryon | Proton / Antiproton   | $p^+ / p^-$       | 938.2        | $> 10^{29}$ years             |
|        | Neutron / Antineutron | $n / \bar{n}$     | 939.6        | 885.7 seconds                 |
| Boson  | W boson               | $W^+ / W^-$       | 80,400       | $10^{-25}$ seconds            |
|        | Z boson               | $Z^0$             | 91,000       | $10^{-25}$ seconds            |

# Misura del tempo di decadimento del $D^0$

- Si può conoscere quanto tempo ha vissuto il  $D^0$  misurando lo **spazio percorso** prima di decadere e la sua **velocità**  
(nel moto uniforme: tempo = spazio/velocità)



Il tempo di vita del  $D^0$  è di circa  **$0.4 \times 10^{-12} \text{ s} = 0.4 \text{ ps}$**

La velocità del  $D^0$  è circa la velocità della luce,  **$3 \times 10^8 \text{ m/s} = 300 \mu\text{m/ps}$**

$$\text{Spazio} = \text{velocità} * \text{tempo} = (300 \mu\text{m/ps}) * (0.4 \text{ ps}) = \mathbf{120 \mu\text{m}}$$

Lo spazio percorso da una particella in tempi così piccoli è una lunghezza misurabile sperimentalmente?

# Come è possibile misurare la vita (breve) di una particella?

- La particella si muove ad una velocità prossima alla velocità della luce!
- La relatività ristretta ci **dice che il tempo si dilata per chi si muove a velocità** prossima a quella della luce

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = t\gamma$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$L = vt\gamma$$

- Ad LHC una particella  $D^0$  ha velocità  $v \approx 0.99919 c$  quindi  $\gamma \approx 25$  cioè il  $D^0$  vive 25 volte più a lungo che se fosse fermo.
- Quindi, se un  $D^0$  vive in media 0.4 ps, allora percorre uno spazio di  $L = v t \gamma \approx (300 \mu\text{m/ps}) * (0.4 \text{ ps}) * 25 = \mathbf{3 \text{ mm (!!!)}}$

# La legge di decadimento

- Ogni particella ha una propria vita media, quindi una probabilità di decadimento costante in un certo intervallo di tempo.
- Non posso sapere quando decadrà la singola particella, ma conosco la legge che descrive il decadimento di un certo numero di particelle.
- La legge che descrive il decadimento di una particella instabile è la legge esponenziale

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$$

$N_0$  numero di particelle presenti al tempo  $t = 0$

$N(t)$  numero di particelle presenti al tempo  $t$ .

- $\tau$  è detto vita media, indica il tempo che deve trascorrere perché il numero di particelle diminuisca di un fattore  $e^{-1} \approx 0.37$ .

# La vita media del $D^0$

$$N(t) = N(0) e^{-t/\tau}$$

- Questa legge mi dice che se raccolgo tante particelle  $D^0$  e ne misuro il tempo di decadimento troverò una distribuzione dei tempi che ha un andamento esponenziale.
- La pendenza di questa funzione esponenziale dipende dalla vita media  $t$  della particella  $D^0$ 
  - ecco come posso misurare la vita media  $D^0$ !

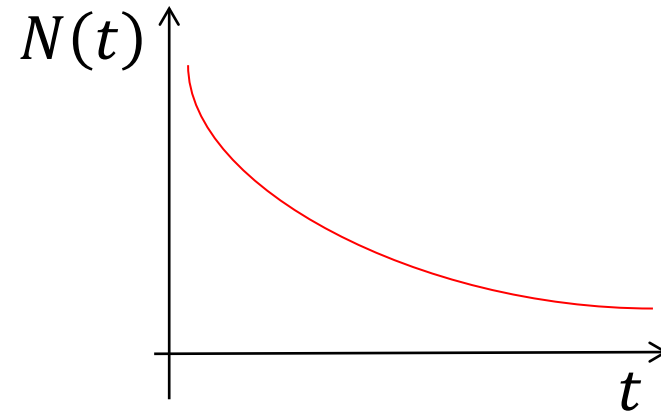

$$\tau (D_0) = 0.41 \times 10^{-12} \text{ s}$$

Valore della vita media  $D^0$  misurato da diversi esperimenti

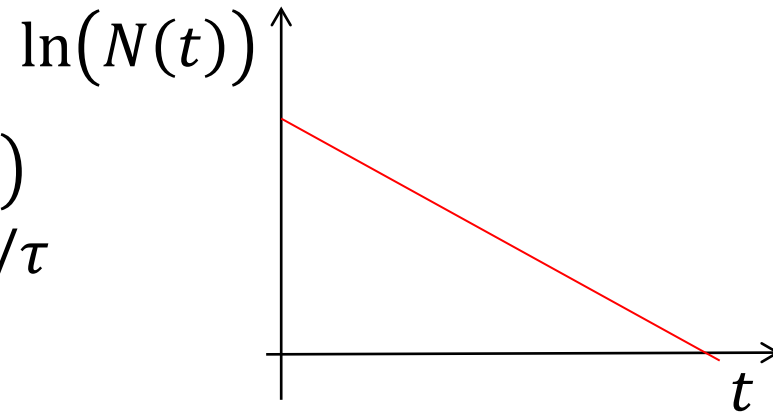
# Una parentesi: la scala logaritmica

In un piano cartesiano in cui l'asse delle ordinate è in **scala logaritmica** una **funzione esponenziale** risulta una **retta**.

