



Fisici del CERN per un giorno

LHCb Masterclass - Pisa

Domenico Riccardi

domenico.riccardi@cern.ch

INFN Pisa, 12/03/2025

Cosa faremo oggi?

- **Esercizio 1:** Andremo a caccia di una particella chiamata **mesone D^0**
- **Esercizio 2:** Scopriremo quanto vive prima di scomparire!
- **Concetti che ci serviranno:**
 - Cos'è e di cosa è *fatto* un mesone D^0
 - Cosa significa *vita media* di una particella
 - Come possiamo misurare la *vita media* con i dati raccolti da un vero esperimento

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

Cosa faremo oggi?

- **Esercizio 1:** Andremo a caccia di una particella chiamata **mesone D^0**
- **Esercizio 2:** Scopriremo quanto vive prima di scomparire!
- **Concetti che ci serviranno:**
 - Cos'è e di cosa è fatto un mesone D^0
 - Cosa significa *vita media* di una particella
 - Come possiamo misurare la *vita media* con i dati raccolti da un vero esperimento

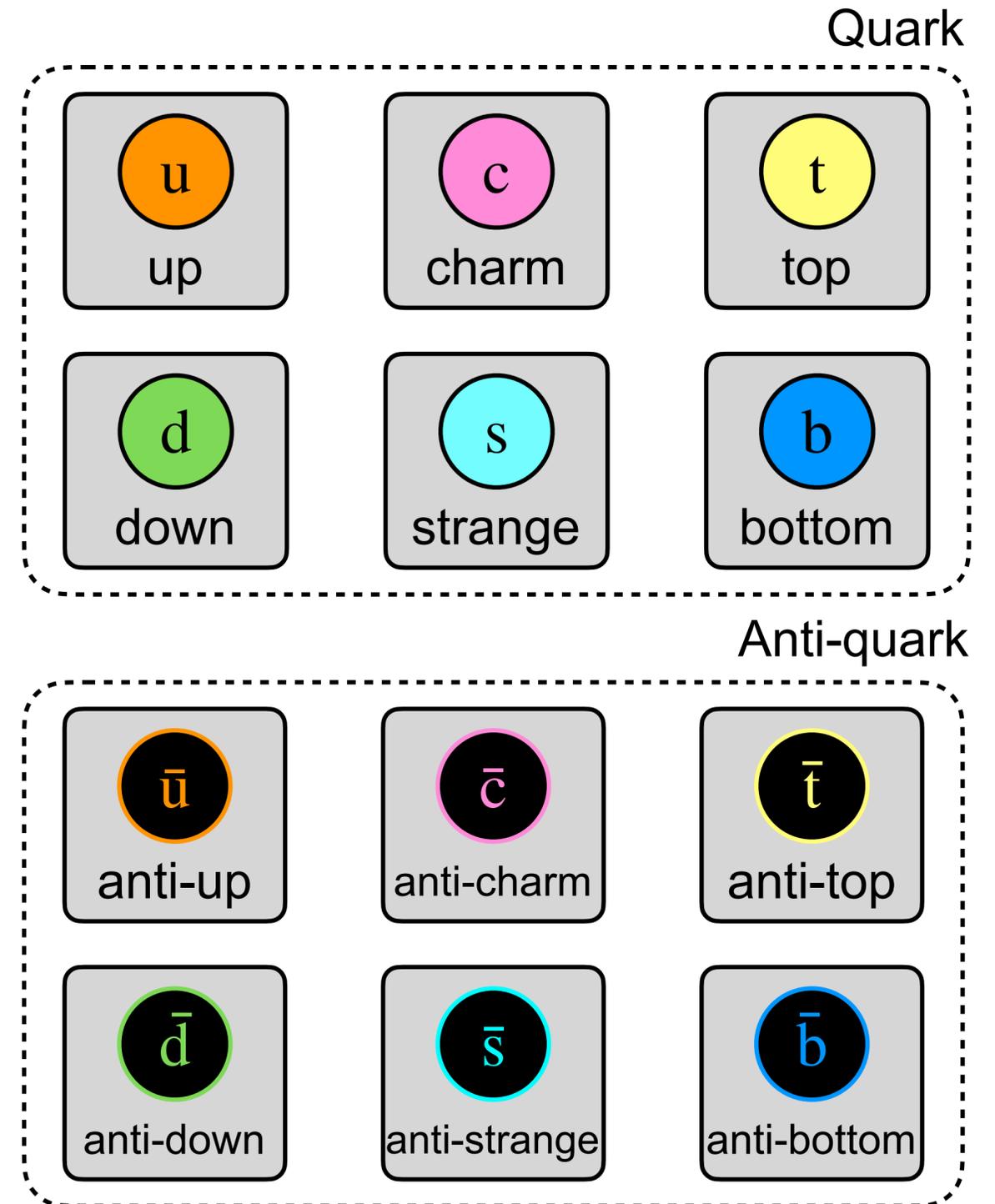
Preparatevi a diventare fisici delle particelle per un giorno!

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

Introduzione: particelle fondamentali

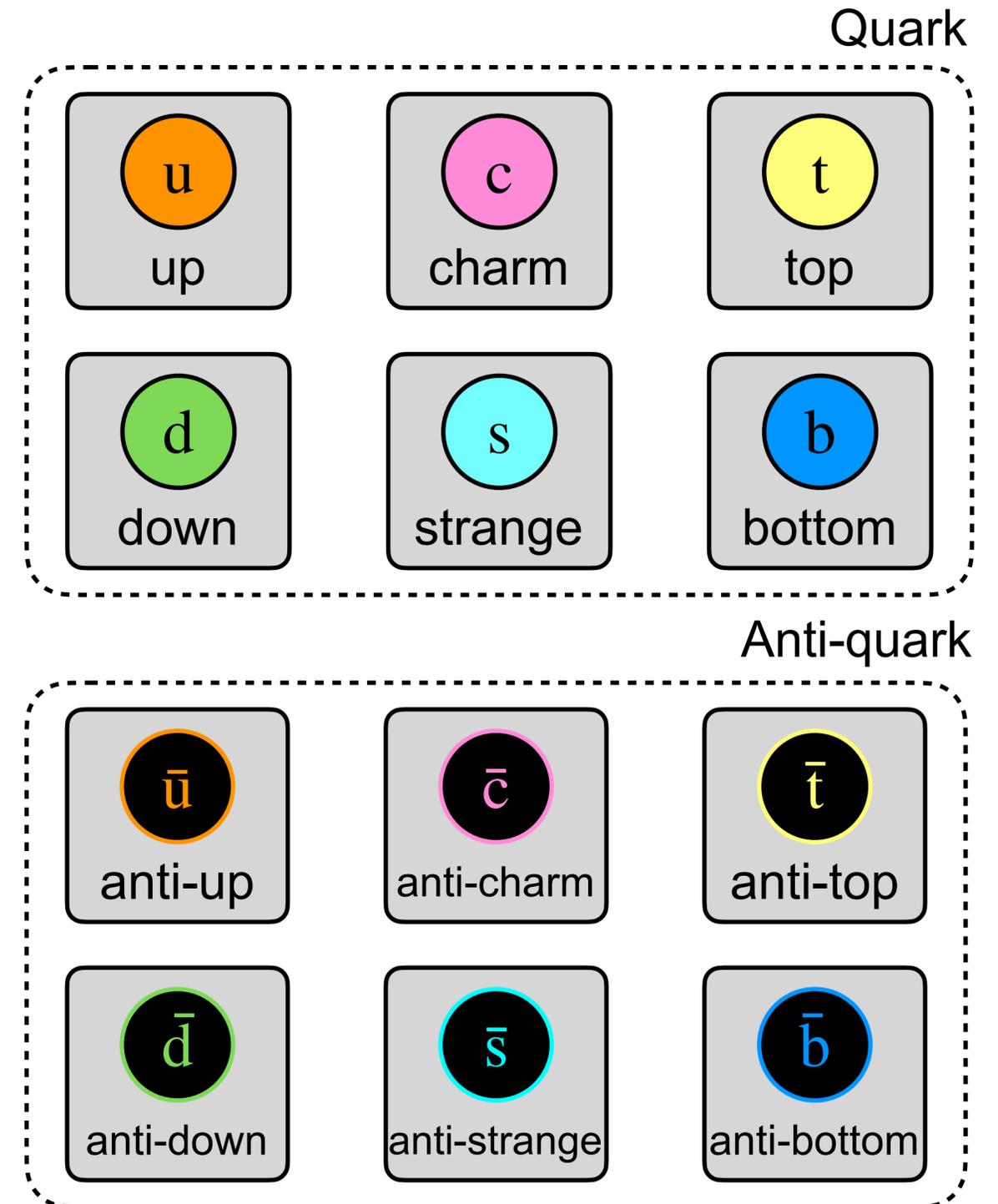
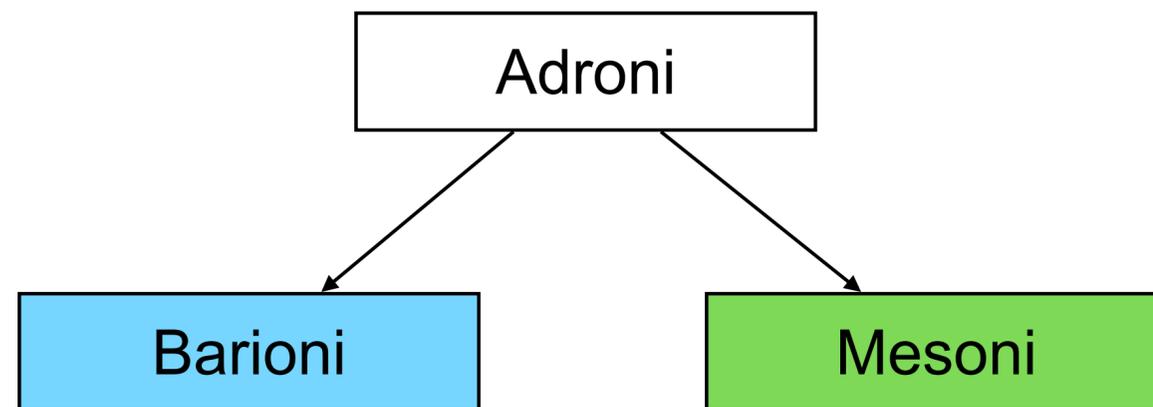
- Esistono **6 tipi di quark** e **6 di anti-quark** che si possono combinare insieme per formare particelle composte dette **adroni**

Adroni



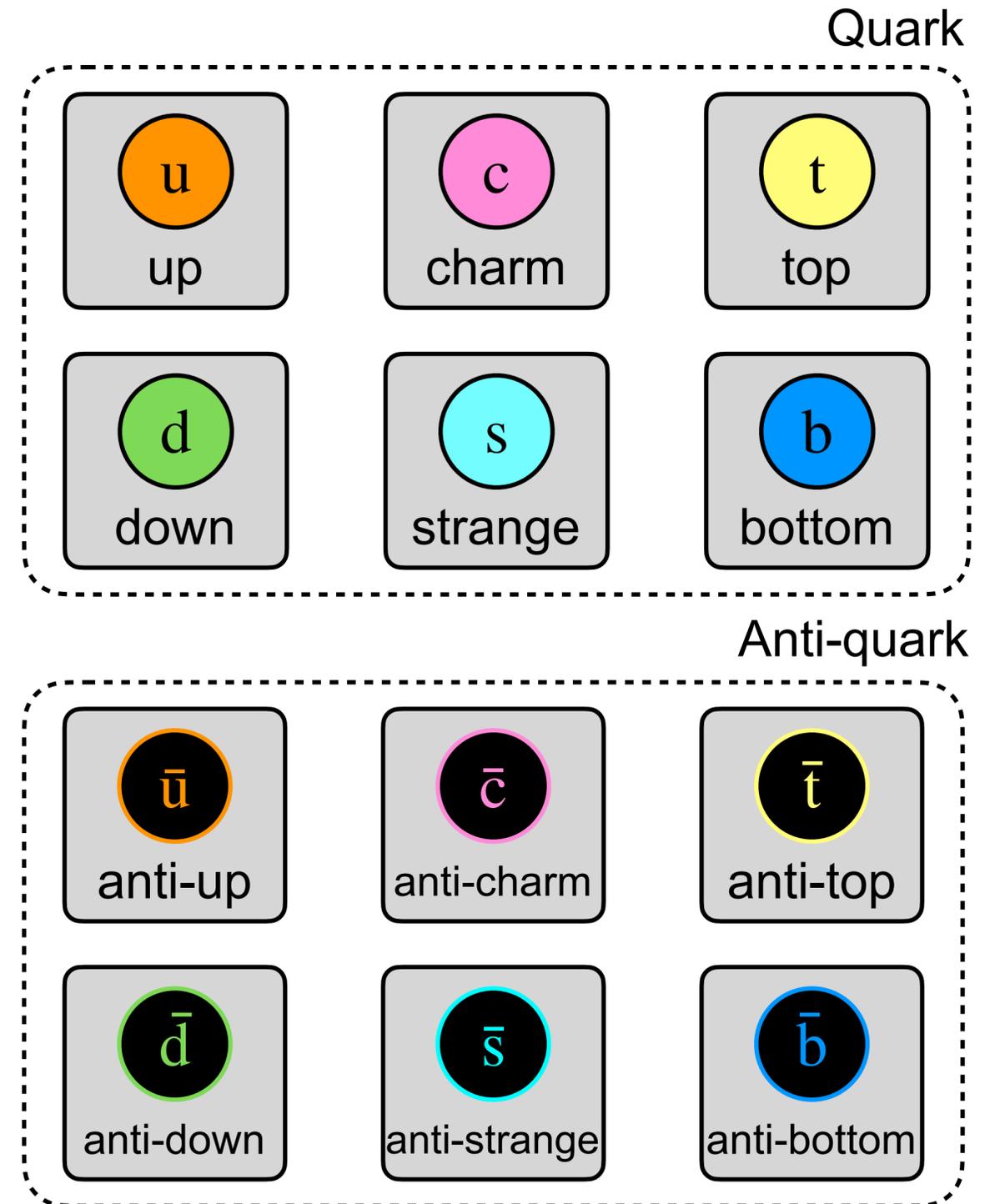
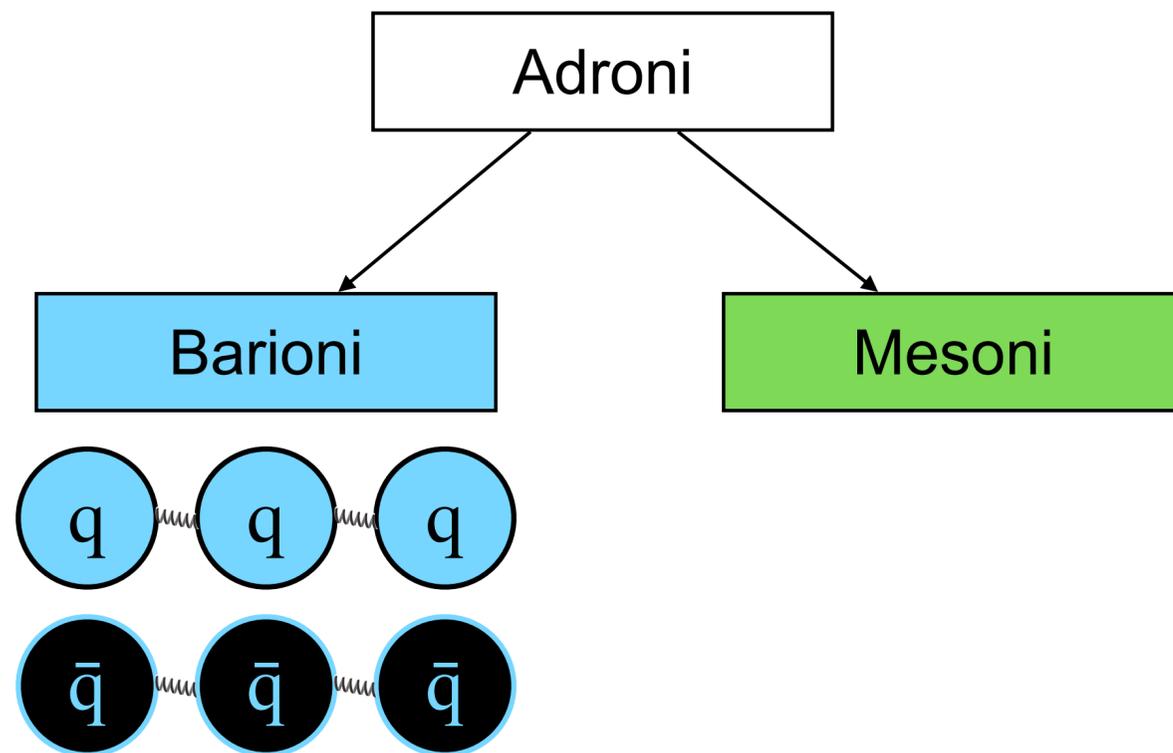
Introduzione: particelle fondamentali

- Esistono **6 tipi di quark** e **6 di anti-quark** che si possono combinare insieme per formare particelle composte dette **adroni**
- Gli adroni si dividono in **barioni** e **mesoni**



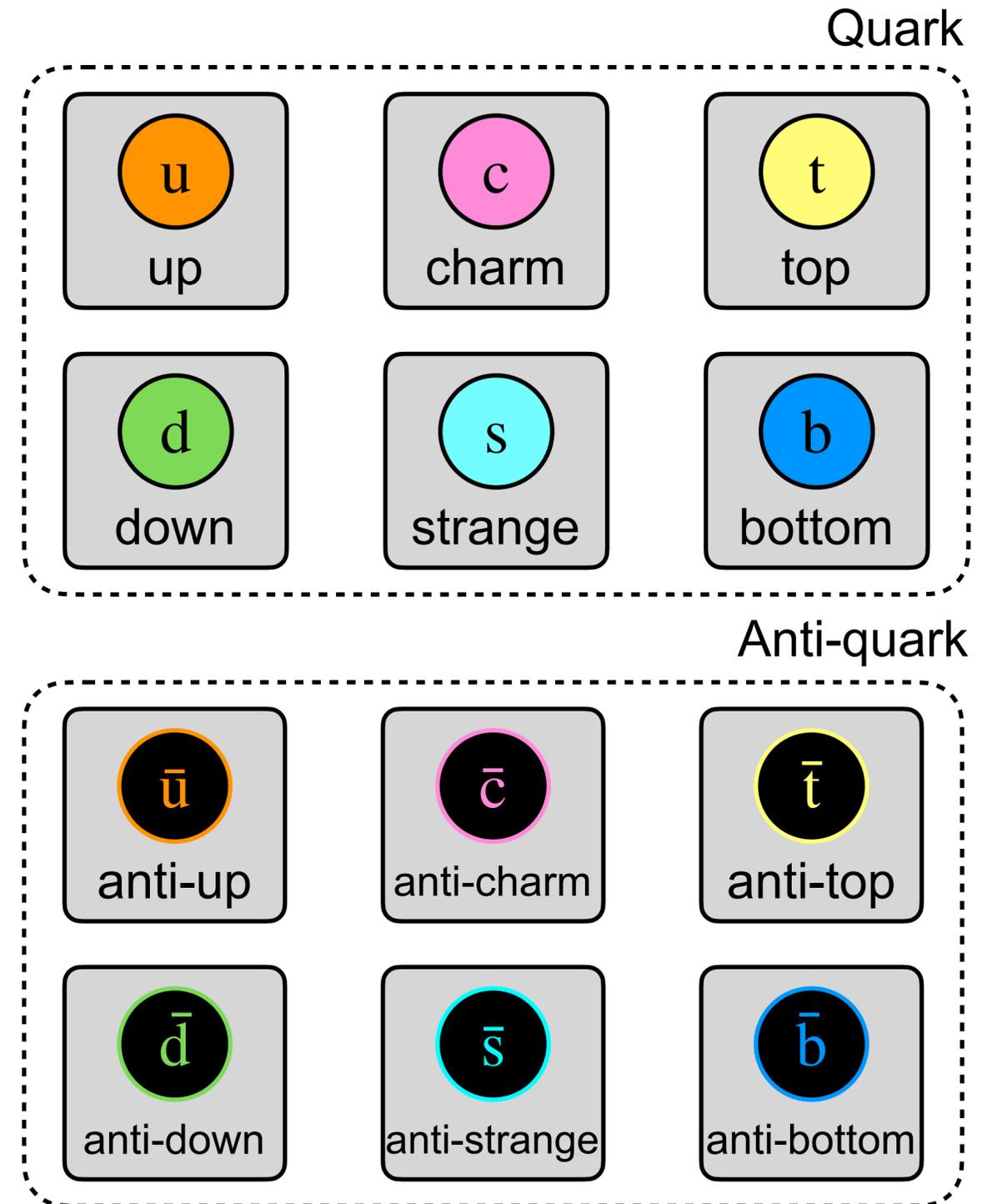
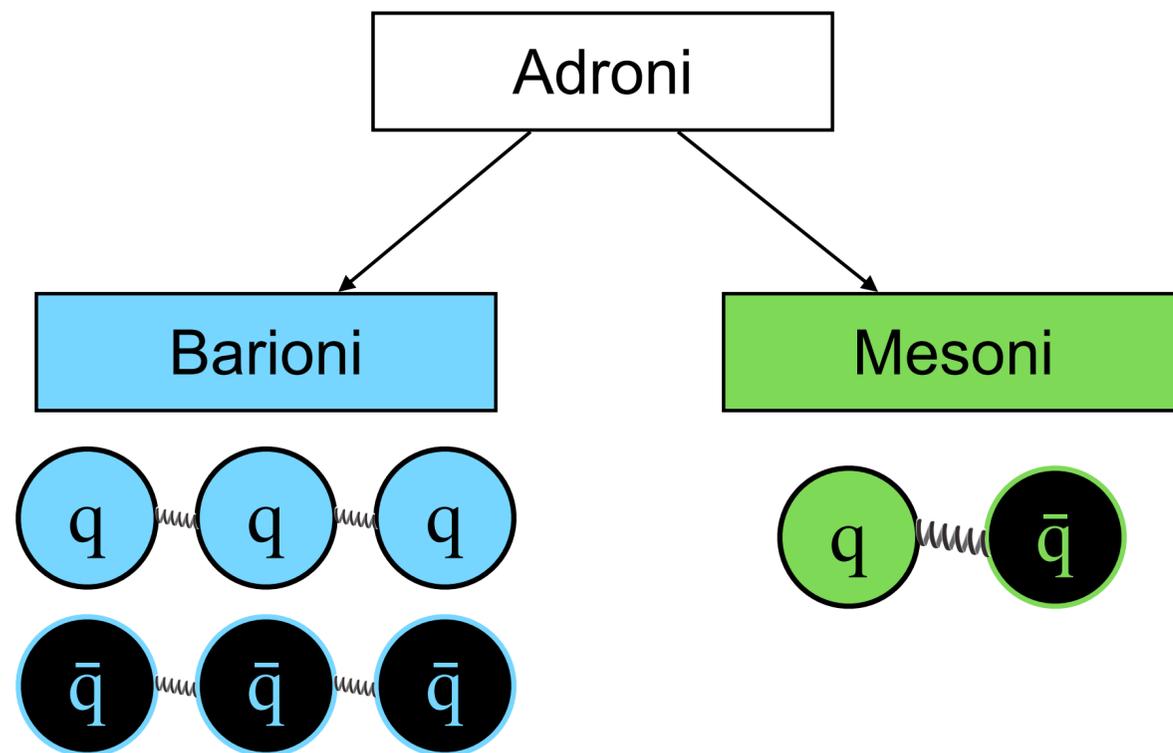
Introduzione: particelle fondamentali

- Esistono **6 tipi di quark** e **6 di anti-quark** che si possono combinare insieme per formare particelle composte dette **adroni**
- Gli adroni si dividono in **barioni** e **mesoni**
- I **barioni** sono composti da 3 quark o 3 anti-quark



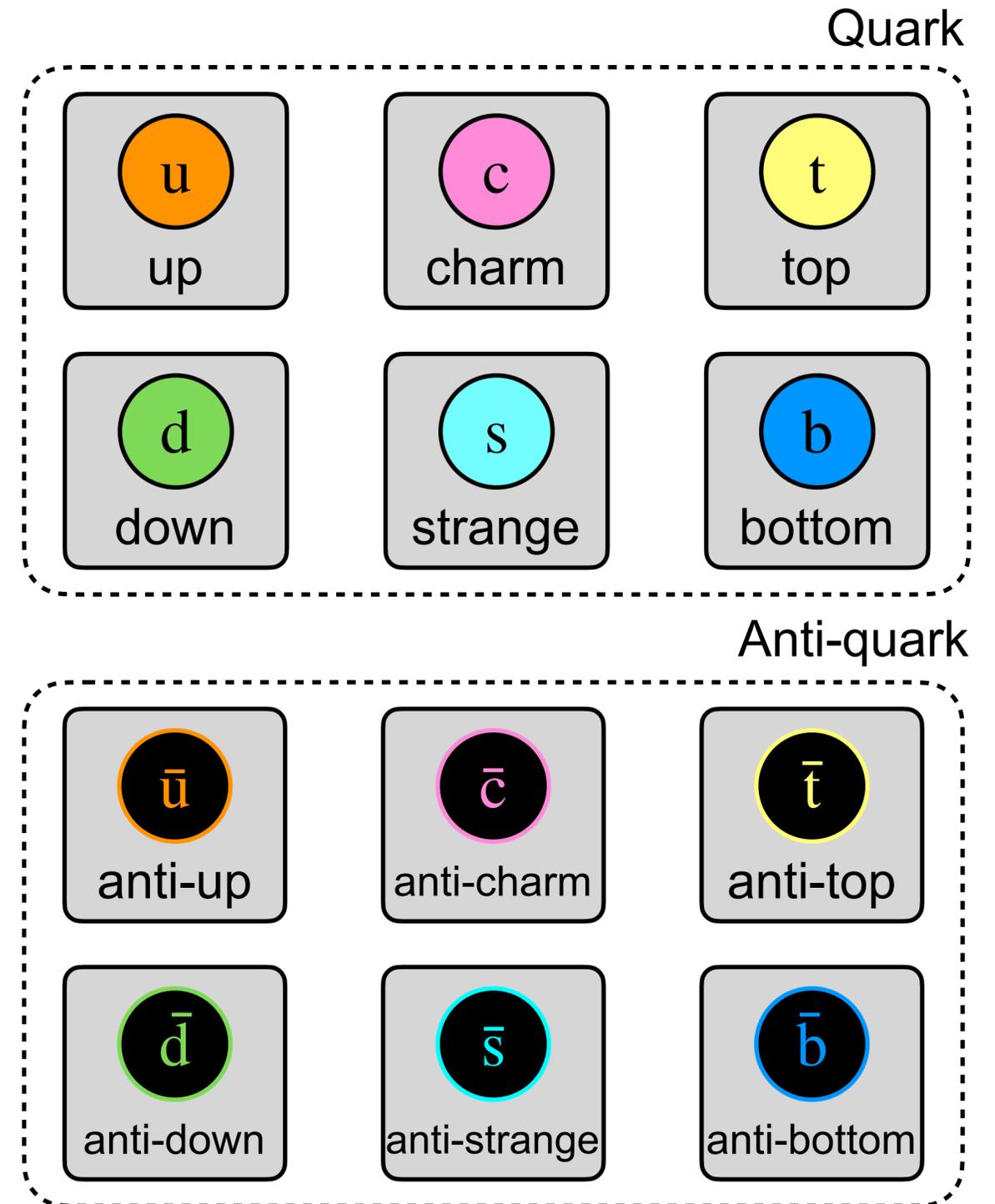
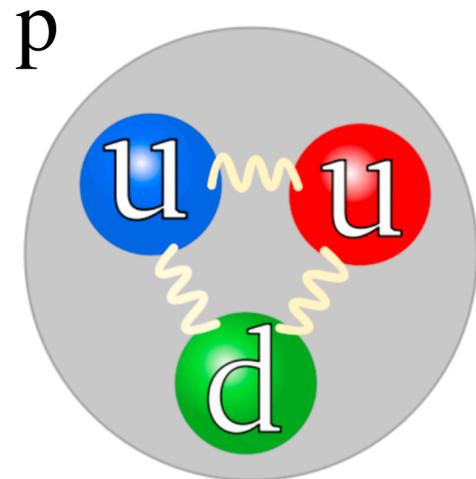
Introduzione: particelle fondamentali

- Esistono **6 tipi di quark** e **6 di anti-quark** che si possono combinare insieme per formare particelle composte dette **adroni**
- Gli adroni si dividono in **barioni** e **mesoni**
- I **barioni** sono composti da 3 quark o 3 anti-quark
- I **mesoni** sono composti da 1 quark e 1 anti-quark



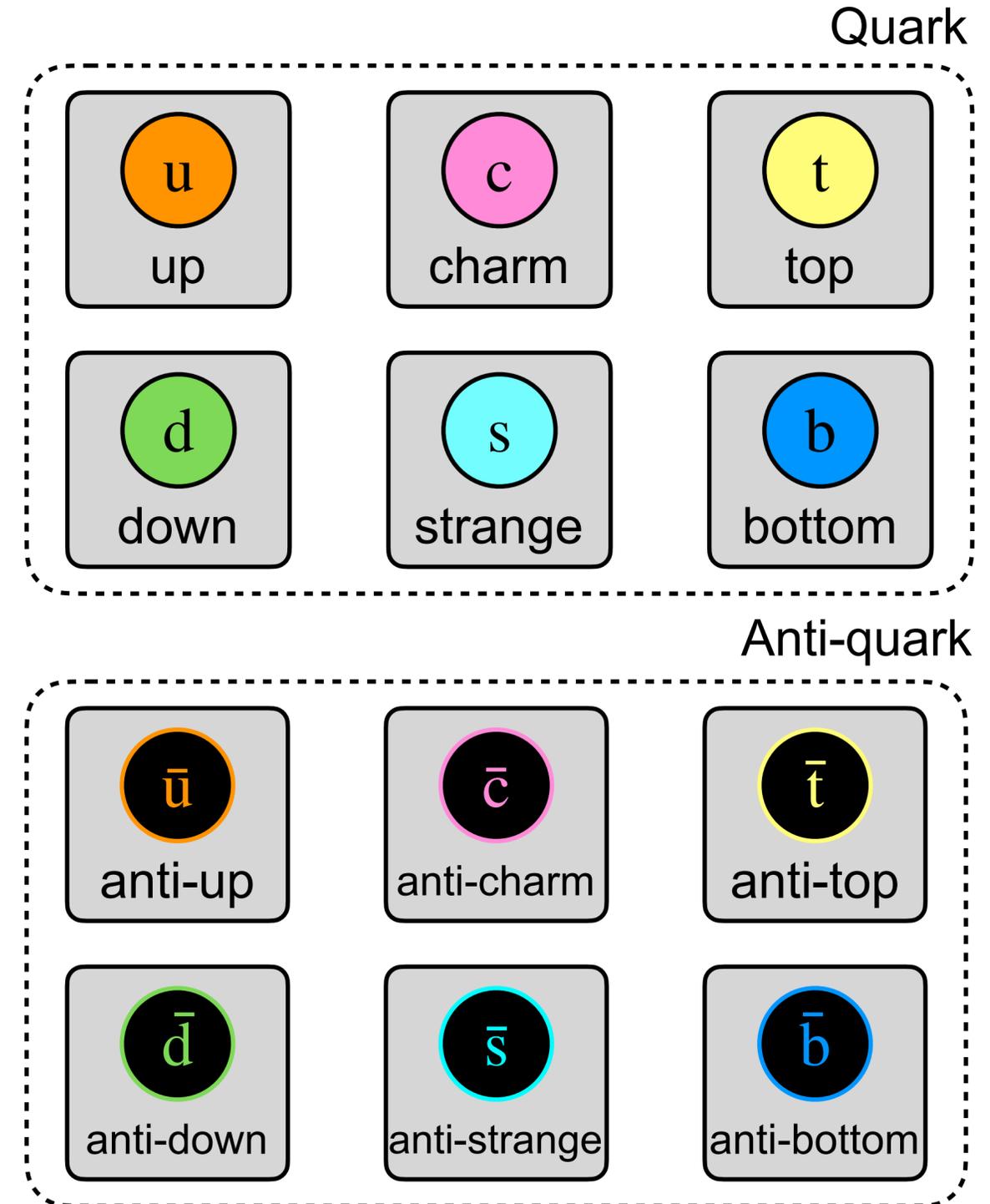
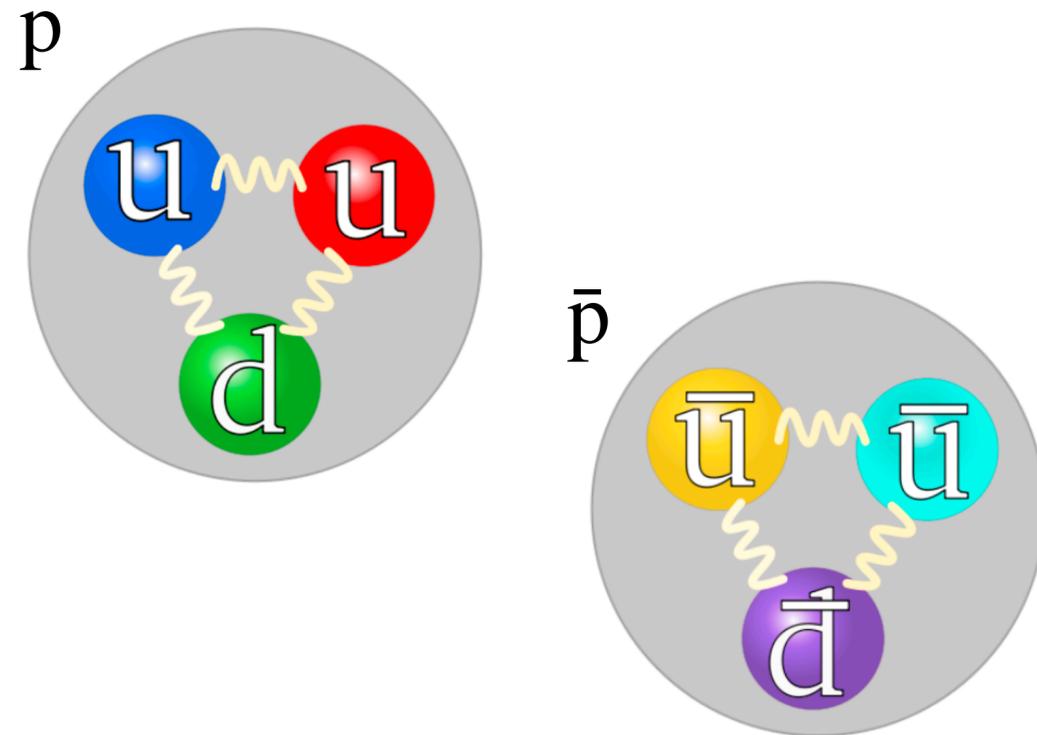
Esempi di barioni e mesoni

