

Fisici del CERN per un giorno

LHCb Masterclass - Pisa

Domenico Riccardi

domenico.riccardi@cern.ch

INFN Pisa, 18/03/2024

Cosa faremo?



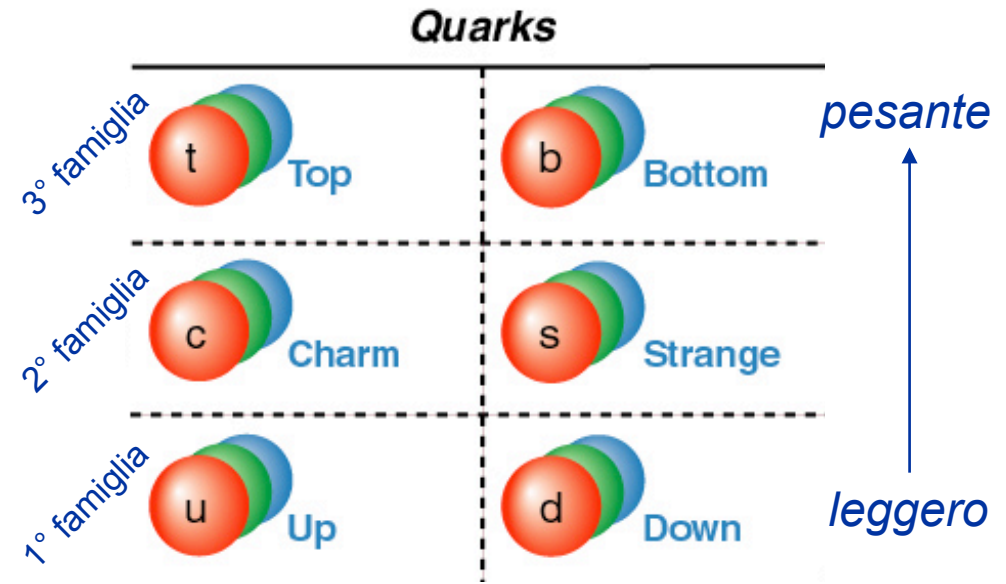
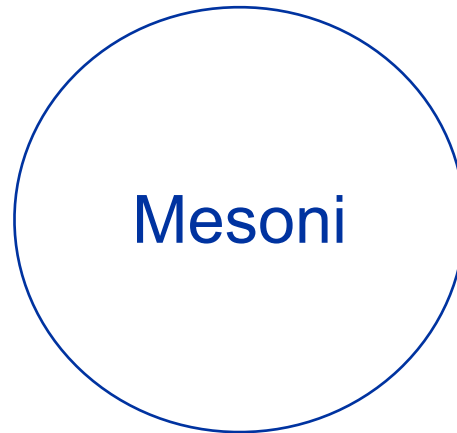
- **Esercizio 1:**
 - Cercheremo una particella chiamata **mesone D^0**
- **Esercizio 2:**
 - Misureremo la vita media di questa particella
- **Concetti necessari:**
 - Cos'è e di cosa è *fatto* un mesone D^0
 - Cos'è la vita media di una particella
 - Come si può misurare questa grandezza

Questa presentazione si ispira ad alcune già realizzate per altre LHCb Masterclass [[1](#), [2](#), [3](#)].

Introduzione: Il mesone D^0

Come visto nella prima presentazione di questa mattina:

- Esistono 3 famiglie di quark che si possono *combinare* assieme per formare barioni e mesoni



I nostri mattoncini fondamentali

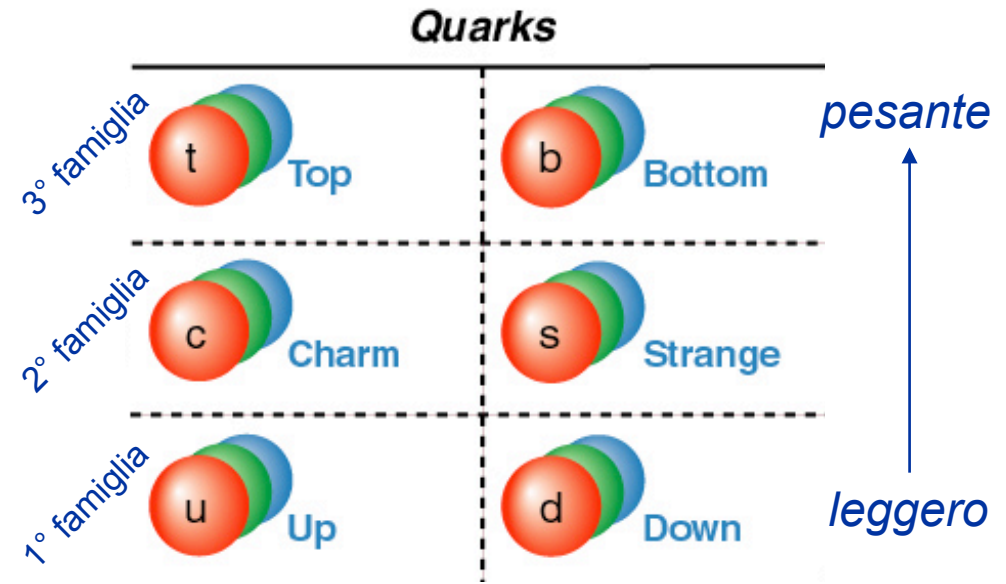


shutterstock.com · 1464857450

Introduzione: Il mesone D^0

Come visto nella prima presentazione di questa mattina:

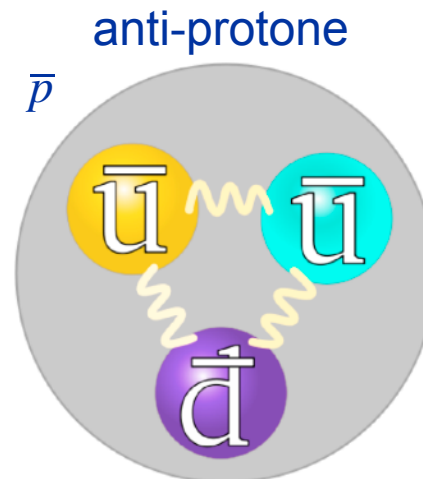
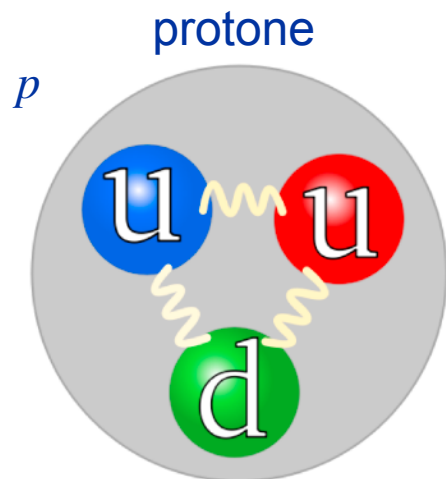
- Esistono 3 famiglie di quark che si possono *combinare* assieme per formare barioni e mesoni
- I **barioni** sono particelle composte da 3 quark o 3 anti-quark



I nostri mattoncini fondamentali

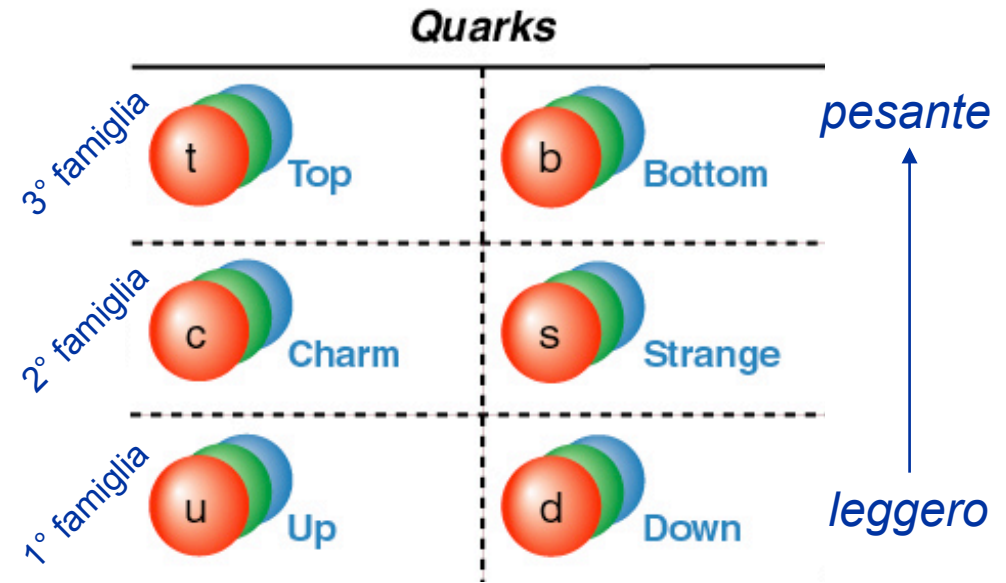
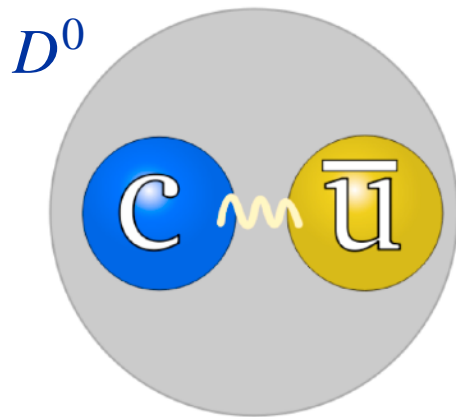


shutterstock.com · 1464857450



Introduzione: Il mesone D^0

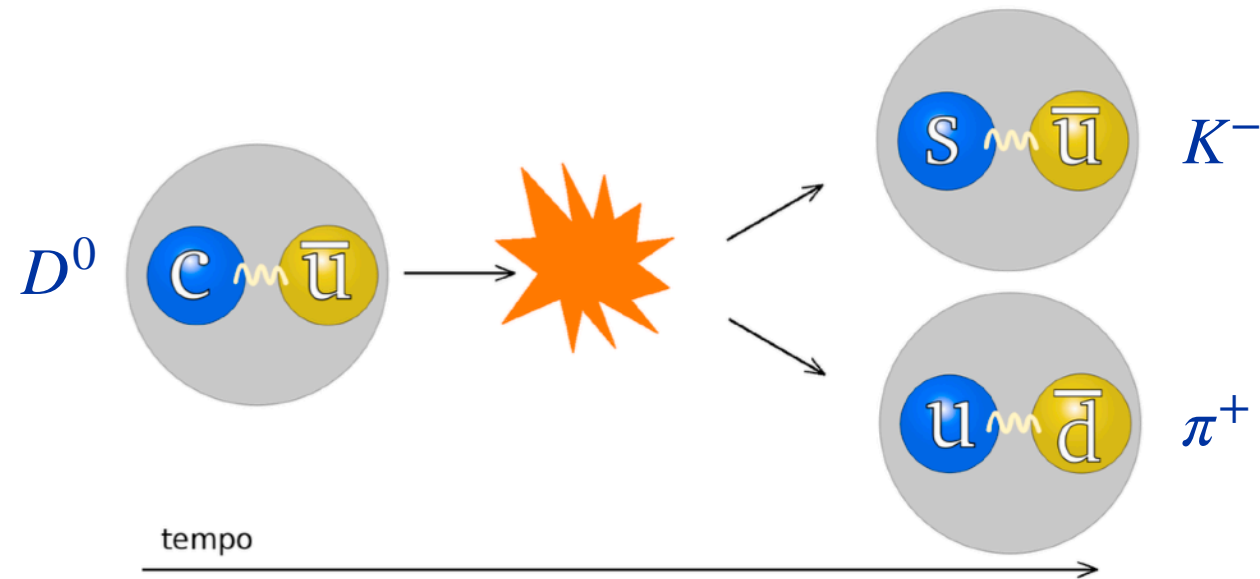
- I **mesoni** sono particelle composte da 1 quark e 1 anti-quark
- Il **mesone D^0** è una di queste, formato da un quark c e un anti-quark \bar{u}



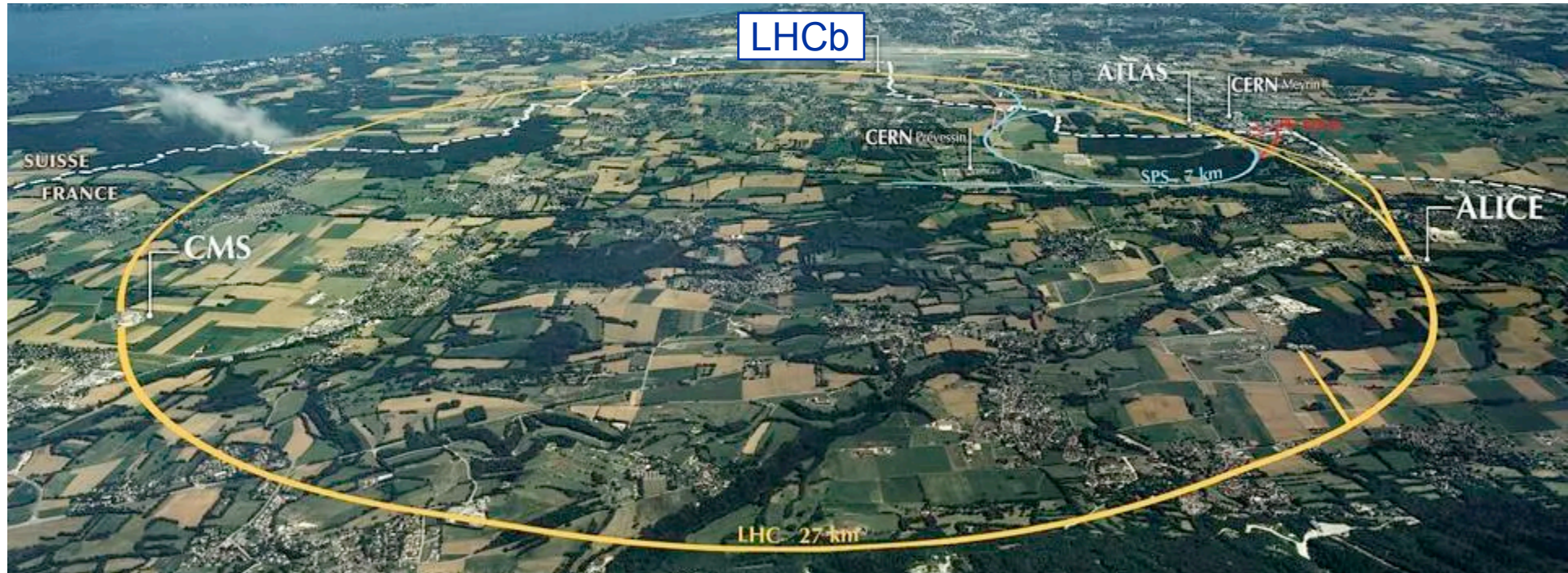
- Il D^0 è **instabile** e quindi **decade** (*si trasforma*) in particelle più leggere
- Il tempo medio che passa da quando un D^0 viene prodotto a quando decade è la **vita media**

La vita media del D^0

- Noi misureremo la vita media del mesone D^0
- Poiché decade molto in fretta, l'unico modo di rivelarlo è andare a caccia dei suoi prodotti di decadimento
- Oggi cercheremo un **decadimento molto frequente** che è quello in un mesone K^- (kaone) e un mesone π^+ (pione)



Dove prendiamo i dati da analizzare?



Useremo i dati reali raccolti dall'esperimento LHCb del CERN!

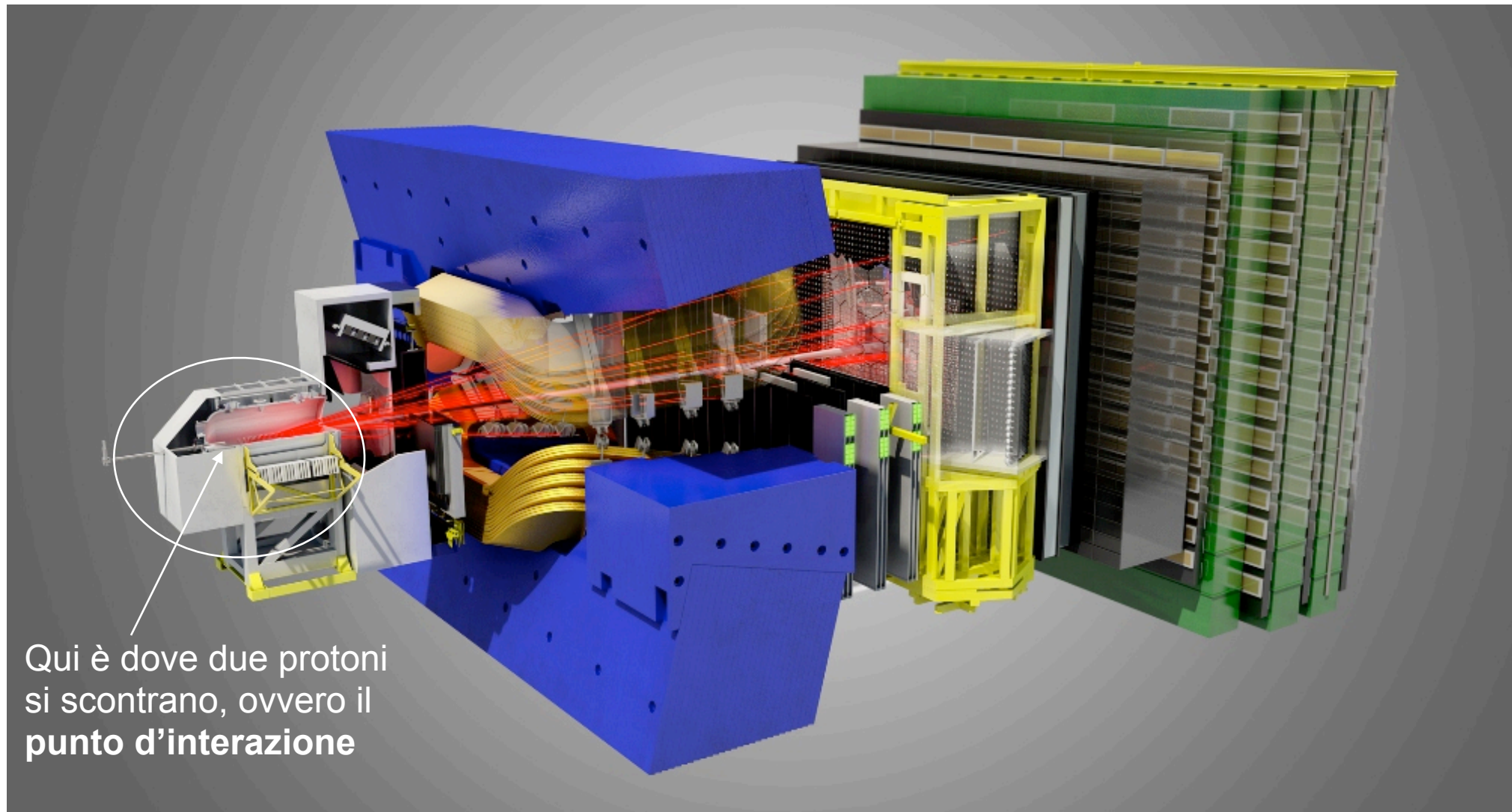
LHCb dal vivo



LHCb si trova in una caverna sotterranea a 100 metri di profondità, in corrispondenza di uno dei punti in cui i protoni vengono fatti scontrare



LHCb visto schematicamente

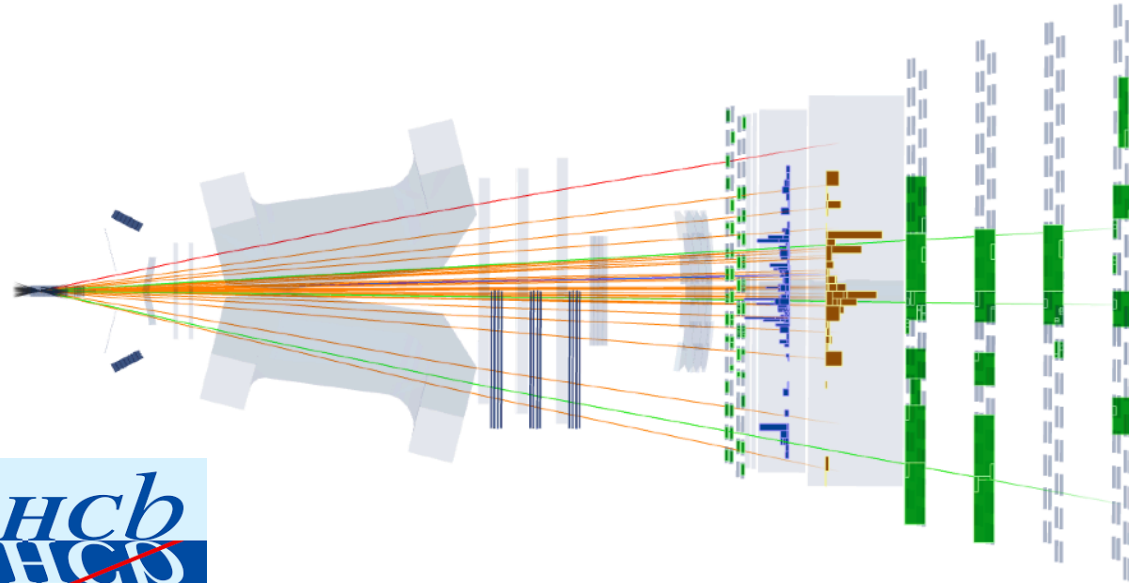


Qui è dove due protoni
si scontrano, ovvero il
punto d'interazione

Una collisione vera

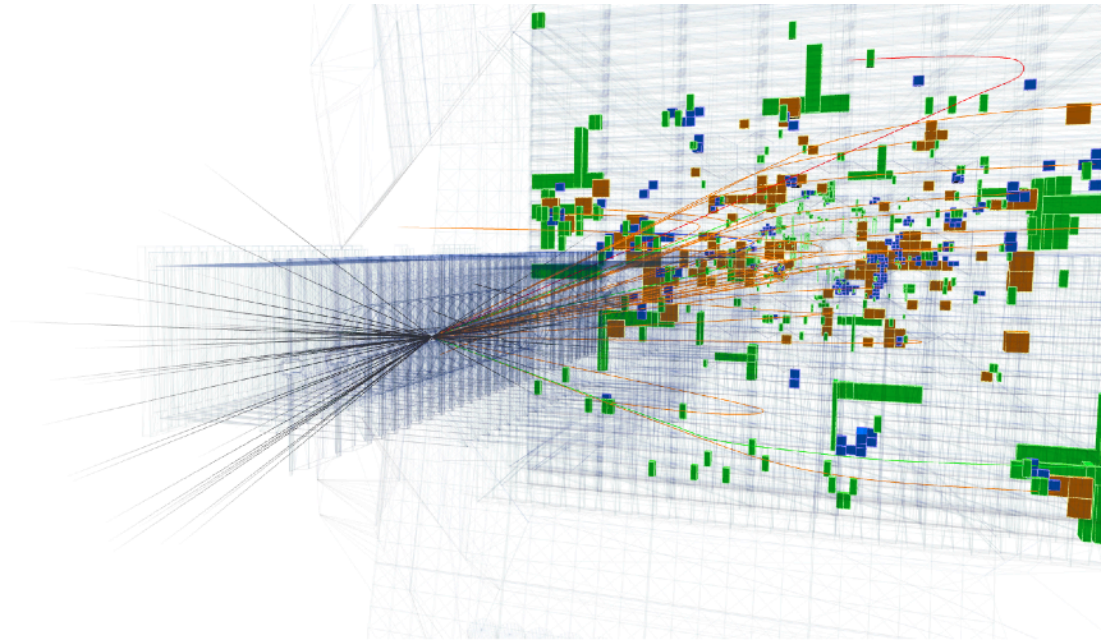
- Le collisioni vengono chiamate **eventi** e usiamo dei programmi appositi per visualizzarle

Evento visto d'alto



Event 146539692
Run 174933
Sat, 21 May 2016 05:45:41

Evento visto vicino alla regione di collisione



<https://lbggroups.cern.ch/EventDisplay/index.html>

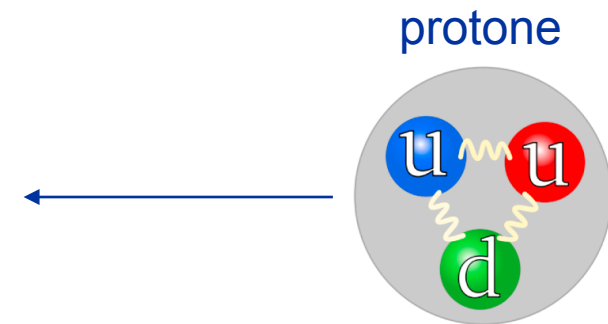
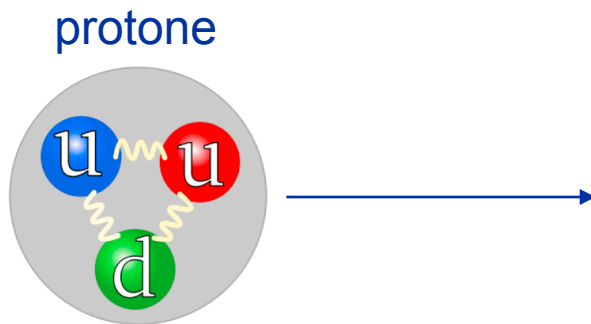
Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelare* queste particelle, quindi capiamo come vengono prodotte!
- Possiamo già intuire una maniera! Quale?



