



Scopo dell'esercizio

Misura

della **vita media**

della **particella D^0**

su **dati raccolti**

dall'**esperimento LHCb**

Come si raccolgono i dati in un esperimento di fisica delle particelle?

Cosa significa *fare una misura* in fisica delle particelle?

E di che particelle stiamo parlando?

Quali proprietà delle particelle vogliamo misurare?

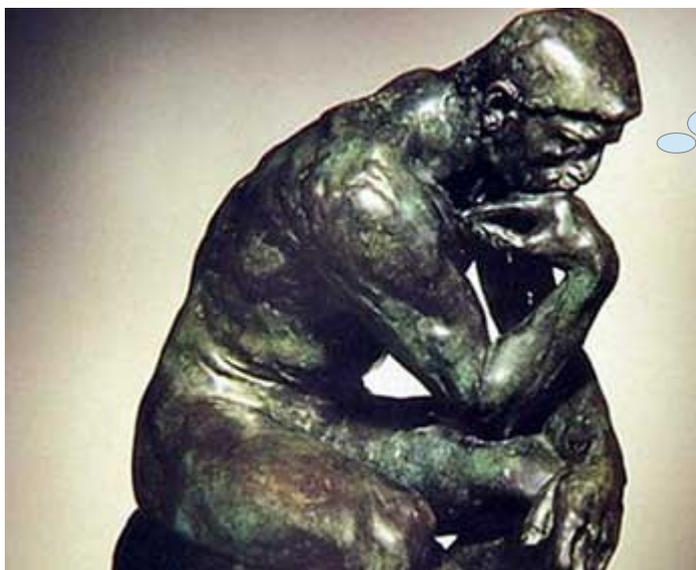
Misura

della **vita media**

della **particella D^0**

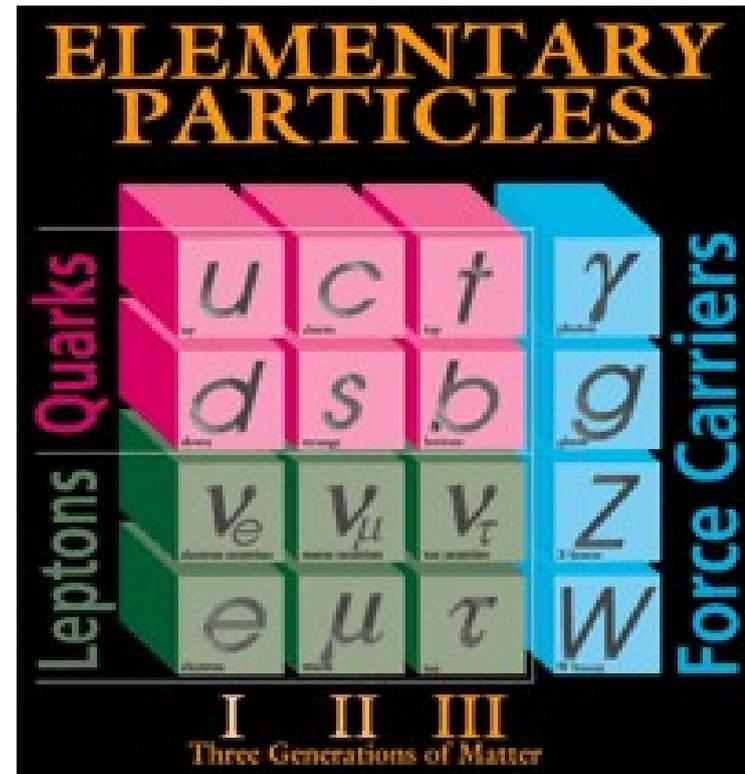
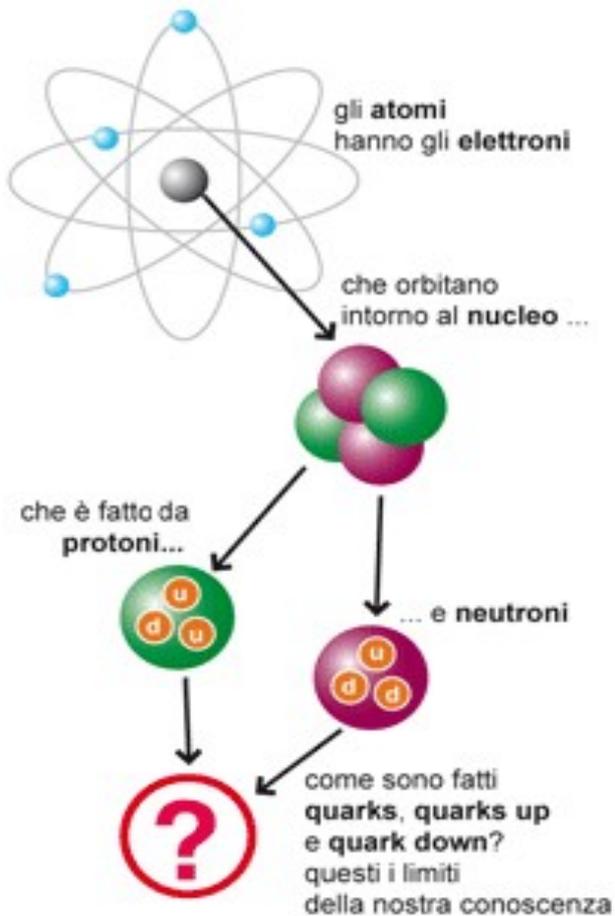
su **dati raccolti**

dall'**esperimento LHCb**



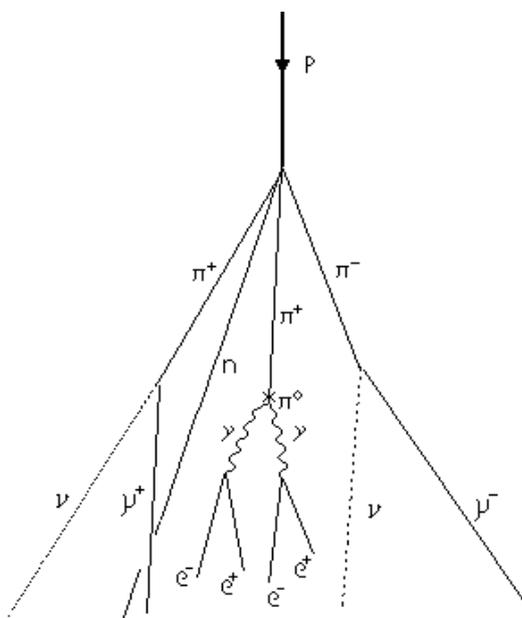
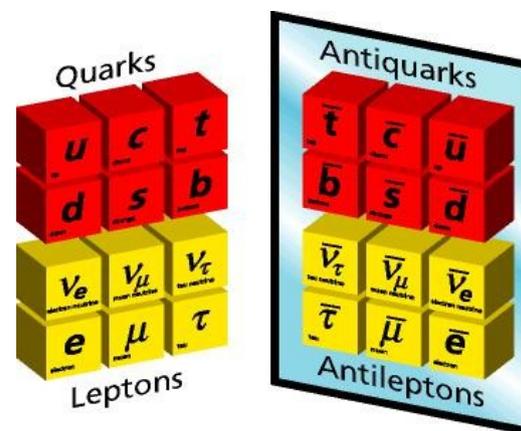
Il Modello Standard delle particelle

Secondo la teoria del modello standard, le particelle fondamentali sono quark e leptoni a cui si aggiungono le particelle mediatrici di forza che sono responsabili delle interazioni tra le particelle.



Per quanto ne sappiamo fino ad ora, l'elettrone e la coppia di quark up e down sono i **mattoni fondamentali** della materia stabile dell'universo, ma il quadro delle particelle fondamentali è molto più complesso. Infatti:

1) Per ogni particella esiste **un'antiparticella** (stessa massa ma carica opposta)



2) Nelle interazioni in cui ci sono scambi elevati di energia, come avviene naturalmente nei raggi cosmici o artificialmente negli acceleratori, viene prodotta una grande quantità di **altre particelle che in breve tempo si trasformano (decadono) in particelle più leggere**, fino ad assumere la forma della materia ordinaria che conosciamo.

Come si producono queste particelle?

Tutte queste particelle possono essere prodotte artificialmente negli acceleratori: ad esempio a LHC, fasci di protoni vengono accelerati per mezzo di campi magnetici e fatti collidere.

Appositi strumenti, i **rivelatori di particelle**, rivelano i prodotti di queste collisioni

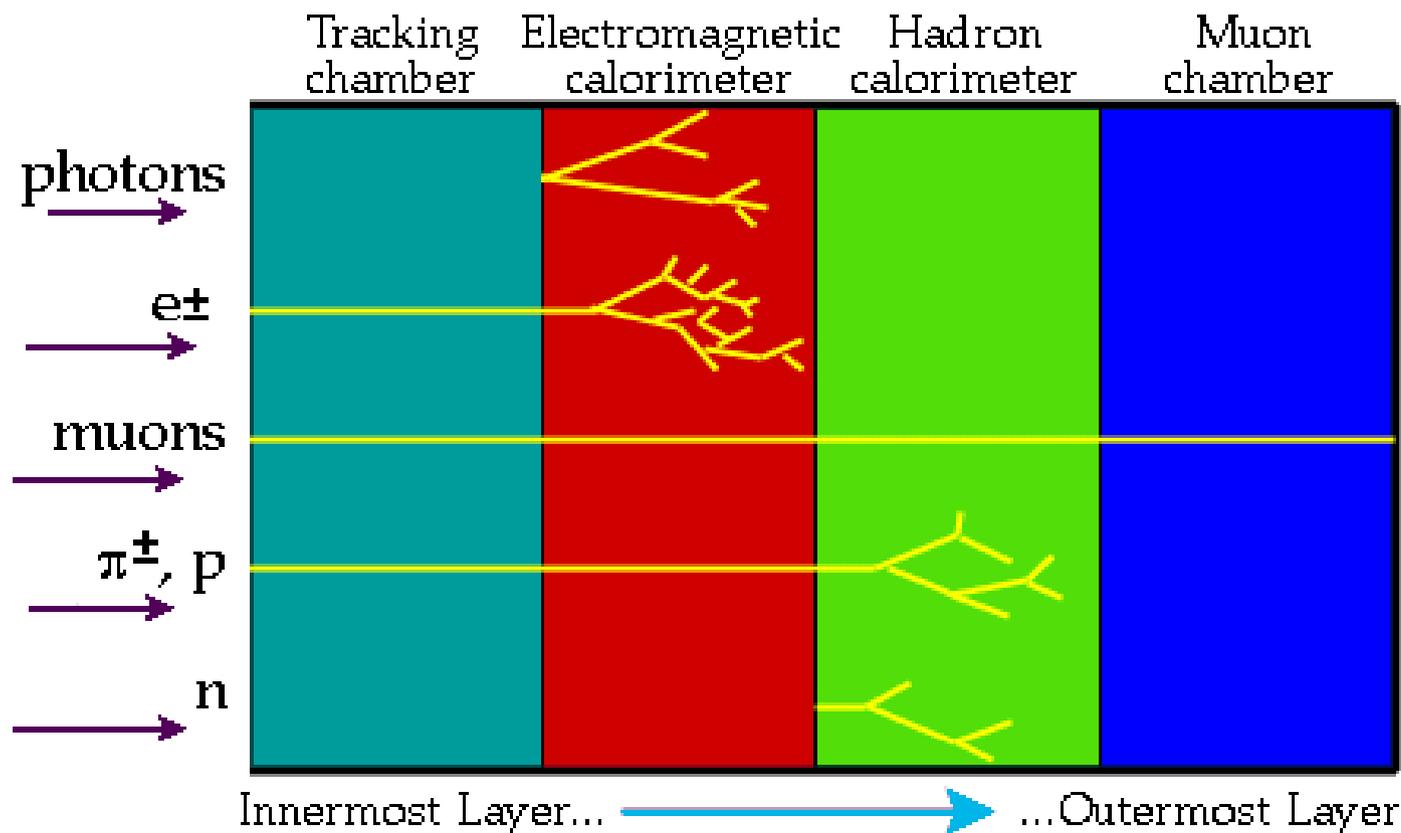
A LHC i fasci vengono fatti collidere in 4 punti, dove ci sono gli esperimenti CMS, ATLAS, ALICE e LHCb.

