



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

L'esercizio sarà diviso in due parti.

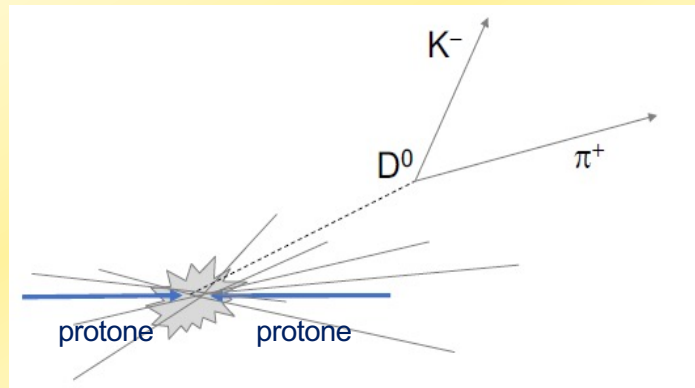
- **PRIMA PARTE:** selezionare le particelle D^0 prodotte nelle interazioni
- **SECONDA PARTE:** misurare la vita media della particella D^0

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?



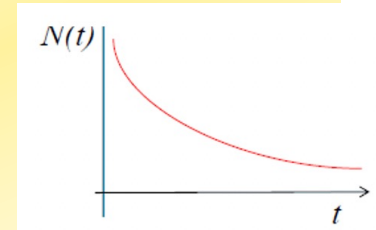
La particella D^0 : come misurarne la vita media



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 τ (**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 τ (**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 $\sim 0.4 \times 10^{-12}$ 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 τ interpolando i dati con la funzione $N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$.

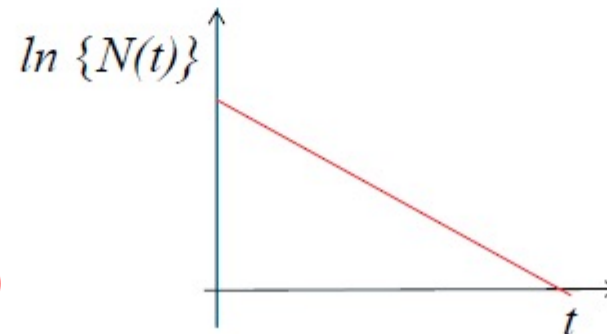
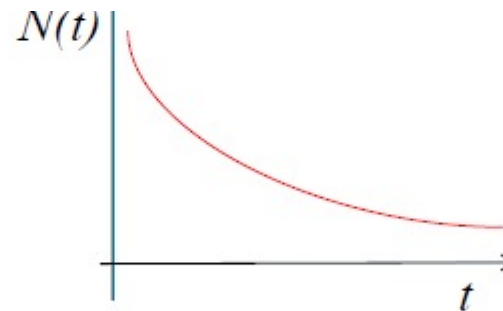
La particella D^0 : come misurarne la vita media



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

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

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



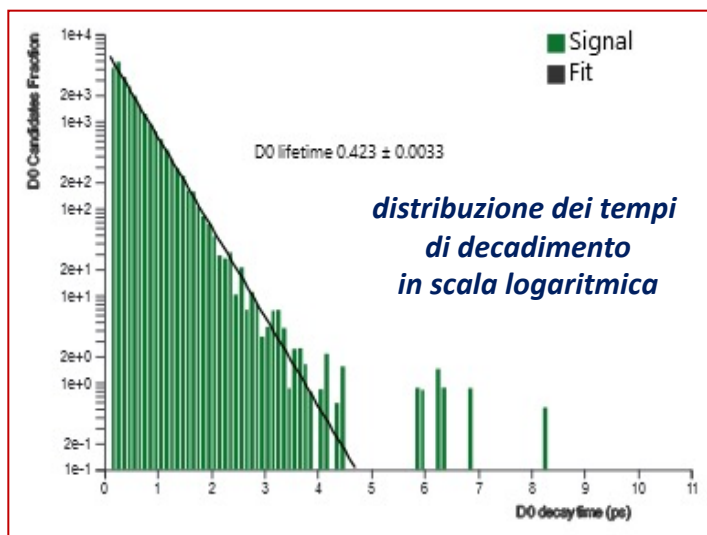
In un piano cartesiano in cui l'asse delle ordinate è in scala logaritmica,
una funzione esponenziale risulta una retta.

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 τ 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

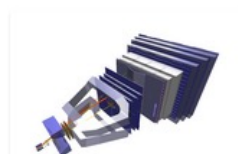
Firstname
m

Surname
d

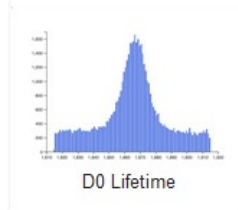
Grade
1

Combination
Combination 5

Save



Event Display



- 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

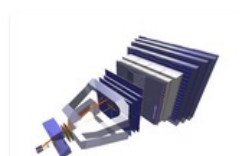
Firstname
m

Surname
d

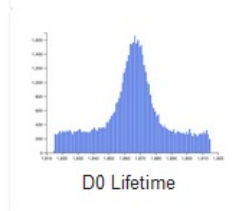
Grade
1

Combination
Combination 5

Save



Event Display



D0 Lifetime

- Cliccare su *D0 Lifetime*



<https://tinyurl.com/lhcb2023bari>



B1							
A	B	C	D	E	F	G	H
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							

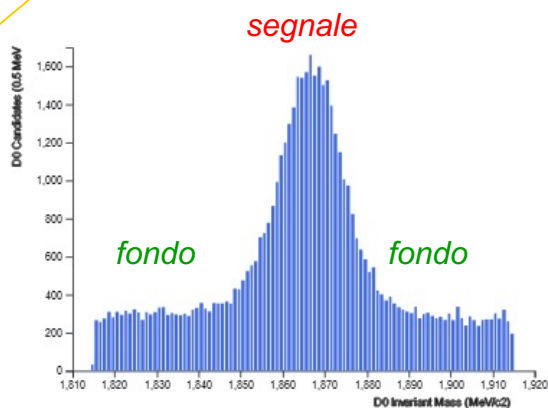
Da compilare a cura degli studenti							
Vita Media del mesone D0							
Combination	Studente	Misura (ps)	Errore (ps)			Pesi	
1	Aldo Corradino	0.000	1.000			1	
2	Andrea Costa	0.000	0.000			0	
3	Andrea Felice Matera	0.000	0.000			0	
4	Antonio Lavecchia	0.000	0.000			0	
5	Arianna Piergiovanni	0.000	0.000			0	
6	Camilla Bosco	0.000	0.000			0	
7	Claudio Nitti	0.000	0.000			0	
8	Daniele Giannotte	0.000	0.000			0	
9	Daniele Maria De Palo	0.000	0.000			0	
10	Davide Proto	0.000	0.000			0	
11	Elena Difrenza	0.000	0.000			0	
12	Federica Digiuro	0.000	0.000			0	
13	Federico Perra	0.000	0.000			0	
14	Francesca De Cosmo	0.000	0.000			0	

Vita Media del mesone D0 (Bari)	
Misura (ps)	Errore (ps)
0	1



D⁰ lifetime Exercise

- Cliccare su *Plot D⁰ 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 D⁰, ma hanno una massa prossima a quella della D⁰.