- Il **protone** è un barione formato da **2 quark up** e **1 quark down**



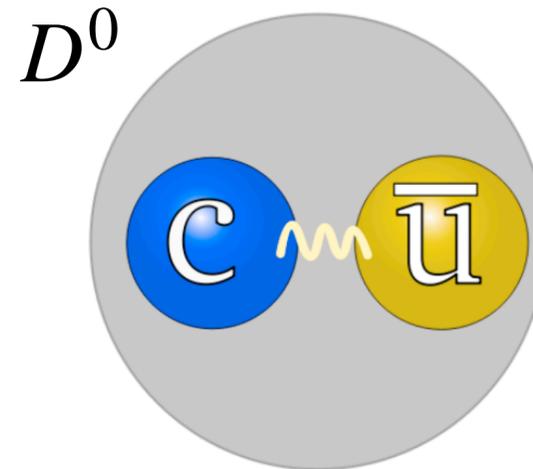
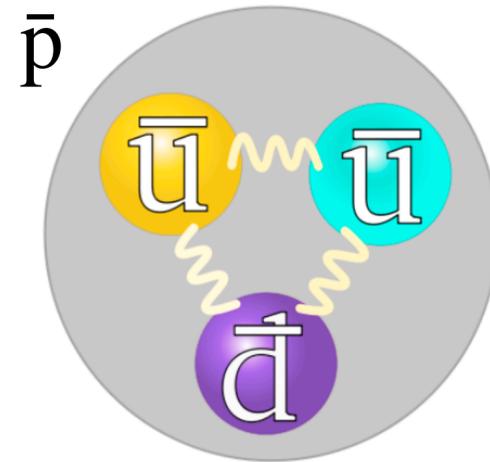
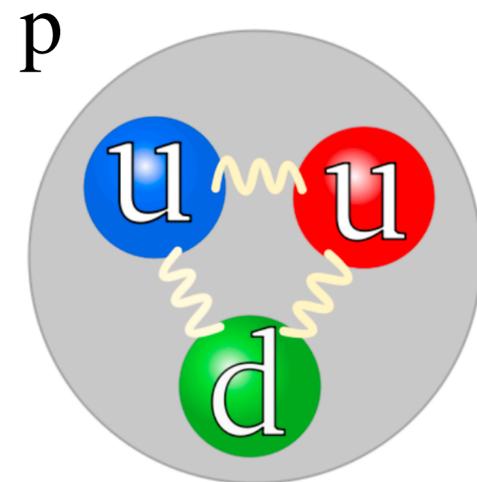
Esempi di barioni e mesoni

- Il protone è un barione formato da 2 quark up e 1 quark down
- L'anti-protone è un barione formato da 2 quark anti-up e 1 quark anti-down

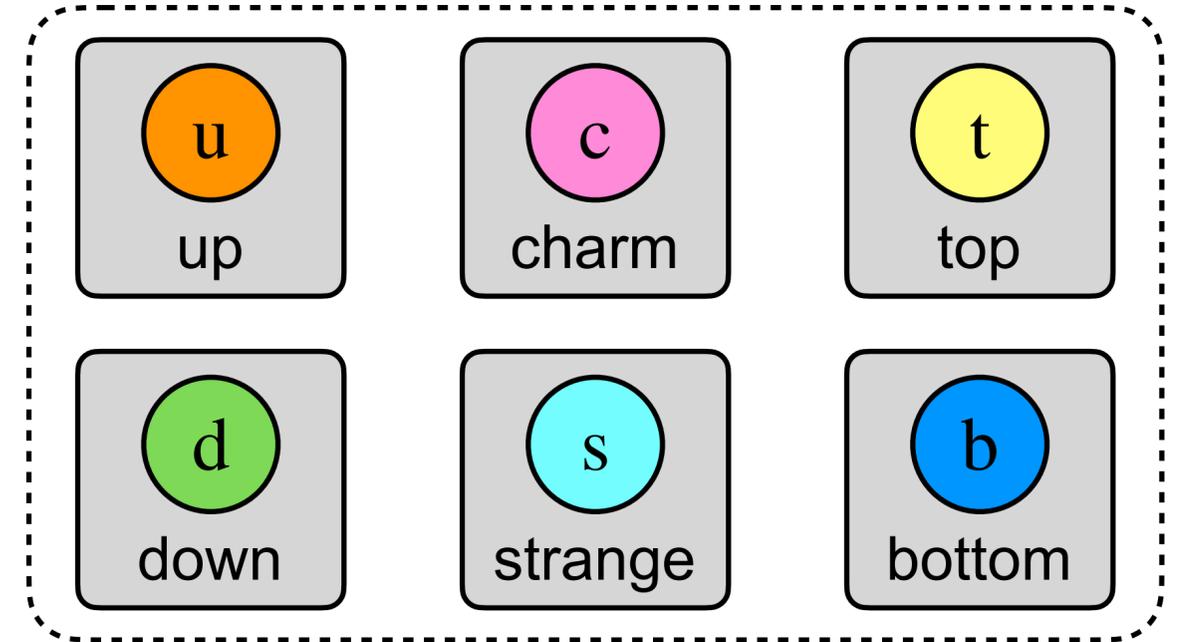


Esempi di barioni e mesoni

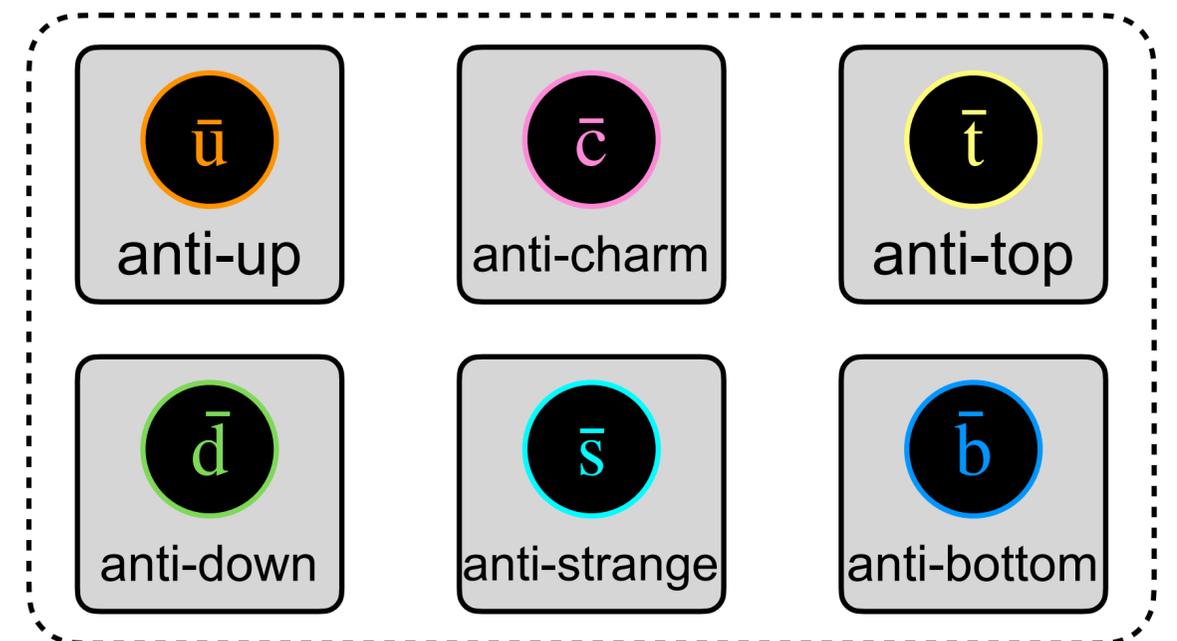
- Il protone è un barione formato da 2 quark up e 1 quark down
- L'anti-protone è un barione formato da 2 quark anti-up e 1 quark anti-down
- La particella D^0 è un mesone formato da 1 quark charm e 1 anti-quark up



Quark



Anti-quark

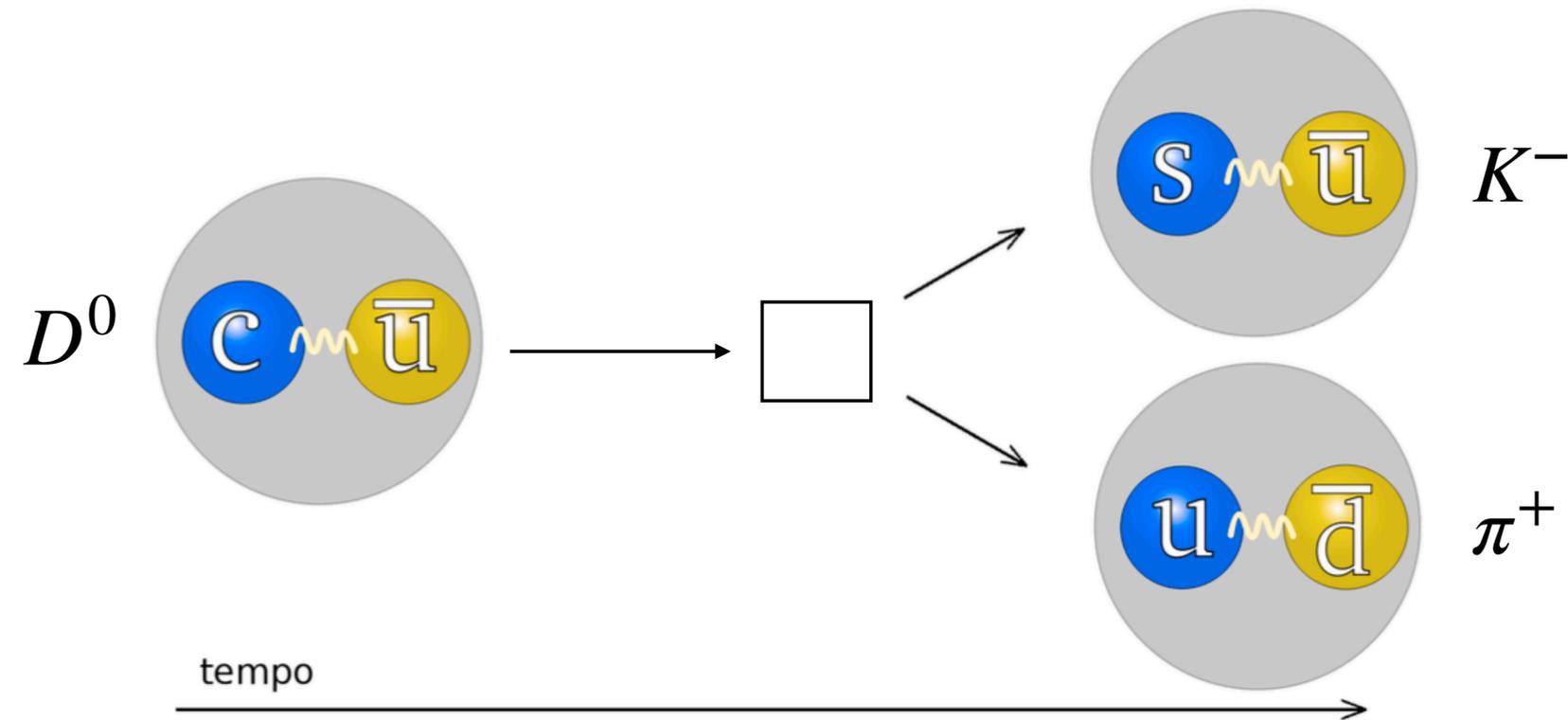


Il mesone D^0 e la vita media

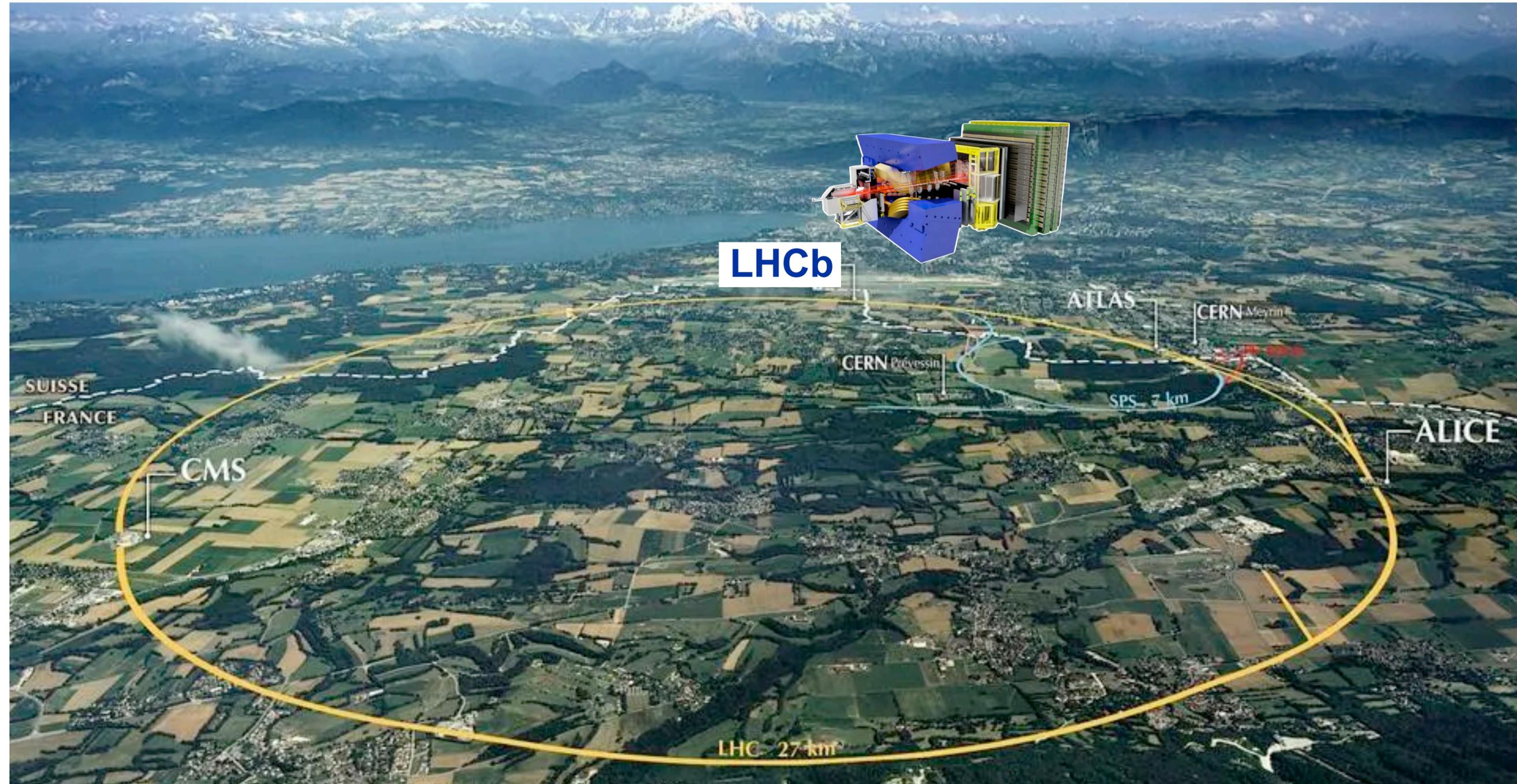
- Il D^0 è una particella **instabile** che decade, *si trasforma*, in particelle più leggere
- Il tempo medio che passa da quando un D^0 viene prodotto a quando decade è detto **vita media**

Il mesone D^0 e la vita media

- Il D^0 è una particella **instabile** che decade, *si trasforma*, in particelle più leggere
- Il tempo medio che passa da quando un D^0 viene prodotto a quando decade è detto **vita media**
- Poiché decade molto in fretta, l'unico modo di **rivelarlo** è andando 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)



Da dove vengono i dati con cui lavoreremo?



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

LHCb dal vivo

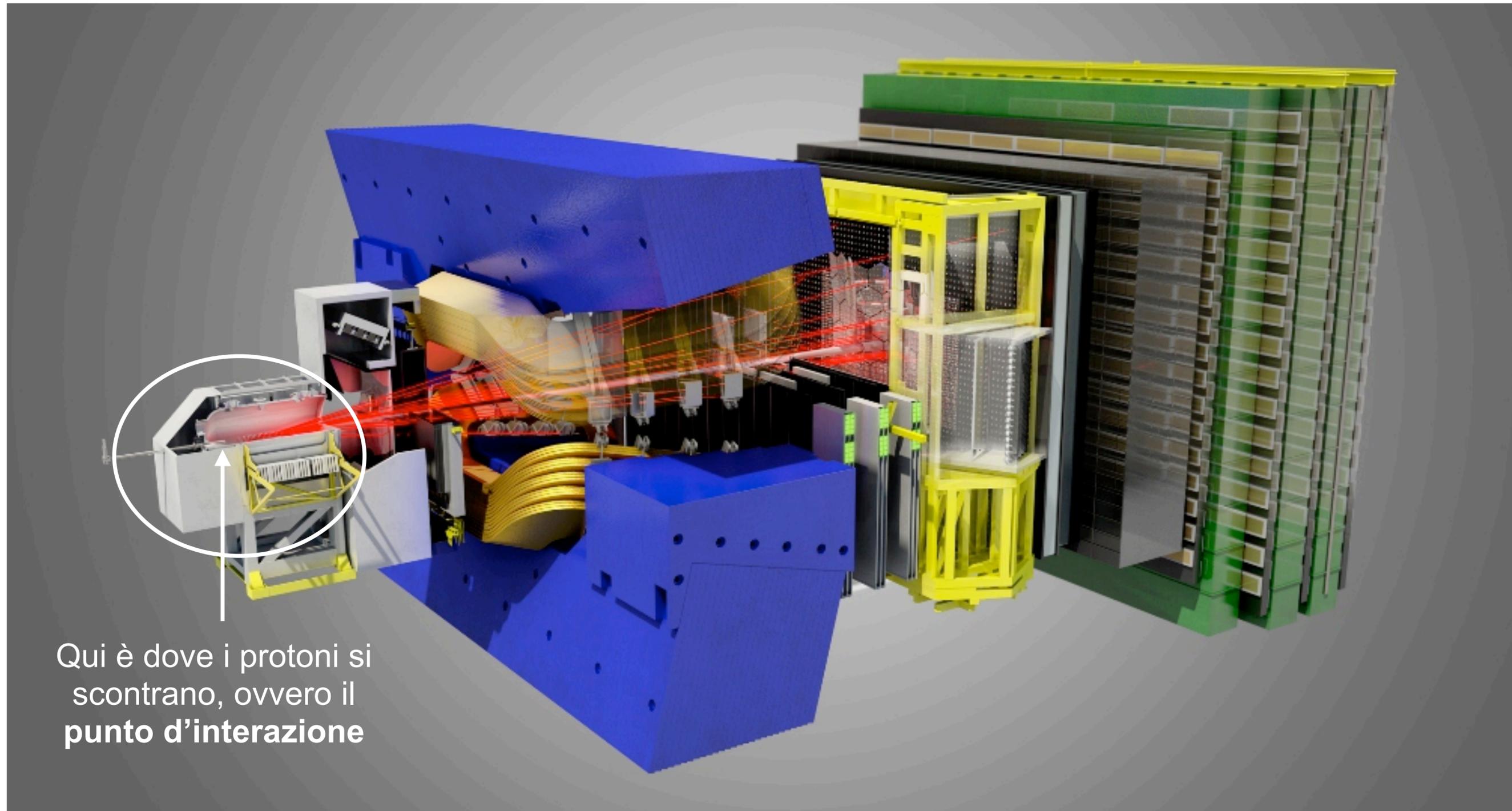
- LHCb si trova in una caverna sotterranea a 100 metri di profondità, in corrispondenza di uno dei punti in cui i protoni vengono fatti scontrare

Superficie...



... sotto terra!

LHCb visto schematicamente

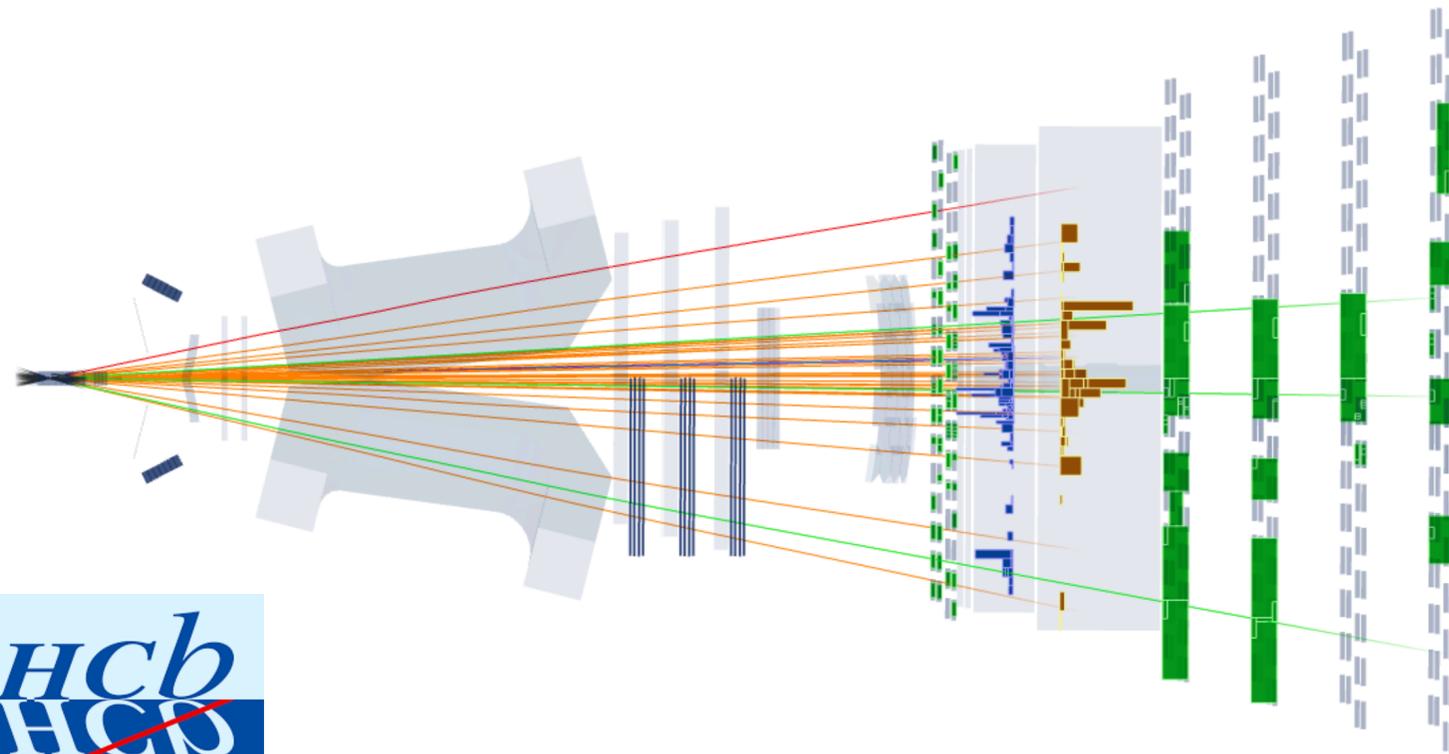


Qui è dove i protoni si
scontrano, ovvero il
punto d'interazione

Definizione di evento

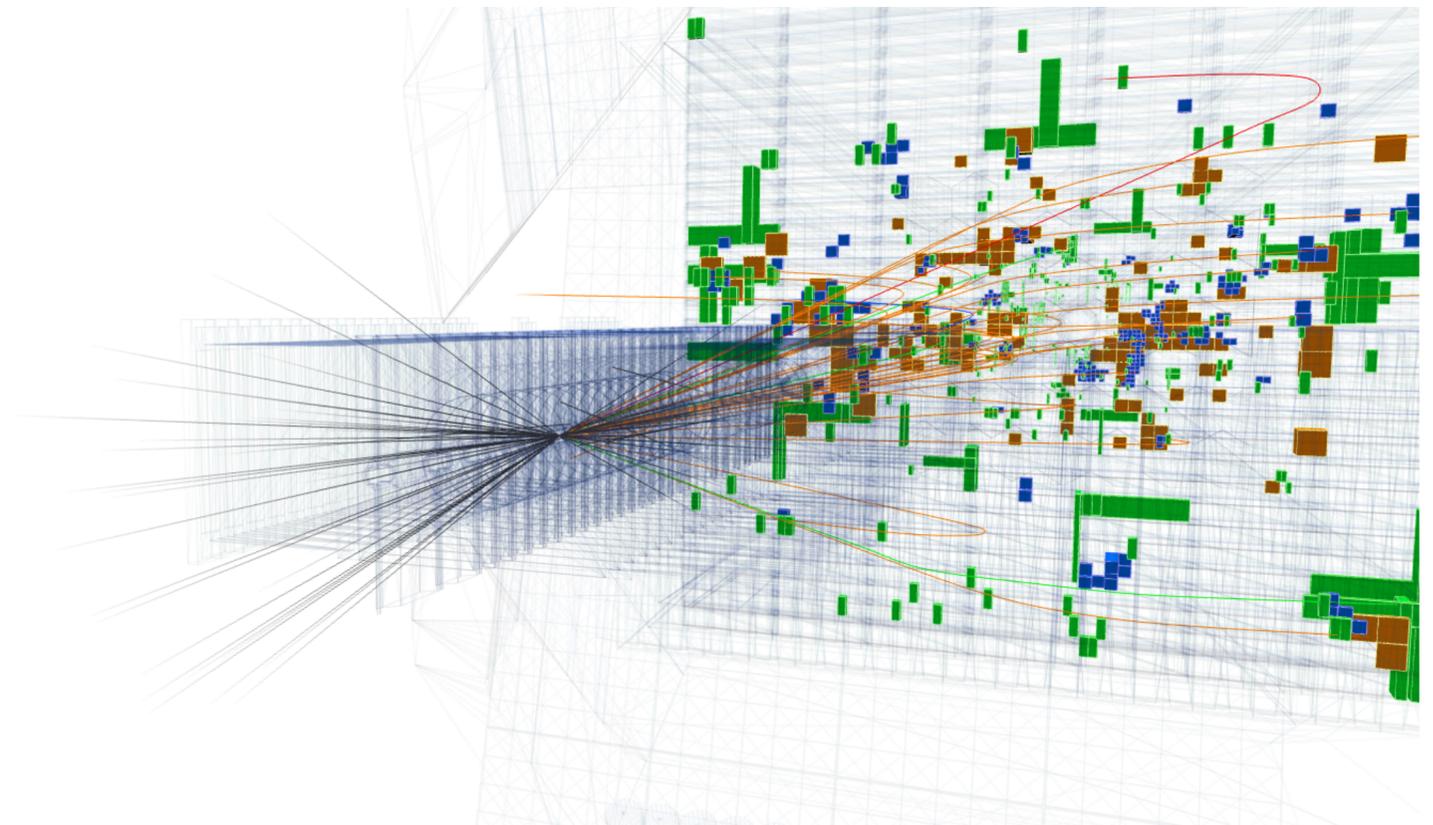
- Le collisioni tra due protoni vengono chiamate **eventi** e usiamo dei programmi appositi per visualizzarle

Evento visto di fianco



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

Evento visto in prossimità della regione di collisione



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

Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelarlo*, quindi capiamo come può essere prodotto!
- **Conoscete già una maniera per farlo, quale?**

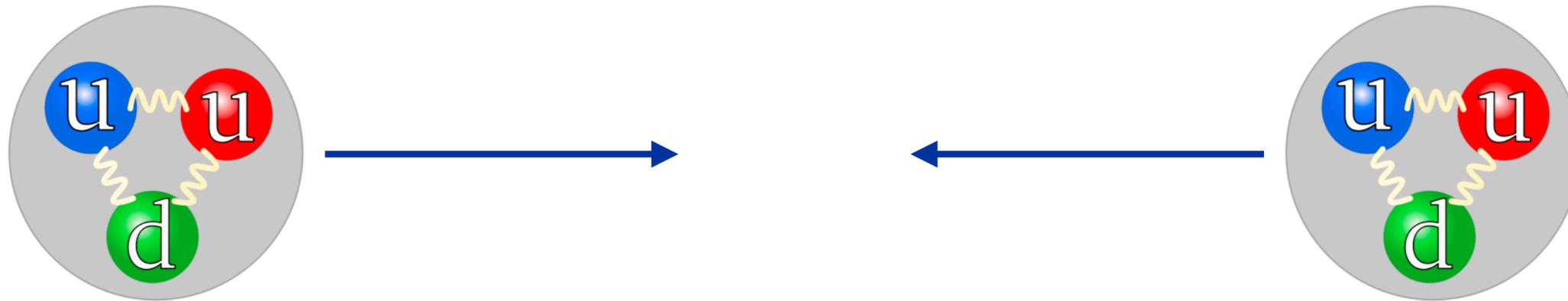
Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelarlo*, quindi capiamo come può essere prodotto!
- **Conoscete già una maniera per farlo, quale?**



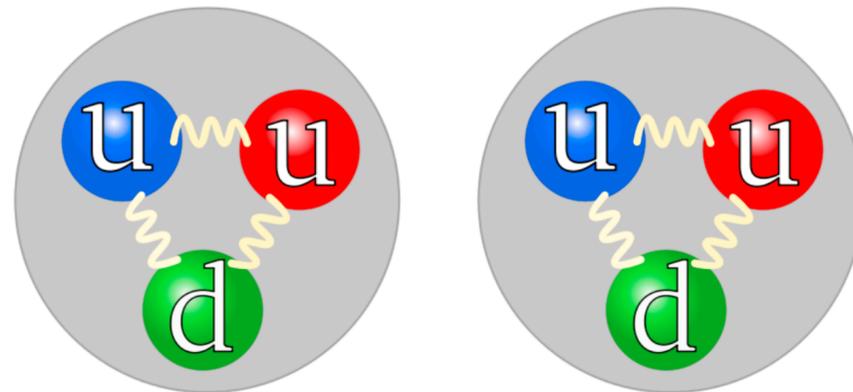
Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelarlo*, quindi capiamo come può essere prodotto!
- **Conoscete già una maniera per farlo, quale?**



Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelarlo*, quindi capiamo come può essere prodotto!
- **Conoscete già una maniera per farlo, quale?**



Alla ricerca del D^0

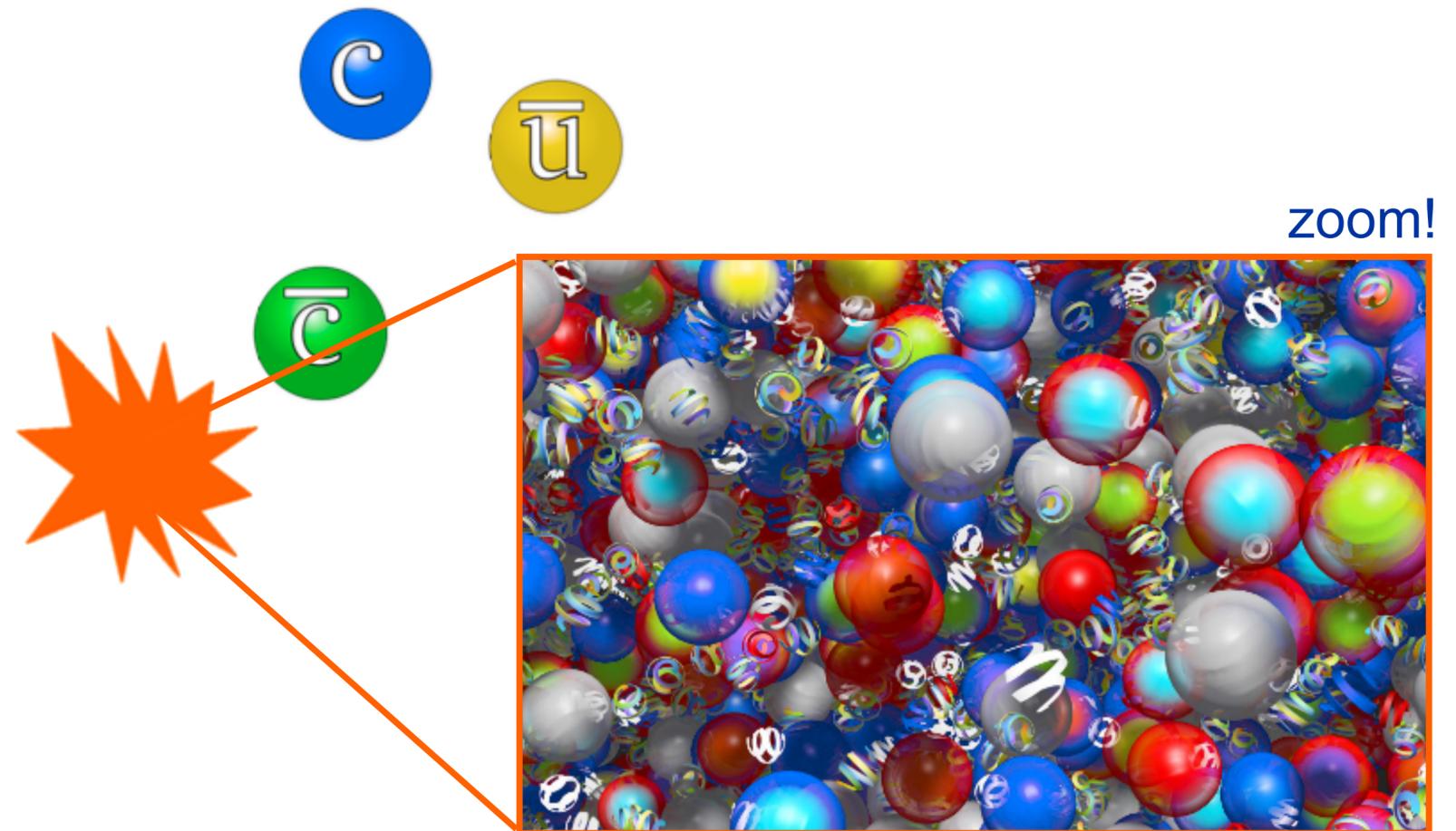
- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelarlo*, quindi capiamo come può essere prodotto!
- **Conoscete già una maniera per farlo, quale?**