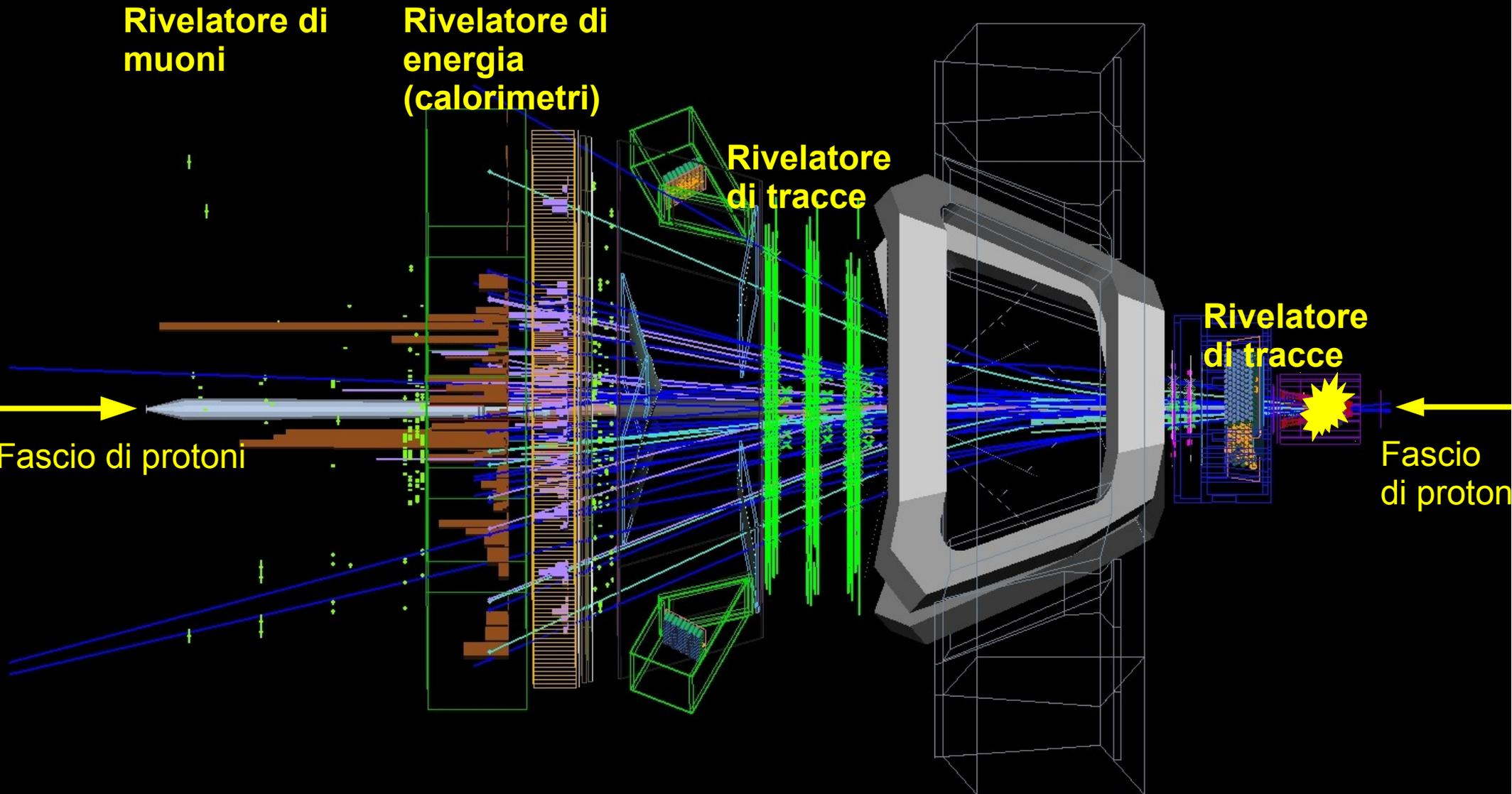


E come si rivelano ?

Le particelle visibili vengono rivelate e identificate nei rivelatori di particelle, grazie al loro diverso modo di interagire con la materia.

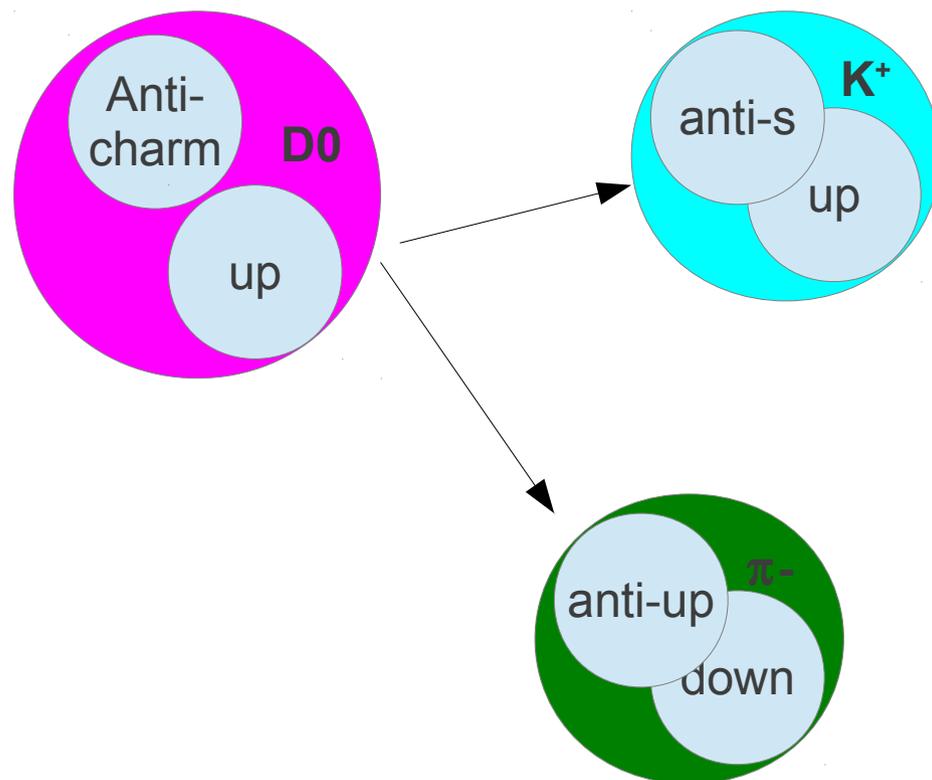
Un rivelatore di particelle è costituito da più strati, ciascuno in grado di rivelare una particolare caratteristica della particella.





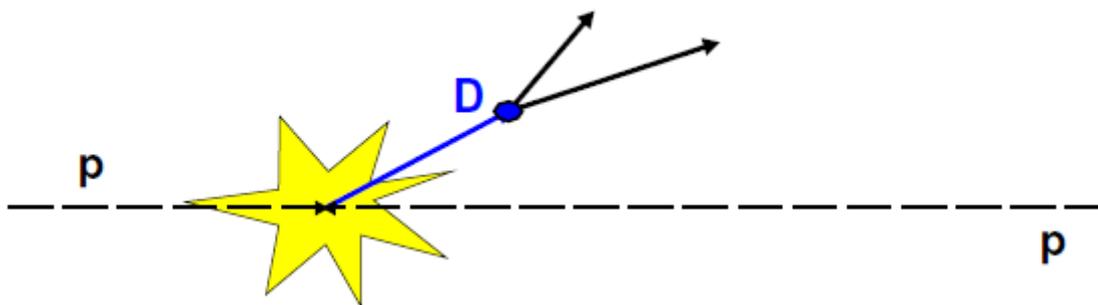
La particella D^0

Il D^0 è costituito da un **quark up** e un **quark anti-charm**.
E' una particella instabile e dopo un certo tempo decade in un **Kaone** positivo (K^+) e un **Pione** negativo (π^-)

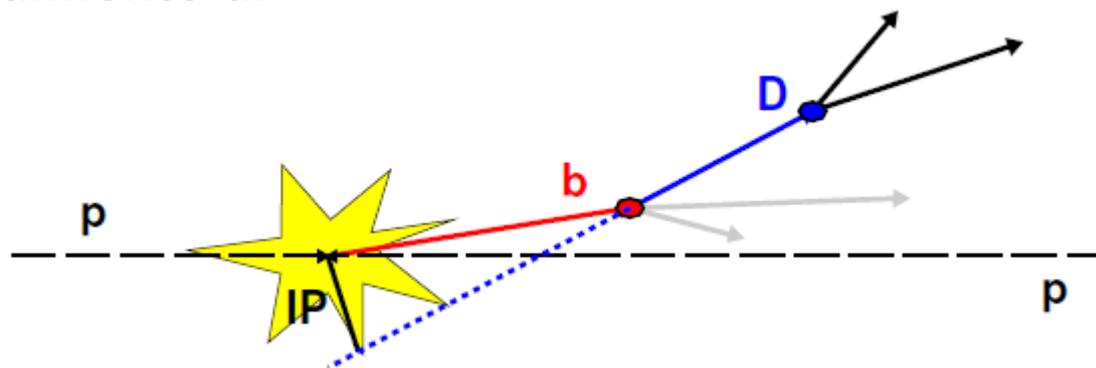


Puo' essere prodotta in due modi:

