



LHCb Masterclass: scopo dell'esercizio

25/3/2025

***LHCb team (in ordine alfabetico):
A. Bertolin (ricercatore INFN),
D. Zuliani (post-doc UniPd)***

Misura

della **vita media**

della **particella D^0**

su **dati raccolti**

dall'**esperimento LHCb**

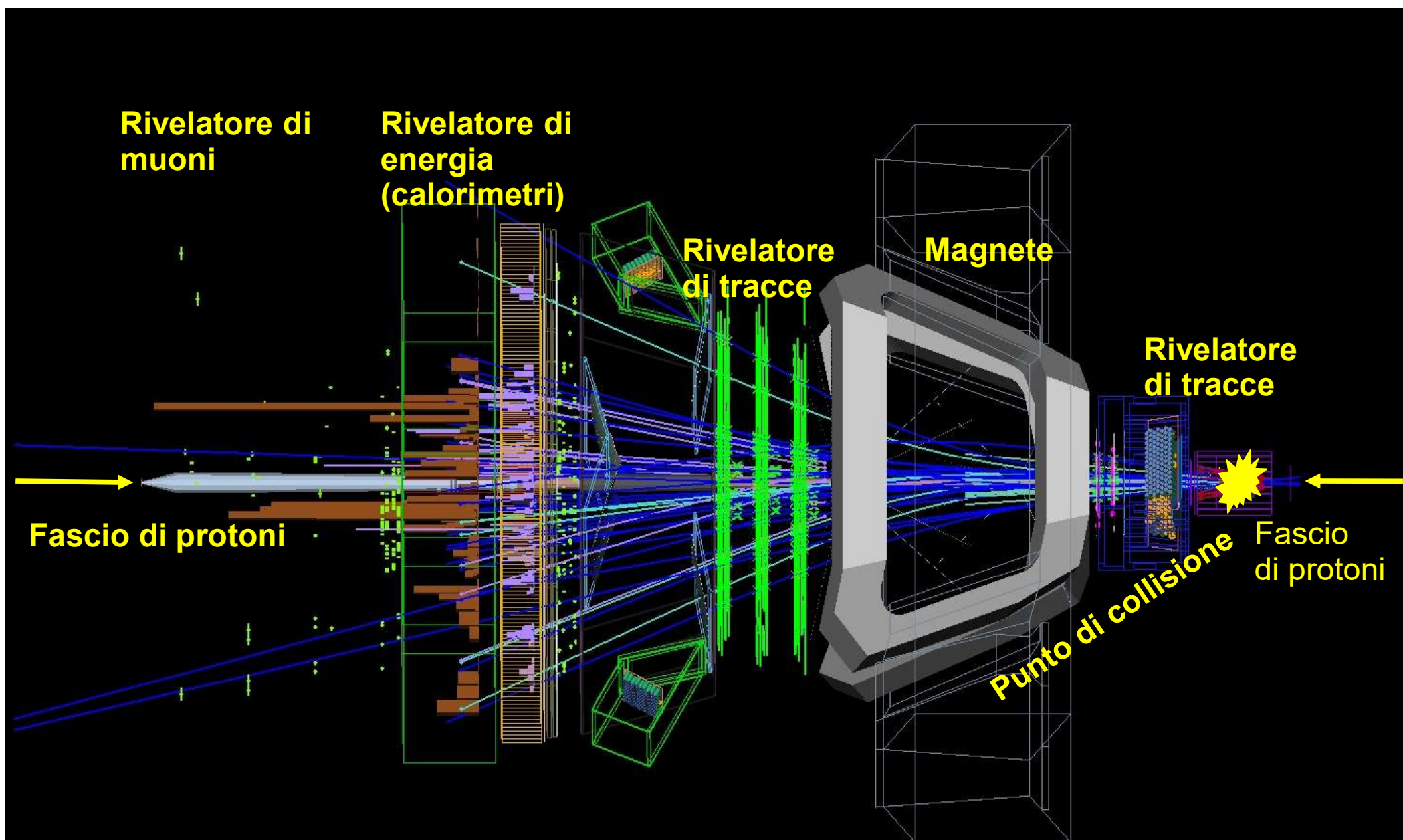
Come si producono i D^0 ?

Le particelle D^0 possono essere prodotte artificialmente negli acceleratori: ad esempio a LHC, fasci di protoni vengono accelerati tramite campi elettrici e guidati lungo orbite circolari tramite campi per magnetici e infine fatti collidere. Appositi strumenti, i **rivelatori di particelle**, misurano i prodotti di queste collisioni

A LHC i fasci vengono fatti collidere in 4 punti, dove sono disposti gli esperimenti CMS, ATLAS, ALICE e LHCb.



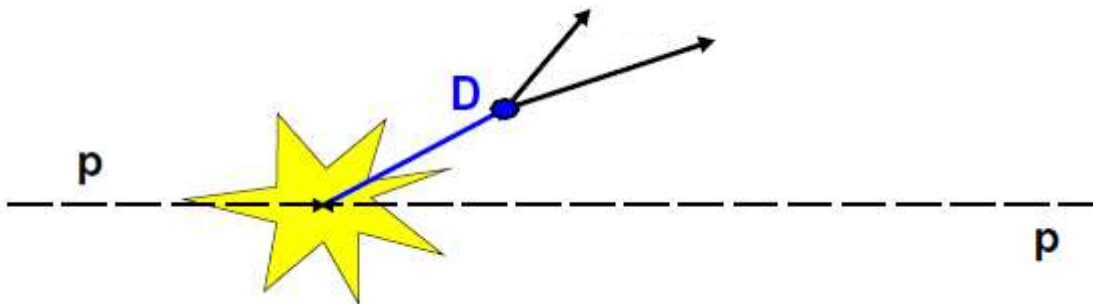
E come si rivelano ? Il rivelatore LHCb



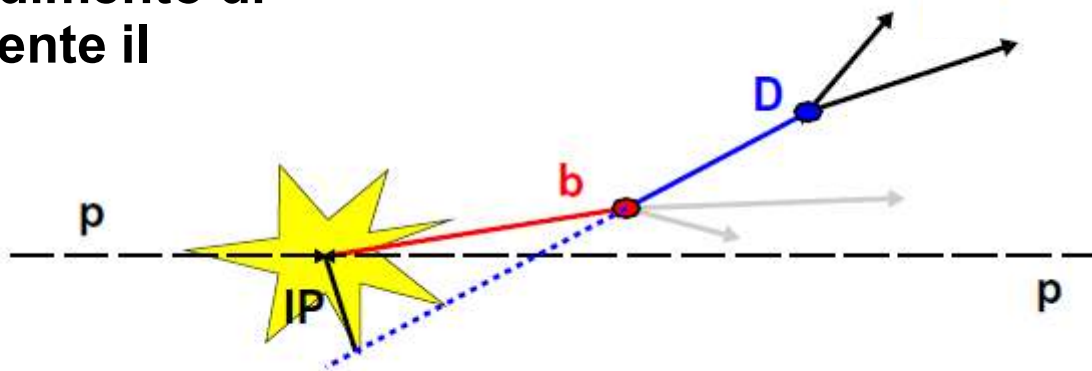
La particella D^0

Puo' essere prodotta in due modi:

Produzione diretta



Produzione dal decadimento di una particella contenente il quark **b**



Come decade:

$$D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$$

oppure in $K^- \pi^+$ per la corrispondente anti-particella

Il momento di una particella

Momento (quantità di moto) di una particella

In fisica classica: $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$

In fisica relativistica (particelle che viaggiano a velocità prossime a quelle della luce), la formula è un po' più complicata:

$$E = \sqrt{(\vec{p} \cdot c)^2 + (m_0 \cdot c^2)^2} \quad \longrightarrow \quad p = \sqrt{\left(\frac{E}{c}\right)^2 - (m_0 \cdot c)^2}$$

Il momento $\mathbf{p}$ di una particella di carica q si misura dal raggio R della sua traiettoria curva in un campo magnetico $\mathbf{B}$.



campo magnetico $\mathbf{B}$
è entrante nel foglio

$$R = p/qB$$

Grande raggio $\rightarrow$ grande momento

Piccolo raggio $\rightarrow$ piccolo momento.

$$P_{D0} = P_K + P_\pi$$

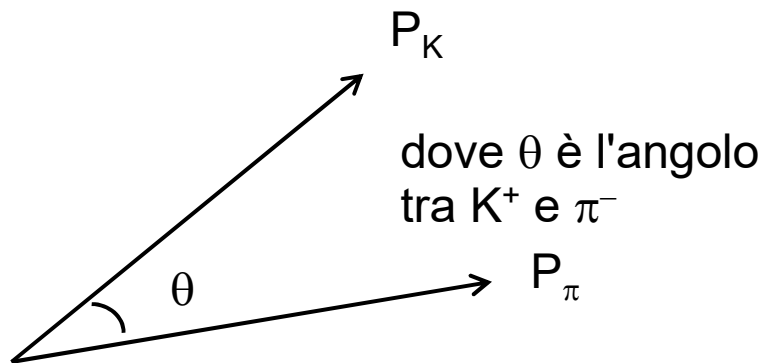
La massa invariante

Ricaviamo l'espressione della massa dalla formula dell'energia relativistica:

$$E = \sqrt{(\vec{p} \cdot c)^2 + (m_0 \cdot c^2)^2} \quad \longrightarrow \quad M = \sqrt{(E^2/c^2 - p^2)}$$