Il **picco** è ben descritto da una funzione matematica detta **gaussiana**, la cui media corrisponde al valore misurato della massa della D⁰ e la cui larghezza (σ) dipende dalla risoluzione sperimentale del rivelatore.

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

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

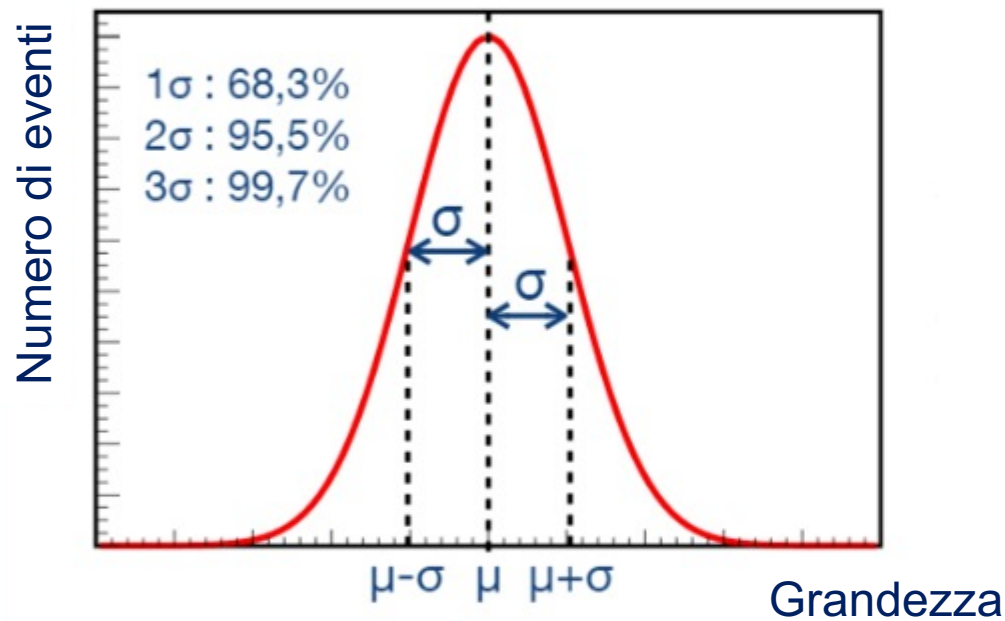
-4 1.5

Refresh

Time fit

Fit result (ps) Fit Error

Save result



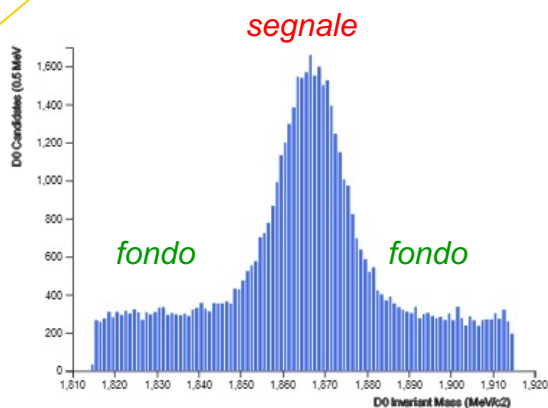
$$N(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{T-\mu}{\sigma}\right)^2}$$



LHCb Masterclass

D⁰ lifetime Exercise

- Cliccare su *Plot D⁰ 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 D⁰, ma hanno una massa prossima a quella della D⁰.

Il **picco** è ben descritto da una funzione matematica detta **gaussiana**, la cui media corrisponde al valore misurato della massa della D⁰ e la cui larghezza (σ) dipende dalla risoluzione sperimentale del rivelatore.

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

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

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

-4 1.5

Refresh

Time fit

Fit result (ps) Fit Error

Save result



LHCb Masterclass

D⁰ lifetime Exercise

- Cliccare su *Fit mass distribution*

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

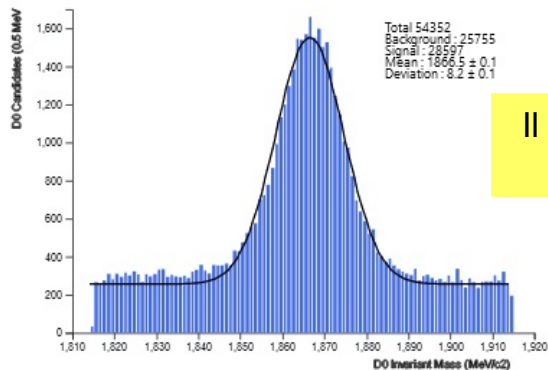
-4 1.5

Refresh

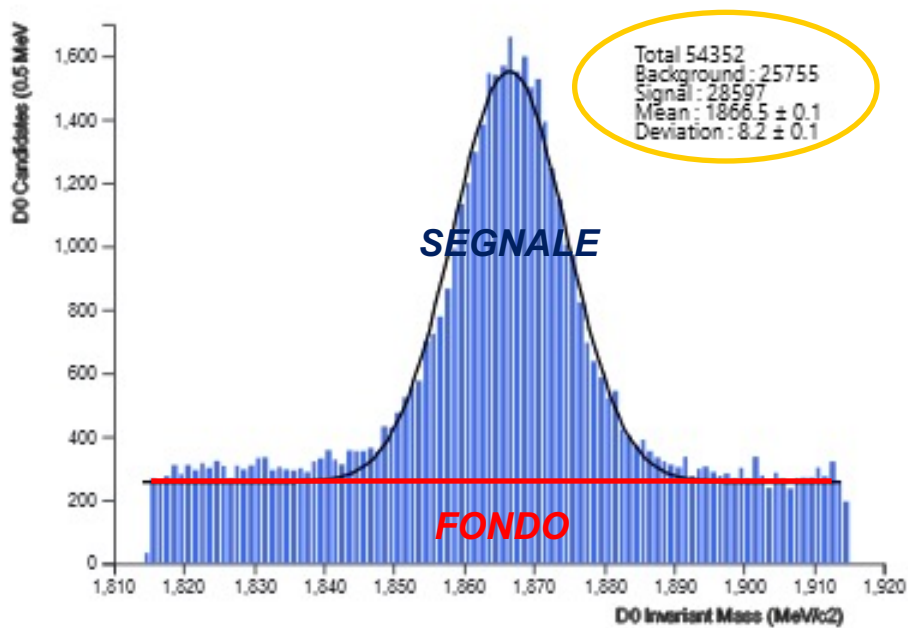
Time fit

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 e di «caratterizzare» il fondo



LHCb Masterclass

D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D⁰ mass

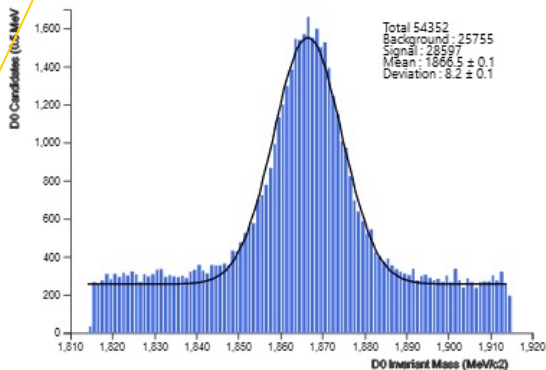
Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions



- 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.