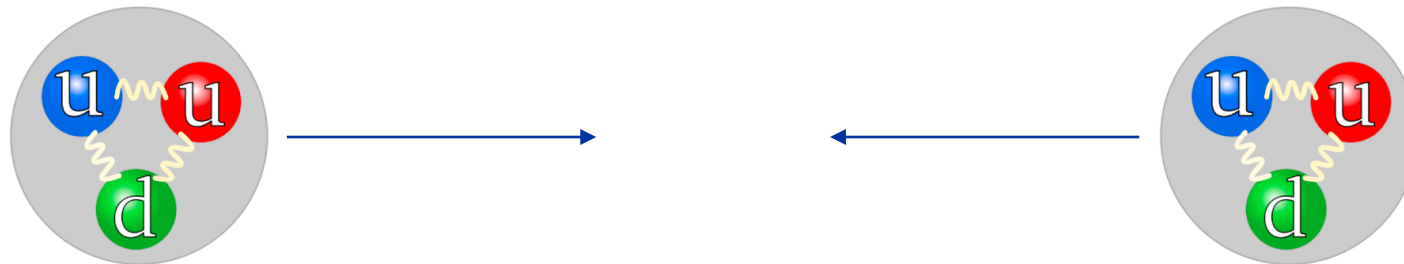
Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelare* queste particelle, quindi capiamo come vengono prodotte!
- Possiamo già intuire una maniera



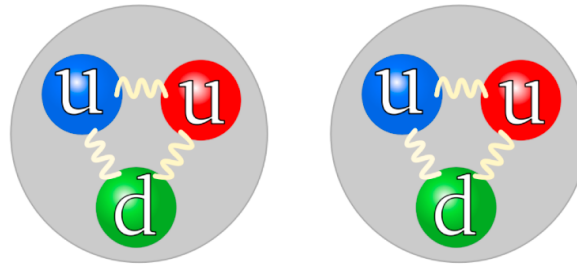
Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelare* queste particelle, quindi capiamo come vengono prodotte!
- Possiamo già intuire una maniera



Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelare* queste particelle, quindi capiamo come vengono prodotte!
- Possiamo già intuire una maniera



Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelare* queste particelle, quindi capiamo come vengono prodotte!
- Possiamo già intuire una maniera

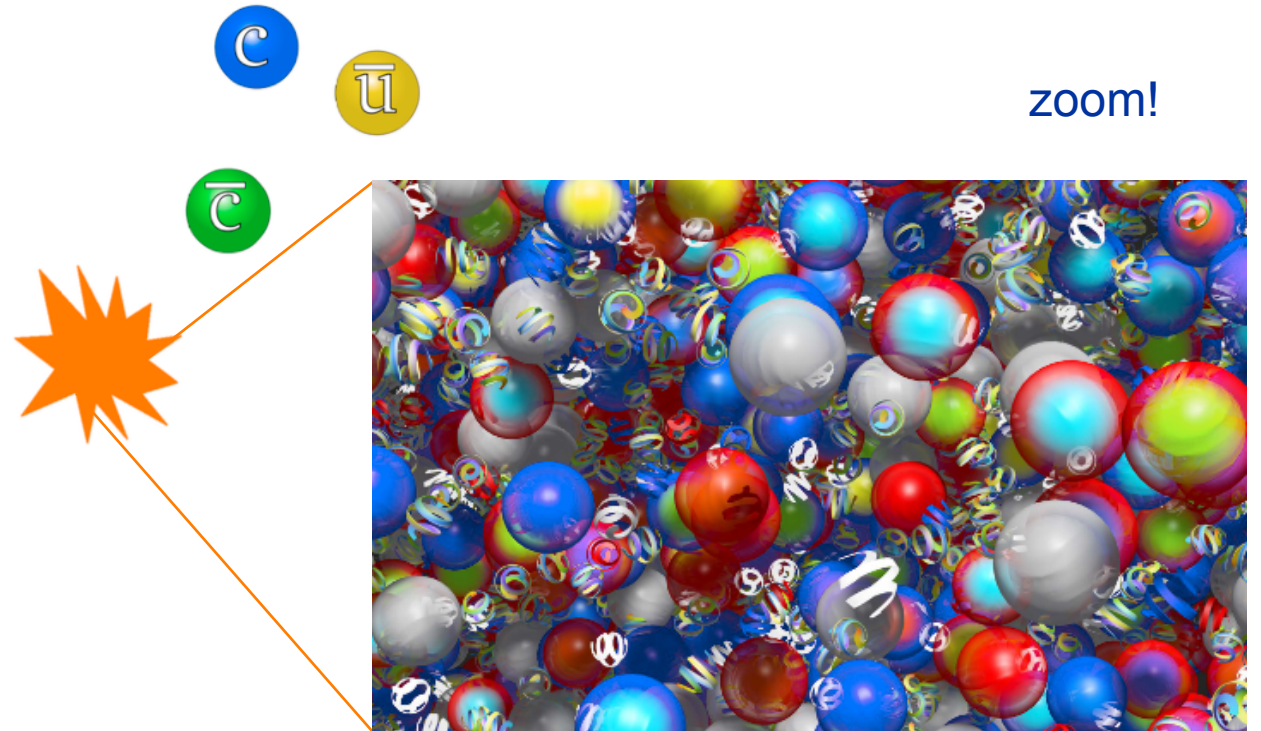
Collisione



Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelare* queste particelle, quindi capiamo come vengono prodotte!
- Possiamo già intuire una maniera

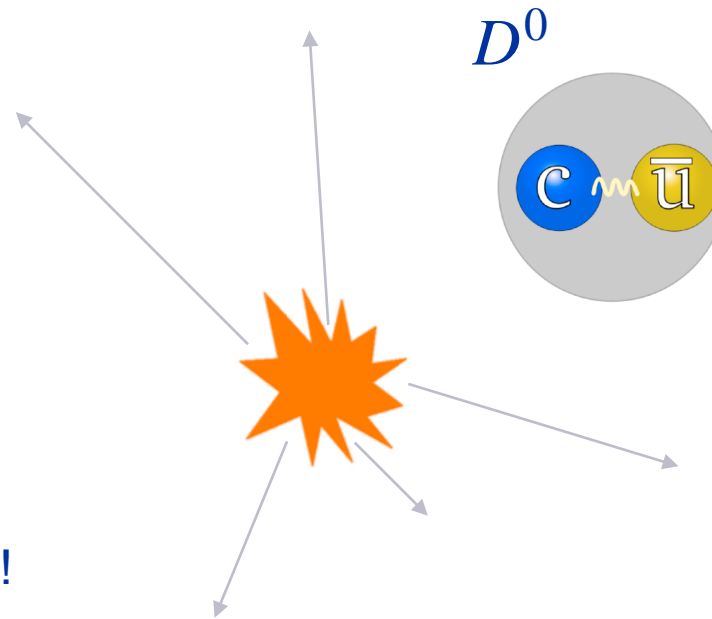
I quark che potrebbero costituire il D^0 vengono prodotti inizialmente liberi e insieme a una **miriade di altre particelle**



Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelare* queste particelle, quindi capiamo come vengono prodotte!
- Possiamo già intuire una maniera

A causa della **forza forte** i quark si legano tra loro per formare mesoni e barioni... e se siamo fortunati un D^0 !



Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelare* queste particelle, quindi capiamo come vengono prodotte!

Ma c'è anche un'altro modo in cui possono essere prodotti!



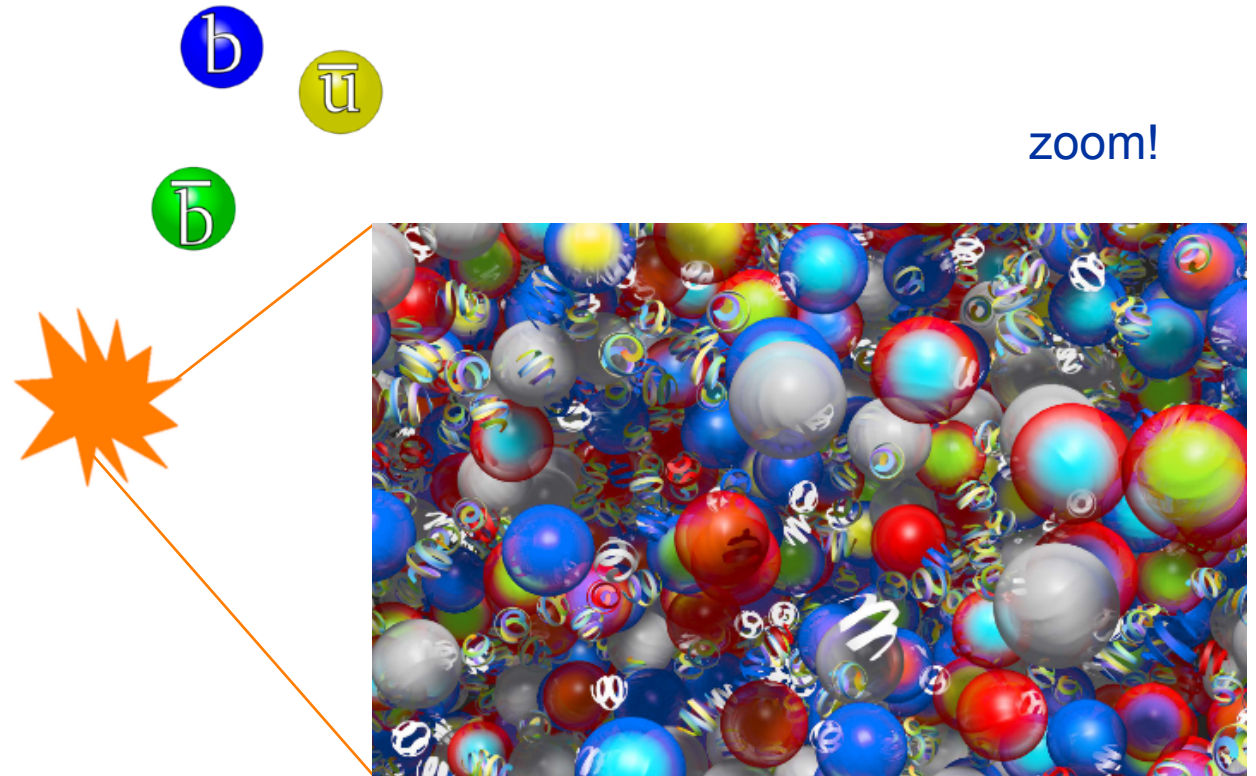
Altre idee?



Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelare* queste particelle, quindi capiamo come vengono prodotte!
- Un'altra possibile maniera:

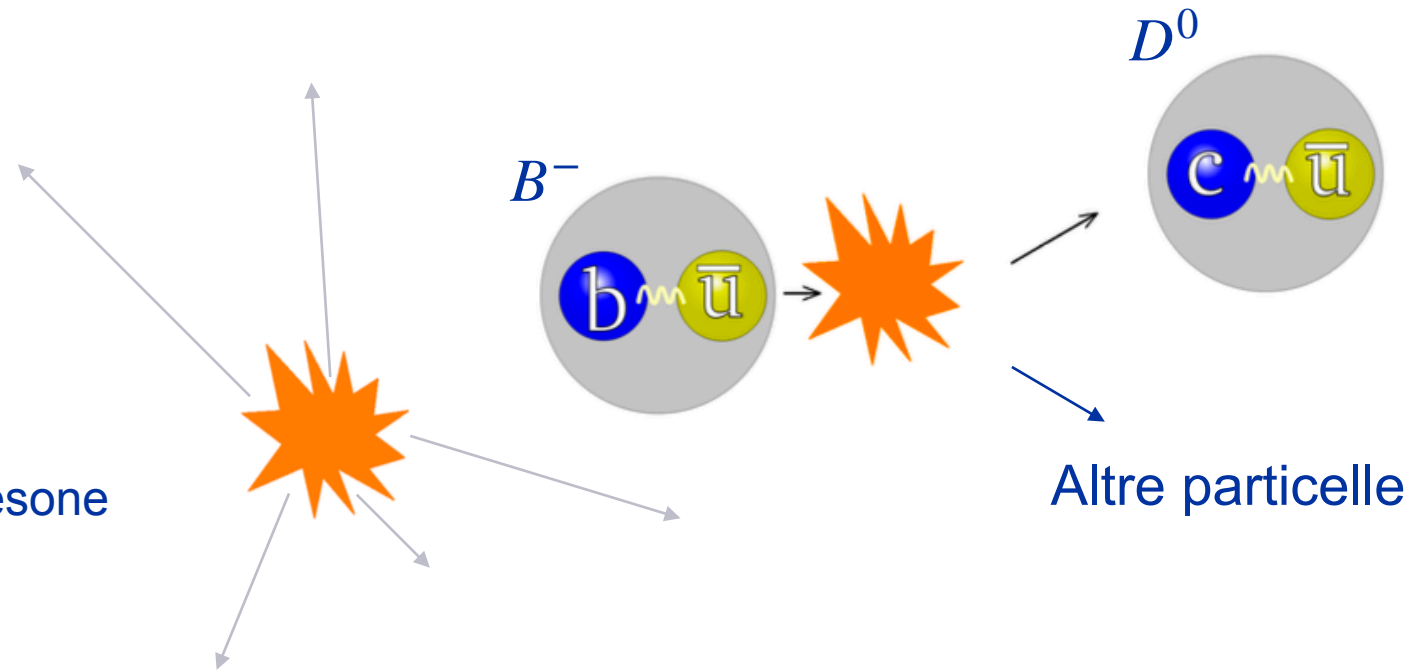
Invece di produrre quark c , possiamo produrre quark b , sempre insieme a una **miriade di altre particelle ...**



Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelare* queste particelle, quindi capiamo come vengono prodotte!
- Un'altra possibile maniera:

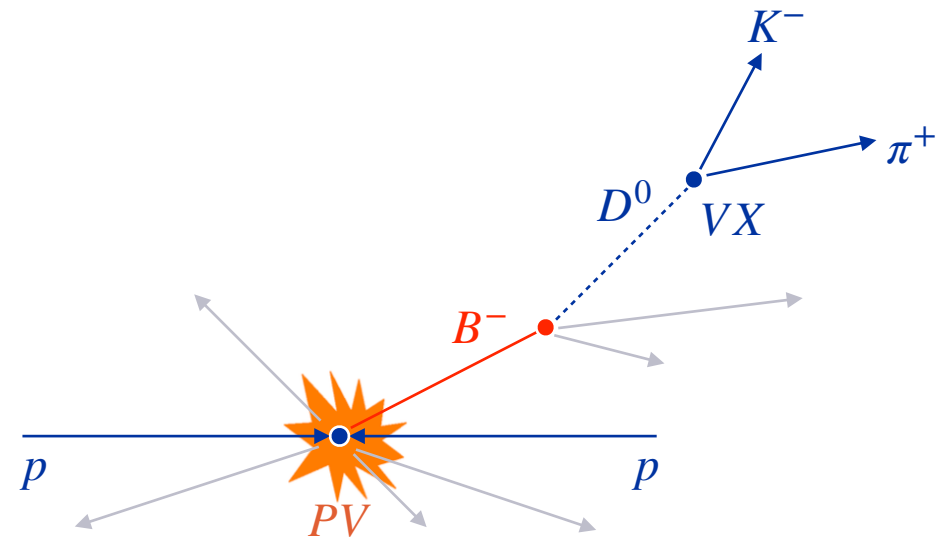
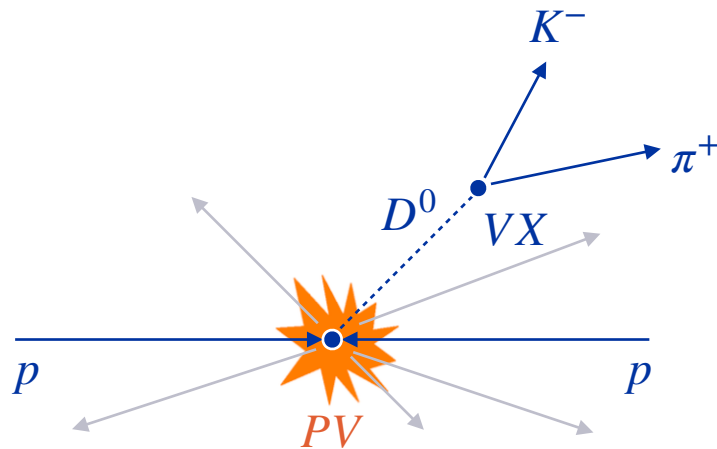
... che poi si legano a formare un mesone B^- che decade producendo un D^0 !



Sommario sulla produzione del D^0

Abbiamo visto due modi con i quali si può produrre il mesone D^0

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



PV = Primary Vertex : punto d'interazione dei due protoni

VX = VerteX: l'intersezione tra le due tracce che individua il punto in cui il D^0 decade

5 Ottobre 2023, 23:05

Pronti, ESERCIZIO 1: EVENT DISPLAY



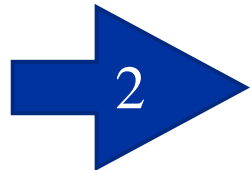
4 Ottobre 2023, 08:16



partenza,
Accendete i vostri computer!

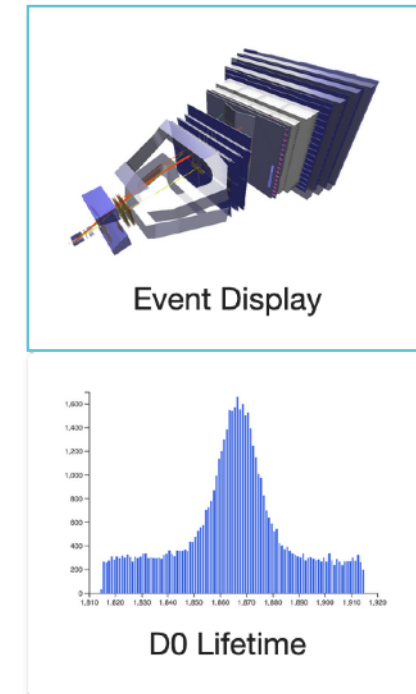
Via!

1. Collegatevi a: <https://lhcb-d0.web.cern.ch/>
2. Inserite i vostri dati e selezionate la combinazione di eventi che indicata sul bigliettino
3. Poi cliccate su Save
4. Selezionate il primo esercizio: Event Display



Firstname	Albert
Surname	Einstein
Grade	A
Combination	Combination 1

Save



Event Display Exercise

Event handler
event_1_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▾

Auto rotate

Legend

K⁻

K⁺

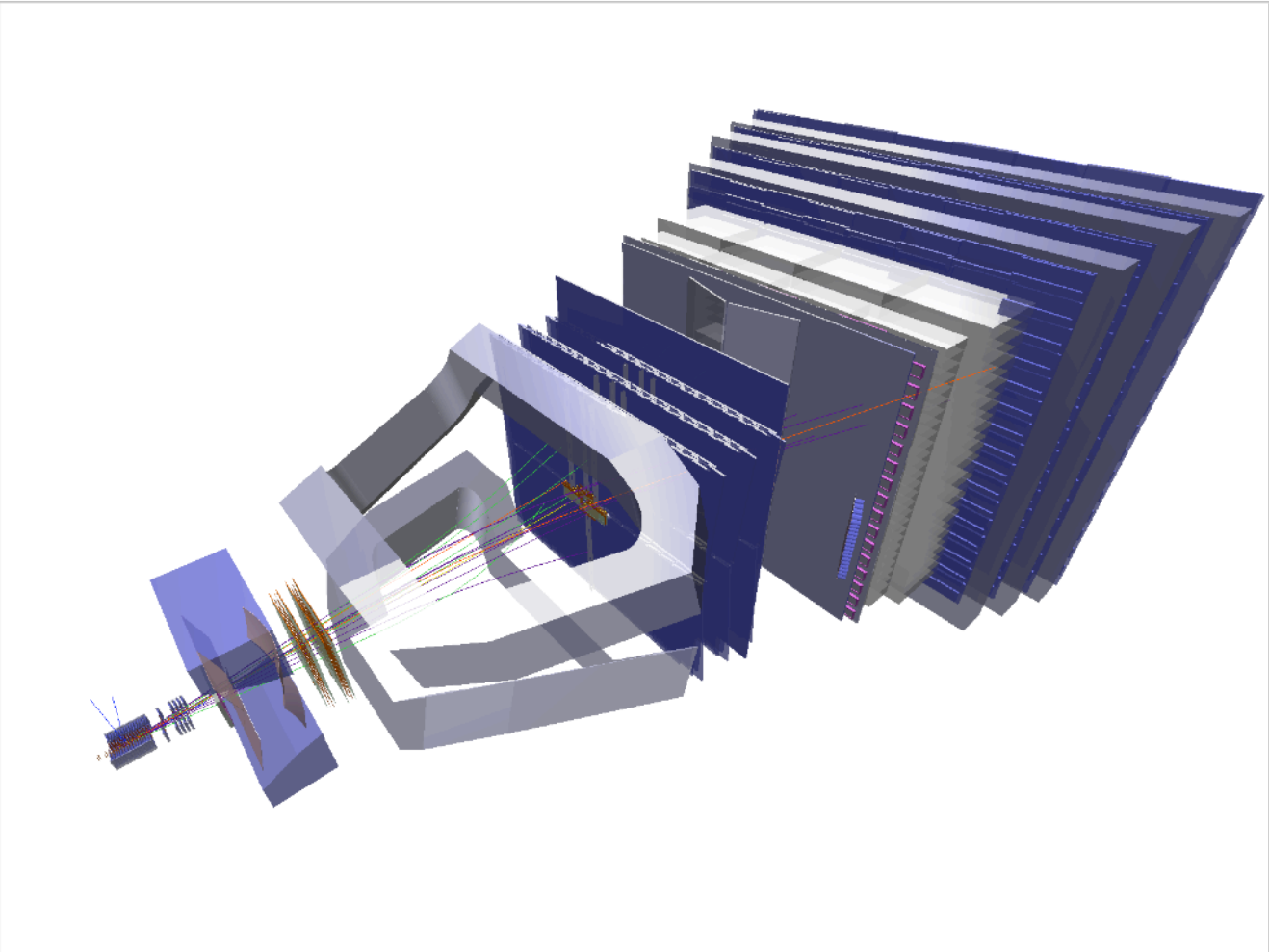
pi⁺

pi⁻

D⁰

Read instructions

Download JSON



Particle information

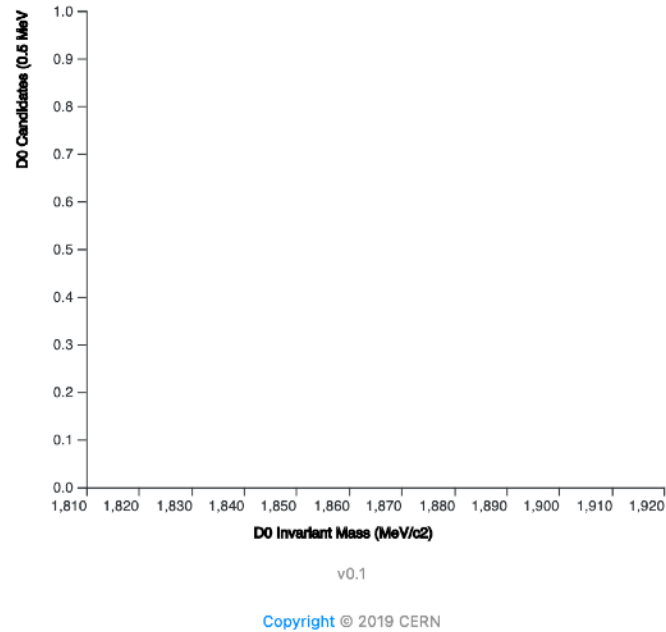
E	33628.960	MeV
chi2	0.516	
ipchi2	8.081	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi ⁺	
ZFstM	584.415	