Nel nostro caso, $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$, possiamo misurare i momenti di K^+ e π^- .
Sostituendo nella formula, e facendo qualche approssimazione:

$$m_{D^0}^2 = 2 \times P_K \times P_\pi \times (1 - \cos \theta)$$

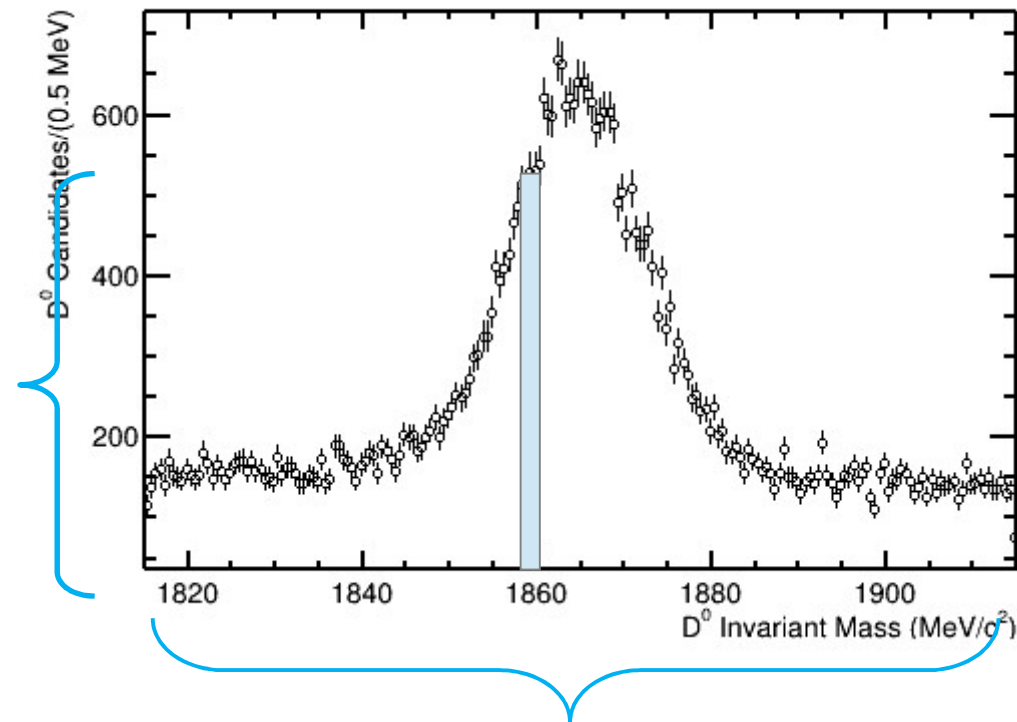


$$m(D^0) = (1864.84 \pm 0.17) \text{ MeV}/c^2$$

Una parentesi: come rappresentiamo queste grandezze? Gli istogrammi

Supponiamo di avere misurato più volte una grandezza X .
Un modo conveniente per rappresentare questi valori è **l'istogramma**.

Altezza dei rettangoli =
frequenza dei valori
misurati.



Base = l'intervallo in cui sono contenute le misure.

Prima parte dell'esercizio: selezione degli eventi $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ e $\text{anti-}D^0 \rightarrow K^- \pi^+$

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

Firstname

a

Surname

b

Grade

5

Combination

Combination 1

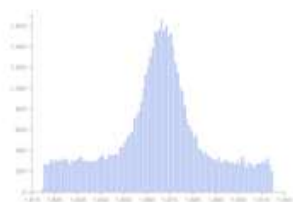
Combination 2

Combination 3

Combination 4

Combination 5

Event Display



D0 Lifetime

Firstname

a

Surname

b

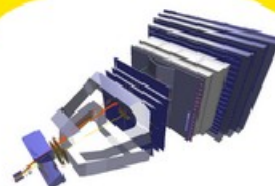
Grade

5

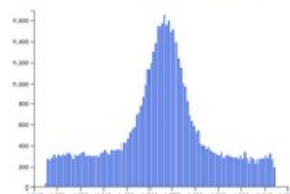
Combination

Combination 1

Save



Event Display



D0 Lifetime



Event Display Exercise

Event handler
event_1_0.json

[previous](#)

[next](#)

View

☐ Zoom

☒ **Detector**

☐ Help

View ▼

☐ Auto rotate

Legend

- K^-
- K^+
- π^+
- π^-
- D^0

[Read instructions](#)

[Download JSON](#)

Particle information

E	4556.828	MeV
chi2	1.922	
ipchi2	8.792	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi-	
ZFstM	94.103	

My particles

Mass MeV/c²

[Add](#)

Detector: OFF (a sinistra)
Zoom: ON (a destra), riattivare lo Zoom ad ogni evento



Event Display Exercise

Event handler

event_1_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View

Auto rotate

Legend

K⁻

K⁺

pi⁺

pi⁻

D⁰

Read instructions

Download JSON

Particle information

E	9612.163	MeV
chi2	1.575	
ipchi2	105.683	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi ⁻	
ZFstM	244.221	

My particles

K⁻

pi⁺

Mass

1867.780 MeV/c²

Add

D0 Candidates (0.5 MeV)

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0.0

1,810 1,820 1,830 1,840 1,850 1,860 1,870 1,880 1,890 1,900 1,910 1,920

D0 Invariant Mass (MeV/c²)

Entries 1

Means: 1867.780

Std dev: undefined

1. selezionate le tracce col mouse (tasto sinistro, tasto centrale o tasto destro ...)
2. tasto Add
3. se la combinazione vi da errore ritornate a 1.
4. altrimenti passate all'evento successivo, next, e ritornate a 1.
5. in tutto gli eventi da analizzare sono 30

In ogni evento vedrete decine di tracce.
Come si fa a capire quali potrebbero provenire dal D^0 ?

Ricordate che ...

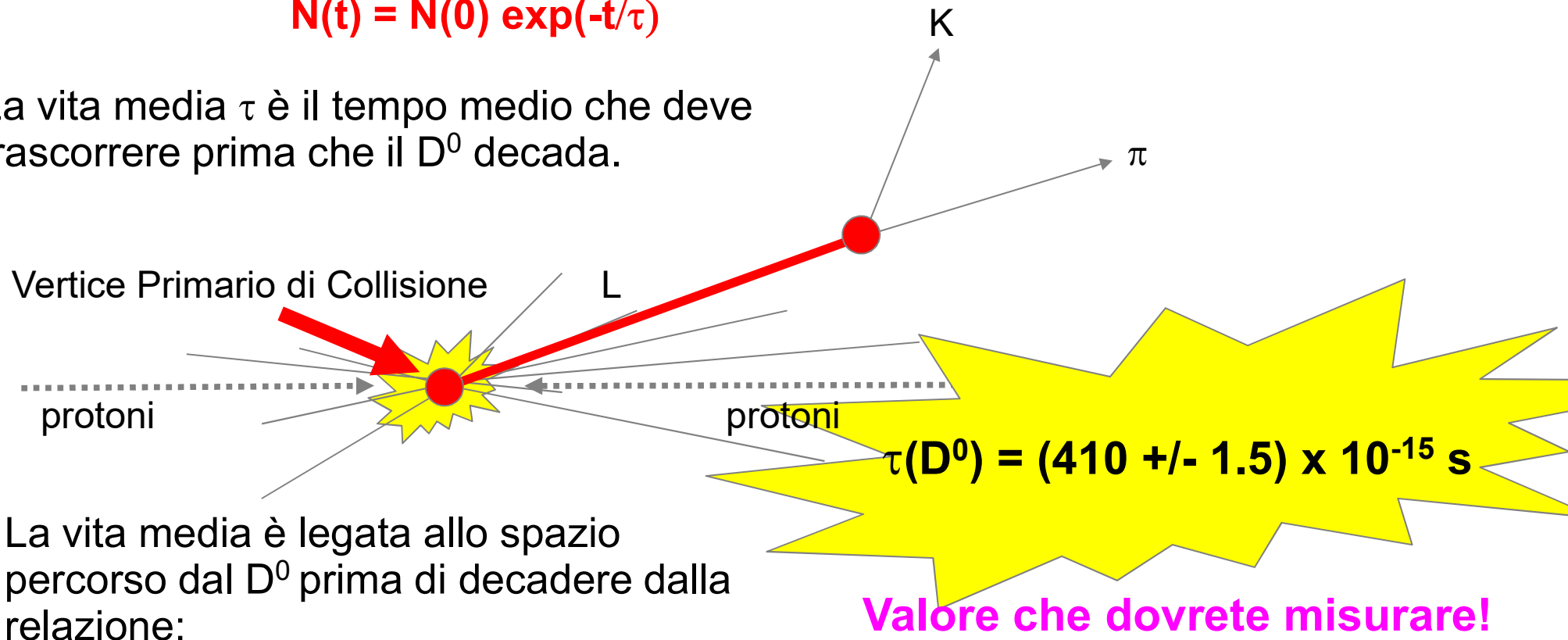
- $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ e anti- $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$
- La massa del D^0 è $1864 \text{ MeV}/c^2$
- Il D^0 “viaggia” prima di decadere $\Rightarrow$ il vertice di decadimento del D^0 è spostato rispetto al vertice primario di collisione, il punto verso cui dovrebbero convergere la maggior parte delle tracce mostrate (vedi anche lucido successivo)
- Il D^0 è una particella **neutra**, K e π sono particelle **cariche**

Seconda parte dell'esercizio: Misura della vita media del D^0

Il D^0 è una particella instabile, dopo un certo tempo decade in K^+ e π^-
Il decadimento è descritto dalla legge esponenziale

$$N(t) = N(0) \exp(-t/\tau)$$

La vita media τ è il tempo medio che deve trascorrere prima che il D^0 decada.