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

-4 1.5

Refresh

Time fit

Fit result (ps) Fit Error

Save result



LHCb Masterclass

- Cliccare su *Plot distributions*

D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1850 1885

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

-4 1.5

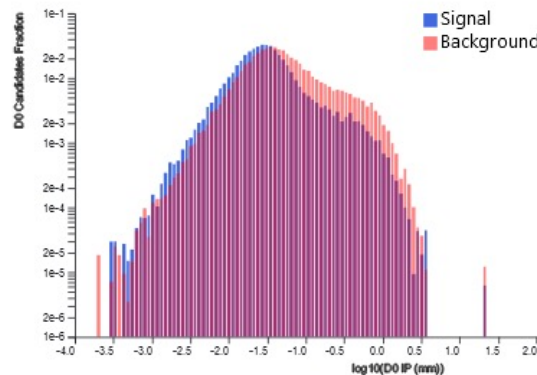
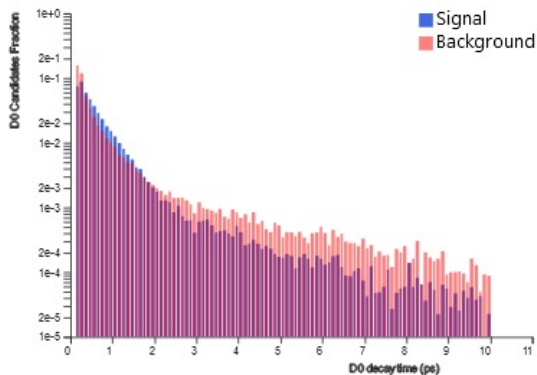
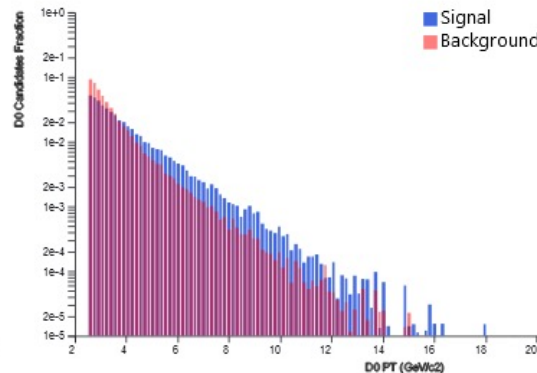
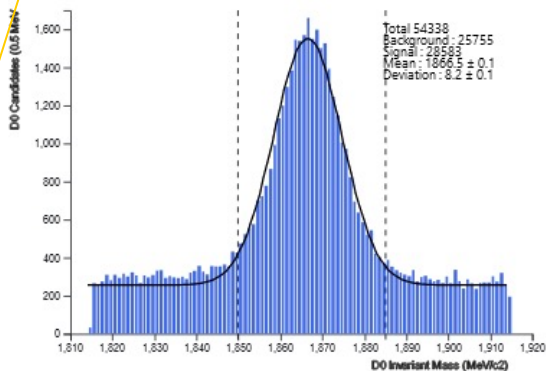
Refresh

Time fit

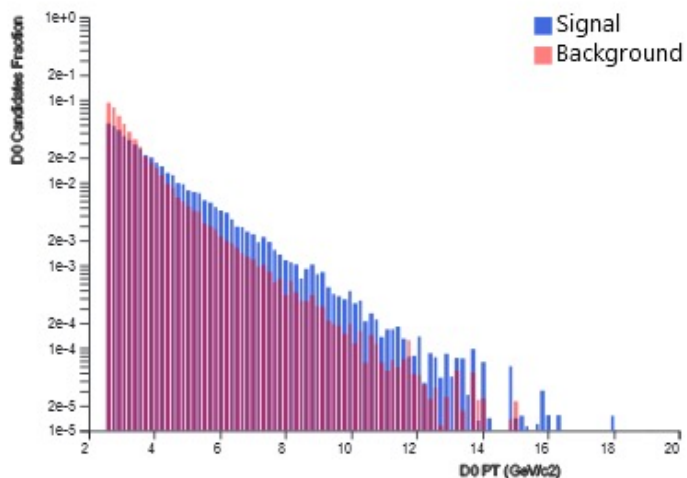
Fit result (ps) Fit Error

0.485 0.0040

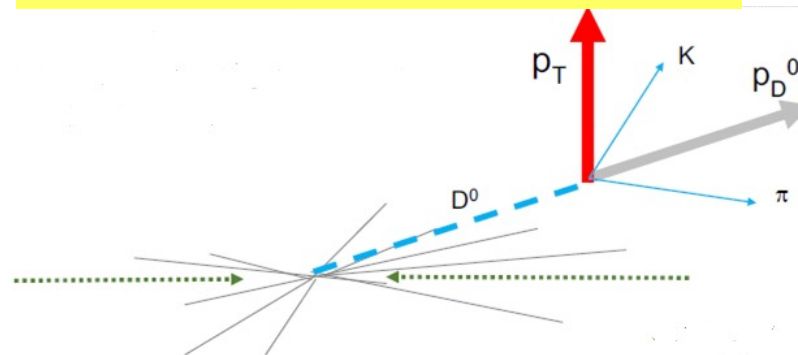
Save result



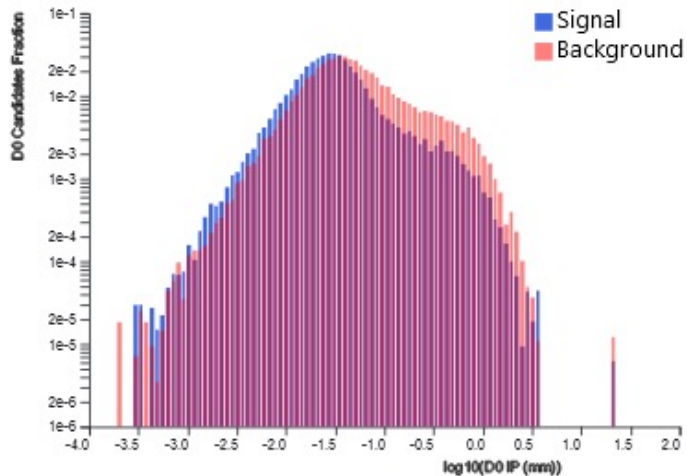
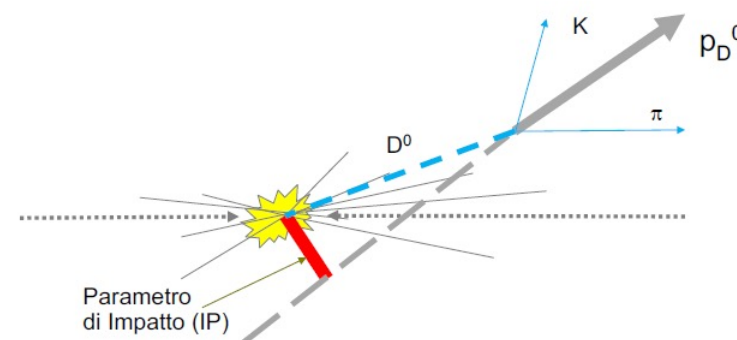
Sono visualizzati i grafici di altre 3 grandezze che caratterizzano gli eventi selezionati: Impulso trasverso, parametro d'impatto e tempo di decadimento.

