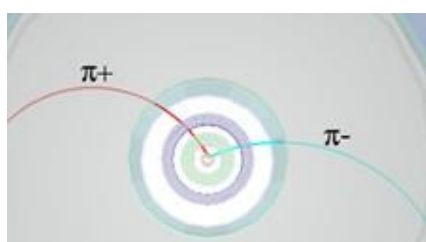


## Alla ricerca di particelle strane in ALICE

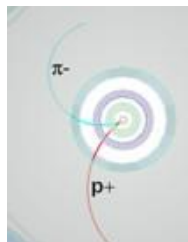
### Step 1

### Identificare le particelle

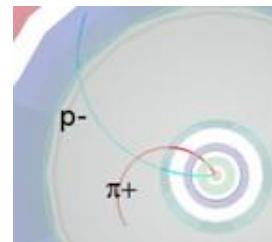
Le particelle strane non vivono a lungo. La loro ricerca si basa sull'analisi della topologia del decadimento e sull'identificazione delle particelle prodotte. La prima parte dell'esercizio consiste nell'identificazione e nel conteggio di mesoni  $K$  e barioni  $\Lambda$  in un dato campione di eventi. I loro decadimenti sono mostrati di seguito.



$K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$



$\Lambda \rightarrow p \pi^-$



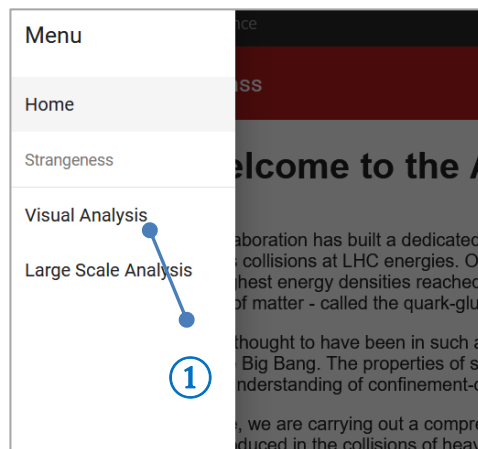
$\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p} \pi^+$

Accedere alla pagina

<https://alice-web-masterclass.app.cern.ch/home>

Per fare il log-in nella sezione dedicata alla masterclass di Pavia in data odierna, selezionare il numero studente assegnato dai tutor e digitare la password *Pavia\_ALICE\_MC*. È possibile procedere anche senza password: in tal caso i risultati ottenuti non potranno essere caricati sul server condiviso.

Dal menu accessibile a sinistra della pagina scegliere *Visual Analysis* ①, quindi selezionari uno dei dataset disponibili (da 0 a 18). Ognuno di essi contiene veri eventi di collisioni protone-protone all'energia di 7 TeV.



Per ciascun evento vengono visualizzate le tracce ricostruite nel detector. È possibile evidenziare i soli decadimenti "V0" selezionando *Decays* e non *Tracks* ②: le tracce **rosse** sono particelle di carica **positiva**, quelle **verdi** hanno carica **negativa**. La loro topologia, insieme alla misura di energia e impulso, permette di identificare la particella (neutra) madre. Con un click sulla traccia, le variabili cinematiche della particella vengono importate nel calcolatore ③. Dopo aver importato sia una traccia positiva che una negativa, la massa invariante della coppia viene calcolata automaticamente tramite la formula

$$Inv. mass = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + 2E_1E_2 - 2\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2}$$

e il valore ottenuto viene visualizzato nella riga *Total* ④. A questo punto, confrontando il risultato con i valori di massa delle particelle tabulati nel pannello a sinistra e riportati nella tabella seguente, occorre scegliere un'ipotesi per la particella madre che ha prodotto le tracce ⑤ e cliccare su *Add*.