Collisione



Alla ricerca del D^0

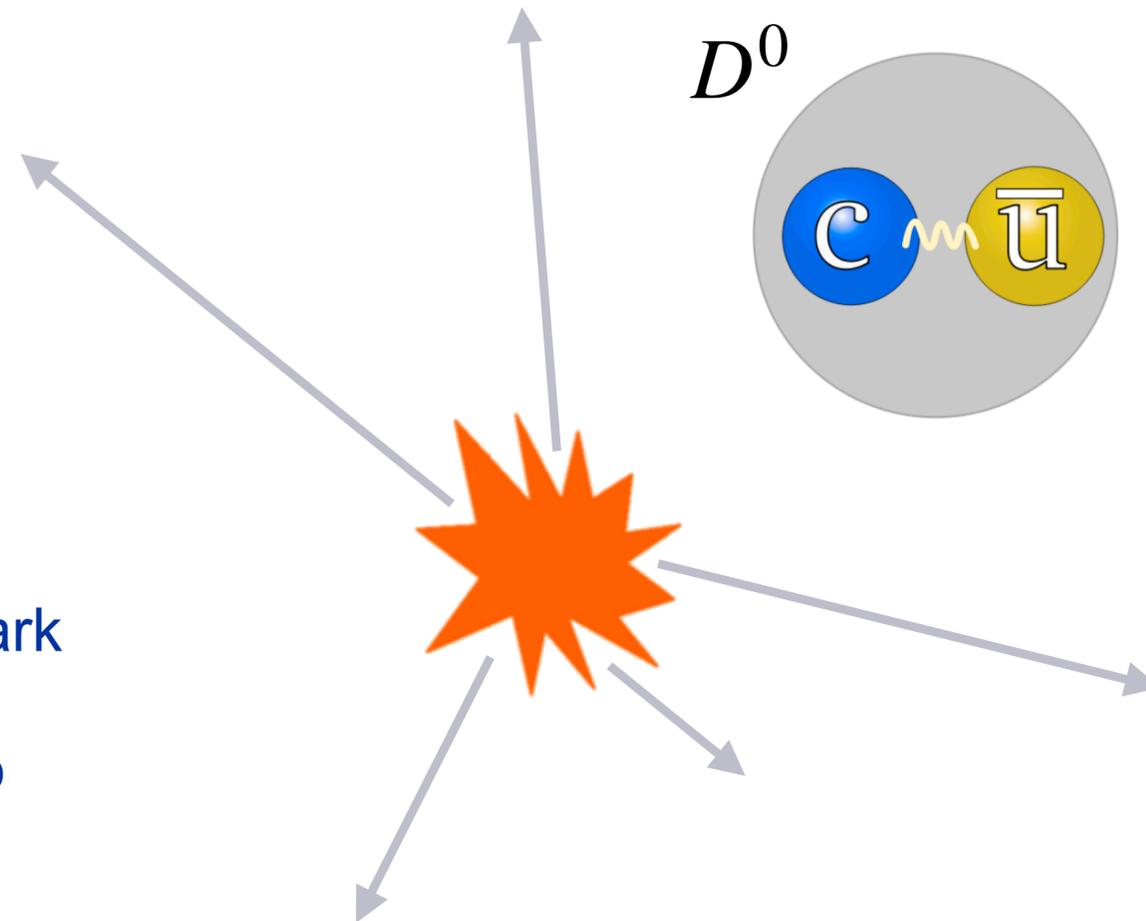
- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelarlo*, quindi capiamo come può essere prodotto!
- **Conoscete già una maniera per farlo, quale?**



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

Alla ricerca del D^0

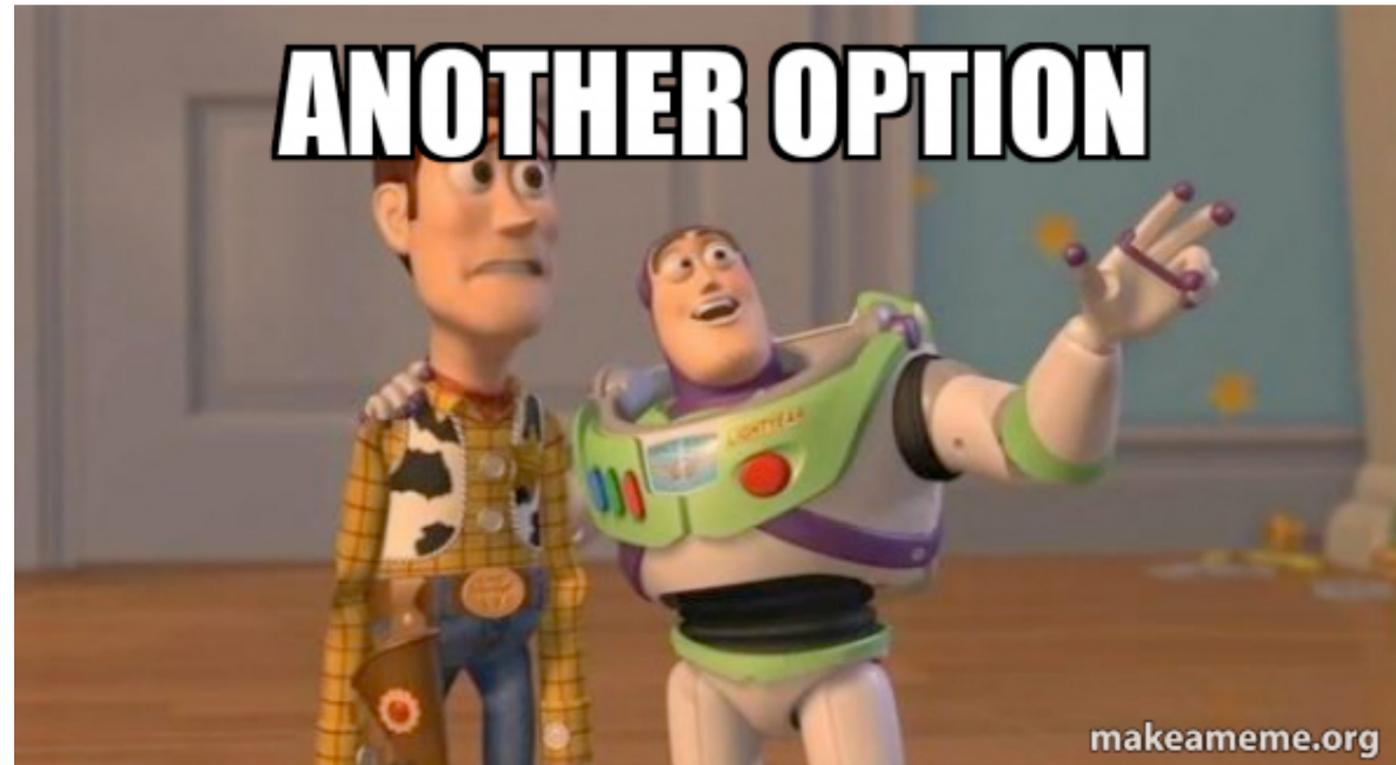
- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelarlo*, quindi capiamo come può essere prodotto!
- **Conoscete già una maniera per farlo, quale?**



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

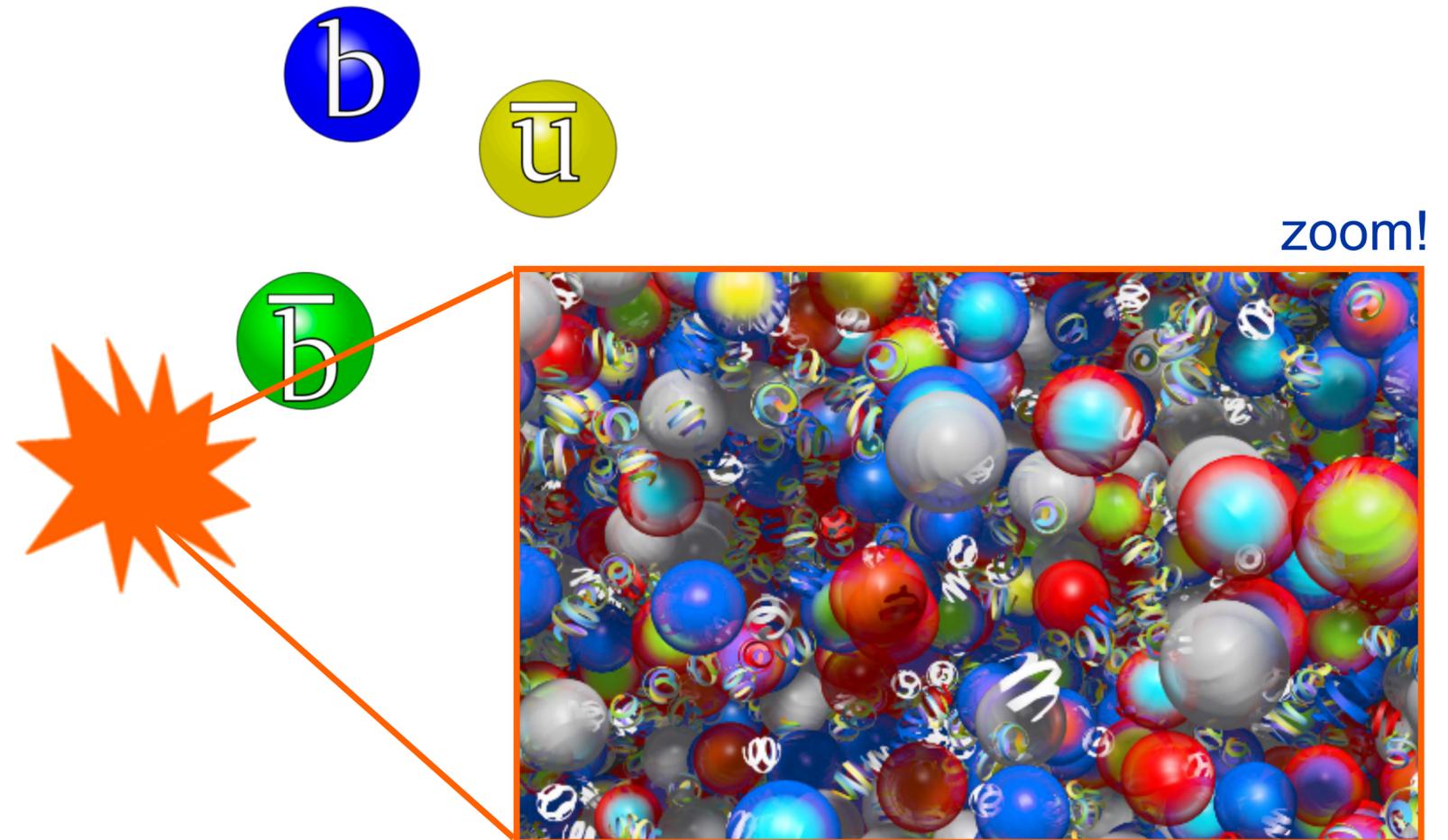
Alla ricerca del D^0

- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelarlo*, quindi capiamo come può essere prodotto!
- Conoscete già una maniera per farlo, quale? Risposta: Dalla collisione di due protoni
- **C'è anche un altro modo per produrre il D^0 , quale?**



Alla ricerca del D^0

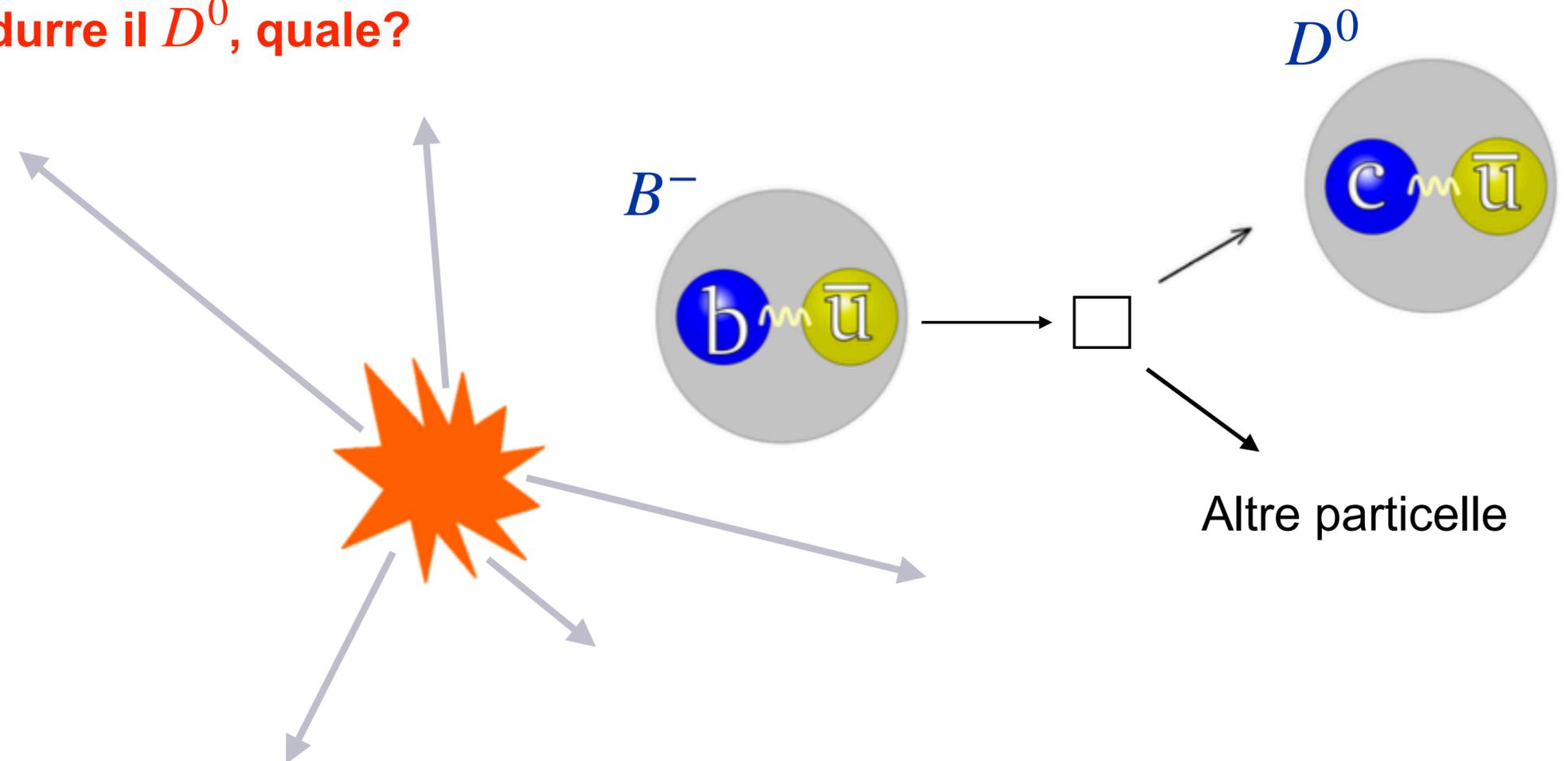
- Per misurare la vita media del D^0 dobbiamo *rivelarlo*, quindi capiamo come può essere prodotto!
- Conoscete già una maniera per farlo, quale? Risposta: Dalla collisione di due protoni
- **C'è anche un altro modo per produrre il D^0 , quale?**



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 *rivelarlo*, quindi capiamo come può essere prodotto!
- Conoscete già una maniera per farlo, quale? Risposta: Dalla collisione di due protoni
- **C'è anche un altro modo per produrre il D^0 , quale?**

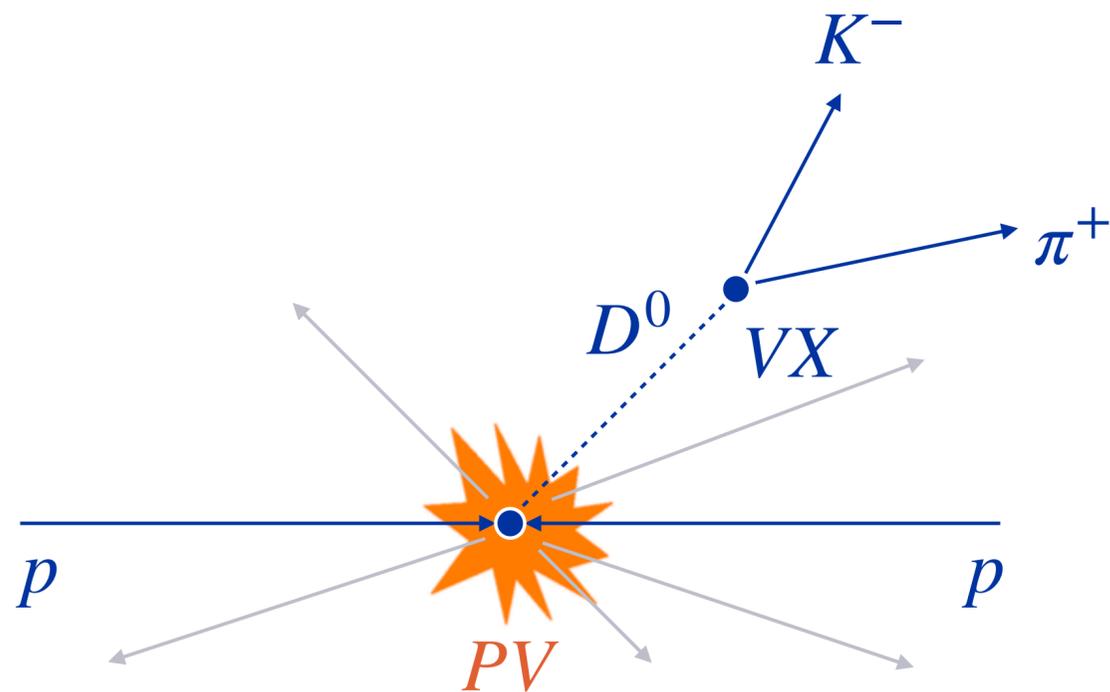


... che poi si lega a formare un mesone B^- che successivamente decade producendo un D^0 !

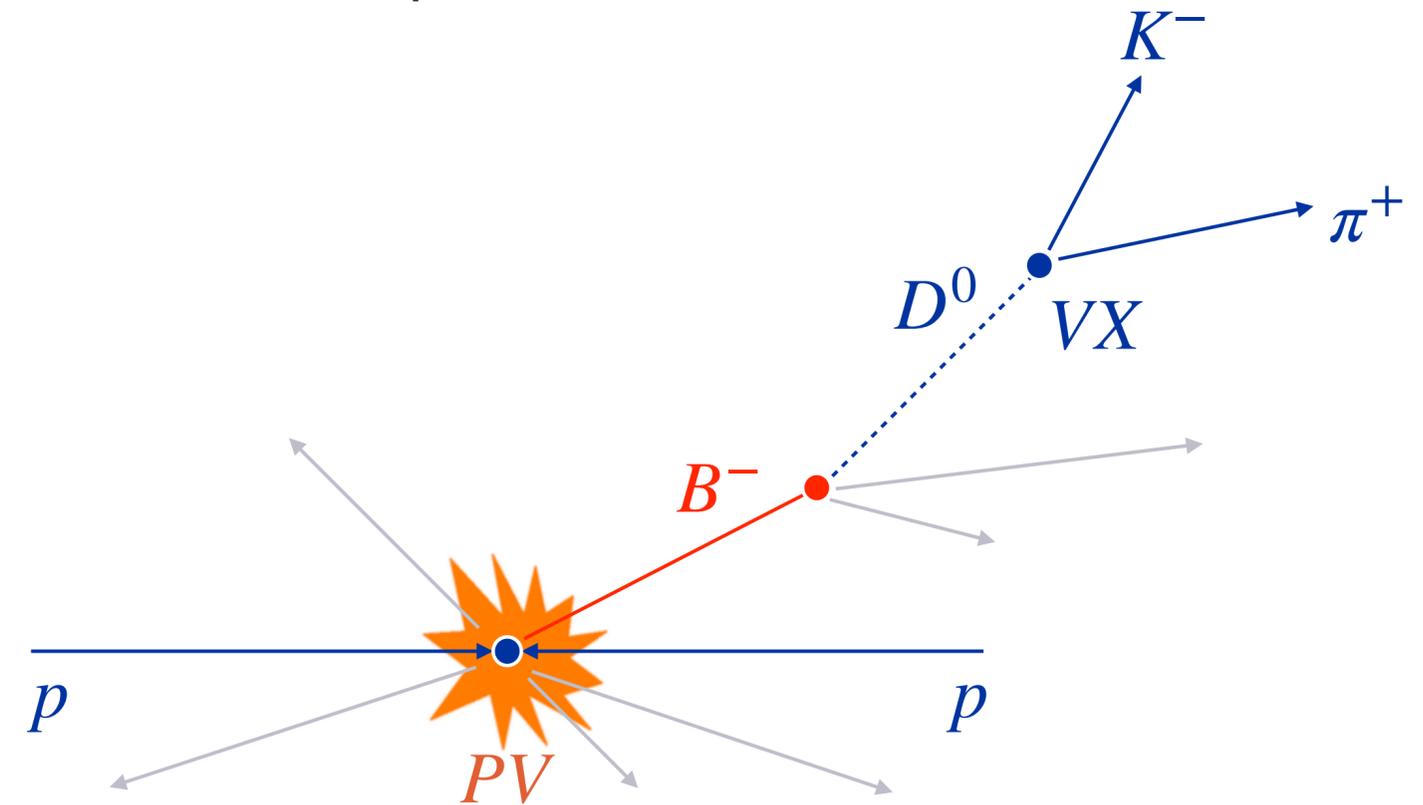
Sommario sulla produzione del D^0

- Abbiamo visto due modi di produzione del mesone D^0

1. Direttamente nella collisione tra i protoni



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



PV = **P**rimary **V**ertex, punto d'interazione dei due protoni

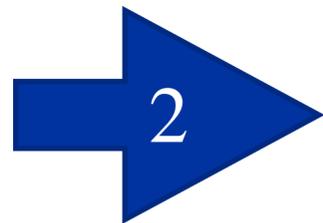
VX = **D**ecay **V**ertex, l'intersezione tra le due tracce che individua il punto in cui il D^0 decade



Adesso siamo pronti per cominciare!
Accendete i vostri computer 

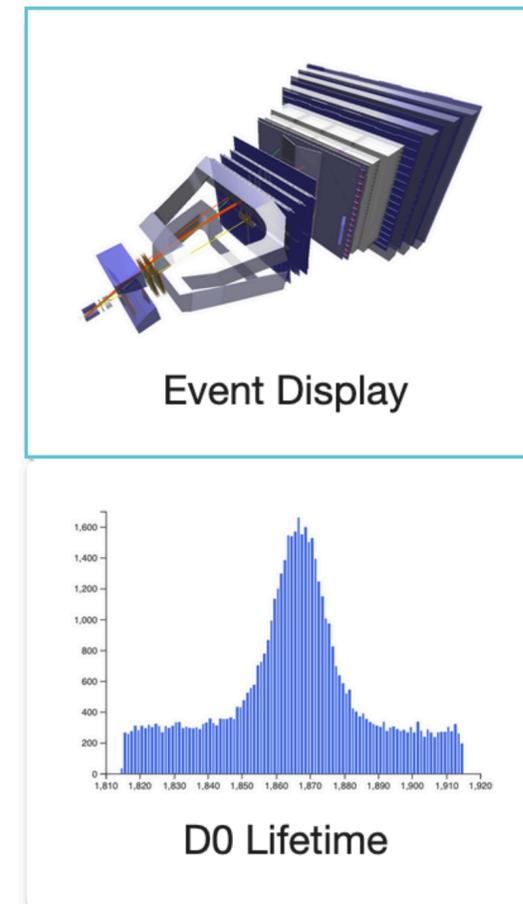
Esercizio 1

1. Collegatevi a: <https://lhcb-d0.web.cern.ch/> (link sull'agenda)
2. Inserite i vostri dati e selezionate la combinazione di eventi 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



Esercizio 1: Event Display

Event handler
event_1_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▾

Auto rotate

Legend

K⁻

K⁺

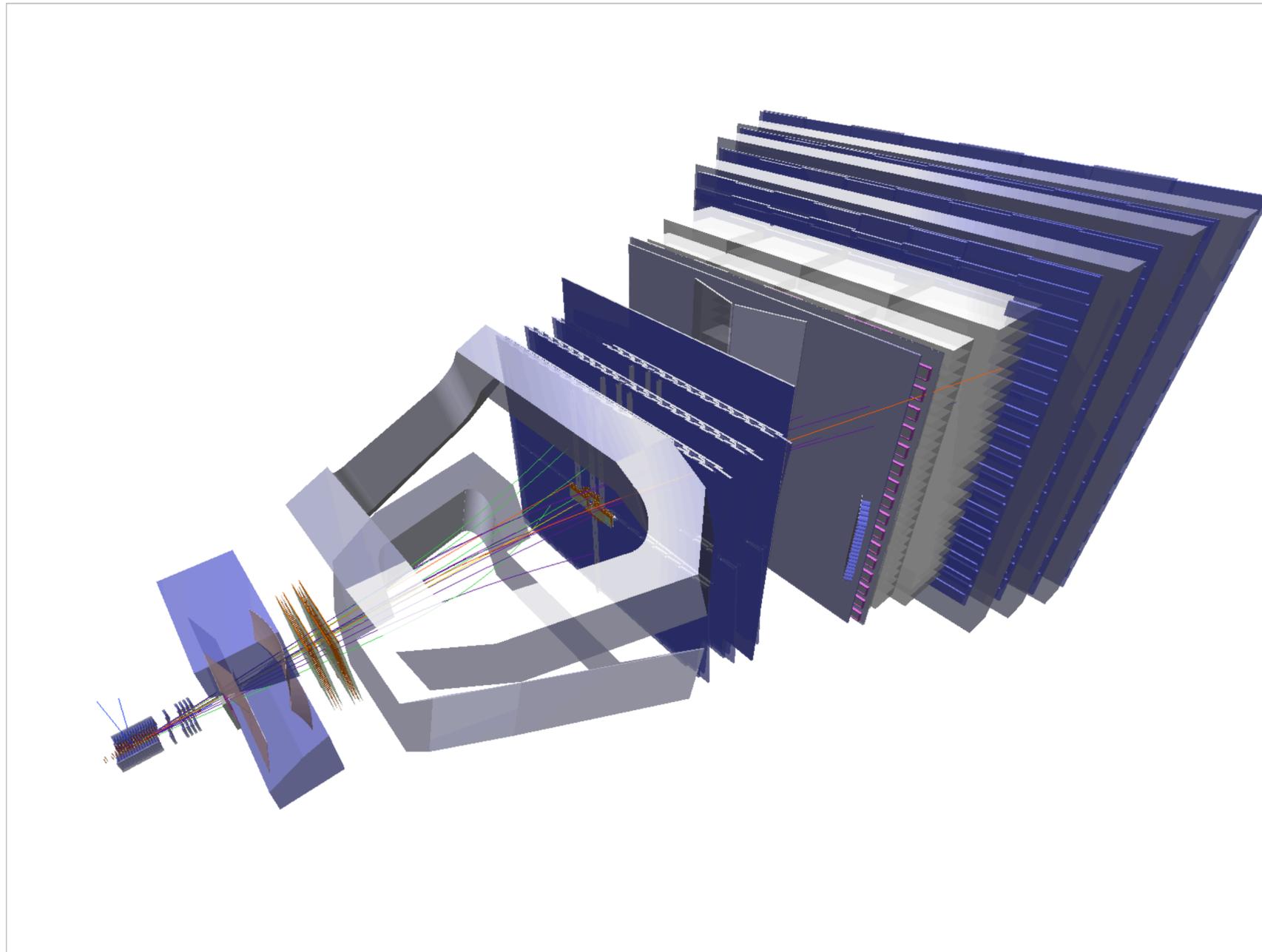
pi⁺

pi⁻

D⁰

Read instructions

Download JSON



Particle information

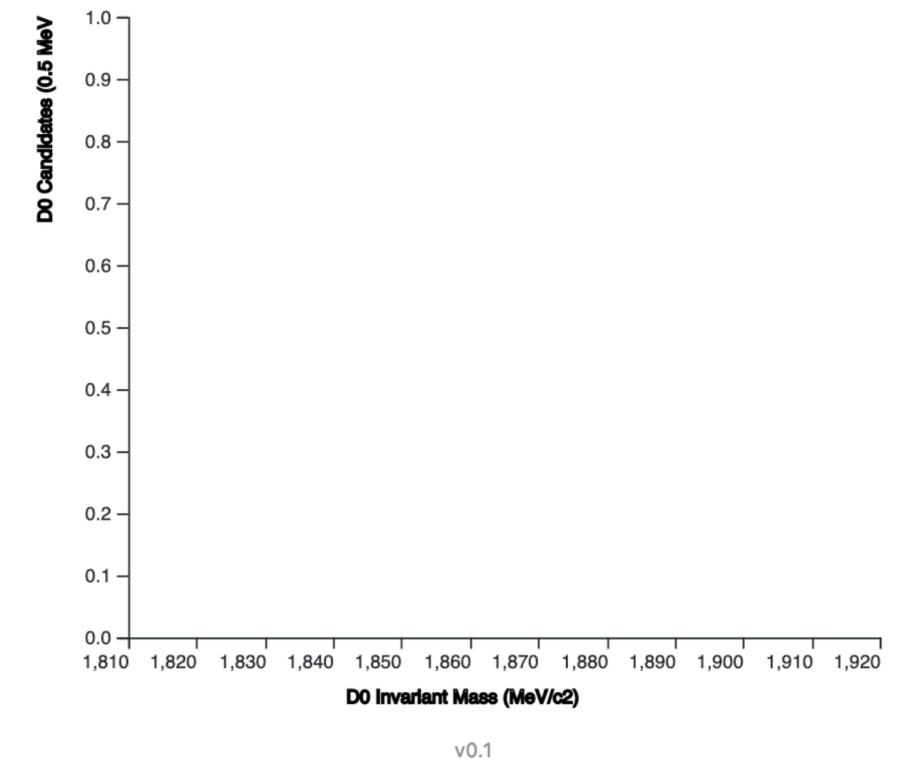
E	33628.960	MeV
chi2	0.516	
ipchi2	8.081	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi ⁺	
ZFstM	584.415	

My particles

Mass

MeV/c²

Add



Copyright © 2019 CERN

Esercizio 1: Event Display

Event handler
event_1_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▾

Auto rotate

Legend

K⁻ —

K⁺ —

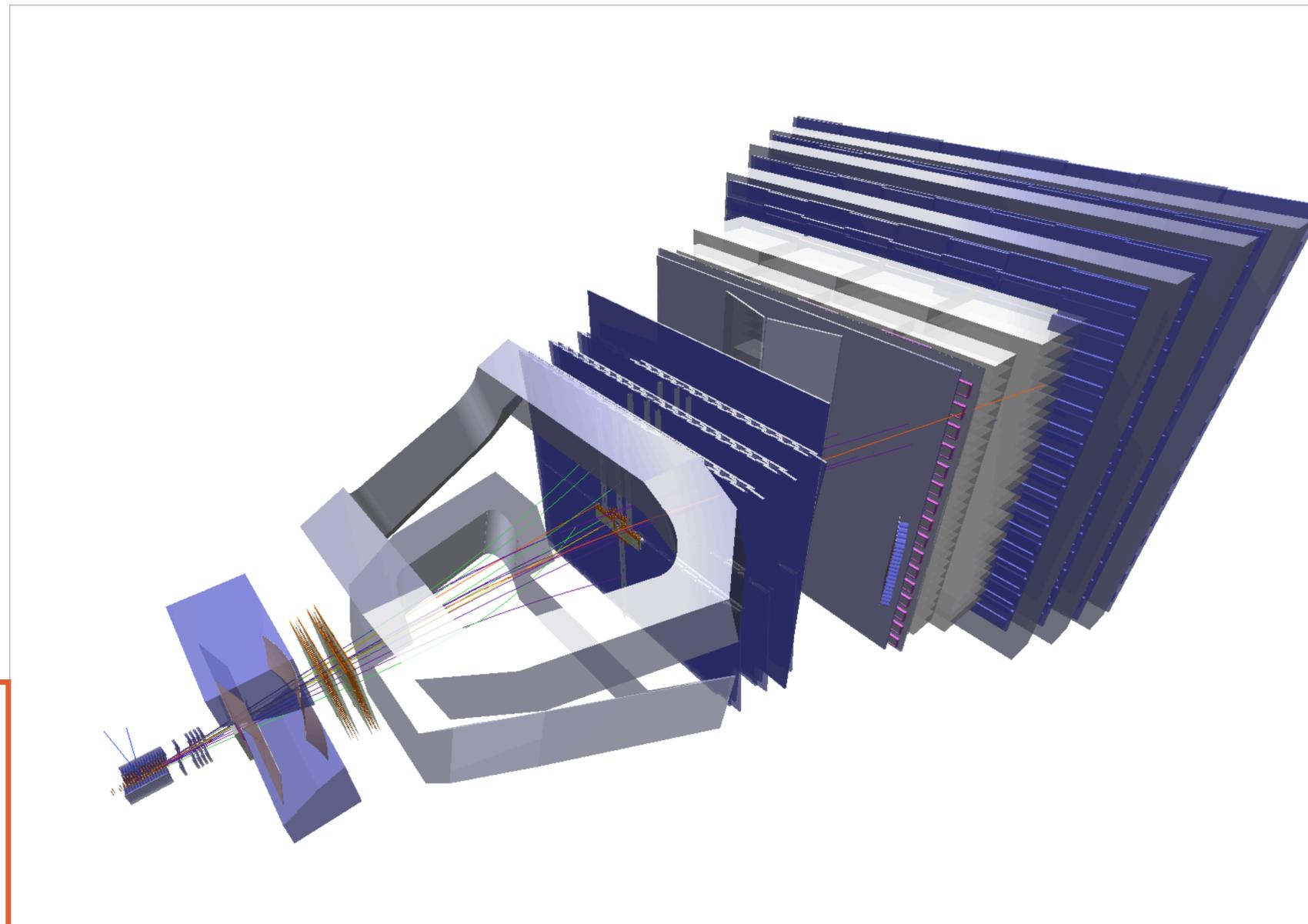
pi⁺ —

pi⁻ —

D⁰ —

Read instructions

Download JSON



Particle information

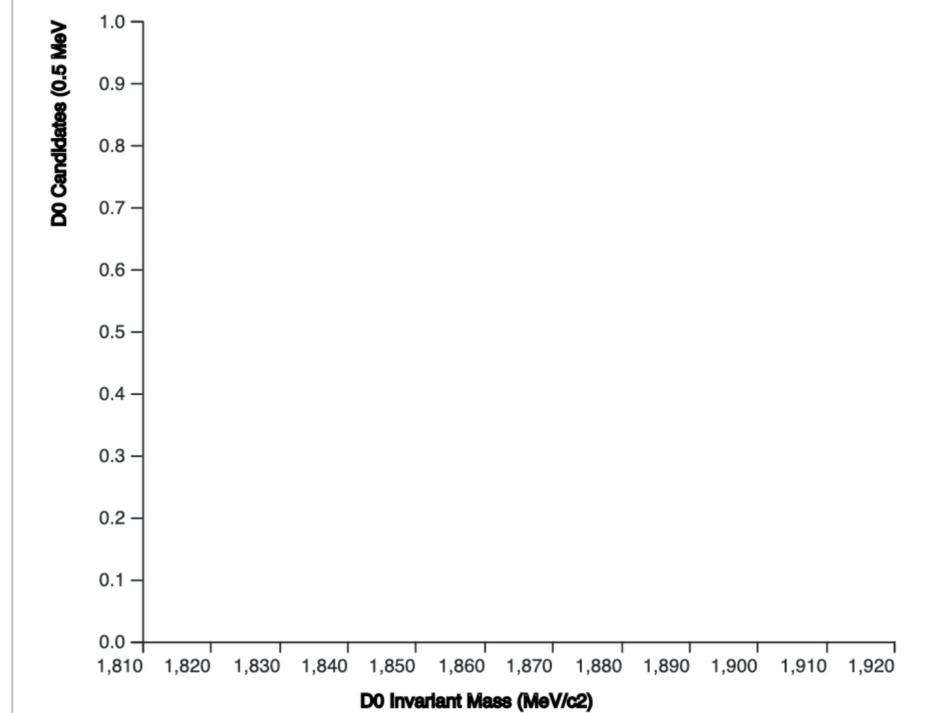
E	33628.960	MeV
chi2	0.516	
ipchi2	8.081	
mass	139.570	MeV/c ²
name	pi+	
ZFstM	584.415	

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!