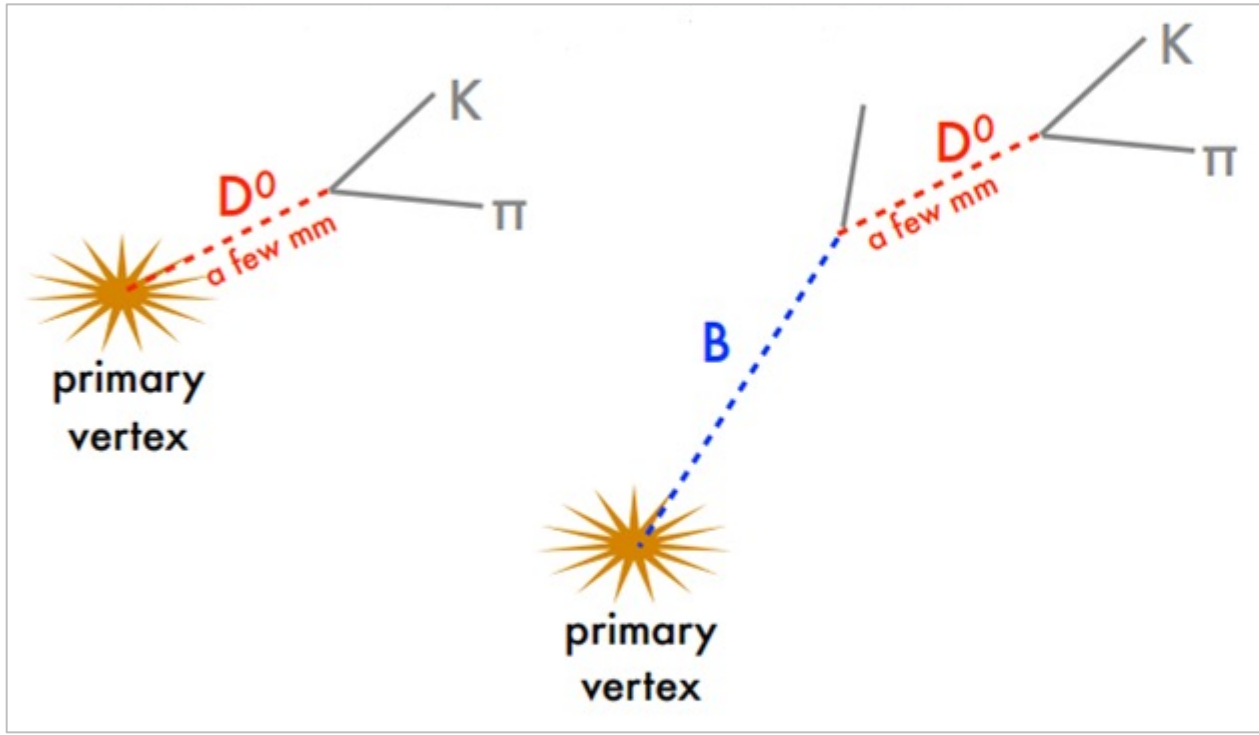


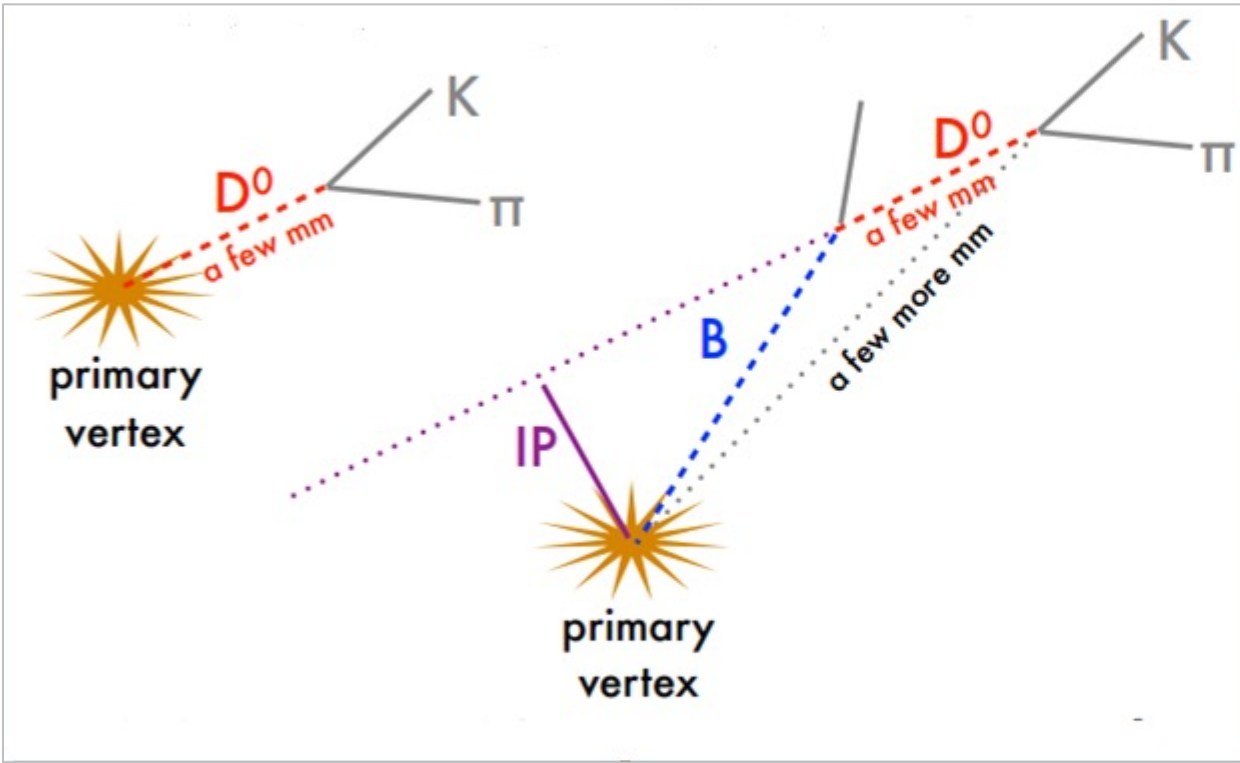
Impulso trasverso:
 componente dell'impulso nel piano trasverso,
 perpendicolare alla direzione dei fasci di protoni