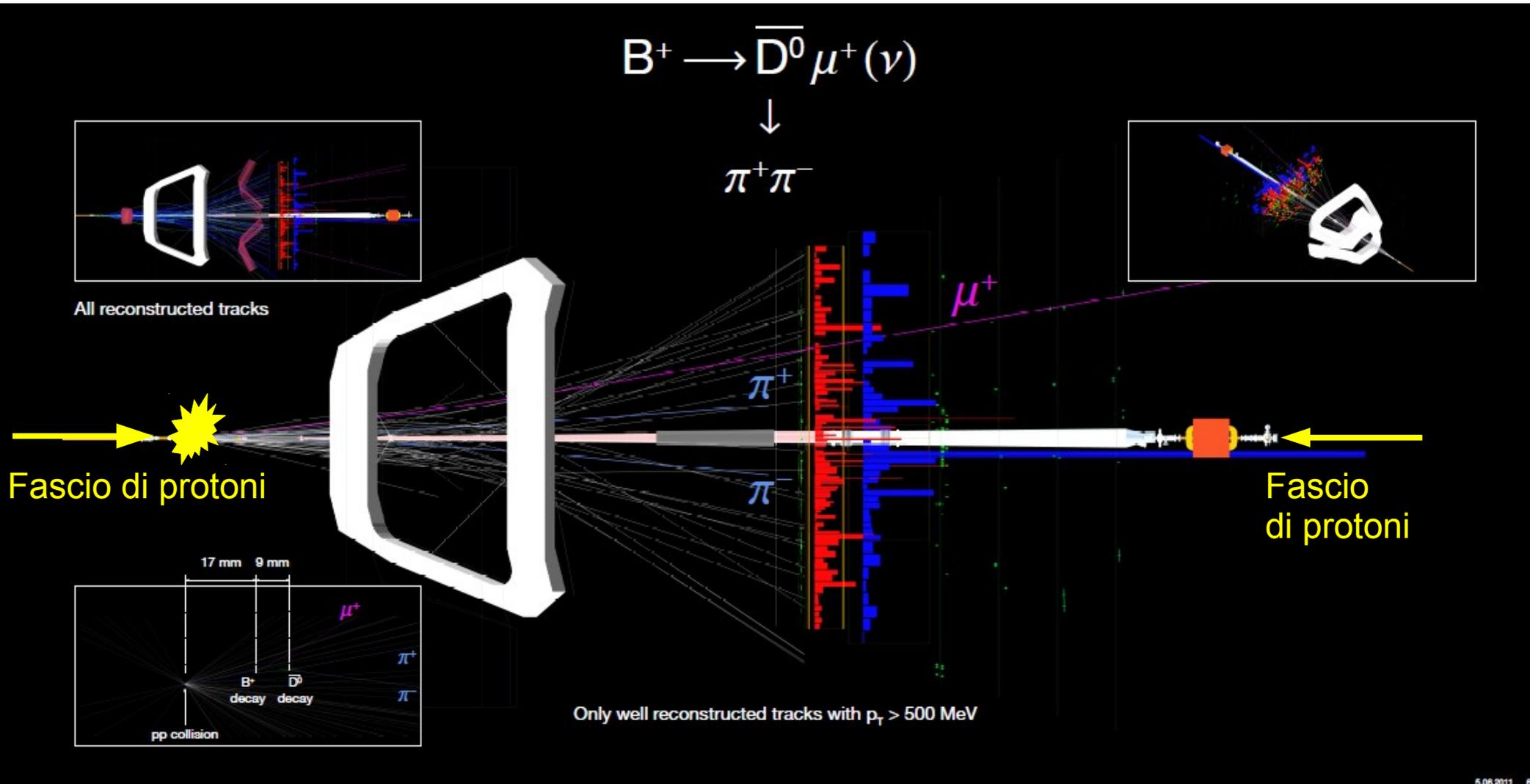
Produzione diretta



Produzione dal decadimento di una particella B



Che segnali vengono rilasciati nel rivelatore? Esempio con un decadimento simile

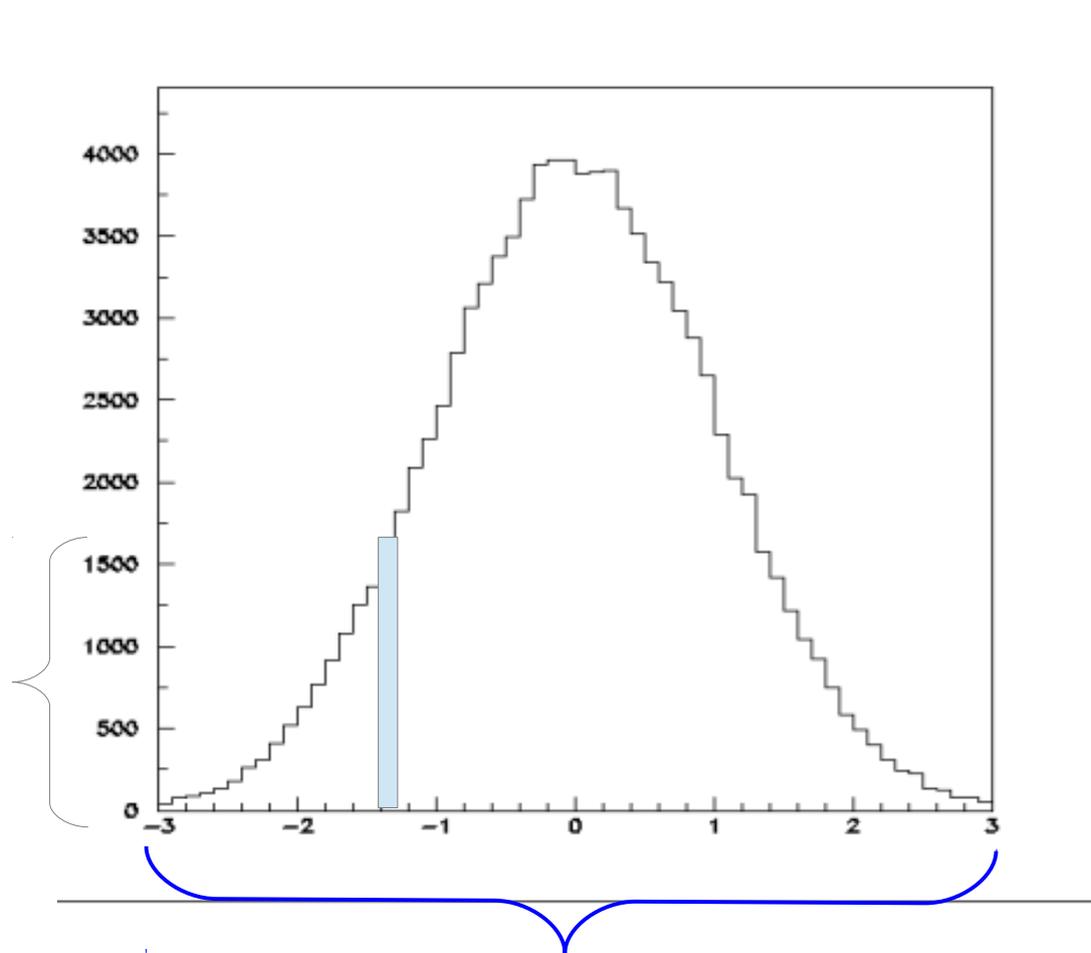


A partire dai prodotti di decadimento ($\pi^+ \pi^-$ in questo caso, $K^+ \pi^-$ nel caso del nostro esercizio, possiamo ricostruire la particella D^0 e studiarne **alcune grandezze** (momento, massa, ...)

Una parentesi: come rappresentiamo queste grandezze? Gli istogrammi

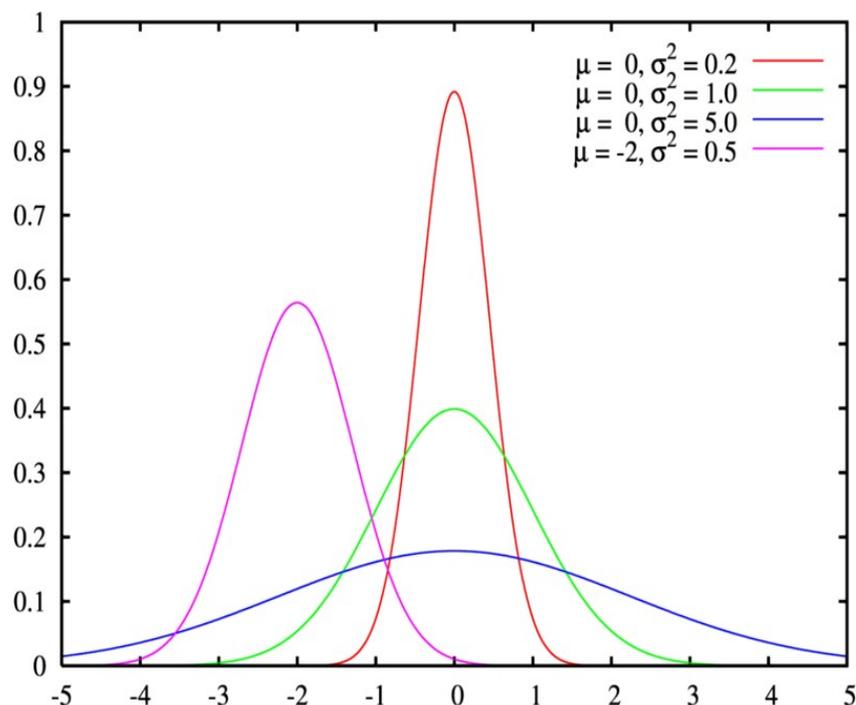
Supponiamo di avere misurato più volte una grandezza X.
Un modo conveniente per rappresentare questi valori è **l'istogramma**.

Altezza dei rettangoli =
frequenza dei valori
misurati.



Base= l'intervallo in cui sono contenute le misure.₁₁

Abbiamo misurato una serie di valori di X . Osserviamo che si distribuiscono secondo una particolare funzione, la funzione gaussiana in questo caso.



