



Oggi utilizzerete un campione di dati raccolti dall'esperimento LHCb in collisioni protone-protone all'acceleratore LHC.

L'esercizio sarà diviso in due parti.

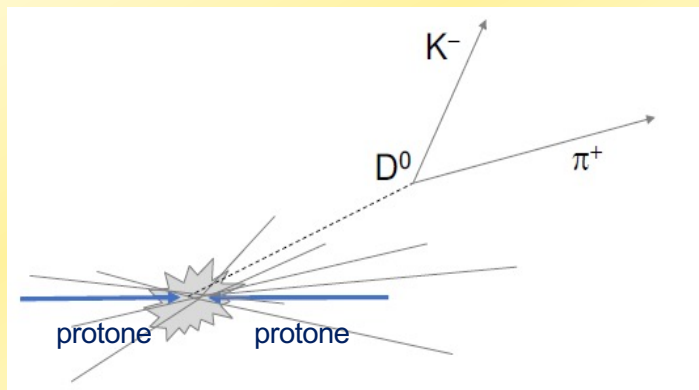
- **PRIMA PARTE:** selezionare le particelle  $D^0$  prodotte nelle interazioni
- **SECONDA PARTE:** misurare la vita media della particella  $D^0$

# La particella $D^0$ : come misurarne la vita media



La  $D^0$  è una particella instabile e, dopo un certo tempo, ovvero dopo aver percorso una certa distanza dal punto di produzione, decade in particelle più leggere  
(nel campione di dati che stiamo esaminando, in pioni e kaoni).

**Quanto tempo sopravvive prima di decadere?**



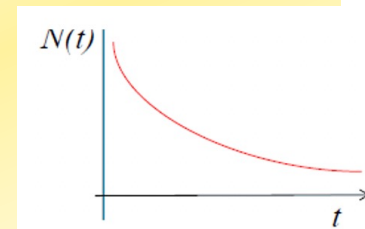
# La particella $D^0$ : come misurarne la vita media



Il decadimento di una particella instabile è descritto da una legge esponenziale:

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

dove  $N_0$  e  $N(t)$  rappresentano il numero di particelle rispettivamente all'istante iniziale e all'istante  $t$ .



Il numero di particelle (nel nostro caso,  $D^0$ ) diminuisce esponenzialmente nel tempo e, dopo un tempo pari a  $\tau$  (**vita media**), si riduce di un fattore  $1/e = 0.37$ .

**NOTA:** Non è possibile stabilire quando decadrà la singola particella, ma è nota la legge che descrive il decadimento di un certo numero di particelle!

# La particella $D^0$ : come misurarne la vita media



Il decadimento di una particella instabile è descritto da una legge esponenziale:

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

dove  $N_0$  e  $N(t)$  rappresentano il numero di particelle rispettivamente all'istante iniziale e all'istante  $t$ .

Il numero di particelle (nel nostro caso,  $D^0$ ) diminuisce esponenzialmente nel tempo e, dopo un tempo pari a  $\tau$  (**vita media**), si riduce di un fattore  $1/e = 0.37$ .

La vita media della  $D^0$  è pari a:

$$\tau_{D^0} = (410.1 \pm 1.5) \times 10^{-15} \text{ s}$$

In media una  $D^0$  sopravvive  $\sim 0.4 \times 10^{-12} \text{ s}$ , meno di un picosecondo!

# La particella $D^0$ : come misurarne la vita media



Dalla fisica *classica*, sappiamo che la distanza  $L$  percorsa da un corpo che si muova di moto rettilineo uniforme a velocità  $v$  è legata al tempo impiegato per percorrerla dalla relazione:

$$L = vt$$

Questa relazione si modifica per particelle che viaggiano a velocità prossime alla velocità della luce:

$$L = \gamma vt \quad \text{dove} \quad \gamma = 1 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Per una particella  $D^0$  prodotta a LHC,  $v \sim 0.99919 c \Rightarrow \gamma \sim 25$ .

In media, una  $D^0$  percorre una distanza  $L = \gamma v \tau \approx 3mm$  prima di decadere.

# La particella $D^0$ : come misurarne la vita media



## Come possiamo misurare la vita media della particella $D^0$ ?

- Selezionare un campione di  $D^0$
- Dalla lunghezza di decadimento (distanza percorsa) può essere calcolato il tempo di decadimento.
- Dalla distribuzione dei tempi di decadimento, si può ricavare la vita media  $\tau$  interpolando i dati con la funzione  $N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$ .

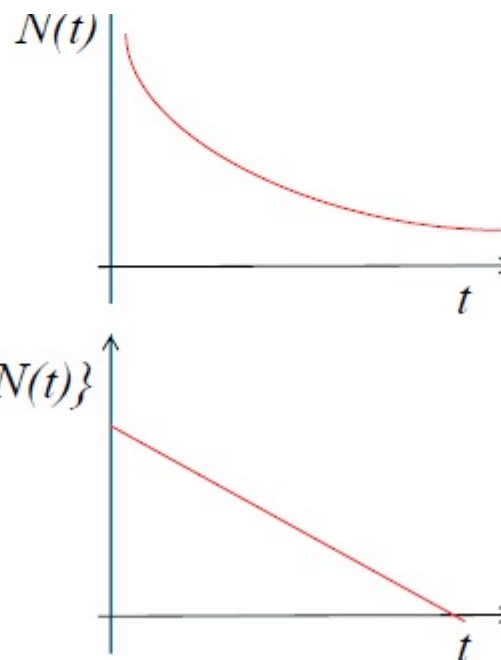
# La particella $D^0$ : come misurarne la vita media



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

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

La pendenza della retta (coefficiente angolare)  
è  $-1/\tau \Rightarrow$  dalla pendenza si può ricavare  $\tau$



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

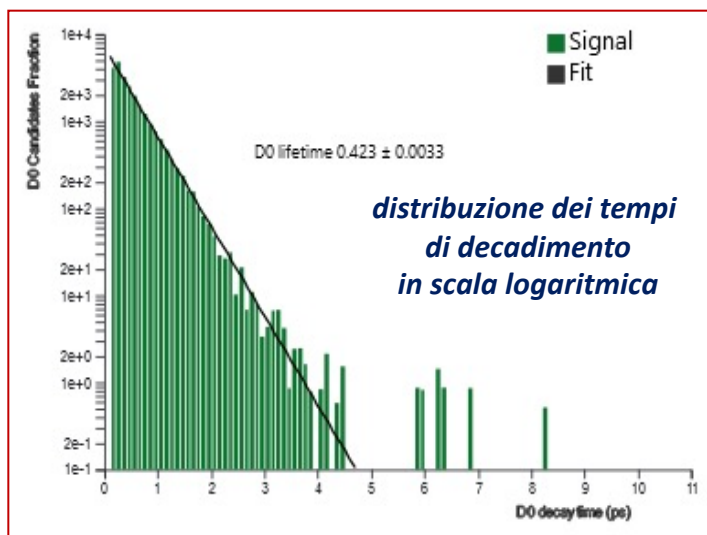


# La particella $D^0$ : come misurarne la vita media



## Come possiamo misurare la vita media della particella $D^0$ ?

- Selezionare un campione di  $D^0$
- Dalla lunghezza di decadimento (distanza percorsa) può essere calcolato il tempo di decadimento.
- Dalla distribuzione dei tempi di decadimento, si può ricavare la vita media  $\tau$  interpolando i dati (fit) con la funzione  $N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$ .