My particles

Mass

MeV/c²

Add



Event Display Exercise

Event handler
event_1_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▾

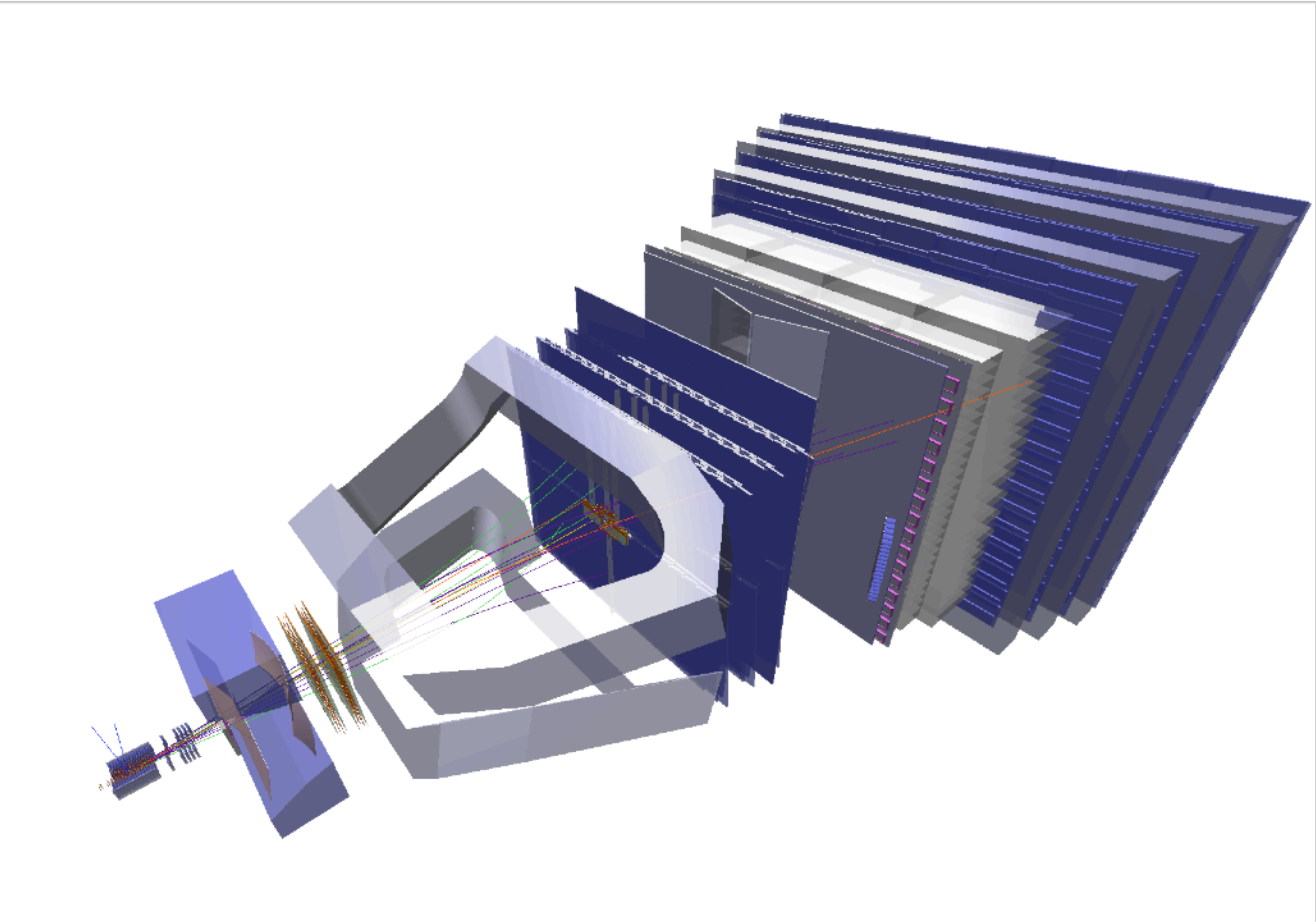
Auto rotate

Legend

- K⁻ —
- K⁺ —
- pi⁺ —
- pi⁻ —
- D⁰ —

Read instructions

Download JSON



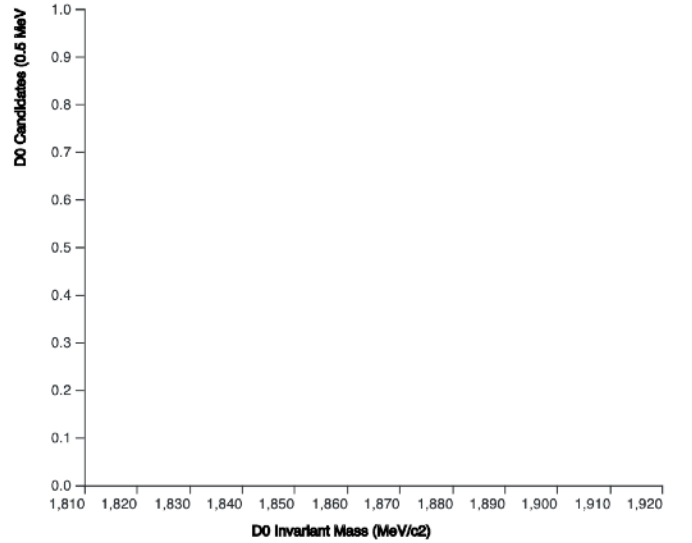
Particle information

E	33628.960	MeV
chi2	0.516	
ipchi2	8.081	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi ⁺	
ZFstM	584.415	

My particles

Mass MeV/c²

Add



Il tipo di particella è indicato dal **colore della traccia**
Potete cambiare/ruotare la vista, zoomare, e rimuovere il rivelatore. Sperimentate!

Event Display Exercise

Event handler
event_1_0.json

previous

next

Perspective

Top

Side

Front

View

Zoom

Detector

Help

View

Auto rotate

Legend

K⁻ —

K⁺ —

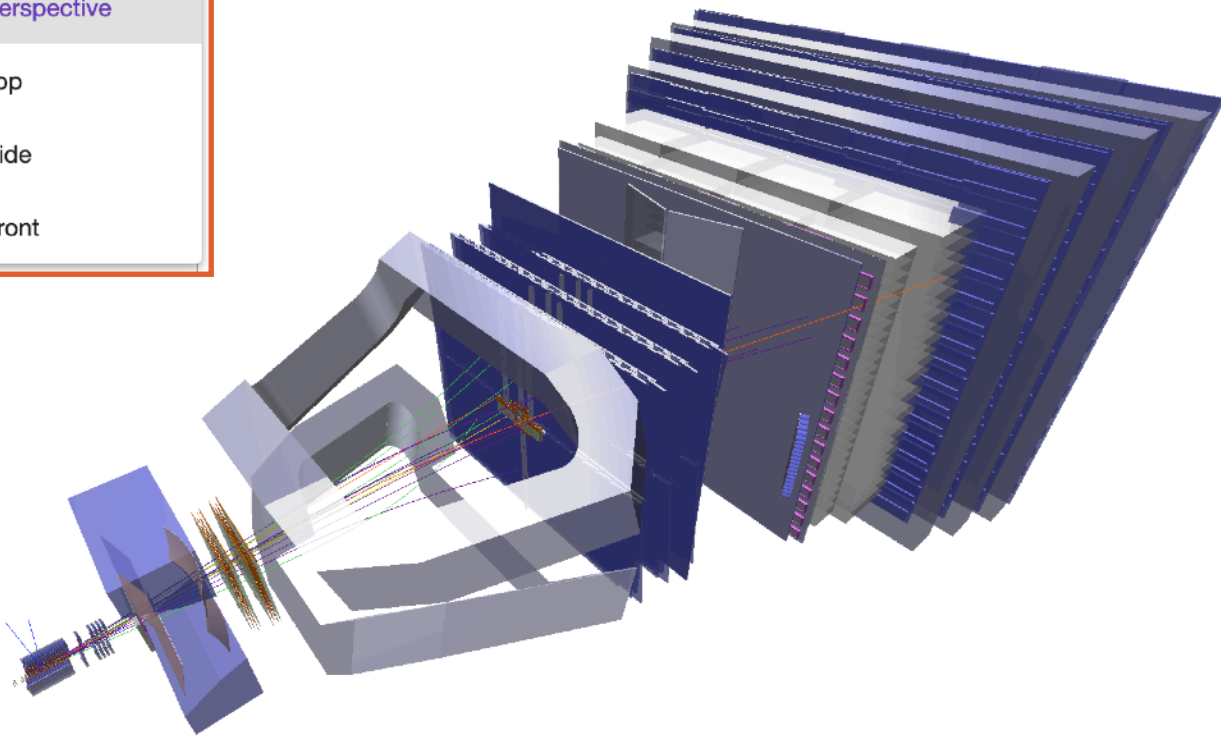
pi⁺ —

pi⁻ —

D⁰ —

Read instructions

Download JSON



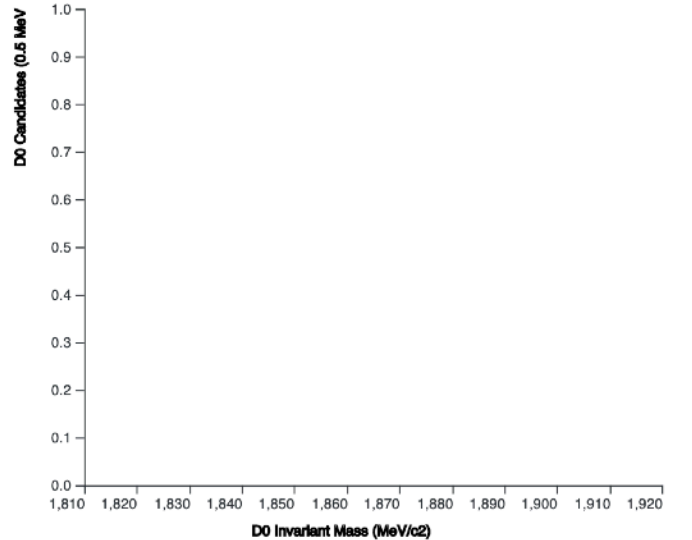
Particle information

E	33628.960	MeV
chi2	0.516	
ipchi2	8.081	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi ⁺	
ZFstM	584.415	

My particles

Mass MeV/c²

Add



Potete cambiare la vista cliccando su View
Si aprirà un menu a tendina con 4 opzioni possibili. Provate!

Event Display Exercise

Event handler
event_1_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▾

Auto rotate

—●—

Legend

K⁻ —

K⁺ —

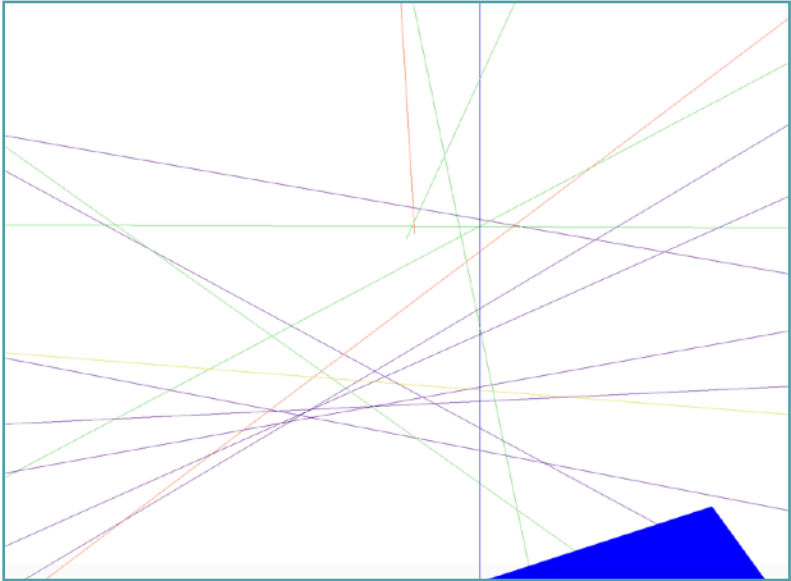
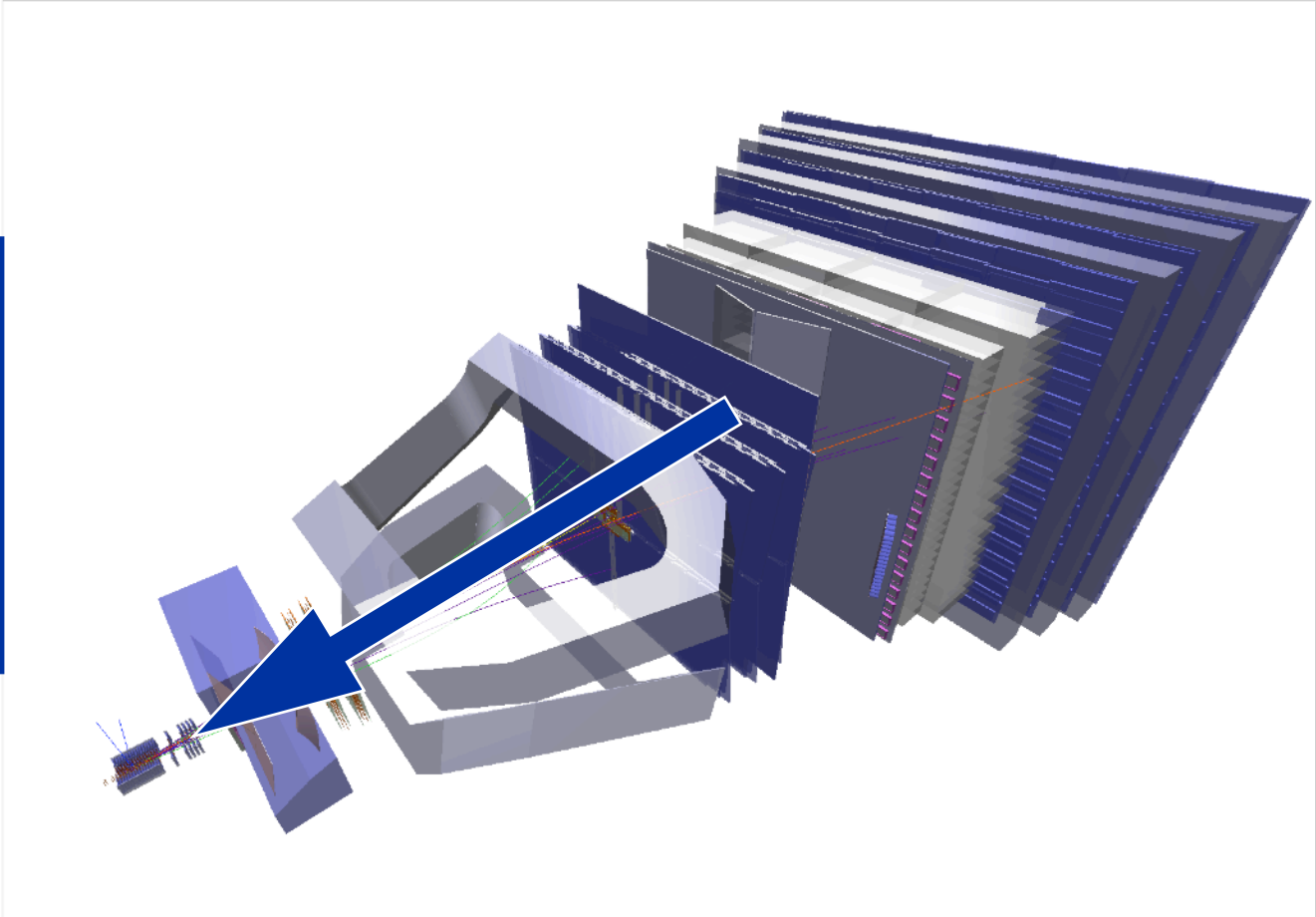
pi⁺ —

pi⁻ —

D⁰ —

Read instructions

Download JSON



Cliccando su Zoom avrete un primo piano della **regione d'interazione**
Guardando nella direzione indicata dalla freccia

Esempio: un evento facile

Event handler
event_1_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▼

Auto rotate

Legend

K^- —

K^+ —

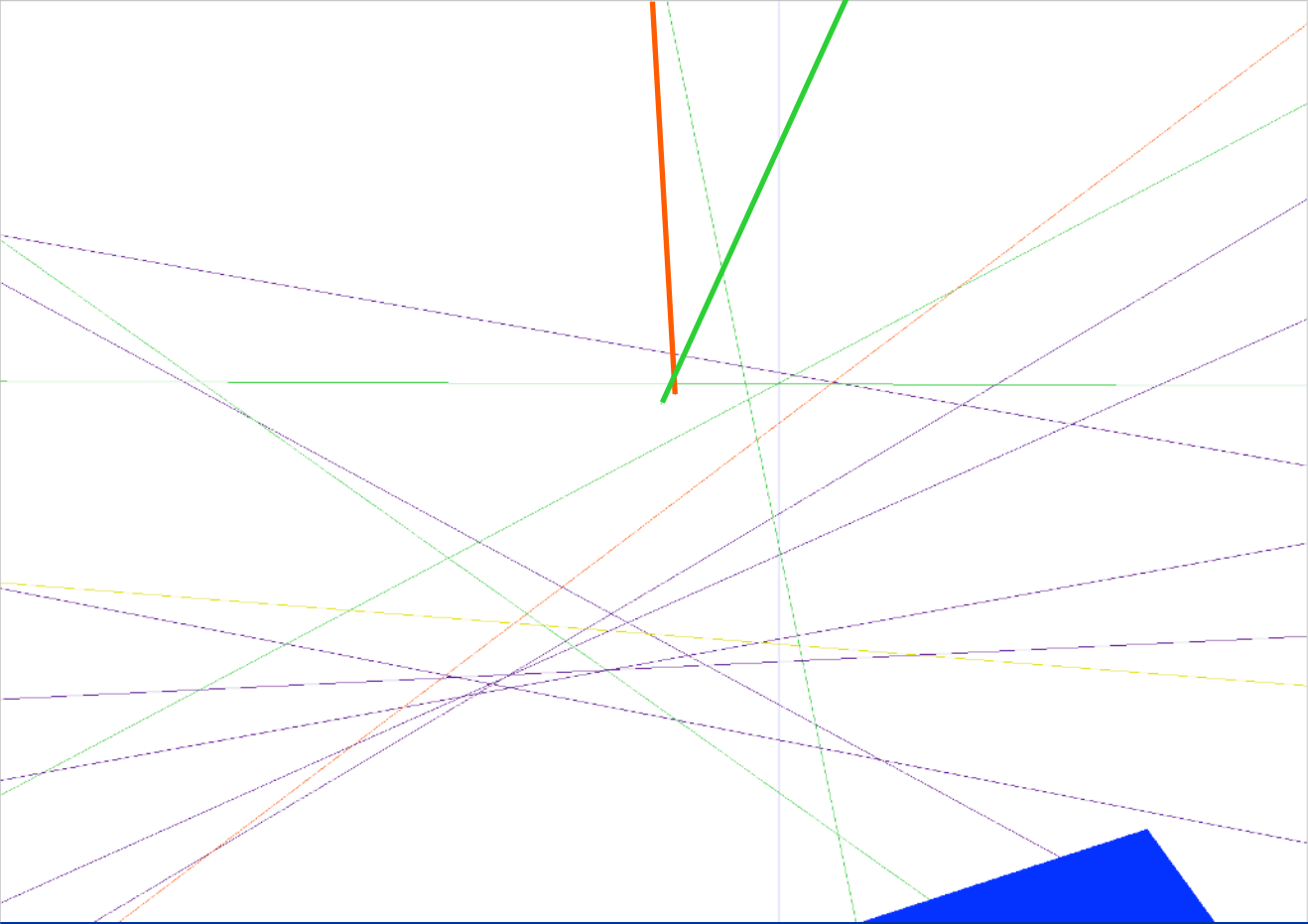
π^+ —

π^- —

D^0 —

Read instructions

Download JSON



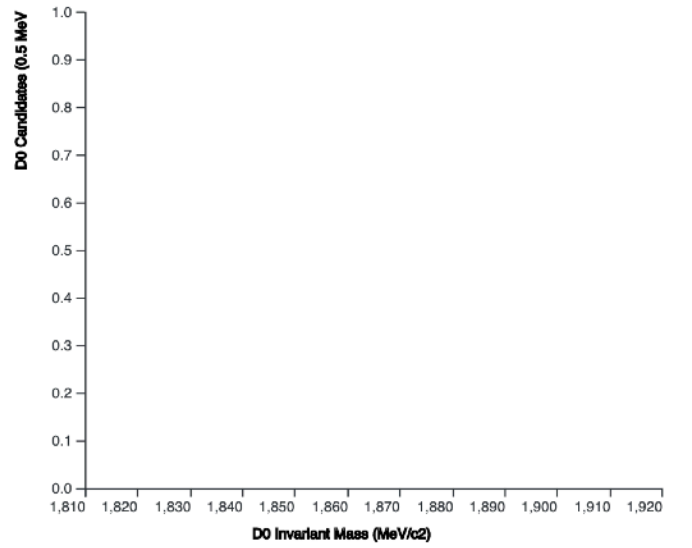
Particle information

E	4555.439	MeV
chi2	0.775	
ipchi2	5.767	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi+	
ZFstM	94.103	

My particles

Mass MeV/c²

Add



Ricercate un K^- (arancione) e π^+ (verde) che si intersecano.
Il vertice deve essere **separato** dal vertice primario

Esempio: un evento facile

Event handler
event_1_0.json
previous
next

View
 Zoom
 Detector
 Help
View
 Auto rotate

Legend
K⁻ —
K⁺ —
pi⁺ —
pi⁻ —
D⁰ —

Read instructions
Download JSON

Particle information
E 33628.960 MeV
chi2 0.516
ipchi2 8.081
mass 139.570 MeV/c²
name pi+
ZFstM 584.415

My particles
K-
pi+

Mass
1867.780 MeV/c²
Add

D0 Candidates (0.5 MeV)
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2

Entries 1
Means: 1867.780
Std dev: undefined

Selezionate le due tracce cliccandoci sopra.
Vi compariranno i nomi delle particelle nella finestra My particles
(controllate di aver selezionato la combinazione giusta anche da qui!)

Varie combinazioni possibili

Event handler
event_1_0.json
previous
next

View
 Zoom
 Detector
 Help
View
 Auto rotate

Legend
K⁻ —
K⁺ —
pi⁺ —
pi⁻ —
D⁰ —

Read instructions
Download JSON

Particle information

E	33628.960	MeV
chi2	0.516	
ipchi2	8.081	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi ⁺	
ZFstM	584.415	

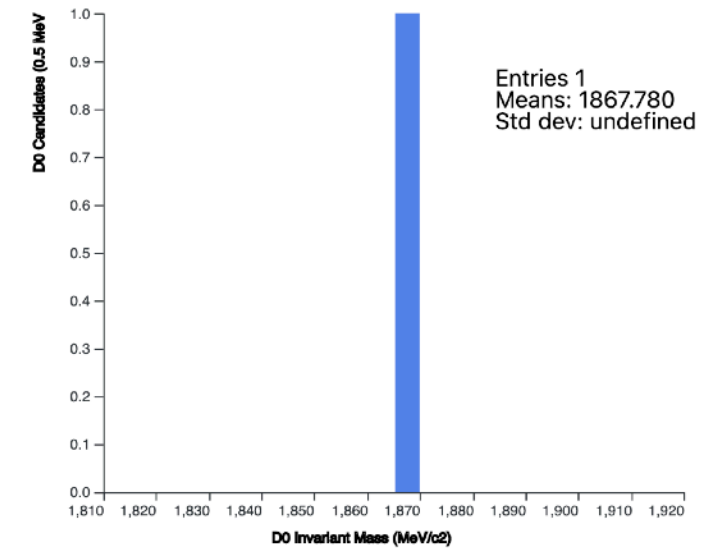
My particles

K⁻
pi⁺

Mass

1867.780	MeV/c ²
----------	--------------------

Add



Come si riconoscono i prodotti di decadimento di un D^0 ?

- In ogni collisione si producono **molte particelle** e non è semplice riconoscere quelle giuste
- Una quantità che ci può aiutare a capire se il K^- e il π^+ selezionati sono quelli *giusti* è **massa del D^0** che possiamo calcolare usando informazioni fisiche del K^- e del π^+

Digressione sulle unità di misura

- In fisica della particelle si usano unità di misura **diverse** da quelle del sistema internazionale

Grandezza fisica	Simbolo della grandezza	Nome dell'unità di misura	Simbolo dell'unità di misura
lunghezza	l	metro	m
massa	m	kilogrammo	kg
tempo	t	secondo	s



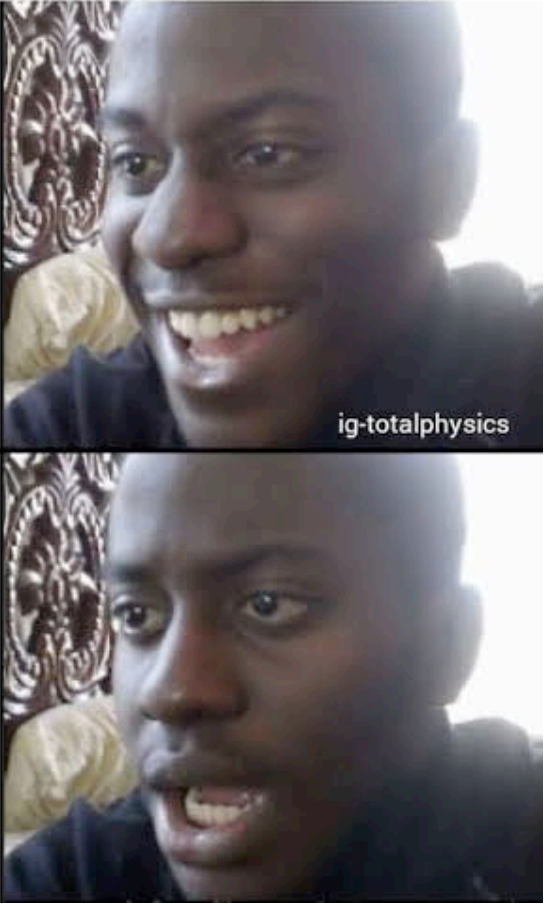
Digressione sulle unità di misura

- In fisica delle particelle si usano unità di misura **diverse** da quelle del sistema internazionale
- Si può esprimere lunghezza, massa e tempo in termini di energia!