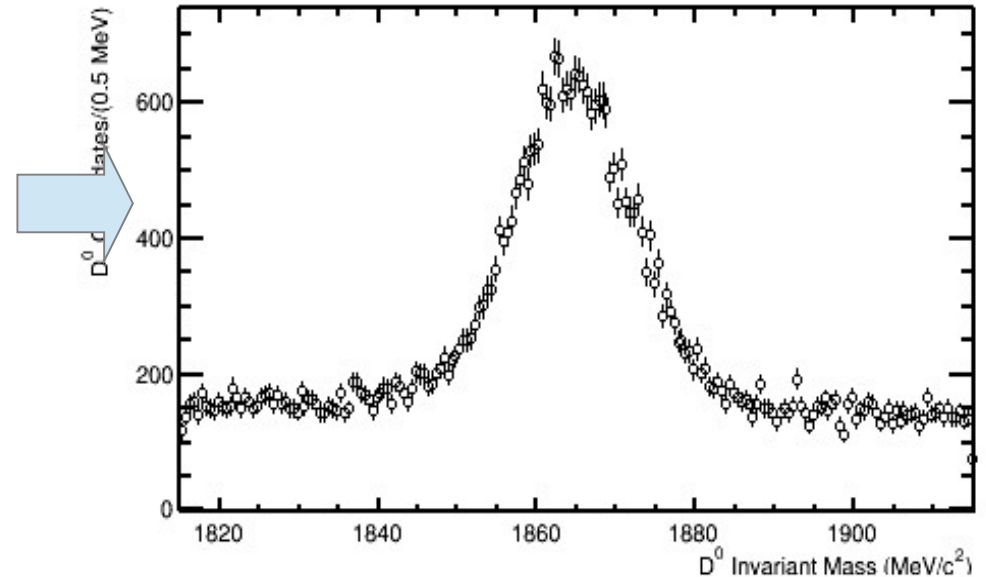
La vita media è legata allo spazio percorso dal D^0 prima di decadere dalla relazione:

$$L = \gamma \beta \tau c$$

analogia a *spazio = velocità x tempo* del moto uniforme.

Come posso misurare la vita media del D^0 ?

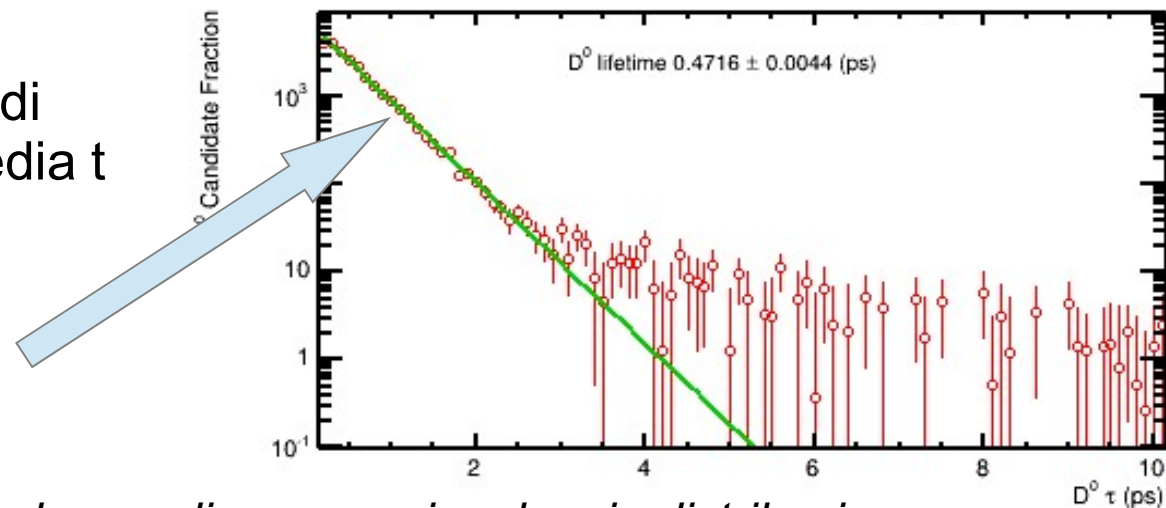
Raccolgo un campione di eventi
 $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$



Dalla distribuzione della lunghezza di decadimento calcolo il tempo di decadimento

Dalla distribuzione del tempo di decadimento ricavo la vita media t interpolando con la funzione:

$$N(t) = N(0) \exp(-t/\tau)$$



NB: interpolare = trovare la curva che meglio approssima la mia distribuzione

Attenzione! Segnale e fondo

Nelle collisioni NON viene sempre prodotta la particella che stiamo cercando!
Essa viene prodotta solo in un sottoinsieme delle collisioni che vengono registrate.

Particella che stiamo cercando → **SEGNALE**

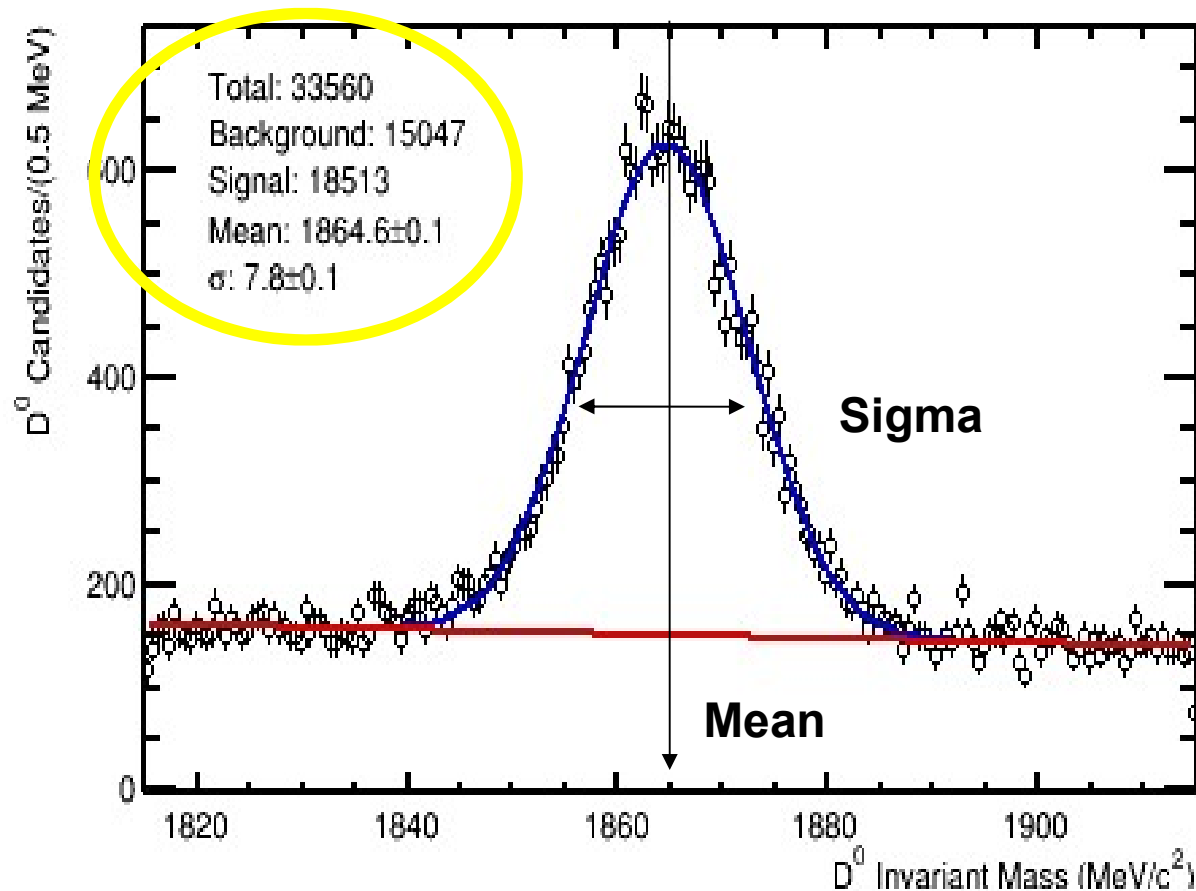
Tutto il resto → **FONDO**

Voi avete selezionato tracce che combinate danno una massa simile a quella del D^0 .

Ma avete sicuramente selezionato anche tracce che non provengono dal D^0 (fondo combinatorio) e che per caso danno un valore di massa simile a quello del D^0 .

Come distinguere nel campione i veri D^0 ?

Interpolazione dell'isto. di massa



Interpoliamo l'istogramma di massa invariante con 2 funzioni: una che rappresenta **il segnale (curva a campana, gaussiana)** e l'altra il **fondo (retta)**.

Troviamo le due curve che meglio approssimano la distribuzione misurata.

Nell'interpolazione il numero di eventi di segnale e di fondo viene lasciato libero: la combinazione che meglio approssima la distribuzione misurata è il risultato del fit. Inoltre il valor medio (Mean) della gaussiana ci darà una stima della massa e la sigma (σ) una stima dell'incertezza sulla misura della massa.

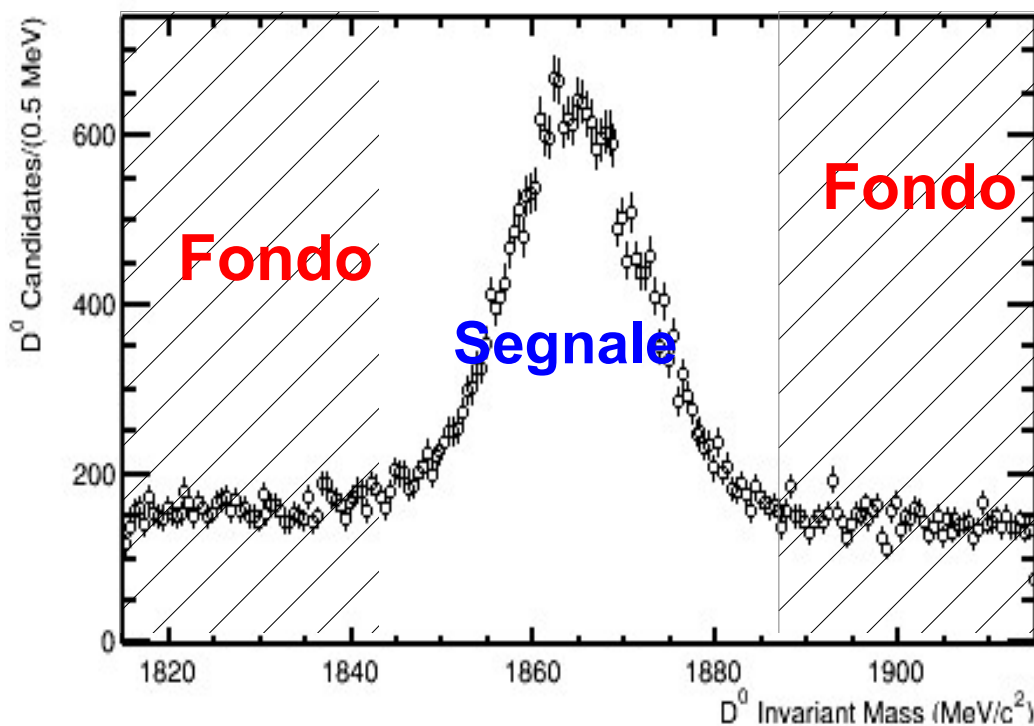
Le regioni di segnale e fondo per stimare le distribuzioni di altre variabili

Voglio studiare altre proprietà caratteristiche del D^0 , come per esempio la quantità di moto, etc..