## ESERCIZIO MASTERCLASS: PARTE II



LHCb Masterclass

← → ↺ 🏠 🔒 https://lhcb-d0.web.cern.ch/

• Collegarsi all'indirizzo <https://lhcb-d0.web.cern.ch/>

⬇ 📄 👤

LHCb Masterclass

About  
Language

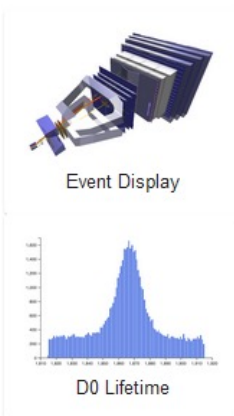
Firstname  
m

Surname  
d

Grade  
1

Combination  
Combination 5

Save



- Cliccare su *D0 Lifetime*



LHCb Masterclass

← → ↺ 🏠

🔒 <https://lhcb-d0.web.cern.ch>

• Collegarsi all'indirizzo <https://lhcb-d0.web.cern.ch/>

⬇ 📖 🌐

LHCb Masterclass

About  
Language

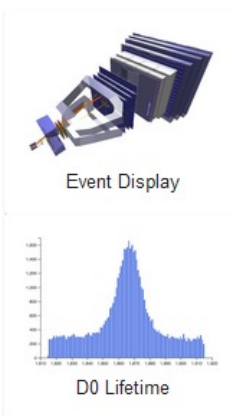
Firstname  
m

Surname  
d

Grade  
1

Combination  
Combination 5

Save



- Cliccare su *D0 Lifetime*



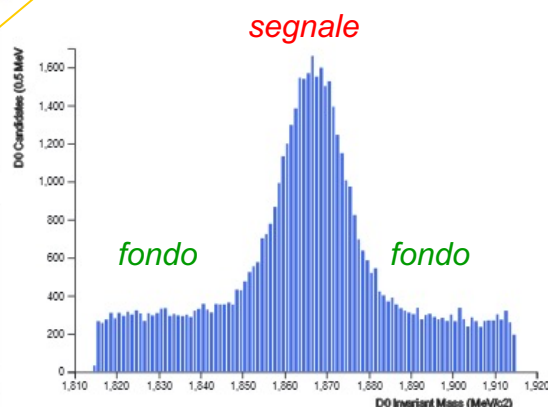
2				
3	<b>Da compilare a cura degli studenti</b>			
4			<b>Vita Media del mesone D0</b>	
5	<b>Combinazione</b>		<b>Misura (ps)</b>	<b>Errore (ps)</b>
6	1	AGNESE FUSCO	10.000	1.000
7	2	ALEXIA ROSATO	10.000	1.000
8	3	ANGELO LACORTE	10.000	1.000
9	4	ANTONIO FRANCESCO SALLUSTIO	10.000	1.000
10	5	ARIANNA SFREGOLA	10.000	1.000
11	6	CARLO ALBERINI	10.000	1.000
12	7	CATERINA VIVA	10.000	1.000
13	8	CHIARA CERASINO	10.000	1.000
14	9	CHIARA TAMBORRINO	10.000	1.000
15	10	DEBORA MARSEGLIA	10.000	1.000
16	11	ERNESTO D'AMICO	10.000	1.000
17	12	FRANCESCO D'AMATO	10.000	1.000
18	13	GIUSEPPE ZACCARIA	10.000	1.000
19	14	JENNIFER GRECO	10.000	1.000
20	15	MANUELE FERRARA	10.000	1.000
21	16	MARILÙ GUARINI	10.000	1.000
22	17	MASSIMO LARICCHIA	10.000	1.000
23	18	MIRKO SACCHETTI	10.000	1.000
24	19	ROSA SEMERANO	10.000	1.000
25	20	SIMONA GIANNOTTI	10.000	1.000
26	21	SIMONE BARBA	10.000	1.000
27	22	SOFIA CIMAGLIA	10.000	1.000
28	23		10.000	1.000

[illegible]



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

- Cliccare su *Plot D<sup>0</sup> mass*



Notiamo un picco (*segnale*) su una distribuzione piatta (*fondo*).

Il fondo è dovuto a combinazioni casuali di tracce (pione e kaone) che non provengono dal decadimento di una D<sup>0</sup>, ma hanno una massa prossima a quella della D<sup>0</sup>.

Il *picco* è ben descritto da una funzione matematica detta **gaussiana**, la cui media corrisponde al valore misurato della massa della D<sup>0</sup> e la cui larghezza ( $\sigma$ ) dipende dalla risoluzione sperimentale del rivelatore.

Una distribuzione gaussiana contiene il 99.7% degli eventi entro tre  $\sigma$  dal valor medio (valore di picco).

Analysis tools

Plot D<sup>0</sup> mass

Fit mass distribution

Background substr.

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

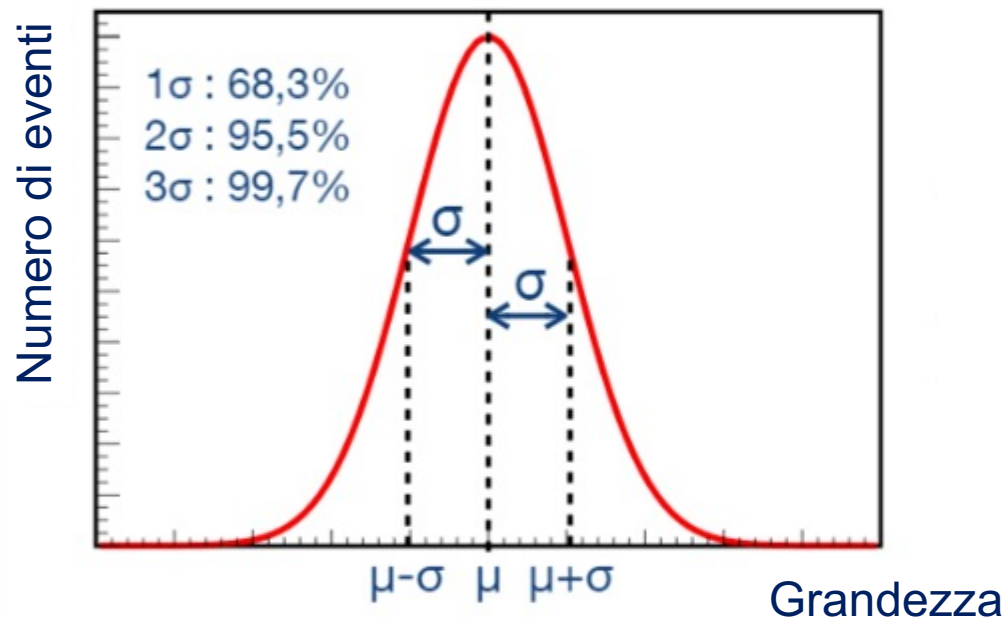
-4 1.5

Refresh

Time fit

Fit result (ps) Fit Error

Save result

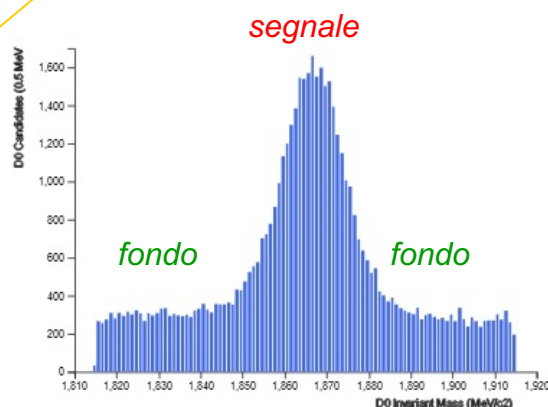


$$N(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{T-\mu}{\sigma}\right)^2}$$



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

- Cliccare su *Plot D<sup>0</sup> mass*



Notiamo un picco (*segnale*) su una distribuzione piatta (*fondo*).

Il fondo è dovuto a combinazioni casuali di tracce (pione e kaone) che non provengono dal decadimento di una D<sup>0</sup>, ma hanno una massa prossima a quella della D<sup>0</sup>.

Il *picco* è ben descritto da una funzione matematica detta **gaussiana**, la cui media corrisponde al valore misurato della massa della D<sup>0</sup> e la cui larghezza ( $\sigma$ ) dipende dalla risoluzione sperimentale del rivelatore.

Una distribuzione gaussiana contiene il 99.7% degli eventi entro tre  $\sigma$  dal valor medio (valore di picco).

Il *fondo* è ben descritto da una funzione lineare (*retta*).

Analysis tools

Plot D<sup>0</sup> mass

Fit mass distribution

Background substr.