$$N(t) = N(0) e^{-t/\tau}$$

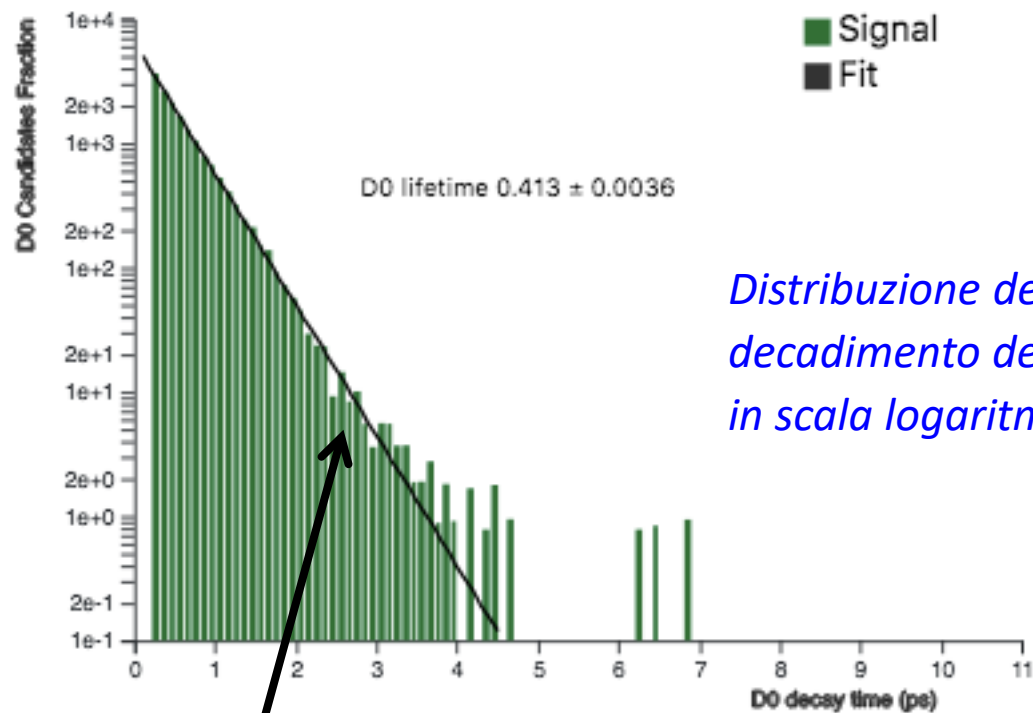


$$\begin{aligned}\ln(N(t)) &= \ln(N(0) e^{-t/\tau}) \\ &= \ln(N(0)) - t/\tau\end{aligned}$$



$\tau$  è semplicemente l'inverso della pendenza della retta

# La vita media del $D^0$



*Distribuzione dei tempi di  
decadimento dei  $D^0$   
in scala logaritmica*

Interpolazione: trovo la curva, in questo caso una retta,  
che meglio approssima la distribuzione dei dati

# Riassumendo...

- ✓ Raccolgo un campione di  $D^0$
- ✓ Con un **fit alla distribuzione di massa** separo il segnale dal fondo
- ✓ **Definisco l'intervallo** dei valori massa che definiscono la regione di segnale
- ✓ Osservo i grafici delle distribuzioni di segnale e di fondo
- ✓ Cerco di **minimizzare la quantità di fondo** variando il minimo /massimo valore accettato per  $p_T$ , IP e  $\tau$  ( $\rightarrow$  diverse sorgenti di fondo possibili)
- ✓ Osservo la **distribuzione dei tempi di decadimento** dei  $D^0$  di segnale
- ✓ Ricavo un valore per la vita media del  $D^0$  **interpolando** la distribuzione dei tempi di decadimento (in scala logaritmica) con una retta
  
- ✓ Posso ripetere la procedura cambiando le richieste sul parametro di impatto per studiare l'effetto sulla vita media della presenza del fondo ( $D^0$  secondari)



# Esercizio Masterclass: seconda parte

## LAB910

Liceo Frisi, Monza

## LAB911

Liceo Banfi, Vimercate  
Liceo Vittorini, Milano

## LAB907

Tutti gli altri

Dopo l'esercizio:  
**Videoconferenza con  
il CERN in  
U9-06 ore 15:30**

# Videoconferenza

# Questionario finale