$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{con } x \in \mathbb{R}.$$

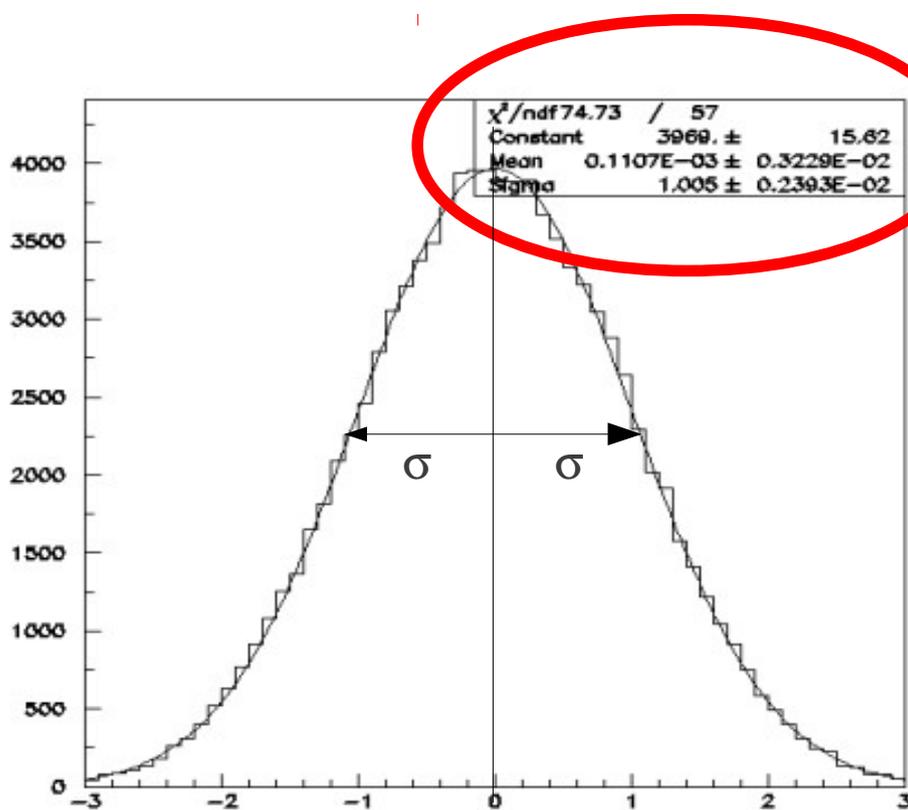
μ = valor medio della gaussiana

σ^2 = varianza

Dato l'insieme dei valori che abbiamo misurato, e osservando che la funzione che meglio li descrive è una funzione gaussiana, che valore usiamo come MISURA di X ? \rightarrow il parametro μ della gaussiana.

E come estraiamo la misura della grandezza? Il fit

Fittiamo la distribuzione dei nostri dati con una funzione gaussiana.
Il fit ci restituisce i valori più probabili di μ e σ per il nostro campione di dati.



Risultati del fit:

- media
- errore sulla media
- σ (radice della varianza)
- errore su σ

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**

Oggi voi dovrete cercare di selezionare il segnale ($D^0 \rightarrow K^+\pi^-$) in mezzo al fondo.

Il fondo è costituito da combinazioni di tracce che non provengono dal D^0 (fondo combinatorio)

Quando in un campione abbiamo distinto S eventi di segnale da F di fondo, è importante stimare la **significatività del segnale rispetto al fondo**:

$$S/\sqrt{(S+F)}$$

Il Momento di una particella

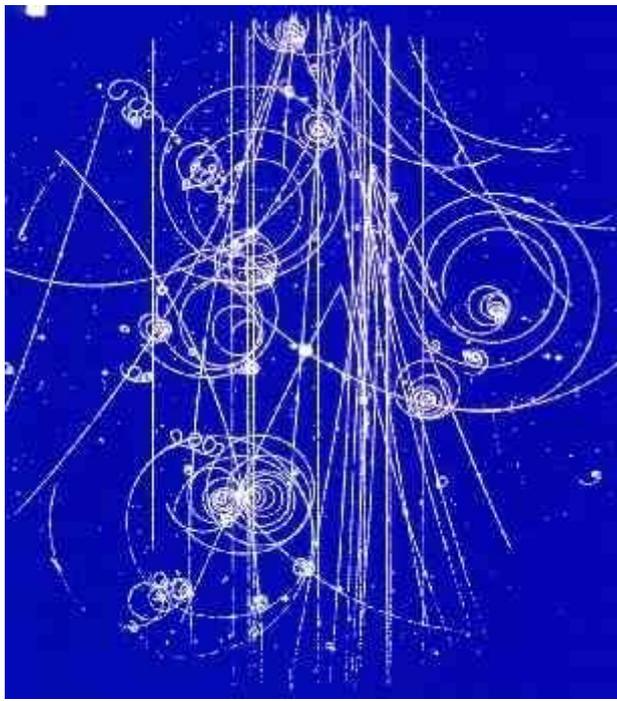
Momento (quantità di moto) di una particella

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} .



$$R = p/qB$$

Grande raggio \rightarrow grande momento

Piccolo raggio \rightarrow piccolo momento.

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

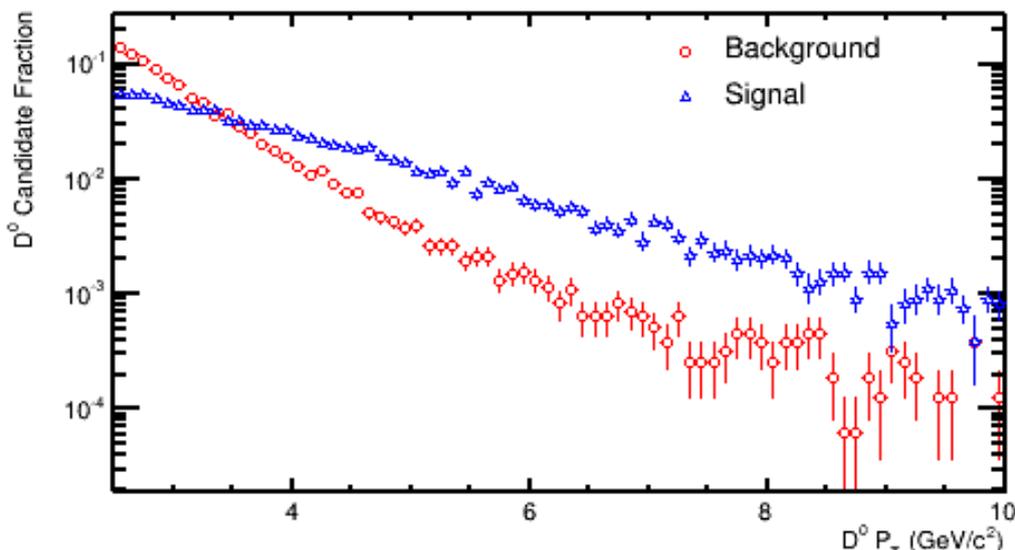
Momento (quantità di moto) di una particella

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} .



$$R = p/qB$$

Grande raggio \rightarrow grande momento

Piccolo raggio \rightarrow piccolo momento.

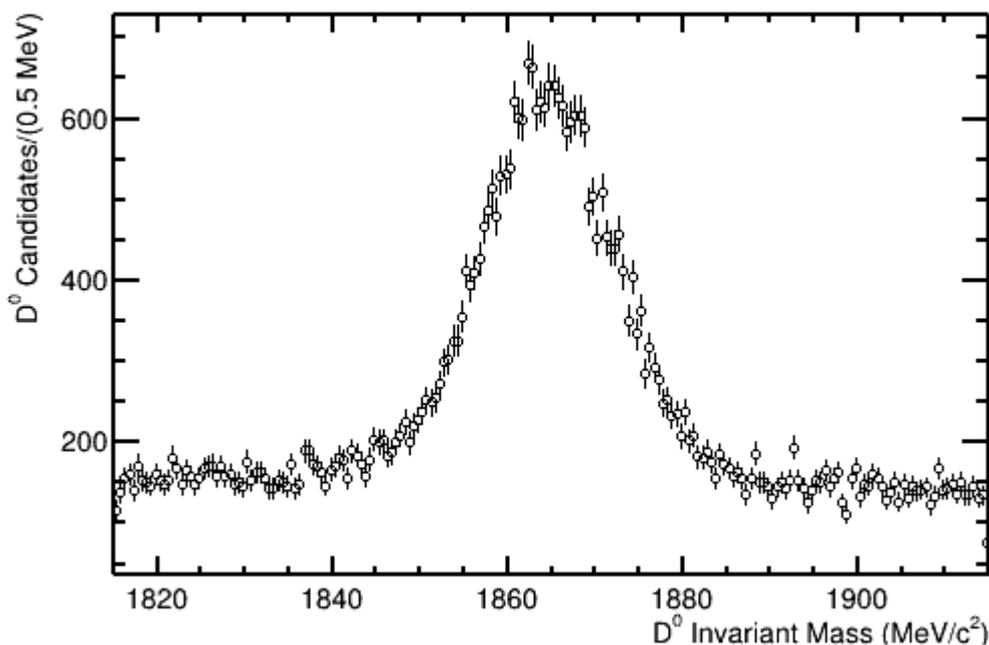
$$P_{D0} = P_K + P_\pi$$

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

$$m_{D^0} = 2P_K \times 2P_\pi \times \cos(\theta) \quad \text{dove } \theta \text{ è l'angolo tra } K^+ \text{ e } \pi^-$$



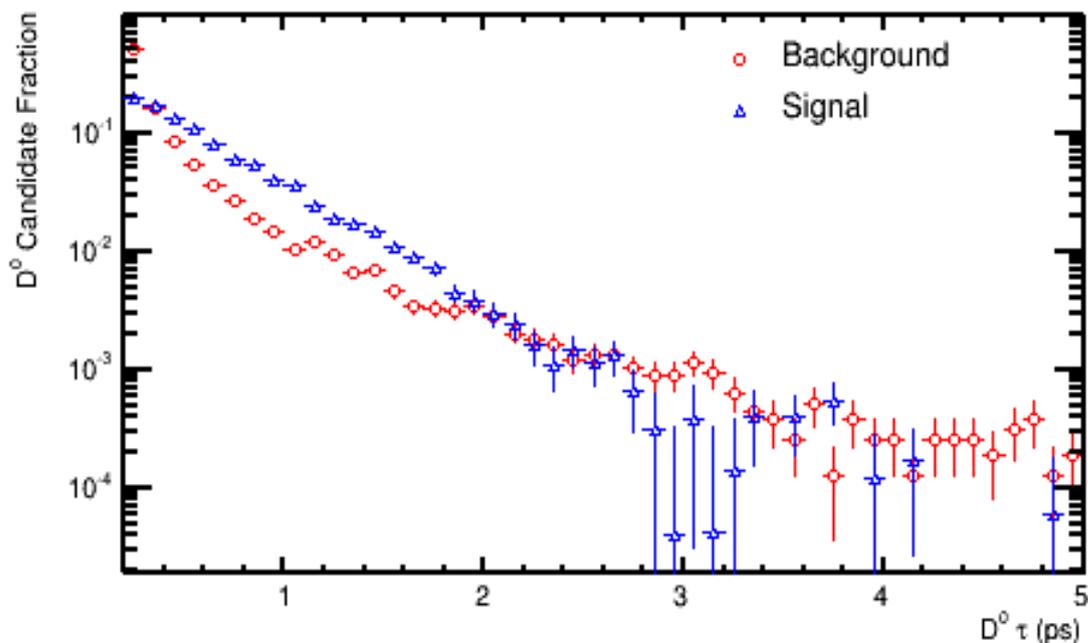
$$m(D_0) = (1864.84 \pm 0.17) \text{ MeV}/c^2$$

Valore che dovrete misurare!