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





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

- Cliccare su *Fit mass distribution*

Analysis tools

Plot D<sup>0</sup> mass

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

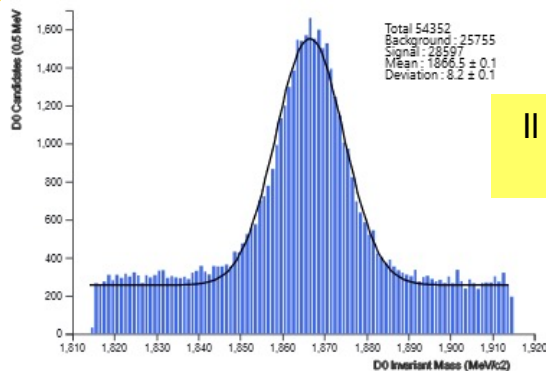
-4 1.5

Refresh

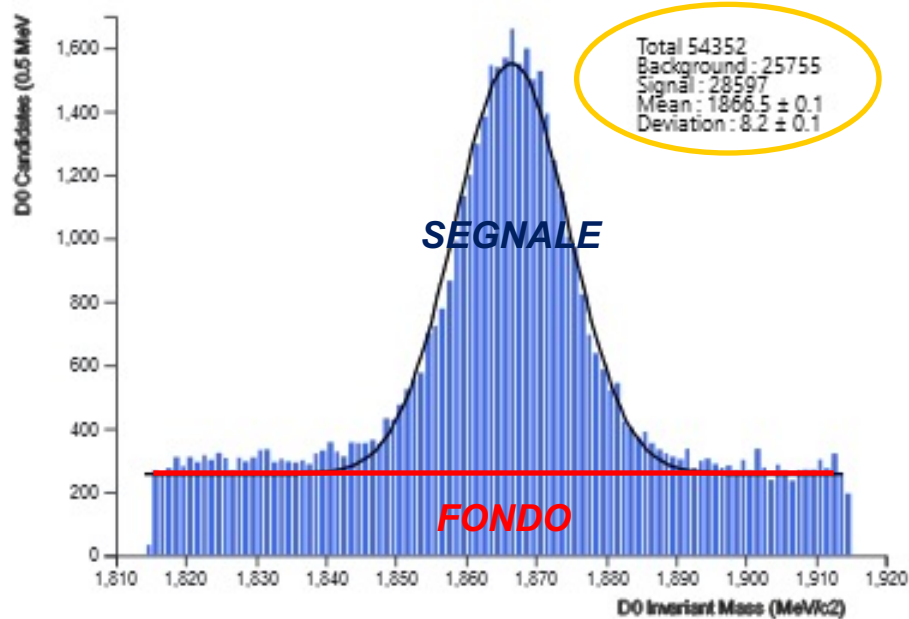
Time fit

Fit result (ps) Fit Error

Save result



Il programma calcola i parametri della *miglior* gaussiana che descrive il picco centrale e della *miglior* retta che descrive il fondo.



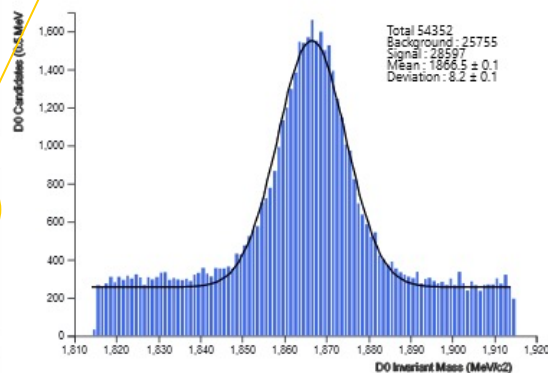
Il *fit* dei dati ci consente di stimare la frazione di eventi di segnale/fondo.



LHCb Masterclass

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

- Selezionare la regione del segnale mediante il cursore



Mediante il cursore, è possibile modificare l'intervallo dei valori della massa e selezionare gli eventi che *cadono* nella regione del segnale.

Analysis tools

Plot D<sup>0</sup> mass

Fit mass distribution

Background substr.

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



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

- Cliccare su *Plot distributions*

Analysis tools

Plot D<sup>0</sup> mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1850 1885

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

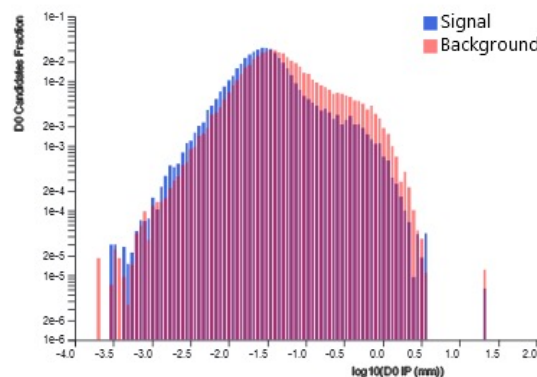
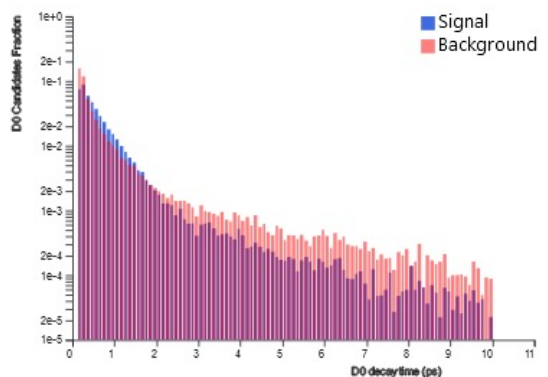
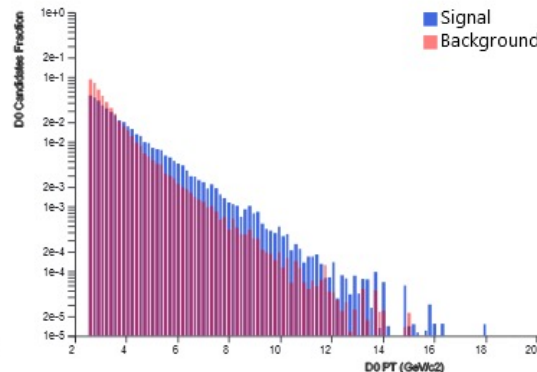
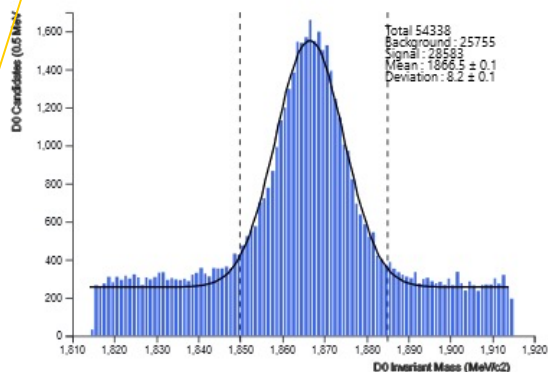
Refresh

Time fit

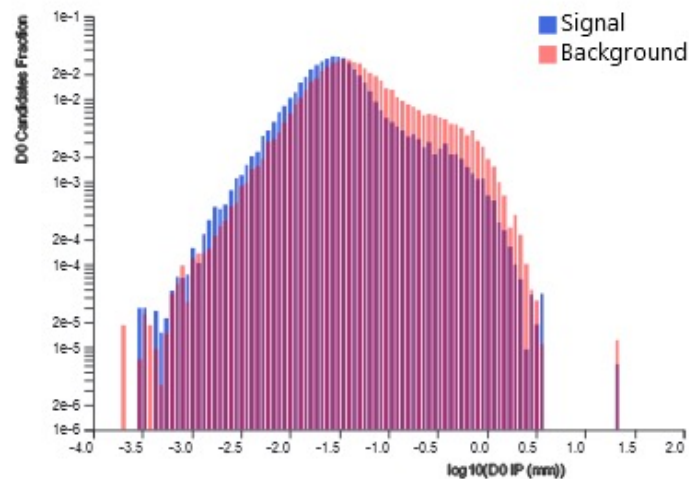
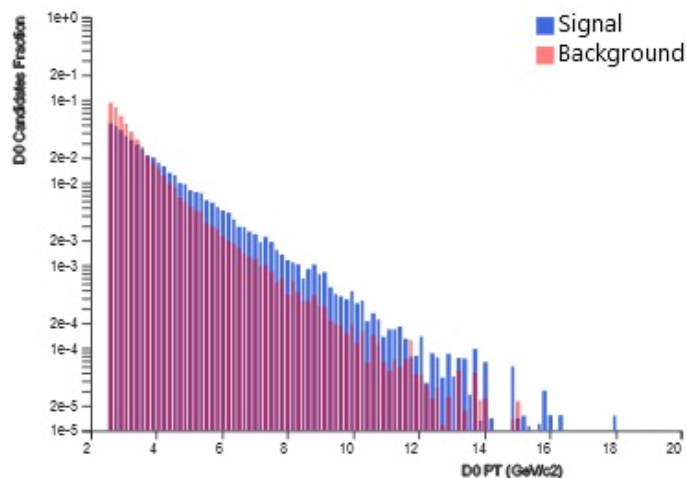
Fit result (ps) Fit Error