Grandezza fisica	Simbolo della grandezza	Nome dell'unità di misura	Simbolo dell'unità di misura
lunghezza	l	metro	m
massa	m	kilogrammo	kg
tempo	t	secondo	s

Quantity	High energy unit	Value in SI units
length	1 fm	10^{-15} m
energy	1 GeV = 10^9 eV	1.602×10^{-10} J
mass, E/c^2	1 GeV/ c^2	1.78×10^{-27} kg

natural units, $\hbar = c = 1$		
mass, Mc^2/c^2	1 GeV	
length, $\hbar c/(Mc^2)$	1 GeV $^{-1}$ = 0.1975 fm	
time, $\hbar c/(Mc^3)$	1 GeV $^{-1}$ = 6.59×10^{-25} s	



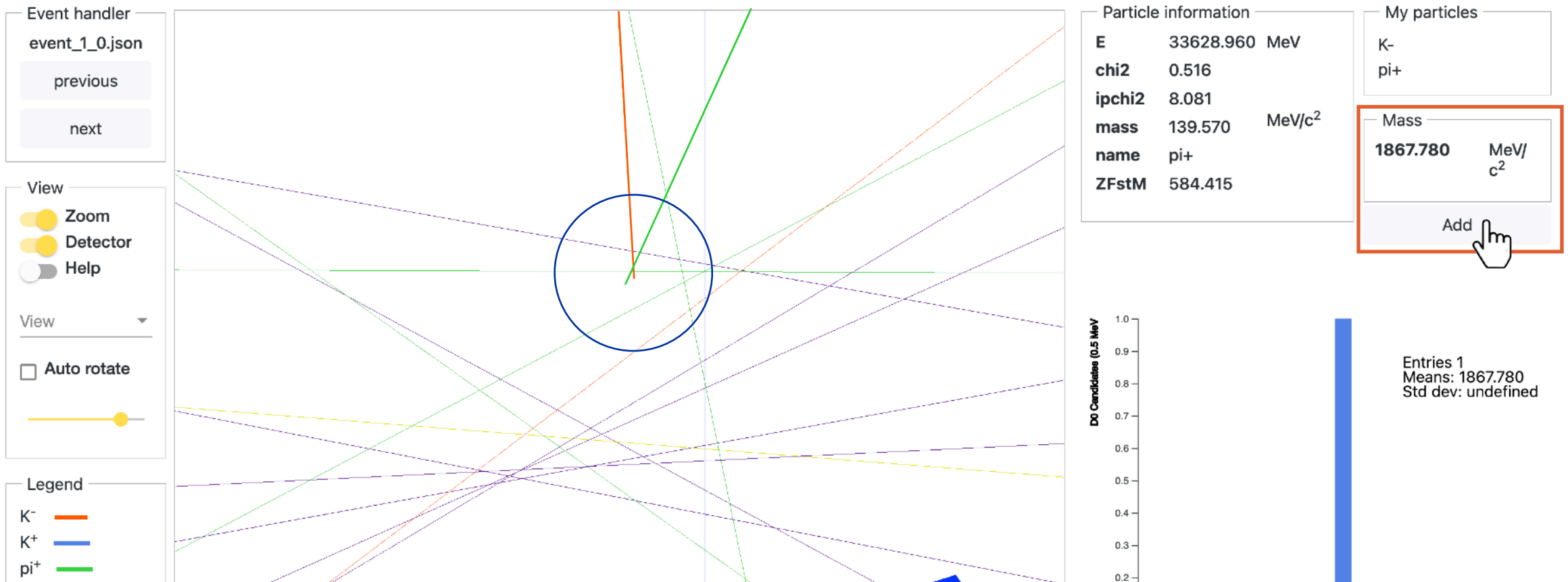
Come si riconoscono i prodotti di decadimento di un D^0 ?

La massa del D^0 è misurata con grande precisione:

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

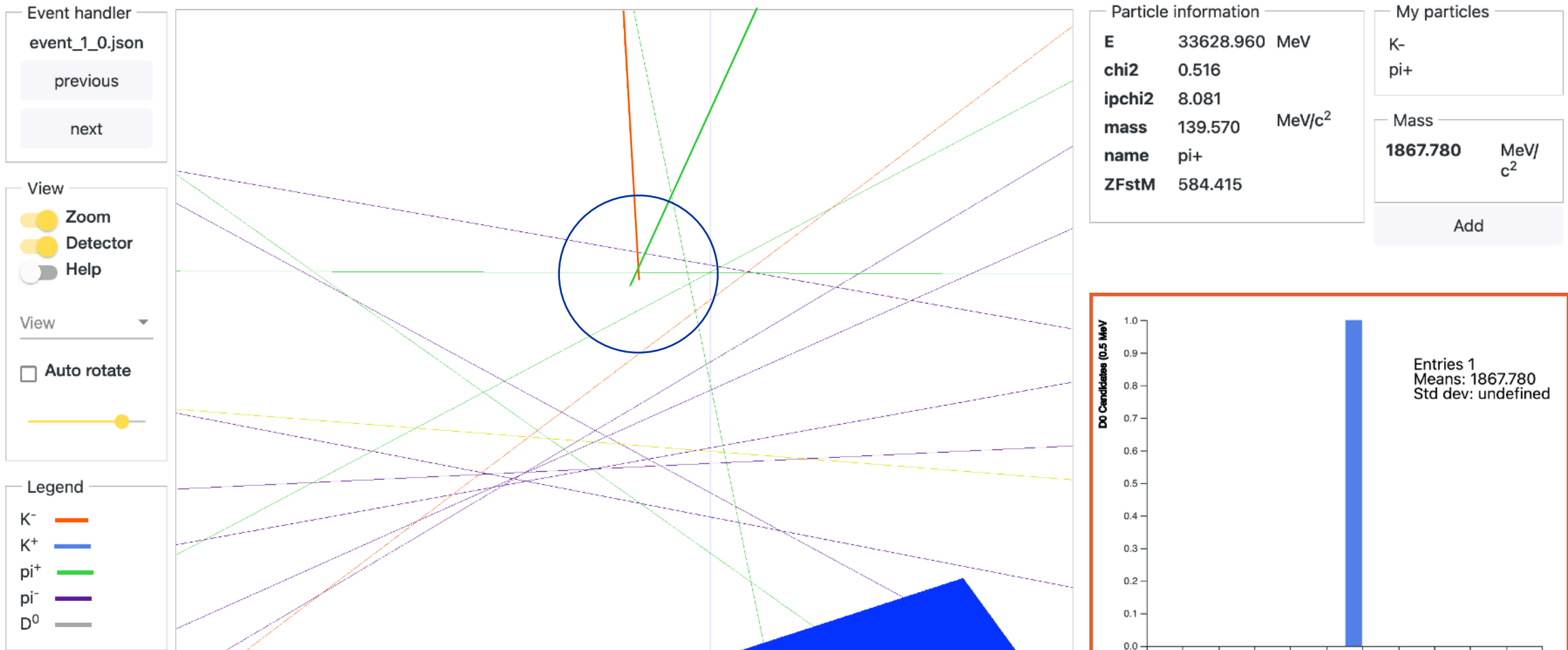
- In unità di misura “normali” questo equivale a $\sim 3.3 \times 10^{-27} \text{ kg}$!
- Il $\pm 0.13 \text{ MeV}/c^2$ rappresenta l’incertezza con cui conosciamo la massa del D^0
- PDG = particle data group è la “bibbia” dei fisici delle particelle <http://pdglive.lbl.gov/>
- Come visto nella seconda presentazione di questa mattina, possiamo anche noi calcolare la massa del D^0 conoscendo l’impulso delle particelle K^- e π^+ che abbiamo selezionato

Esempio: un evento facile



Nel riquadro Mass, verrà riportato il valore della massa del candidato D^0 calcolata come visto. Se il valore è “vicino” alla massa che vi aspettate, $m_{D^0} = 1864.86 \pm 0.13 \text{ MeV}/c^2$, cliccate su *Add*, altrimenti cercate una nuova combinazione!

Esempio: un evento facile



Comparirà nel grafico un “rettangolo” insieme ad altre informazioni come il numero di eventi e la media delle misure

Repeat!

The interface displays a central event visualization with particle tracks in various colors (orange, blue, green, purple, grey). On the left, there are control panels for event navigation, view settings, and a legend. On the right, there are panels for particle information and a mass histogram.

Event handler
event_1_0.json
previous
next

View
Zoom
Detector
Help
View
Auto rotate

Legend
K⁻
K⁺
pi⁺
pi⁻
D⁰

Particle information
E 5214.412 MeV
chi2 1.749
ipchi2 9.213
mass 493.677 MeV/c²
name K-
ZFstM 79.515

My particles
K-
pi+

Mass
1867.780 MeV/c²
Add

D0 Candidates (0.6 MeV)
Entries 1
Means: 1867.780
Std dev: undefined

Read instructions
Download JSON

Cliccate su next per selezionare altri eventi.
Provate a trovare circa 30 D^0 e popolare l'istogramma di massa!

Esempio: un evento più complicato

Event handler
event_1_7.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View

Auto rotate

Legend

K⁻ —

K⁺ —

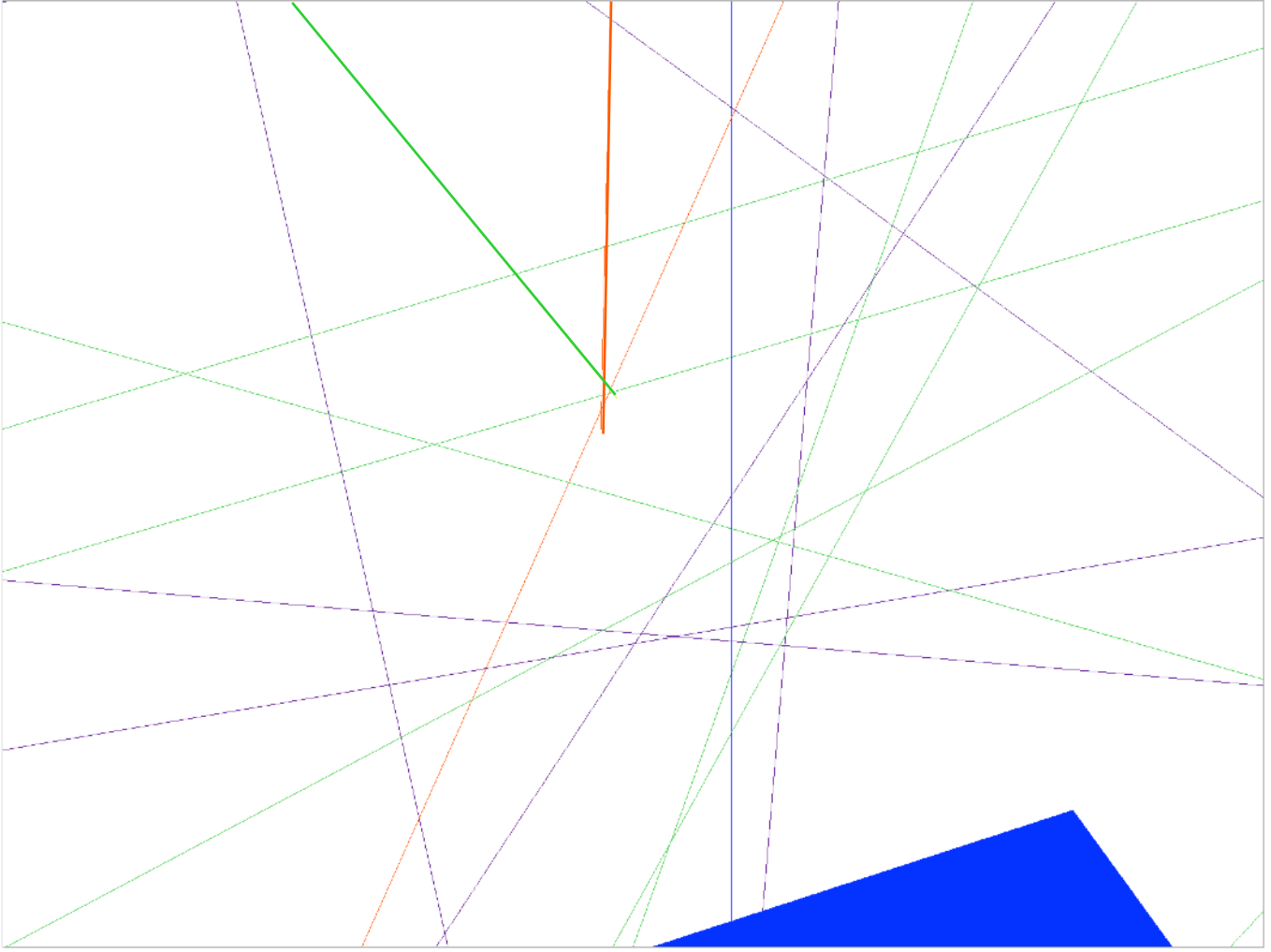
pi⁺ —

pi⁻ —

D⁰ —

Read instructions

Download JSON



Particle information

E	16710.082	MeV
chi2	0.664	
ipchi2	23.583	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi+	
ZFstM	94.103	

My particles

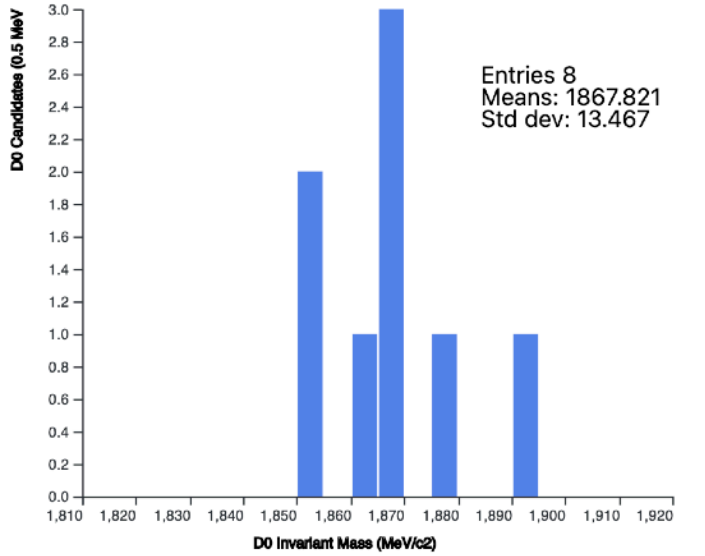
pi+

K-

Mass

1861.297 MeV/c²

Add

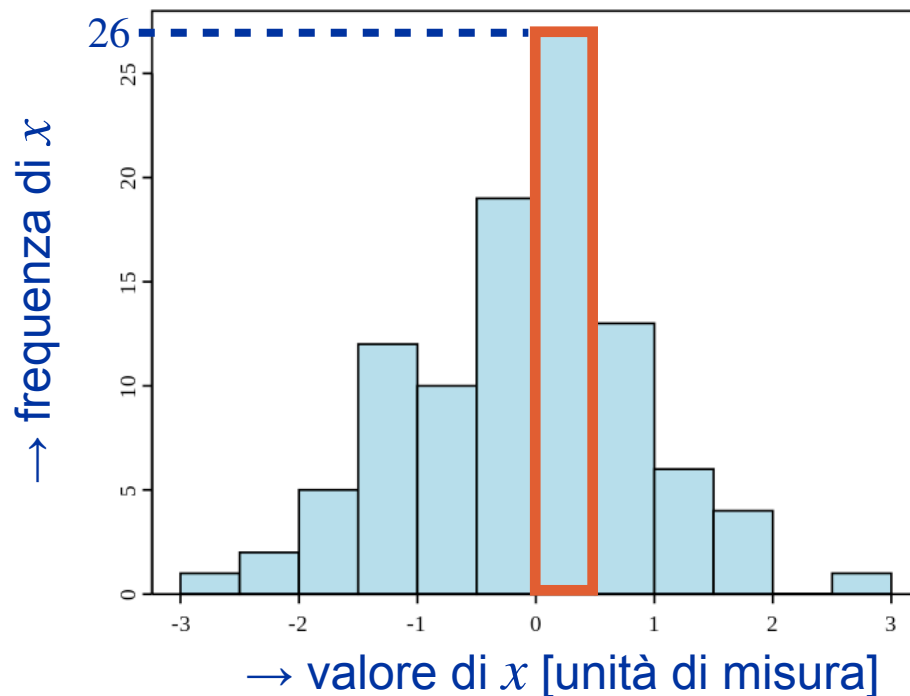


Copyright © 2019 CERN



Cos'è un istogramma?

- In parole semplici: è un modo di rappresentare graficamente una serie di misure
- Ogni misura è classificata in un intervallo, detto bin, a seconda del suo valore
- L'altezza di ogni *rettangolo* è il numero di volte in cui il valore misurato cade all'interno del bin



Se misuro $x = 0.25$ devo riempire il bin numero evidenziato: $x \in [0, 0.5]$

Un possibile risultato

Event handler
event_1_30.json
previous
next

View

Fate il download del dataset che avete costruito e inviatelo per mail a:
domenico.riccardi@cern.ch

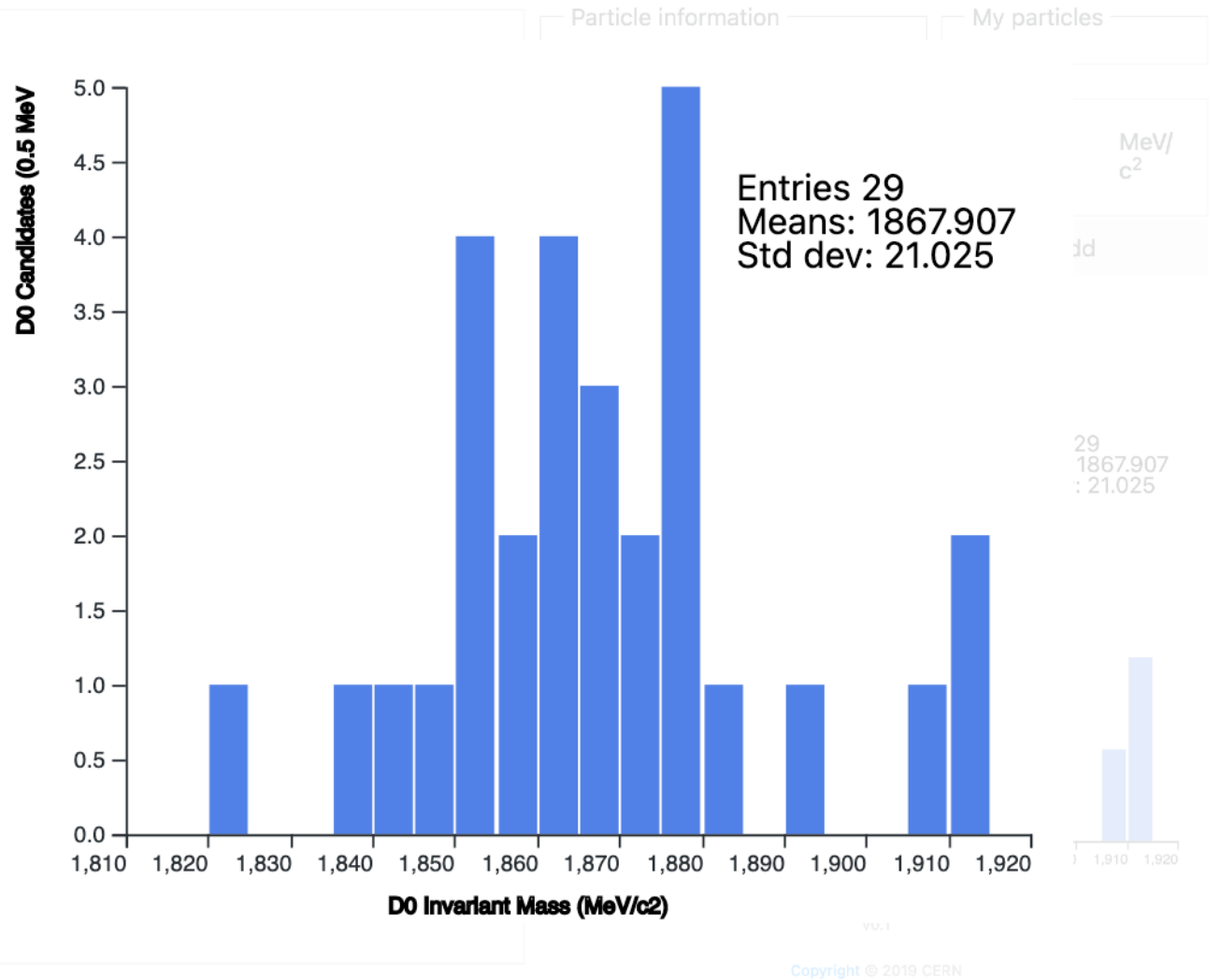
Inserite il nome del vostro gruppo nell'oggetto della mail

Esempio: **Masterclass gruppo Protoni**

K^+
 π^+
 π^-
 D^0

Read instructions

Download JSON



Un tipico giorno di lavoro al CERN!

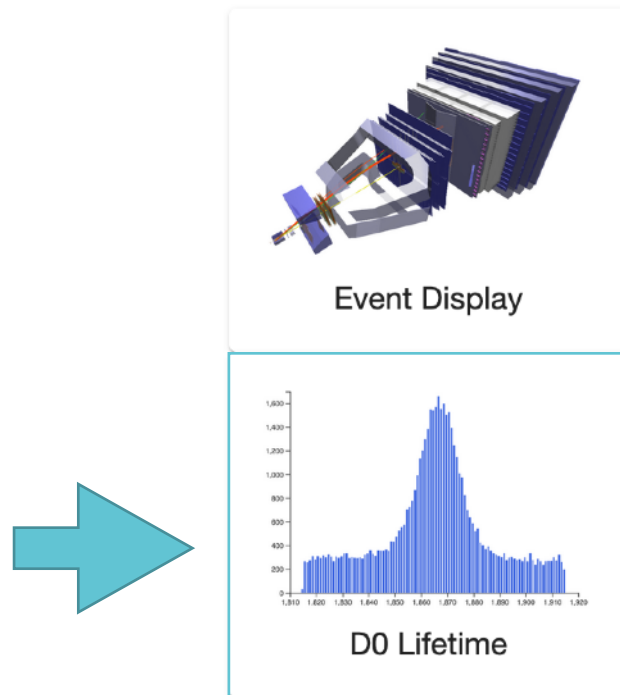
ESERCIZIO 2:

D^0 lifetime




Secondo esercizio

- Selezionate il **secondo esercizio**: D0 Lifetime



D⁰ lifetime Exercise

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

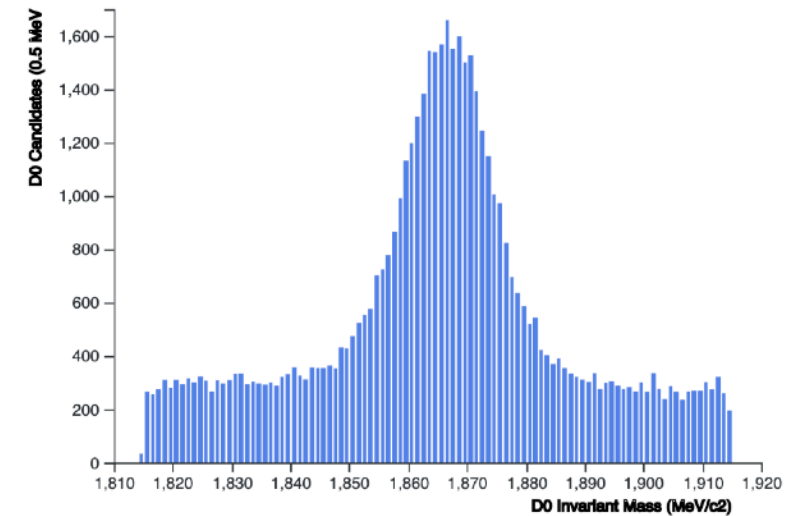
Refresh

Time fit

Fit result Fit Error (ps)

Save result

Read instructions



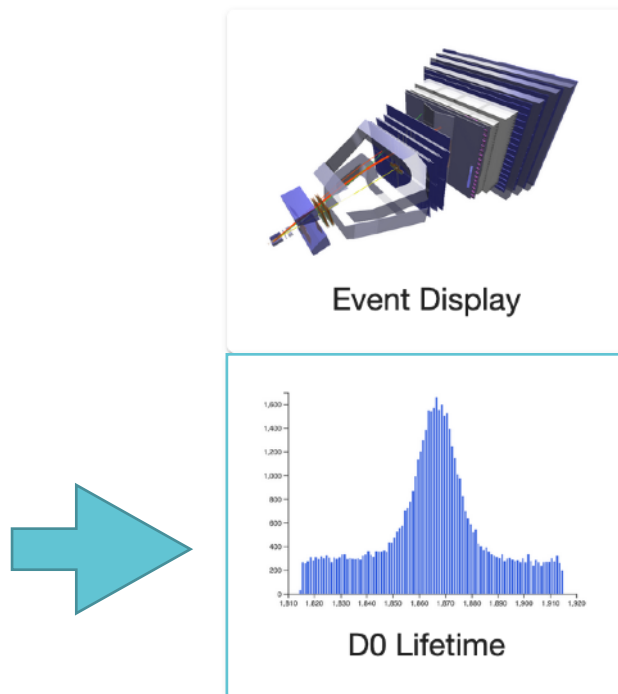
Cliccate su *Plot D⁰ mass* per visualizzare il plot in massa

Cosa notate?



