



# Discussione degli esercizi

## LHCb Masterclass - Pisa

Domenico Riccardi

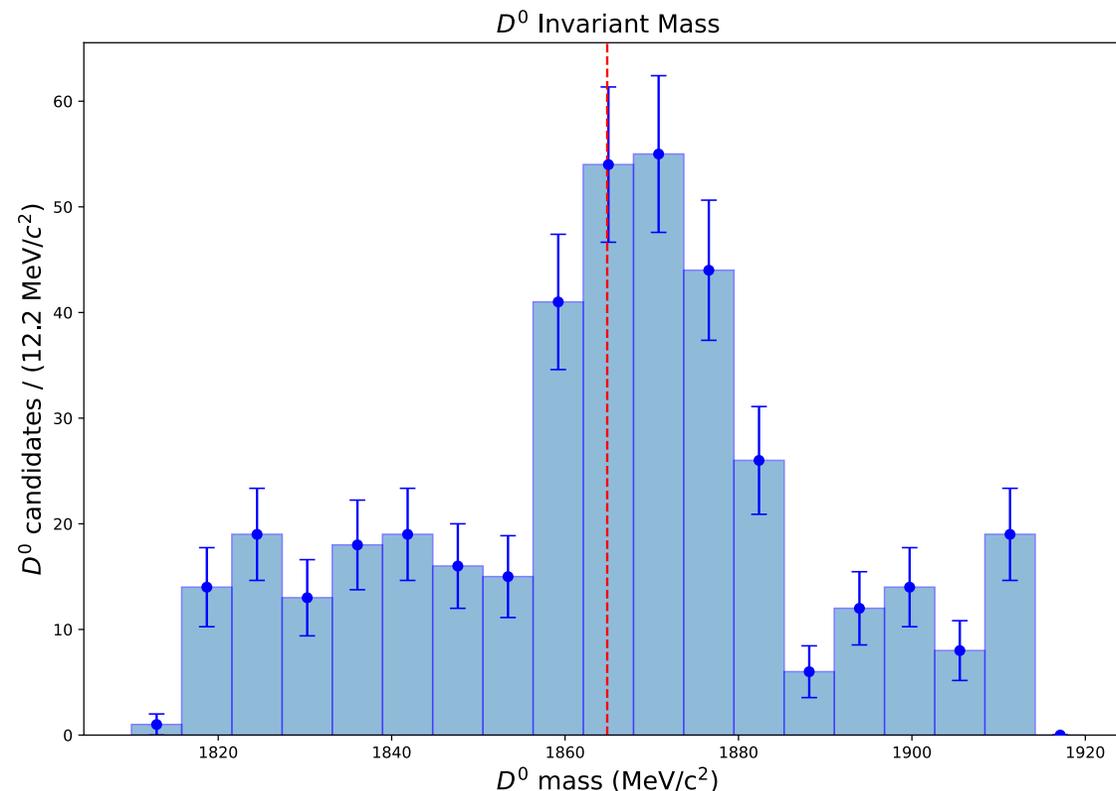
[domenico.riccardi@cern.ch](mailto:domenico.riccardi@cern.ch)

INFN Pisa, 12/03/2025

# Risultati dello scorso anno sulla massa del $D^0$

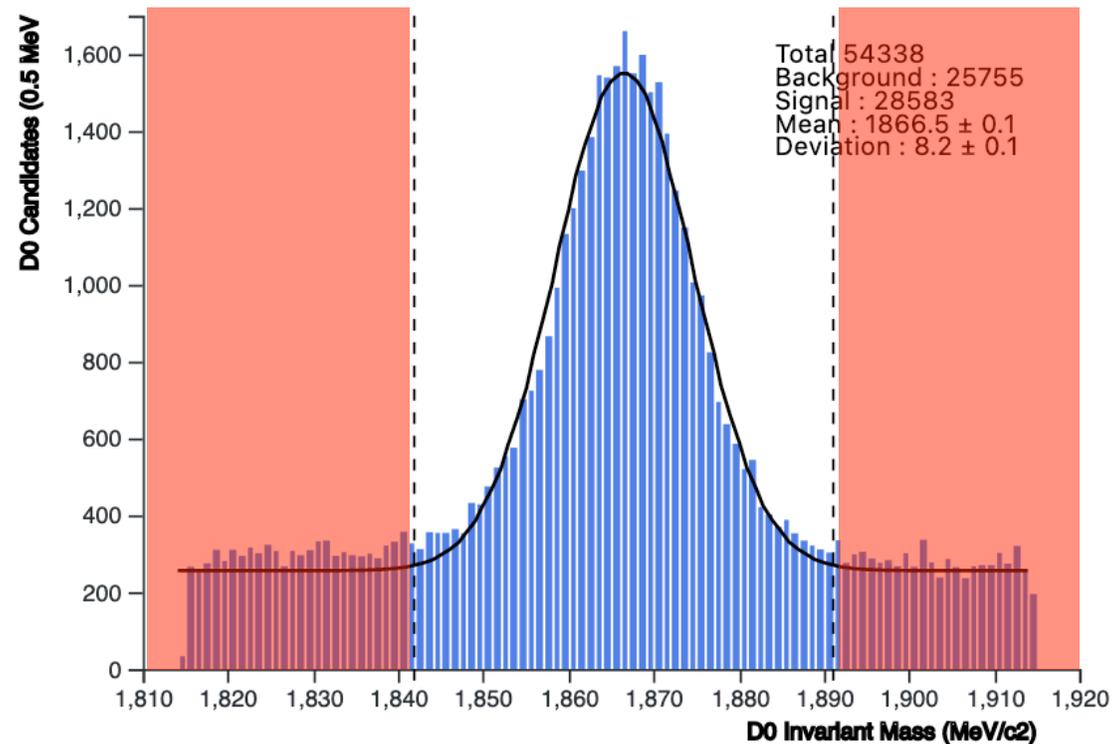
- Questo è l'istogramma della massa del  $D^0$  ottenuto combinando insieme tutti i dati raccolti dai vari gruppi lo scorso anno

**Vediamo cosa si ottiene con i dati che voi avete raccolto questa mattina!**



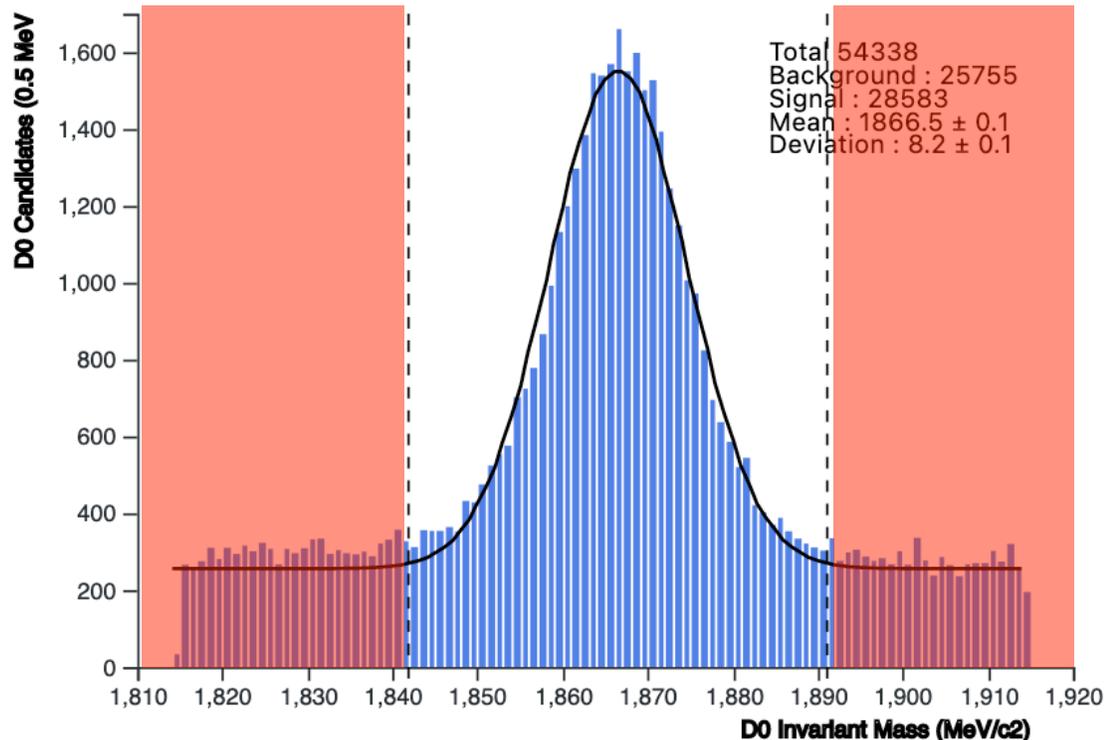
# Discussione del risultato

- Perché è importante utilizzare più dati?
- Avere più dati ci consente di individuare chiaramente il **picco dovuto al segnale** e le **bande laterali (sideband)** popolate in larga maggioranza dal **fondo combinatorio**



# Discussione del risultato

- Perché è importante utilizzare più dati?
- Avere più dati ci consente di individuare chiaramente il **picco dovuto al segnale** e le **bande laterali (sideband)** popolate in larga maggioranza dal **fondo combinatorio**

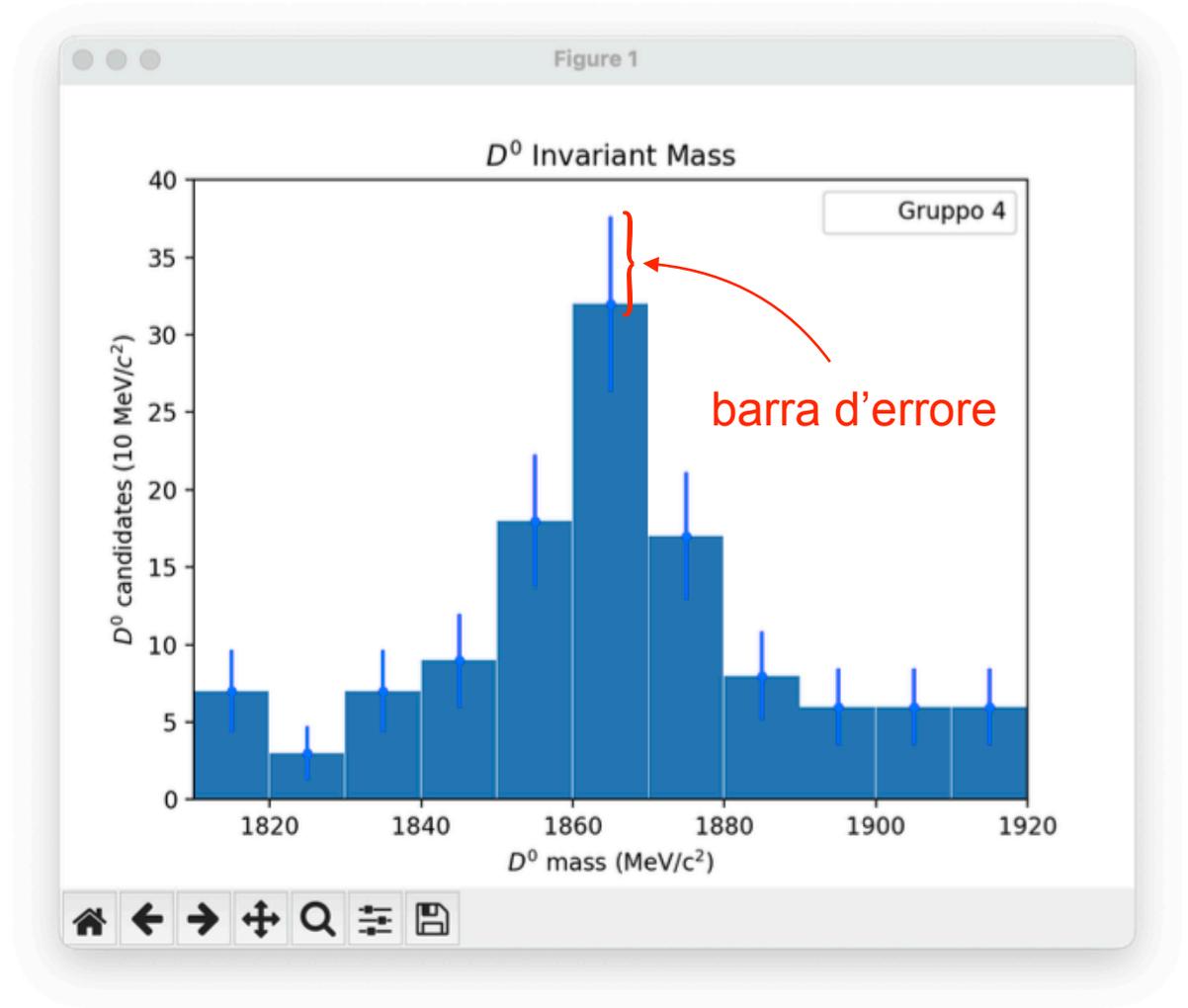


- Perché accade questo?
- Introduciamo il concetto di:

**Incertezza statistica**

# Incertezza statistica

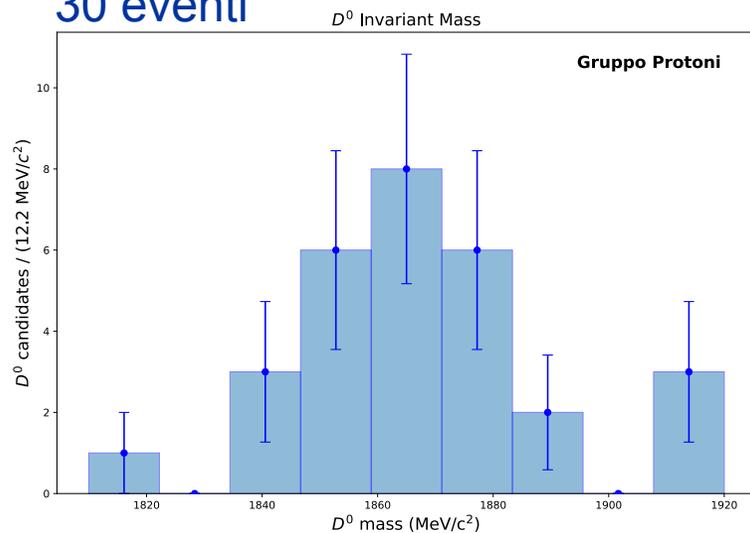
- Ogni bin ha un'incertezza rappresentata dalle *barra d'errore*
- Molto semplicemente, dato un bin con  $N$  misure, la barra d'errore indica la nostra *incertezza* nella conoscenza dell'altezza del rettangolo
- Si dimostra che l'incertezza statistica per un bin con  $N$  eventi è uguale a  $\sqrt{N}$