0.485 0.0040

Save result

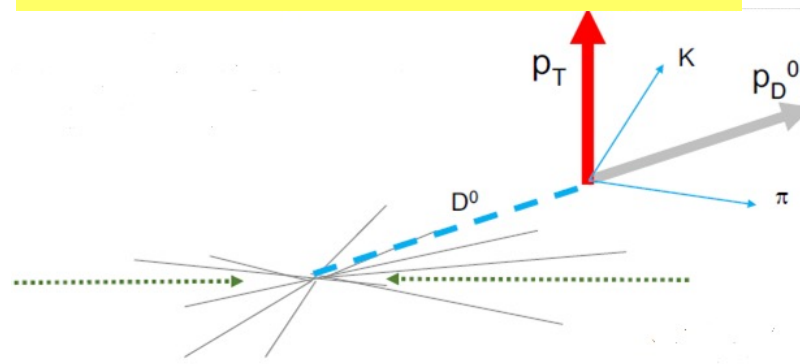


Sono visualizzati i grafici di altre 3 grandezze che caratterizzano gli eventi selezionati: Impulso trasverso, parametro d'impatto e tempo di decadimento.



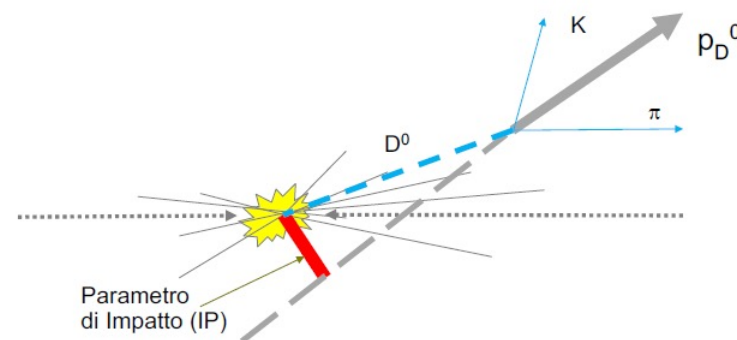
## Impulso trasverso:

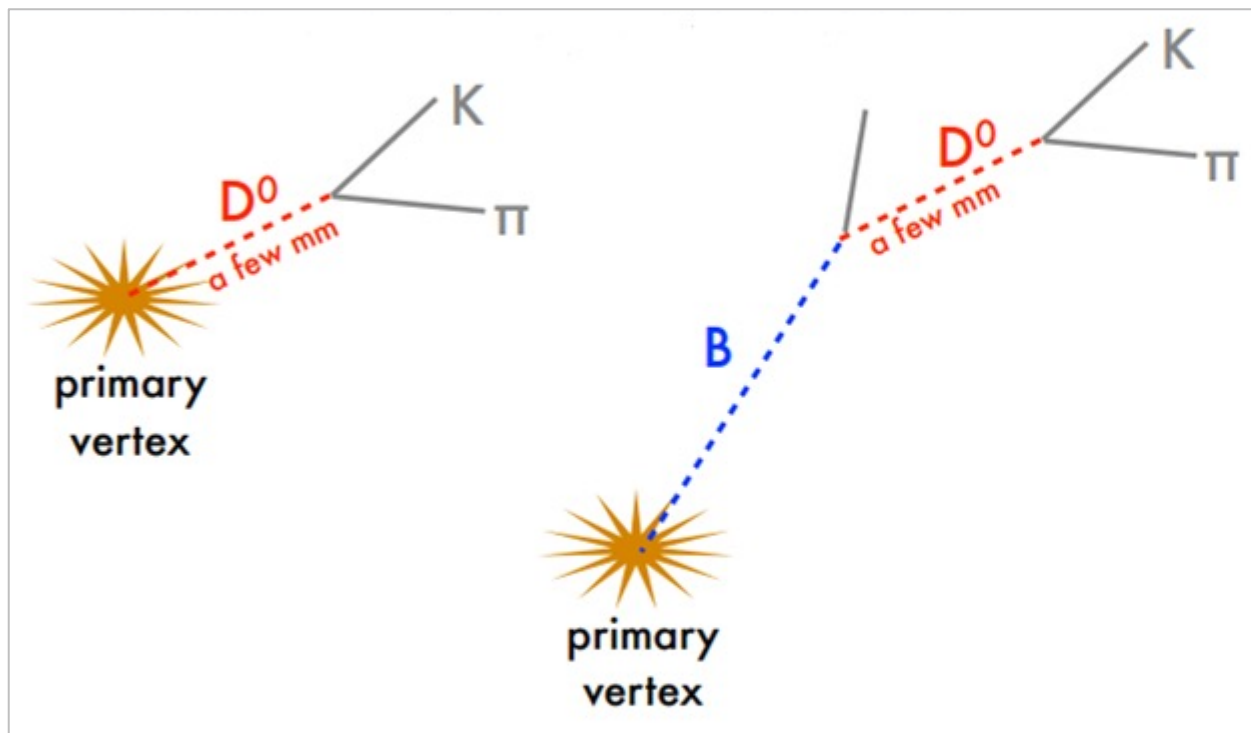
componente dell'impulso nel piano trasverso, perpendicolare alla direzione dei fasci di protoni