Il D^0 è una particella instabile, e dopo un certo tempo, decade in K^+ e π^- secondo una legge di tipo esponenziale:

$$f(t) = \exp(-t/\gamma \tau)$$

τ è detta “vita media” della particella.

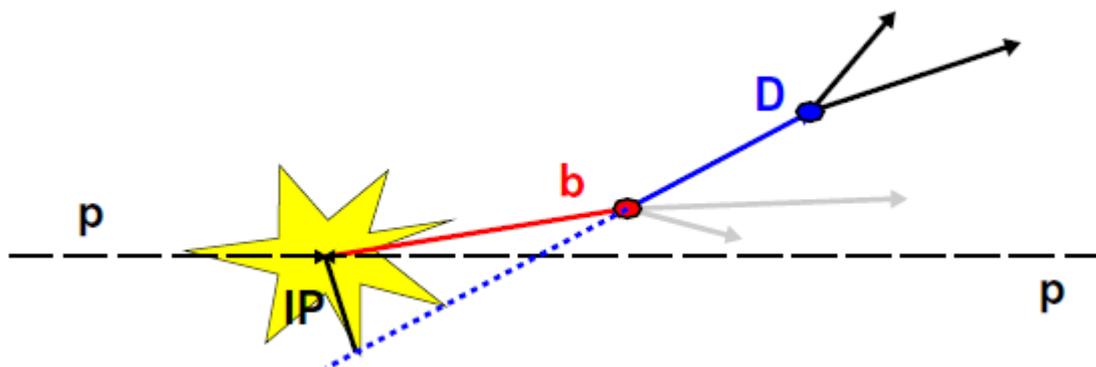


$$\tau (D_0) = (410 \pm 1.5) \times 10^{-15} \text{ s}$$

Valore che dovrete misurare!

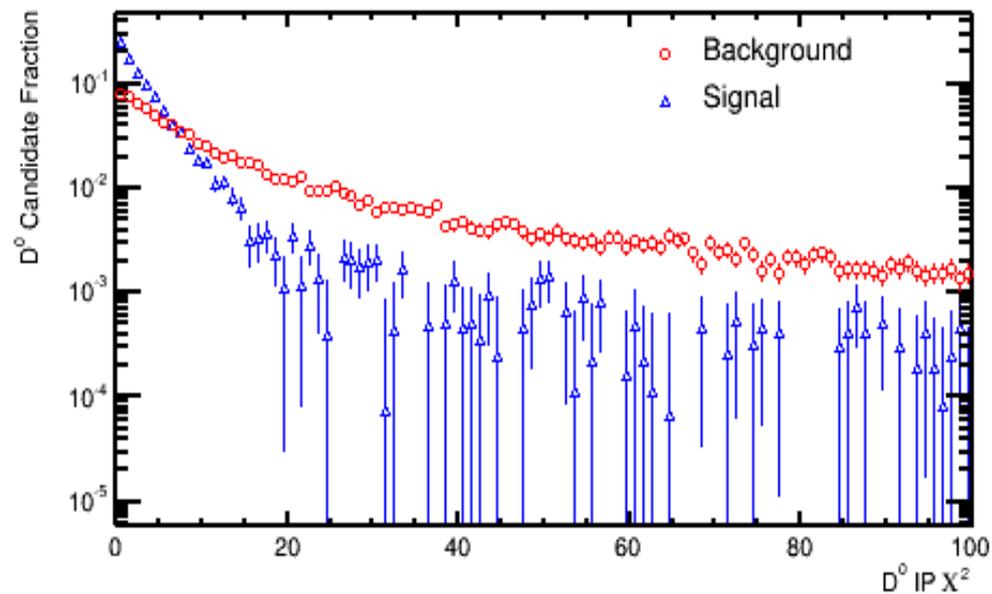
Il parametro d'impatto

Distanza tra la traiettoria della particella e il vertice primario di interazione.



Particelle con vita media lunga, come il B in figura, hanno grande parametro d'impatto.

Minore il parametro d'impatto, più probabile che la particella provenga dal vertice primario.



La schermata iniziale

Browser File Edit View Options Tools Help

Student | Invariant Mass Distribution

Plot D0 mass

Apply cuts and plot distributions

Plot D0 lifetime vs. IPCHI2 cut

Mass Fit

Bkg range: 1815.0 1915.0

Sig range: 1815.0 1915.0

Fit mass distribution

Time Fit

Fit signal decay time

Variable ranges

D0 PT : 2.5 10.0

D0 TAU : 0.2 5.0

D0 IPCHI2 : 0 100

Save results

IPCHI2 Cut	Fit Result	Fit Error
0	0.0000	0.0000

Save result of fit

Save Canvas

Filename

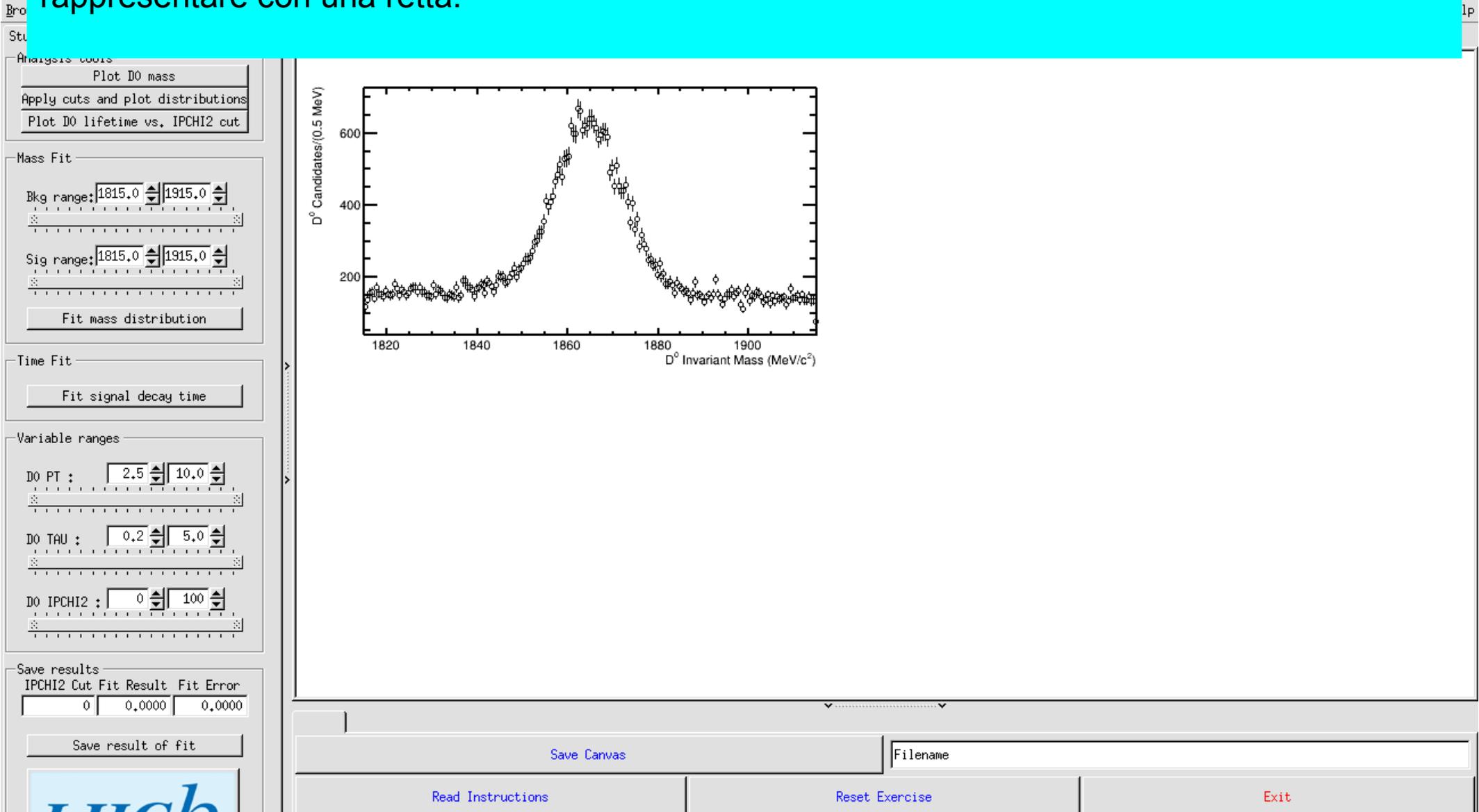
Read Instructions

Reset Exercise

Exit

1 Costruiamo l'istogramma della massa del D^0

Per gli eventi di segnale la massa ha valori più frequenti in corrispondenza del valore vero, da cui il picco, che possiamo rappresentare con la funzione gaussiana.
Per gli eventi di fondo invece, che derivano da combinazioni qualsiasi di tracce dell'evento, la massa può assumere qualsiasi valore, da cui la distribuzione piatta, che possiamo rappresentare con una retta.



Per gli eventi di segnale la massa ha valori più frequenti in corrispondenza del valore vero, da cui il picco, che possiamo rappresentare con la funzione gaussiana.
 Per gli eventi di fondo invece, che derivano da combinazioni qualsiasi di tracce dell'evento, la massa può assumere qualsiasi valore, da cui la distribuzione piatta, che possiamo rappresentare con una retta.