Esercizio 1: Event Display

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

D0 Candidates (0.5 MeV)

D0 Invariant Mass (MeV/c²)

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

v0.1

Copyright © 2019 CERN

Esercizio 1: Event Display

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/c ²
name	pi+	
ZFstM	584.415	

My particles

K-

pi+

Mass

1867.780 MeV/c²

Add

D0 Candidates (0.5 MeV)

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⁺ —

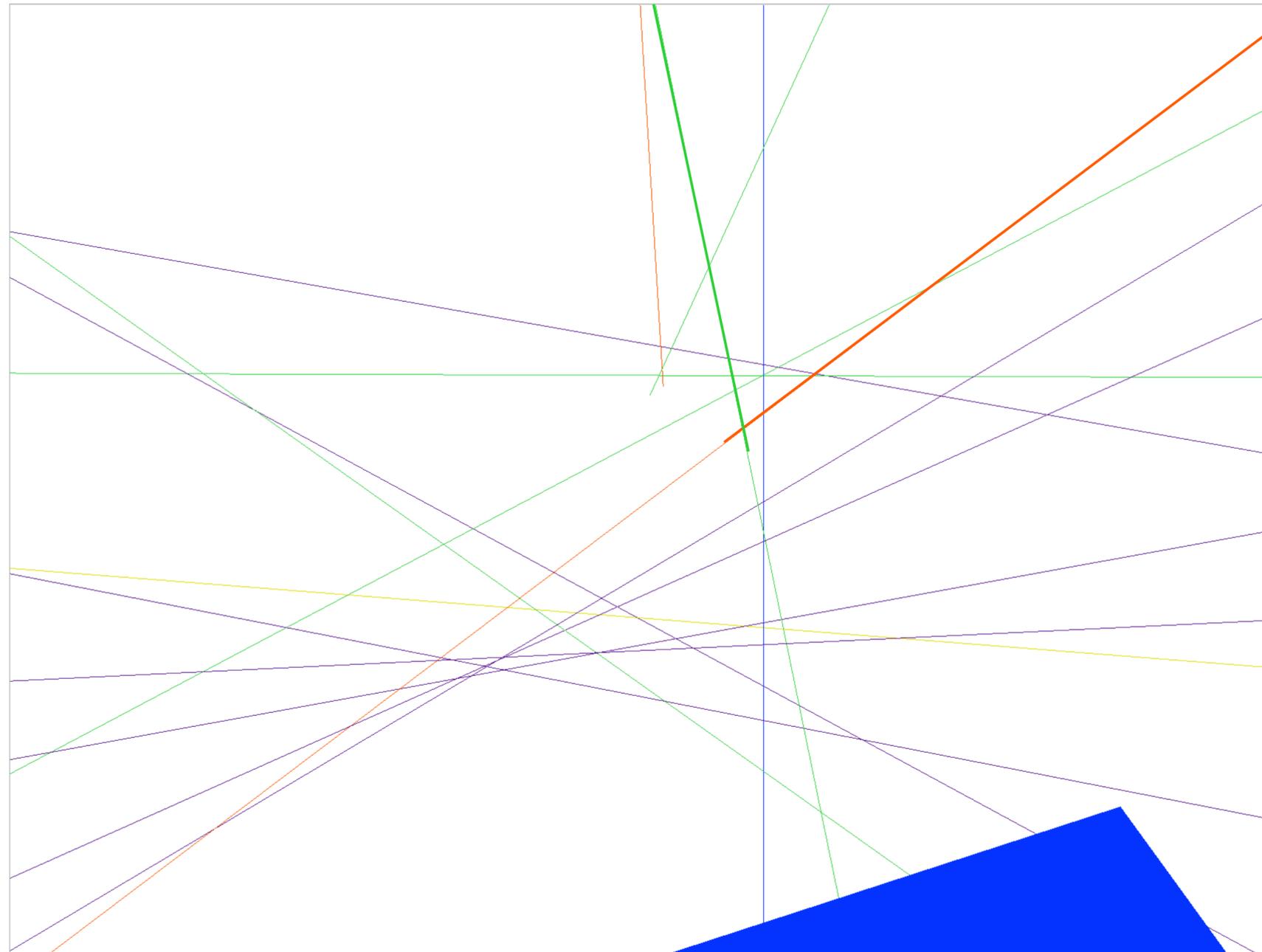
pi⁺ —

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

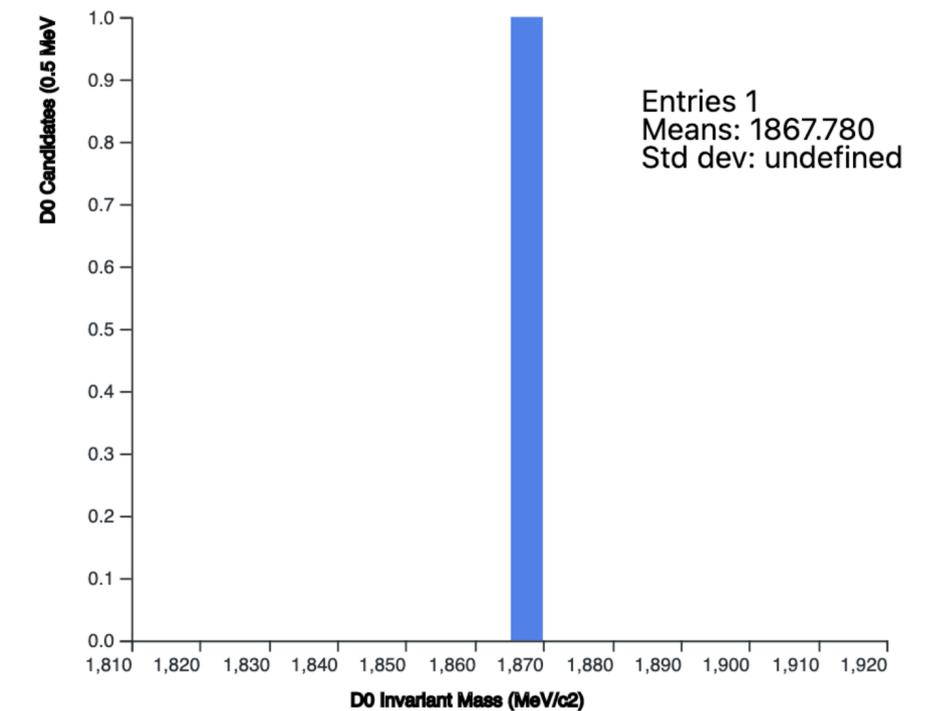
K⁻

pi⁺

Mass

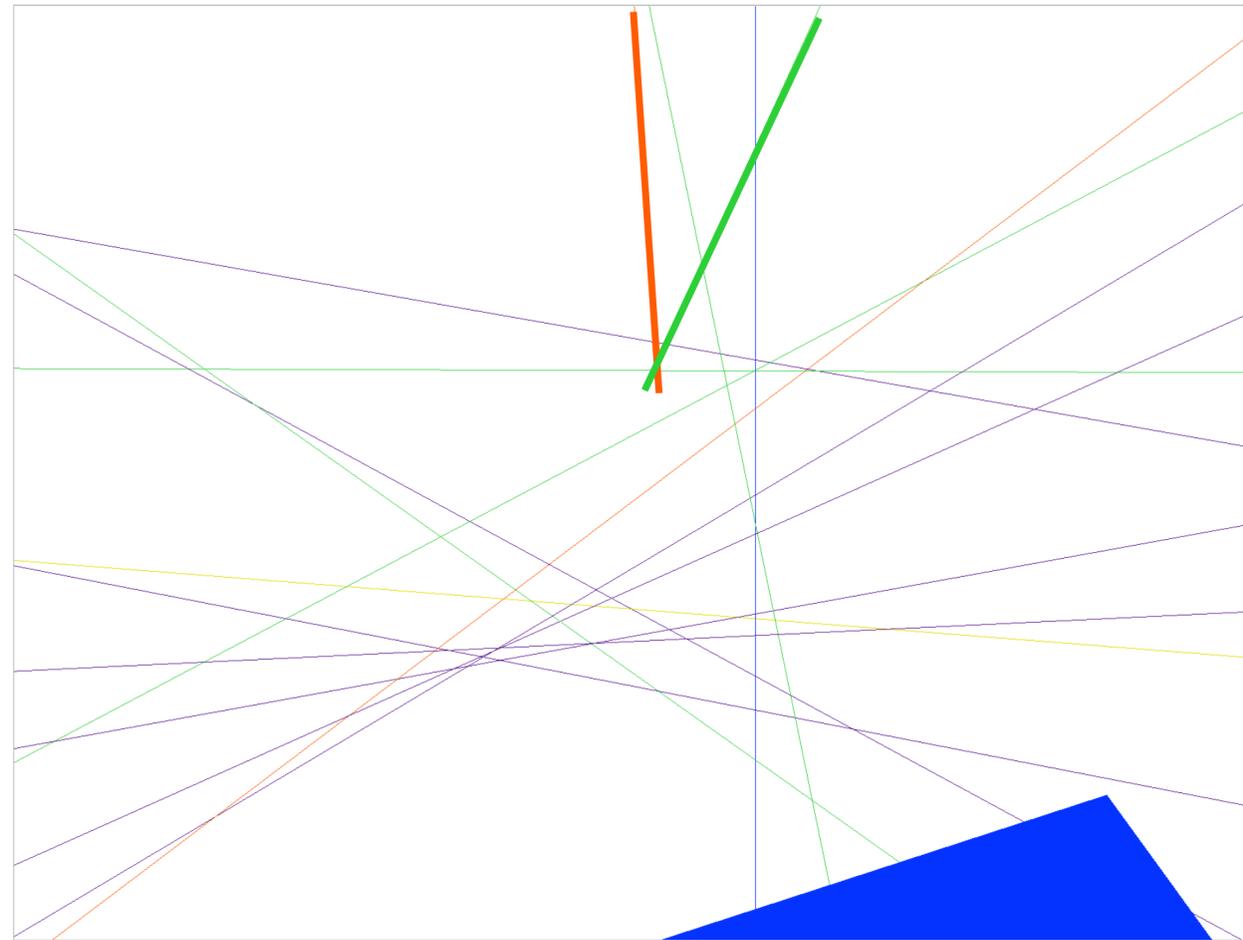
1867.780 MeV/c²

Add



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

- In ogni collisione si producono **molte particelle** e non è semplice riconoscere quelle giuste
- Una grandezza utile per verificare se il K^- e il π^+ selezionati siano quelli *corretti* è **massa del D^0** , che possiamo calcolare a partire dalle 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

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

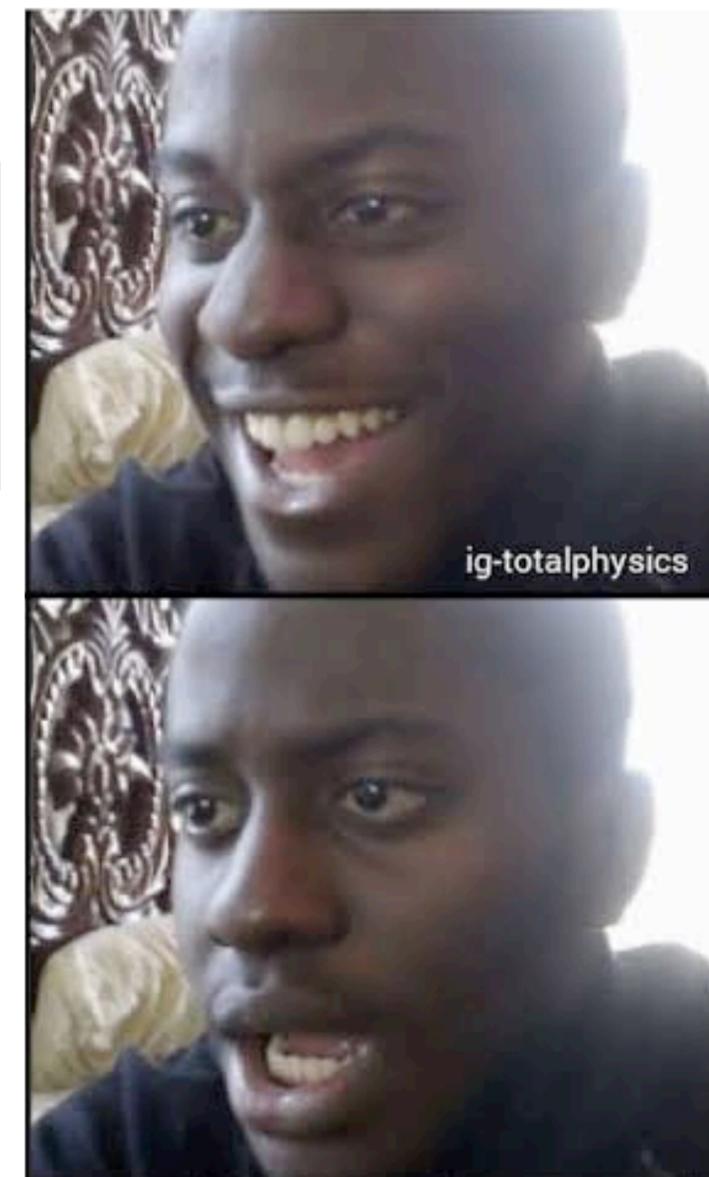
La lunghezza, la massa e il tempo possono essere espressi in termini di **energia!**

Per la massa l'unità di misura usata è MeV/c^2
(e suoi multipli/sottomultipli)

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	

$$E = mc^2$$



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

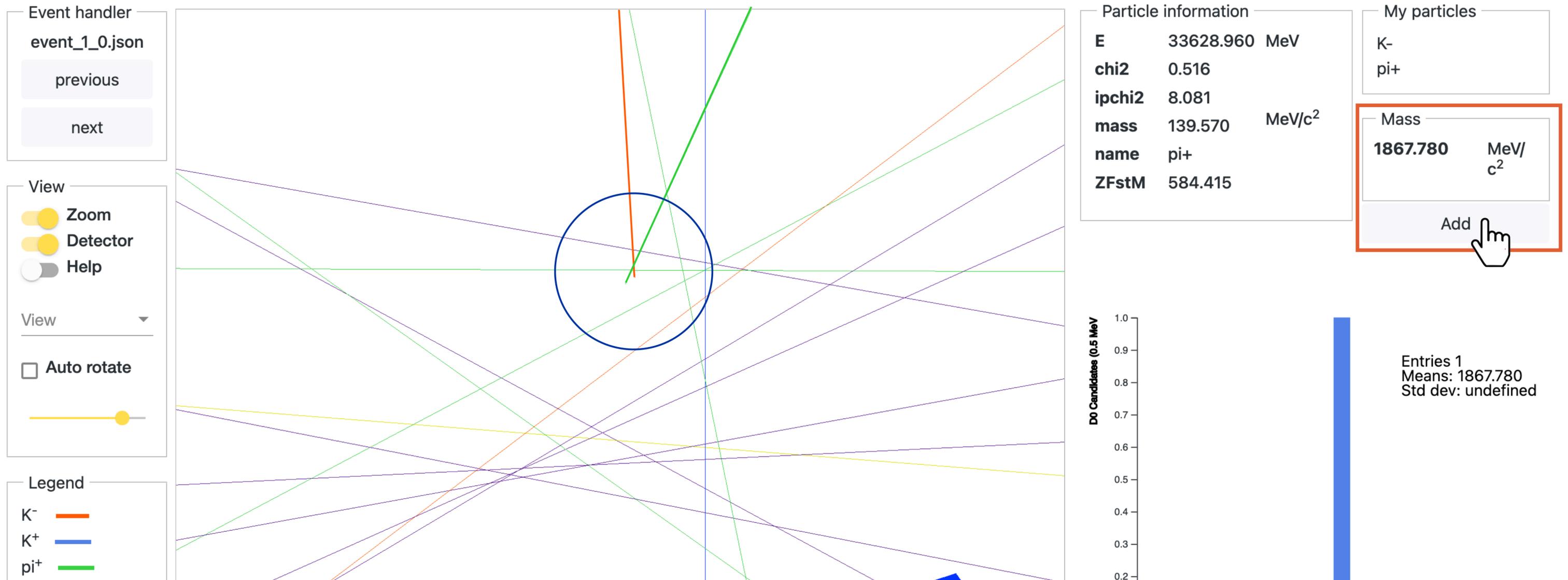
La massa del D^0 è misurata con grande precisione:

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

- 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 = **P**article **D**ata **G**roup ed 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
 - **Il software che stiamo usando la calcolerà per noi**

Esempio: un evento facile



Nel riquadro Mass, verrà riportato il valore della massa del candidato D^0 calcolata. 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

Event handler
event_1_0.json

previous

next

View

Zoom

Detector

Help

View ▾

Auto rotate

Legend

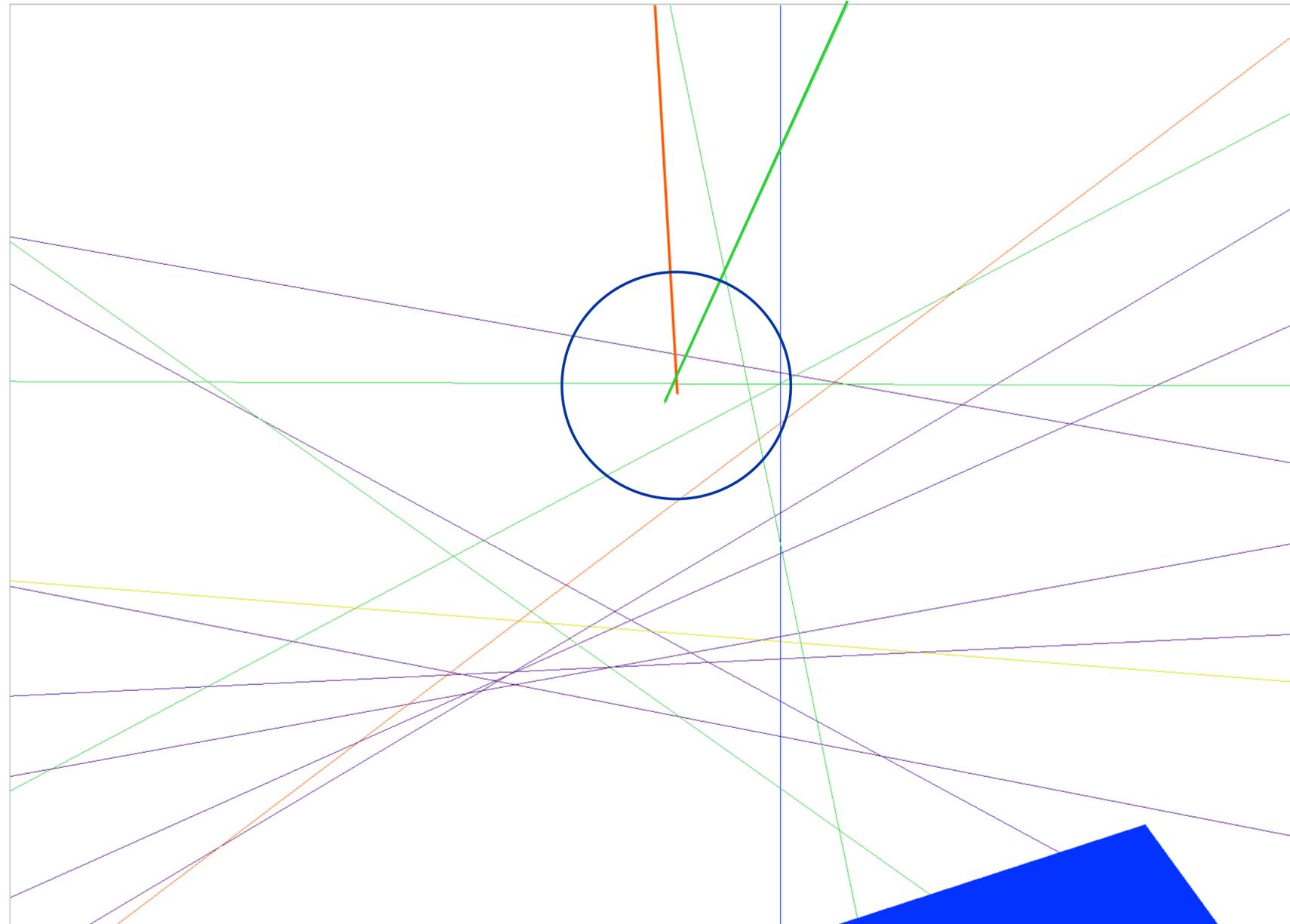
K⁻ —

K⁺ —

pi⁺ —

pi⁻ —

D⁰ —



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

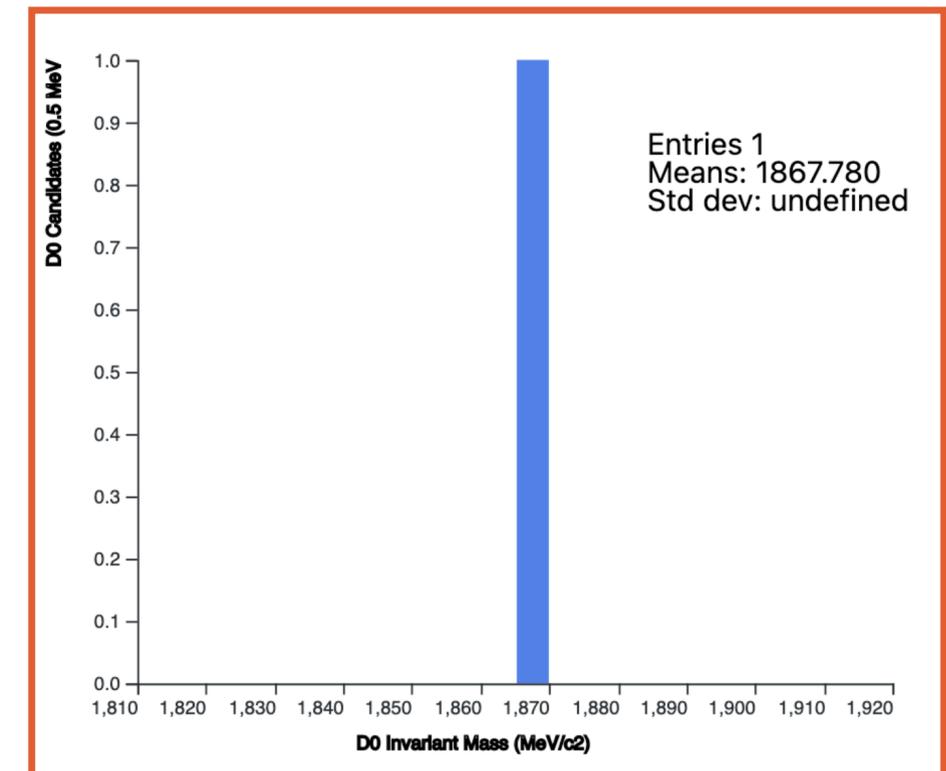
K-

pi+

Mass

1867.780 MeV/c²

Add



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

Repeat!

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	5214.412	MeV
chi2	1.749	
ipchi2	9.213	
mass	493.677	MeV/c ²
name	K ⁻	
ZFstM	79.515	

My particles

K⁻

pi⁺

Mass

1867.780 MeV/c²

Add

D0 Candidates (0.5 MeV)

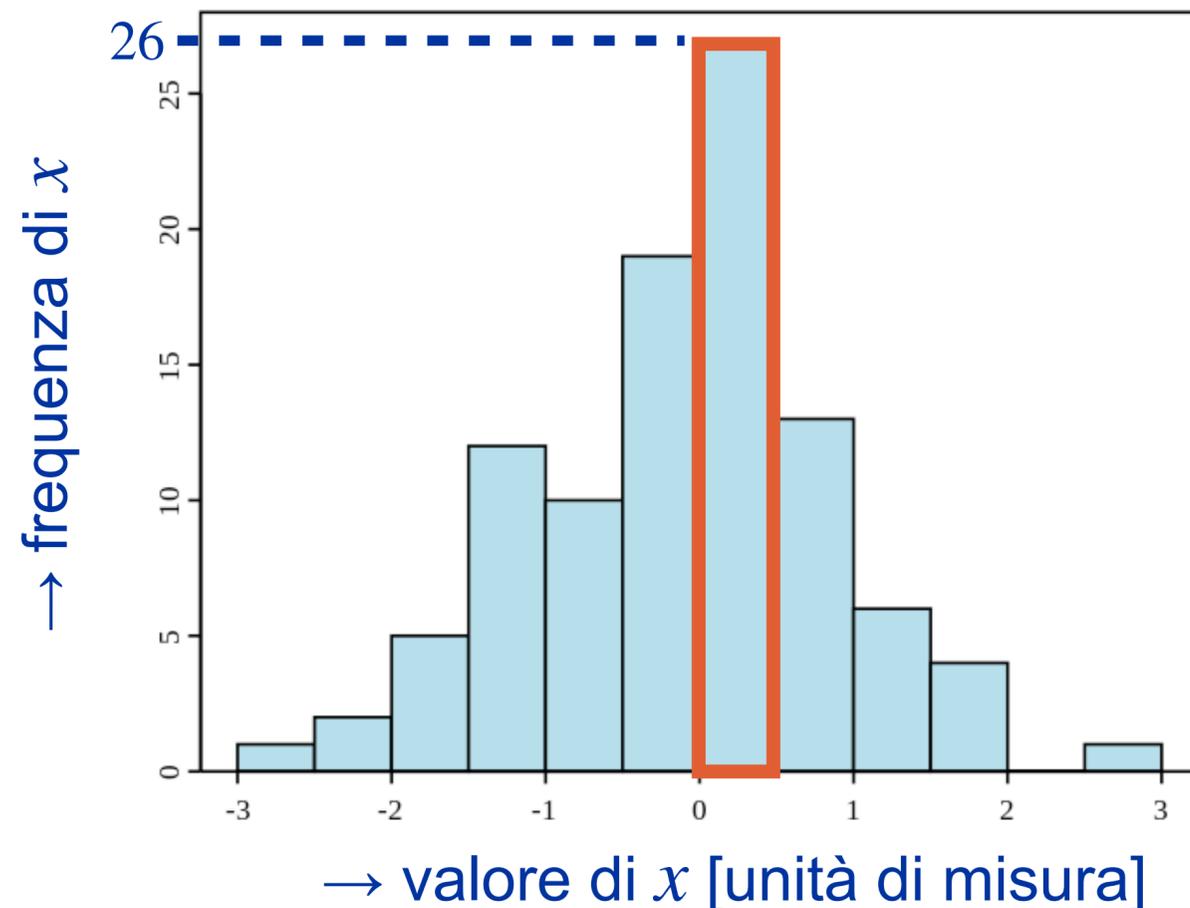
Entries 1
Means: 1867.780
Std dev: undefined

mass (MeV/c²)

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

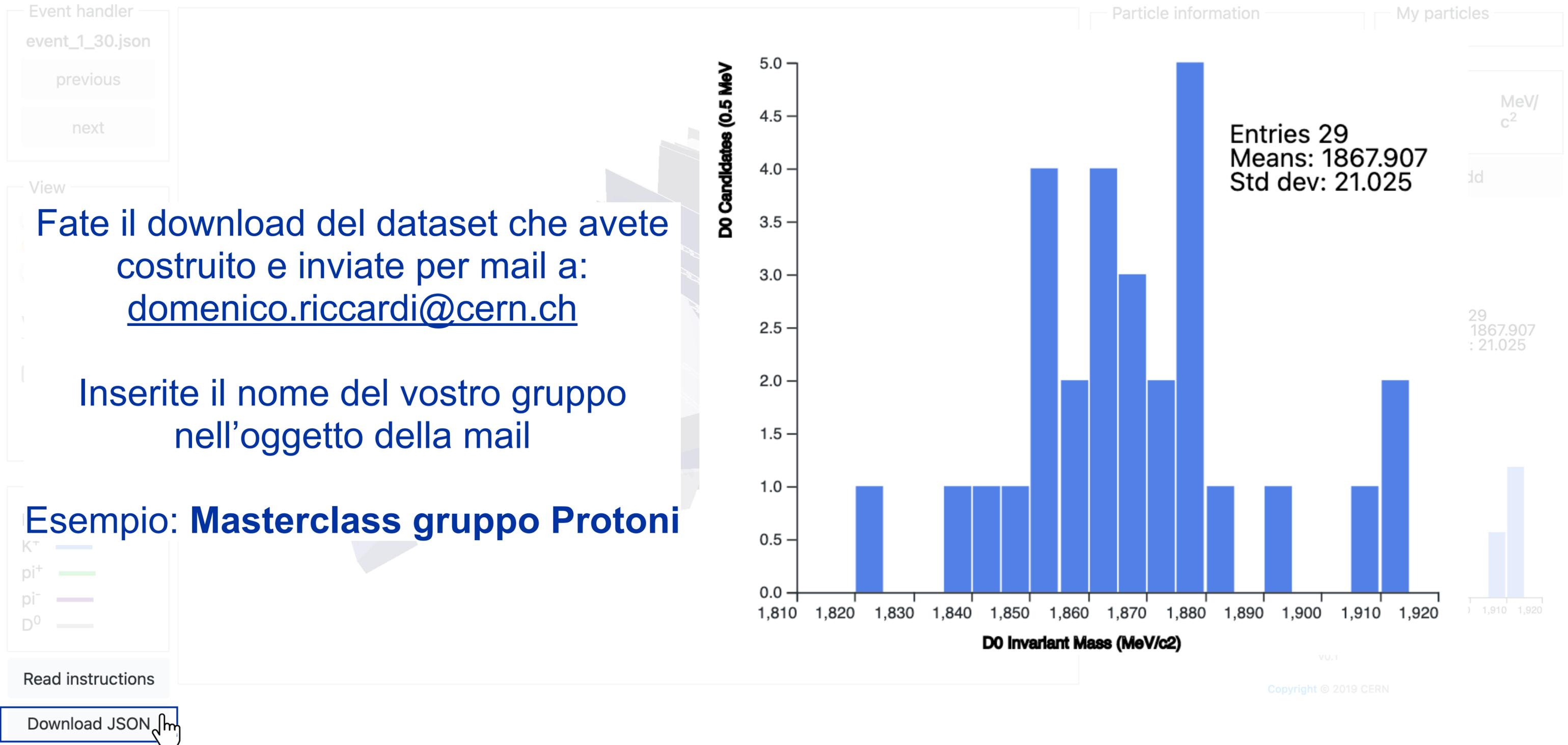
Cos'è un istogramma?

- 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* indica quante volte un valore misurato cade all'interno dell'intervallo corrispondente



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

Un possibile risultato



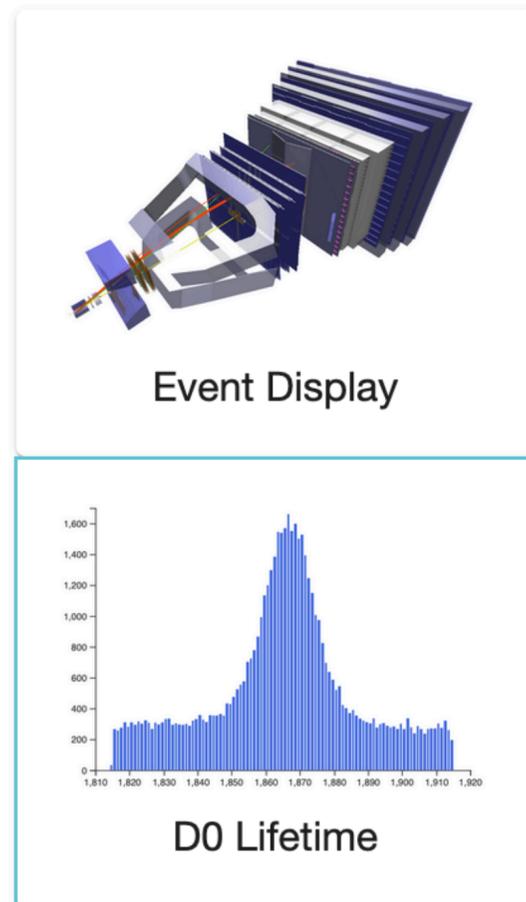
Un tipico giorno di lavoro al CERN!

ESERCIZIO 2: D^0 Lifetime



Esercizio 2

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



Event Display

D0 Lifetime

The image shows a 3D visualization of particle tracks in an event display, with a large blue arrow pointing to a histogram labeled 'D0 Lifetime'. The histogram shows a distribution of D0 candidates with a peak around 1,870 MeV/c².