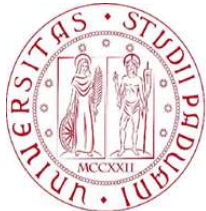
Come faccio a sapere che distribuzione hanno queste variabili per gli eventi di segnale?

Individuiamo due regioni:

- **regione dominata dal segnale (attorno al picco)**
- **regione dominata dal fondo (bande laterali attorno al picco)**



Uso gli eventi delle bande laterali (solo fondo!) per stimare la distribuzione del fondo che resta sotto il picco del segnale.



svolti i 30 eventi per
tornare indietro usare la
freccia

←
del browser



Firstname

a

Surname

b

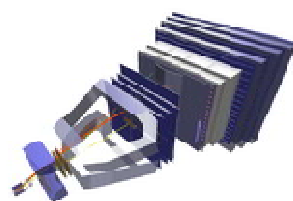
Grade

5

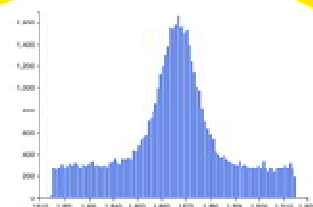
Combination

Combination 1

Save



Event Display



D0 lifetime

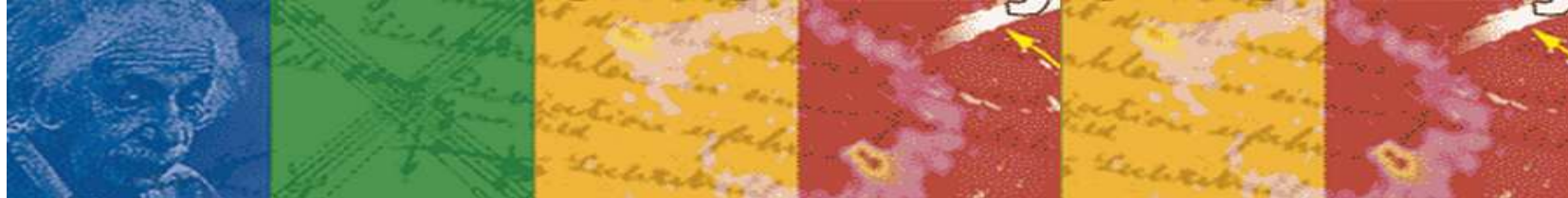


Welcome to the LHCb masterclass exercise on measuring the lifetime of the D0 meson.

The goal of this exercise is to measure the lifetime of the D0 meson, a fundamental particle made of a charm quark and an up anti-quark. In order to do so, you will first learn how to separate signal D0 mesons from backgrounds. Finally, you will compare your results to the values found by the Particle Data Group (<http://pdgLive.lbl.gov>).

Step-by-step instructions :

1. Plot the D0 mass distribution. The mass of the D0 is a fundamental variable which separates signal (the peaking structure in the middle) from the flat background.
2. Read the results of the fit and use them to determine the signal range. The function being fitted to the signal is a Gaussian, whose width, indicated by the greek letter σ , is related to how far the signal extends from the mean (or most probable) value. In particular, an interval of $\pm 1 \sigma$ around the mean value contains 68% of the signal, while $\pm 3 \sigma$ contains 99.7% of the signal. Use the slider to set the signal range to be $\pm 3 \sigma$ around the mean value.
3. Plot the variable distributions. You will see three further plots appearing, and in each one the blue points represent the distribution of the signal in that variable while the red points represent the distribution of the background. The plot is logarithmic in the Y axis, and each point represents the fraction of the total signal in that bin. Which regions of each variable contain mostly signal? Which contain mostly background ?
4. Fit the lifetime distribution. Save the results of your fit and compare them to the PDG value. Do they agree ? 5. Repeat step 4 but now varying the upper D0 log(IP) variable range from 1.5 to -2 in steps of 0.2. Do you notice a pattern? Talk to a demonstrator about your results. Does the D0 lifetime with an log(IP) cut of -1.5 agree better or worse with the PDG than the lifetime with an log(IP) cut of 1.5 ?



D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background subtr.

Signal range

1845 1887

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

-4 1.5

Refresh

Time fit

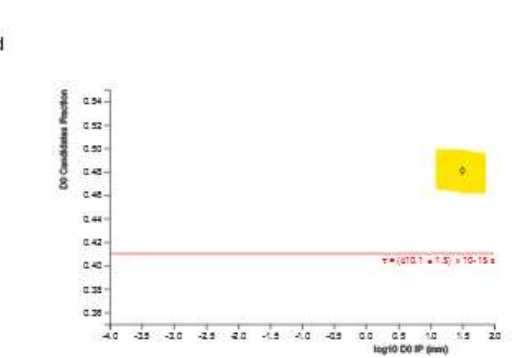
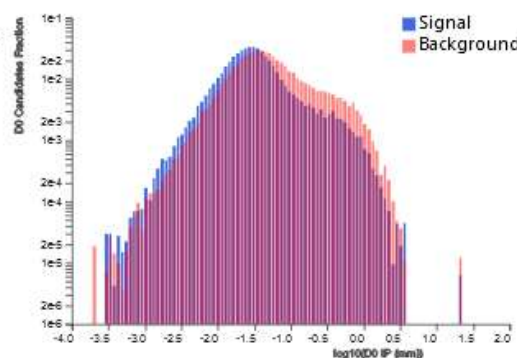
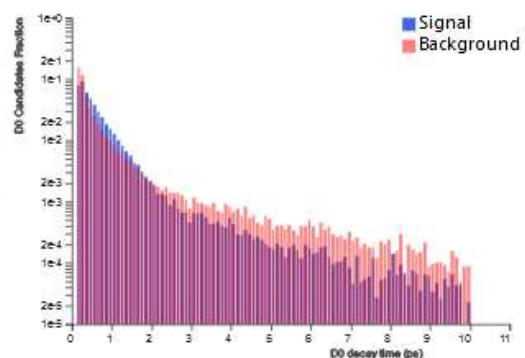
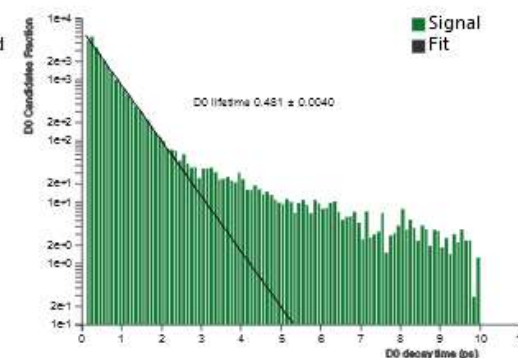
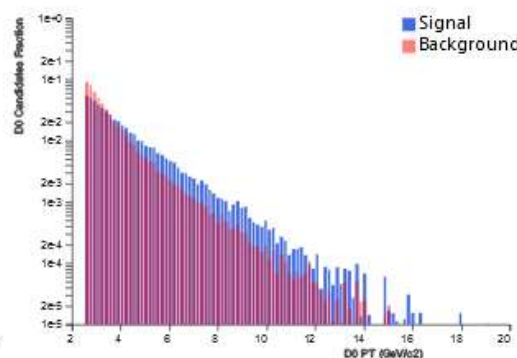
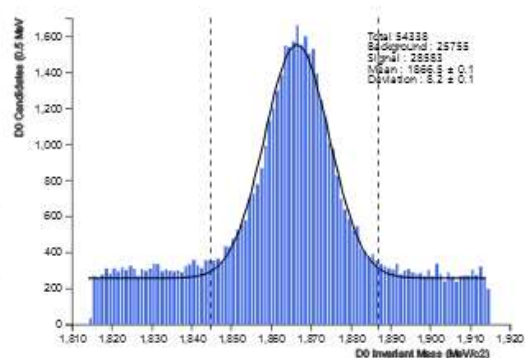
Fit result Error (ps)