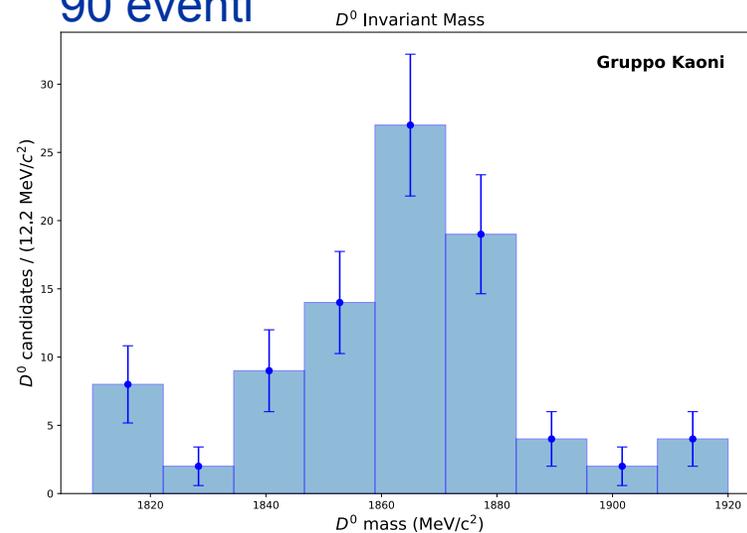
# Incertezza statistica

- Osserviamo 3 distribuzioni prodotte con un diverso numero di eventi

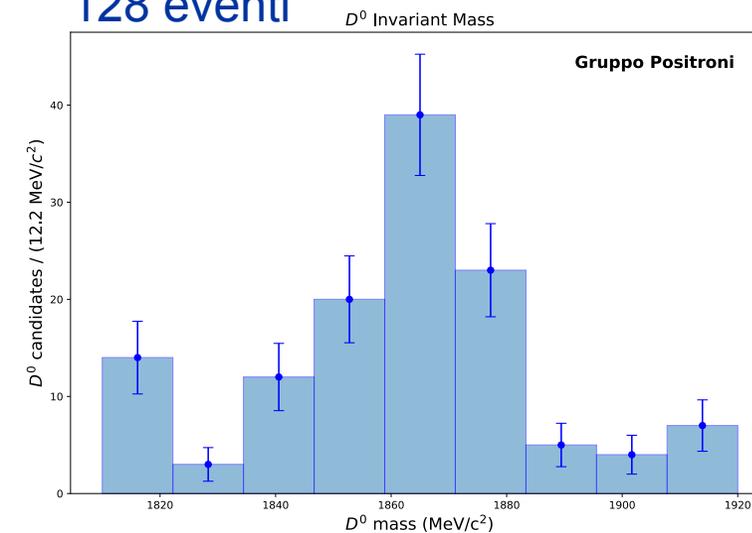
30 eventi



90 eventi



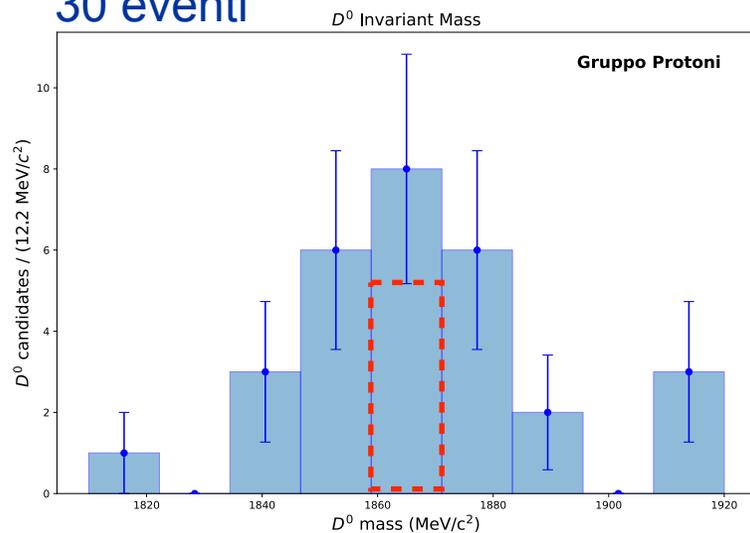
128 eventi



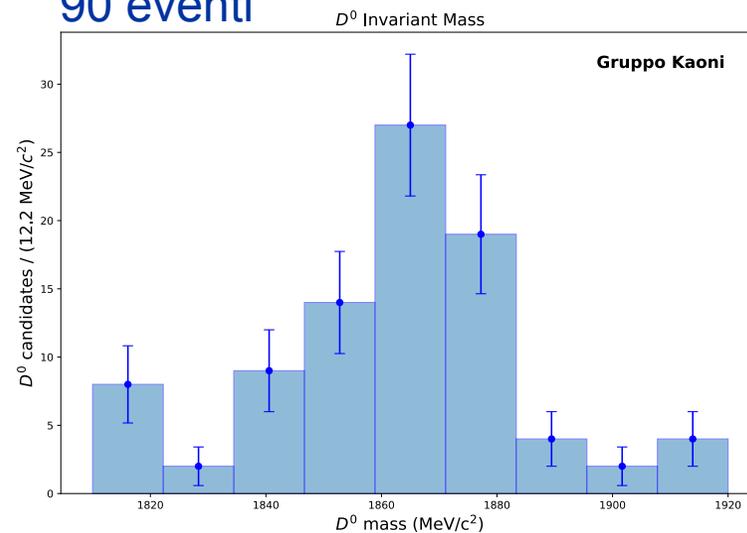
# Incertezza statistica

- Osserviamo 3 distribuzioni prodotte con un diverso numero di eventi

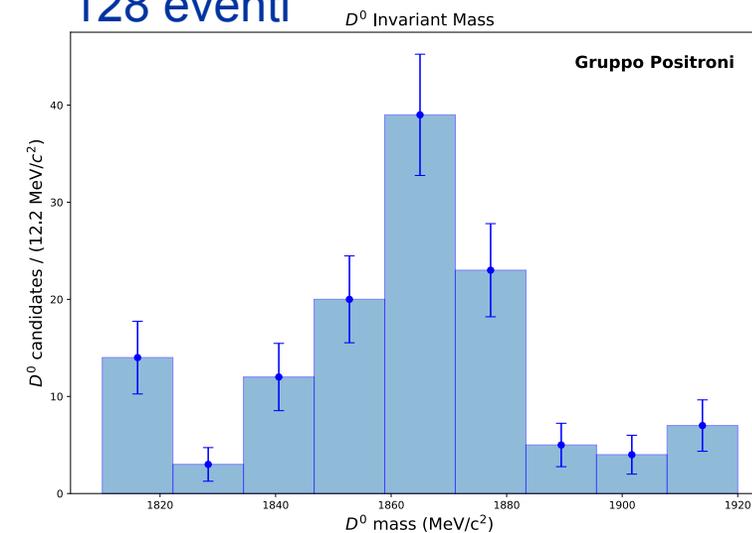
30 eventi



90 eventi



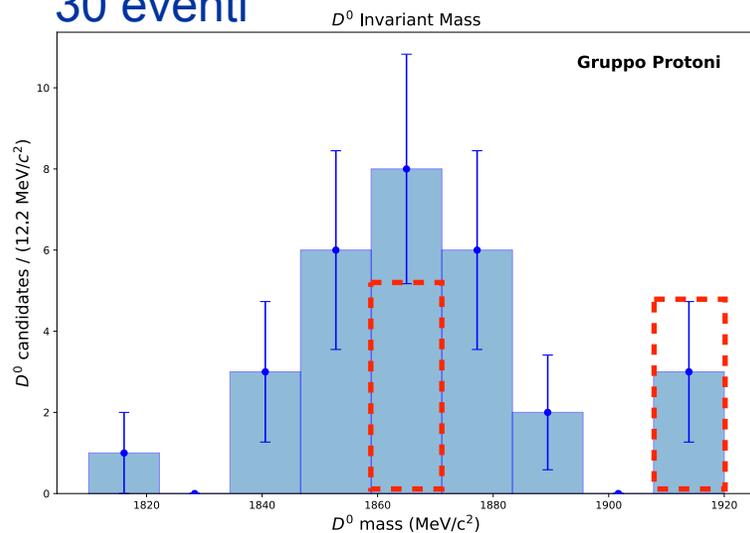
128 eventi



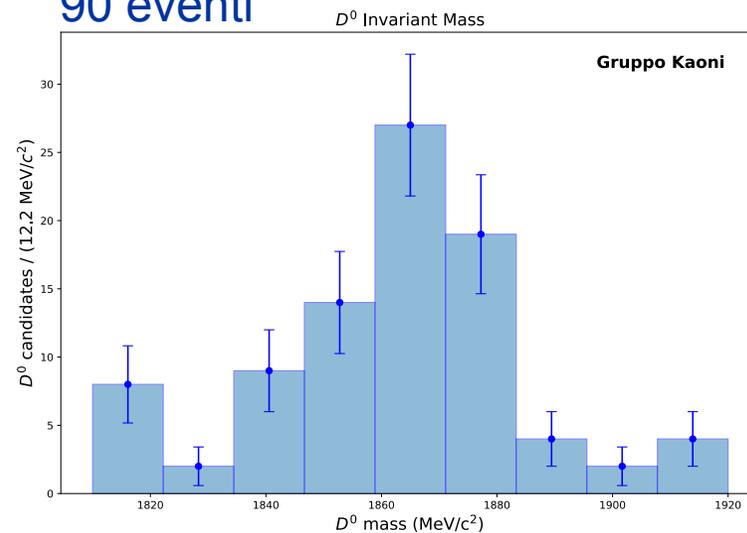
# Incertezza statistica

- Osserviamo 3 distribuzioni prodotte con un diverso numero di eventi

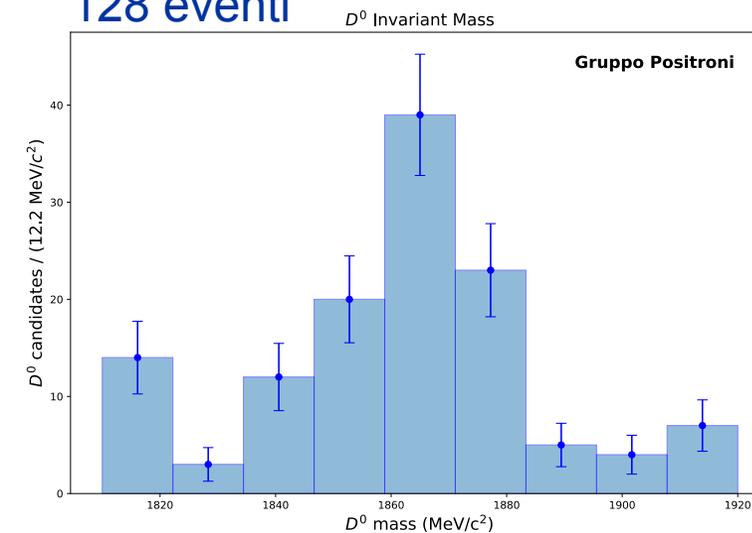
30 eventi



90 eventi

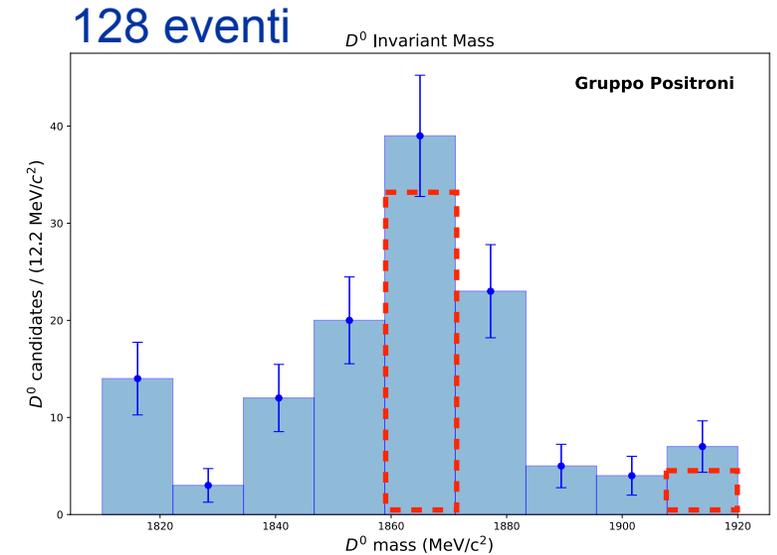
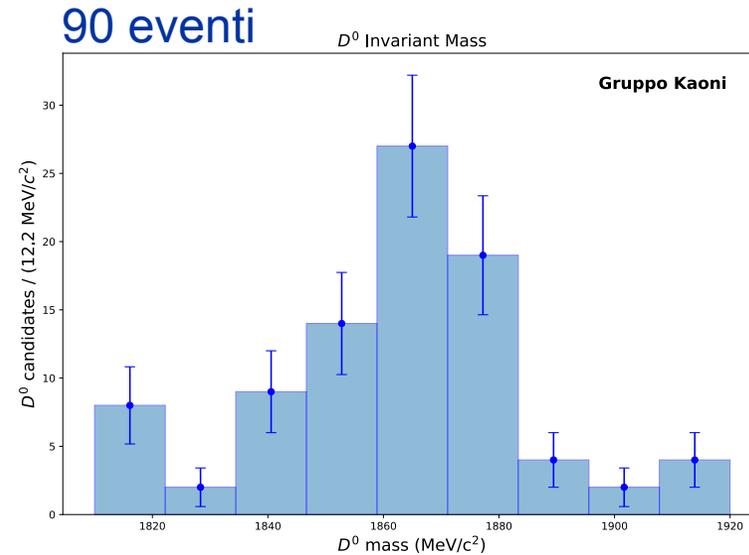
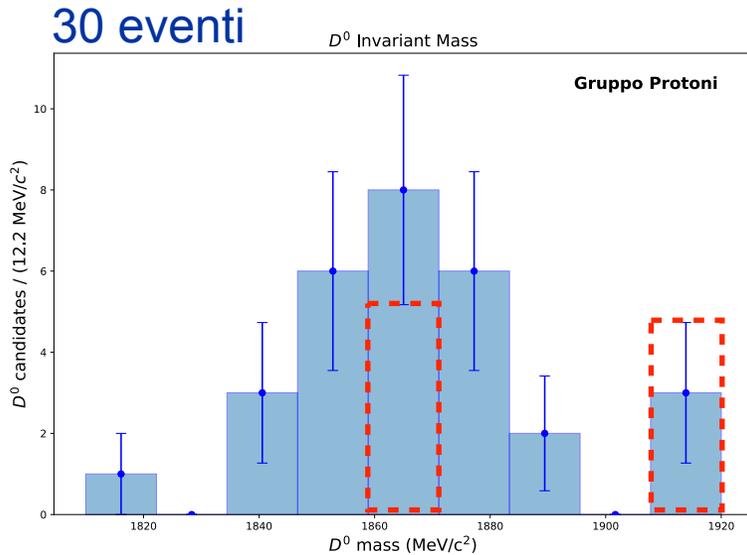


128 eventi



# Incertezza statistica

- Osserviamo 3 distribuzioni prodotte con un diverso numero di eventi



In questa situazione, comincio a vedere il segnale, ma non posso avere la certezza che non sia fondo

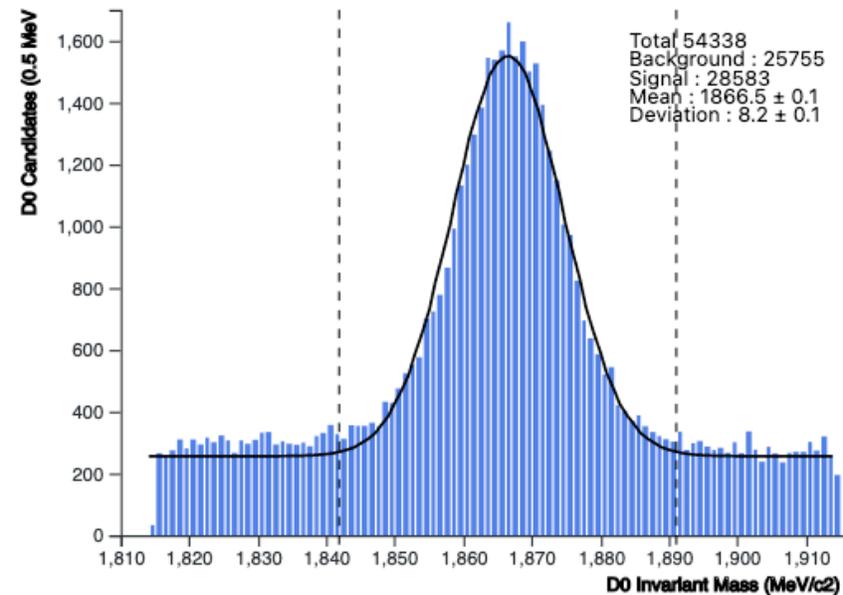


Qui invece non ho dubbi, c'è qualcosa ed è il segnale!

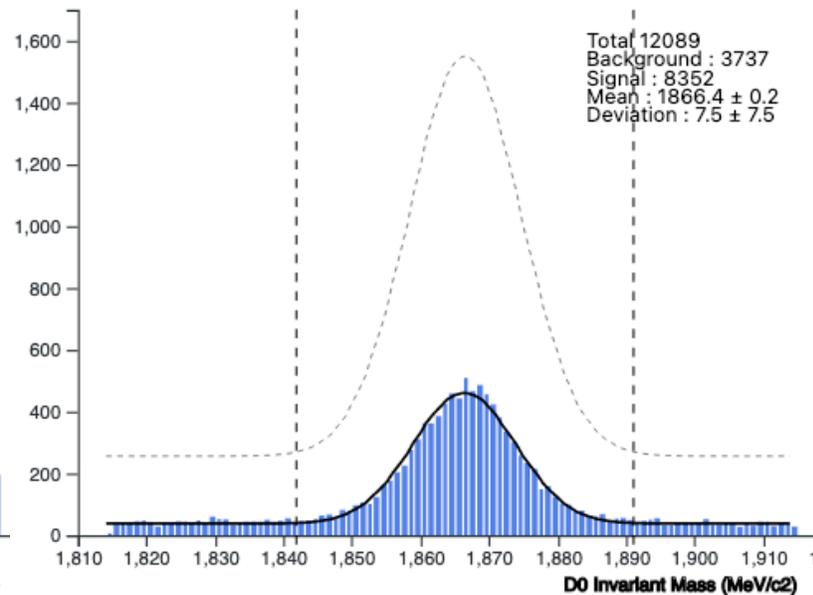
# Incertezza sui parametri del fit

- Aumentare la statistica, ovvero il numero di  $D^0$ , ci permette anche di ridurre l'incertezza sui parametri del fit!
- In altre parole, misuriamo *meglio* tutte le quantità che stimiamo dalla procedura di fit

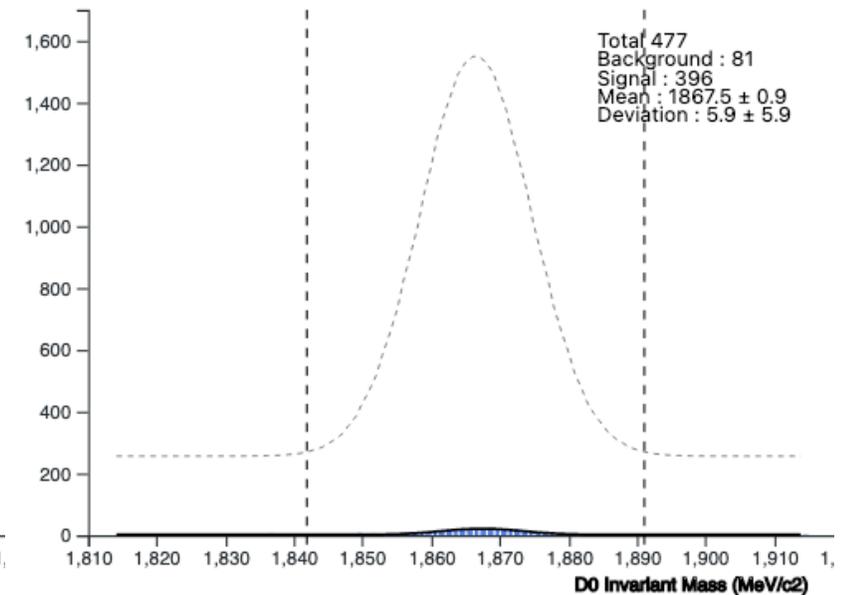
$$\mu = (1866.5 \pm 0.1) \text{ MeV}/c^2$$



$$\mu = (1866.4 \pm 0.2) \text{ MeV}/c^2$$

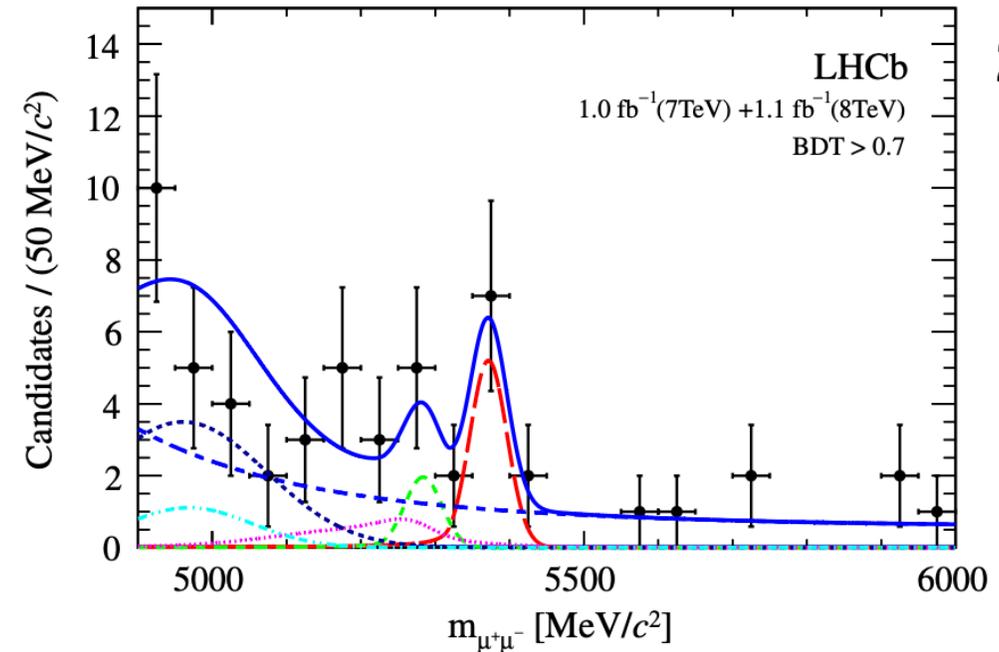
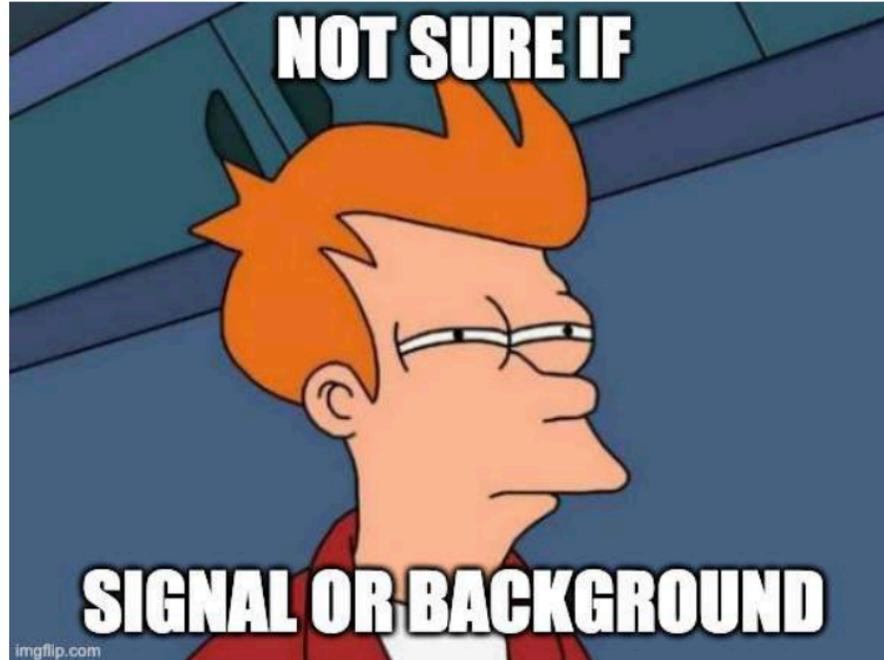