Massa ricostruita	$497 \pm 13 \text{ MeV}$	$1115 \pm 5 \text{ MeV}$	$1115 \pm 5 \text{ MeV}$
Particella	$K^0$	$\Lambda$	$\text{anti } \Lambda$

L'evento viene aggiunto automaticamente al corrispondente istogramma nel box *Histograms* ⑥. Usare la freccia e destra dell' Event display per passare all'evento successivo ⑦.

Tutte le coppie che non sono identificate come kaoni o barioni  $\Lambda$  sono da considerarsi background. È possibile che in un evento sia presente più di un vertice V0!

Una volta che tutti gli eventi sono stati analizzati, occorre caricare i risultati sul server condiviso tramite il pulsante di *upload* di fianco agli istogrammi ⑧. Nel caso si sia entrati senza password, è ancora possibile fare il log-in utilizzando il menù generale ⑨ e cliccando su *Password*.

The screenshot displays the ALICE Masterclass interface for event analysis. It includes a 3D event display, a calculator, a particle list, and histograms. Numbered callouts (1-9) point to various UI elements: 1 (Menu icon), 2 (Visibility settings for Side Views, Detector, Axes, Tracks, Decays), 3 (Calculator input fields), 4 (Total mass result), 5 (Particle type selection dropdown), 6 (Histograms section), 7 (Event navigation arrows), and 8 (Upload button).

Charge	$p_x$ (GeV/c)	$p_y$ (GeV/c)	$p_z$ (GeV/c)	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
(+)	0.057	-0.923	0.539	0.938
(-)	0.024	-0.231	0.241	0.140
(b)				
<b>Total</b>				<b>1.115</b>

Type	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
$e^-, e^+$	0.0005
$\pi^-, \pi^+$	0.1396
$K_S^0$	0.4976
$p, \bar{p}$	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Xi, \bar{\Xi}$	1.3217

In che modo potresti distinguere particelle con carica negativa o positiva, senza i colori verde/rosso?

La seconda parte dell'esercizio consiste nell'analisi di campioni contenenti alcune migliaia di eventi protone-protone o piombo-piombo in diverse classi di centralità. Per ognuno di essi i vertici V0 sono già stati ricostruiti e gli istogrammi di massa invariante già riempiti. Ad ogni evento molti pioni e protoni vengono prodotti e rivelati: non tutte le coppie di carica opposta considerate provengono dal decadimento di una stessa particella strana. Occorre stimare il numero di  $K_s^0$ ,  $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$  realmente prodotte con una procedura di 'fit' che separi il segnale dal background.

Utilizzando il menù generale della pagina, scegliere il secondo esercizio: *Large Scale Analysis*.

Nel box *Histogram Selector* ① scegliere l'istogramma desiderato, relativo ad una particolare particella strana (*Particle Type*) e ad un certo campione di dati (*Collision & Centrality*). Cliccando su *Open histogram* viene visualizzato l'istogramma di massa invariante in un intervallo intorno alla massa della particella selezionata ②.

A questo punto, scegliere opportunamente gli intervalli per il fit del segnale (cursore superiore) e del background (cursore inferiore) ③ e cliccare su *Fit*. All'istogramma verrà sovrapposta una curva di equazione:

$$f(m) = \underbrace{\frac{N}{\sigma} \exp\left[-\frac{(m-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]}_{\text{segnale}} + \underbrace{a m^2 + b m + c}_{\text{background}}$$

Il programma sceglierà i valori dei parametri  $N, \sigma, \mu, a, b, c$  che ottimizzano l'accordo tra la funzione e l'istogramma. L'integrale della sola componente di segnale fornisce il numero di particelle realmente misurate. L'errore su tale numero è calcolato tramite l'incertezza sui parametri di best fit.

Se il risultato è soddisfacente, cliccare su *Accept*. Verranno visualizzati ④ il numero totale di eventi considerati nel fit, l'integrale della componente di segnale, l'integrale della componente di background, il valore centrale di massa della risonanza ( $\mu$ ) e la larghezza (deviazione standard) della risonanza ( $\sigma$ ). Inoltre l'intensità del segnale viene riportato anche nella tabella *Results* ⑤ insieme al tipo di collisione analizzata. Scegliere una nuova particella o una nuova classe di centralità e ripetere il fit (i tutor divideranno i compiti in modo che gruppi diversi analizzino istogrammi diversi). Infine caricare i risultati sul server ⑥.