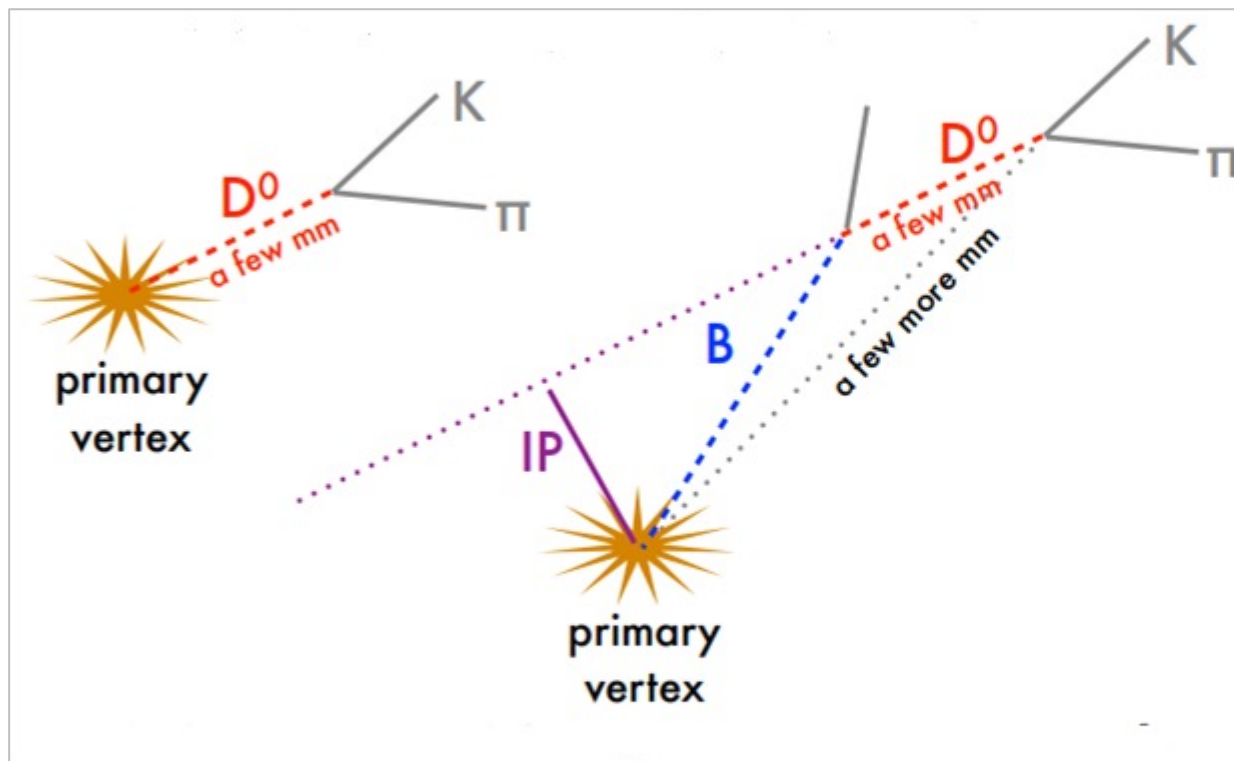


## Parametro d'impatto:

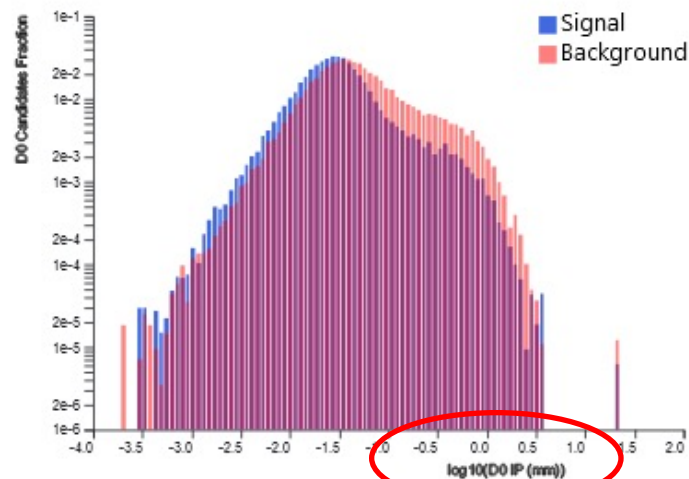
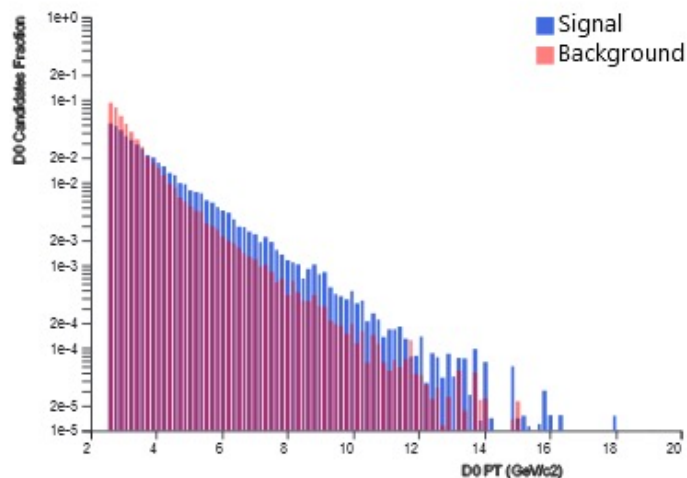
minima distanza tra la direzione di volo della particella e il punto di interazione protone-protone







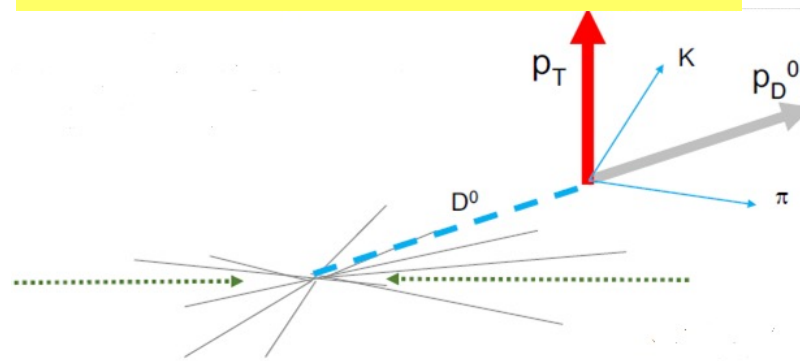




**NOTA:** è rappresentato il logaritmo in base 10 del parametro di impatto.

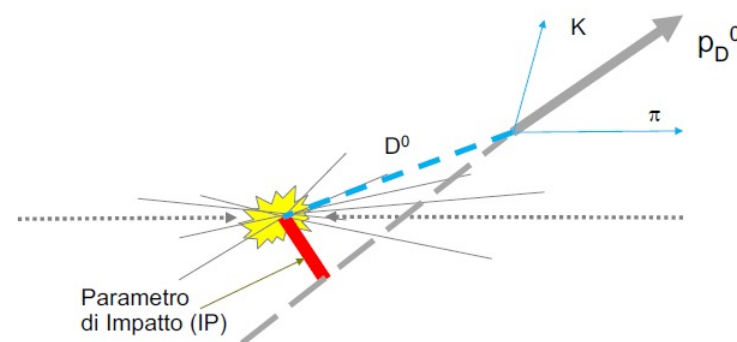
## Impulso trasverso:

componente dell'impulso nel piano trasverso, perpendicolare alla direzione dei fasci di protoni

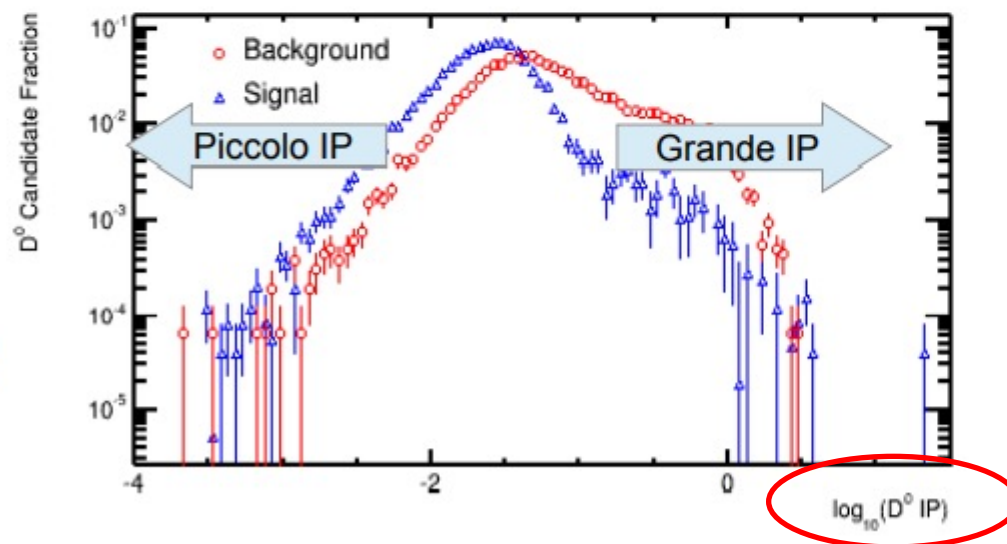


## Parametro d'impatto:

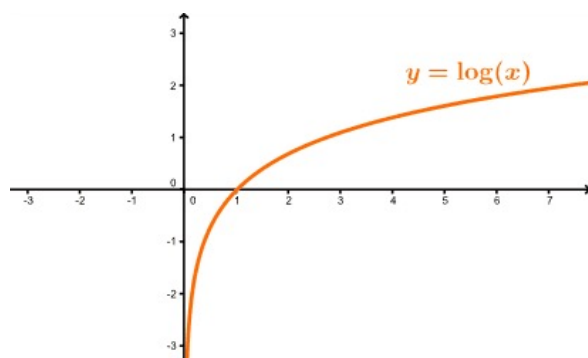
minima distanza tra la direzione di volo della particella e il punto di interazione protone-protone