Secondo esercizio

- Selezionate il **secondo esercizio**: D0 Lifetime



D⁰ lifetime Exercise

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

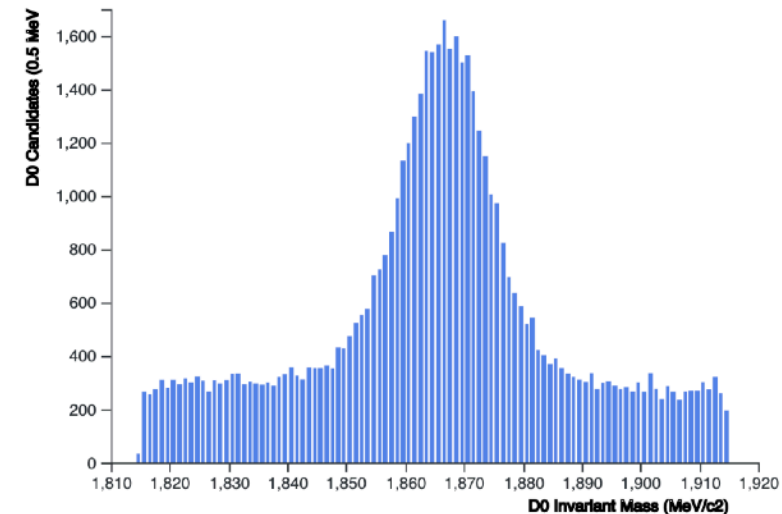
Refresh

Time fit

Fit result Fit Error (ps)

Save result

Read instructions

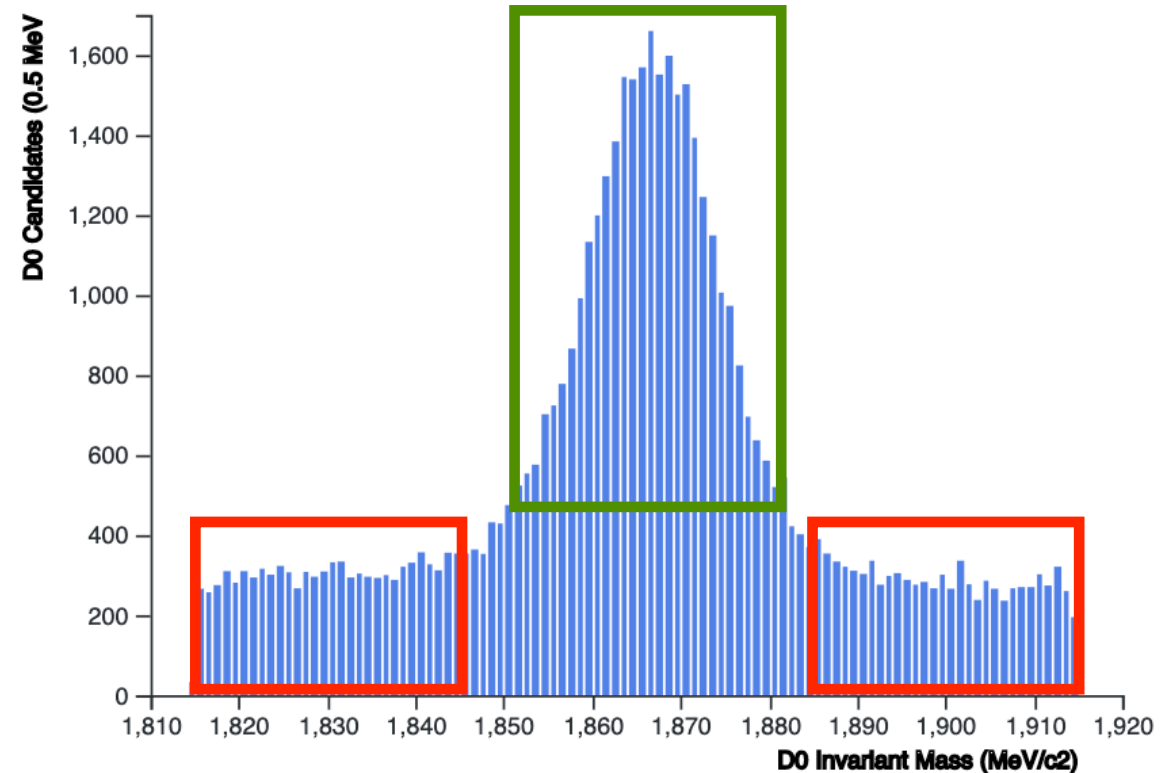
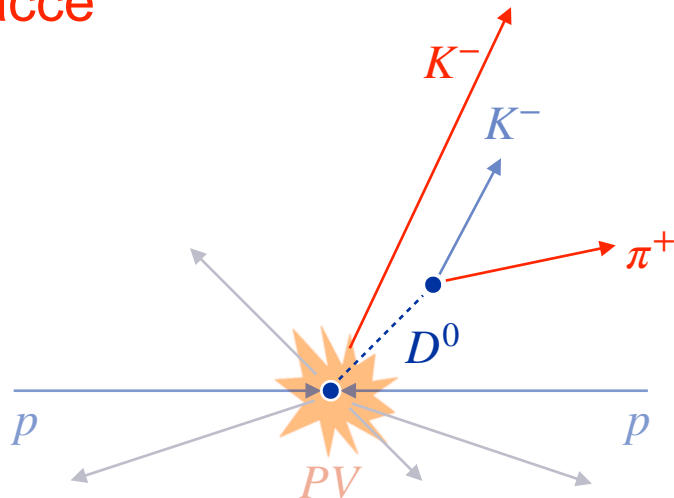


Cliccate su *Plot D⁰ mass* per visualizzare il plot in massa

Cosa notate?
Partiamo da un istogramma di massa... ma con molti più dati!

Segnale vs fondo

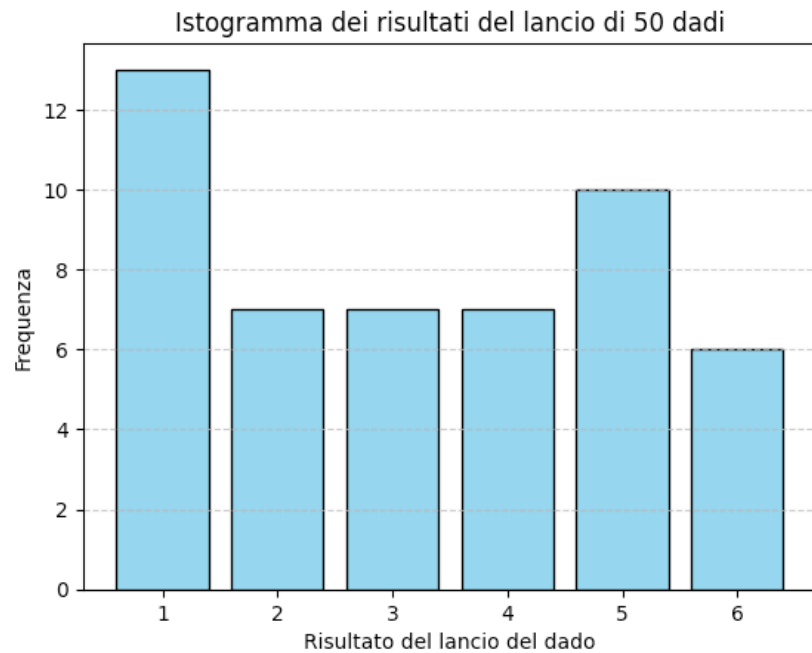
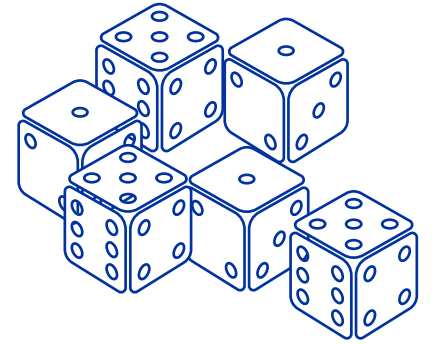
- Notiamo due popolazioni sovrapposte:
 1. Picco di massa associato al **segnale**, ovvero combinazioni di K^- e π^+ da D^0
 2. **Fondo** combinatorio: un K^- e un π^+ che NON vengono dal decadimento di un D^0 , ma che è dovuto a combinazioni casuali delle due tracce



Perché il fondo è *piatto*?

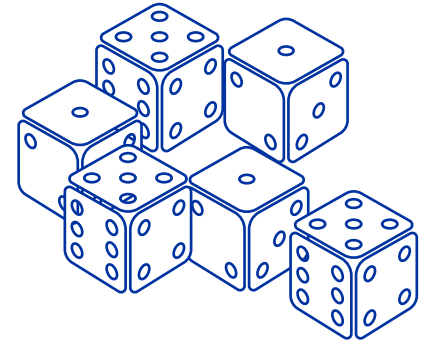
Facciamo un esempio con i dadi

- Queste sono le distribuzioni che si ottengono costruendo l'istogramma dei *Risultati del lancio del dado per 50*

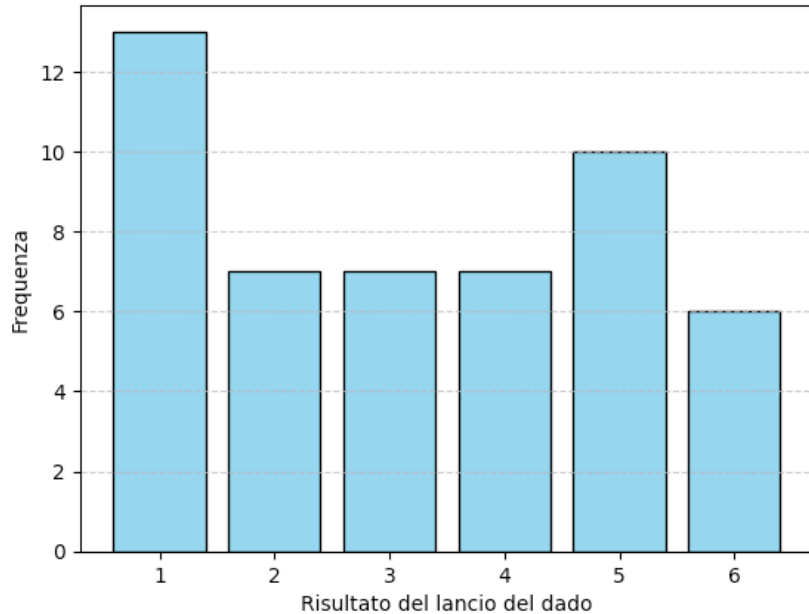


Facciamo un esempio con i dadi

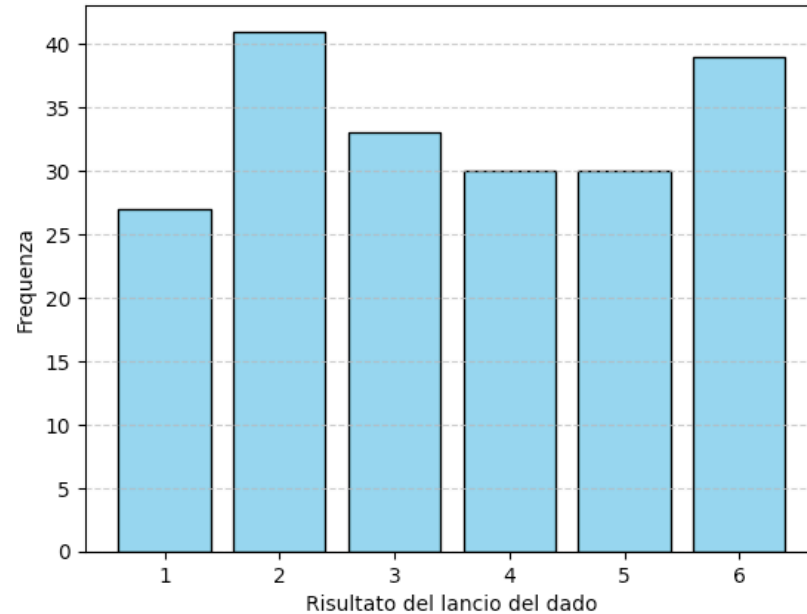
- Queste sono le distribuzioni che si ottengono costruendo l'istogramma dei *Risultati del lancio del dado* per 50, 200



Istogramma dei risultati del lancio di 50 dadi

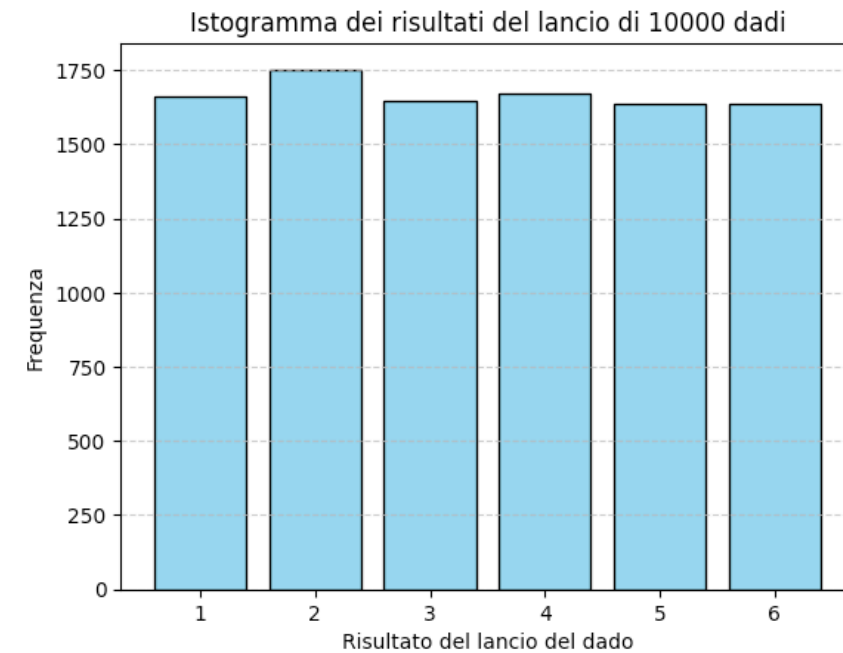
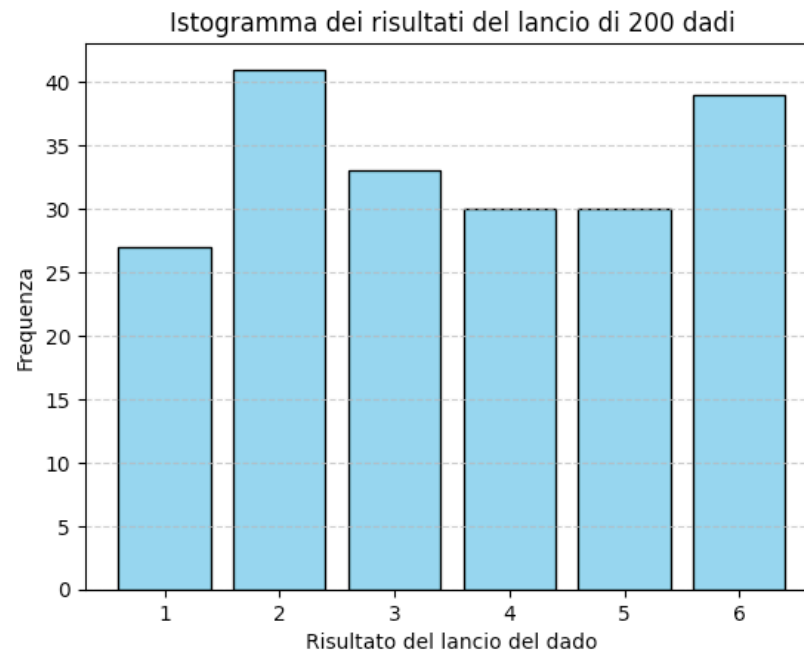
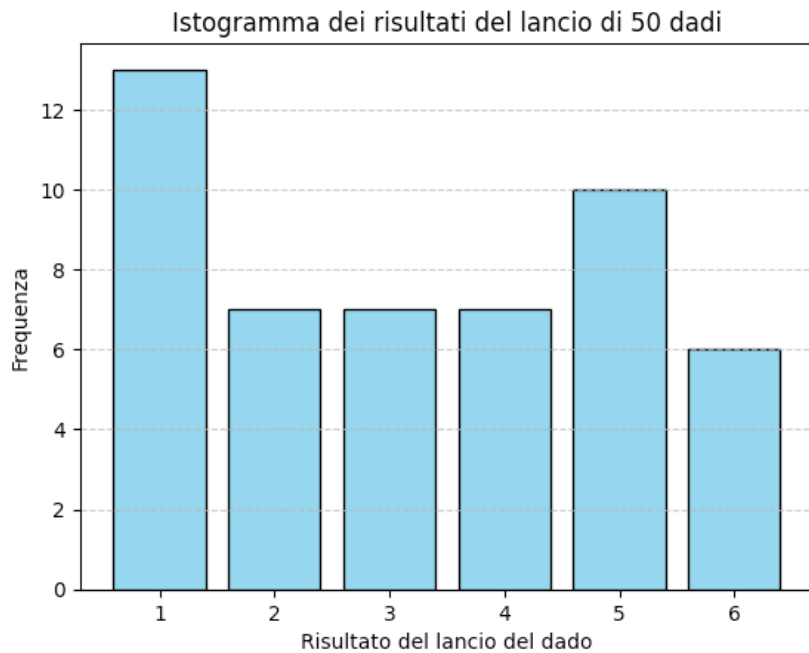
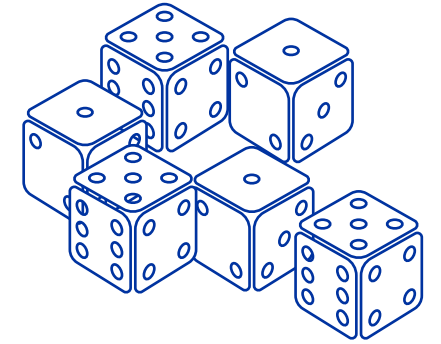


Istogramma dei risultati del lancio di 200 dadi



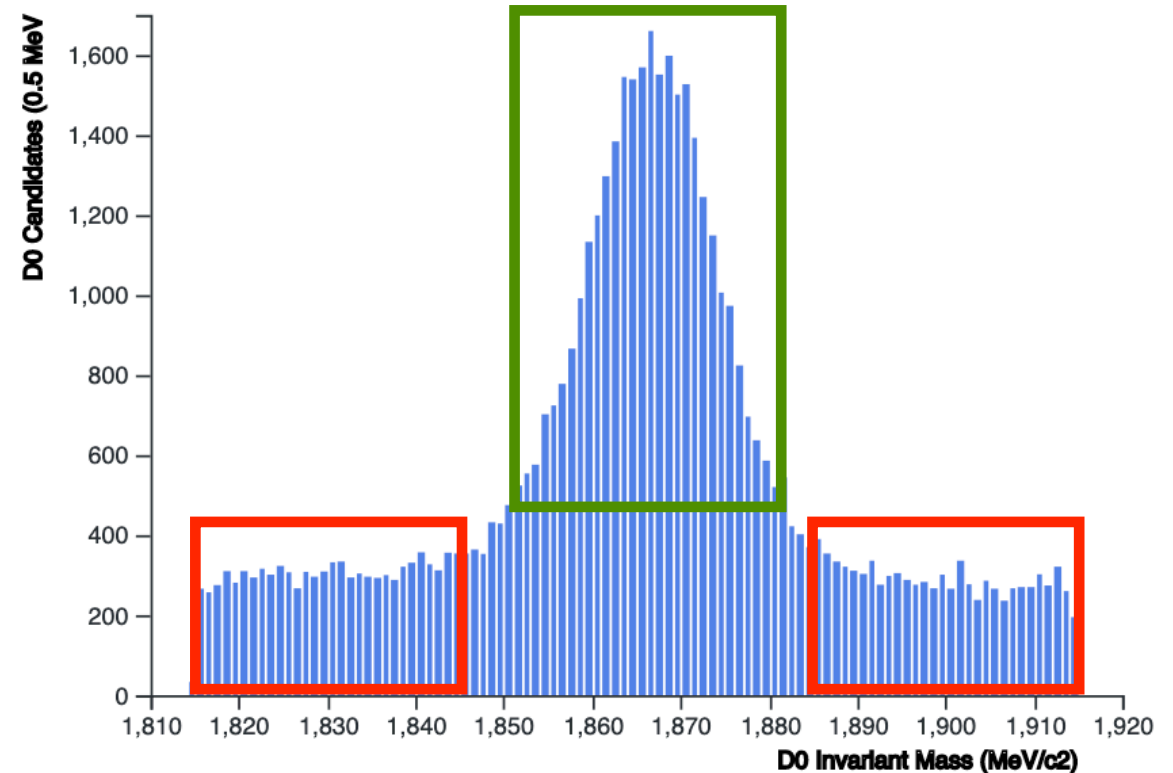
Facciamo un esempio con i dadi

- Queste sono le distribuzioni che si ottengono costruendo l'istogramma dei *Risultati del lancio del dado* per 50, 200 e 10000 dadi.
- Possiamo osservare che il lancio casuale produce una distribuzione piatta!



Segnale vs fondo

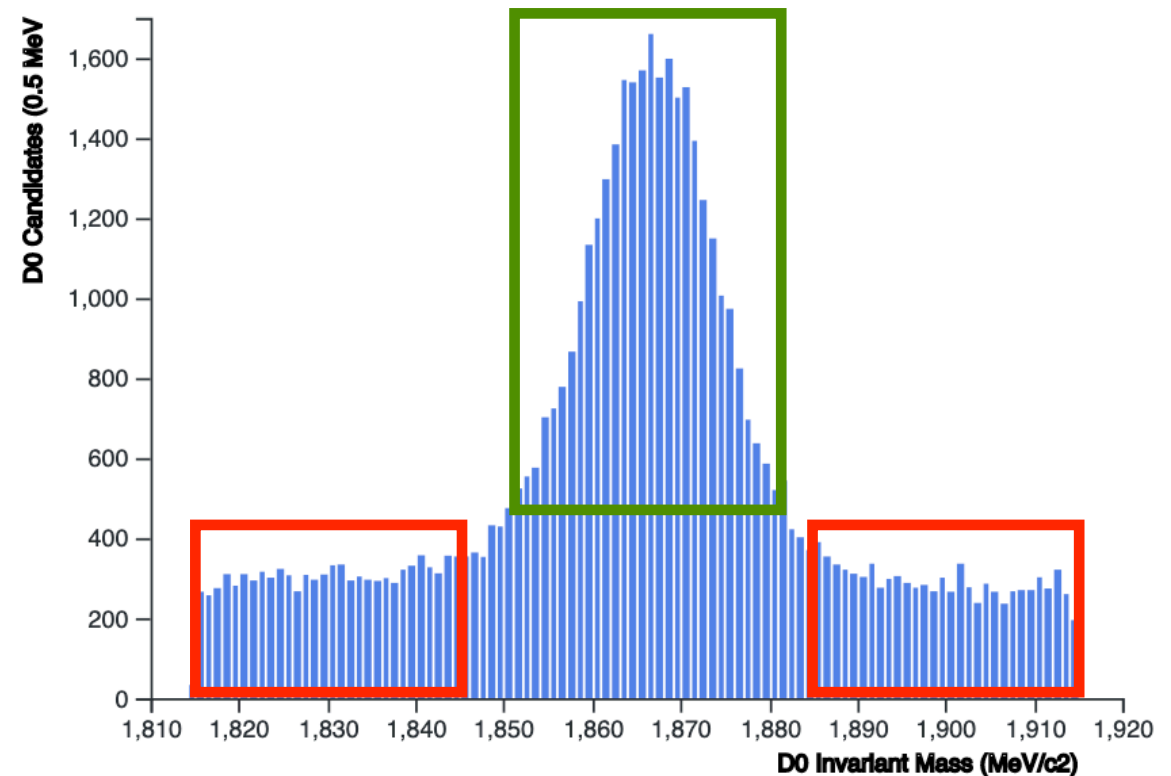
- Notiamo due popolazioni sovrapposte:
 1. **Picco di massa associato al segnale**
 2. **Fondo combinatorio: un K^- e un π^+ che NON vengono dal decadimento di un D^0**
- Non c'è alcun motivo per aspettarci che il fondo combinatorio non sia piatto, dato che questi eventi sono combinazioni random di K^- e π^+ che non hanno nulla a che vedere con il D^0



Perché il segnale *picca*?