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

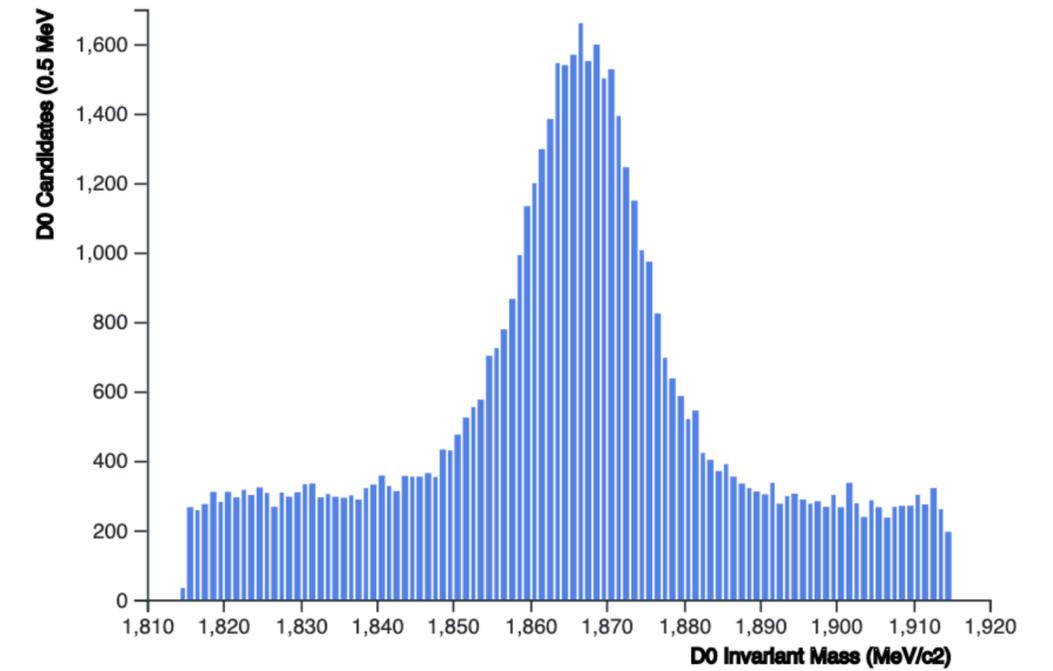
Refresh

Time fit

Fit result Fit Error (ps)

Save result

Read instructions

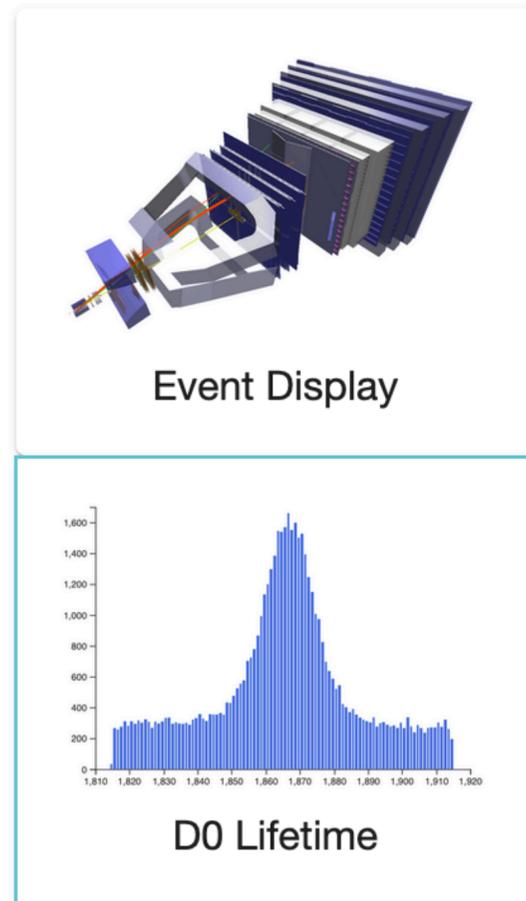


Cliccate su *Plot D⁰ mass* per visualizzare il plot in massa

Cosa notate?

Esercizio 2

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



The image shows two panels. The top panel, labeled "Event Display", contains a 3D visualization of a particle detector with a central beam pipe and surrounding layers. The bottom panel, labeled "D0 Lifetime", contains a histogram showing the distribution of D0 invariant mass. The x-axis is labeled "D0 Invariant Mass (MeV/c²)" and ranges from 1,810 to 1,920. The y-axis is labeled "D0 Candidates (0.5 MeV)" and ranges from 0 to 1,600. A large teal arrow points from the Event Display panel to the D0 Lifetime panel.

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

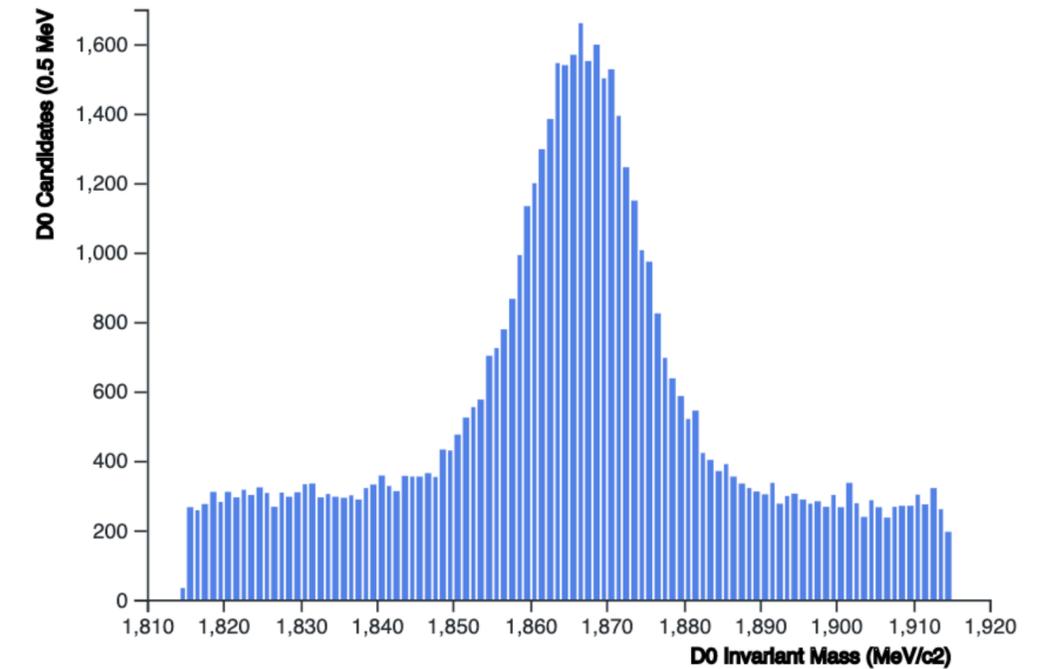
Refresh

Time fit

Fit result Fit Error (ps)

Save result

Read instructions

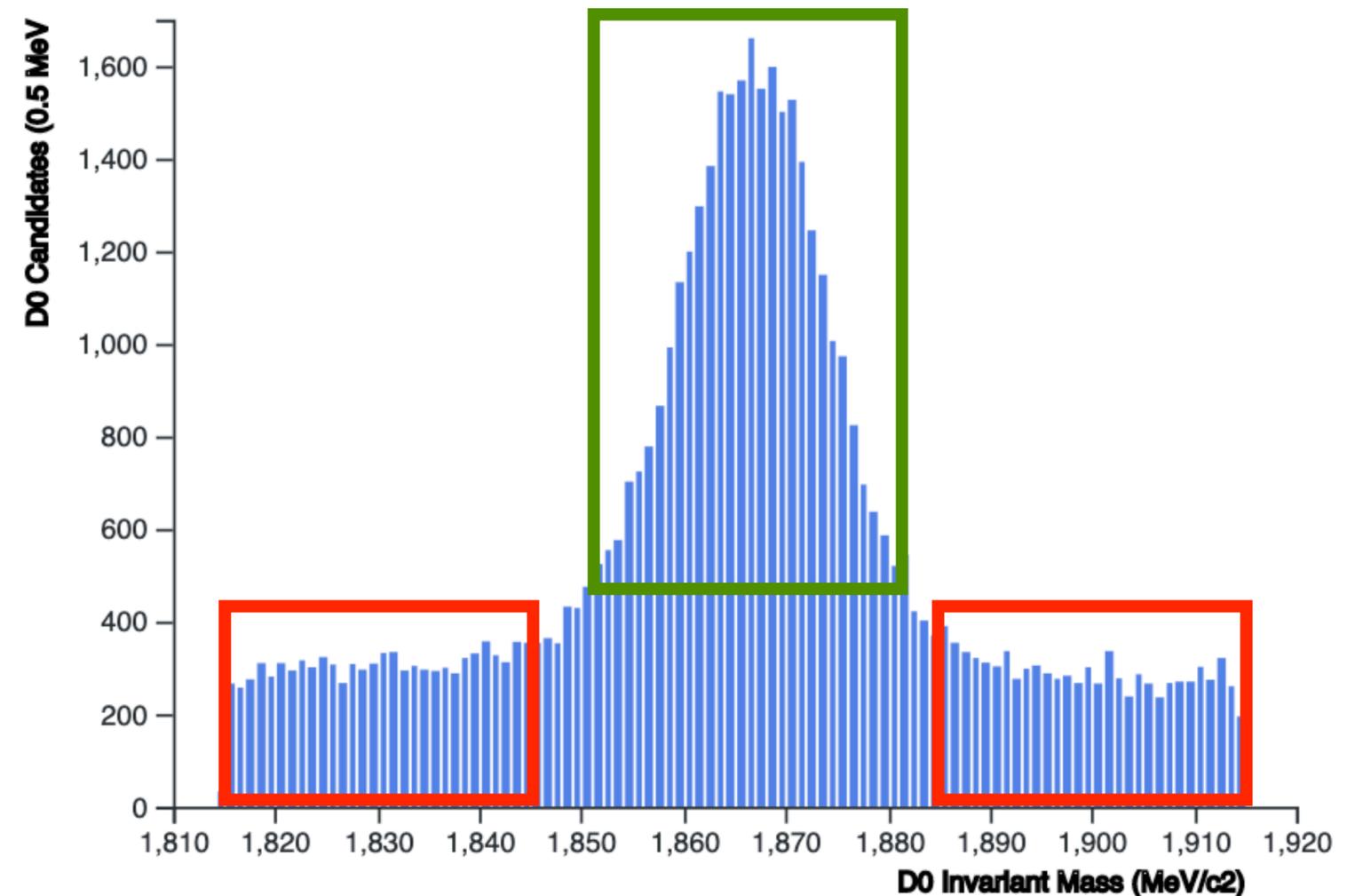
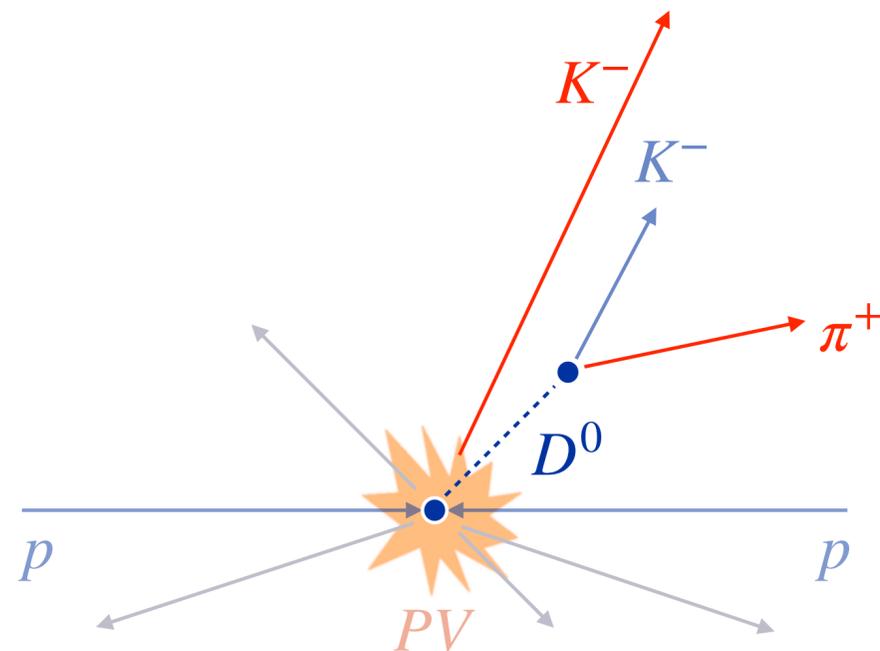


Cliccate su *Plot D⁰ mass* per visualizzare il plot in massa

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

Segnale vs fondo

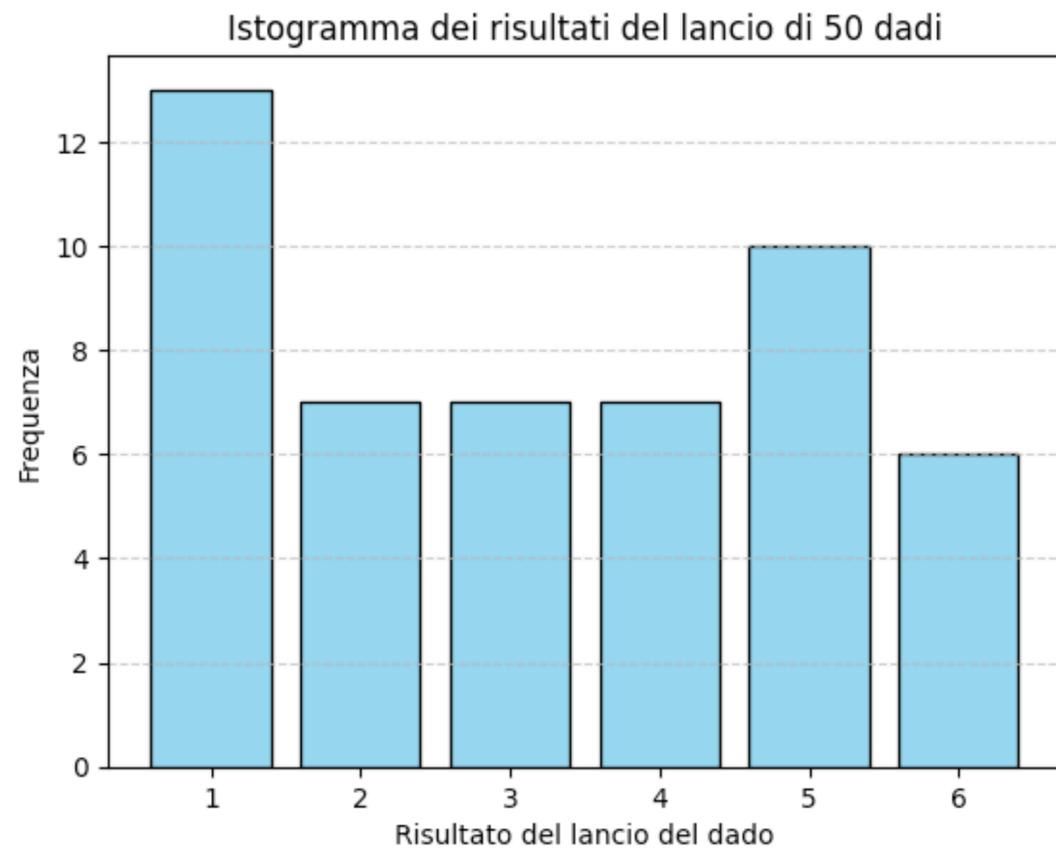
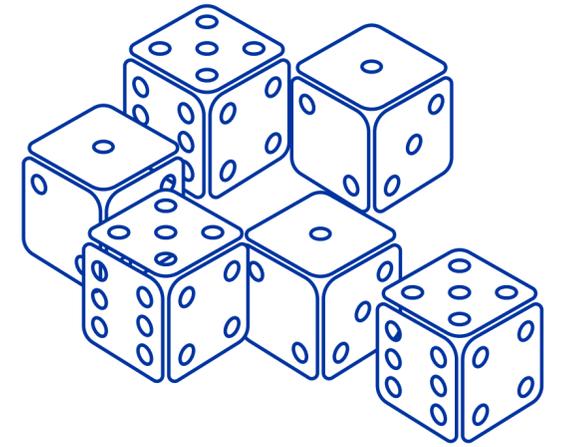
- Notiamo due popolazioni sovrapposte:
 1. **Picco di massa associato al segnale**, ovvero combinazioni di K^- e π^+ provenienti dal D^0
 2. **Fondo combinatorio**: un K^- e/o un π^+ che NON vengono dal decadimento di un D^0 , ma sono **combinazioni casuali** delle due tracce



Perché il fondo è *piatto*?

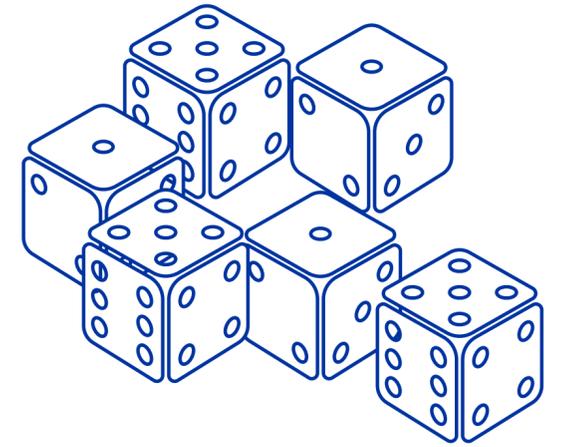
Combinatorio: un esempio con i dadi

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

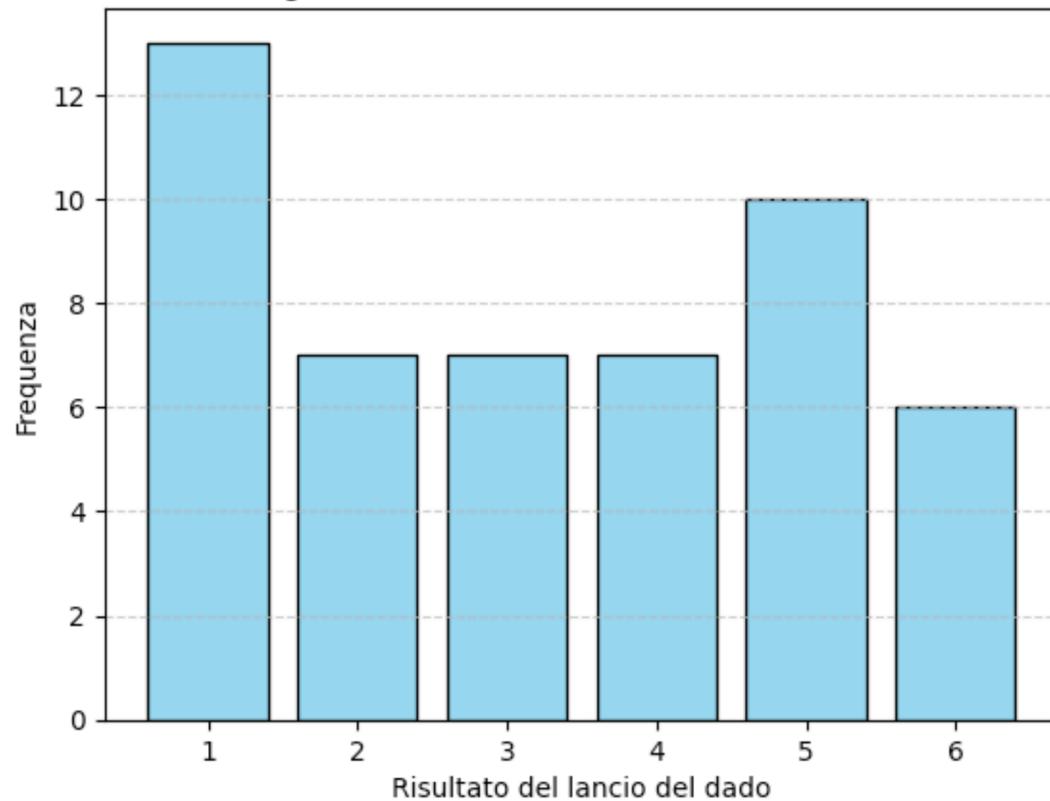


Combinatorio: un esempio con i dadi

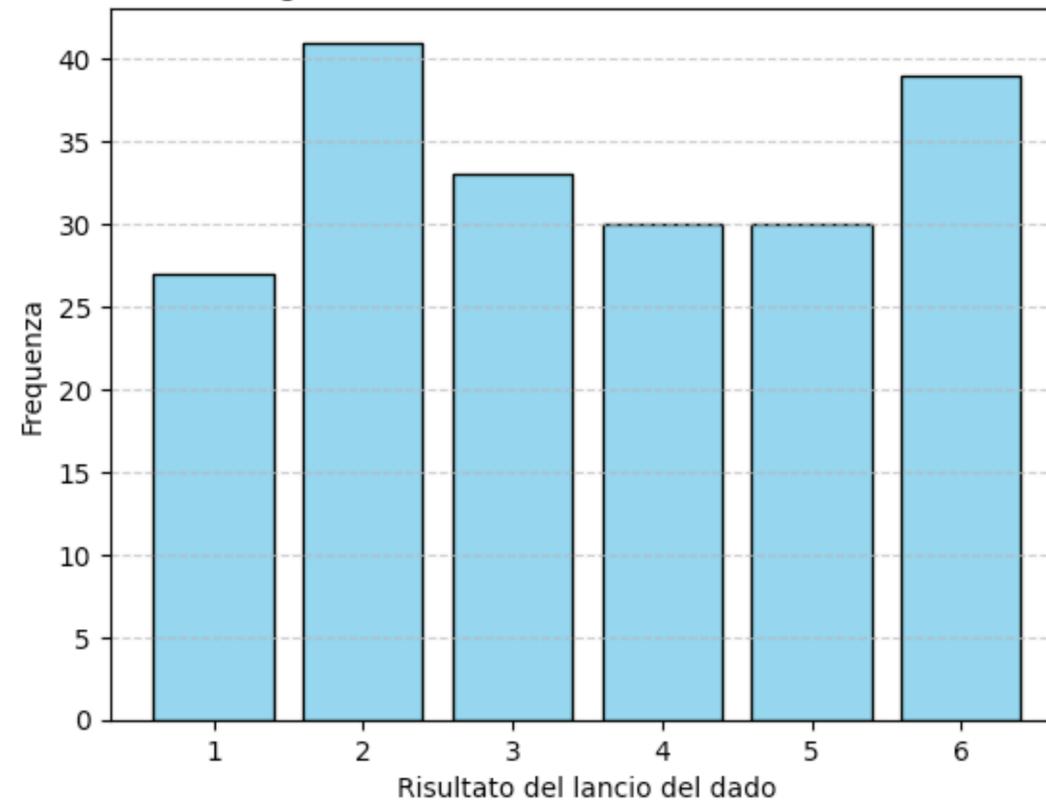
- Queste sono le distribuzioni che si ottengono costruendo l'istogramma dei *Risultati del lancio di un dado* per 50, 200



Istogramma dei risultati del lancio di 50 dadi

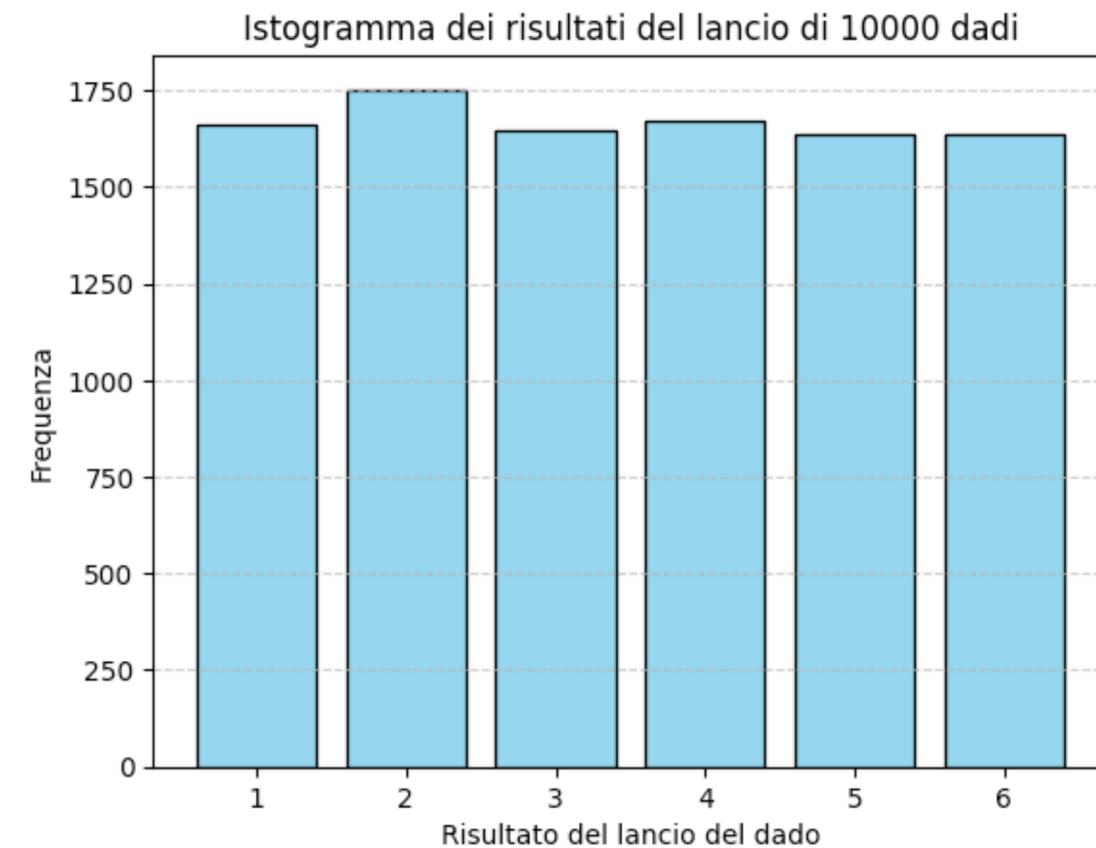
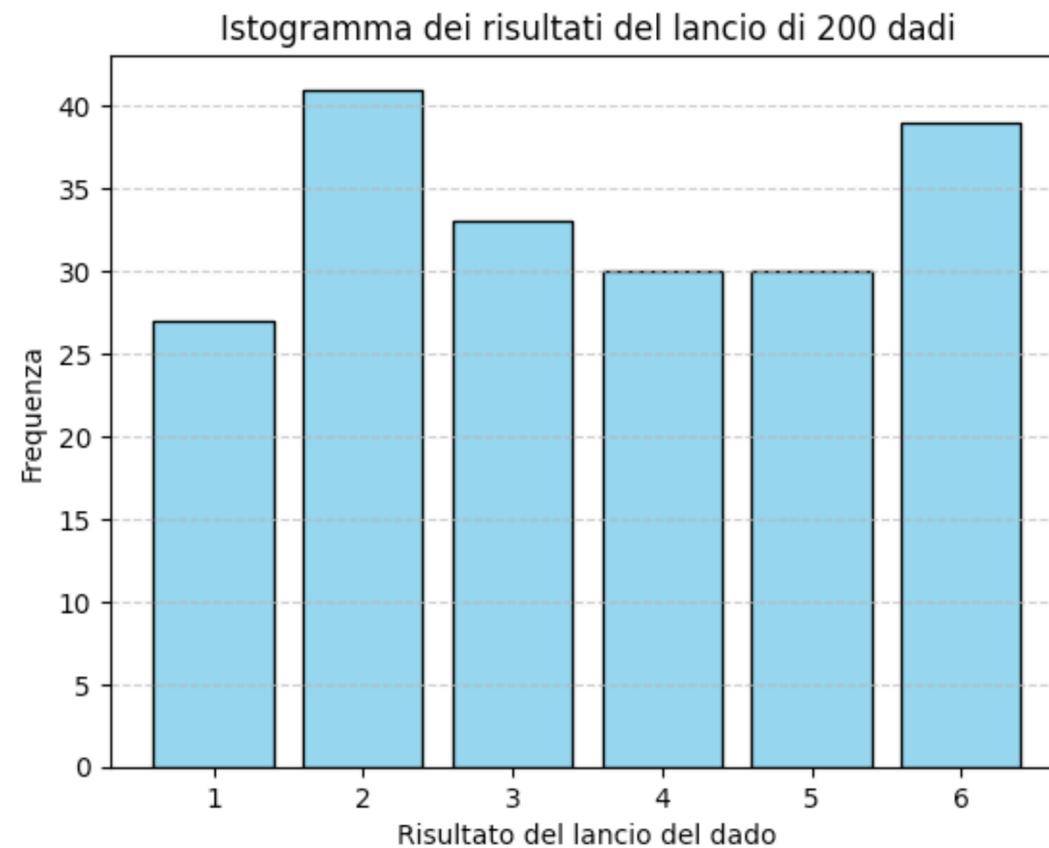
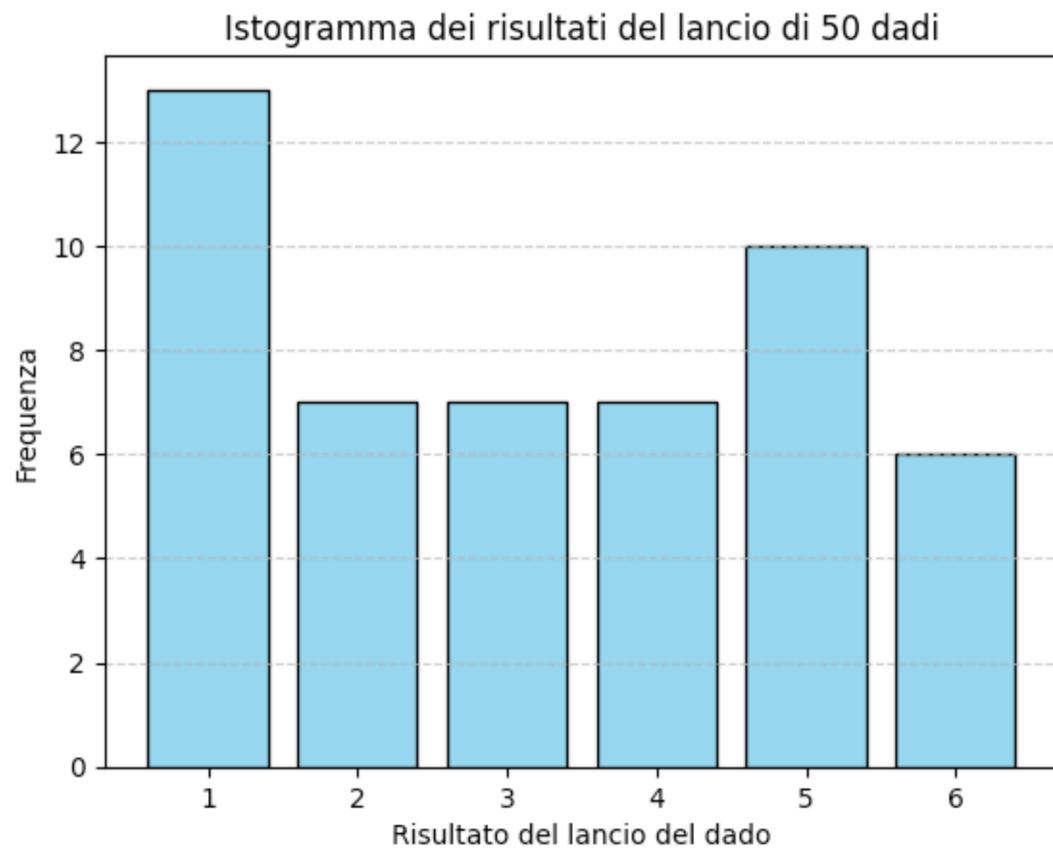
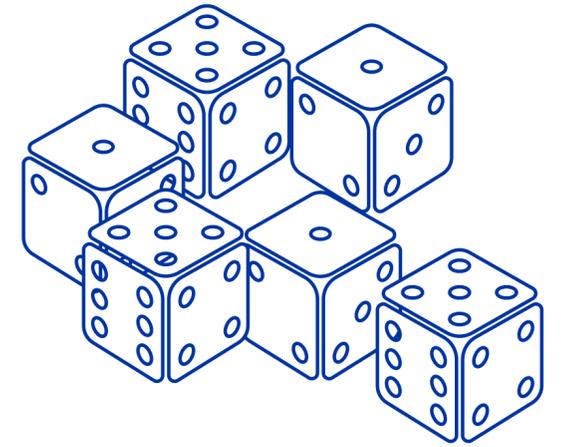