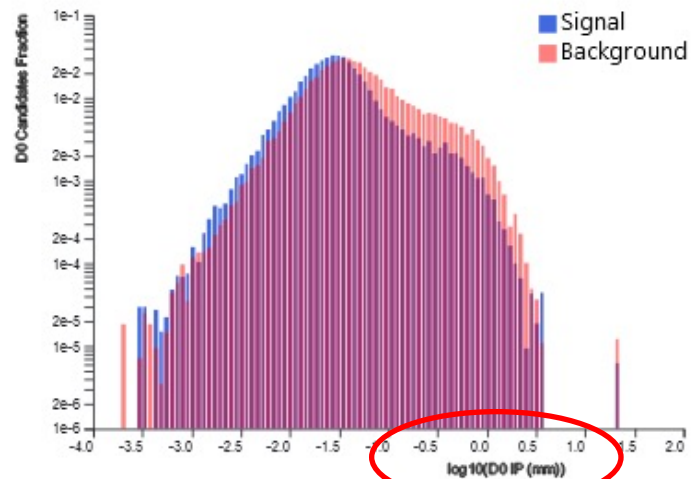
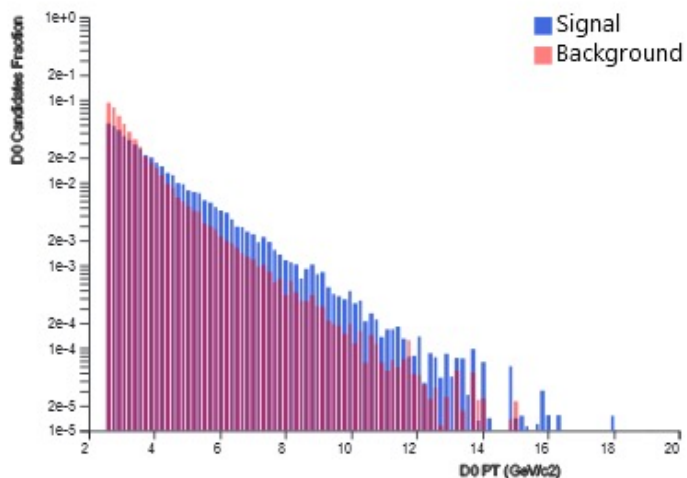


Parametro d'impatto:
 minima distanza tra la direzione di volo
 della particella e il punto di interazione protone-protone



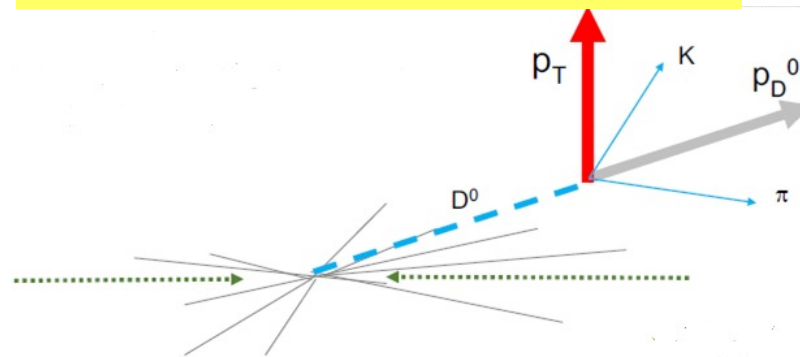




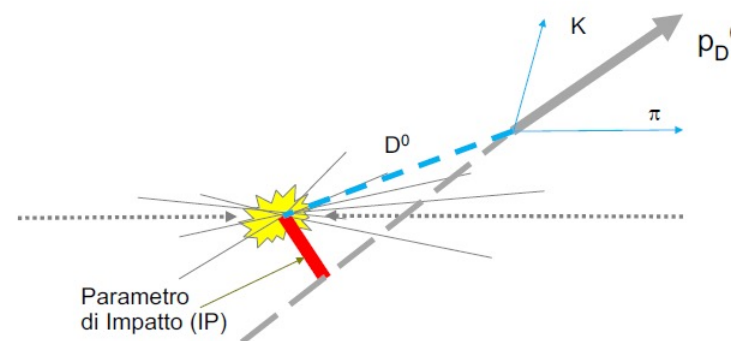


NOTA: è rappresentato il logaritmo in base 10 del parametro di impatto.

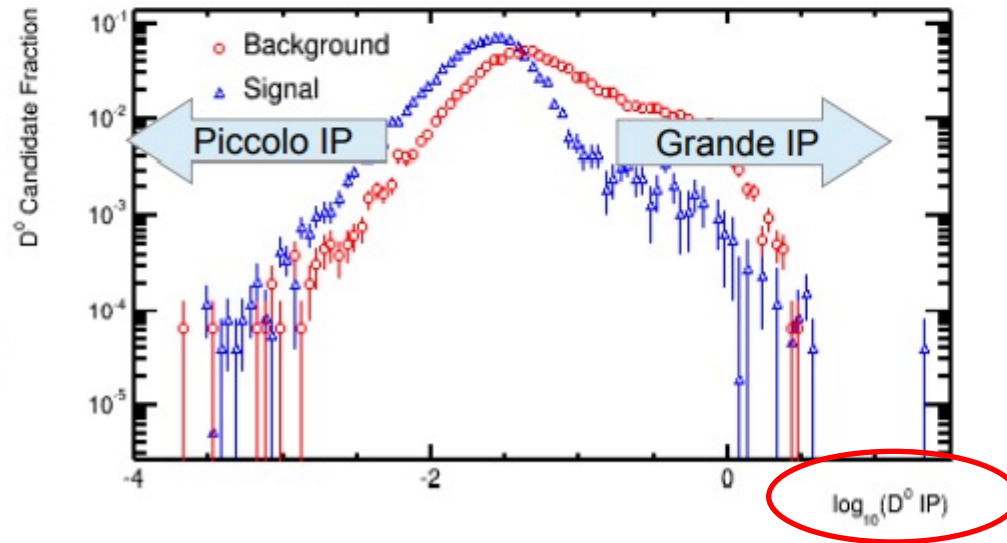
Impulso trasverso:
componente dell'impulso nel piano trasverso, perpendicolare alla direzione dei fasci di protoni



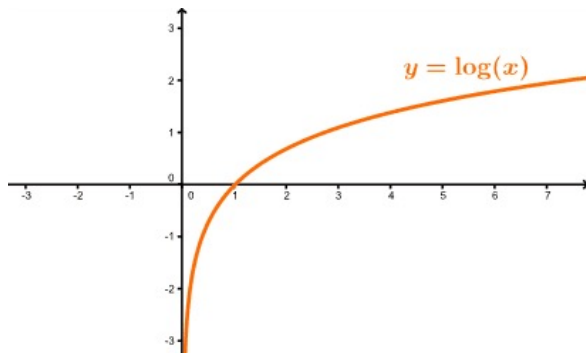
Parametro d'impatto:
minima distanza tra la direzione di volo della particella e il punto di interazione protone-protone

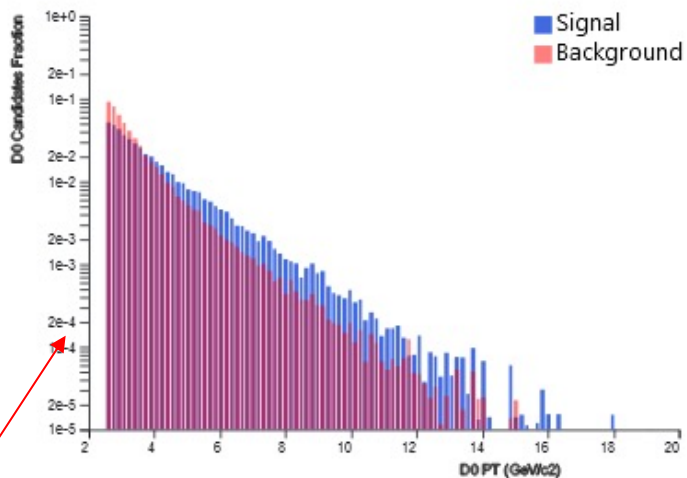


Perché utilizzare il logaritmo?