Segnale vs fondo

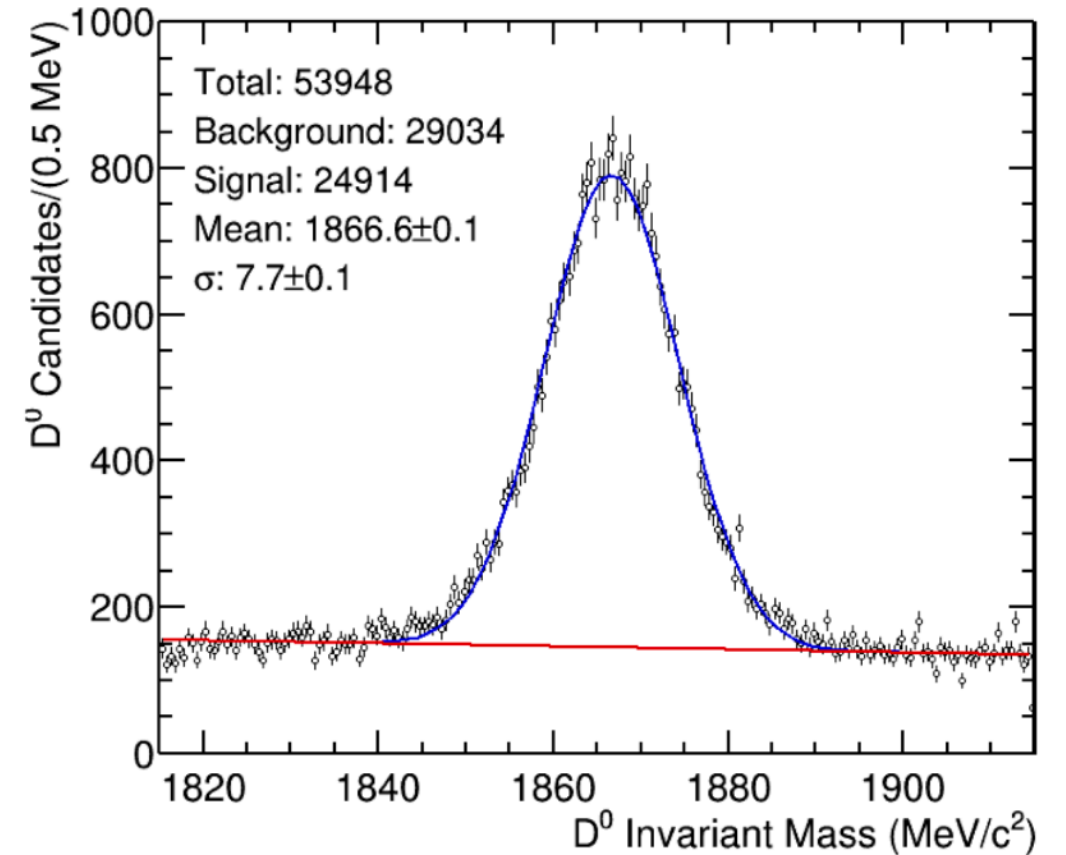
- Risposta: accumulo di eventi attorno alla massa *vera* del D^0 perché sono veri D^0
- Non tutti gli eventi popoleranno il bin contenente la massa *giusta* per effetto delle incertezze nelle quantità fisiche del K^- e del π^+ con cui calcoliamo m_{D^0}



Perché il segnale *picca*?

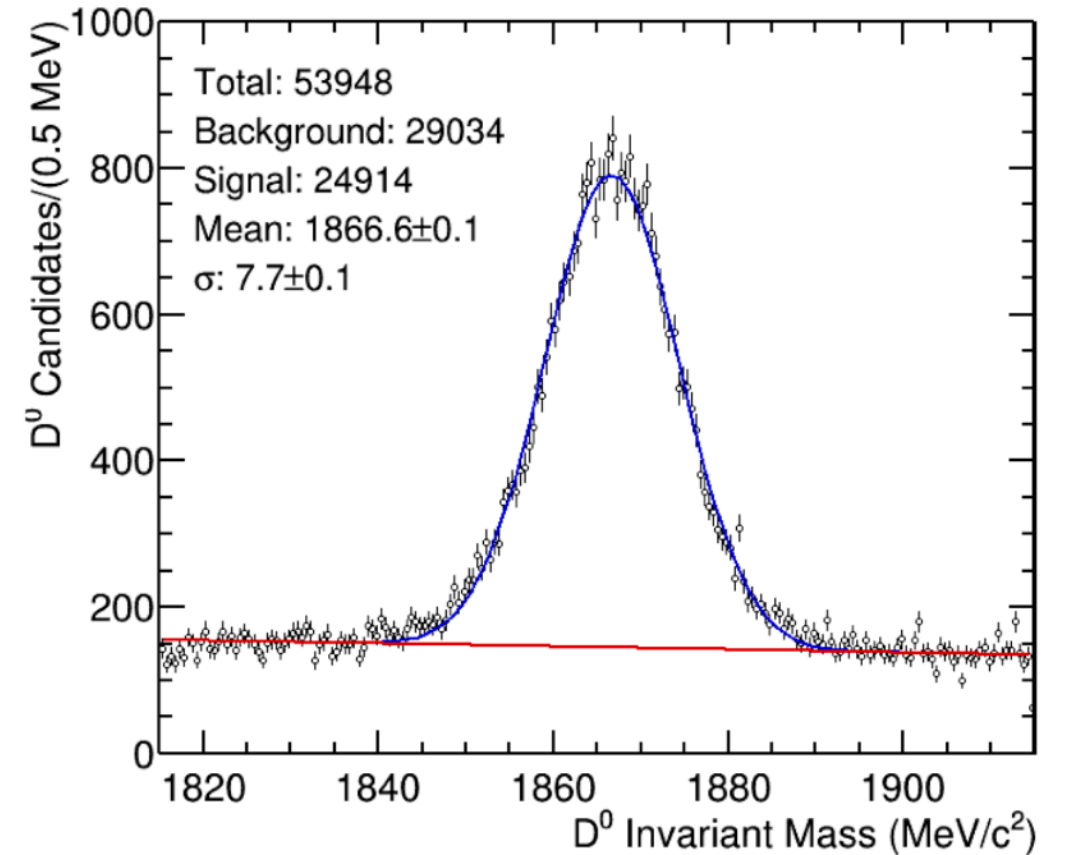
Fit alla massa

- Per isolare il segnale a cui siamo interessati (il picco di massa del D^0) eseguiamo un **FIT**
- **FIT**: adattare un modello parametrico, ovvero una funzione, ai dati



Fit alla massa

- Per isolare il segnale a cui siamo interessati (il picco di massa del D^0) eseguiamo un **FIT**
- **FIT**: adattare un modello parametrico, ovvero una funzione, ai dati
- Ipotizziamo che la forma del FONDO sia una retta $y = ax + b$

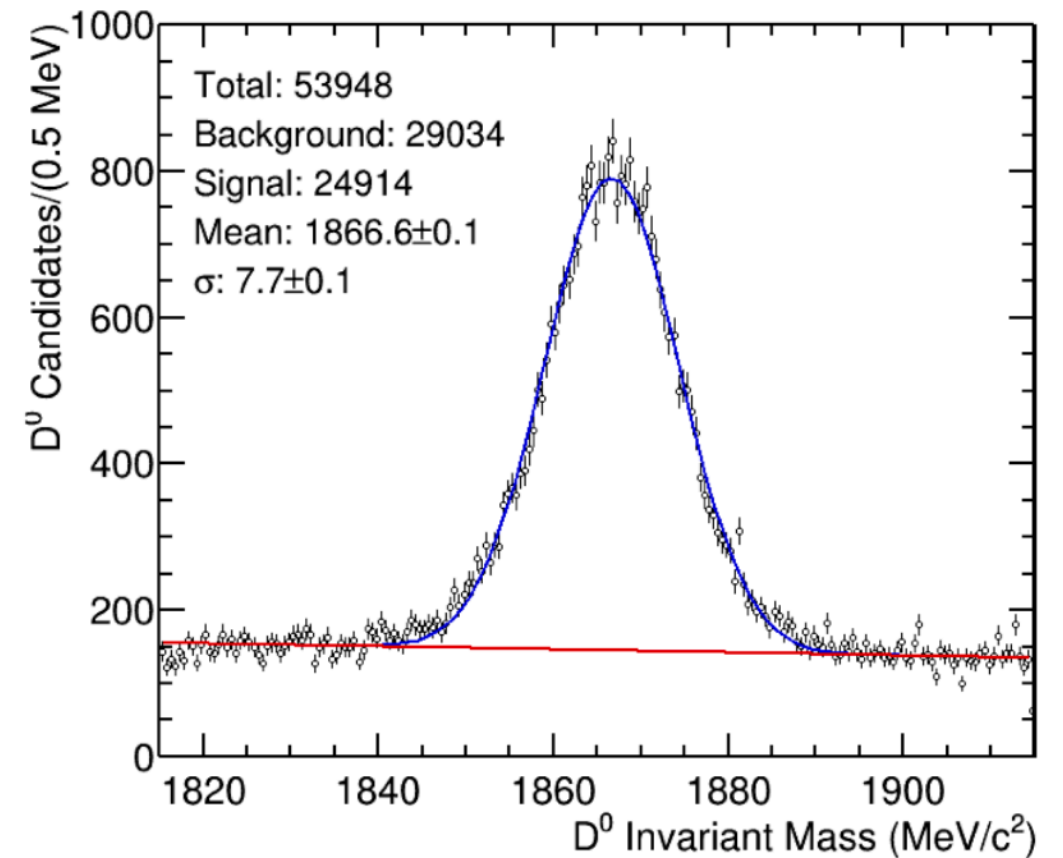


Fit alla massa

- Per isolare il segnale a cui siamo interessati (il picco di massa del D^0) eseguiamo un **FIT**
- **FIT**: adattare un modello parametrico, ovvero una funzione, ai dati
- Ipotizziamo che la forma del FONDO sia una retta $y = ax + b$
- Ipotizziamo il SEGNALE sia descritto da una funzione Gaussiana

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

- La procedura di fit cerca il valore dei parametri: a , b , etc. che meglio si adattano ai dati




Fit alla massa

- Per fare il fit nel nostro esercizio, cliccate su *Fit mass distribution*

Analysis tools

Plot D⁰ mass

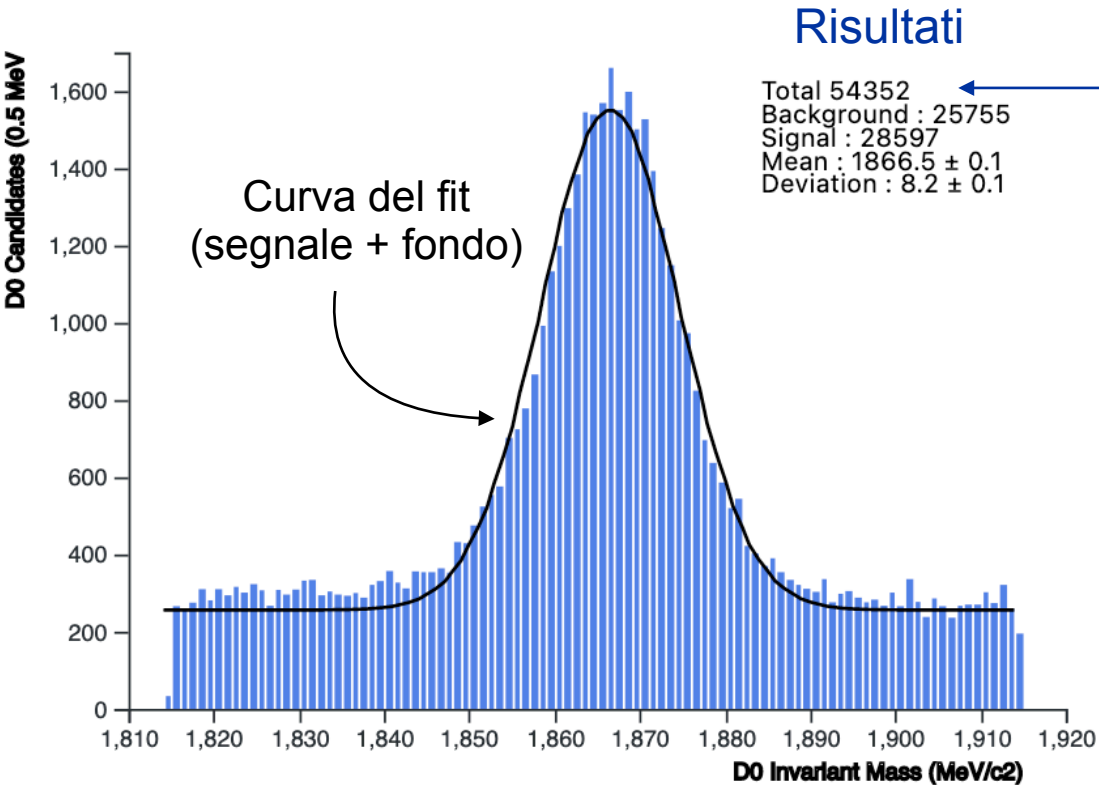
Fit mass distribution 

Background substr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions




Eventi presenti nel grafico

Fit alla massa

- Per fare il fit nel nostro esercizio, cliccate su *Fit mass distribution*

Analysis tools

Plot D⁰ mass

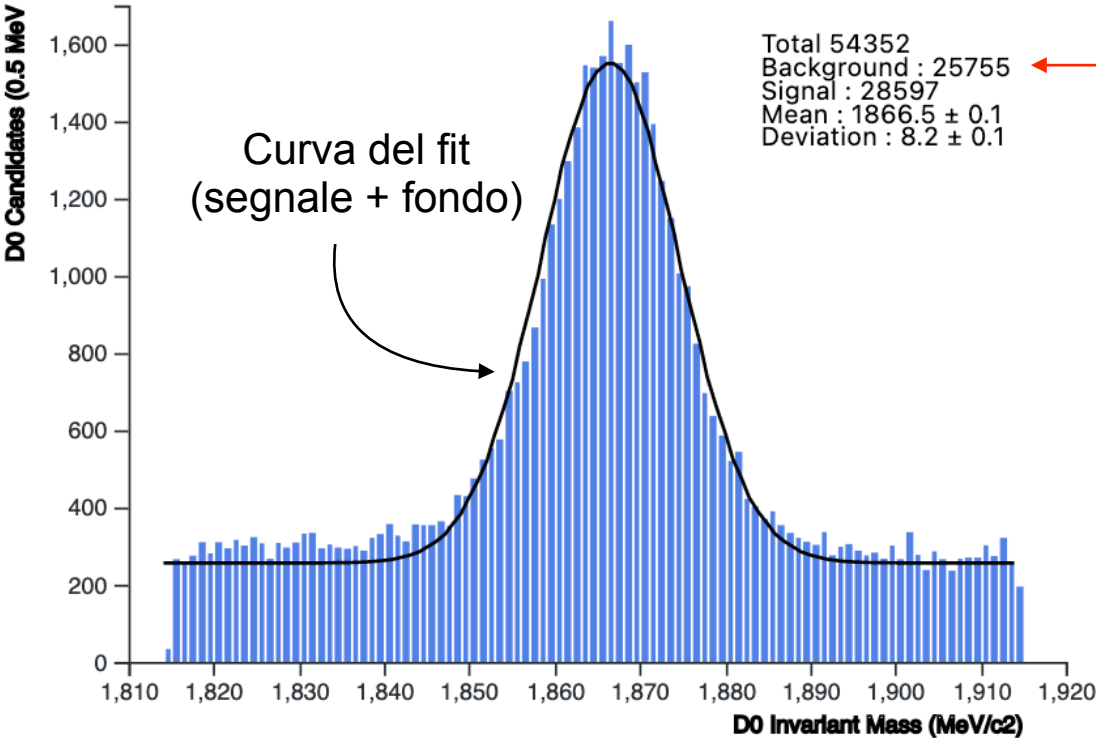
Fit mass distribution 

Background substr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions




Eventi di fondo stimati

Fit alla massa

- Per fare il fit nel nostro esercizio, cliccate su *Fit mass distribution*

Analysis tools

Plot D⁰ mass

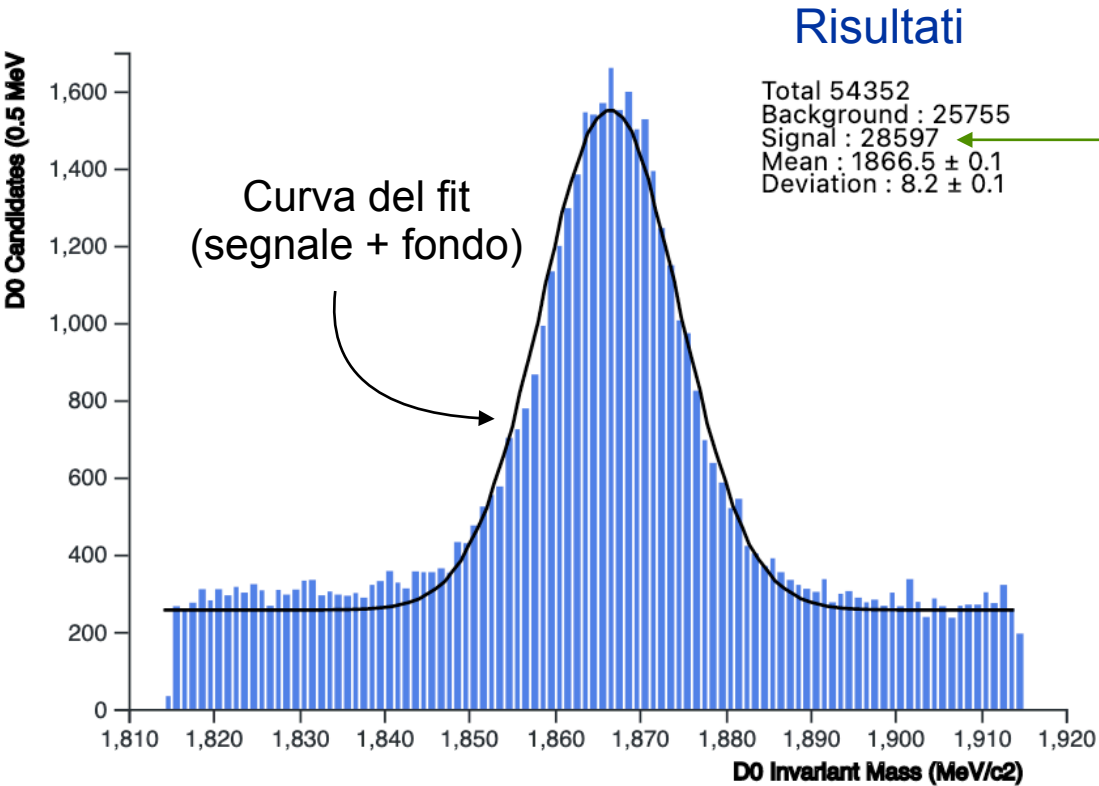
Fit mass distribution 

Background substr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions




Eventi di segnale stimati

Fit alla massa

- Per fare il fit nel nostro esercizio, cliccate su *Fit mass distribution*

Analysis tools

Plot D^0 mass

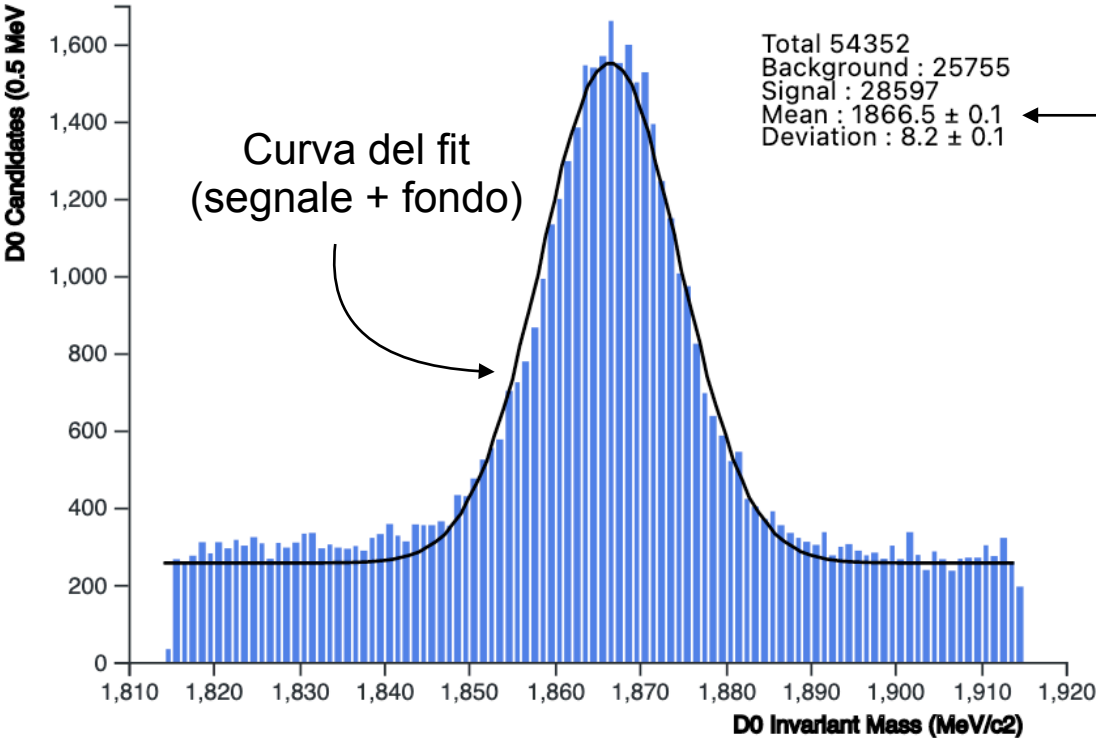
Fit mass distribution 

Background substr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions




Media della gaussiana (μ) che è la misura della massa del D^0

Fit alla massa

- Per fare il fit nel nostro esercizio, cliccate su *Fit mass distribution*

Analysis tools

Plot D⁰ mass

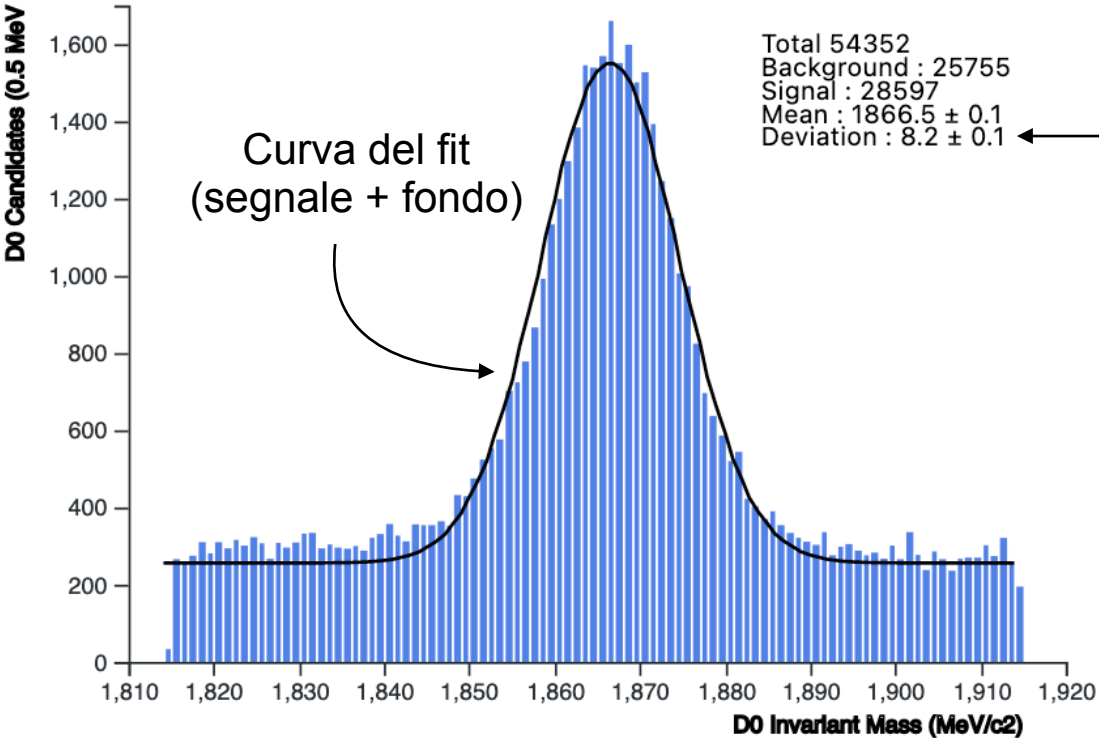
Fit mass distribution 

Background substr.