Istogramma dei risultati del lancio di 200 dadi



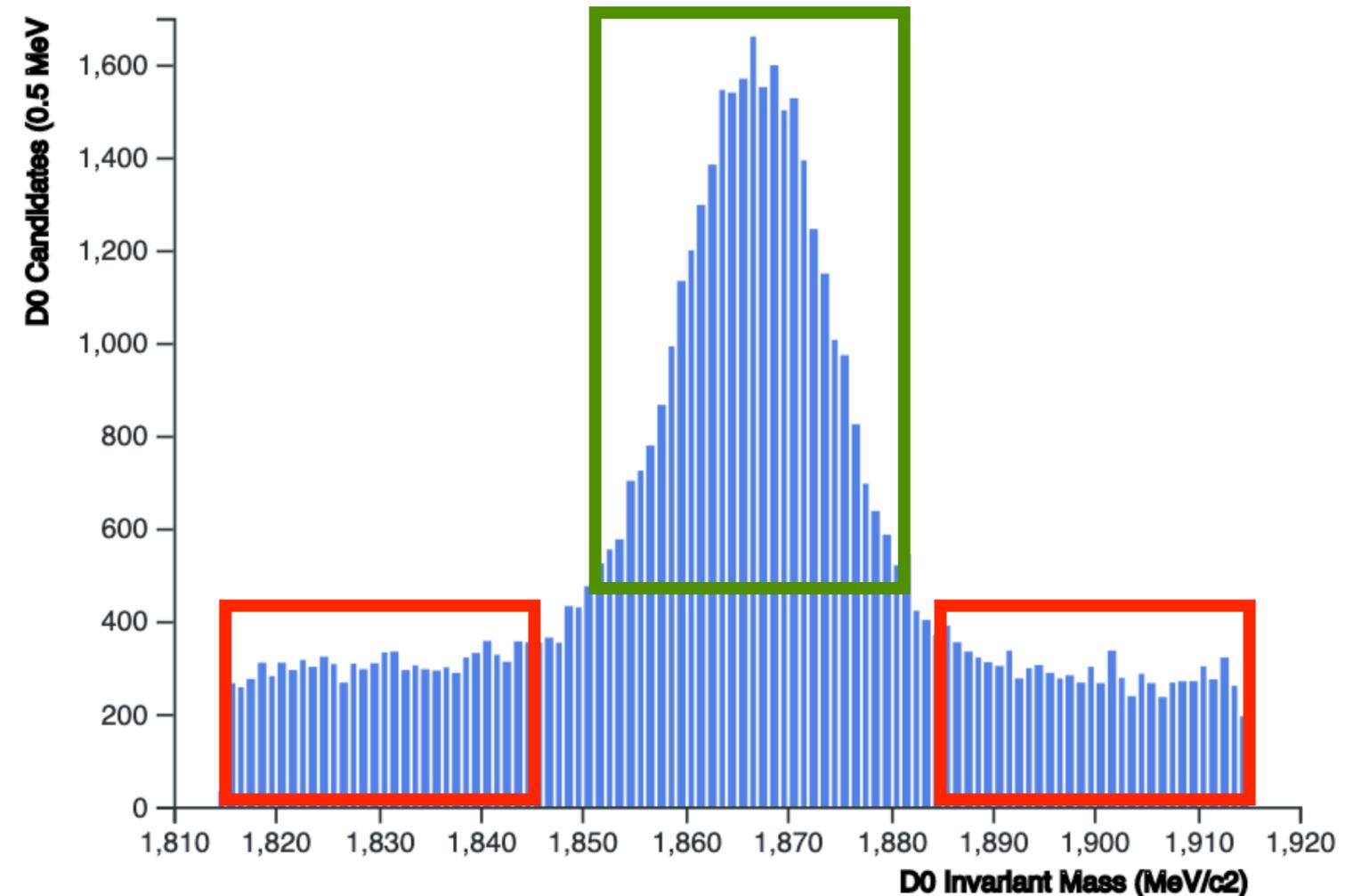
Combinatorio: un esempio con i dadi

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



Segnale vs fondo

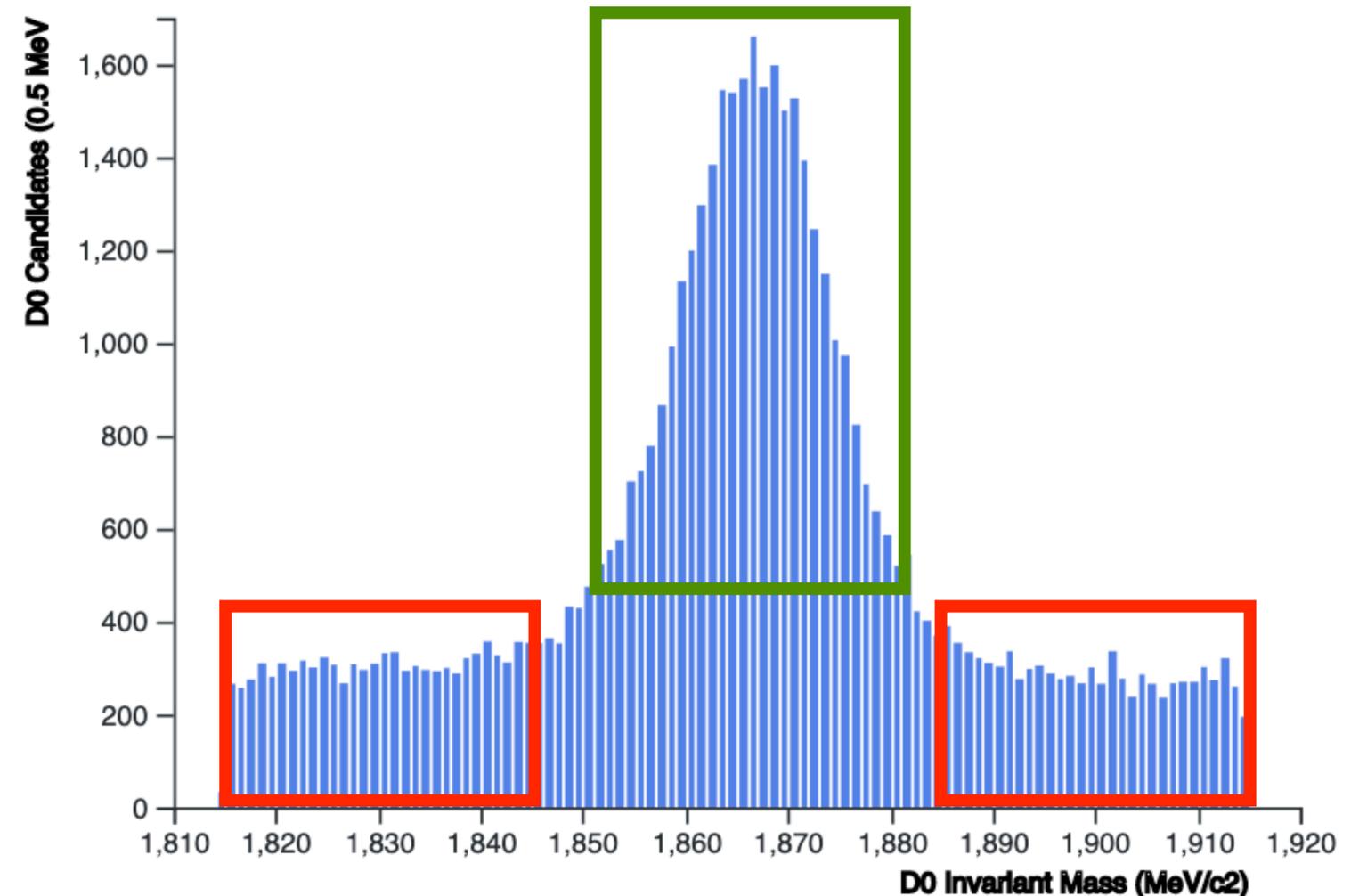
- Notiamo due popolazioni sovrapposte:
- Picco di massa associato al segnale
- Fondo combinatorio: un K^- e un π^+ che NON vengono dal decadimento di un D^0
- Non c'è alcun motivo per aspettarci che il fondo combinatorio non sia piatto, dato che questi eventi sono combinazioni casuali di K^- e π^+ che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



Segnale vs fondo

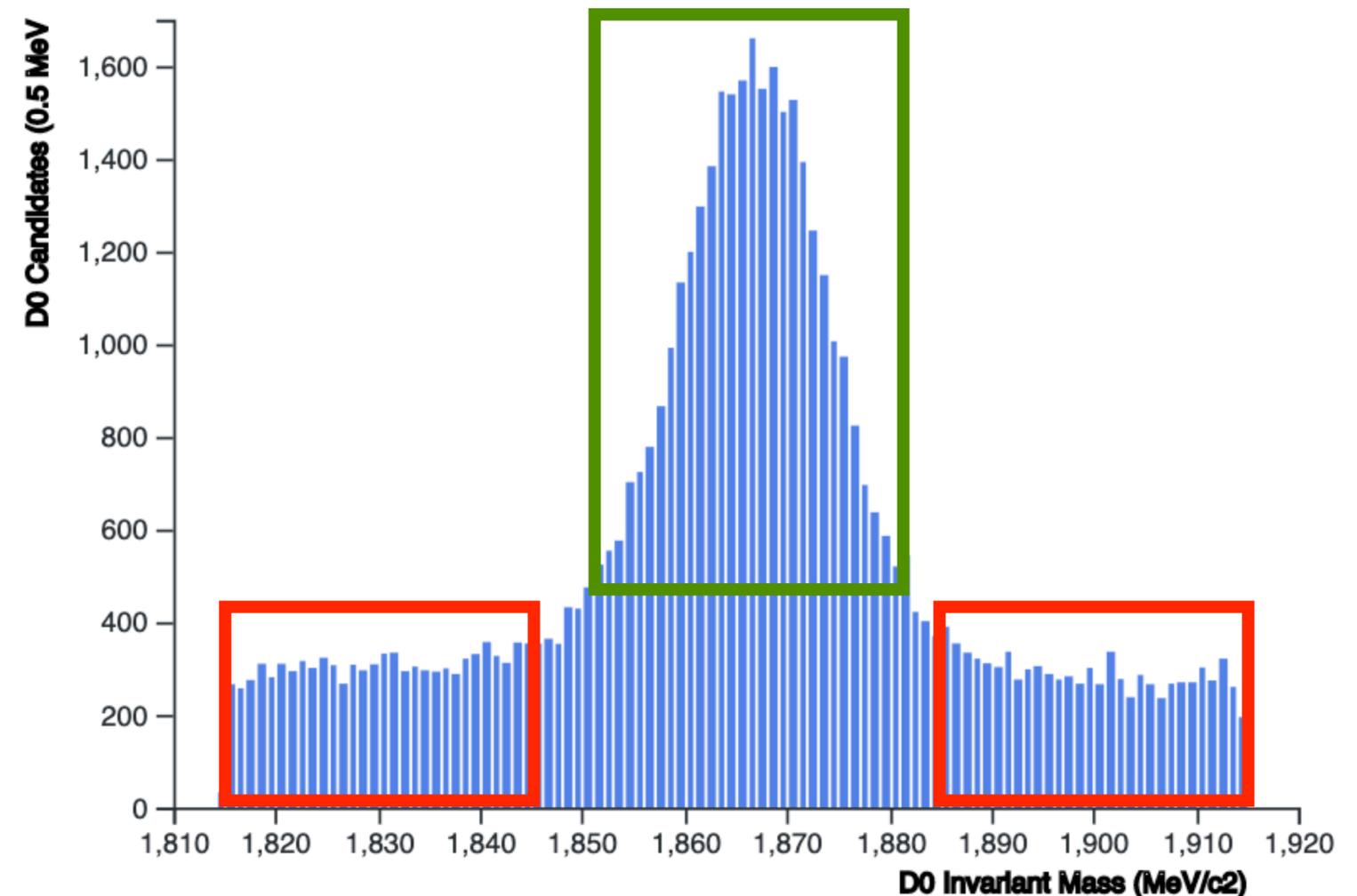
- Notiamo due popolazioni sovrapposte:
- **Picco di massa associato al segnale**
- **Fondo combinatorio: un K^- e un π^+ che NON vengono dal decadimento di un D^0**
- Non c'è alcun motivo per aspettarci che il fondo combinatorio non sia piatto, dato che questi eventi sono combinazioni casuali di K^-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

Perché il segnale *picca*?



Segnale vs fondo

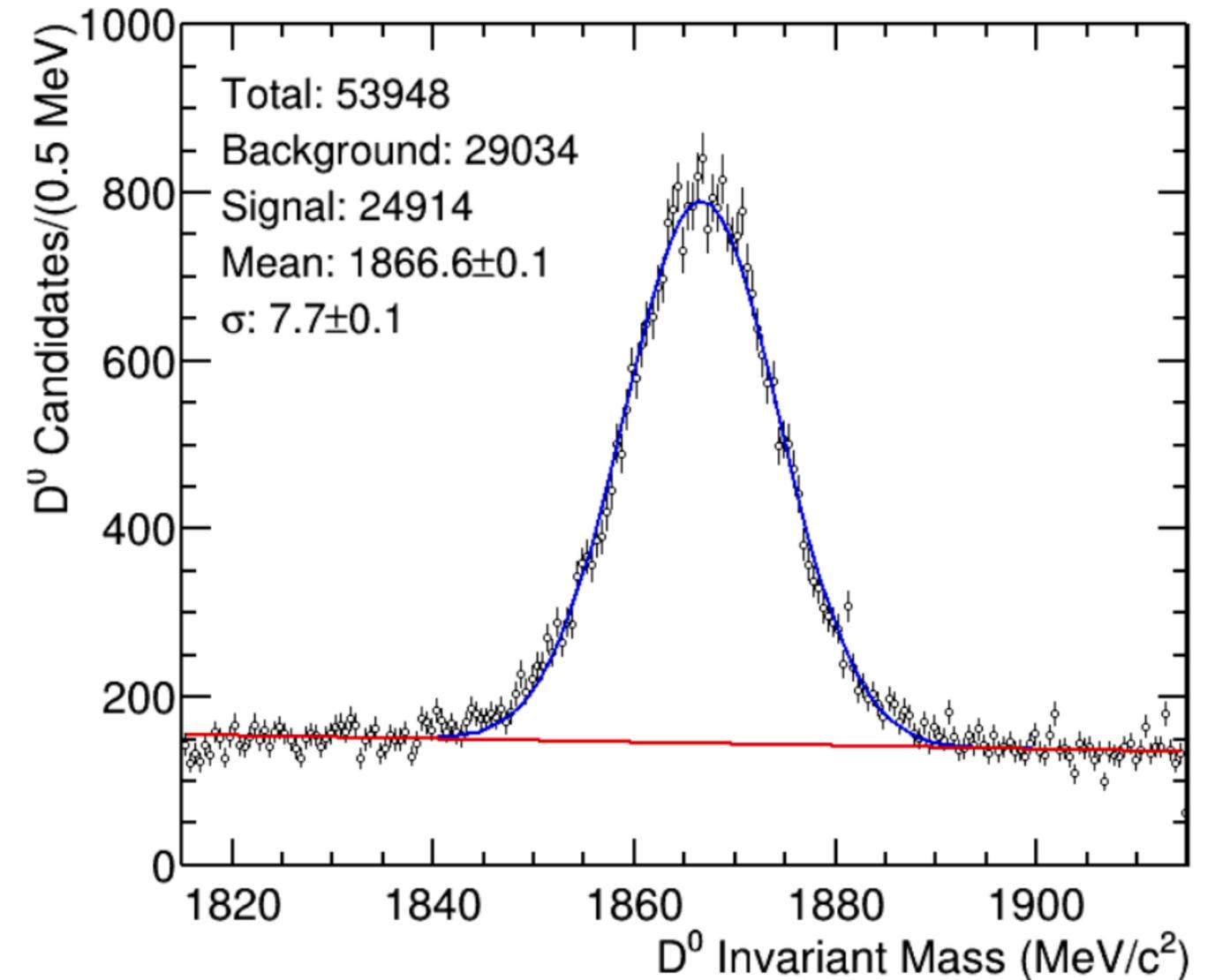
- Notiamo due popolazioni sovrapposte:
- **Picco di massa associato al segnale**
- **Fondo combinatorio: un K^- e un π^+ che NON vengono dal decadimento di un D^0**
- Non c'è alcun motivo per aspettarci che il fondo combinatorio non sia piatto, dato che questi eventi sono combinazioni casuali di K^- e π^+ che non hanno nulla a che vedere con il D^0
- **Risposta: accumulo di eventi veri attorno alla massa vera del D^0**
- Non tutti gli eventi popoleranno il bin contenente la massa PDG per effetto delle incertezze nella misura delle 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, ovvero il picco di massa del D^0 , eseguiamo un **fit**
- **Fit**: procedura che permette di adattare un modello parametrico, ovvero una funzione, ai dati



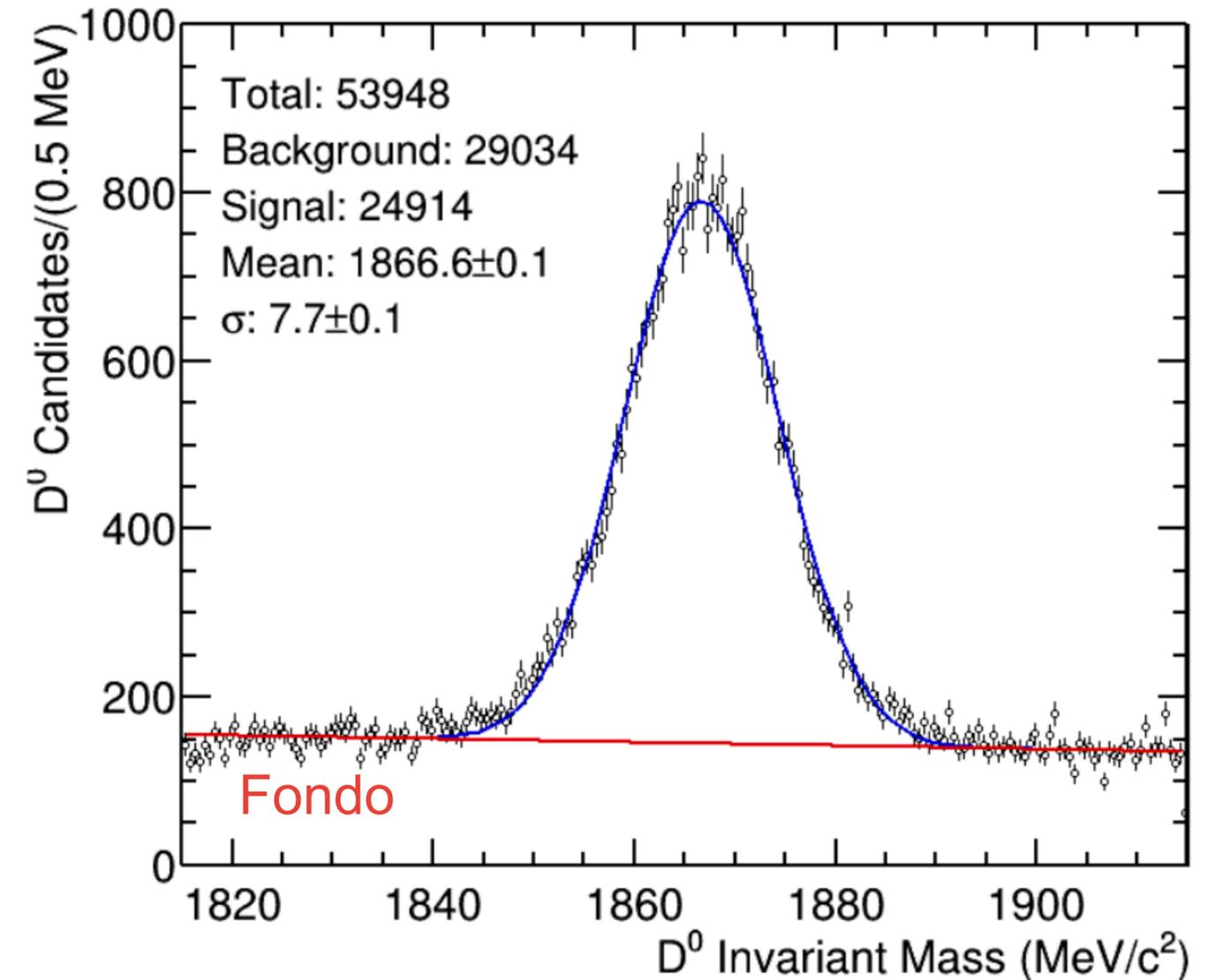
Fit alla massa

- Per isolare il segnale a cui siamo interessati, ovvero il picco di massa del D^0 , eseguiamo un **fit**
- **Fit**: procedura che permette di adattare un modello parametrico, ovvero una funzione, ai dati

- Ipotizziamo che la forma del FONDO sia una retta

$$y = ax + b$$

- La procedura di fit permette di associare ad a e b un valore numerico



Fit alla massa

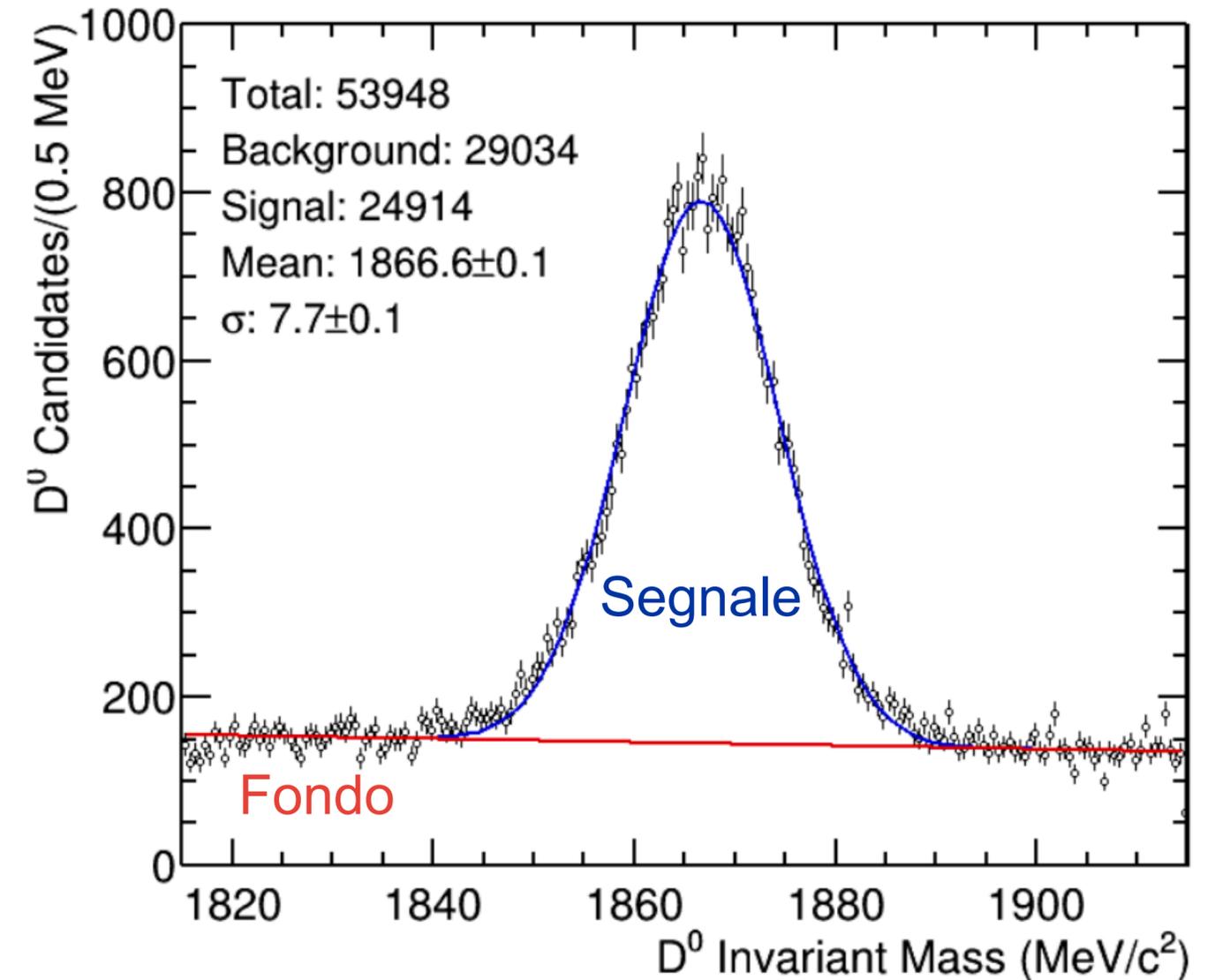
- Per isolare il segnale a cui siamo interessati, ovvero il picco di massa del D^0 , eseguiamo un **fit**
- **Fit**: procedura che permette di adattare un modello parametrico, ovvero una funzione, ai dati
- **Ipotizziamo che la forma del FONDO sia una retta**

$$y = ax + b$$

- La procedura di fit permette di associare ad a e b un valore numerico
- **Ipotizziamo che il SEGNALE sia descritto da una funzione Gaussiana**

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

- Il fit permette di associare ad μ e σ un valore numerico



Fit alla massa

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

Analysis tools

Plot D^0 mass

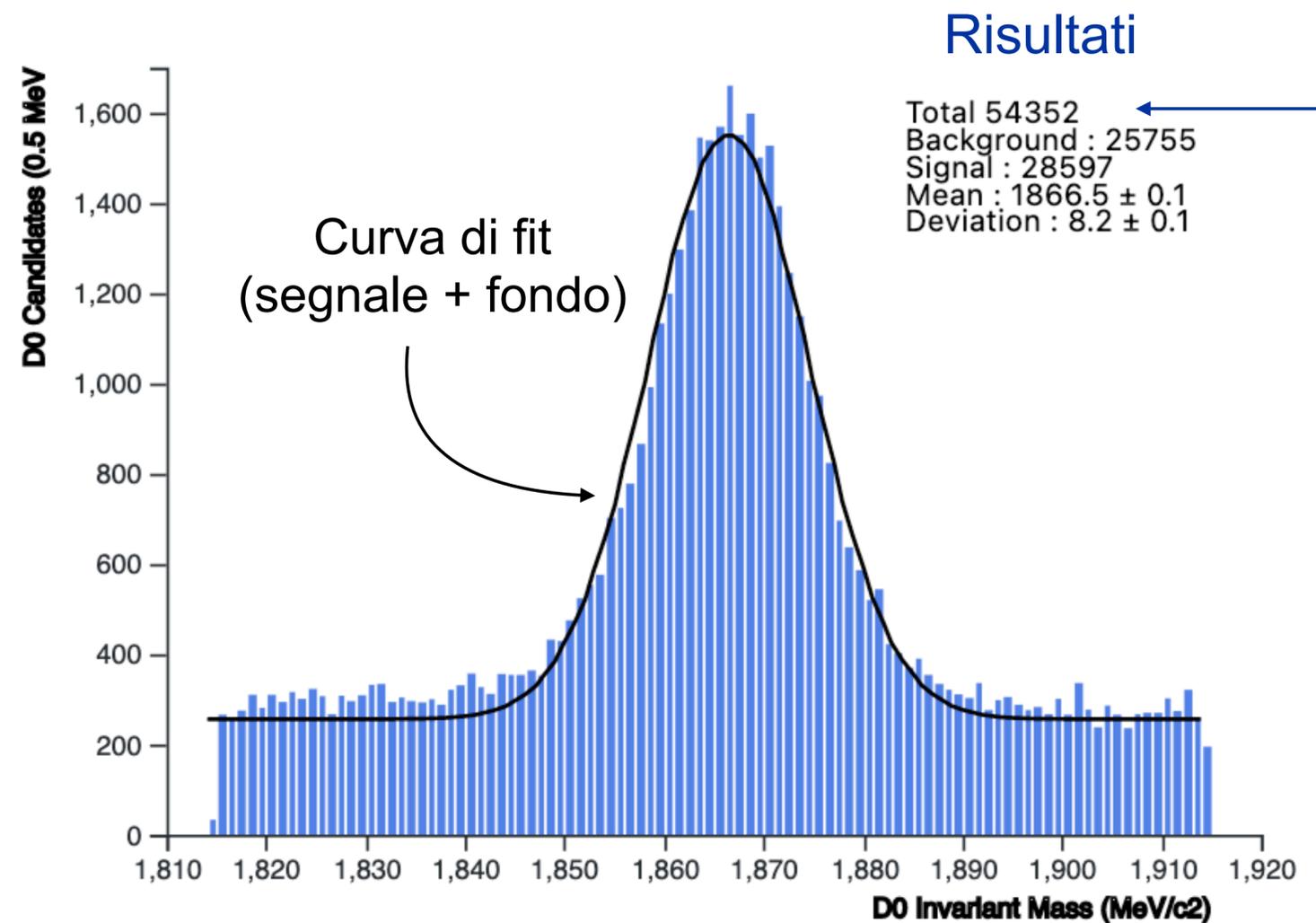
Fit mass distribution 

Background substr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions



Eventi presenti nel grafico

Fit alla massa

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

Analysis tools

Plot D^0 mass

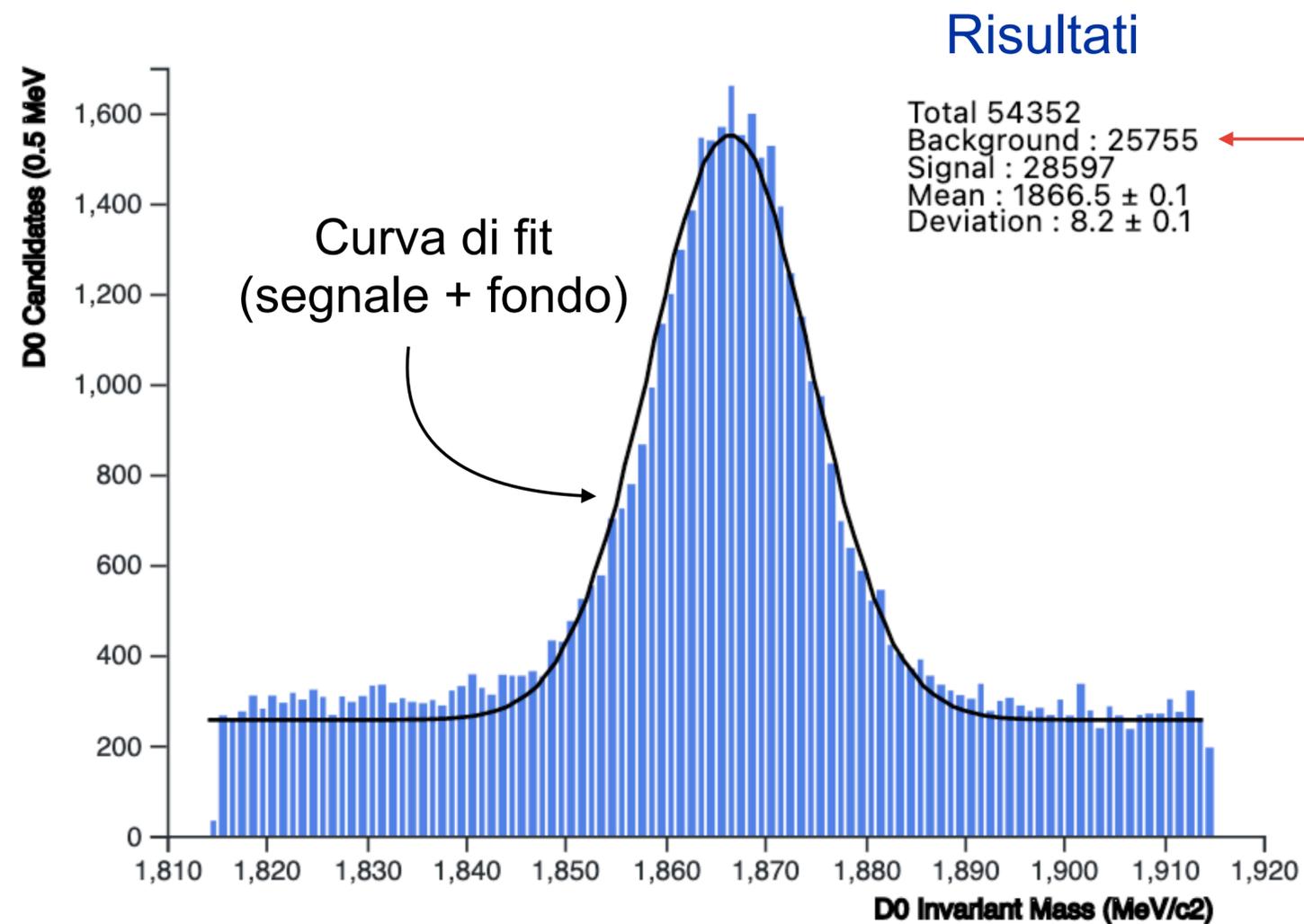
Fit mass distribution 

Background substr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions



Eventi di fondo stimati

Fit alla massa

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

Analysis tools

Plot D⁰ mass

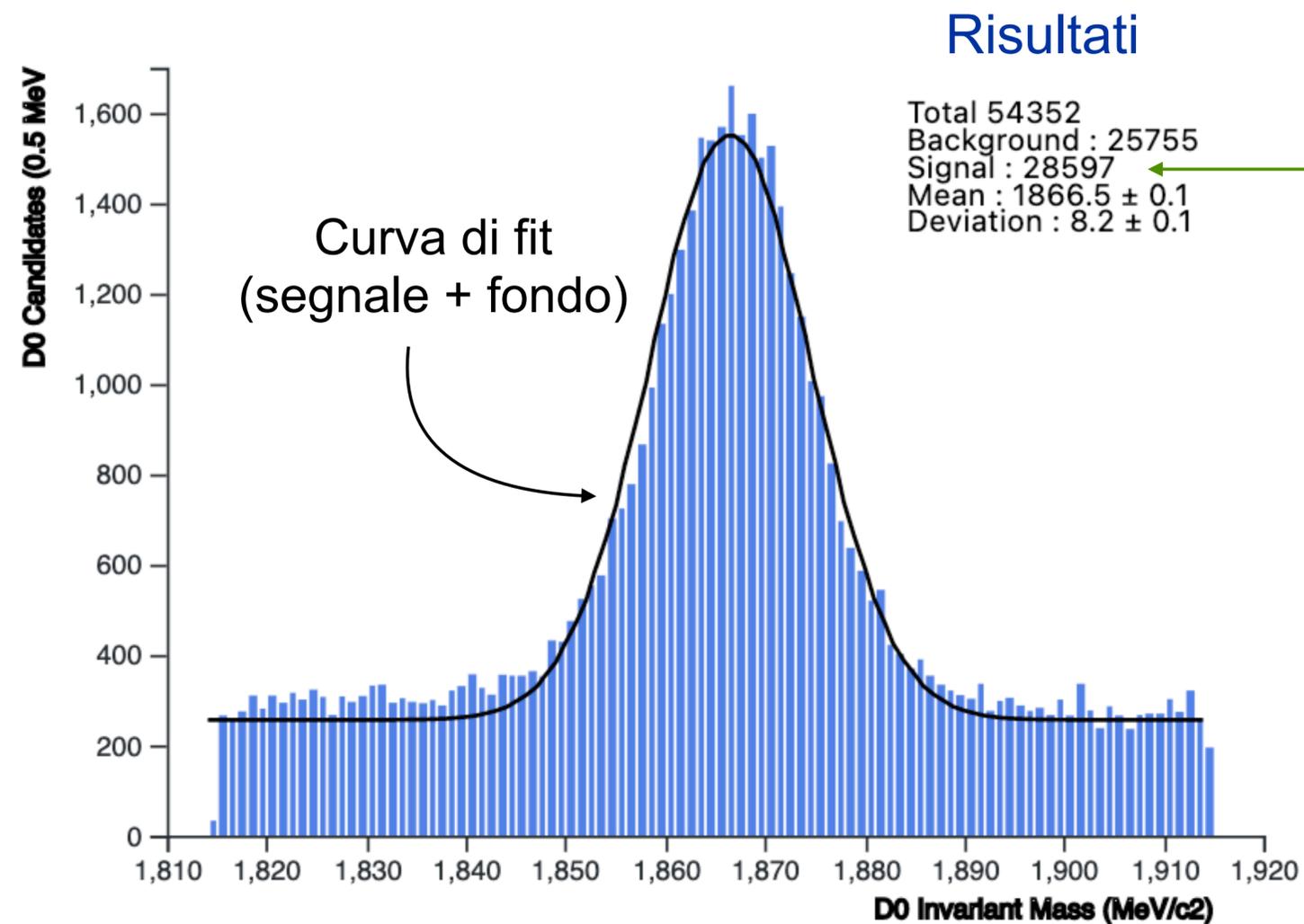
Fit mass distribution 

Background substr.