Analysis tools

Plot D0 mass
 Apply cuts and plot distributions
 Plot D0 lifetime vs. IPCHI2 cut

Mass Fit

Bkg range: 1815.0 1915.0

Sig range: 1815.0 1915.0

Fit mass distribution

Time Fit

Fit signal decay time

Variable ranges

D0 PT : 2.5 10.0

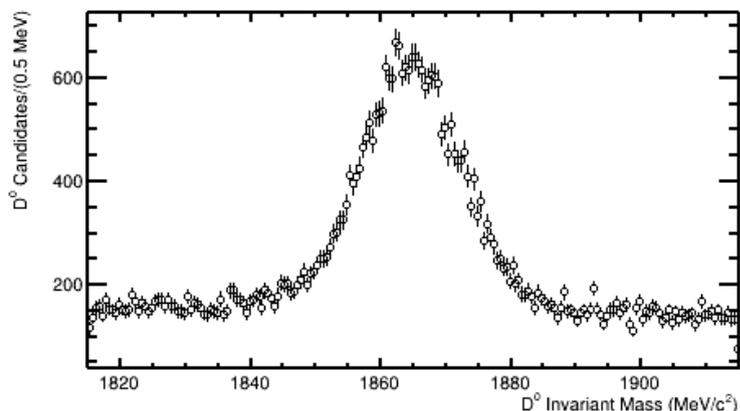
D0 TAU : 0.2 5.0

D0 IPCHI2 : 0 100

Save results

IPCHI2 Cut	Fit Result	Fit Error
0	0.0000	0.0000

Save result of fit



Come facciamo ad avere una stima di quanti eventi di segnale e fondo sono presenti nel campione? Fittiamo la distribuzione della massa con due funzioni, una che rappresenta **il segnale (gaussiana)** e una **il fondo (retta)**. Nel fit il numero di eventi di segnale e fondo vengono lasciati liberi: la combinazione che meglio approssima la distribuzione è il risultato del fit. Inoltre il valor medio della gaussiana ci darà una stima della massa.

Save Canvas

Filename

Read Instructions

Reset Exercise

Exit

Per gli eventi di segnale la massa ha valori più frequenti in corrispondenza del valore vero, da cui il picco, che possiamo rappresentare con la funzione gaussiana.
 Per gli eventi di fondo invece, che derivano da combinazioni qualsiasi di tracce dell'evento, la massa può assumere qualsiasi valore, da cui la distribuzione piatta, che possiamo rappresentare con una retta.

Analysis tools

Plot D0 mass

Apply cuts and plot distributions

Plot D0 lifetime vs. IPCHI2 cut

Mass Fit

Bkg range: 1815.0 1915.0

Sig range: 1815.0 1915.0

Fit mass distribution

Time Fit

Fit signal decay time

Variable ranges

D0 PT : 2.5 10.0

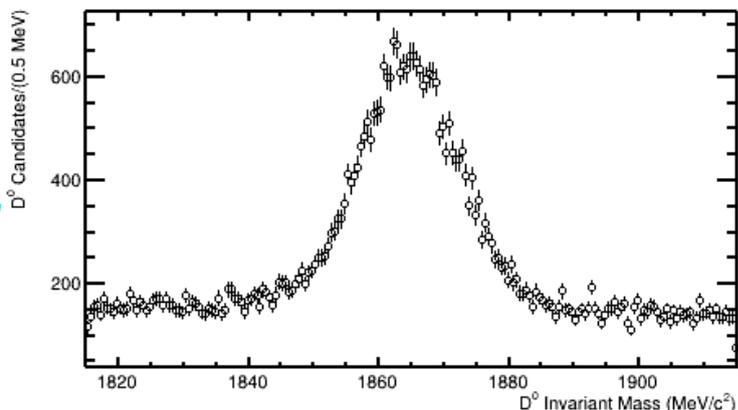
D0 TAU : 0.2 5.0

D0 IPCHI2 : 0 100

Save results

IPCHI2 Cut	Fit result	Fit Error
0	0.0000	0.0000

Save result of fit



Come facciamo ad avere una stima di quanti eventi di segnale e fondo sono presenti nel campione? Fittiamo la distribuzione della massa con due funzioni, una che rappresenta il **segnale (gaussiana)** e una il **fondo (retta)**. Nel fit il numero di eventi di segnale e fondo vengono lasciati liberi: la combinazione che meglio approssima la distribuzione è il risultato del fit. Inoltre il valor medio della gaussiana ci darà una stima della massa.

- 2 Scegliamo gli intervalli più ragionevoli per il segnale e il fondo.
- 3 Facciamo il fit della distribuzione di massa



Student

Analysis tools

Mass Fit
 Bkg range:
 Sig range:

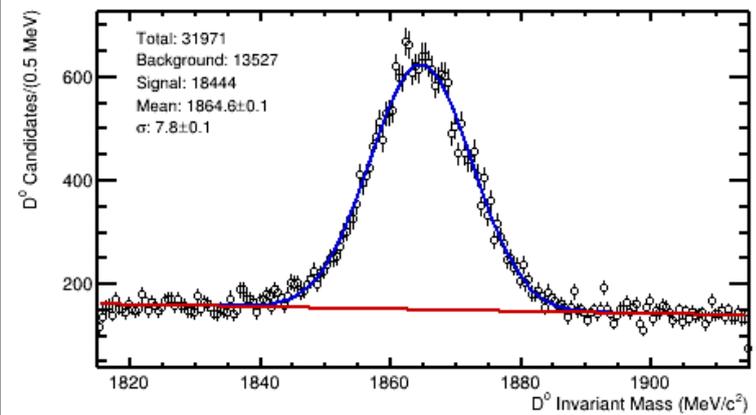
Time Fit

Variable ranges
 D0 PT :
 D0 TAU :
 D0 IPCHI2 :

Save results

IPCHI2 Cut	Fit Result	Fit Error
0	0,0000	0,0000

Invariant Mass Distribution



BLU = segnale
ROSSO = fondo

Dopo il fit abbiamo a disposizione i seguenti numeri:

- Numero di eventi totali
- Numero di eventi di segnale e fondo stimati dal fit
- Valor medio della gaussiana (stima della massa del D^0)
- Sigma della gaussiana (stima dell'incertezza sulla misura)



Student

Analysis tools

Plot D0 mass

Apply cuts and plot distributions

Plot D0 lifetime vs. IPCHI2 cut

Mass Fit

Bkg range: 1815.0 1915.0

Sig range: 1840.3 1885.1

Fit mass distribution

Time Fit

Fit signal decay time

Variable ranges

D0 PT : 2.5 10.0

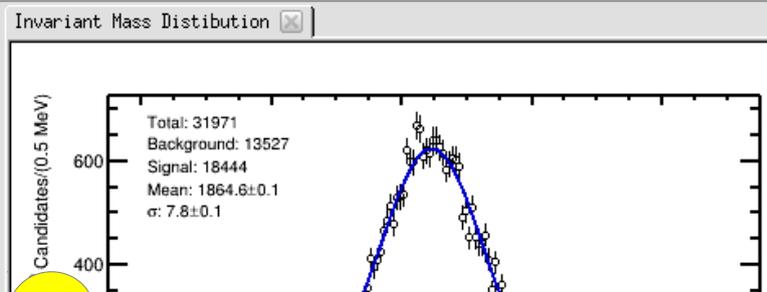
D0 TAU : 0.2 5.0

D0 IPCHI2 : 0 100

Save results

IPCHI2 Cut	Fit Result	Fit Error
0	0.0000	0.0000

Save result of fit



BLU = segnale
ROSSO = fondo

4

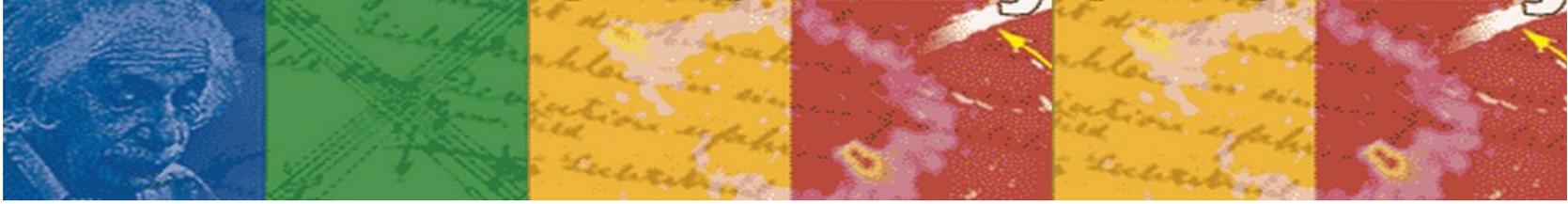
CHE SIGNIFICATIVITA' DEL SEGNALE AVETE OTTENUTO? $S/\sqrt{(S+F)}$

CHE VALORE DI MASSA AVETE OTTENUTO? E' COMPATIBILE CON QUELLO CHE VI ASPETTATE (pag.18)?

$$\frac{| \text{Valore misurato} - \text{Valore atteso} |}{\sqrt{(\text{errore sul valore misurato}^2 + \text{errore sul valore atteso}^2)}}$$

Se questo valore è < 1 la vostra misura è compatibile con il valore atteso.

Segnate su un foglio i risultati del fit, la significatività è il livello di compatibilità ottenuti.



5 Rappresentiamo le altre variabili (momento, vita media, parametro di impatto)

Browser Eye File Edit View Options Tools Help

Student | Invariant Mass Distribution

Analysis tools
 Plot m_{inv}
 Apply cuts and plot distributions
 Plot D^0 lifetime vs. IPCHI2 cut

Mass Fit
 Bkg range: 1815.0 1915.0
 Sig range: 1841.4 1890.9

Time Fit

Variable ranges
 D^0 PT : 2.5 10.0
 D^0 TAU : 0.2 5.0
 D^0 IPCHI2 : 0 100

Save results
 IPCHI2 Cut Fit Result Fit Error
 0 0.0000 0.0000

D^0 Candidates/(0.5 MeV)

Total: 33376
 Background: 14872
 Signal: 18504
 Mean: 1864.6 ± 0.1
 σ : 7.8 ± 0.1

D^0 Invariant Mass (MeV/c^2)

D^0 Candidate Fraction

Background (red circles)
 Signal (blue triangles)

$D^0 P_T$ (GeV/c^2)

D^0 Candidate Fraction

Background (red circles)
 Signal (blue triangles)

$D^0 \tau$ (ps)

D^0 Candidate Fraction

Background (red circles)
 Signal (blue triangles)

D^0 IPX²



6 Cerchiamo di eliminare il fondo facendo dei “tagli” su momento e vita media **NON** cambiate i tagli sul parametro di impatto per ora!