0.0040

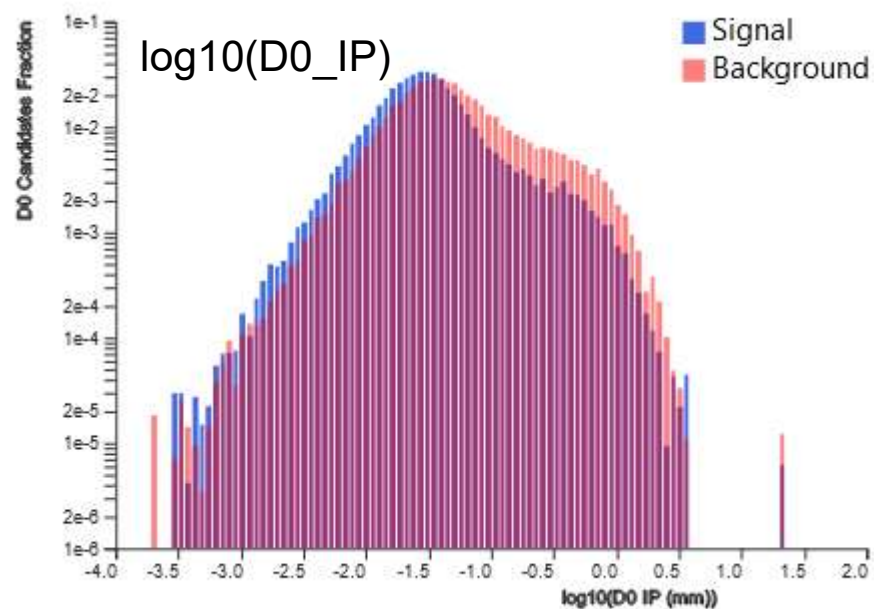
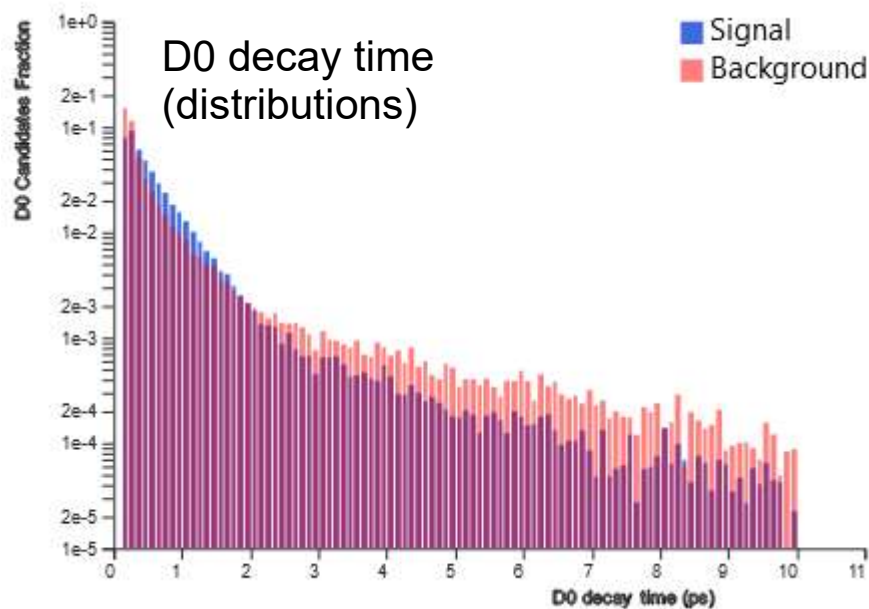
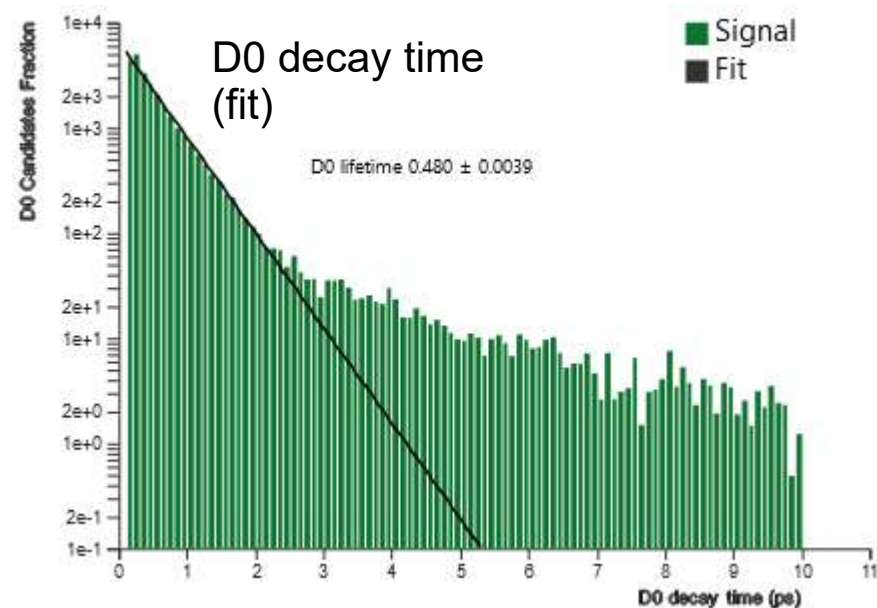
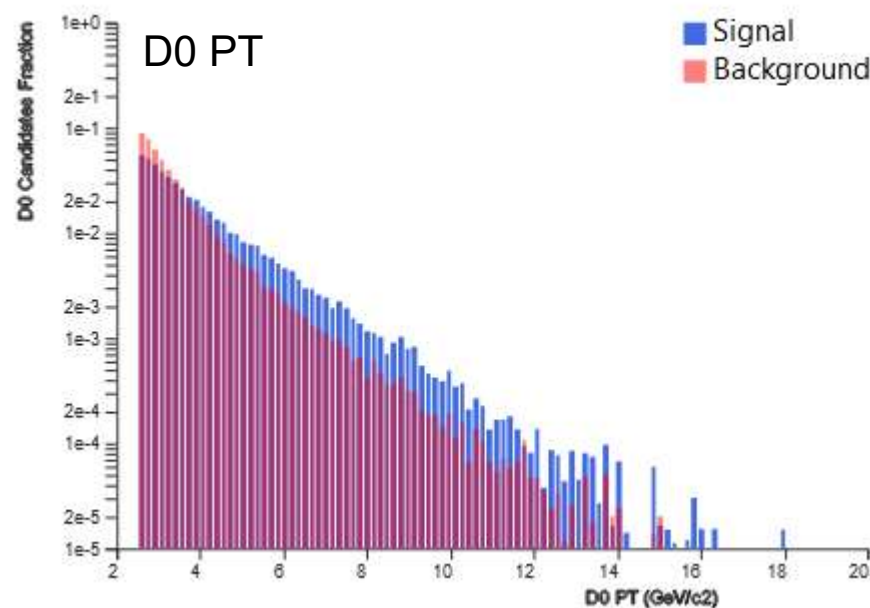
0.481

Save result

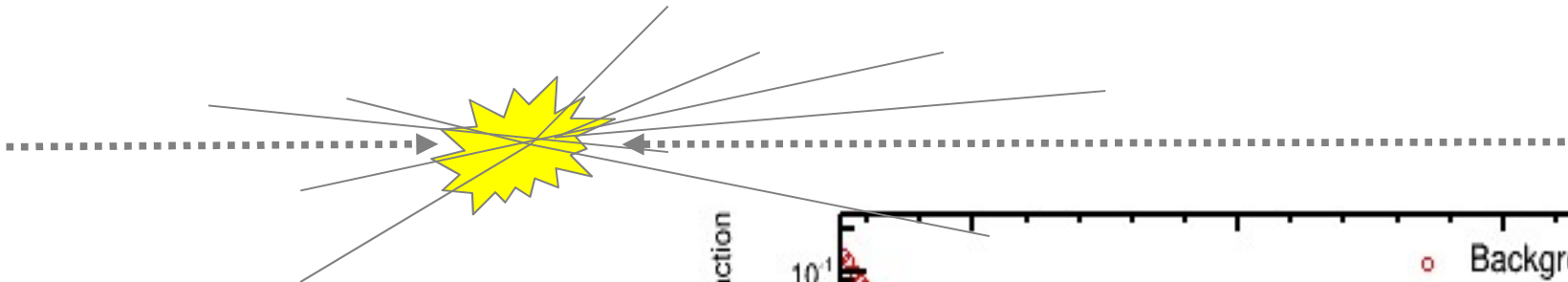
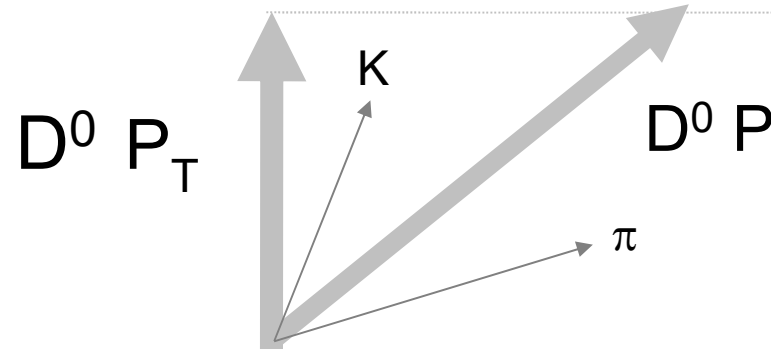
Read instructions