$$\mu = (1867.5 \pm 0.9) \text{ MeV}/c^2$$



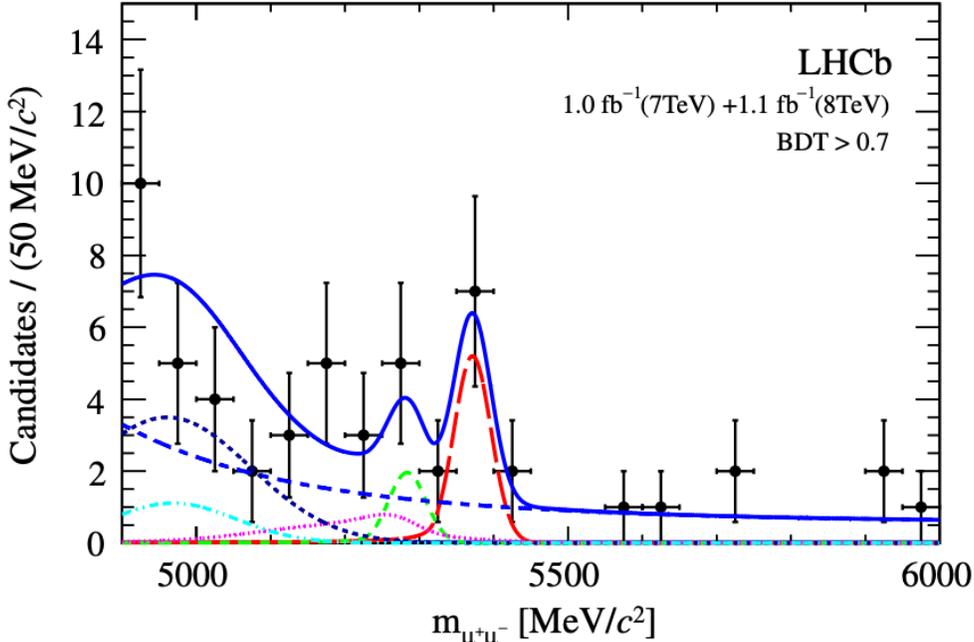
# Ricerca del decadimento raro $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$

- Tutti i campioni hanno **segnale** e **fondo**: più grande è il loro rapporto, più chiara è l'osservazione!

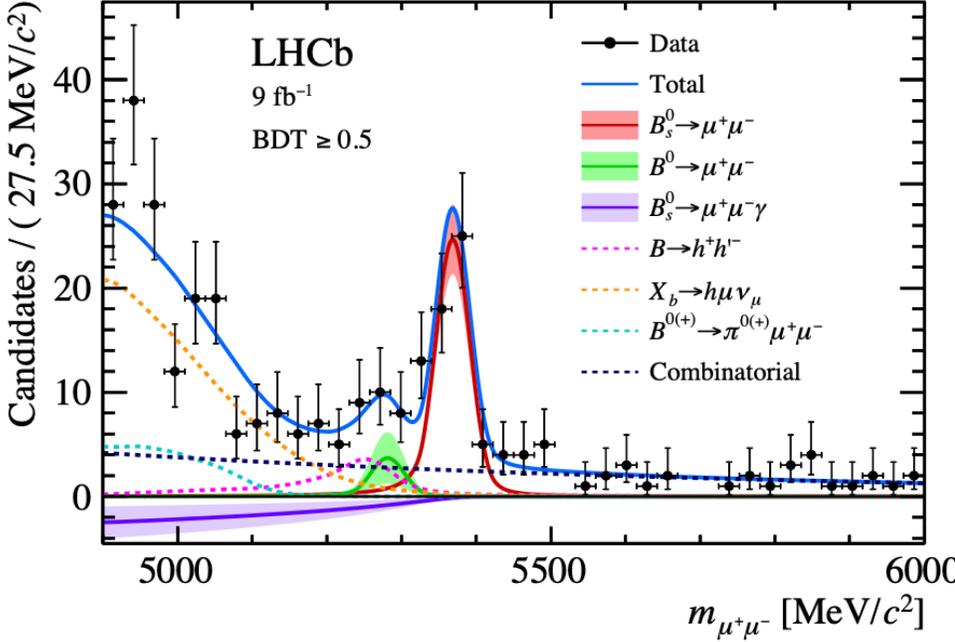


# Ricerca del decadimento raro $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$

- Tutti i campioni hanno **segnale** e **fondo**: più grande è il loro rapporto, più chiara è l'osservazione!
- Bisogna accumulare dati per decretare l'osservazione di questo decadimento!



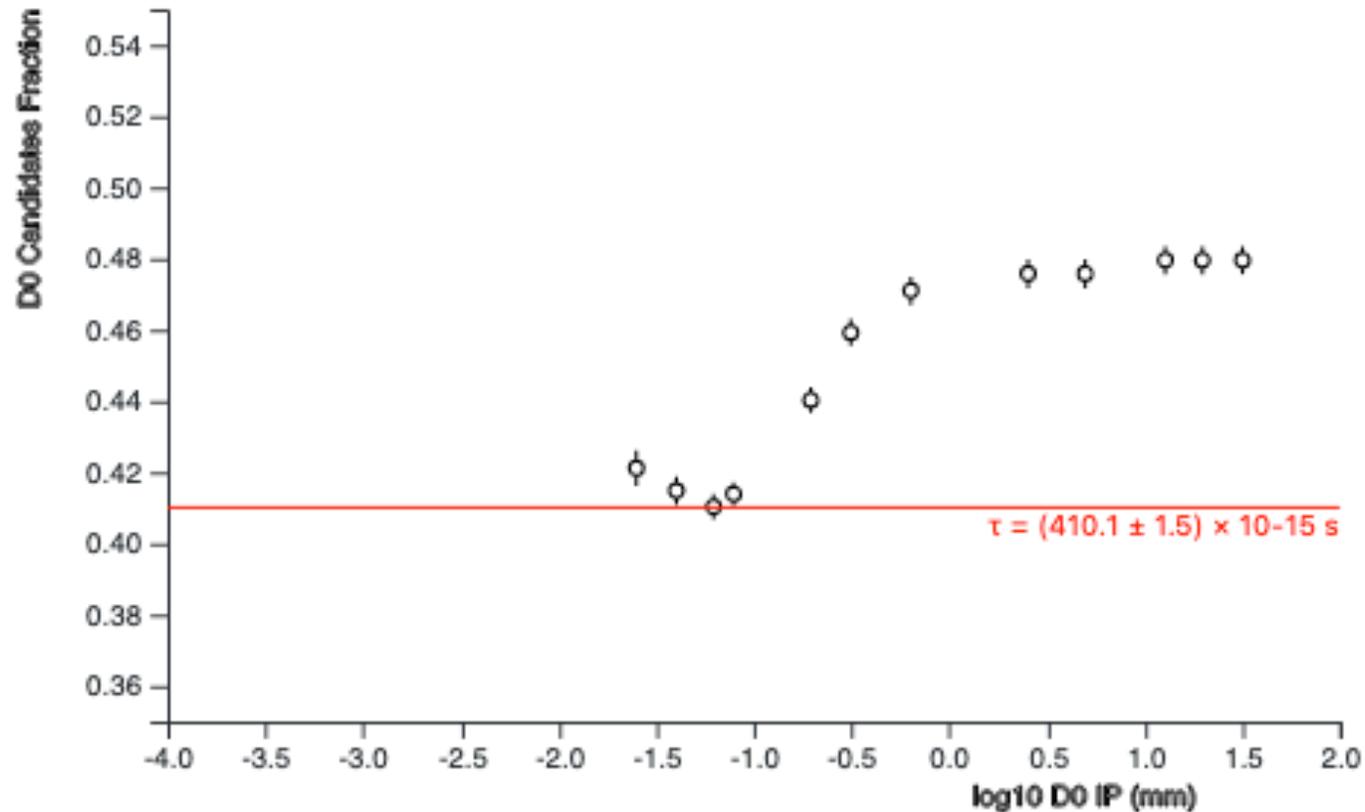
**2012**



**2021**

# Risultati sulla misura di vita media del $D^0$

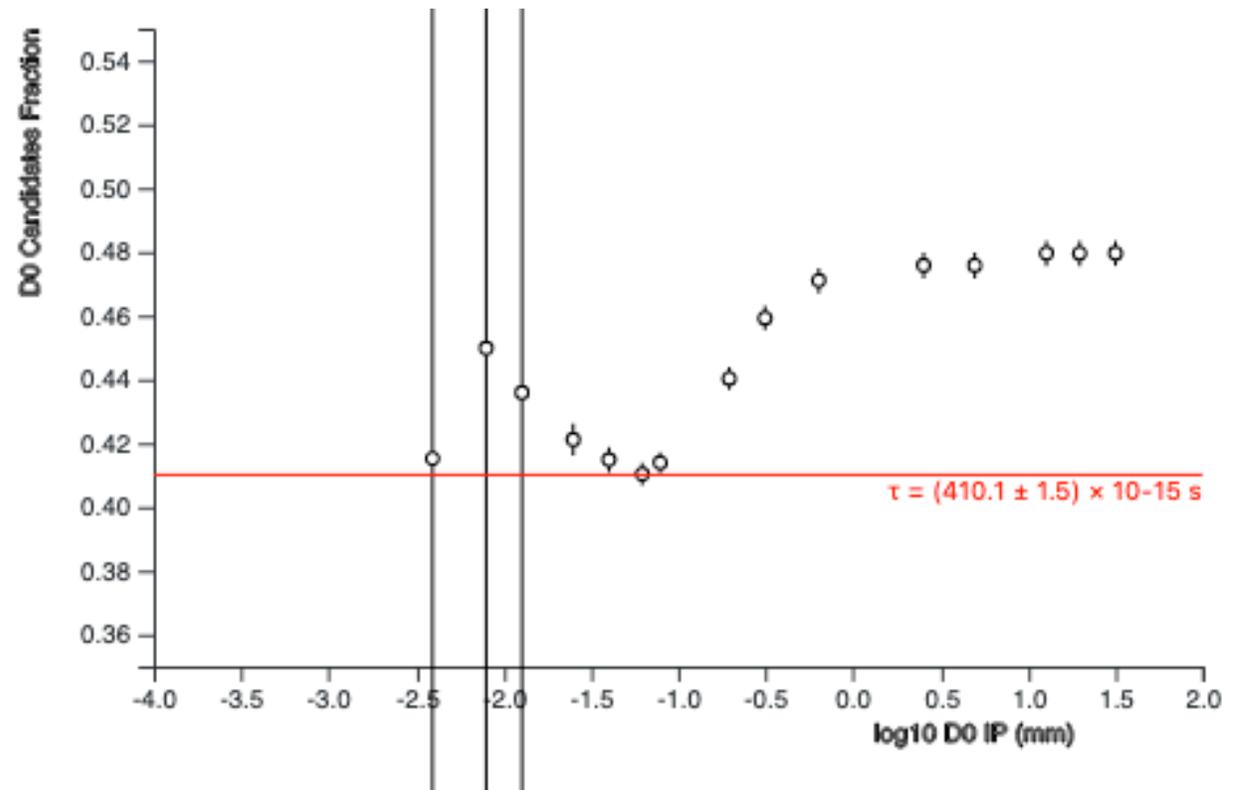
- Questa mattina, avete trovato un andamento di questo tipo per la misura della vita media del mesone  $D^0$  in funzione del valore di  $\log_{10}(IP)$



# Risultati sulla misura di vita media del $D^0$

- Alcuni di voi avranno sicuramente ottenuto anche questo
- Possiamo osservare che l'interrezza dei punti con  $\log_{10}(IP) < -1.9$  esplosione!