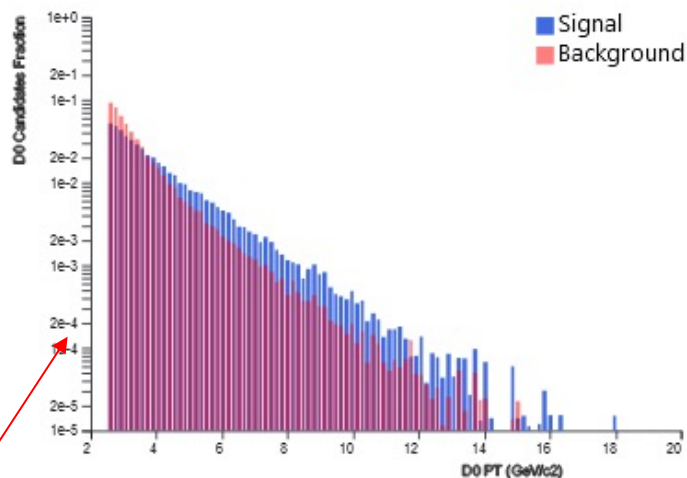


# Perché utilizzare il logaritmo?

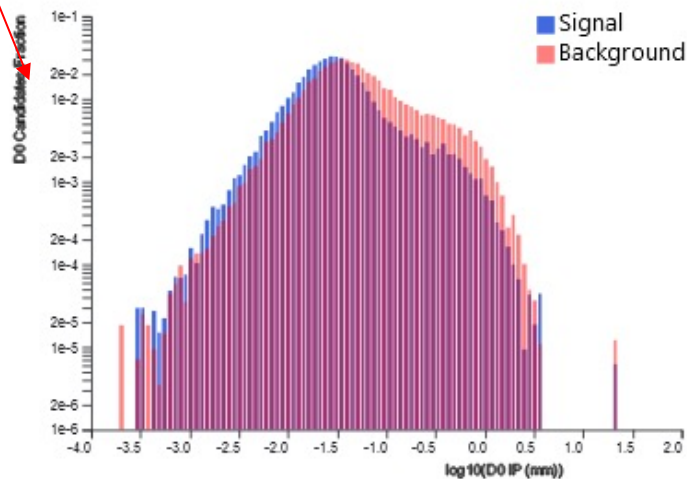


Il logaritmo di IP permette di evidenziare meglio le differenze tra segnale e fondo.



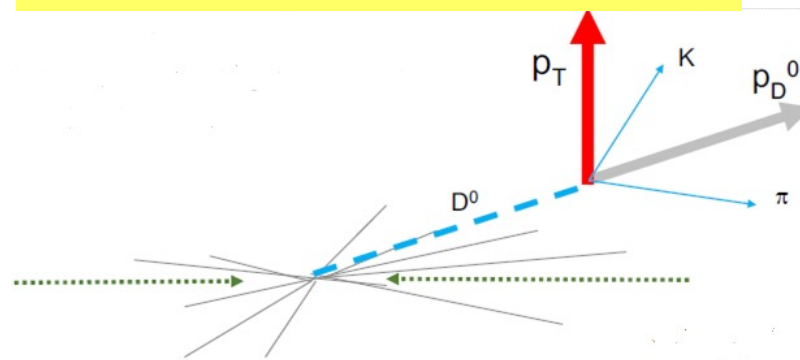


NOTA: scala logaritmica!



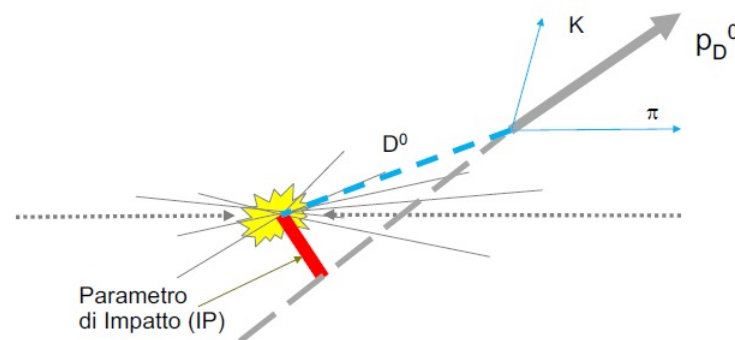
## Impulso trasverso:

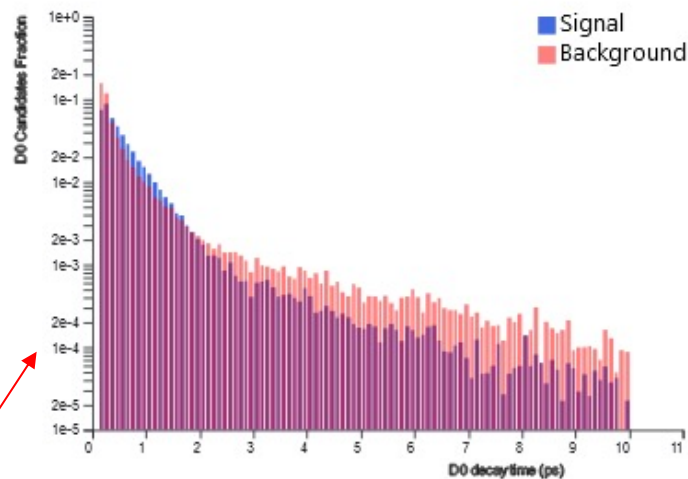
componente dell'impulso nel piano trasverso, perpendicolare alla direzione dei fasci di protoni



## Parametro d'impatto:

minima distanza tra la direzione di volo della particella e il punto di interazione protone-protone





**Tempo di decadimento:**  
intervallo di tempo tra l'istante di  
produzione e l'istante di decadimento

NOTA: scala logaritmica!



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

- Cliccare su *Plot distributions*

Analysis tools

Plot D<sup>0</sup> mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1850 1885

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

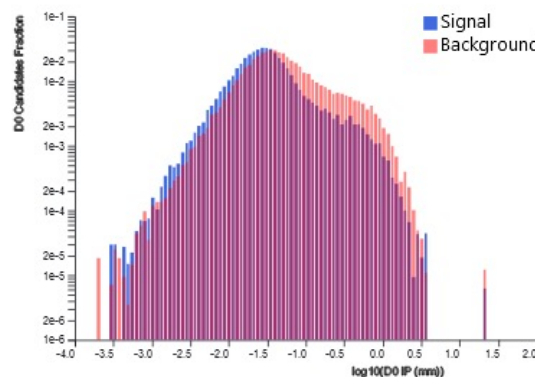
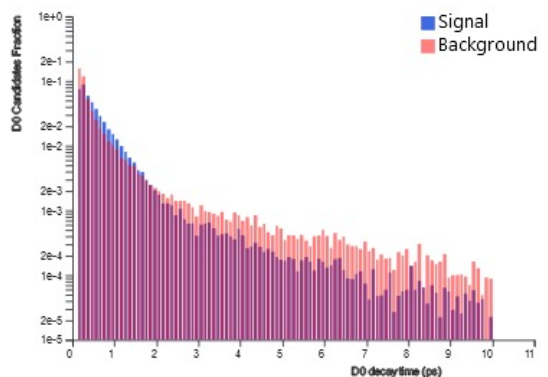
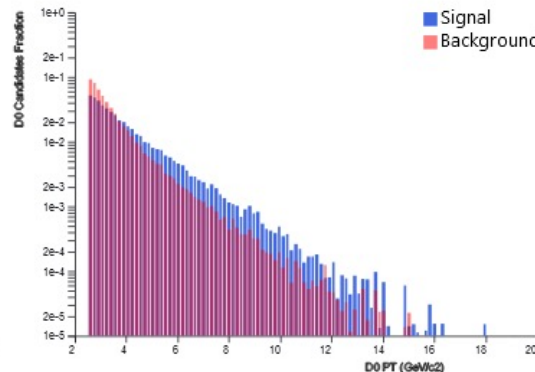
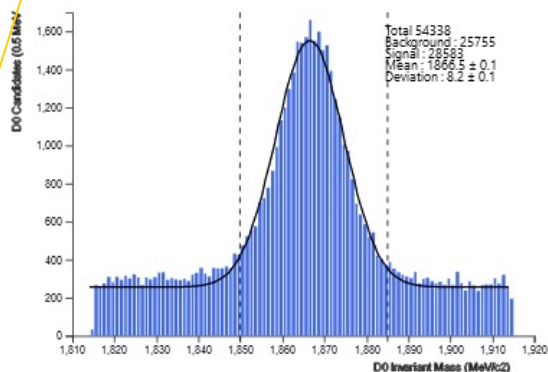
Refresh

Time fit

Fit result (ps) Fit Error

0.485 0.0040

Save result



Sono visualizzati i grafici di altre 3 grandezze che caratterizzano gli eventi selezionati: Impulso trasverso, parametro d'impatto e tempo di decadimento.