Signal range

1810 1915

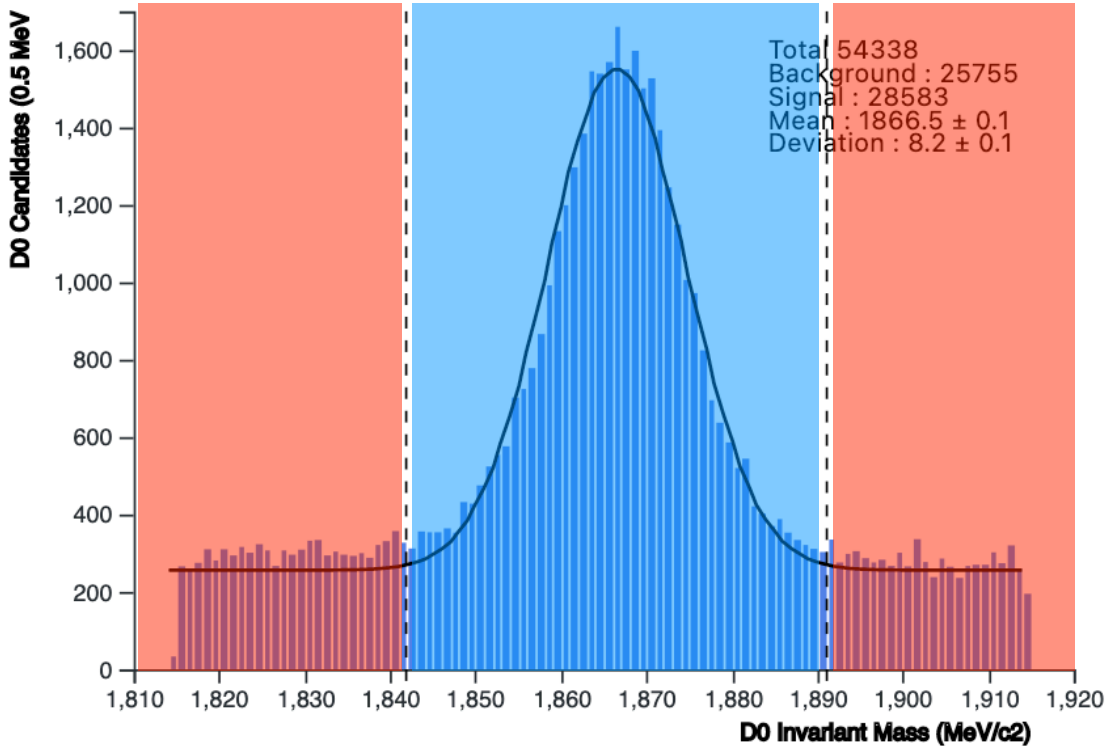
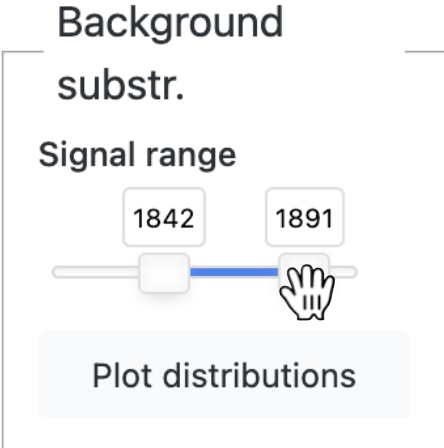
Plot distributions



il parametro σ (standard deviation) indica l'errore

Rimuovere il fondo

- Selezioniamo la regione di segnale, prendendo una regione larga 3σ attorno al valore centrale μ .
- Gauss docet: entro 3σ è contenuto il 99.7% del segnale



blu: tieni gli eventi,
rosso: scarta gli eventi

Rimuovere il fondo: sfruttiamo più variabili!

Analysis tools

Plot D^0 mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1842 1891

Plot distributions

Variable range

D^0 PT

2.5 20

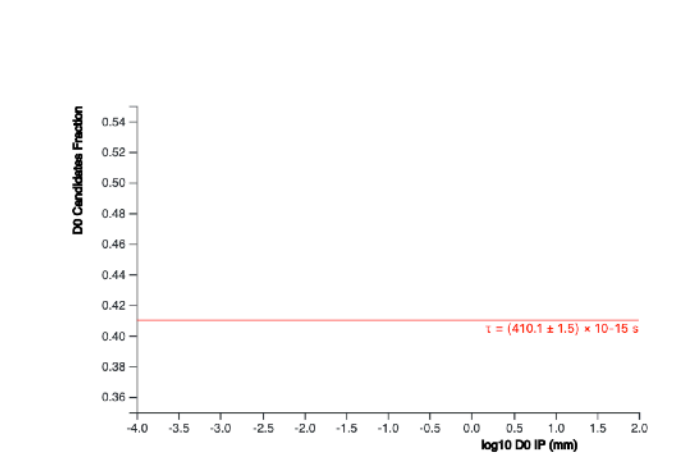
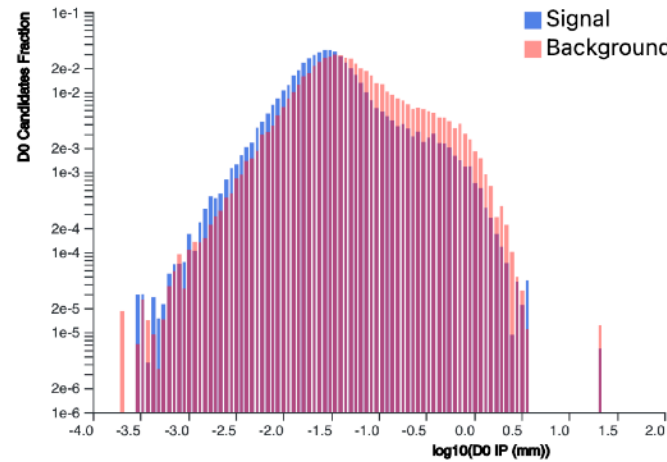
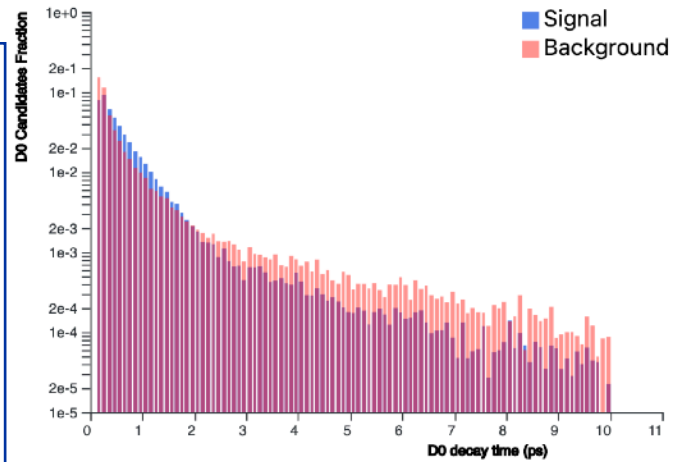
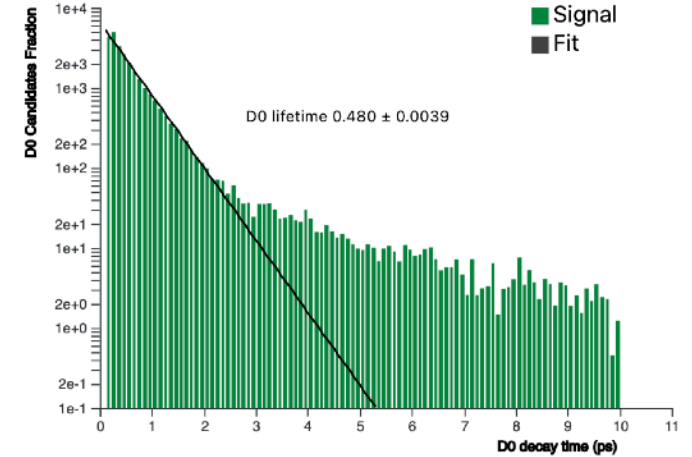
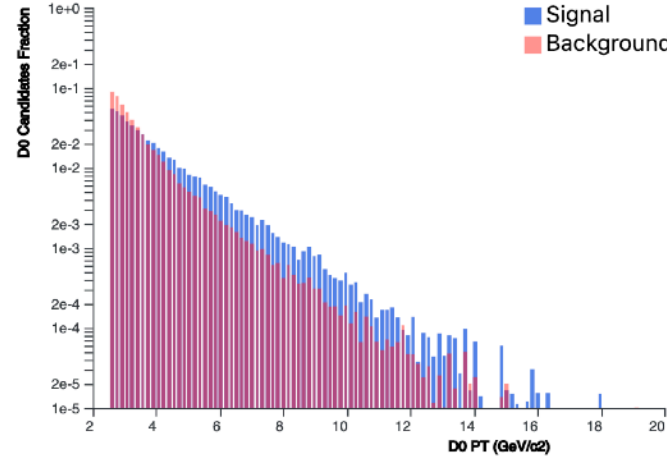
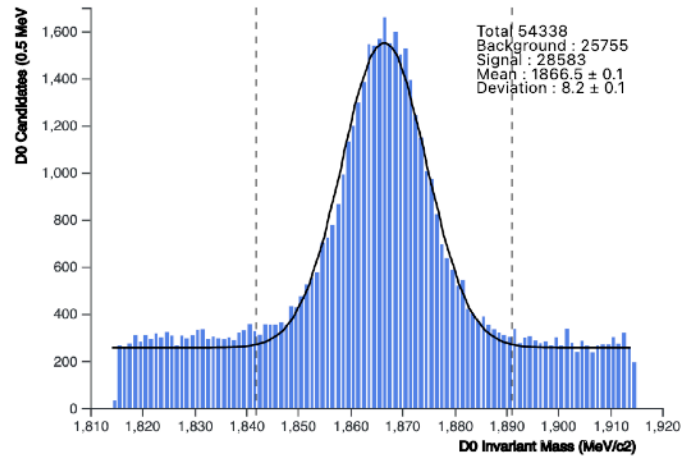
D^0 TAU

0 10

D^0 IP

-4 1.5

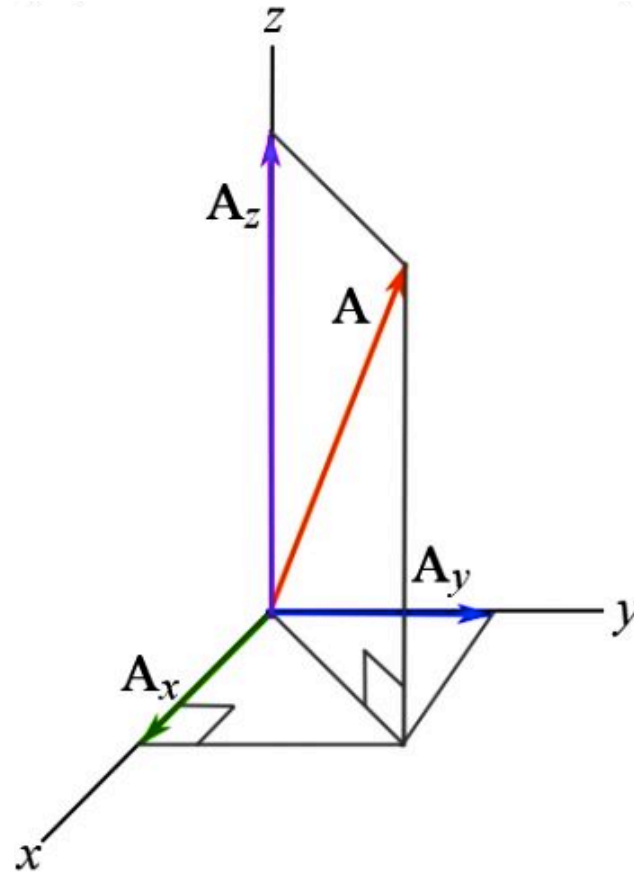
Refresh



Copyright © 2019 CERN

Piccolo ripasso

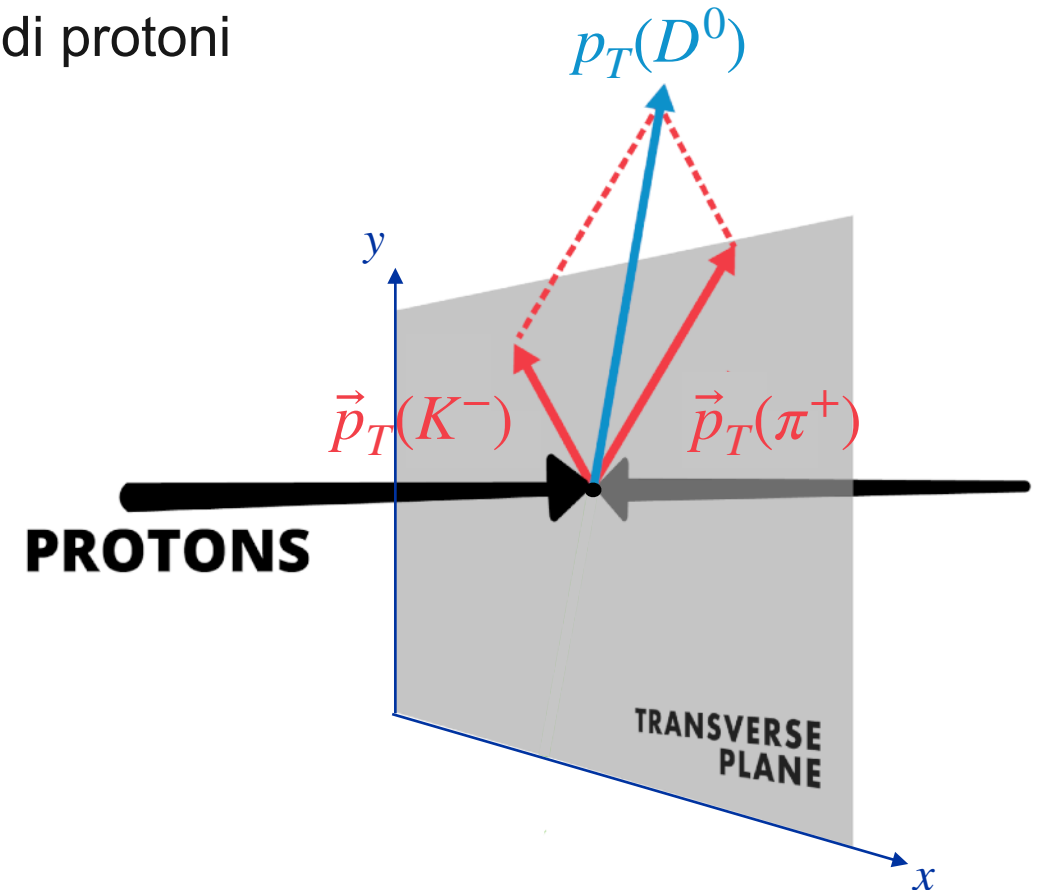
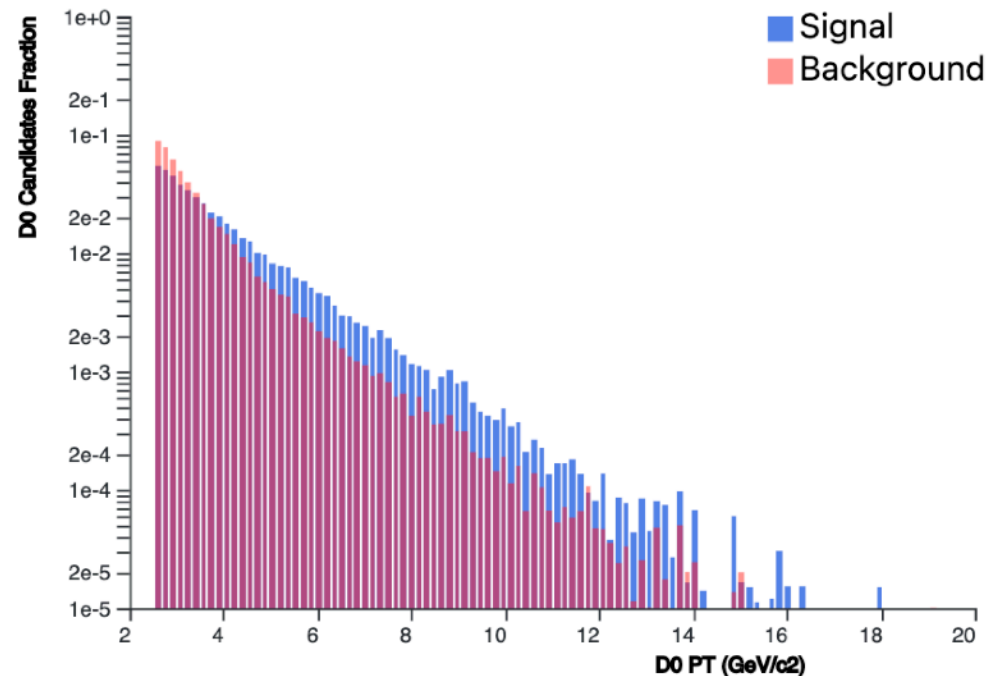
- Conoscete la scomposizione di un vettore in un sistema di coordinate cartesiane:



Impulso trasverso, p_T

- p_T è la componente dell'impulso trasversale ai fasci di protoni

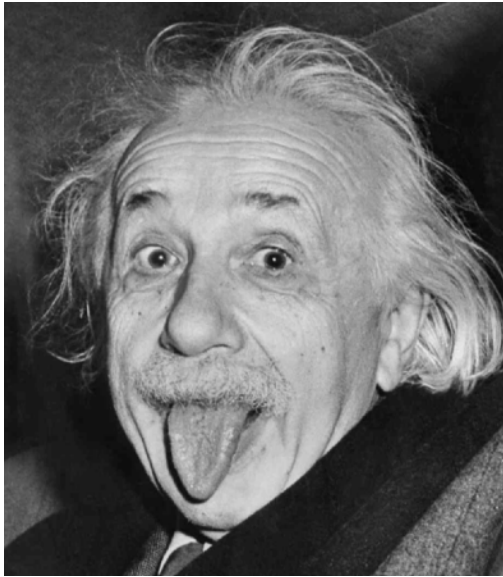
- Usando Pitagora: $p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$



Il **segnale** tende ad avere p_T più alto!

Quanto spazio percorre un D^0 prima di decadere ?

- Devo rivelarvi il “risultato” dell’esercizio, ma è per una buona causa...
- Il tempo medio di vita di un D^0 è $(410.3 \pm 1.0) \times 10^{-15}$ s
- Lo spazio percorso x dipenderà anche dalla sua velocità, che alle energie in gioco a LHC possiamo benissimo assumere che sia praticamente la velocità della luce

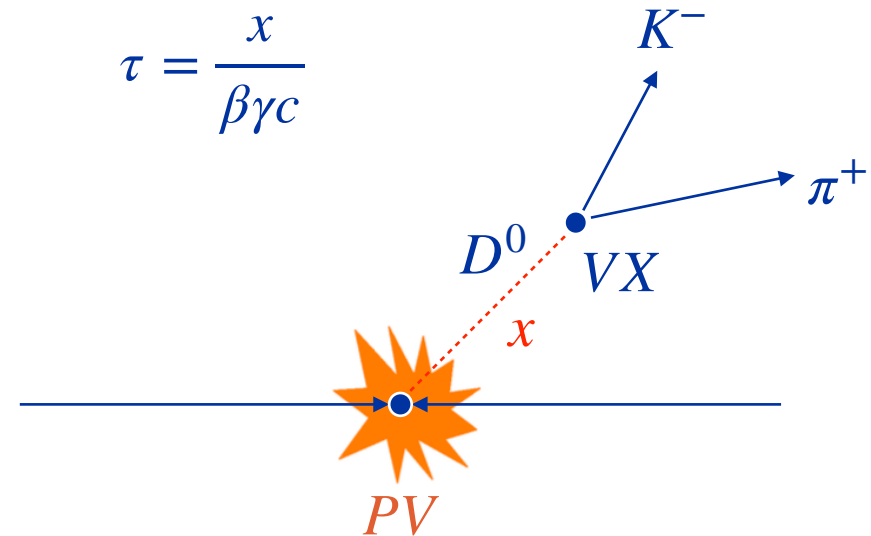
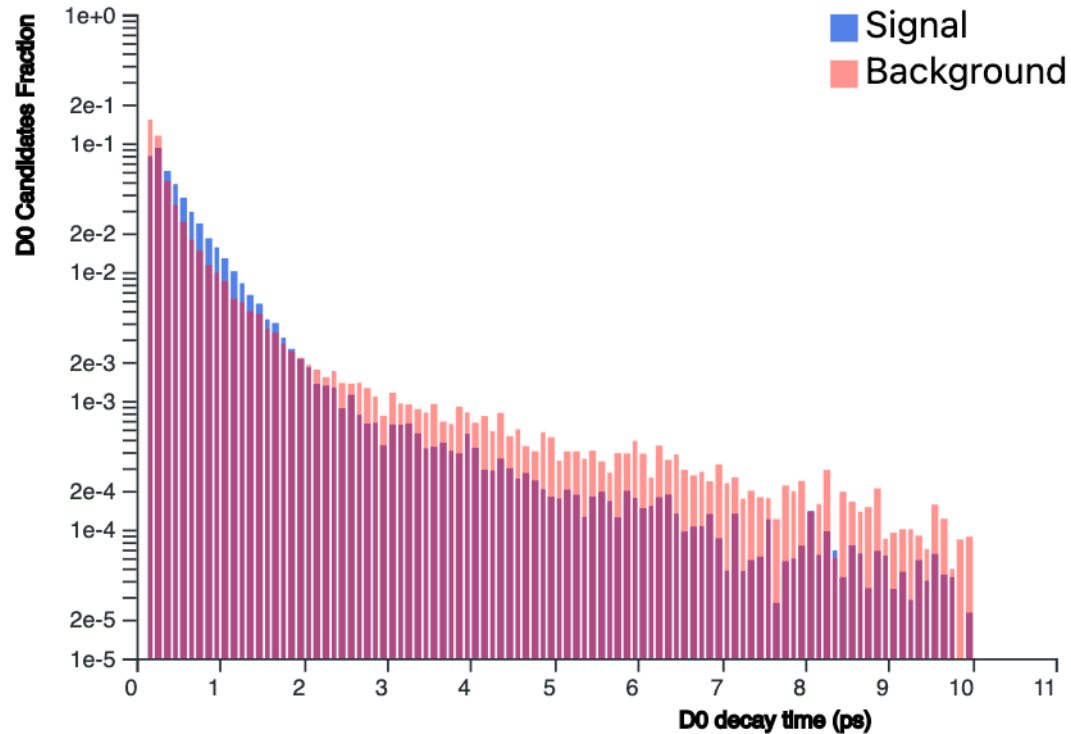


$$x = \gamma \cdot \beta \cdot c \cdot \tau, \quad \beta = \frac{v}{c}$$

- Considerando che a LHCb le particelle hanno tipicamente $\gamma \cdot \beta \approx 40$, risulta che $x = 0.6$ cm

Tempo di decadimento, τ

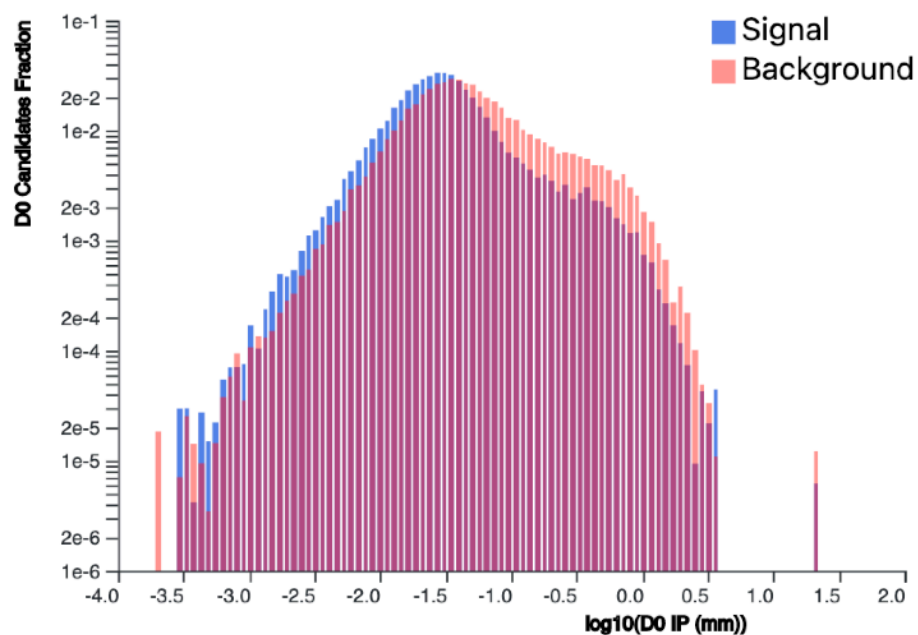
- Il tempo di decadimento si calcola a partire dalla lunghezza di volo x
- Il **segnale** tende ad avere τ più bassi!



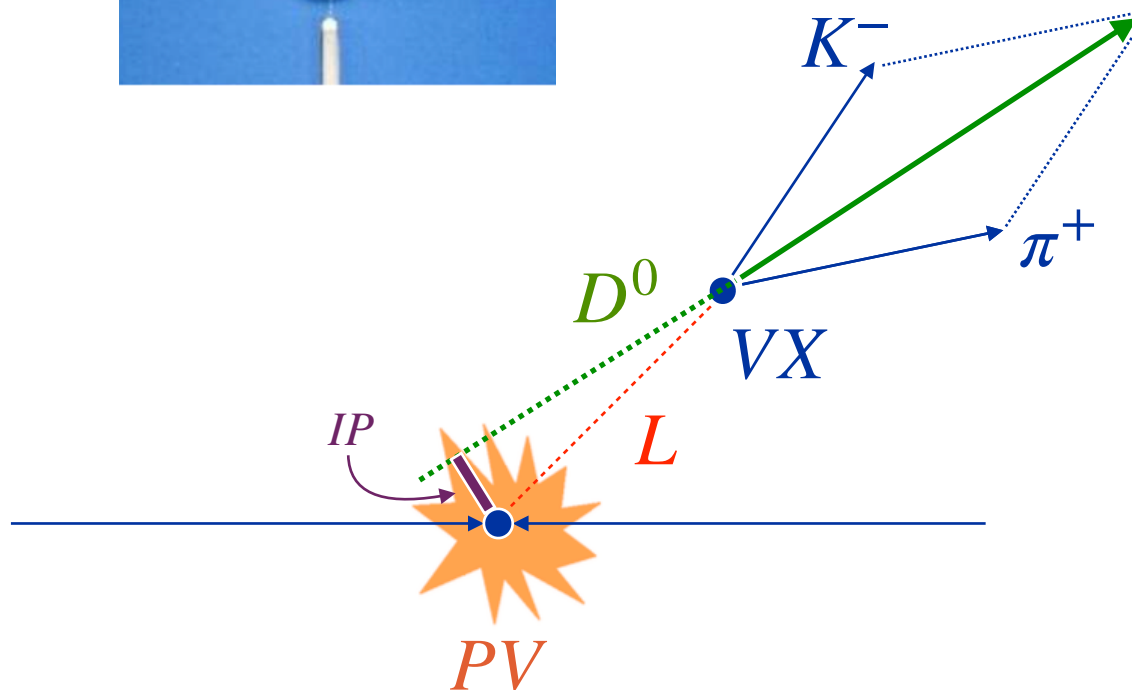
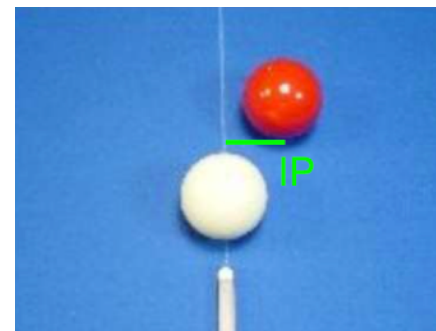
$$\tau = \frac{x}{\beta\gamma c}$$

Parametro d'impatto, IP

- Minima distanza tra il vertice primario e la direzione del D^0
- Il segnale tende ad avere IP più piccolo



NB: usiamo il $\log_{10}(IP)$ sull'asse x!