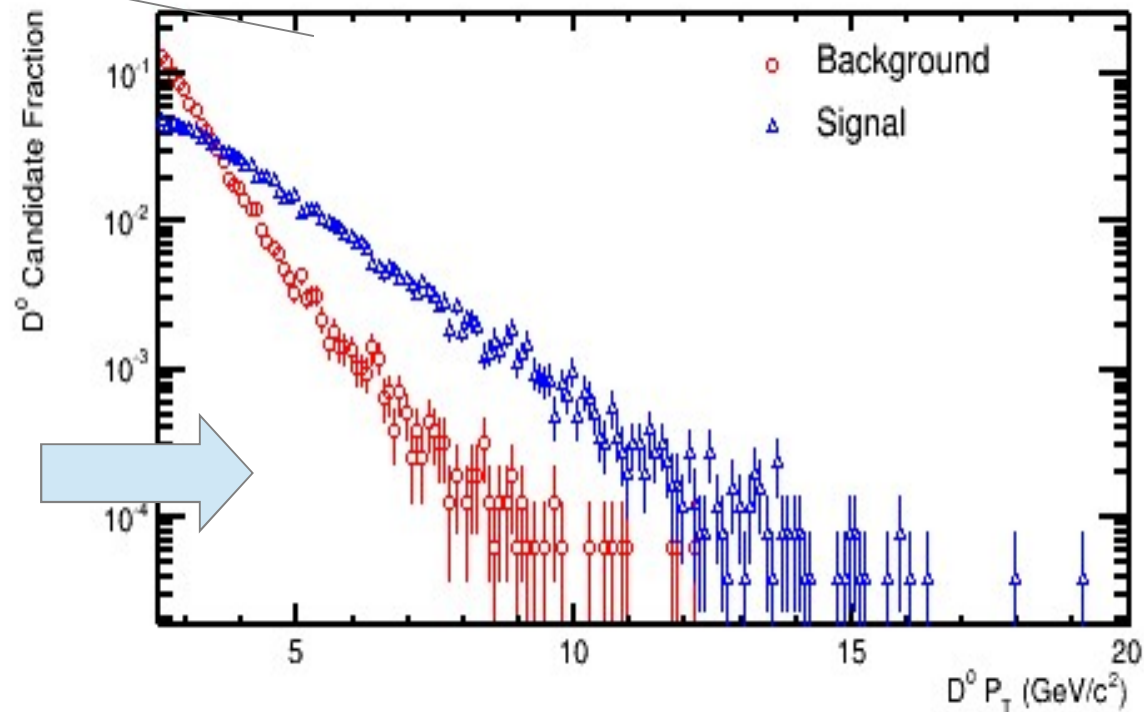
1. Plot D0 mass
2. Fit mass distribution
3. Background subtraction, Signal range: linee verticali attorno al picco
4. Plot distributions
5. Save result



Il momento trasverso del D^0 (P_T)

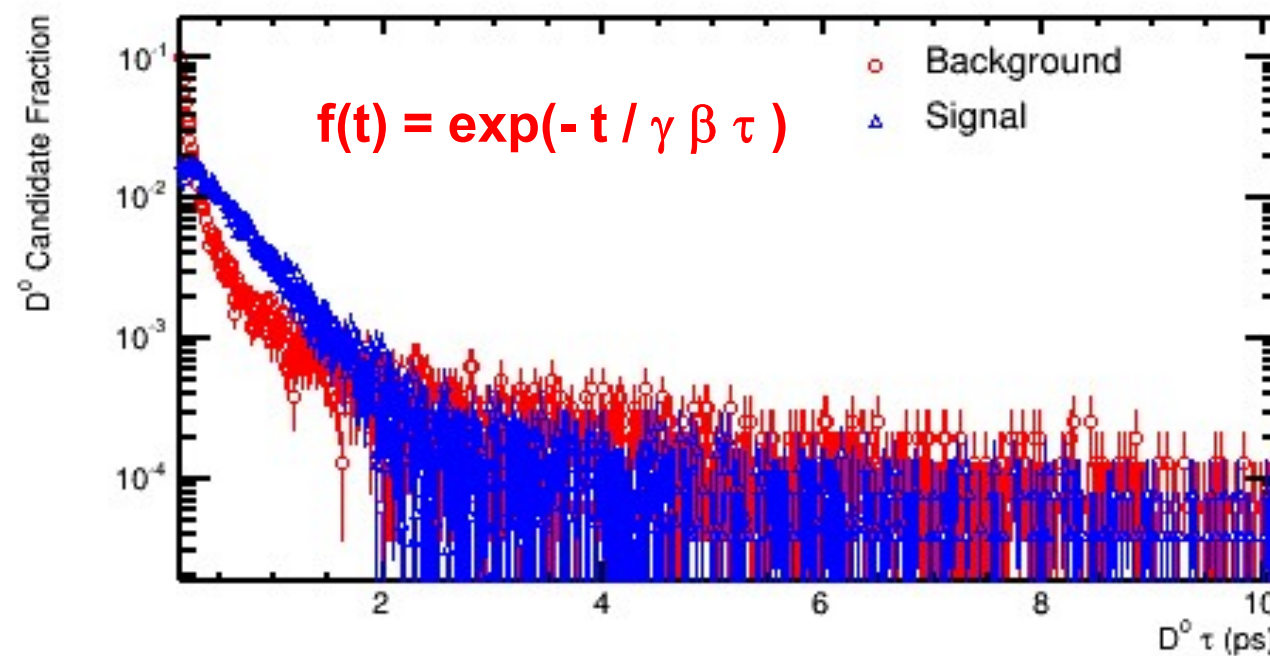
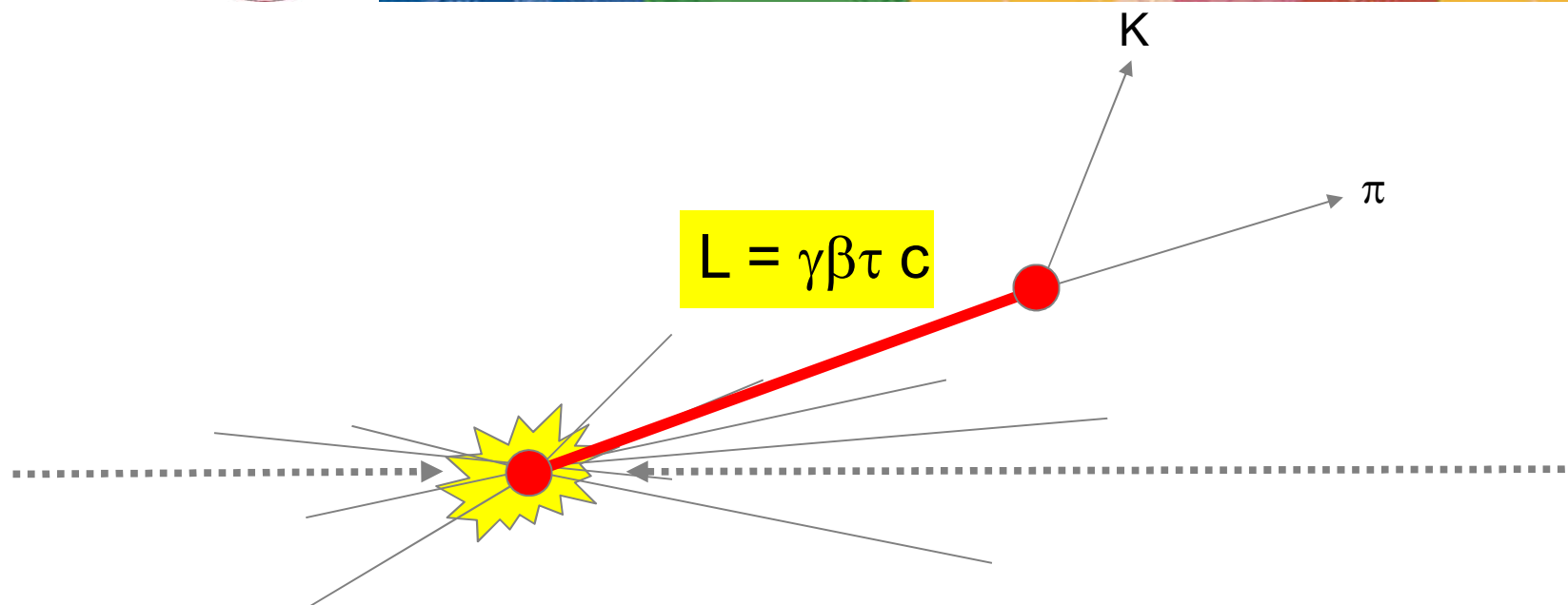