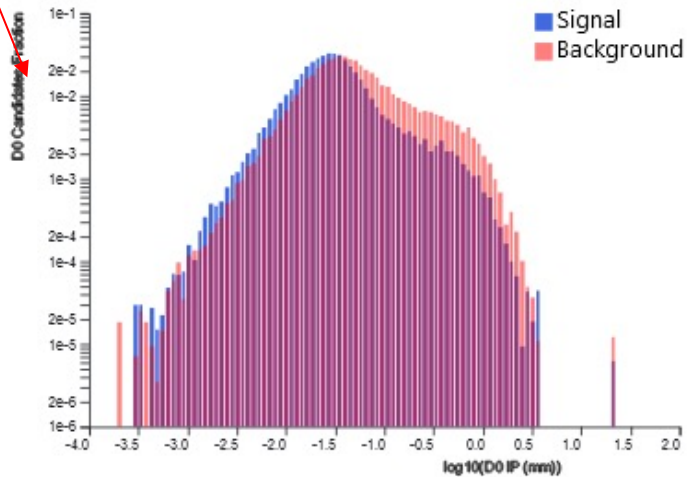


Il logaritmo di IP permette di evidenziare meglio le differenze tra segnale e fondo.

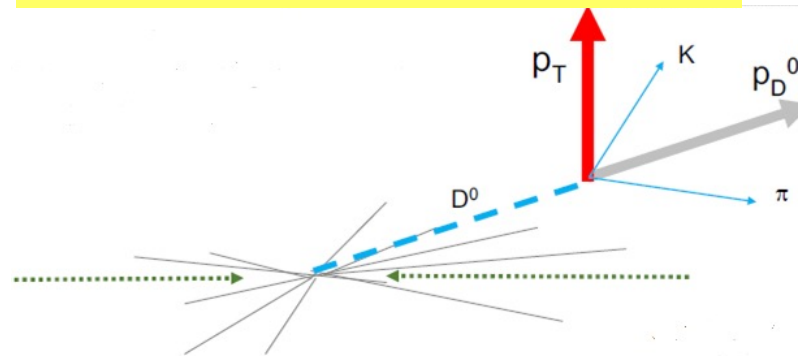




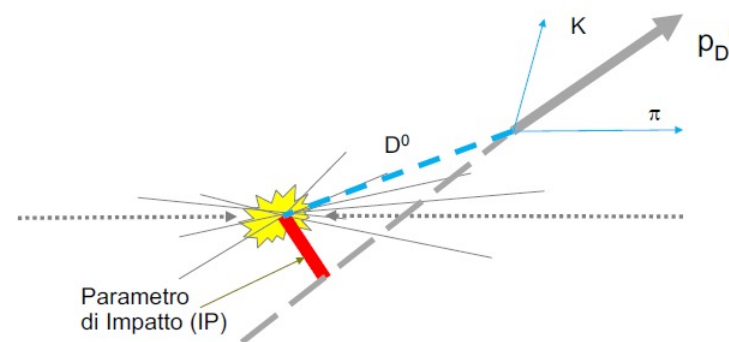
NOTA: scala logaritmica!

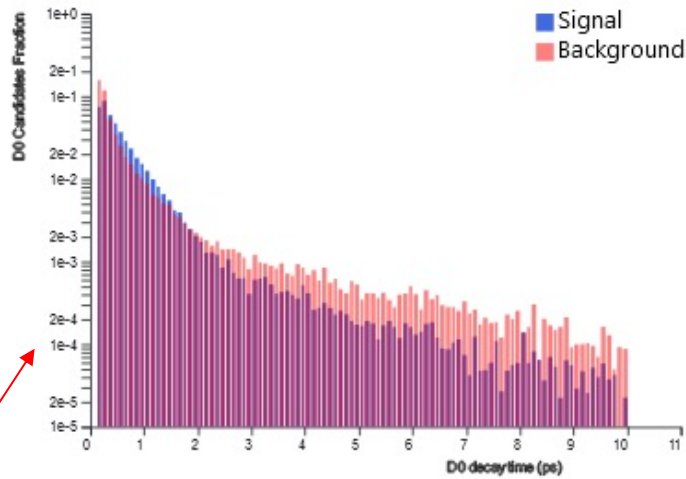


Impulso trasverso:
componente dell'impulso nel piano trasverso, perpendicolare alla direzione dei fasci di protoni



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!



LHCb Masterclass

- Cliccare su *Plot distributions*

D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1850 1885

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

-4 1.5

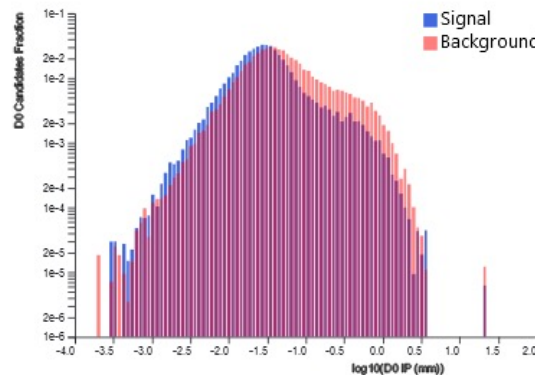
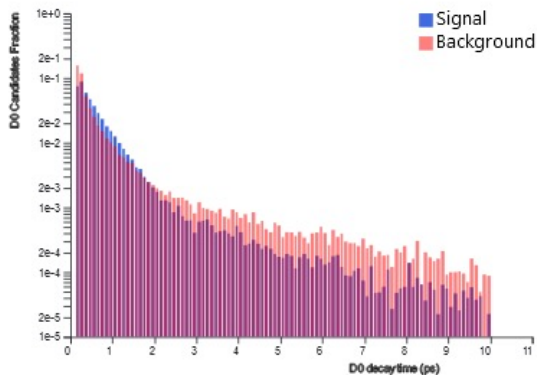
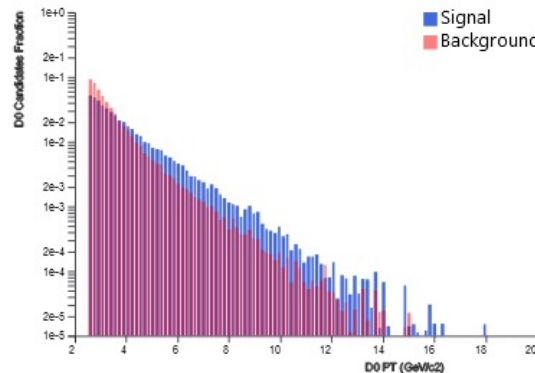
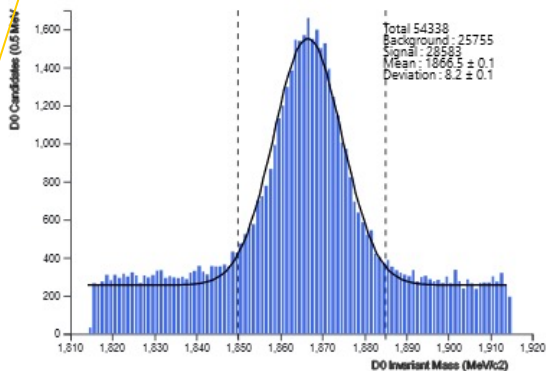
Refresh