- Variare l'intervallo di valori per Log(IP) e cliccare su *Refresh*

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

### Analysis tools

Plot D<sup>0</sup> mass

Fit mass distribution

### Background substr.

Signal range

1850 1885

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

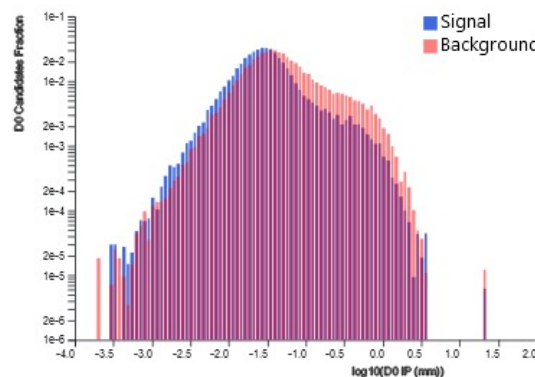
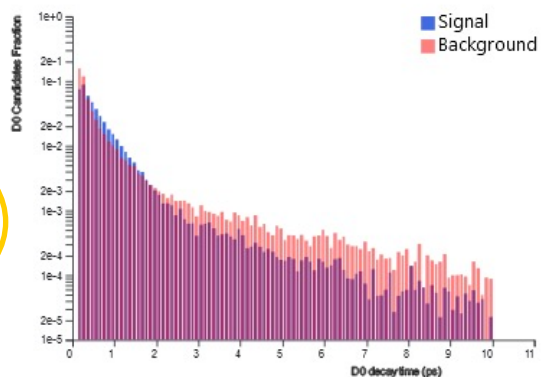
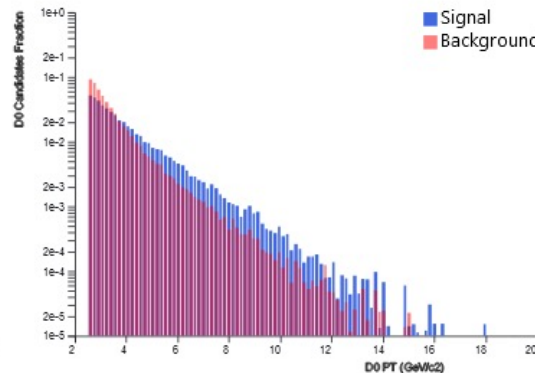
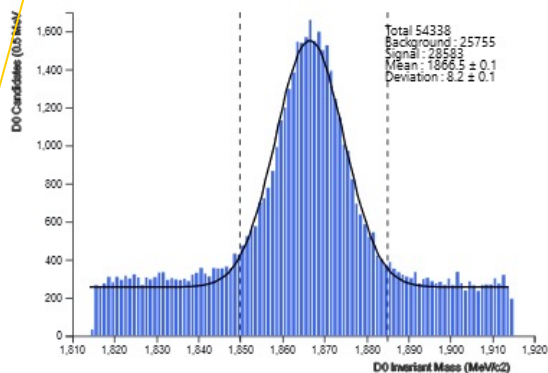
Refresh

### Time fit

Fit result (ps) Fit Error

0.485 0.0040

Save result



v0.1

Copyright © 2010 CERN





- Variare l'intervallo di valori per Log(IP) e cliccare su *Refresh*

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

Analysis tools

Plot D<sup>0</sup> mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1850 1885

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

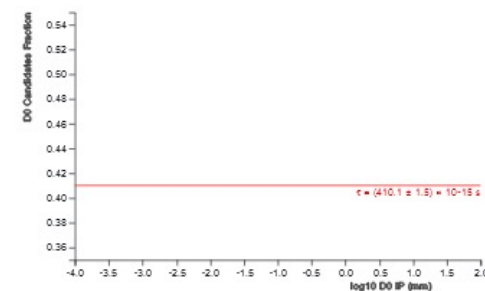
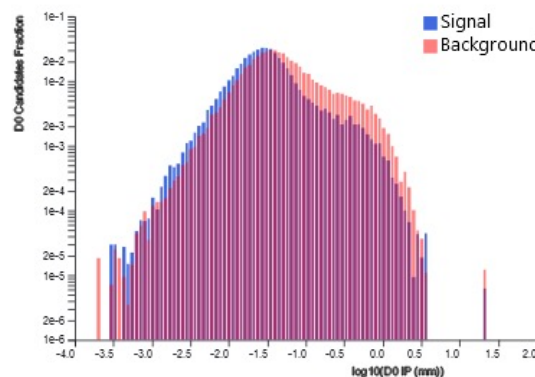
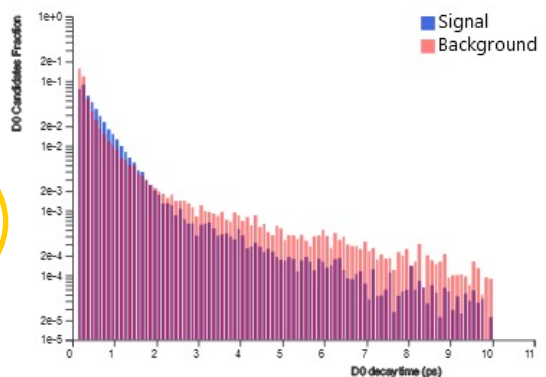
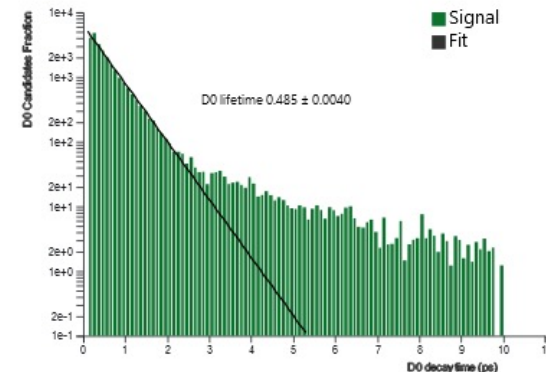
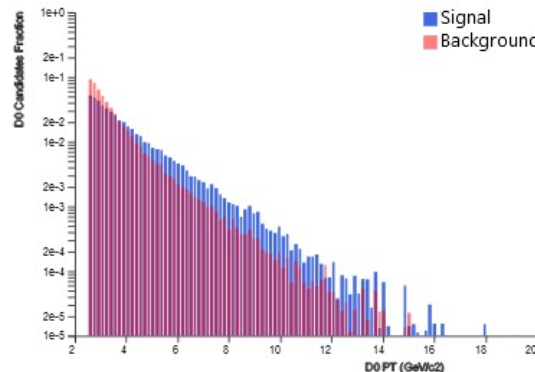
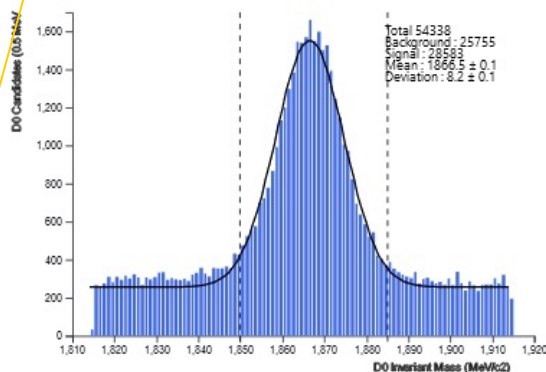
Refresh