Il D^0 ricostruito ha un valore elevato del momento trasverso P_T

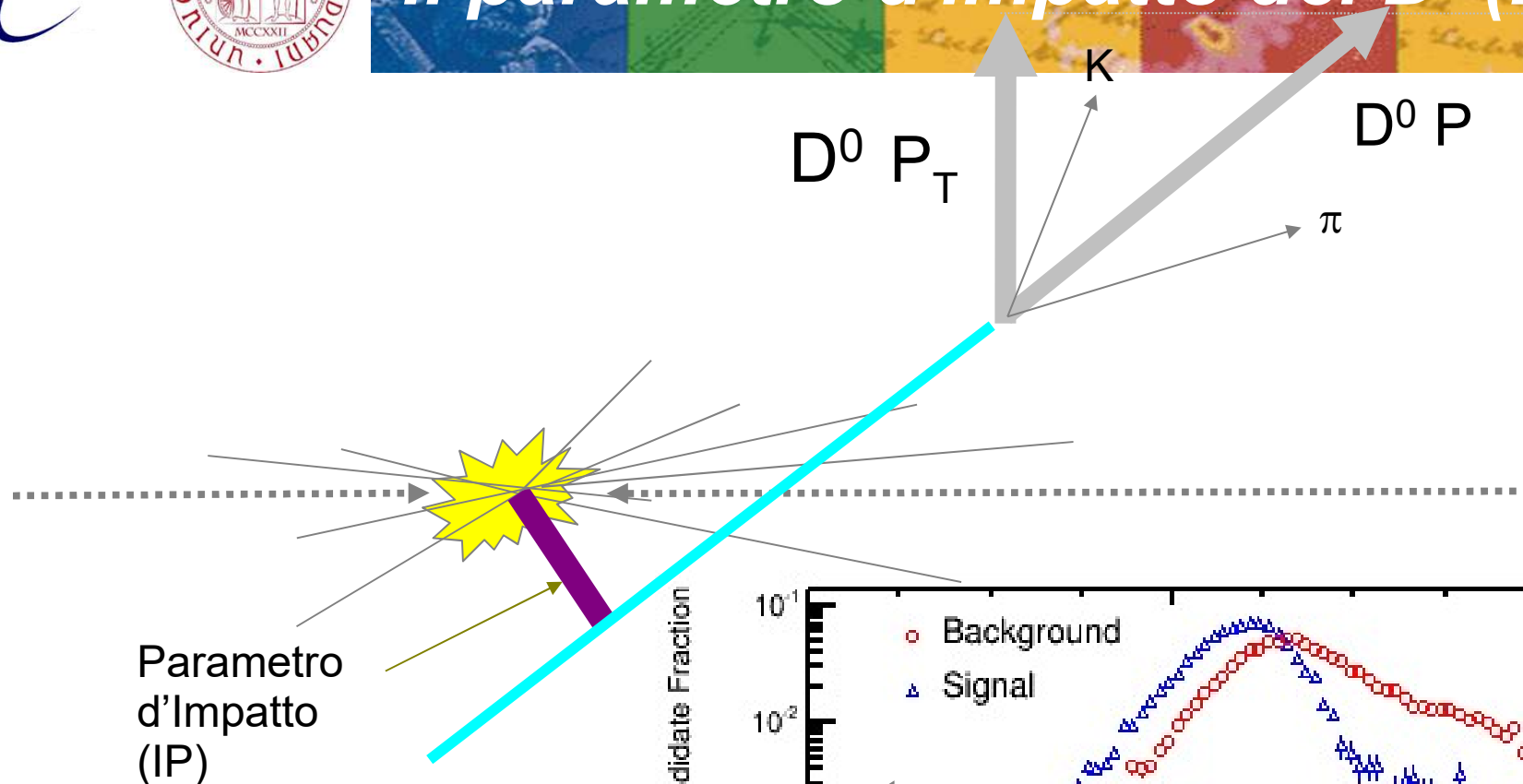


Il tempo di decadimento del D^0

decay time



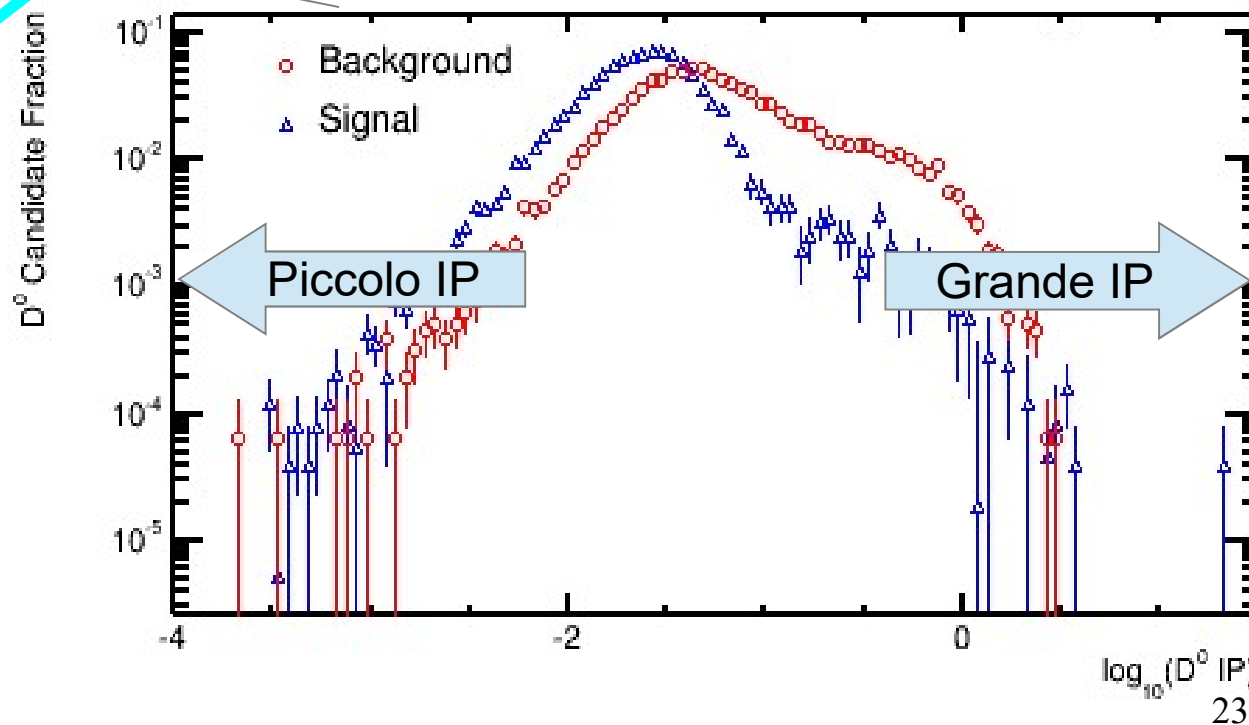
Il parametro d'impatto del D^0 (D^0_{IP})

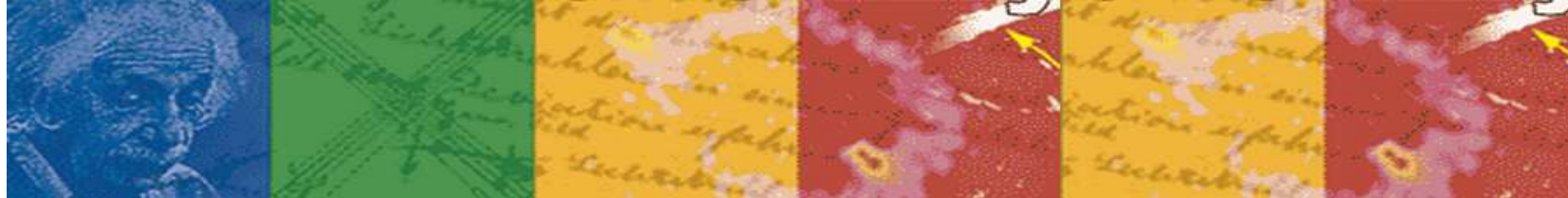


Parametro
d'Impatto
(IP)

NB: in questo grafico, per evidenziare meglio le differenze tra segnale e fondo abbiamo rappresentato il logaritmo di IP.

Log (IP) > 0 --> grande IP
Log (IP) < 0 --> piccolo IP





D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1840 1890

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

-4 0.7

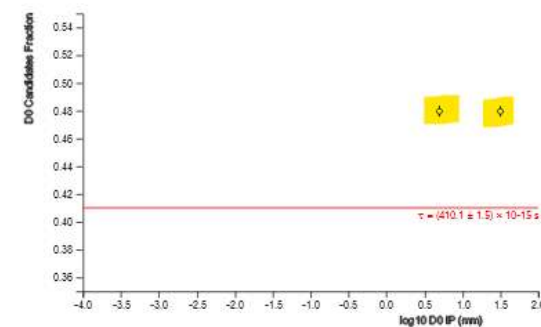
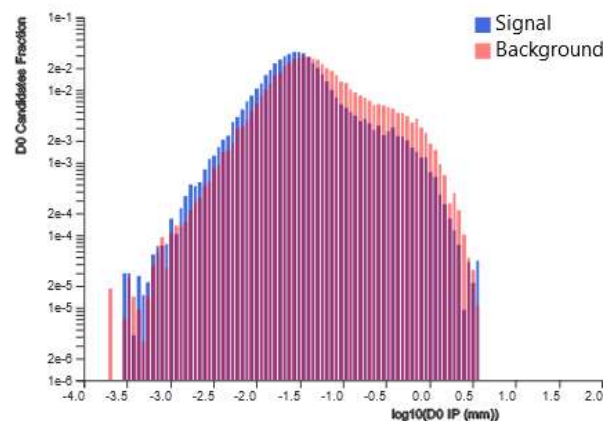
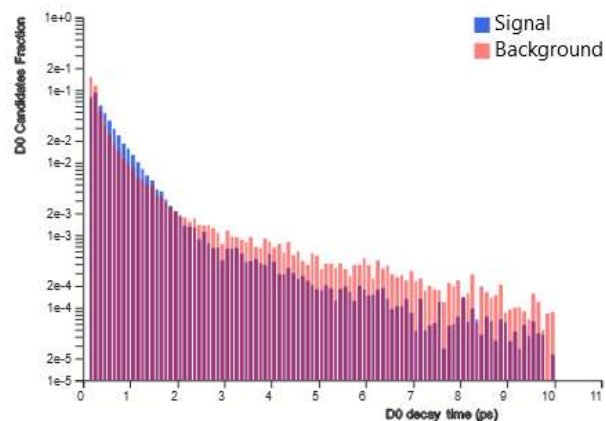
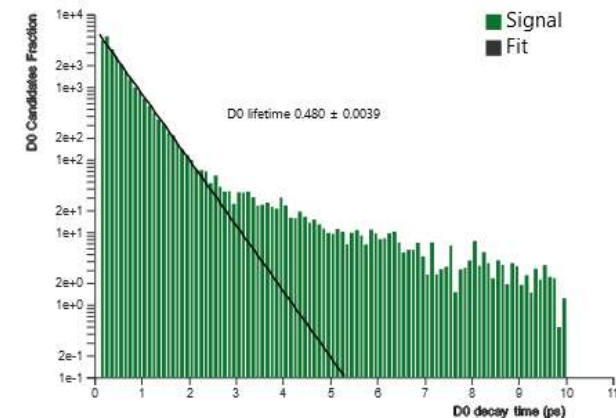
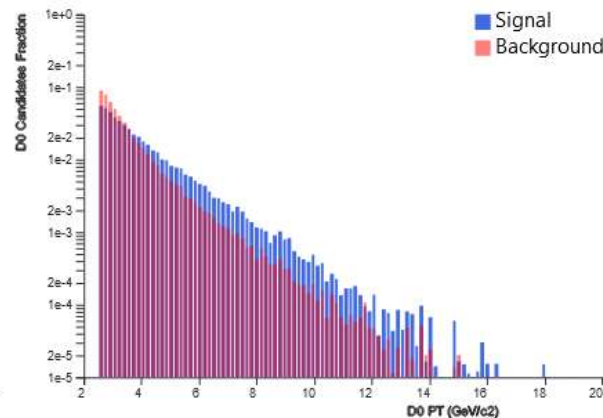
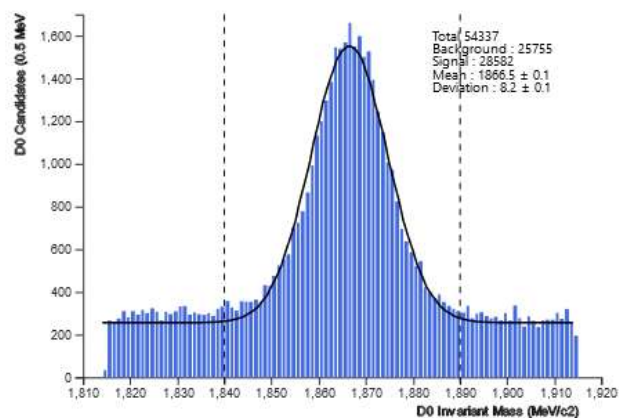
Refresh