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*

D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1850 1885

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

-4 1.5

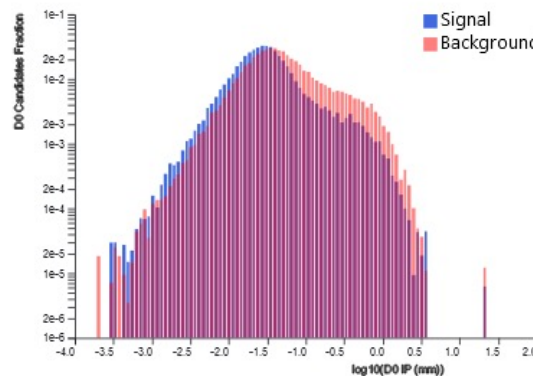
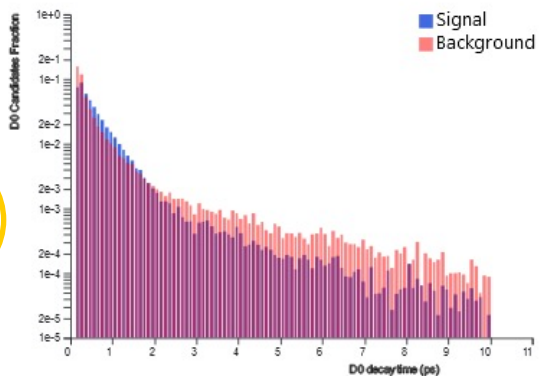
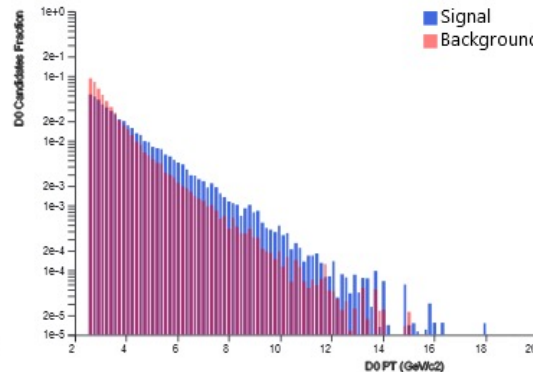
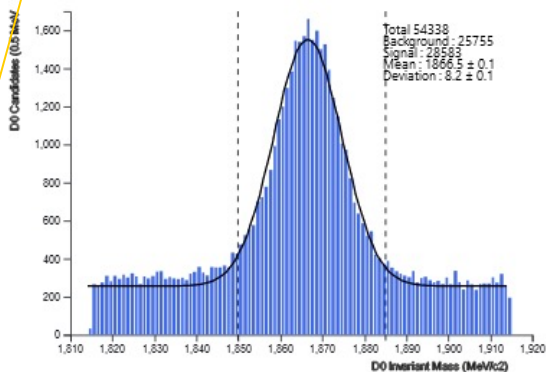
Refresh

Time fit

Fit result (ps) Fit Error

0.485 0.0040

Save result





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

D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

- Plot D⁰ mass
- Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1850 1885

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

-4 1.5

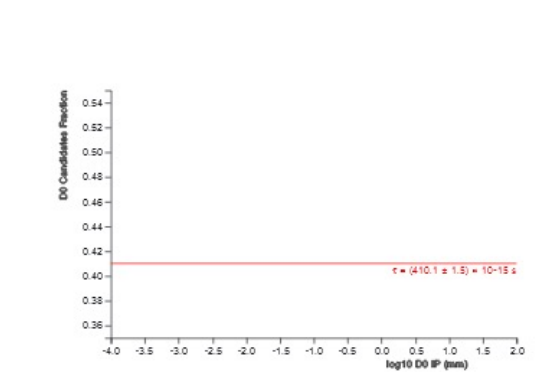
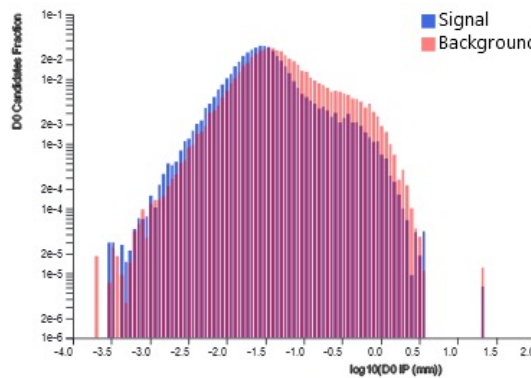
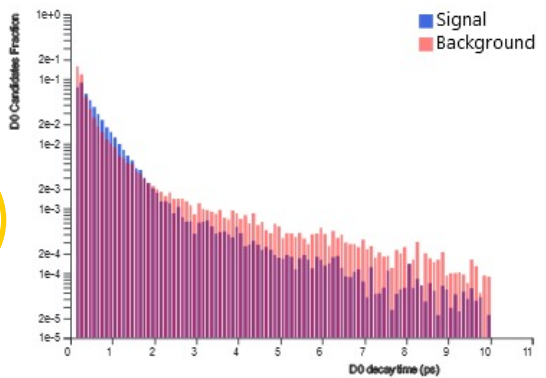
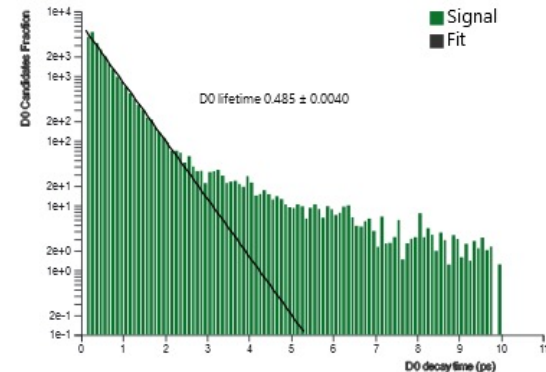
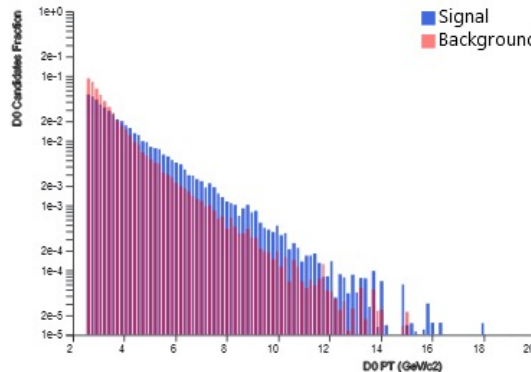
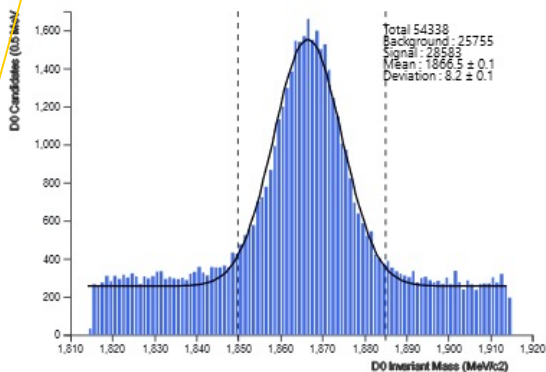
Refresh

Time fit

Fit result (ps) Fit Error

0.485 0.0040

Save result





D⁰ lifetime Exercise

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background subtr.