Signal range

1810 1915

Plot distributions



Eventi di segnale stimati

Fit alla massa

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

Analysis tools

Plot D^0 mass

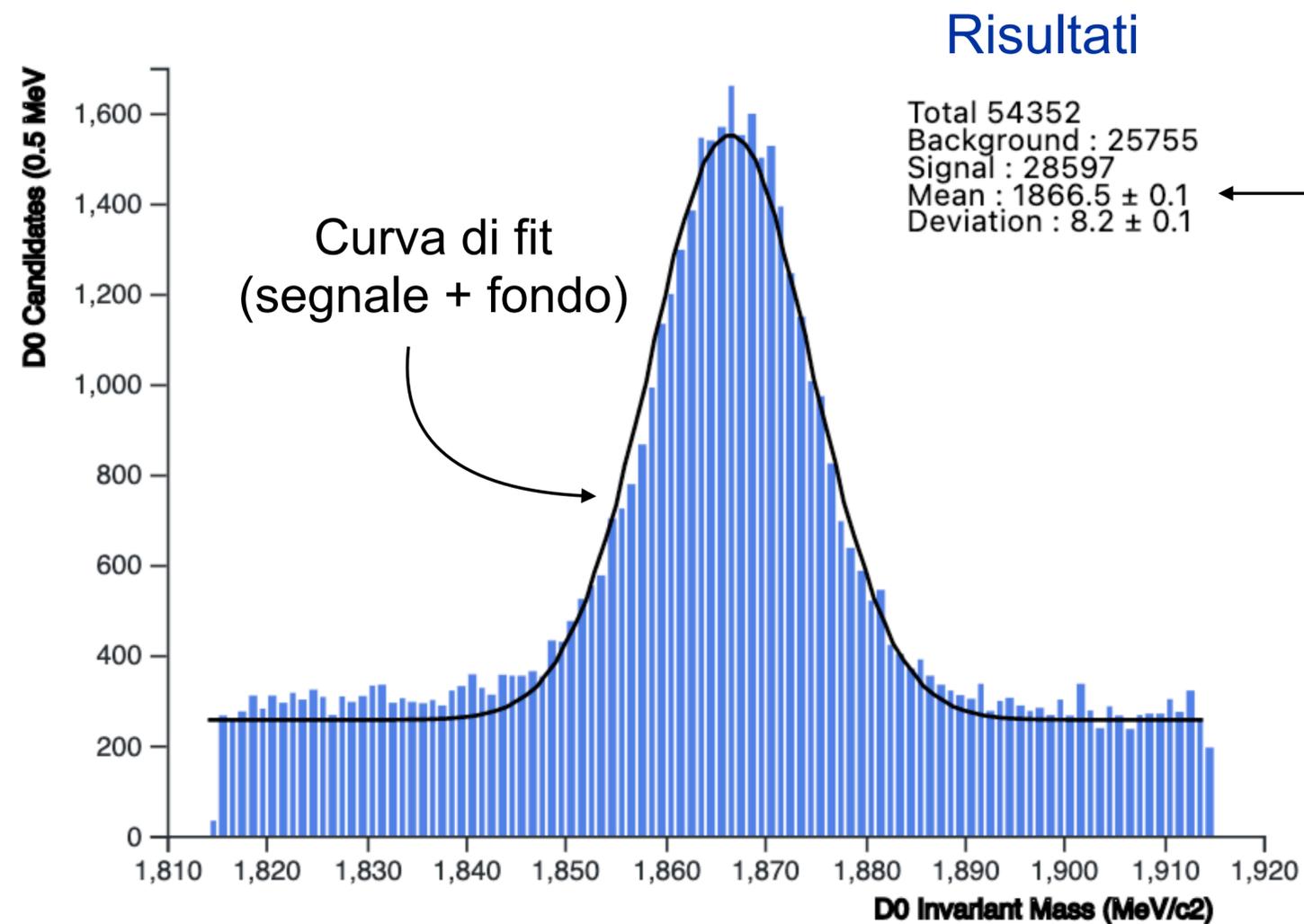
Fit mass distribution 

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 pulsante *Fit mass distribution*

Analysis tools

Plot D⁰ mass

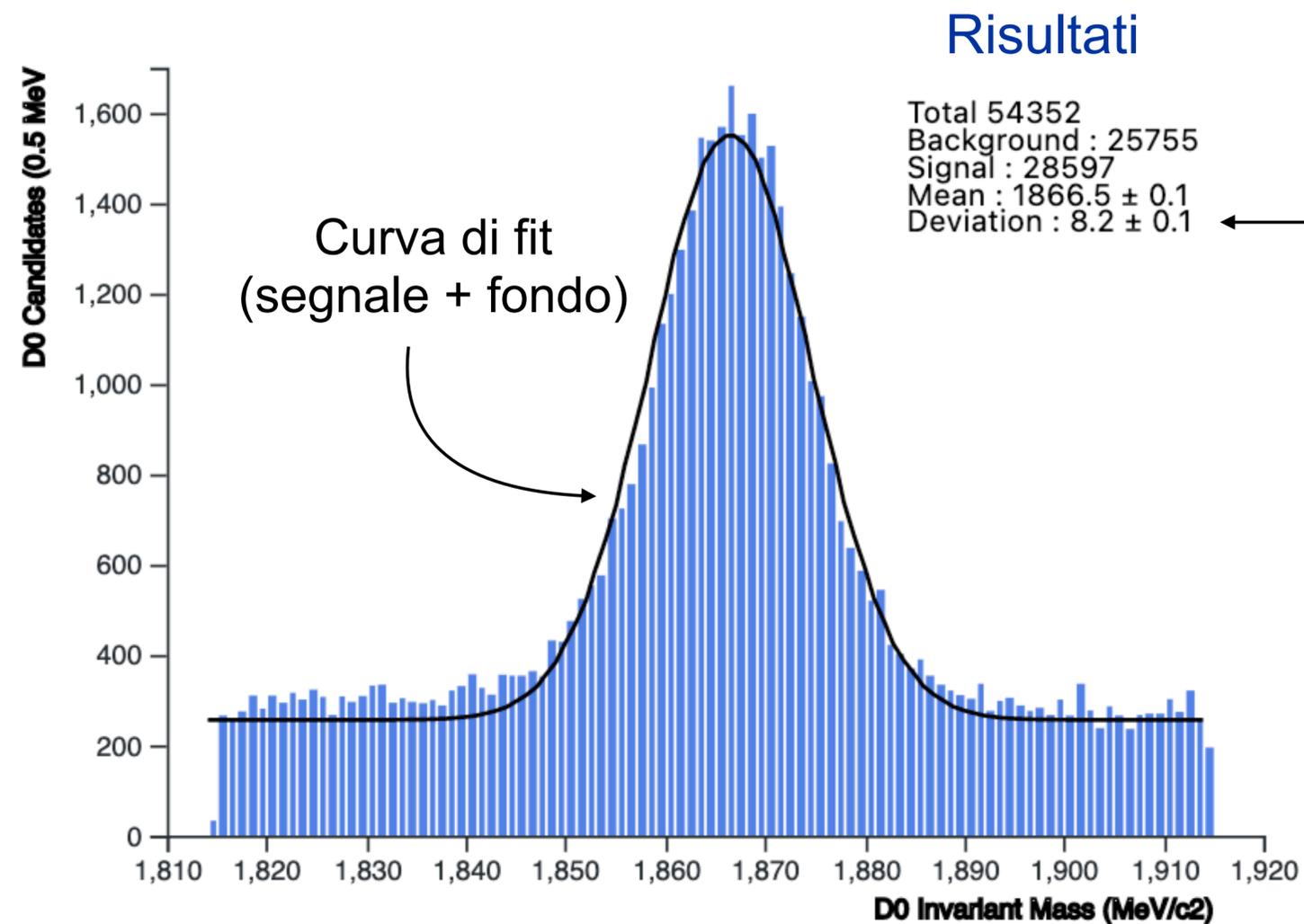
Fit mass distribution 

Background substr.

Signal range

1810 1915

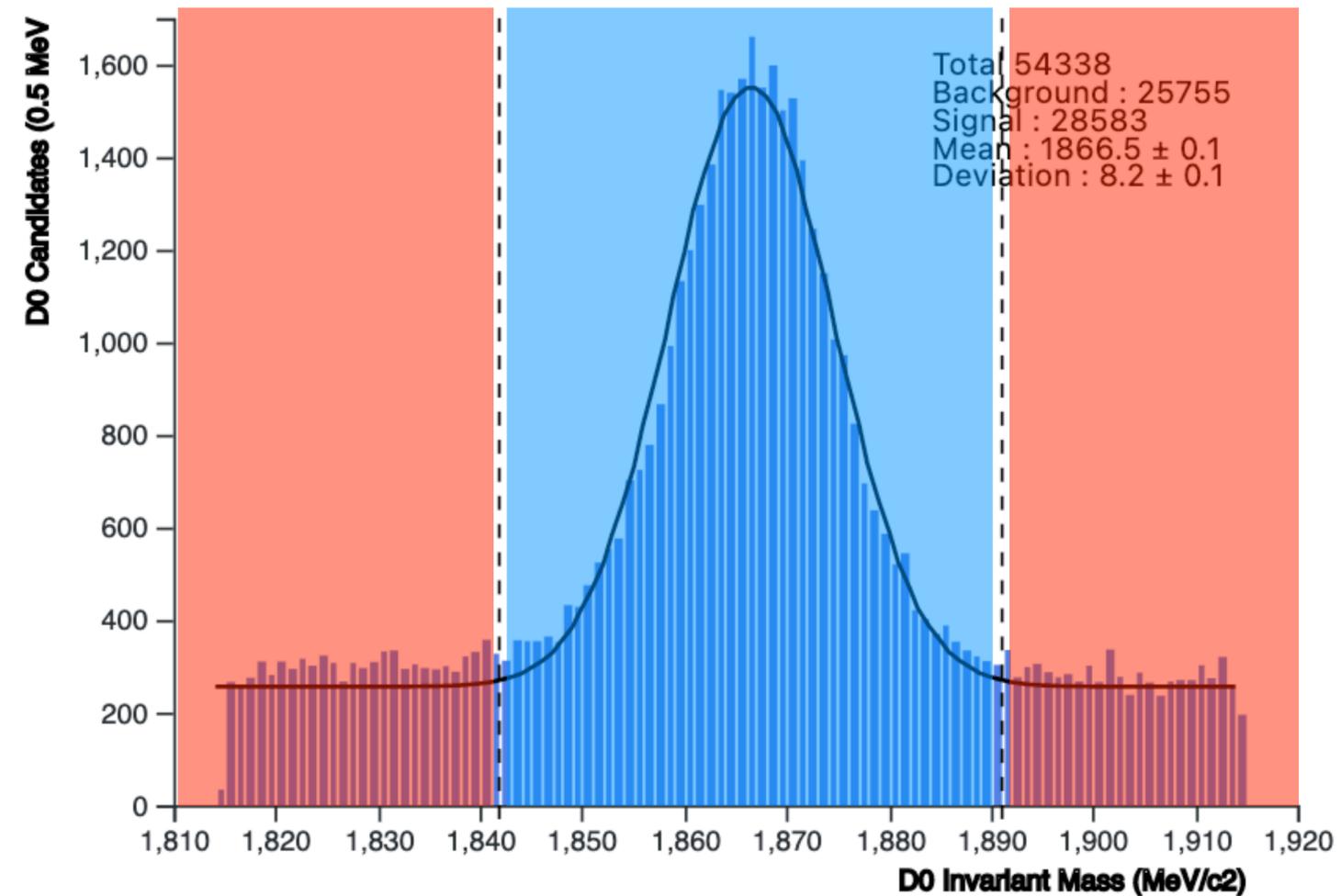
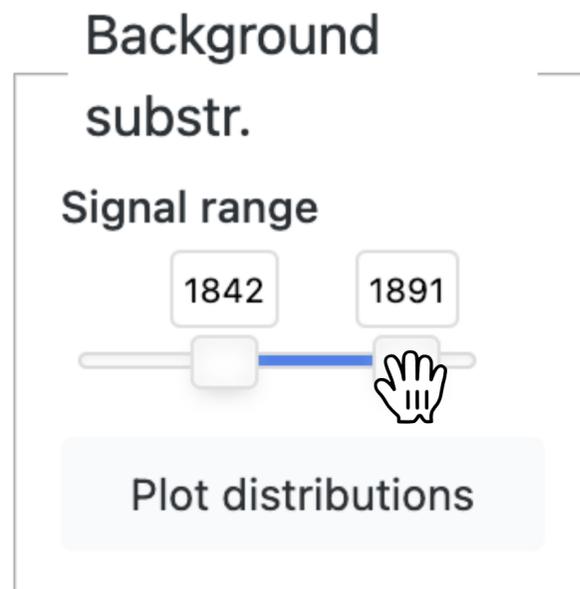
Plot distributions



Il parametro σ (standard deviation) indica la *larghezza* del picco

Rimuovere il fondo

- Selezioniamo come **regione di segnale** una regione larga 3σ attorno al valore centrale μ
- Gauss ci insegna che in questa regione è contenuto il $\sim 99.7\%$ del segnale



blu: tiene 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

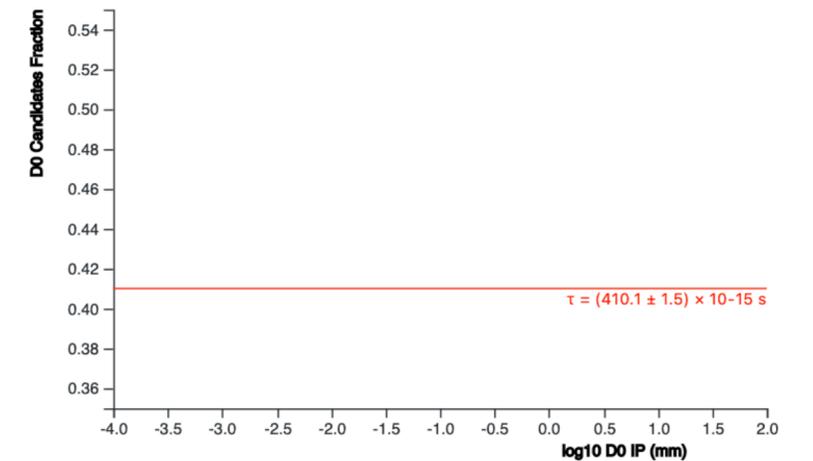
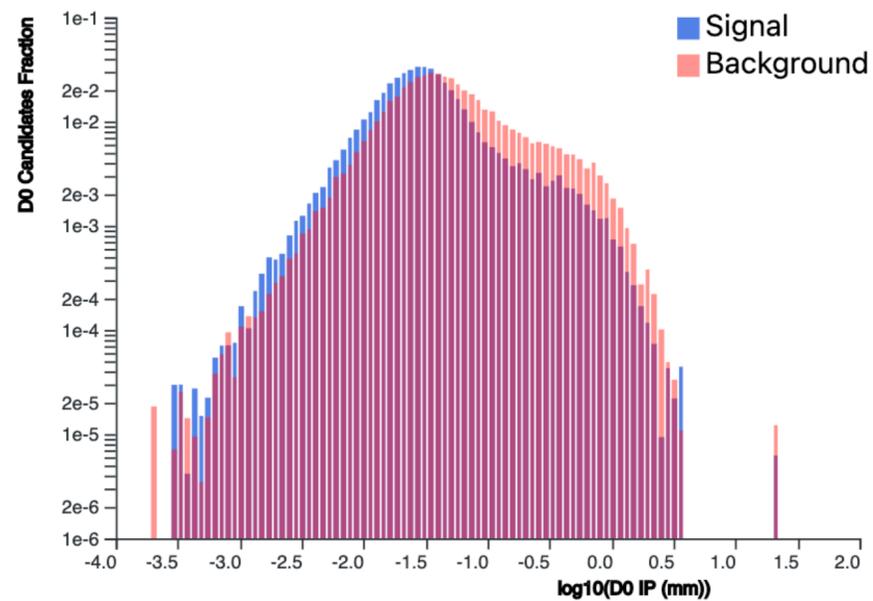
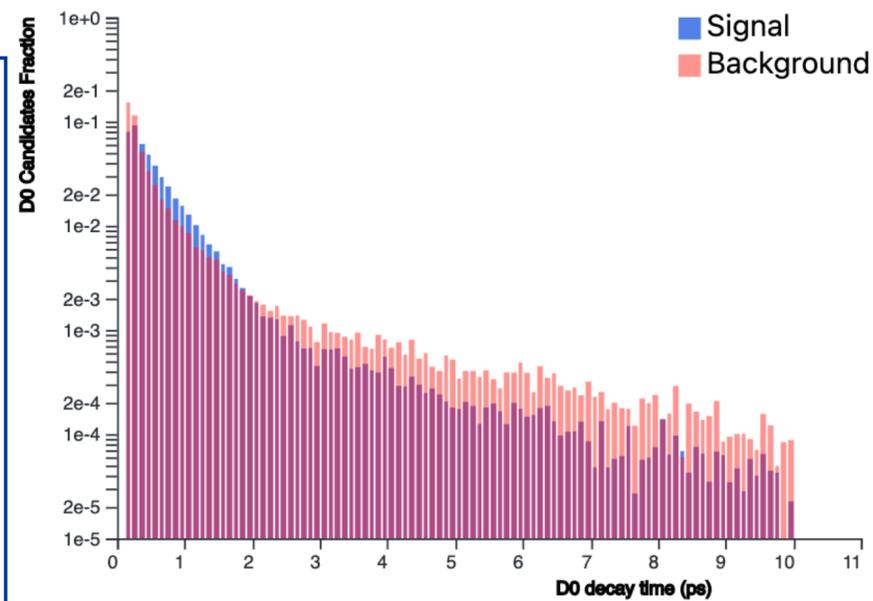
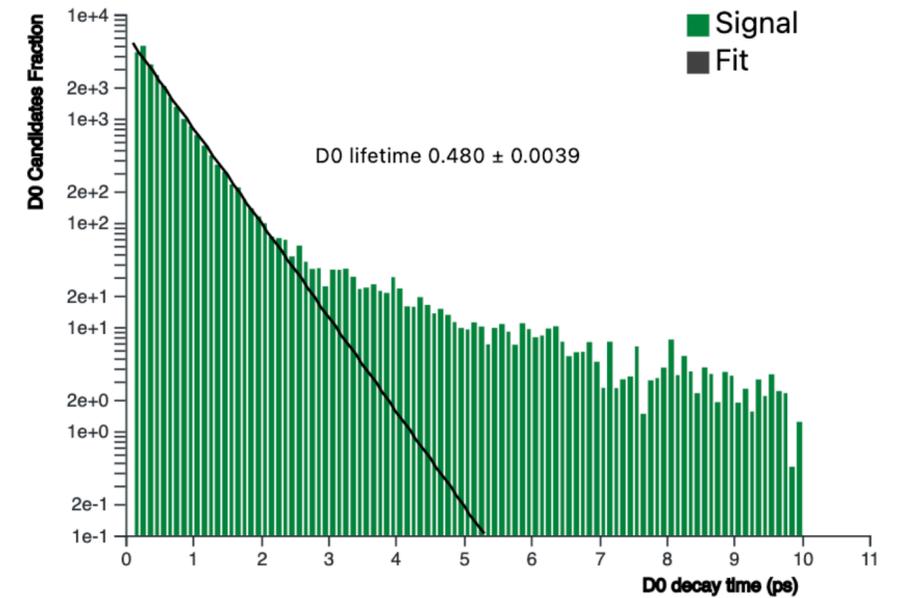
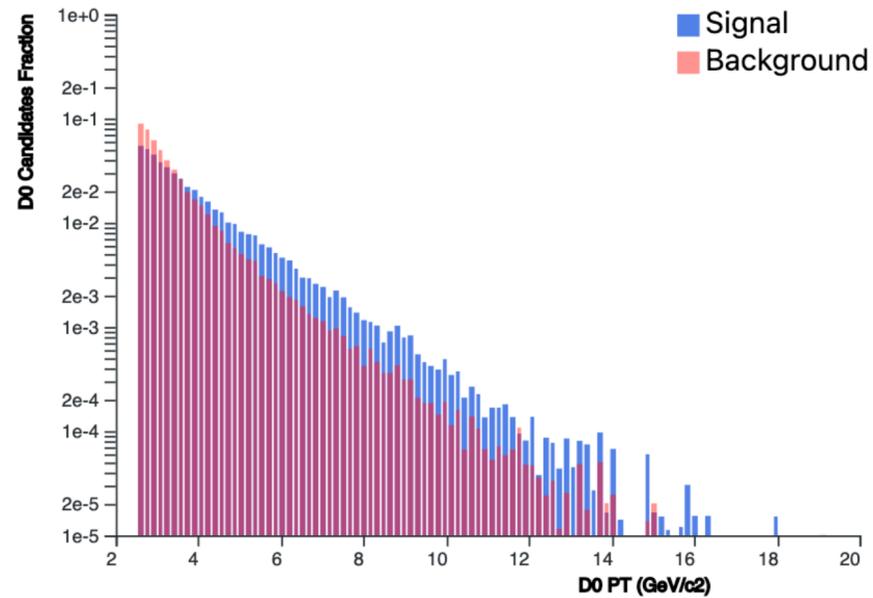
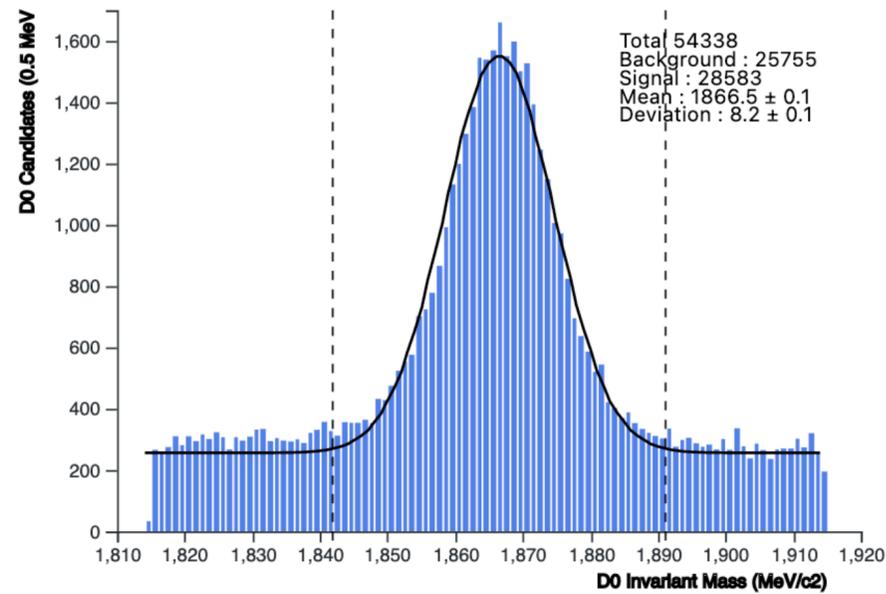
Variable range

D^0 PT: 2.5 20

D^0 TAU: 0 10

D^0 IP: -4 1.5

Refresh

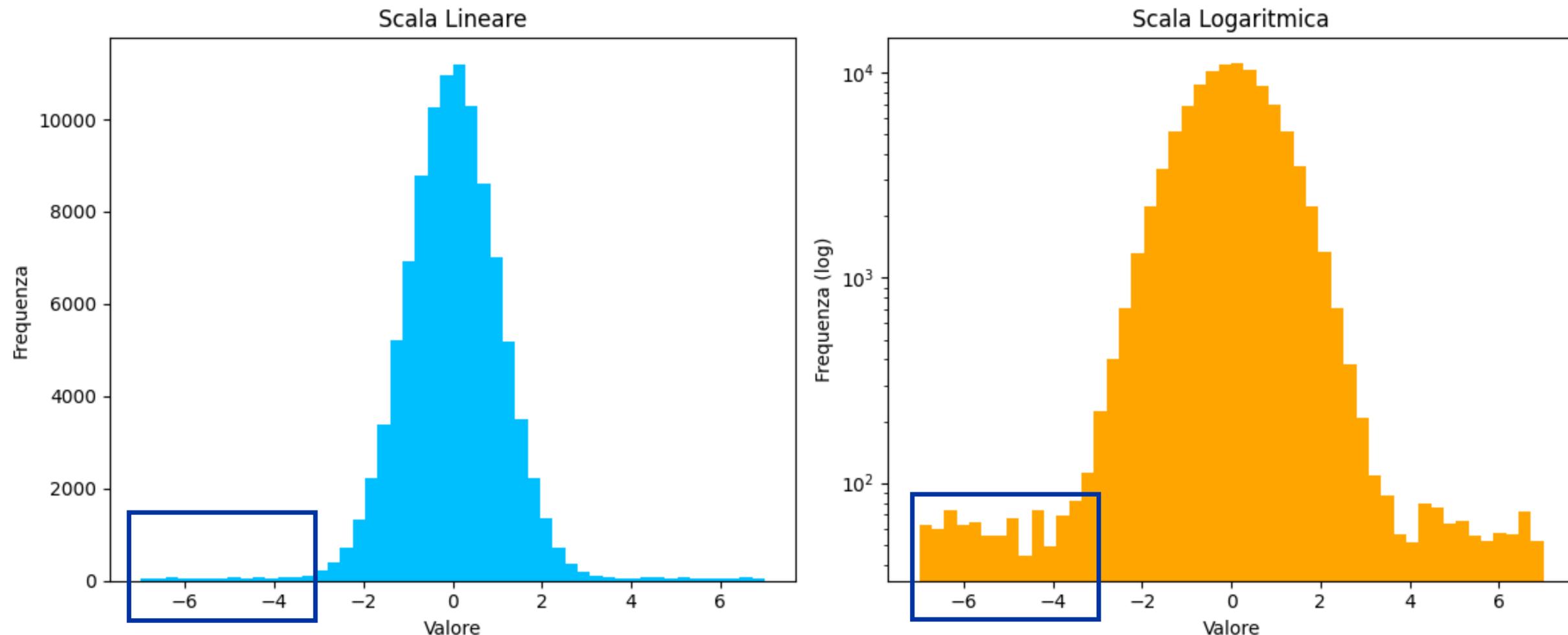


v0.1

Copyright © 2019 CERN

Digressione sulla scala logaritmica

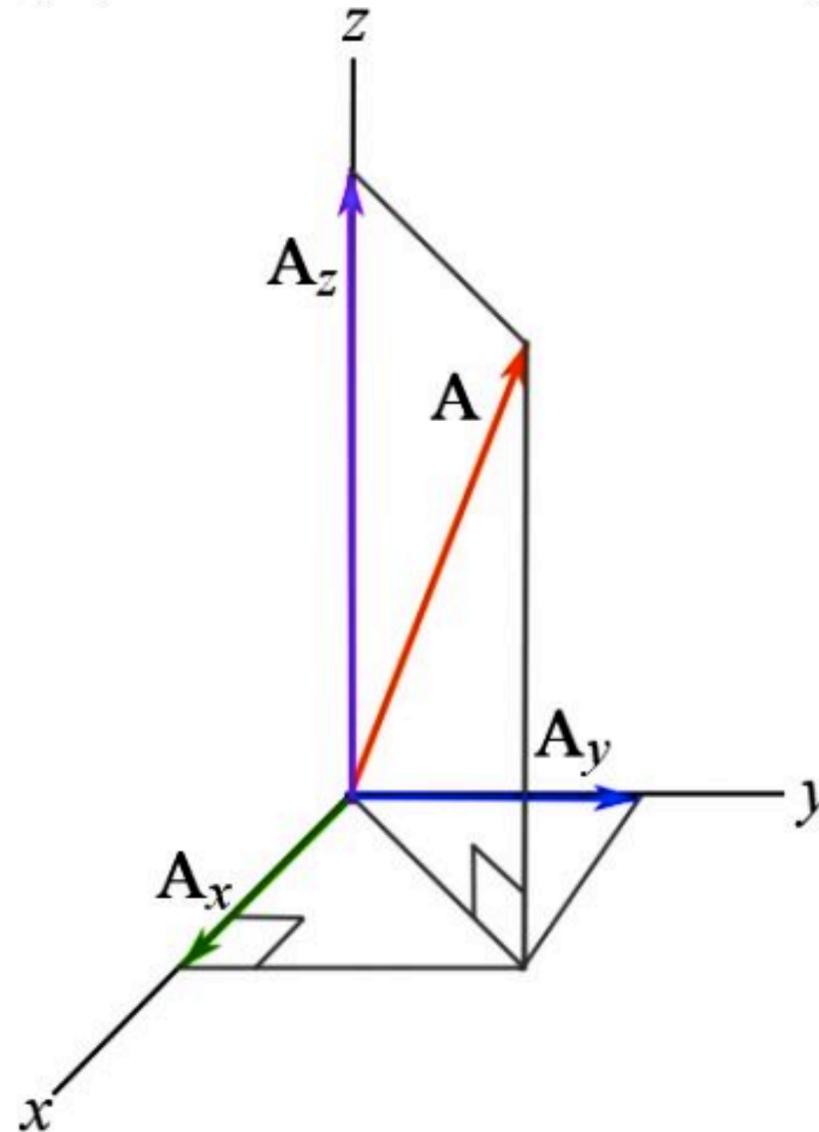
- In alcuni istogrammi, **il contenuto dei bin può variare enormemente**: l'altezza di alcuni bin può essere molto piccola, mentre quella di altri molto grande. Con una scala lineare, i bin con valori maggiori “schiaccerebbero” quelli con valori più piccoli, rendendo **difficile distinguere i dettagli** ⇒ si usa la **scala logaritmica**



Qui c'è qualcosa, ma possiamo osservarlo molto meglio in scala logaritmica!

Piccolo ripasso sulla scomposizione di un vettore

- Conoscete bene la scomposizione di un vettore \mathbf{A} in coordinate cartesiane (A_x, A_y, A_z)

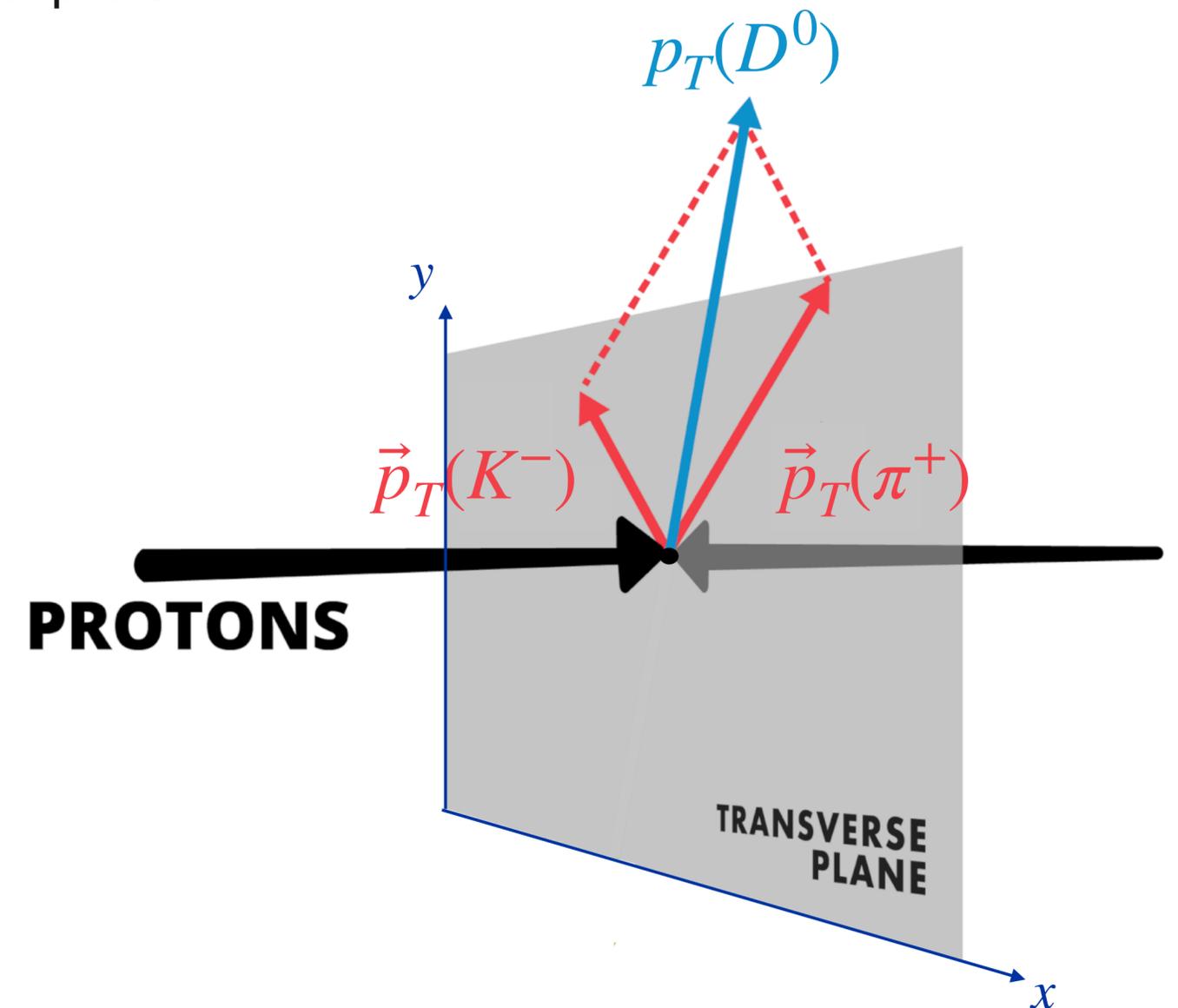
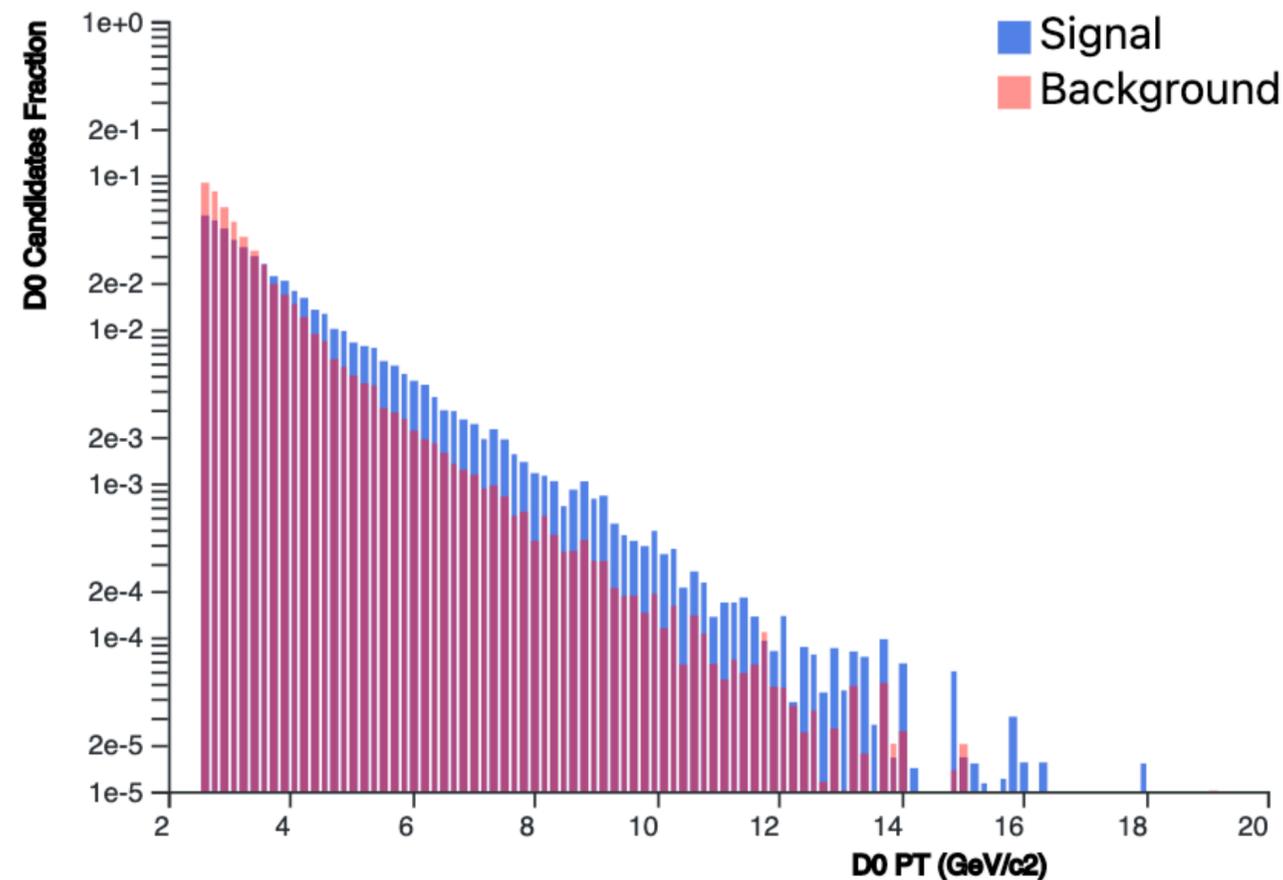