The screenshot shows the ALICE Masterclass interface with the following components:

- Histogram Selector** (①): Select particle type (Kaon) and collision & centrality (Pb-Pb 30% - 40%).
- Histogram Display** (②): Shows the invariant mass distribution with a fit curve. Parameters: Total: 5556, Signal:  $3247 \pm 13$ , Background: 2309,  $\mu: 0.4976$ ,  $\sigma: 0.0044$ .
- Fit Selector** (③): Sliders for signal (0.47 to 0.59) and background (0.42 to 0.66) ranges.
- Results** (⑤): Table showing fit results.
- Results Table** (⑤):
 

Type	Collision	Centrality	Signal
- Callout Box** (⑥): "È possibile aumentare lo zoom sull'asse orizzontale dell'istogramma trascinando il cursore lungo l'asse. Per togliere lo zoom, fare doppio-click sull'area grigia del grafico."

## Calcolo dell'aumento di stranezza

Quando tutti i risultati saranno caricati, farete insieme ai tutor un'analisi globale dell'intensità dei segnali misurati in funzione dalla classe di centralità. Per ogni tipo di particella, i vostri risultati saranno caricati in una tabella simile alla seguente.

Centrality	No. participants	No. events	No. K	Efficiency K	Yield K	Enhancement K
0 - 10%	360	213	0.0	0.260	0.000	0.000
10 - 20%	260	290	0.0	0.260	0.000	0.000
20 - 30%	186	302	0.0	0.290	0.000	0.000

- **No. participants.** Il nucleo di piombo usato ad LHC è composto da 208 tra protoni e neutroni. In ogni collisione piombo-piombo diversi di questi nucleoni sono coinvolti ("participants"). Tale numero si calcola con modelli geometrici ed è tanto maggiore quanto più la collisione è centrale.
- **No. events:** numero di eventi (collisioni piombo-piombo) analizzato. È evidente come il numero di particelle prodotte e rivelate sia proporzionale a questo numero...
- **No. K:** numero di kaoni misurato (analogamente si farà per  $\Lambda$  e  $\bar{\Lambda}$ ). È il numero *Signal* risultato dalla procedura di fit.
- **Efficiency:** efficienza. A causa (principalmente) dell'inefficienza del rivelatore, il numero di particelle rivelate è inferiore al numero di particelle prodotte. Poiché il numero di particelle prodotte è la quantità fisica significativa, conoscere l'efficienza con precisione è essenziale. Se 0.26 (ovvero 26%) è l'efficienza del rivelatore, allora il numero di kaoni prodotti è dato da

$$\text{Numero reale} = \frac{\text{No. K}}{0.26}$$

- **Yield:** numero di particelle prodotte diviso per il numero di eventi. In altre parole, risponde alla domanda "quanti kaoni sono prodotti per ogni collisione?"
- **Enhancement:** innalzamento di stranezza, che quantifica l'incremento di particelle strane prodotte in una collisione piombo-piombo rispetto a quelle prodotte in una collisione protone-protone. Esso si calcola come il rapporto tra lo Yield in piombo-piombo e lo Yield in protone-protone (alla stessa energia), entrambi rapportati al numero di nucleoni partecipanti.

$$\text{Enhancement} = \frac{Y_{Pb-Pb} / \langle N_{part} \rangle}{Y_{p-p} / 2}$$

Il risultato finale sarà un grafico di *Enhancement* in funzione del numero di partecipanti... simile a quello misurato da ALICE e mostrato nelle lezioni introduttive, ma questa volta ottenuto da voi!

Qual è il significato del "picco" vicino a  $0.3 \text{ GeV}/c^2$  nel grafico di massa invariante dei Kaoni (vedi pagina 3) ?