Time fit

Fit result (ps) Fit Error

0.485 0.0040

Save result







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

**Analysis tools**

Plot D<sup>0</sup> mass

Fit mass distribution

**Background substr.**

Signal range

1850 1885

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

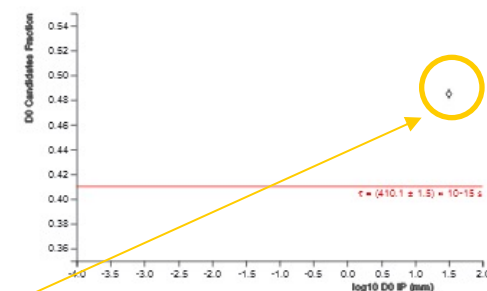
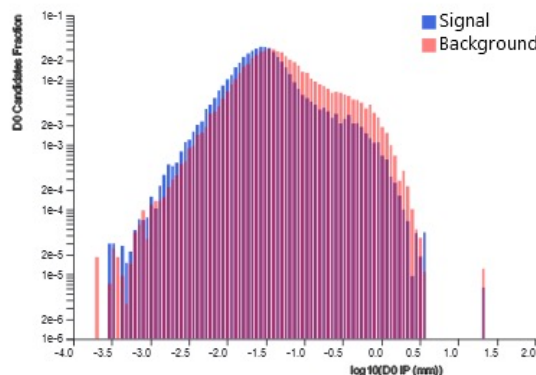
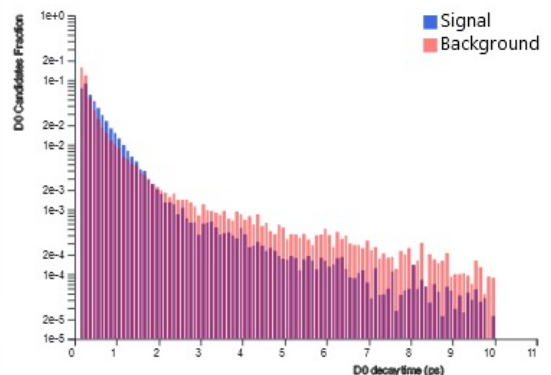
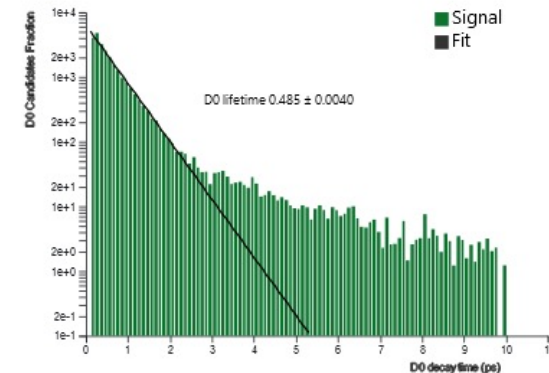
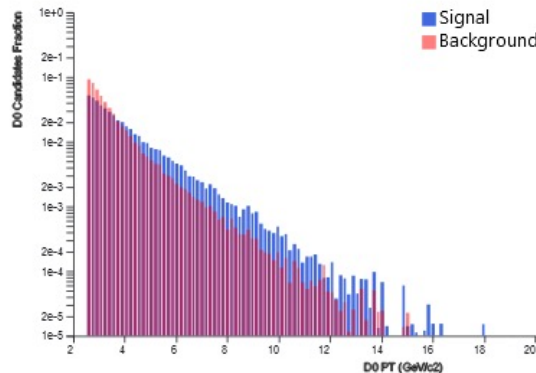
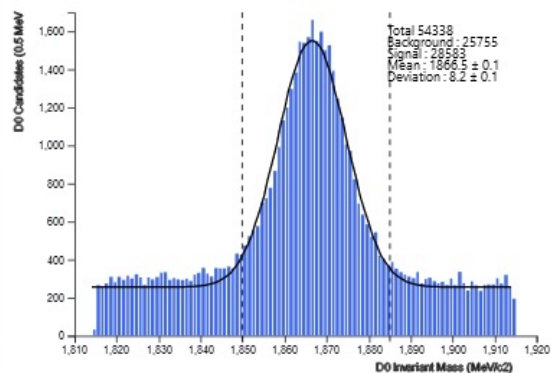
Refresh

**Time fit**

Fit result (ps) Fit Error

0.485 0.0040

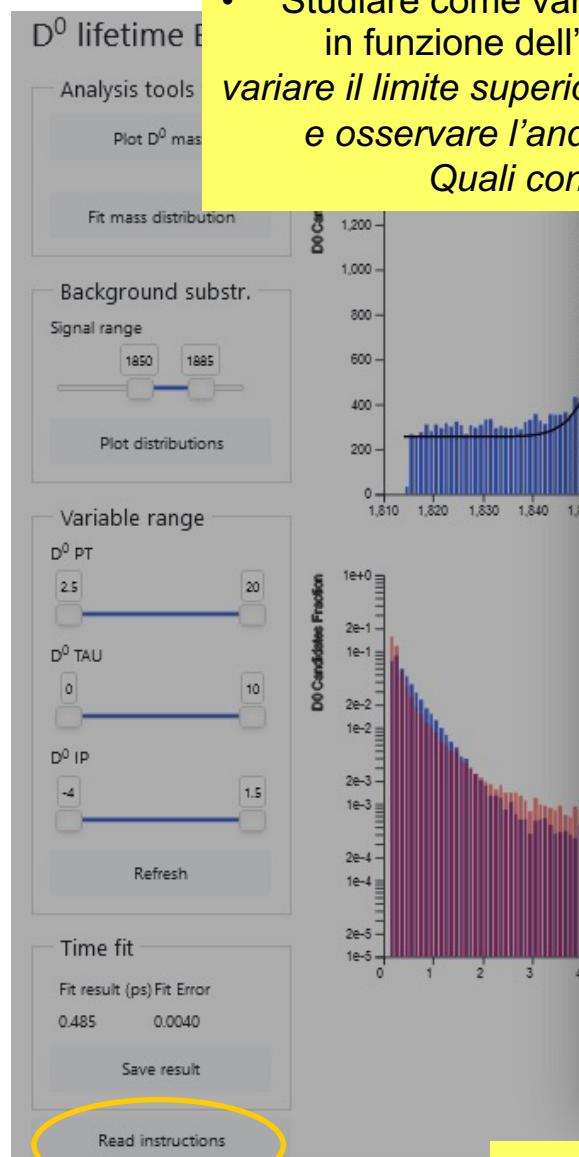
Save result



- Cliccare su *Save result*



- Studiare come varia la vita media misurata della  $D^0$  in funzione dell'intervallo di valori per Log(IP):  
*variare il limite superiore dell'intervallo da 1.5 a -2 in passi di 0.2 e osservare l'andamento della vita media misurata.*  
*Quali considerazioni possiamo fare?*



Welcome to the LHCb masterclass exercise on measuring the lifetime of the  $D^0$  meson.

The goal of this exercise is to measure the lifetime of the  $D^0$  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  $D^0$  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  $D^0$  mass distribution. The mass of the  $D^0$  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  $\sigma$ , is related to how far the signal extends from the mean for 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  $D^0$  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  $D^0$  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 ?

Close

- Salvare uno *screenshot* dei grafici finali.



<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1WghPuJzqBlrUv21a15MsRxnF7aKkzyfqYgKWVLwvbCA/edit?usp=sharing>

[illegible]



**ADESSO TOCCA A VOI!**  
**BUON LAVORO!!**

$$m_{D^0} = (1864.83 \pm 0.05) \text{ MeV}/c^2$$

$$\tau_{D^0} = (410.1 \pm 1.5) \times 10^{-15} \text{ s}$$

