

# Studio della produzione di $\Lambda_c$ in collisioni pp e p-Pb con ALICE ad LHC



*101° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica*

*Roma, 21-25 settembre 2015*



**ALICE**



E. Meninno\*

INFN e Università degli Studi di Salerno

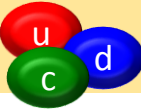
(\*per la collaborazione ALICE)

# SOMMARIO

- Introduzione
- Il rivelatore ALICE
- Studio della produzione di  $\Lambda_c$  in ALICE
  - Strategia di analisi
  - Risultati in collisioni pp e p-Pb
- Prospettive future
- Conclusioni



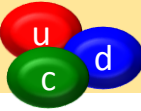
# Introduzione



- Quark *charm* e *beauty*: sono prodotti in processi di *hard scattering* tra *partoni* durante le primissime fasi di una collisione adronica (pp, p-A, A-A).
- In collisioni Pb-Pb, i quark *charm* e *beauty* primariamente prodotti, si propagano attraverso il mezzo caldo e denso formatosi nella collisione, interagendo con i suoi costituenti.



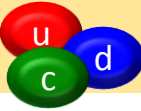
# Introduzione



- Quark *charm* e *beauty*: sono prodotti in processi di *hard scattering* tra *partoni* durante le primissime fasi di una collisione adronica (pp, p-A, A-A).
- In collisioni Pb-Pb, i quark *charm* e *beauty* primariamente prodotti, si propagano attraverso il mezzo caldo e denso formatosi nella collisione, interagendo con i suoi costituenti.

Il *charm* è una sonda molto potente per studiare il Quark Gluon Plasma (QGP) creatosi nelle collisioni Pb-Pb ad LHC

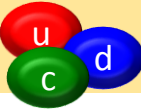
# Introduzione



- Quark *charm* e *beauty*: sono prodotti in processi di *hard scattering* tra *partoni* durante le primissime fasi di una collisione adronica (pp, p-A, A-A).
- In collisioni Pb-Pb, i quark *charm* e *beauty* primariamente prodotti, si propagano attraverso il mezzo caldo e denso formatosi nella collisione, interagendo con i suoi costituenti.
- Insieme ai mesoni con *charm*, la misura dei *barioni con charm*  $\Lambda_c^+$  dà luce sui meccanismi di adronizzazione nel QGP.

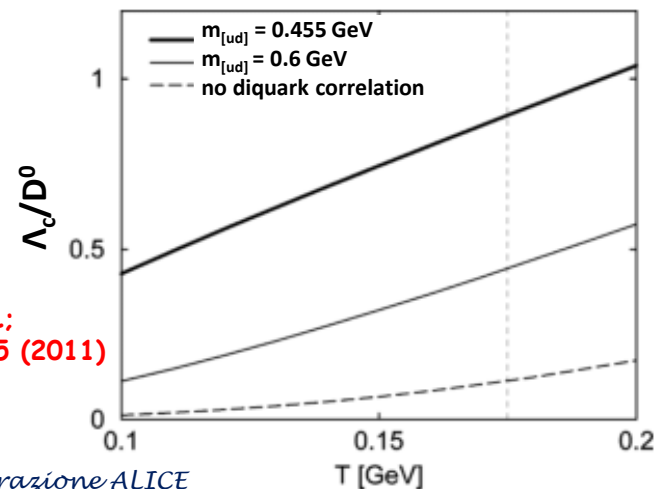
Il *charm* è una sonda molto potente per studiare il Quark Gluon Plasma (QGP) creatosi nelle collisioni Pb-Pb ad LHC

# Introduzione



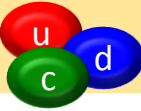
- Quark *charm* e *beauty*: sono prodotti in processi di *hard scattering* tra *partoni* durante le primissime fasi di una collisione adronica (pp, p-A, A-A).
- In collisioni Pb-Pb, i quark charm e beauty primariamente prodotti, si propagano attraverso il mezzo caldo e denso formatosi nella collisione, interagendo con i suoi costituenti.
- Insieme ai mesoni con charm, la misura dei **barioni con charm  $\Lambda_c^+$**  da' luce sui meccanismi di adronizzazione nel QGP.
  - **La misura della produzione di  $\Lambda_c^+$  rispetto ai mesoni D in collisioni Pb-Pb permette di studiare il rapporto barioni su mesoni ne settore degli *heavy quark*.**