Browser Eye File Edit View Options Tools
Help

Student |

Analysis tools

Plot D0 mass

Apply cuts and plot distributions

Plot D0 lifetime vs. IPCHI2 cut

Mass Fit

Bkg range: 1815.0 1915.0

Sig range: 1841.0 1890.9

Fit mass distribution

Time Fit

Fit signal decay time

Variable ranges

D0 PT : 2.5 10.0

D0 TAU : 0.2 5.0

D0 IPCHI2 : 0 100

Save results

IPCHI2 Cut	Fit Result	Fit Error
0	0.0000	0.0000

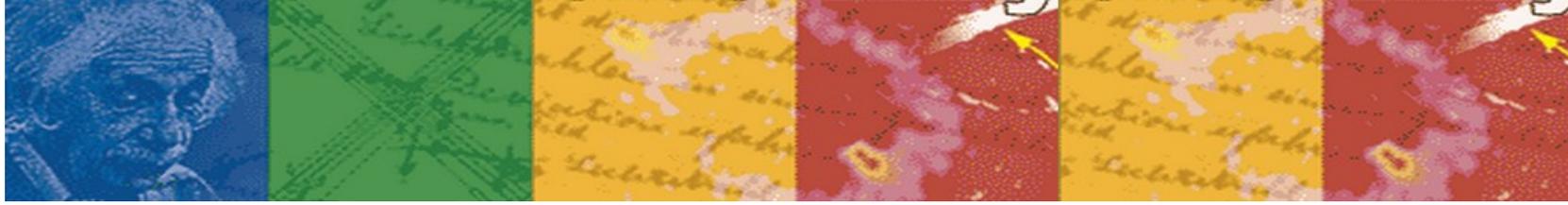
Save result of fit

Invariant Mass Distribution

7 Per ogni insieme di tagli che proviamo :

- Vediamo come variano le distribuzioni delle variabili (5)
- Fittiamo la massa del D⁰ (3)
- Calcoliamo e scriviamo la significatività del segnale e compatibilità con il valore atteso (4): *COME VARIANO QUESTI VALORI?*

Read Instructions
Reset Exercise
Exit



Browser | File | Edit | View | Options | Tools

Student |

Analysis tools

Plot D0 mass

Apply cuts and plot distributions

Plot D0 lifetime vs. IPCHI2 cut

Mass Fit

Bkg range: 1815.0 1915.0

Sig range: 1841.4 1890.9

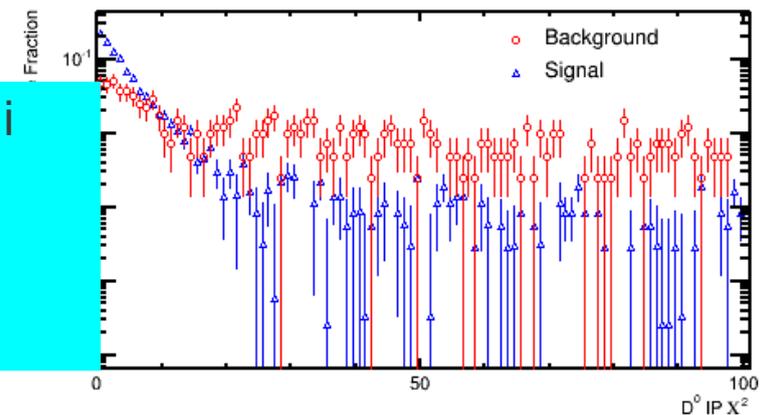
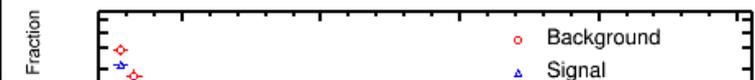
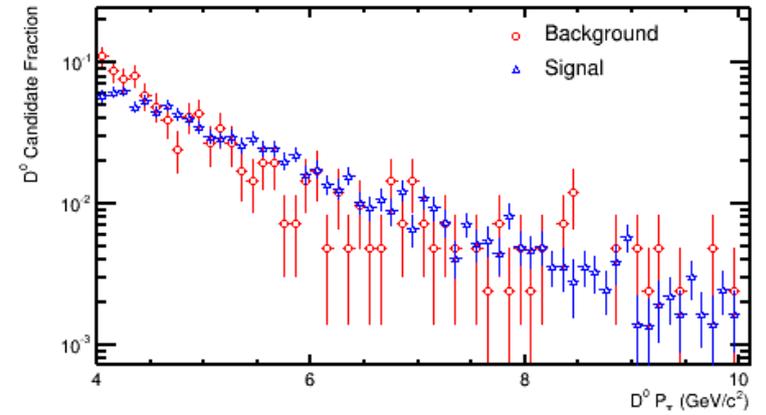
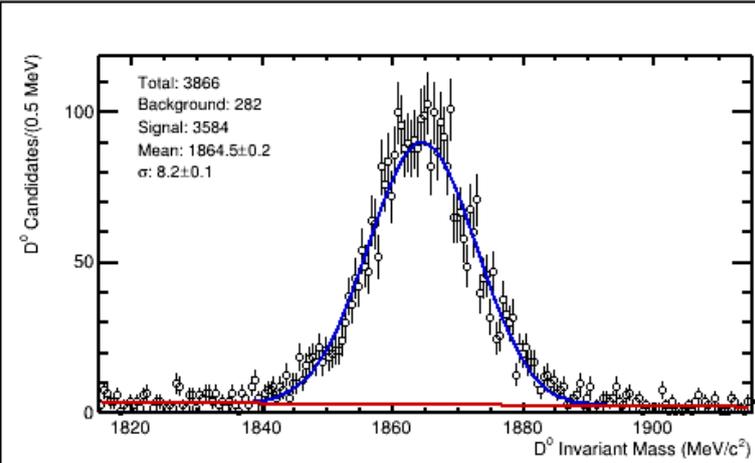
Fit mass distribution

Time Fit

Fit signal decay time

Variable ranges

Invariant Mass Distribution



Save results

IPCHI2 Cut	Fit Result	Fit Error
0	0,0000	0,0000

Save result of fit

Save Canvas

Filename

read instructions

reset Exercise

EXIT

8 Quando siete soddisfatti (QUANDO?), SALVATE tutti i grafici

- Chiamate il : PCXX_INTERMEDIO (XX = numero del vostro PC)
- Premete Save Canvas



9

Ora facciamo il fit sulla distribuzione della vita media delle particelle selezionate come segnale, per avere una stima della vita media della particella D^0 .

CHE VALORE AVETE OTTENUTO? E' COMPATIBILE CON QUELLO CHE VI ASPETTATE (pag.19)?

Calcolate e segnate su un foglio il valore di compatibilità.

Browser File Edit Options Tools Help

Student |

Analysis tools
Plot D0 ma
Apply cuts and plot c
Plot D0 lifetime vs.

Mass Fit
Bkg range: 1815.0
Sig range: 1841.4
Fit mass distribution

Time Fit
Fit signal decay time

Variable ranges

Save results
IPCHI2 Cut Fit Result Fit Error
100 0.4143 0.0074
Save result of fit

Save Canvas
Filename
Read Instructions Reset Exercise Exit

0 1820 1840 1860 1880 1900
 D^0 Invariant Mass (MeV/c^2)

10^{-3}
4 6 8 10
 $D^0 P_+$ (GeV/c^2)

10^3
 10^2
10
1
 D^0 Candidate Fraction
 D^0 lifetime 0.4143 ± 0.0074 (ps)
1 2 3 4 5
 D^0 IP X^2

○ Background
△ Signal

0 50 100
 D^0 IP X^2

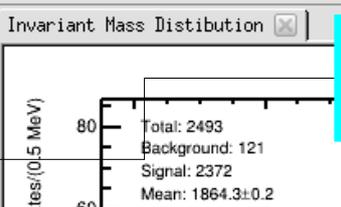
10

Dopo il fit, memorizziamo il risultato



Browser File Edit View Options Tools

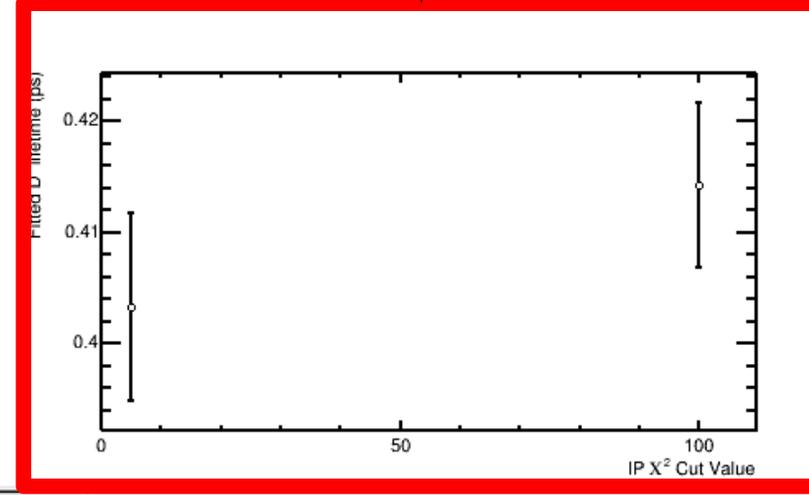
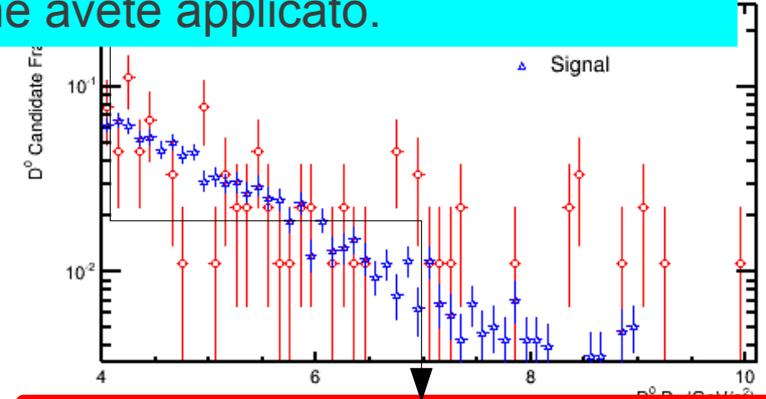
Student
 Analysis tools
 Plot D0 mass
 Apply cuts and plot distributions
 Plot D0 lifetime vs. IPCHI2 cut



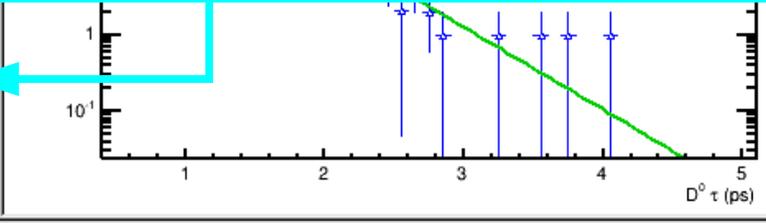
12 Alla fine fate il grafico dei valori di vita media ottenuti in funzione del taglio che avete applicato.