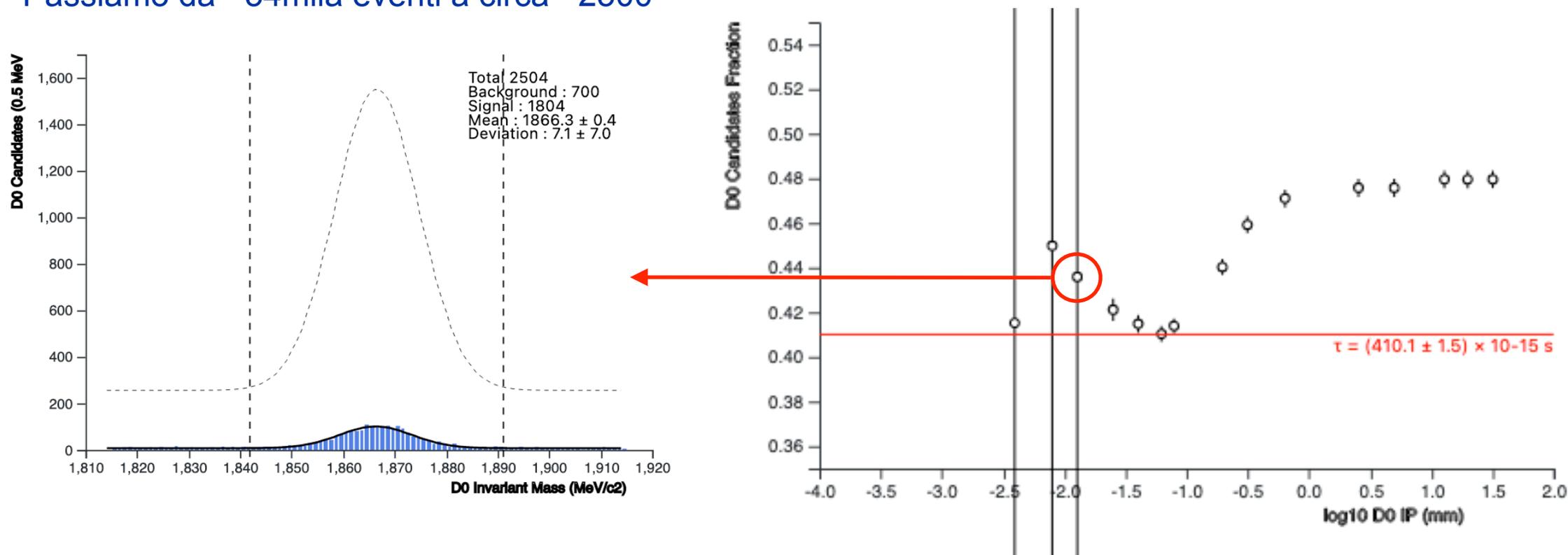
Perche?



# Risultati sulla misura di vita media del $D^0$

- Per valori di  $\log_{10}(IP) < -1.9$  abbiamo pochissimi dati per fare il fit  $\Rightarrow$  il fit fallisce!

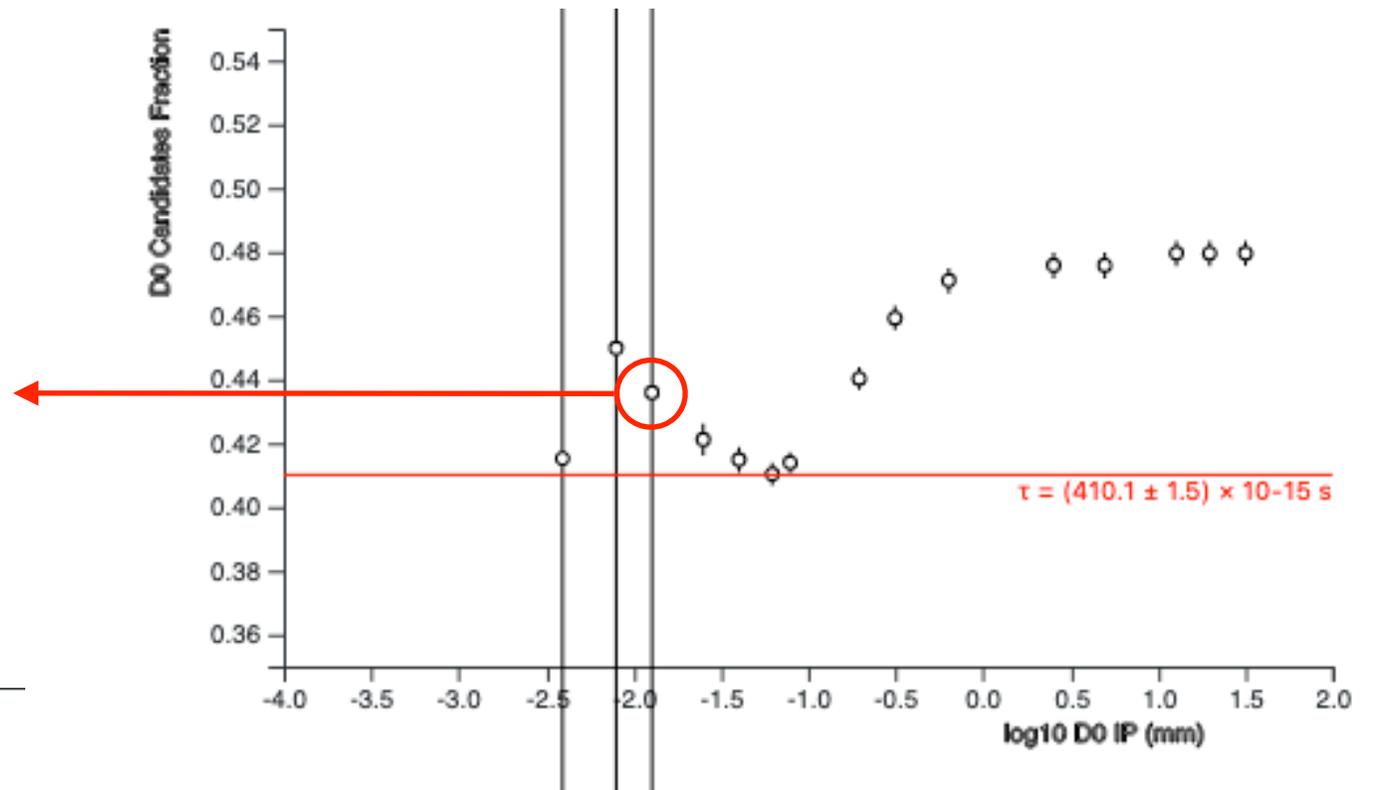
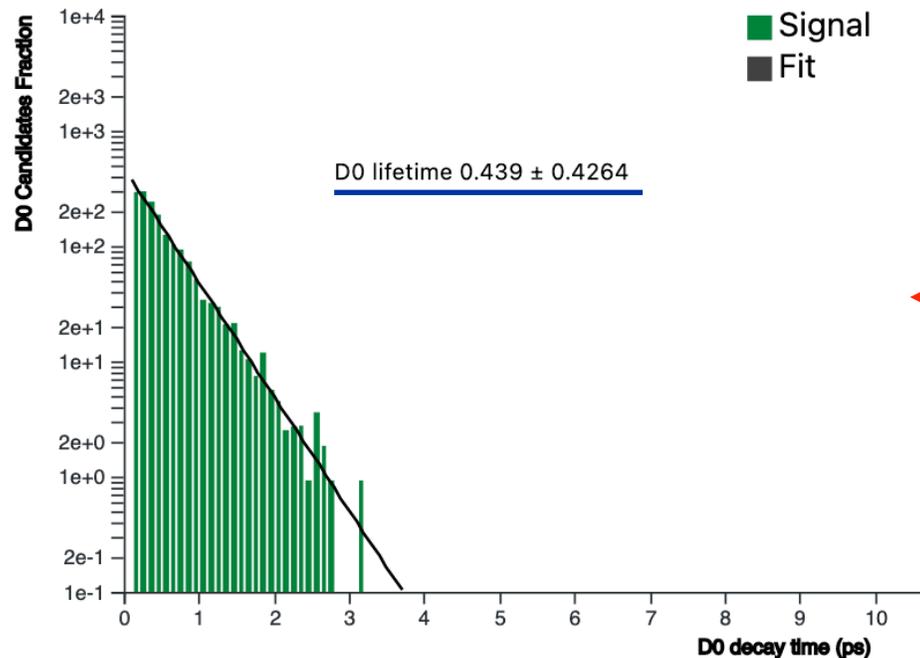
Passiamo da ~54mila eventi a circa ~2500



# Risultati sulla misura di vita media del $D^0$

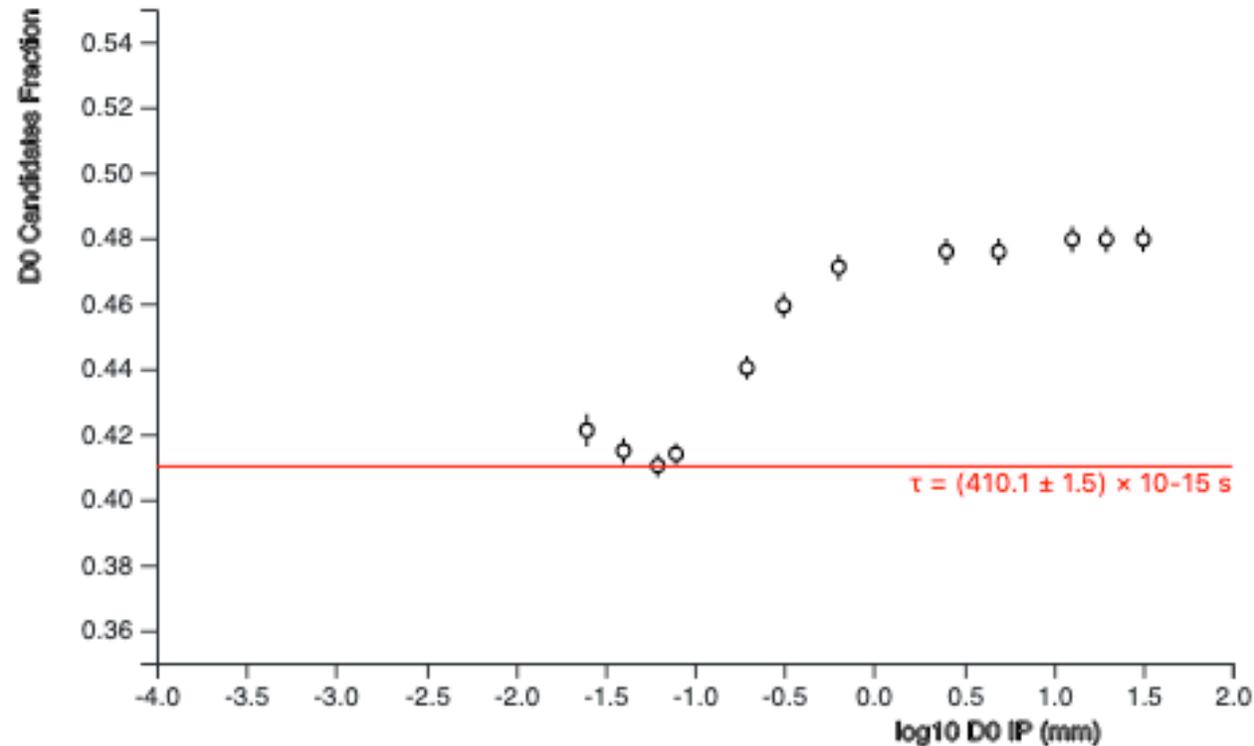
- Per valori di  $\log_{10}(IP) < -1.9$  abbiamo pochissimi dati per fare il fit  $\Rightarrow$  il fit fallisce!