Impulso trasverso, p_T

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

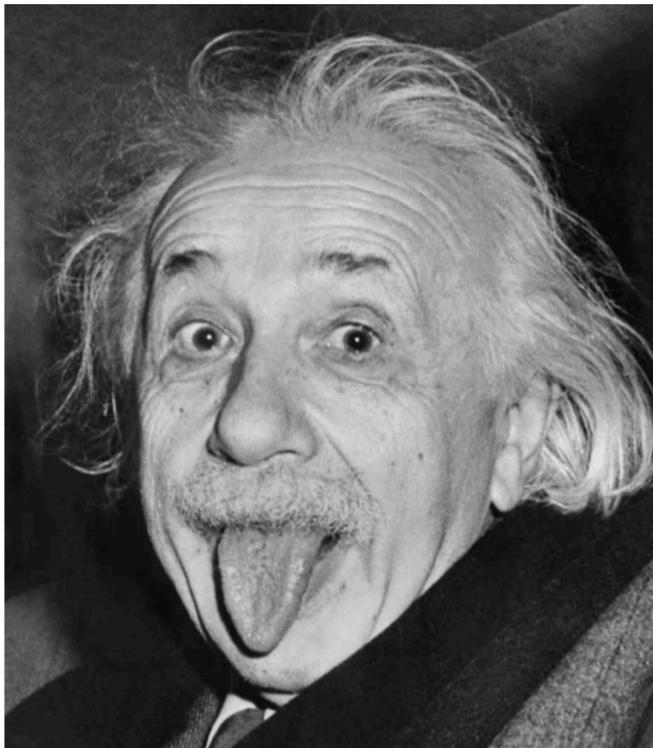
- Usando Pitagora: $p_T = \sqrt{p_x^2 + p_y^2}$

- 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 per un D^0 è $(410.3 \pm 1.0) \times 10^{-15}$ s (dal PDG)
- Lo spazio percorso prima di decadere, x , dipenderà anche dalla sua velocità v
- Alle energie del LHC possiamo assumere che v sia praticamente la velocità della luce

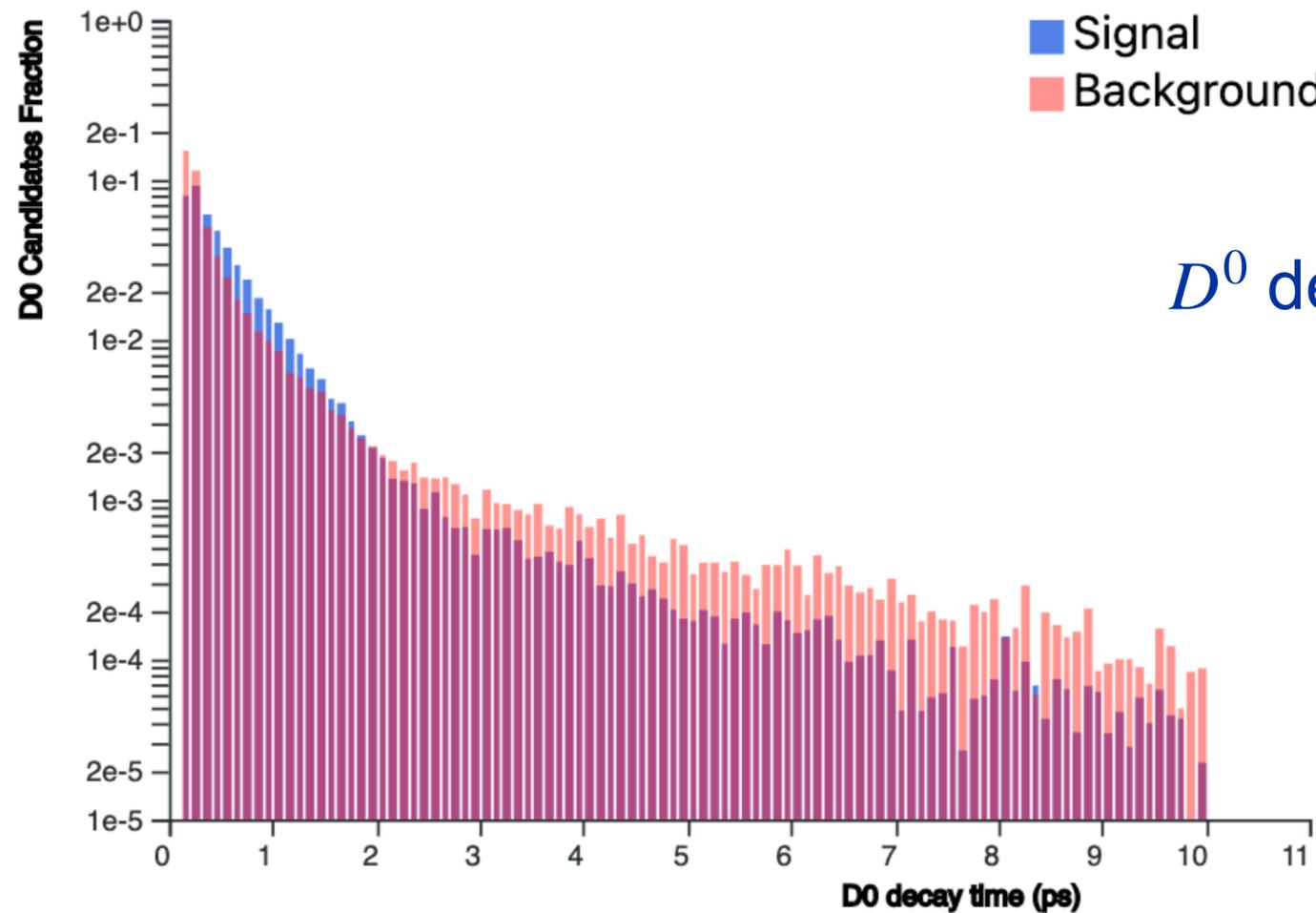


$$x = \gamma \cdot \beta \cdot c \cdot \tau, \quad \beta = \frac{v}{c}$$

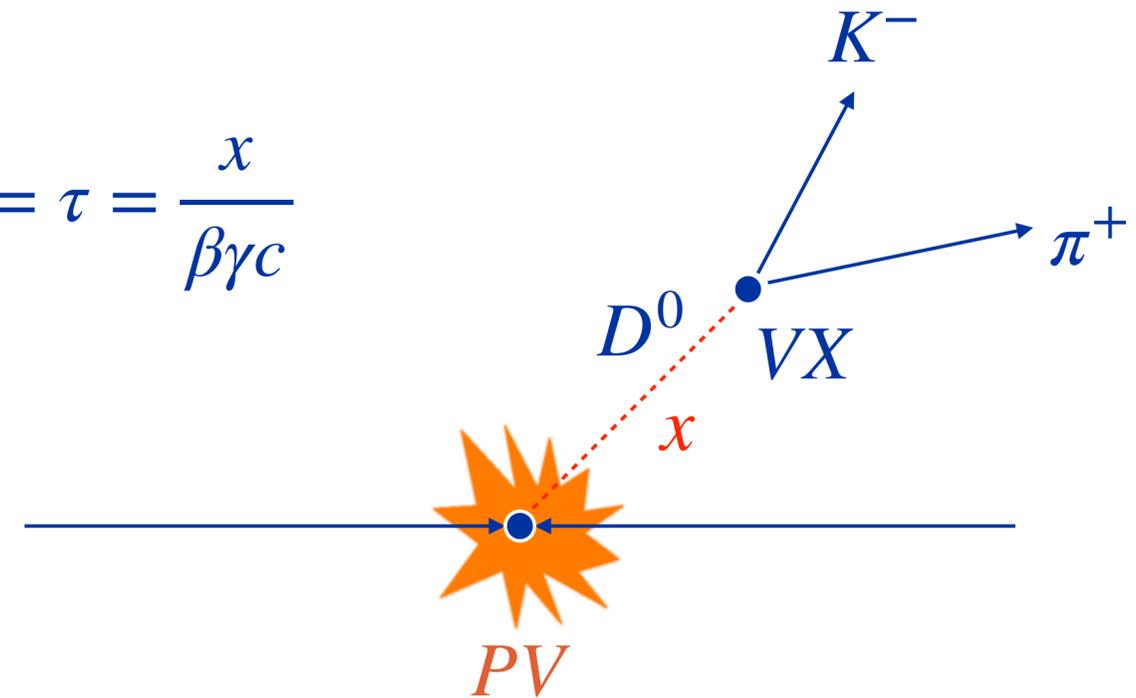
Considerando che a LHCb le particelle hanno tipicamente $\gamma \cdot \beta \approx 40$, allora risulta che $x \approx 0.5$ cm

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!

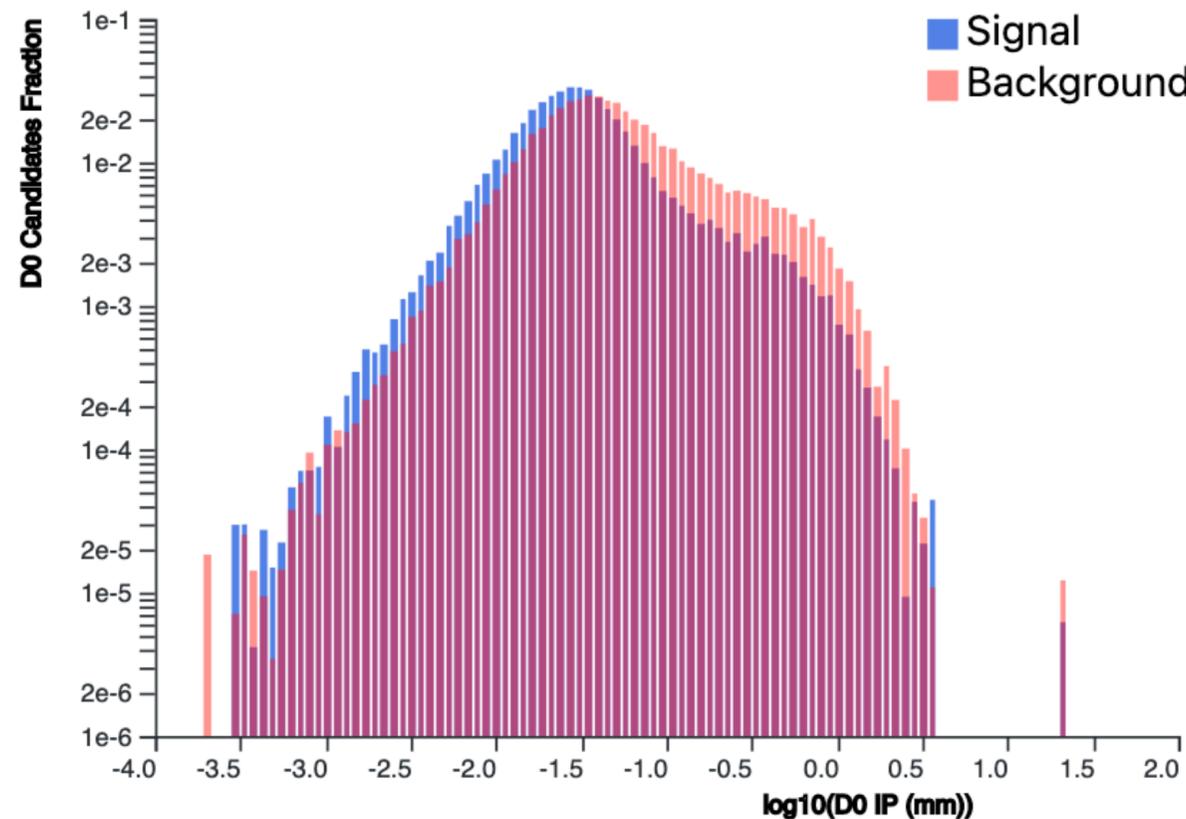


$$D^0 \text{ decay time} = \tau = \frac{x}{\beta\gamma c}$$

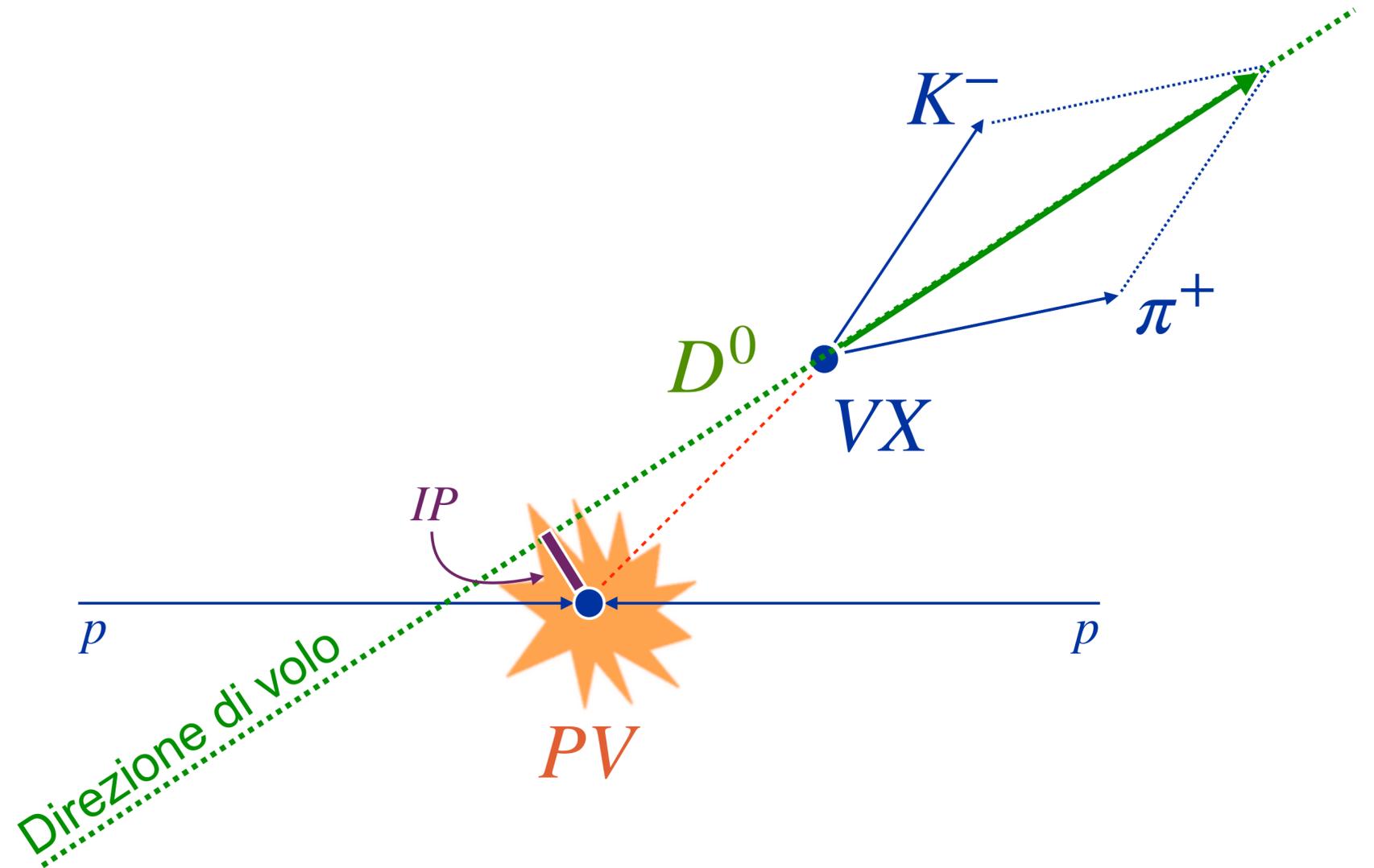


Parametro d'impatto, IP

- Il parametro d'impatto rappresenta **la minima distanza tra la direzione di volo di una particella e un punto specifico**, come il punto d'interazione tra due protoni.
- Corrisponde alla distanza punto-retta che conoscete bene!
- Il **segnale** tende ad avere $\log_{10}(IP)$ più bassi.



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



Scelta dei tagli

Analysis tools

Plot D⁰ mass

Fit mass distribution

Background substr.

Signal range

1842 1891

Plot distributions

Variable range

D⁰ PT

2.5 20

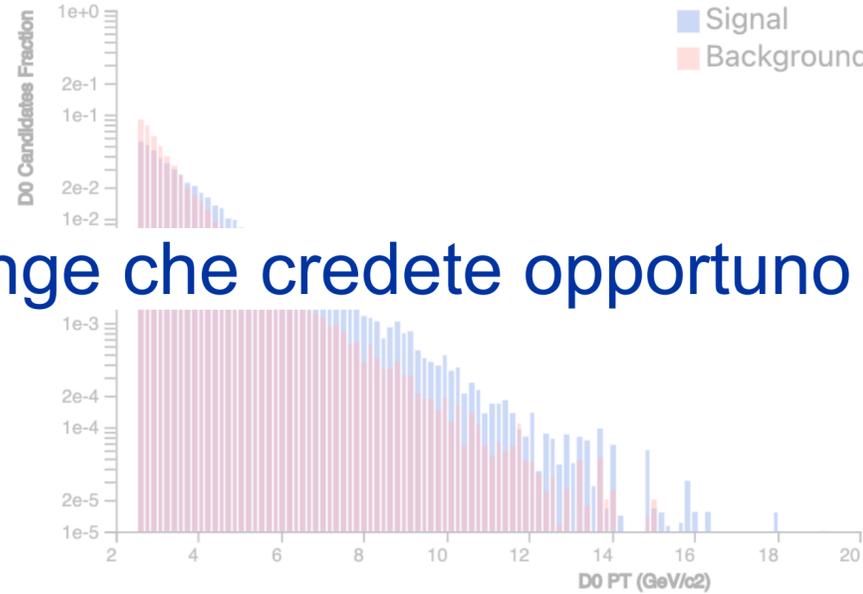
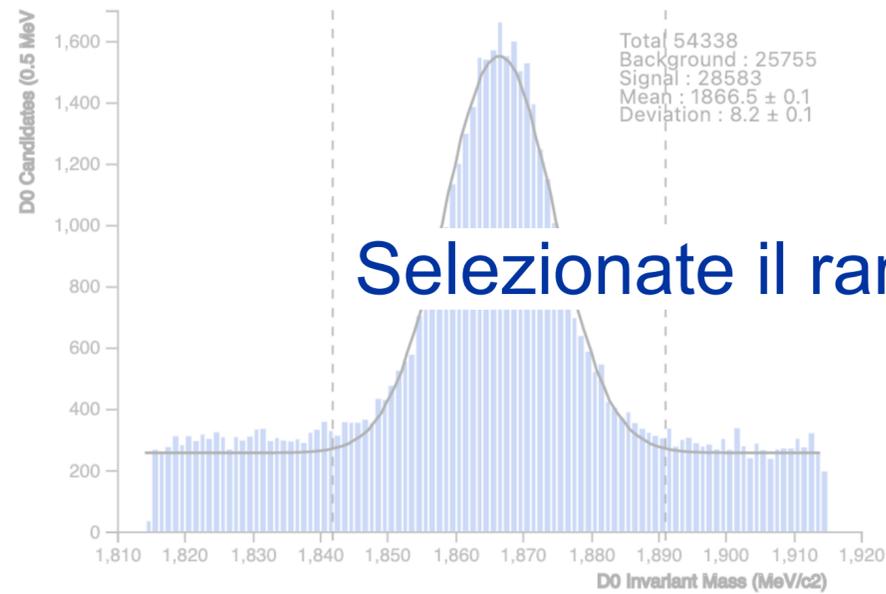
D⁰ TAU

0 10

D⁰ IP

-4 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!

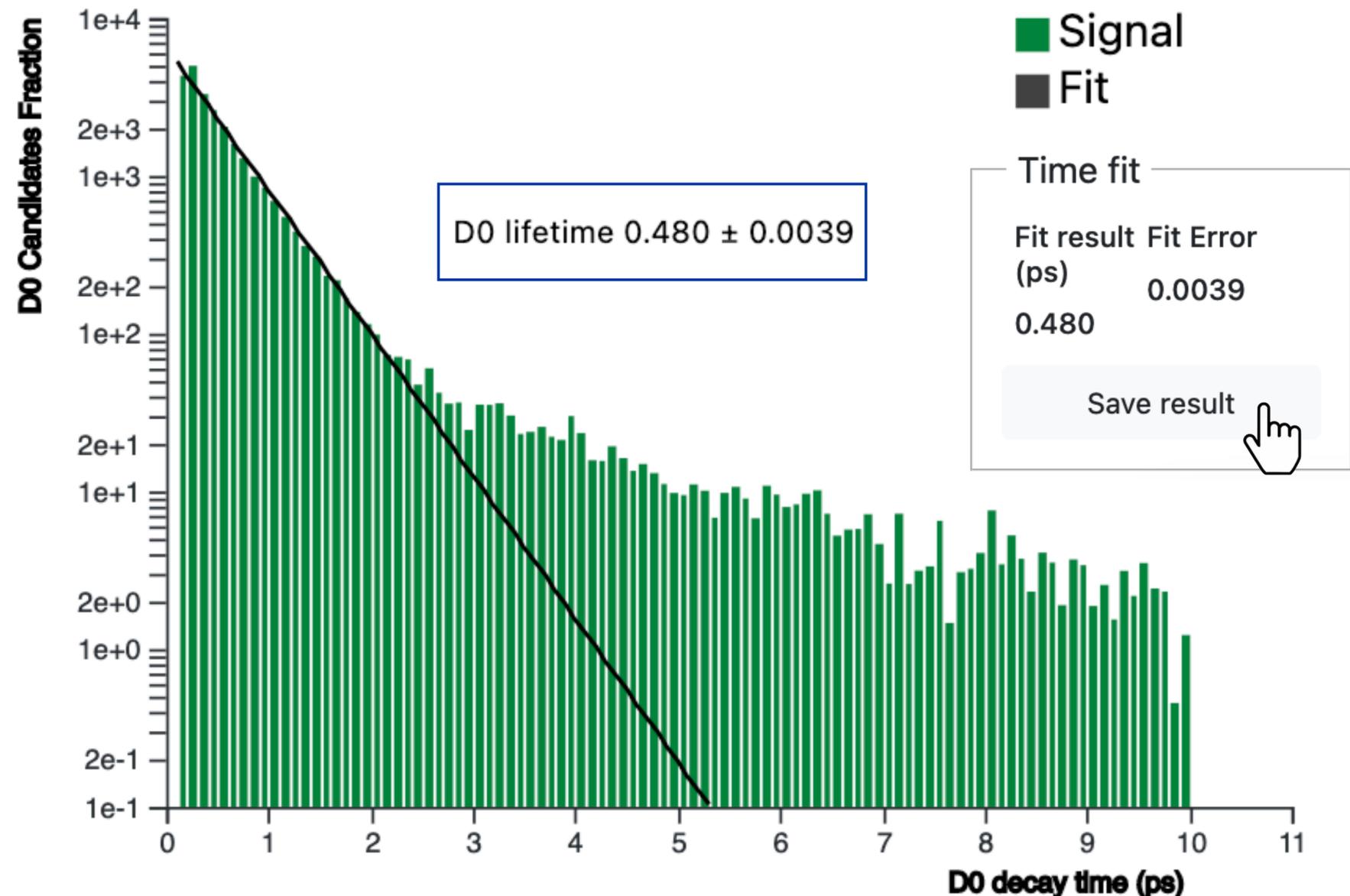
Copyright © 2019 CERN

Fit all'istogramma del tempo di decadimento

- Il nostro modello di fit è la **funzione esponenziale decrescente** (che corrisponde ad una retta in scala logaritmica)

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

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



Vita media in funzione del parametro d'impatto

- Come popolare l'ultimo grafico?

1. Ridurre l'IP massimo
2. Ripetere il fit
3. Salvare il risultato

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

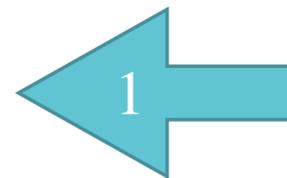
Variable range

D⁰ PT
2.5 8.81

D⁰ TAU
0 4.4

D⁰ IP
-4 -0.74

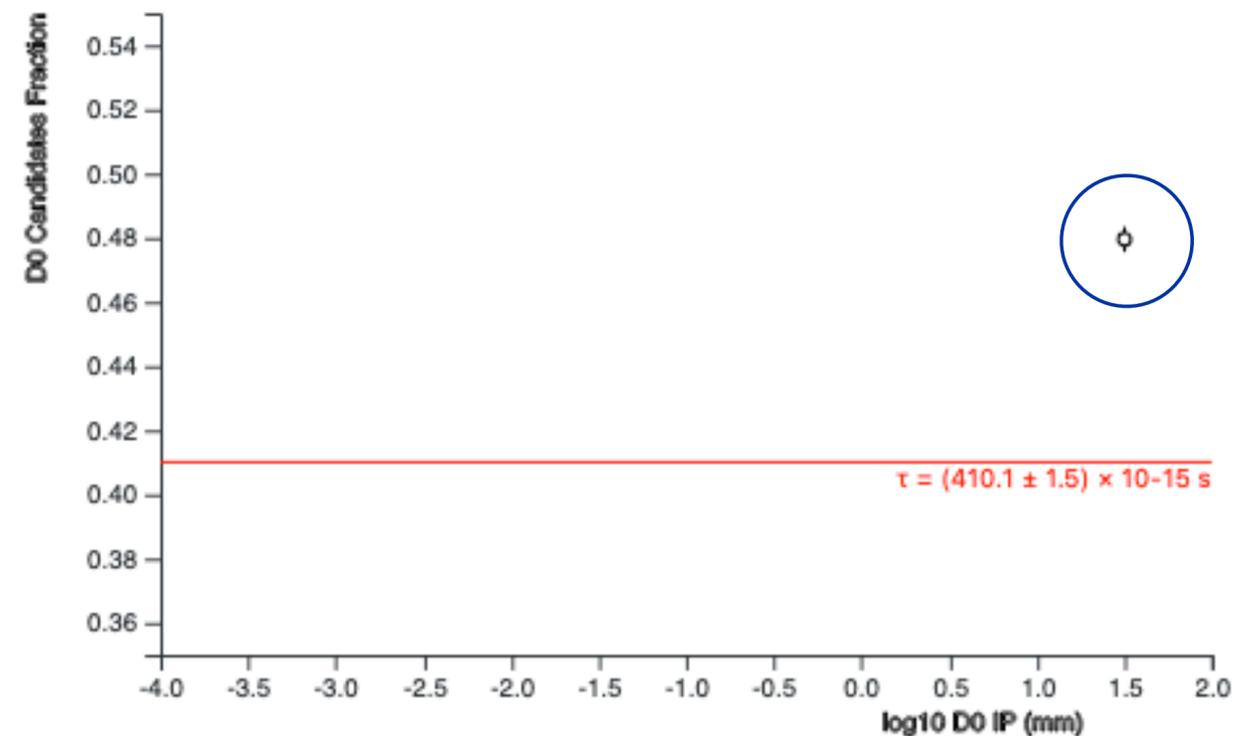
Refresh



Time fit

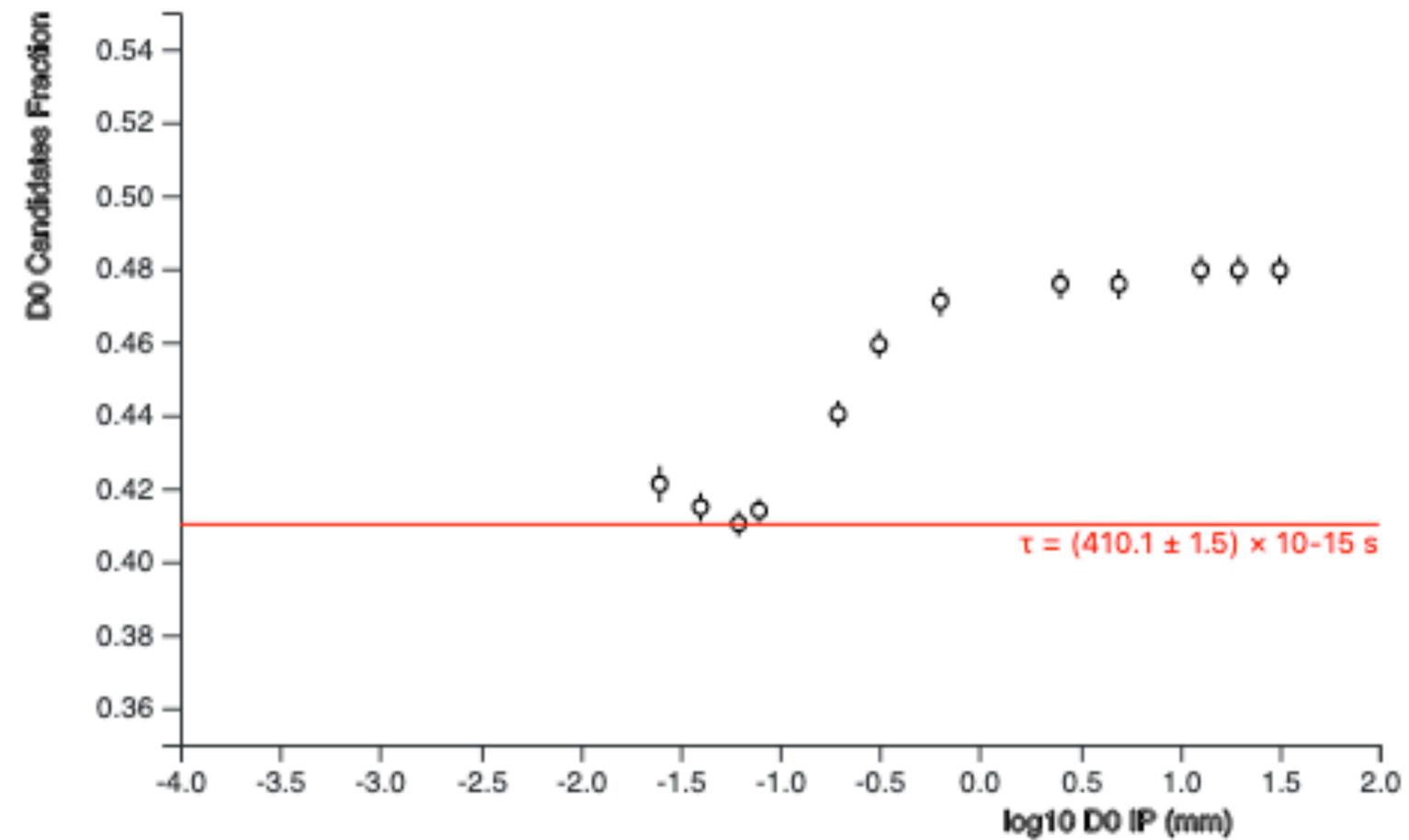
Fit result (ps)	Fit Error
0.439	0.0034

Save result



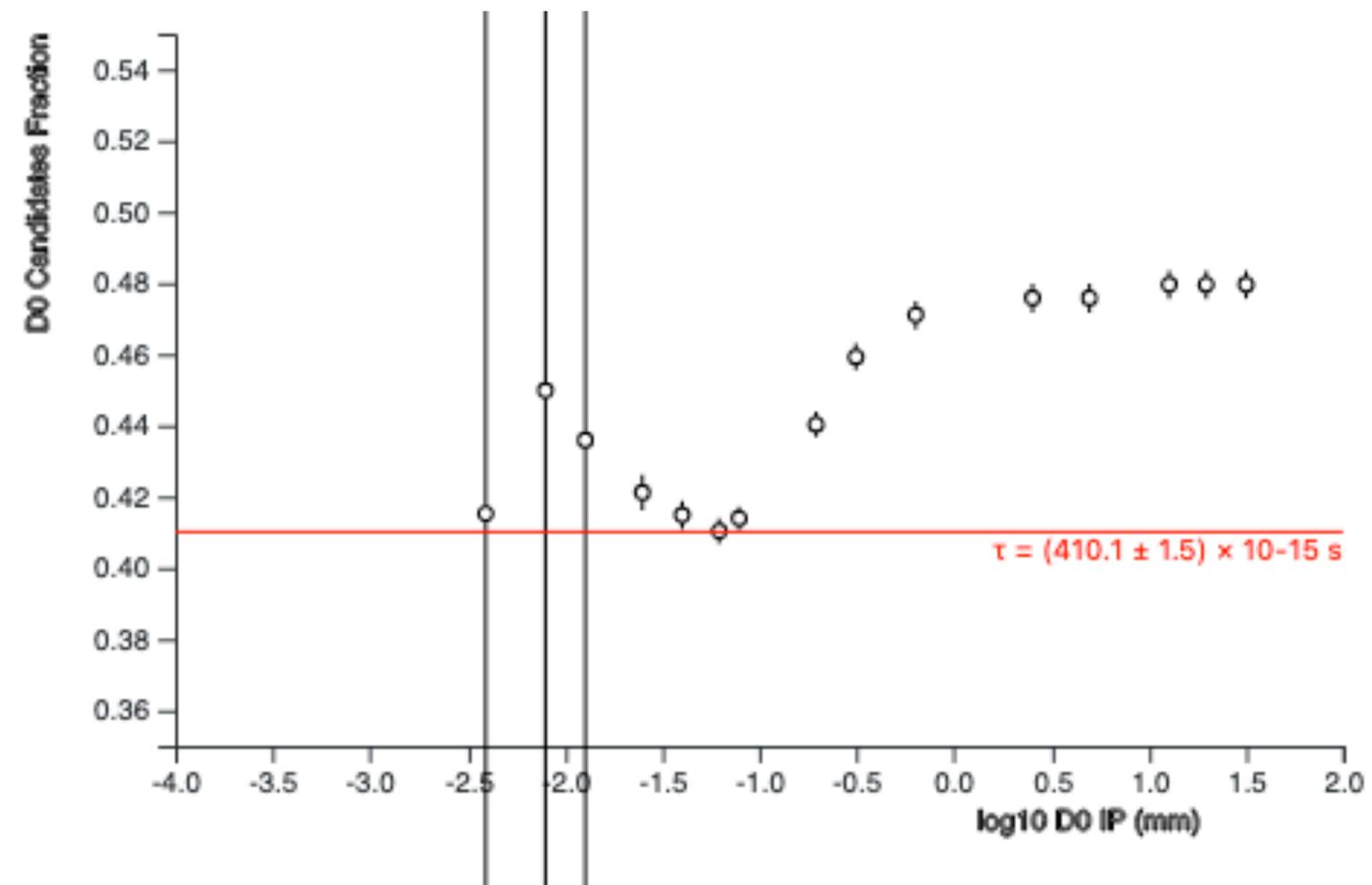
Risultato

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



Risultato

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





That's all Folks!

...for the moment!