Time fit

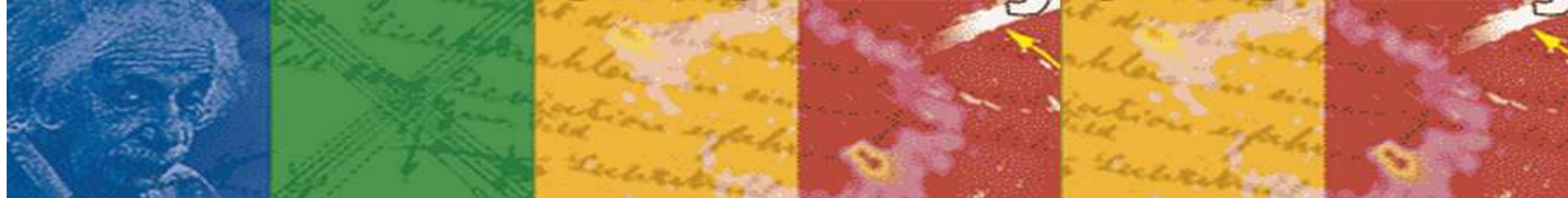
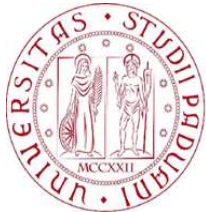
Fit result (ps) 0.0039

0.480

Save result



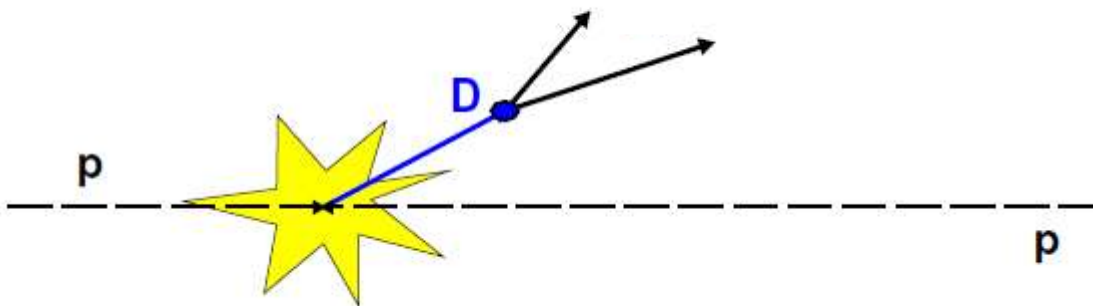
1. diminuire progressivamente l'estremo superiore della quantita' D0 IP
 2. Refresh -> Save result
 3. ricominciare da 1.
- come varia l'ultimo grafico ? perche' ?



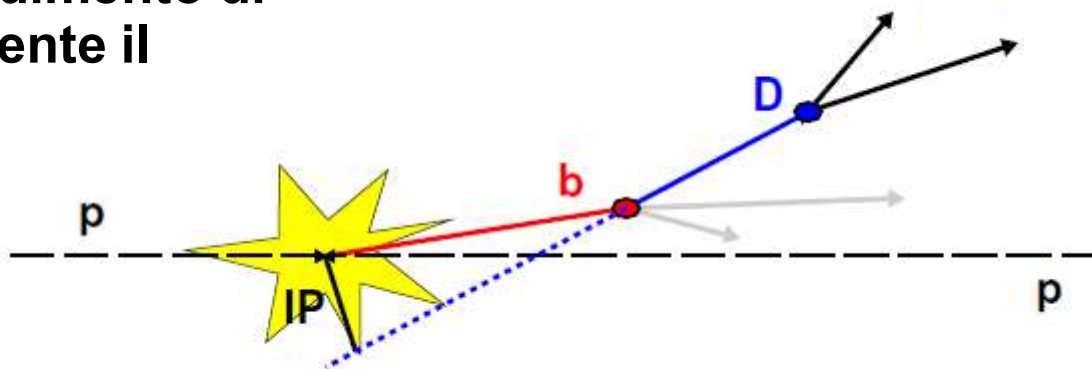
La particella D^0

Puo' essere prodotta in due modi:

Produzione diretta



Produzione dal decadimento di una particella contenente il quark **b**



Come decade:

$$D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$$

oppure in $K^- \pi^+$ per la corrispondente anti-particella



D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1841 1885

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

-4 1.5

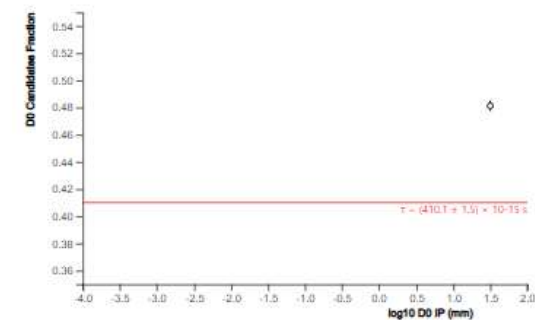
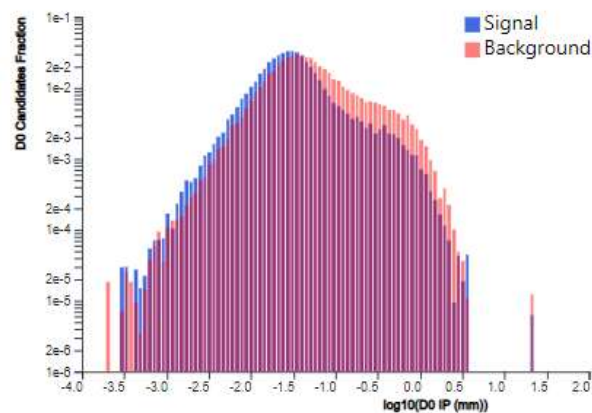
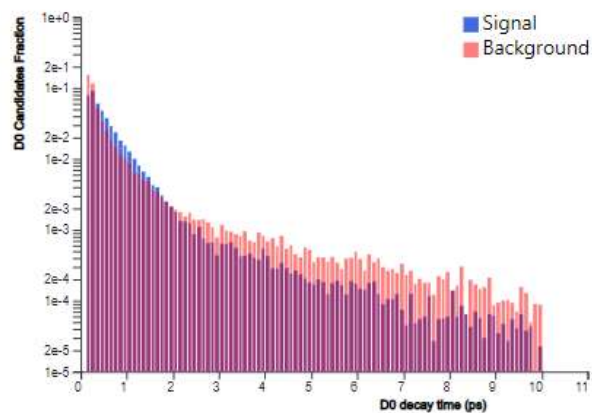
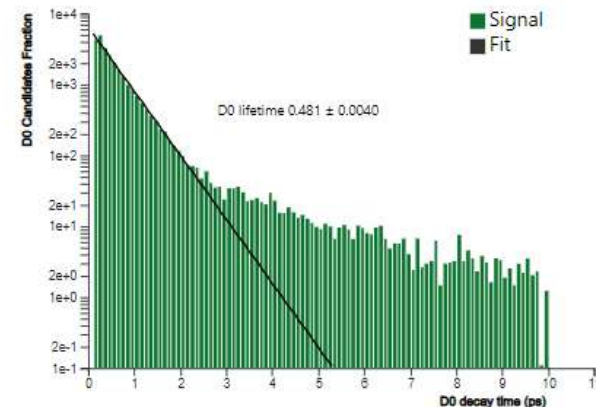
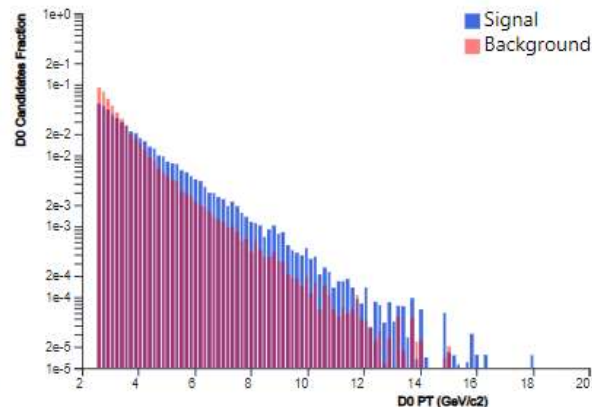
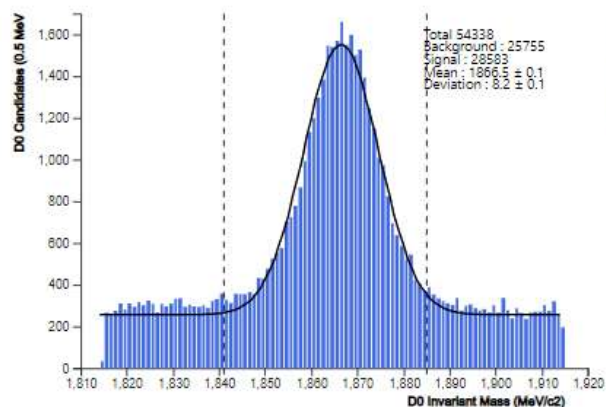
Refresh

Time fit

Fit result Fit Error (ps)

0.481 0.0040

Save result





D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass
distribution

Background substr.

Signal range



Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

D⁰ TAU

D⁰ IP


Refresh

Time fit

Fit result Fit Error
(ps) 0.0036
0.422

Save result