L'incertezza sulla vita media è confrontabile con il valore centrale

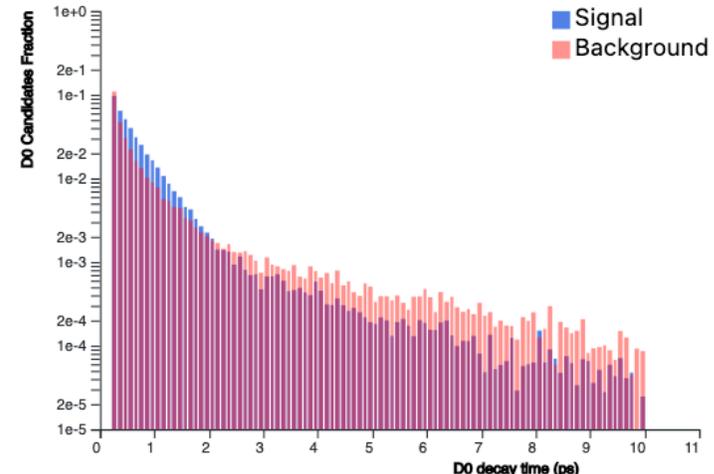
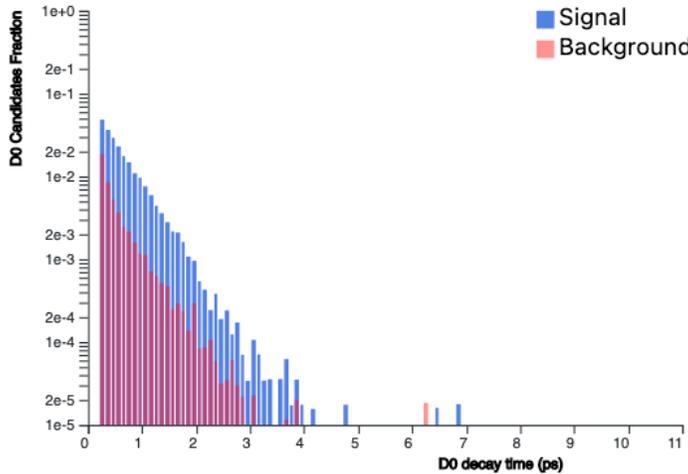
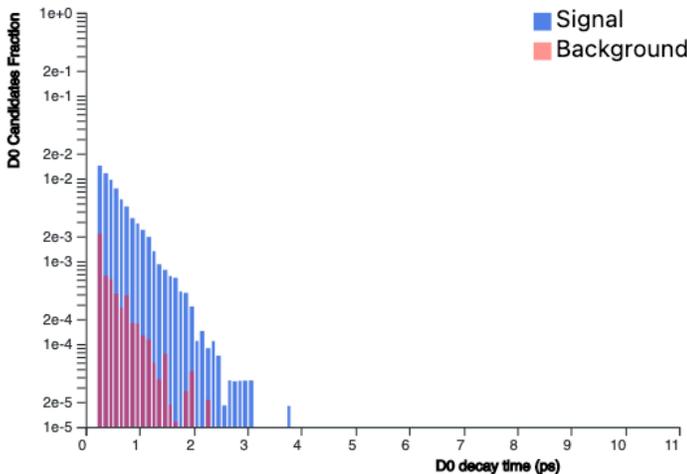
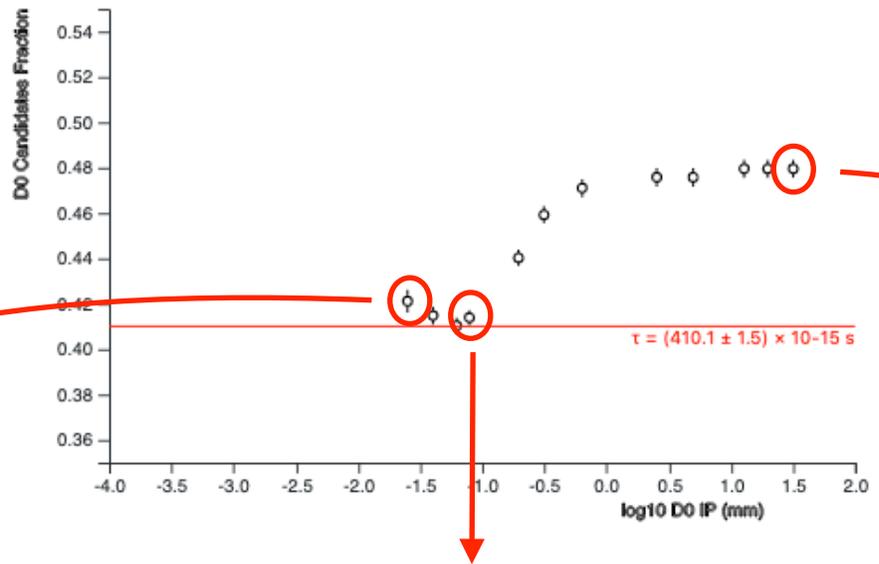
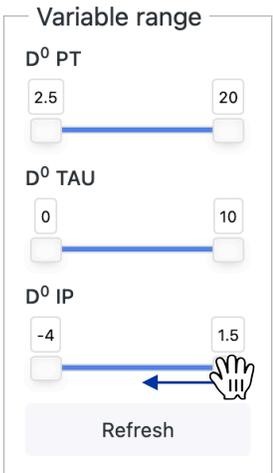


# Risultati sulla misura di vita media del $D^0$

- Altre caratteristiche che possiamo notare sono:
  - Un valore molto maggiore del *valore vero* per alti valori di  $\log_{10}(IP)$
  - Un aumento della compatibilità con il valore atteso al decrescere di  $\log_{10}(IP)$
- Perché?

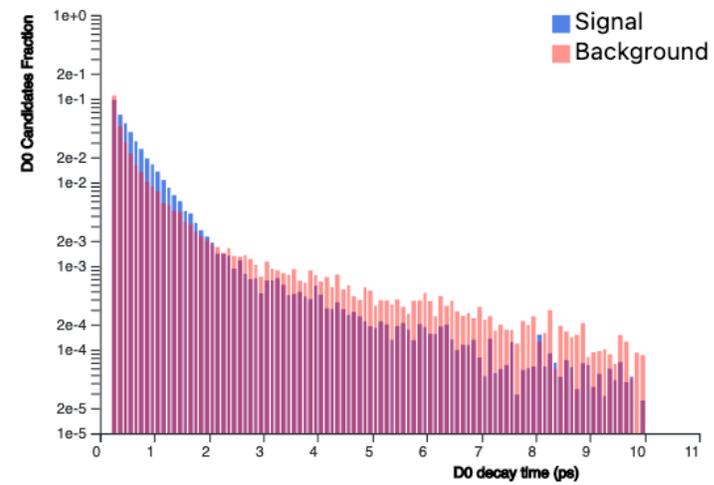
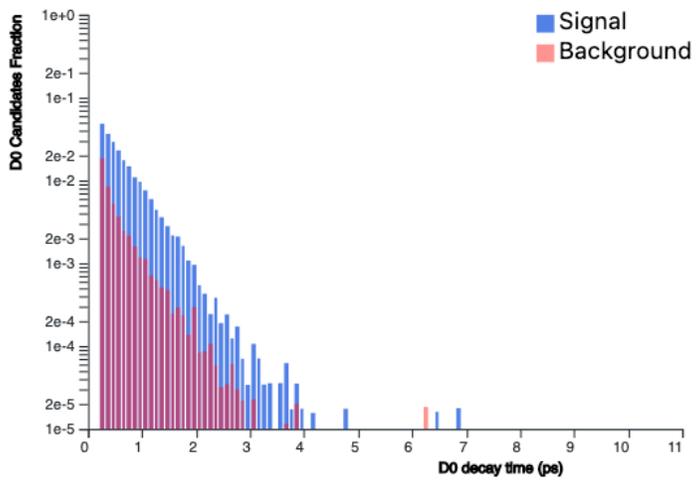
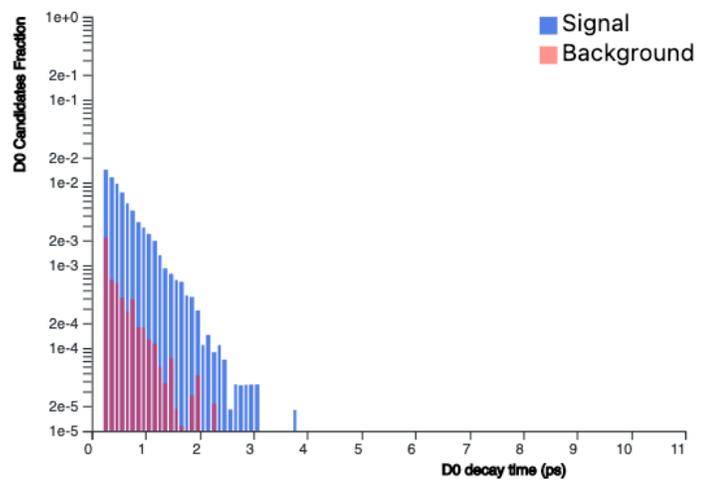
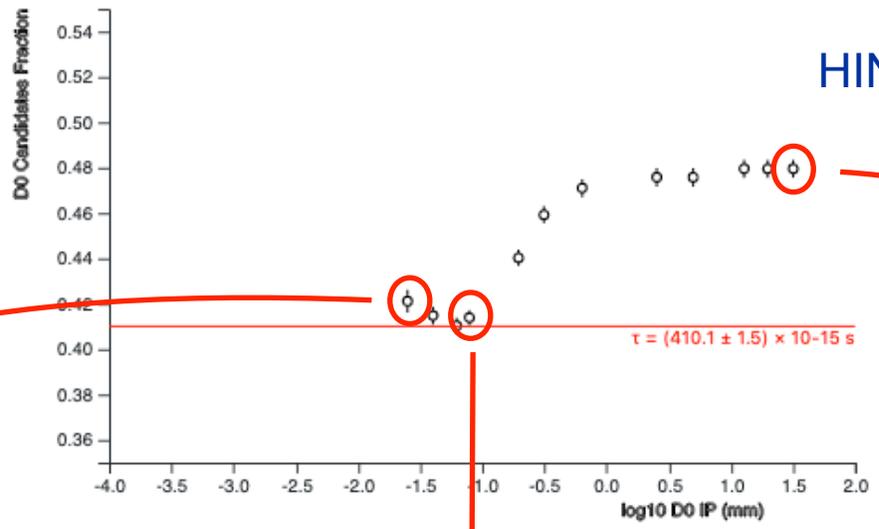


# Risultati sulla misura di vita media del $D^0$



# Risultati sulla misura di vita media del $D^0$

HINT: come vengono prodotti i  $D^0$  ?

