

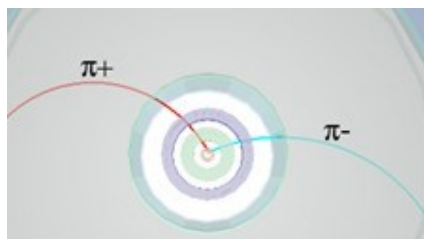
## Alla ricerca di particelle strane in ALICE

Pavia, marzo 2022

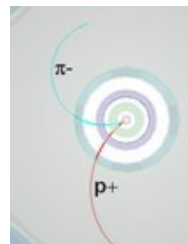
### Step 1

### Identificare le particelle

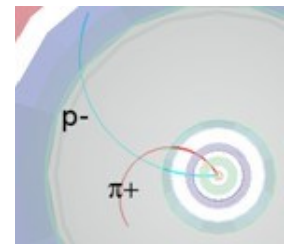
Le particelle strane non vivono a lungo. La loro ricerca si basa sull'analisi della topologia del decadimento e sull'identificazione delle particelle prodotte. La prima parte dell'esercizio consiste nell'identificazione e nel conteggio di mesoni  $K$  e barioni  $\Lambda$  in un dato campione di eventi.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



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



$\Lambda \rightarrow p \pi^-$



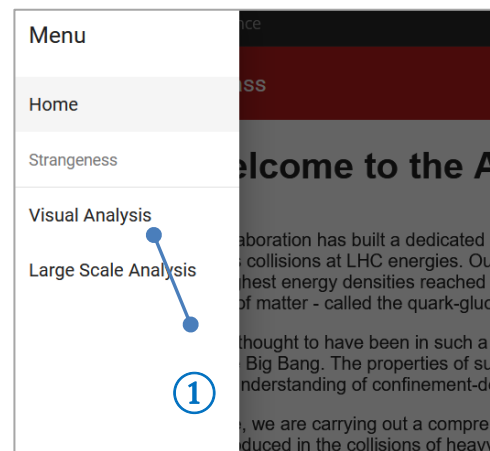
$\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p} \pi^+$

Accedere alla pagina

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

Per fare il log-in nella sezione dedicata alla giornata di Pavia del 02/03/22, 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 selezionare uno dei dataset disponibili (da 0 a 18). Ognuno di essi contiene eventi di collisioni protone-protone all'energia di 7 TeV, raccolti nel 2011.



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 destra 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 a 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 VO!

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 menu generale (9) e cliccando su *Password*.

The screenshot displays the ALICE Masterclass software interface. At the top, the 'Event 0' display shows a 3D visualization of the event and two side views (View 1 and View 2). A 'Visibility' panel on the right allows toggling 'Side Views', 'Detector', 'Axes', 'Tracks', and 'Decays', along with 'Track Width' options (S, M, L). Below the event display is the 'Calculator' section, which includes a table for particle properties and a 'Select particle type' dropdown set to 'Lambda'. The 'Particles' section lists various particle types and their masses. At the bottom, the 'Histograms' section shows four histograms for  $K_S^0$ ,  $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$ , and  $[ ]$ . A red 'Add' button is visible in the calculator section.

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 VO 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 menu 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 for the 'Large Scale Analysis' exercise. The interface is divided into several sections:

- Histogram Selector:** A dropdown menu for 'Select particle type' is set to 'Kaon', and another for 'Select collision & centrality' is set to 'Pb-Pb 30% - 40%'. An 'Open histogram' button is visible.
- Histogram Display:** A plot of 'Counts' vs 'Invariant Mass (GeV/c²)'. A grey histogram shows the data, and a red curve represents the fit. A blue circle ② is placed on the plot. To the right, a box ④ displays fit parameters: Total: 5556, Signal: 3247 ± 13, Background: 2309,  $\mu$ : 0.4976,  $\sigma$ : 0.0044.
- Results:** A table ⑤ with columns 'Type', 'Collision', 'Centrality', and 'Signal'. The 'Signal' column contains the value 3247 ± 13. A 'Results' button ⑥ is also present.
- Fit Selector:** A horizontal axis with two sliders. The top slider is labeled '(segnale)' ③ and has markers at 0.47 and 0.59. The bottom slider is labeled '(background)' and has markers at 0.42 and 0.66. 'Fit' and 'Accept' buttons are at the bottom.

A callout box on the right states: "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."

Quando tutti i risultati saranno caricati, farete insieme ai tutor un'analisi globale dell'intensità dei segnali misurati in funzione della 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	<b>0.000</b>
10 - 20%	260	290	0.0	0.260	0.000	<b>0.000</b>
20 - 30%	186	302	0.0	0.290	0.000	<b>0.000</b>

- **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 GeV/c<sup>2</sup> nel grafico di massa invariante dei Kaoni (vedi pagina 3) ?