11 Ripetiamo tutti i passi almeno 10 volte, agendo SOLO sul parametro di impatto (scegliete voi di quanto cambiare il taglio ad ogni misura):

- Variare il taglio sul parametro d'impatto
- Applicare i tagli
- Rappresentare e fittare la massa (Calcolare significatività e compatibilità con il valore atteso)
- Fit della vita media (calcolare compatibilità con il valore atteso)
- Salvare il risultato del fit



D0 IPCHI2 : 0 5



IPCHI2 Cut	Fit Result	Fit Error
5	0.4033	0.0085

Save result of fit



Browser File Edit View Options Tools Help

Student

Analysis tools

- Plot D0 mass
- Apply cuts and plot distributions
- Plot D0 lifetime vs. IPCHI2 cut

Mass Fit

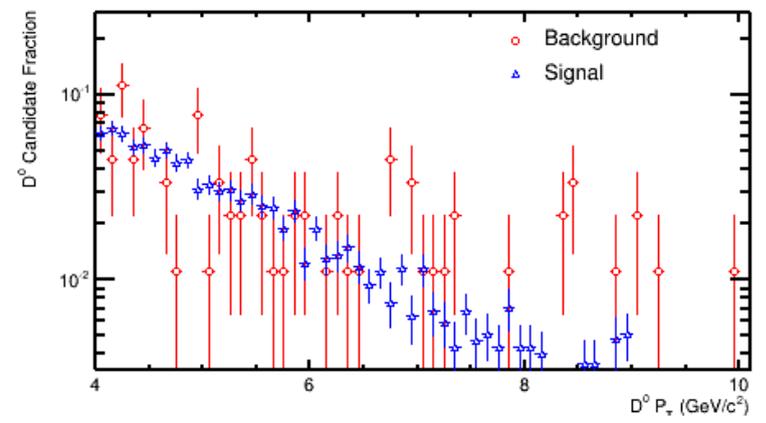
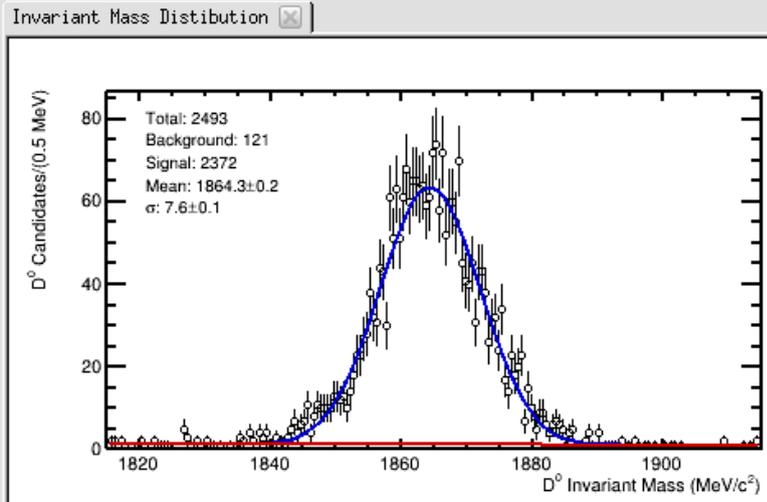
Bkg range: 1815.0 1915.0

Sig range: 1841.4 1890.9

Fit mass distribution

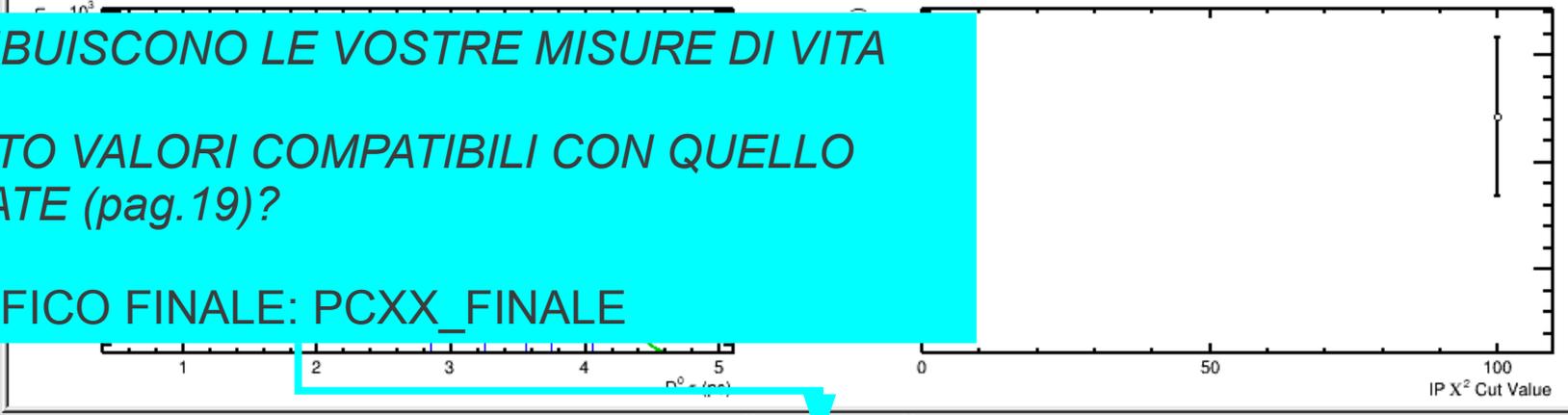
Time Fit

Fit signal decay time



**COME SI DISTRIBUISCONO LE VOSTRE MISURE DI VITA MEDIA?
AVETE OTTENUTO VALORI COMPATIBILI CON QUELLO CHE VI ASPETTATE (pag.19)?**

SALVATE IL GRAFICO FINALE: PCXX_FINALE



Save results

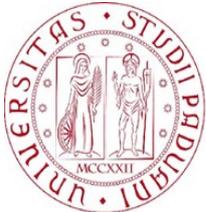
IPCHI2 Cut	Fit Result	Fit Error
5	0.4033	0.0085

Save result of fit

Save Canvas

Filename

Read Instructions Reset Exercise Exit



Browser Evt File Edit View Options Tools Help

Student | Invariant Mass Distribution

Analysis tools

- Plot D0 mass
- Apply cuts and plot distributions
- Plot D0 lifetime vs. IPCHI2 cut

Mass Fit

Bkg range: 1815.0 1915.0

Sig range: 1815.0 1915.0

Fit mass distribution

Time Fit

Fit signal decay time

Variable ranges

D0 PT : 2.5 10.0

D0 TAU : 0.2 5.0

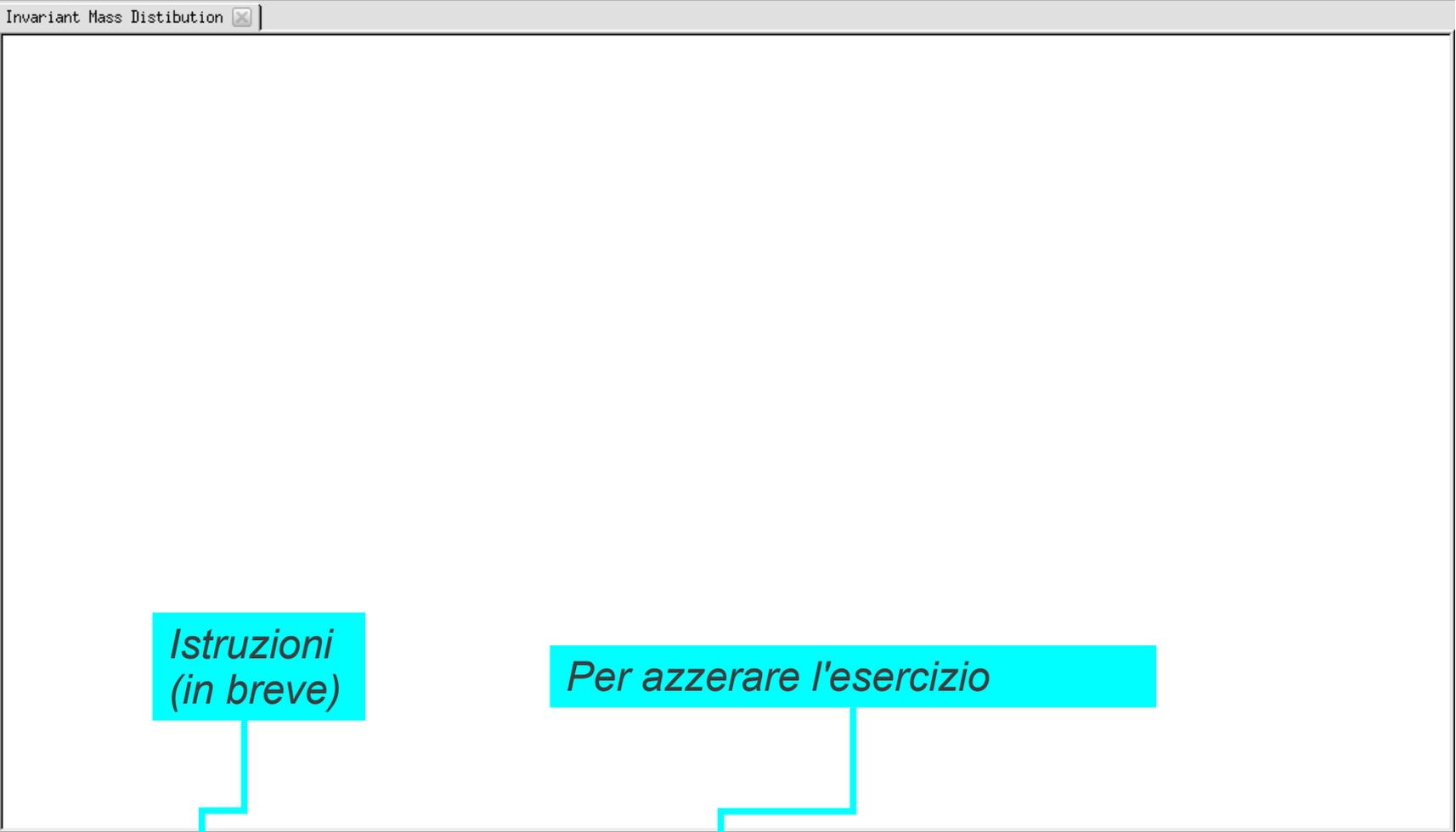
D0 IPCHI2 : 0 100

Save results

IPCHI2 Cut	Fit Result	Fit Error
0	0.0000	0.0000

Save result of fit

uch



*Istruzioni
(in breve)*

Per azzerare l'esercizio

Save Canvas Filename

Read Instructions Reset Exercise Exit