Scelta dei tagli

Analysis tools

- Plot D^0 mass
- Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

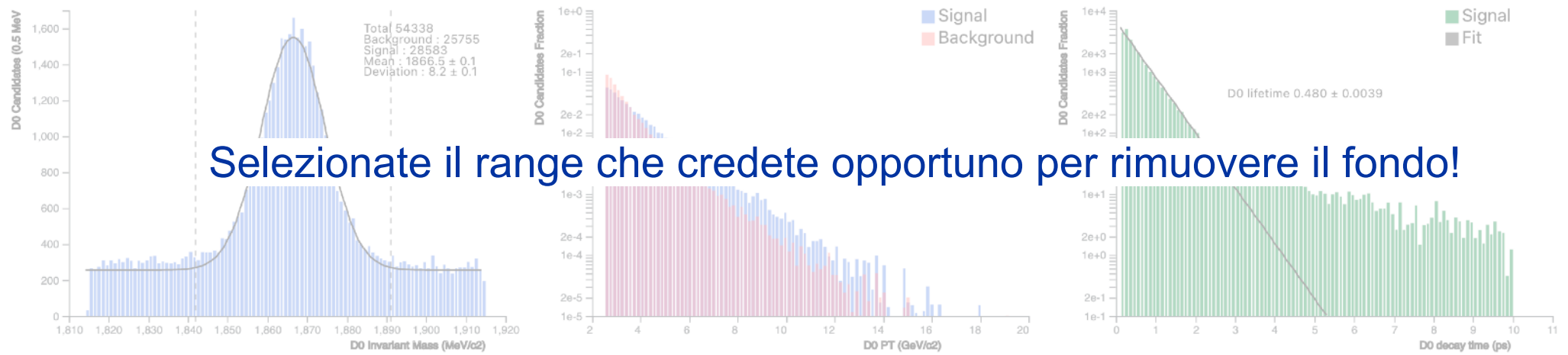
1842 1891

Plot distributions

Variable range

- D^0 PT: 2.5 to 20
- D^0 TAU: 0 to 10
- D^0 IP: -4 to 1.5

Refresh



Selezionate il range che credete opportuno per rimuovere il fondo!



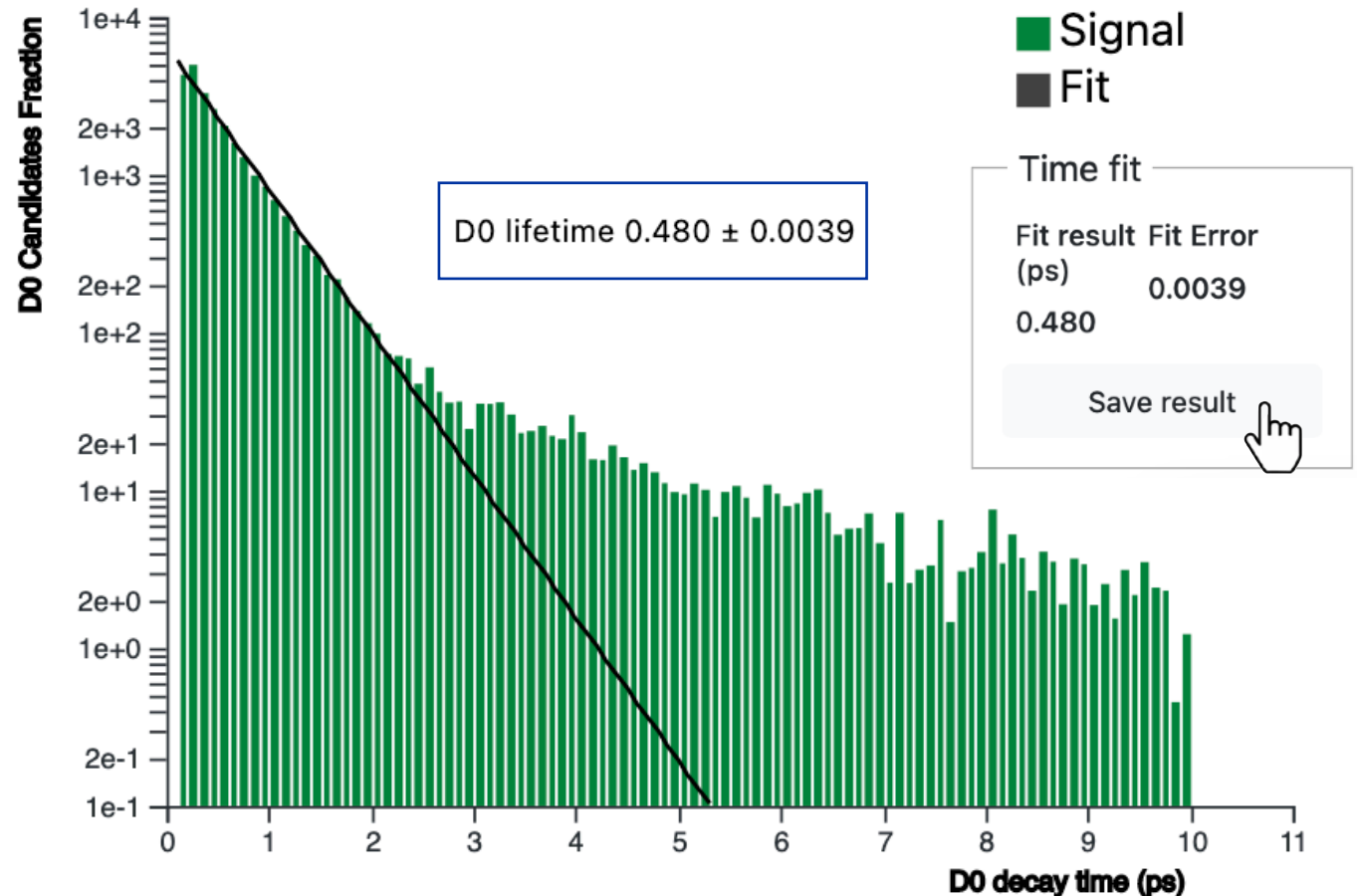
Ma attenzione: i tagli sulle variabili rimuoveranno anche una parte del segnale. Dovete trovare il giusto compromesso!

Fit all'istogramma del tempo di decadimento

- Il modello per il fit questa volta è la funzione esponenziale decrescente (linea nera)

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

- Dal fit otteniamo il parametro τ (riportato nel riquadro) ovvero la **vita media del D^0**
- Il risultato è in picosecondi ps ovvero $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$
- Il valore dal PDG è
 $(0.410 \pm 0.001) \text{ ps}$
- Il τ stimato in questo fit non è *compatibile* con le attese!



Vita media in funzione del parametro d'impatto

Variable range

D⁰ PT
2.5 8.81

D⁰ TAU
0 4.4

D⁰ IP
-4 -0.74

Refresh

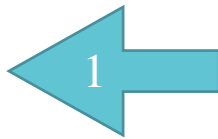
- Come popoliamo l'ultimo grafico?

1. Ridurre l'IP massimo

2. Ripetere il fit

3. Salvare il risultato

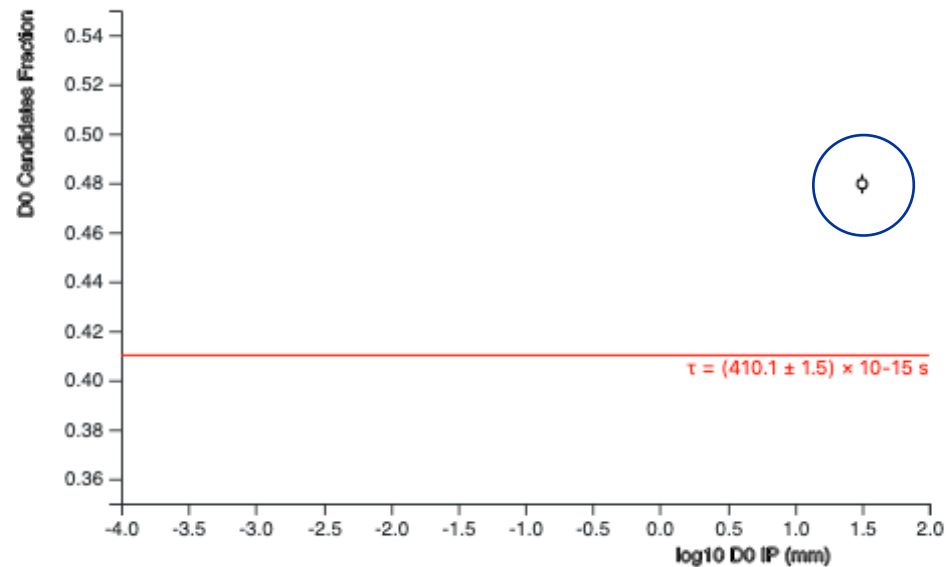
- Continue a diminuire l'IP a step di 0.3 e ripetete il fit salvando il risultato



Time fit

Fit result (ps)	Fit Error
0.439	0.0034

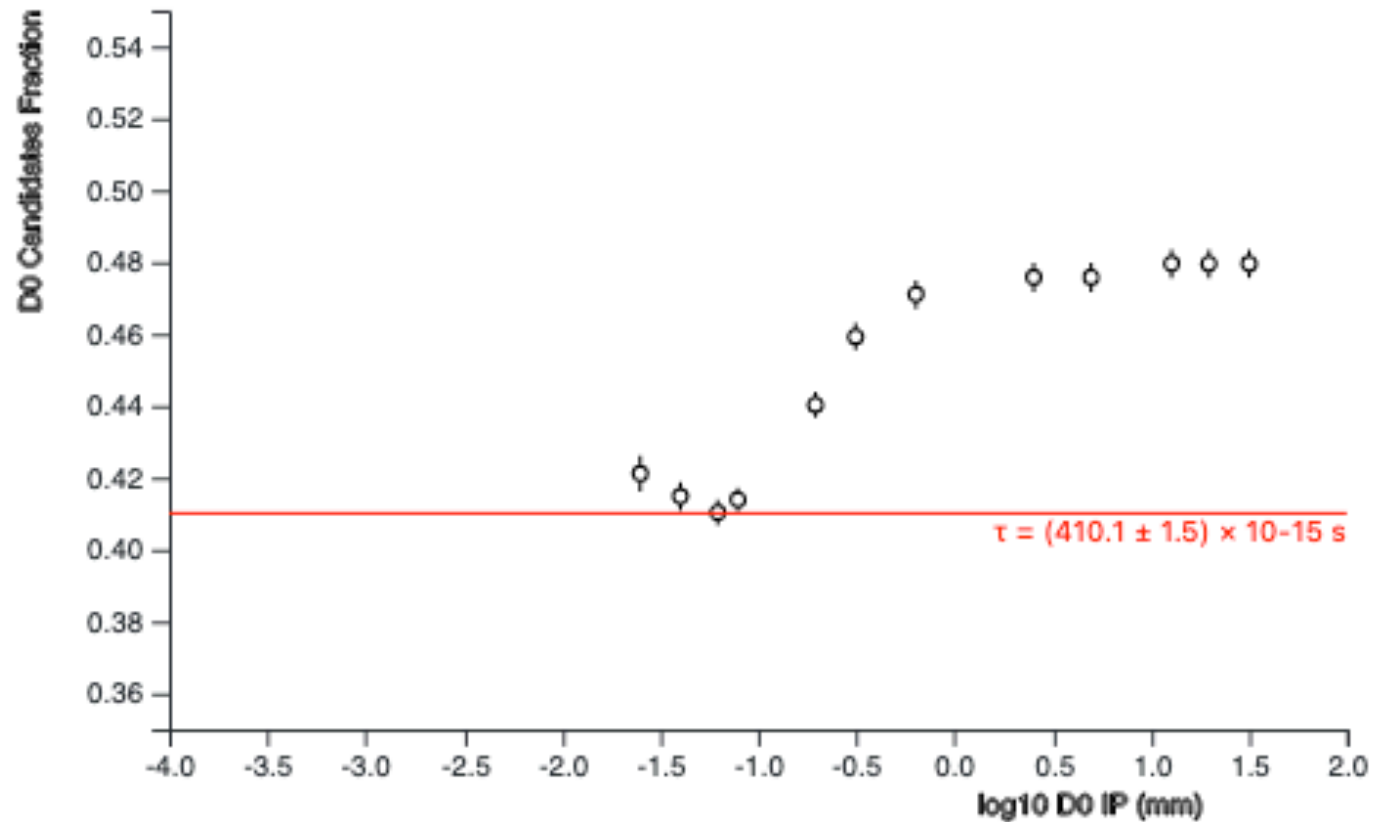
Save result



Risultato

- La vita media dal fit diminuisce riducendo il parametro d'impatto, perché?

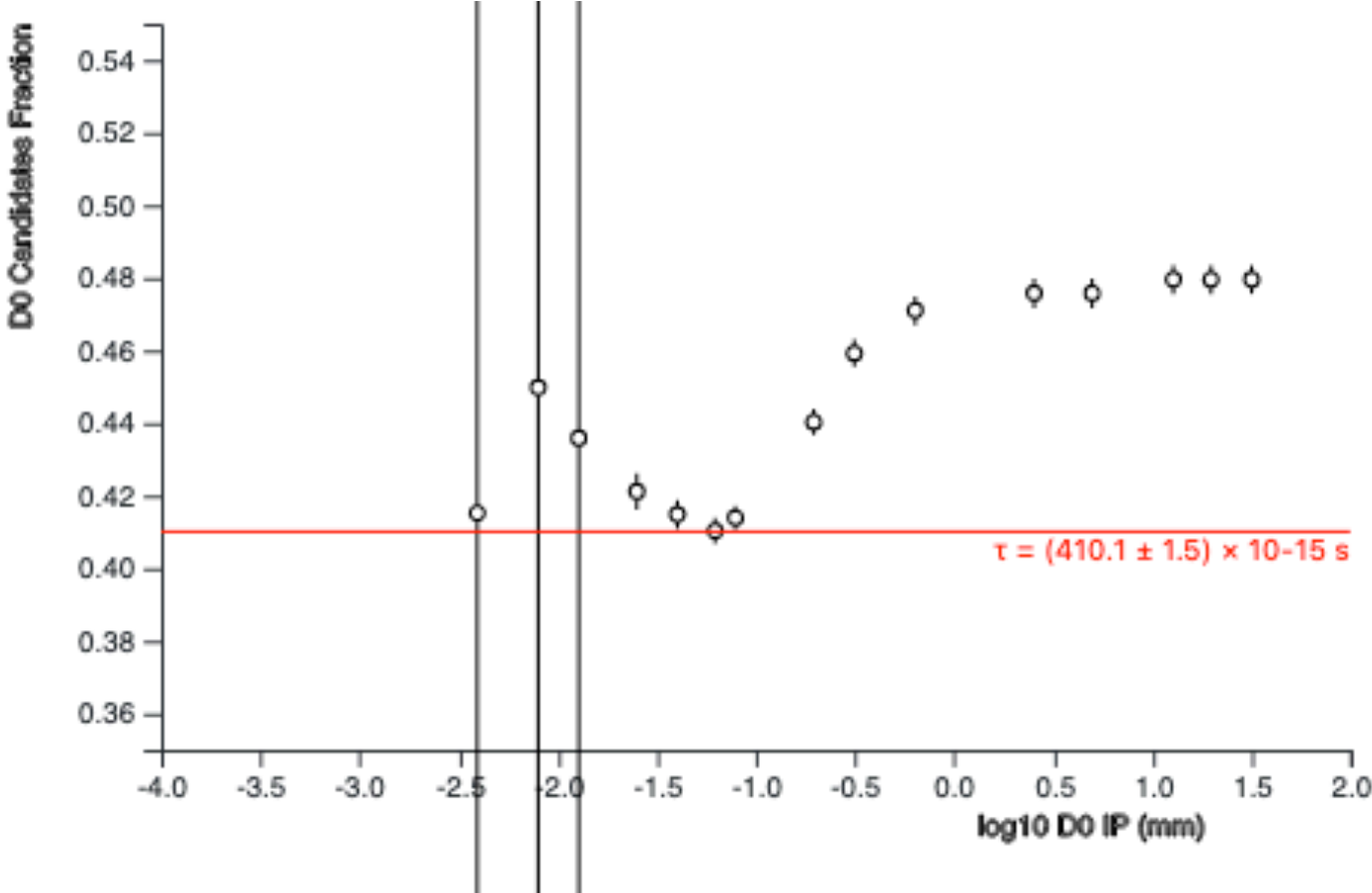
Pomeriggio



Risultato

- Alcuni di voi avranno sicuramente ottenuto questo proseguendo, perché?

Pomeriggio 





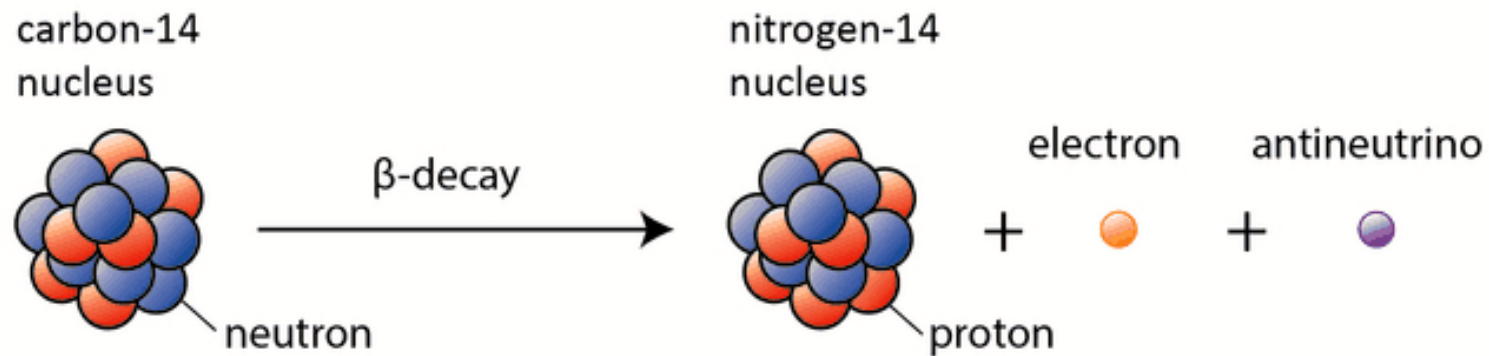
That's all Folks!

...for the moment!

Backup slides

Cos'è l'instabilità?

- Molte particelle che conosciamo sono **instabili**. Generalmente, più una particella è pesante più è instabile
- Un esempio a voi noto è il **fenomeno della radioattività**, dovuto a nuclei atomici instabili che si disintegrano spontaneamente in altri



- Non sempre i prodotti di decadimento sono stabili, ovvero si possono avere altri decadimenti a cascata!

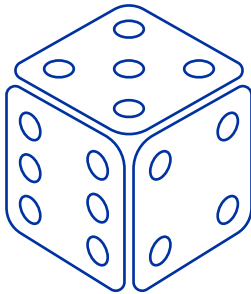
La vita media

- Ogni nucleo radioattivo decadrà in tempi diversi rispetto agli altri (si può andare da frazioni di secondo a miliardi di anni)
- Non è possibile prevedere quando decadrà un singolo nucleo
- Tuttavia, è **possibile misurare quanto vivrà in media**, dato un campione statistico di partenza abbastanza grande!

Esempio: lancio di dadi

- Facciamo un esempio non direttamente connesso alla vita media, ma molto utile per figurarci cosa stiamo imparando

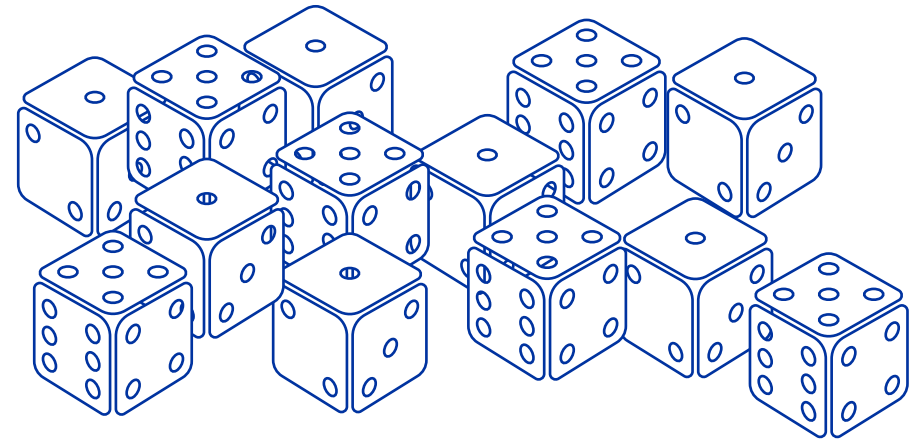
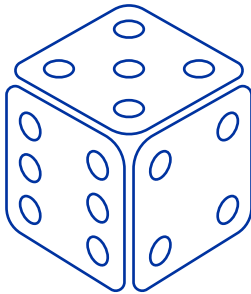
Se lanciate un singolo dado è impossibile prevedere il risultato



Esempio: lancio di dadi

- Facciamo un esempio non direttamente connesso alla vita media, ma molto utile per figurarci cosa stiamo imparando

Se lanciate un singolo dado è impossibile prevedere il risultato



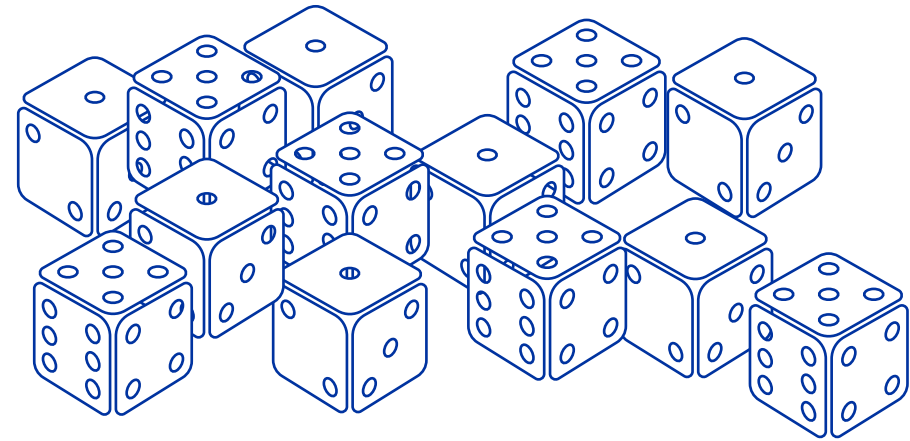
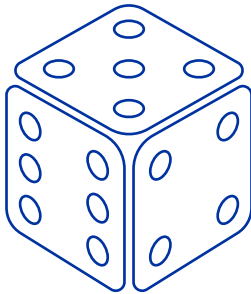
Tuttavia, se lanciate 1000 dadi contemporaneamente e fate la media dei risultati otterrete un numero vicino a 3.5

- Con un numero infinito di dadi la media sarà esattamente 3.5

Esempio: lancio di dadi

- Facciamo un esempio non direttamente connesso alla vita media, ma molto utile per figurarci cosa stiamo imparando

Se lanciate un singolo dado è impossibile prevedere il risultato



Tuttavia, se lanciate 1000 dadi contemporaneamente e fate la media dei risultati otterrete un numero vicino a 3.5

- Il singolo lancio è imprevedibile, ma la media dei lanci partendo da un campione abbastanza grande è un numero ben definito!

La vita media

- Come per i dadi, immaginiamo di avere un numero molto grande di nuclei radioattivi: N^0
- Definiamo il *tempo di dimezzamento*, $t_{1/2}$, come il tempo dopo il quale il numero dei nuclei iniziali si è ridotto della metà
- Il numero di nuclei non decaduti, $N(t)$ diminuisce come una funzione esponenziale col passare del tempo:

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

- τ è la **vita media** del nucleo ed è pari a

$$\tau = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \approx \frac{t_{1/2}}{0.693}$$