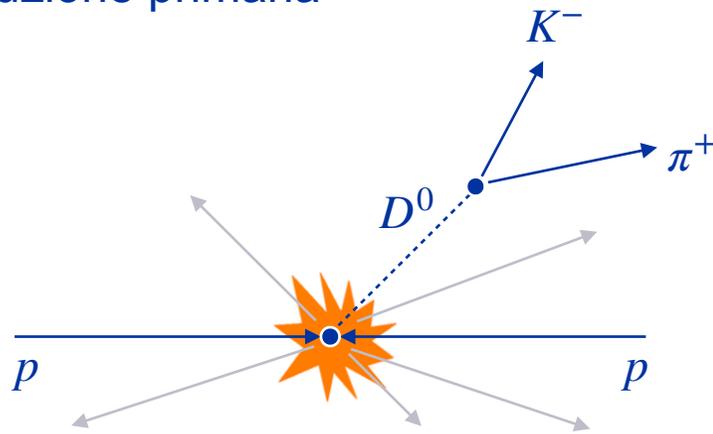


# Sommario sulla produzione del $D^0$

Questa mattina, abbiamo visto due modi con i quali si può produrre il mesone  $D^0$

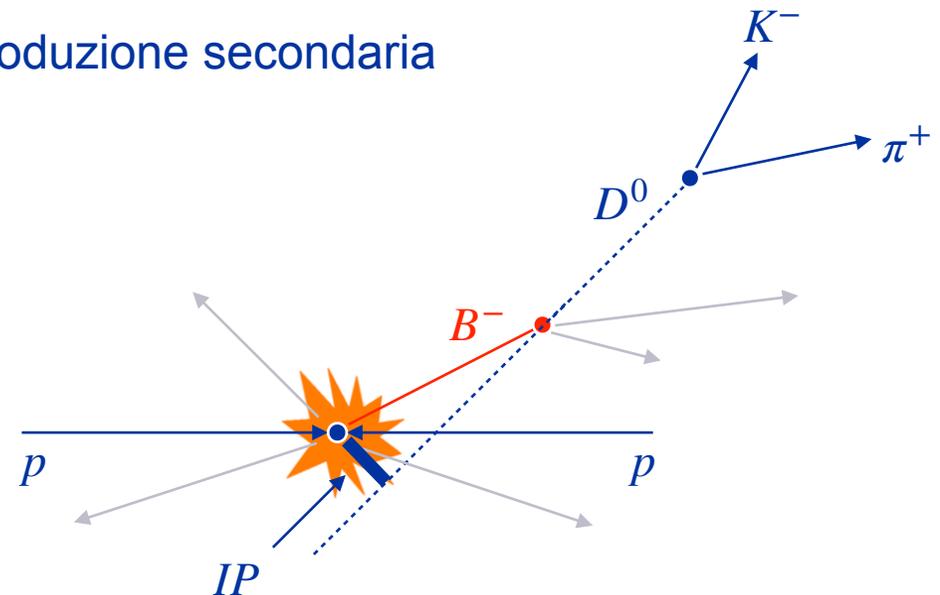
- Direttamente nella collisione tra i protoni

Produzione primaria



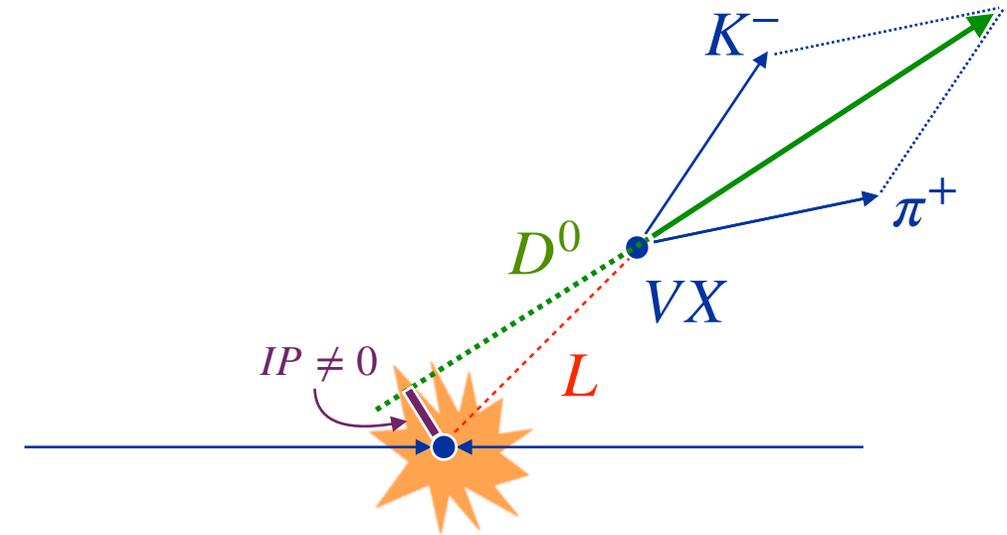
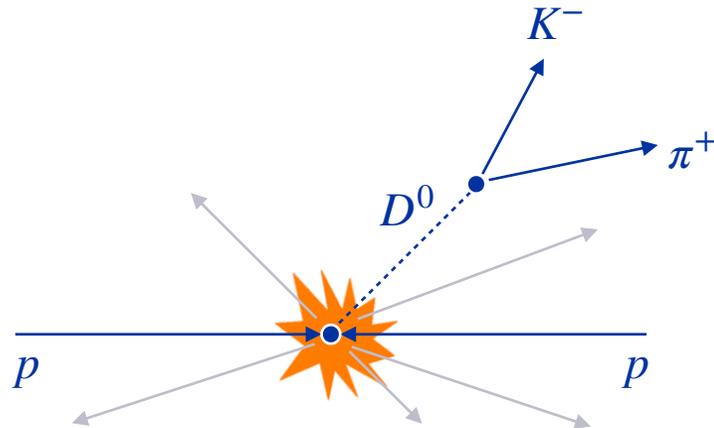
- Dal decadimento di un mesone  $B^-$  prodotto dalla collisione tra i protoni

Produzione secondaria



# Sommario sulla produzione del $D^0$

Produzione primaria



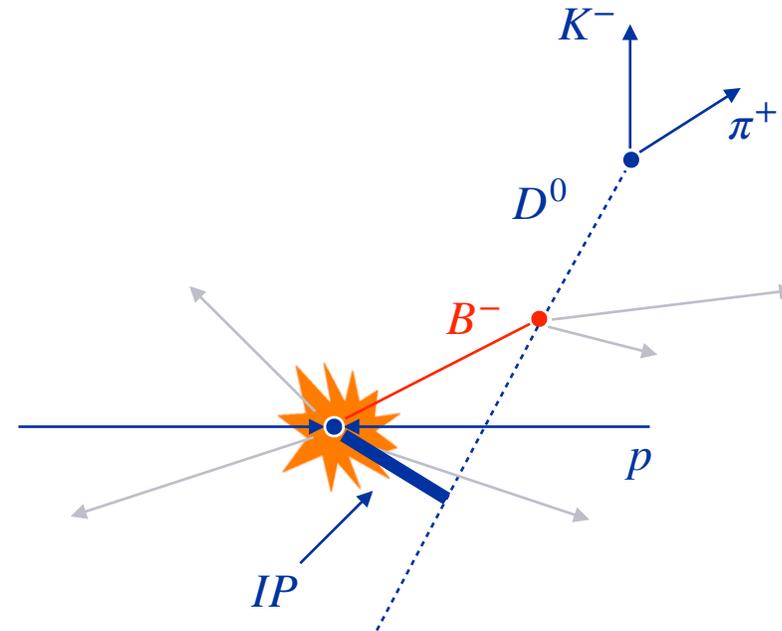
Qui l' $IP$  è compatibile con 0!

Non ho mai un valore esattamente = 0 a causa delle }  
incertezze sulle direzioni di volo del  $K^-$  e del  $\pi^+$

# Sommario sulla produzione del $D^0$

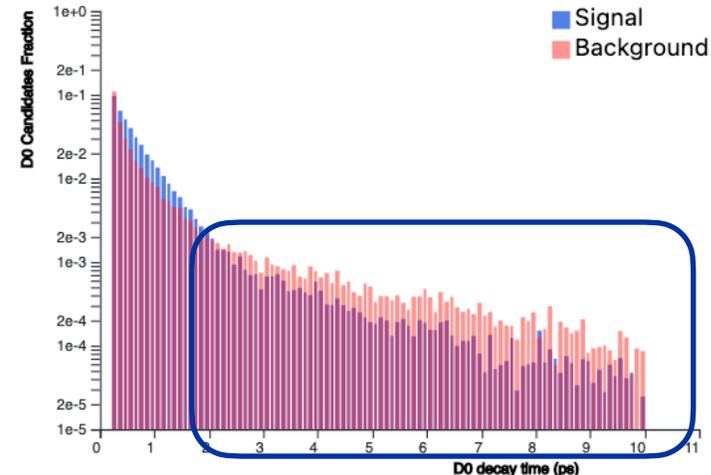
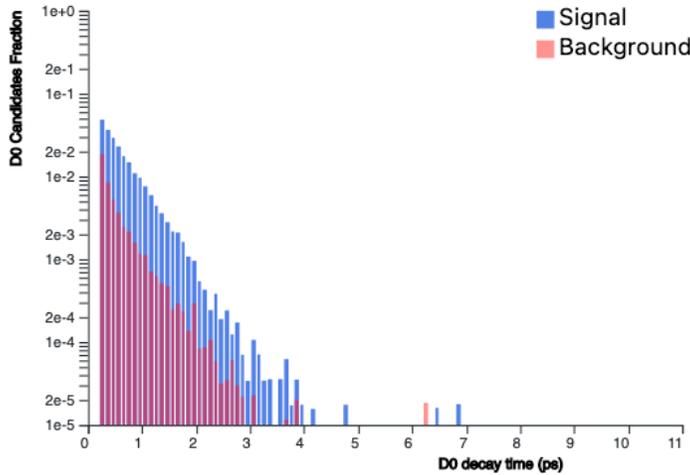
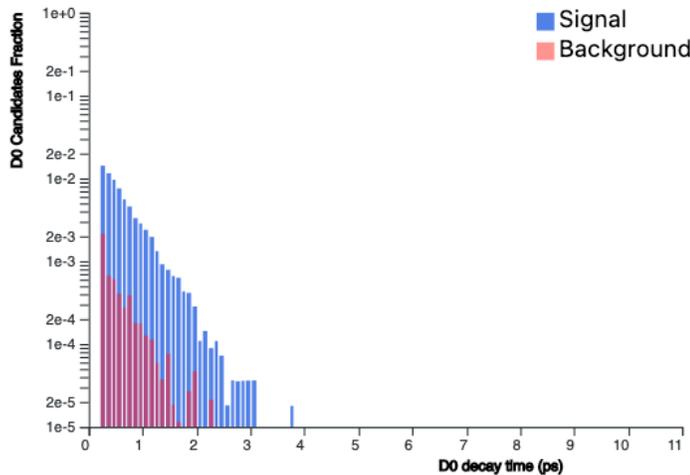
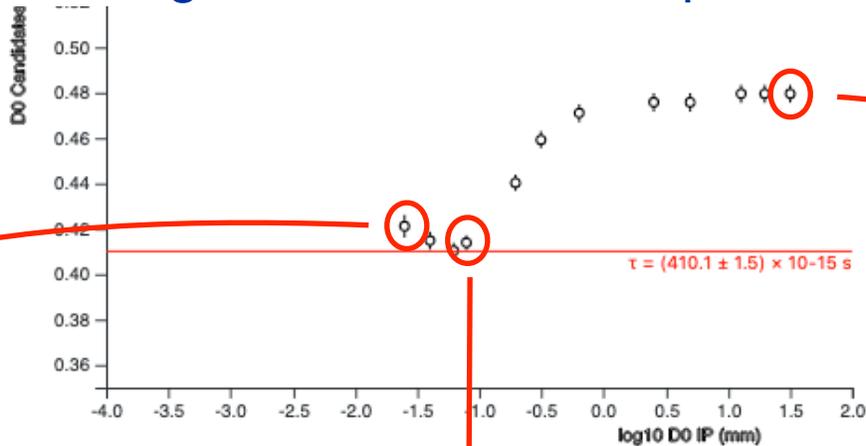
Nella produzione secondaria stiamo sommando la vita media del  $D^0$  a quella del  $B^-$ , ottenendo un valore **systematicamente** più alto!

## Produzione secondaria



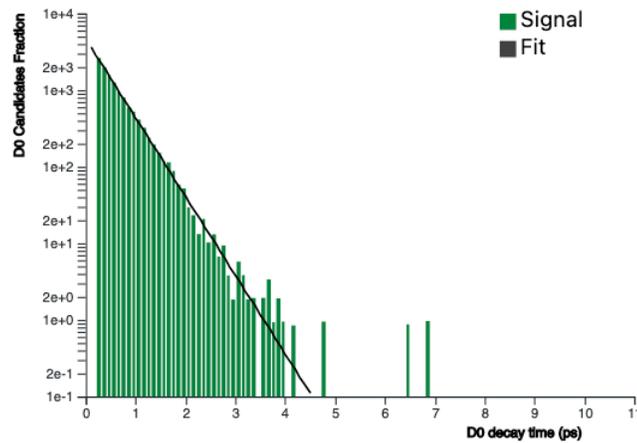
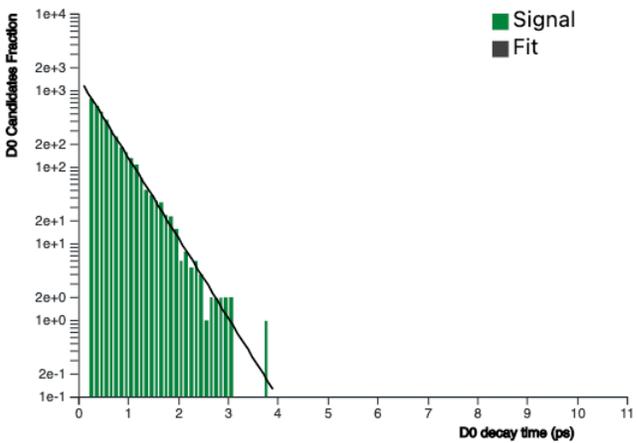
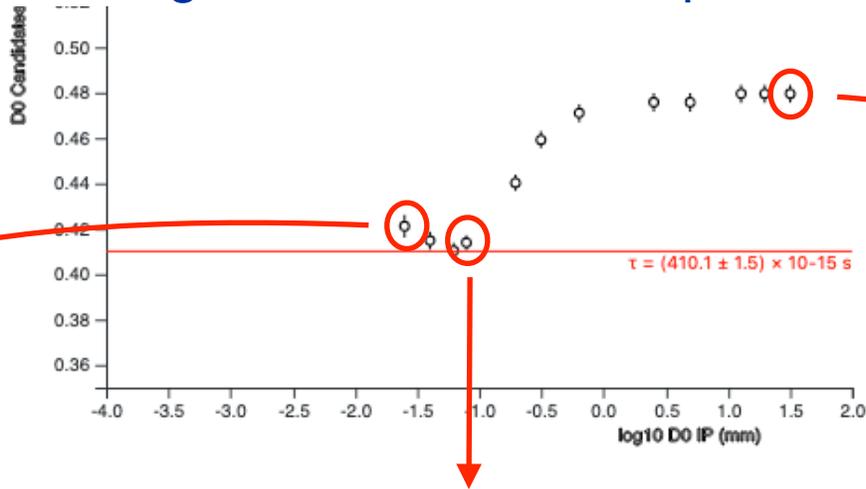
# Risultati sulla misura di vita media del $D^0$

Riducendo  $IP$  stiamo rimuovendo gli eventi in cui il  $D^0$  proviene dal decadimento di un  $B$  !