Signal range

1850 1885

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

-4 1.5

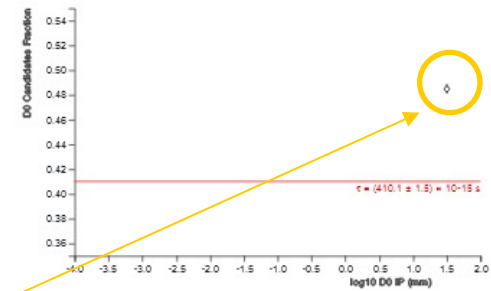
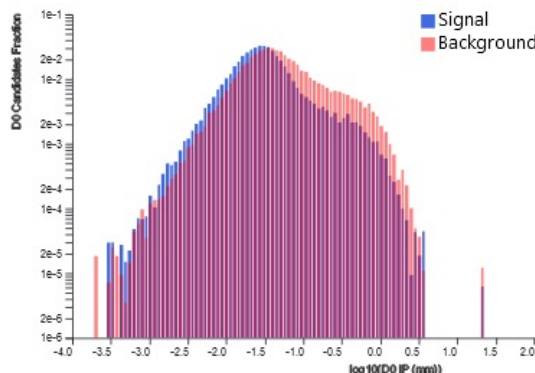
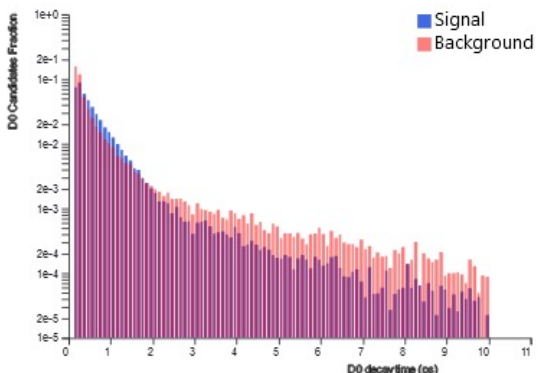
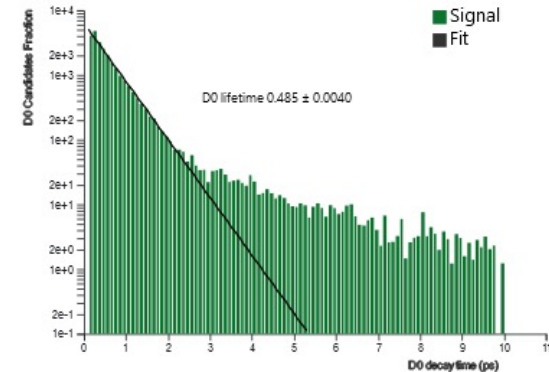
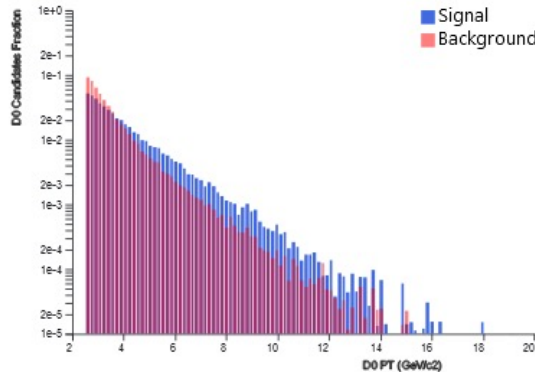
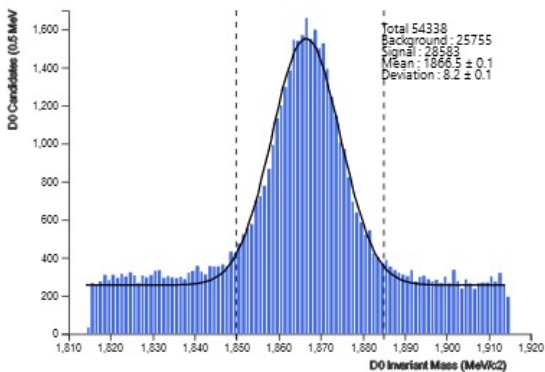
Refresh

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?*

D^0 lifetime E

Analysis tools

Plot D^0 mas

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1850 1895

Plot distributions

Variable range

D^0 PT

2.5 20

D^0 TAU

0 10

D^0 IP

-4 1.5

Refresh

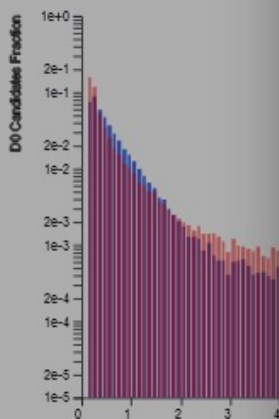
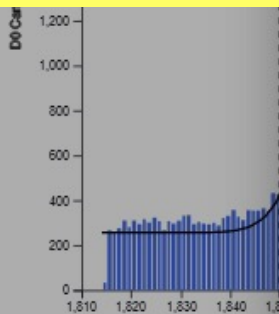
Time fit

Fit result (ps) Fit Error

0.485 0.0040

Save result

Read instructions



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 σ , 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 PDGvalue. 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://tinyurl.com/lhcb2023bari>



B1 fx

	A	B	C	D	E	F	G	H
2								
3								
4							Vita Media del mesone D0 (Bari)	
5							Misura (ps)	Errore (ps)
6							0	1
7			Da compilare a cura degli studenti					
			Vita Media del mesone D0					
8	Combination	Studente	Misura (ps)	Errore (ps)		Pesi		
9	1	Aldo Corradino	0.000	1.000		1		
10	2	Andrea Costa	0.000	0.000		0		
11	3	Andrea Felice Matera	0.000	0.000		0		
12	4	Antonio Lavecchia	0.000	0.000		0		
13	5	Arianna Piergiovanni	0.000	0.000		0		
14	6	Camilla Bosco	0.000	0.000		0		
15	7	Claudio Nitti	0.000	0.000		0		
16	8	Daniele Giannotte	0.000	0.000		0		
17	9	Daniele Maria De Palo	0.000	0.000		0		
18	10	Davide Proto	0.000	0.000		0		
19	11	Elena Difrenza	0.000	0.000		0		
20	12	Federica Digiuoro	0.000	0.000		0		
21	13	Federico Perra	0.000	0.000		0		
22	14	Francesca De Cosmo	0.000	0.000		0		



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

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

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