# Risultati sulla misura di vita media del $D^0$

Riducendo  $IP$  stiamo rimuovendo gli eventi in cui il  $D^0$  proviene dal decadimento di un  $B$  !

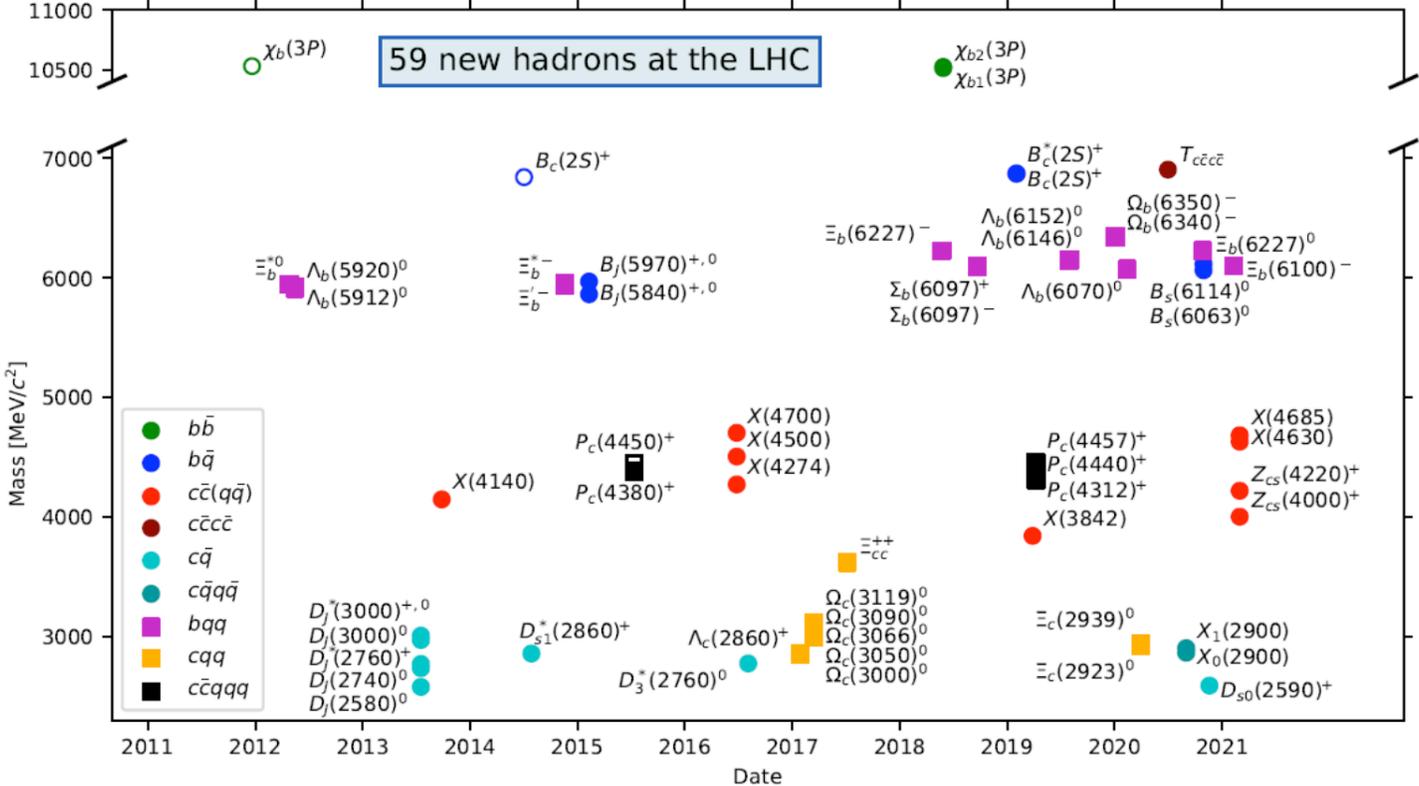


# I vostri risultati!

- Ecco le vostre misure di vita media prodotte questa mattina

# Conclusioni

- Abbiamo visto come fare a scoprire nuove particelle 
- Ogni anno al CERN continuiamo a scoprirne tantissime altre!



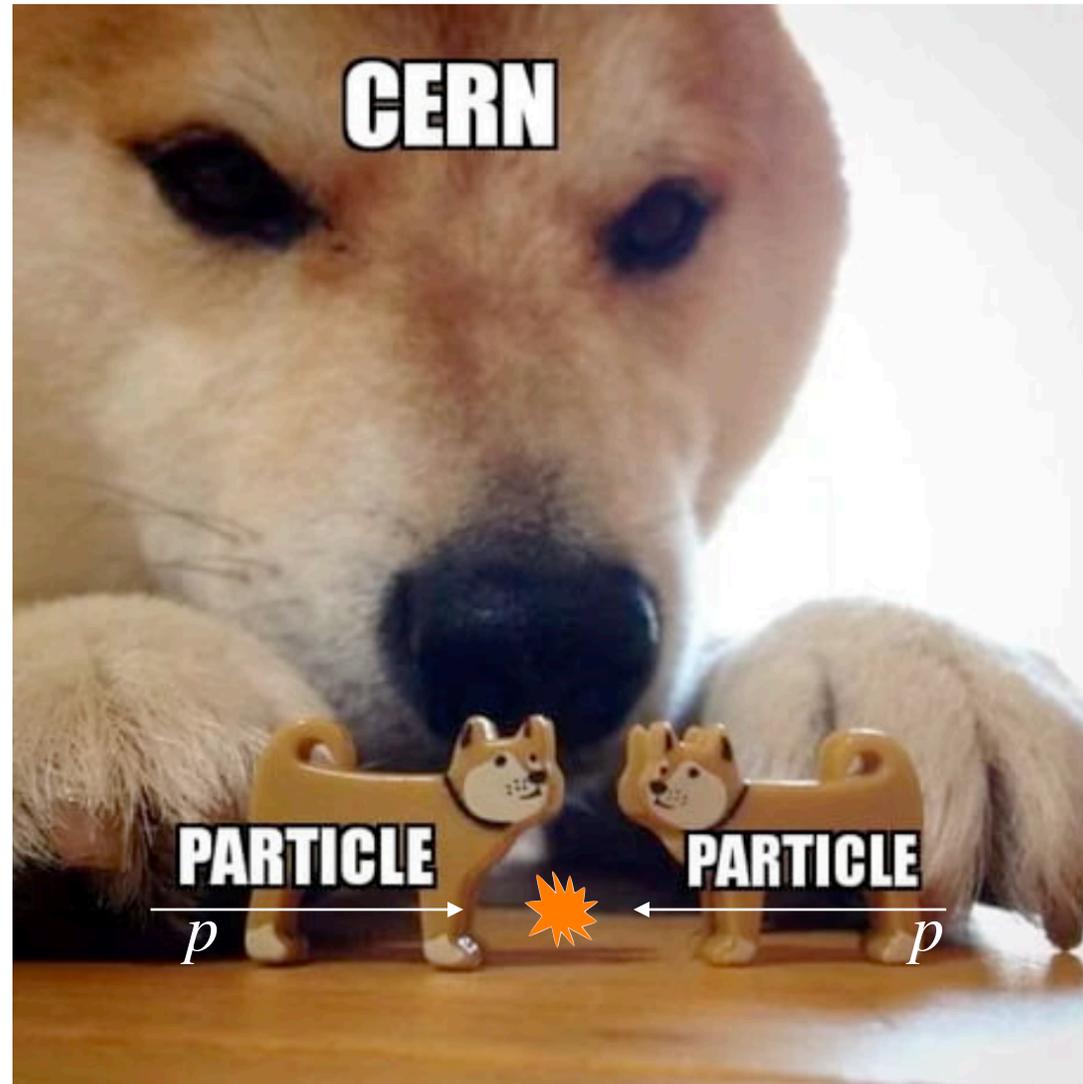
<https://home.cern/news/news/physics/59-new-hadrons-and-counting>

# Conclusioni

- E sempre nel solito modo...

# Conclusioni

...ovvero così:



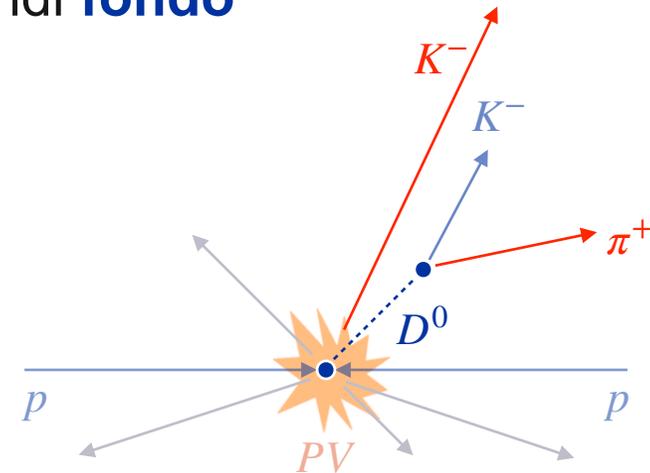
# Misura della massa del $D^0$

- Siamo riusciti a misurare l'impulso dei  $K^-$  e dei  $\pi^+$
- Dal loro impulso posso calcolare la massa del candidato  $D^0$  corrispondente

$$m_{D^0}^2 = m_K^2 + m_\pi^2 + 2\sqrt{m_K^2 + p_K^2}\sqrt{m_\pi^2 + p_\pi^2} - 2p_K p_\pi \cos \theta$$

- Il valore di  $m_{D^0}$  ottenuto può essere confrontato con la massa *vera* del  $D^0$ . Questo ci permette di capire se i nostri  $K^-$  e  $\pi^+$  vengono effettivamente da un  $D^0$  e sono quindi **segnale**, oppure se sono combinazioni casuali e sono quindi **fondo**

$$m_{D^0} = 1864.86 \pm 0.13 \text{ MeV}/c^2$$





Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa

Gruppo: **Protoni**

Combination 1

Gruppo: **Positroni**

Combination 5

Gruppo: **Top**

Combination 9

Gruppo: **Pioni**

Combination 2

Gruppo: **Up**

Combination 6

Gruppo: **Fotoni**

Combination 10

Gruppo: **Kaoni**

Combination 3

Gruppo: **Strange**

Combination 7

Gruppo: **Muoni**

Combination 11

Gruppo: **Elettroni**

Combination 4

Gruppo: **Charm**

Combination 8

Gruppo: **Neutrini**

Combination 12



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa



Masterclass  
12 Marzo 2025  
INFN Pisa

Gruppo: **Gluoni**  
Combination 13

Gruppo: **Higgs**  
Combination 17

Gruppo: **Down**  
Combination 21

Gruppo: **Tau**  
Combination 14

Gruppo: **Neutroni**  
Combination 18

Gruppo: **Bottom**  
Combination 22

Gruppo: **W**  
Combination 15

Gruppo: **Mesoni D0**  
Combination 19

Gruppo: **Gravitoni**  
Combination 23

Gruppo: **Z**  
Combination 16

Gruppo: **Mesoni B**  
Combination 20

Gruppo: **Antiprotoni**  
Combination 24