Il charm è una sonda molto potente per studiare il Quark Gluon Plasma (QGP) creatosi nelle collisioni Pb-Pb ad LHC



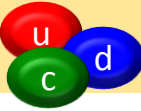
YASUI ET AL;  
INDIAN J.PHYS. 85 (2011)  
1043-1046

# Introduzione



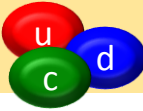
- **Misure di  $\Lambda_c^+$  in collisioni pp:**
  - Riferimento fondamentale per misure in Pb-Pb
  - Test di complessi modelli teorici (pQCD)
  - Misura fondamentale per la stima della sezione d'urto di produzione di quark charm alle energie di LHC con ALICE in collisioni pp
    - ➔ **sezione d'urto barionica necessaria in aggiunta a quella dei mesoni D**

# Introduzione



- **Misure di  $\Lambda_c^+$  in collisioni pp:**
  - Riferimento fondamentale per misure in Pb-Pb
  - Test di complessi modelli teorici (pQCD)
  - Misura fondamentale per la stima della sezione d'urto di produzione di quark charm alle energie di LHC con ALICE in collisioni pp
    - ➔ **sezione d'urto barionica necessaria in aggiunta a quella dei mesoni D**
- **Misure di  $\Lambda_c^+$  in collisioni p-Pb**
  - Riferimento per misure in Pb-Pb
  - Stima della sezione d'urto di produzione di quark charm
  - Studio degli effetti di materia nucleare fredda (CNM) non dovuti alla formazione di QGP (modifica delle funzioni di distribuzione partoniche (PDF),  $k_T$  broadening)





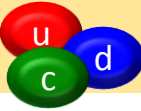
- **Misure di  $\Lambda_c^+$  in collisioni pp:**
  - Riferimento fondamentale per misure in Pb-Pb
  - Test di complessi modelli teorici (pQCD)
  - Misura fondamentale per la stima della sezione d'urto di produzione di quark *charm* alle energie di LHC con ALICE in collisioni pp
    - ➔ **sezione d'urto barionica necessaria in aggiunta a quella dei mesoni D**
- **Misure di  $\Lambda_c^+$  in collisioni p-Pb**
  - Riferimento per misure in Pb-Pb
  - Stima della sezione d'urto di produzione di quark *charm*
  - Studio degli effetti di materia nucleare fredda (CNM) non dovuti alla formazione di QGP (modifica delle funzioni di distribuzione partoniche (PDF),  $k_T$  *broadening*)
- **Canali di decadimento studiati in ALICE:**

## $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$ e coniugato in carica

non risonanti:	B.R.=( <b><math>2.8 \pm 0.8</math></b> )%
risonanti: $p K^*(892)$ :	B.R.=( <b><math>1.6 \pm 0.5</math></b> )%
$\Lambda(1232)^{++} K^-$ :	B.R.=( <b><math>0.86 \pm 0.30</math></b> )%
$\Lambda(1520) \pi^+$ :	B.R.=( <b><math>1.8 \pm 0.6</math></b> )%

B.R. tot=( **$5.0 \pm 1.3$** )%

# Introduzione



- **Misure di  $\Lambda_c^+$  in collisioni pp:**
  - Riferimento fondamentale per misure in Pb-Pb
  - Test di complessi modelli teorici (pQCD)
  - Misura fondamentale per la stima della sezione d'urto di produzione di quark *charm* alle energie di LHC con ALICE in collisioni pp
    - ➔ **sezione d'urto barionica necessaria in aggiunta a quella dei mesoni D**
- **Misure di  $\Lambda_c^+$  in collisioni p-Pb**
  - Riferimento per misure in Pb-Pb
  - Stima della sezione d'urto di produzione di quark *charm*
  - Studio degli effetti di materia nucleare fredda (CNM) non dovuti alla formazione di QGP (modifica delle funzioni di distribuzione partoniche (PDF),  $k_T$  *broadening*)
- **Canali di decadimento studiati in ALICE:**

## $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$ e coniugato in carica

non risonanti:	B.R.=( <u><math>2.8 \pm 0.8</math></u> )%
risonanti: $p K^*(892)$ :	B.R.=( <u><math>1.6 \pm 0.5</math></u> )%
$\Lambda(1232)^{++} K^-$ :	B.R.=( <u><math>0.86 \pm 0.30</math></u> )%
$\Lambda(1520) \pi^+$ :	B.R.=( <u><math>1.8 \pm 0.6</math></u> )%

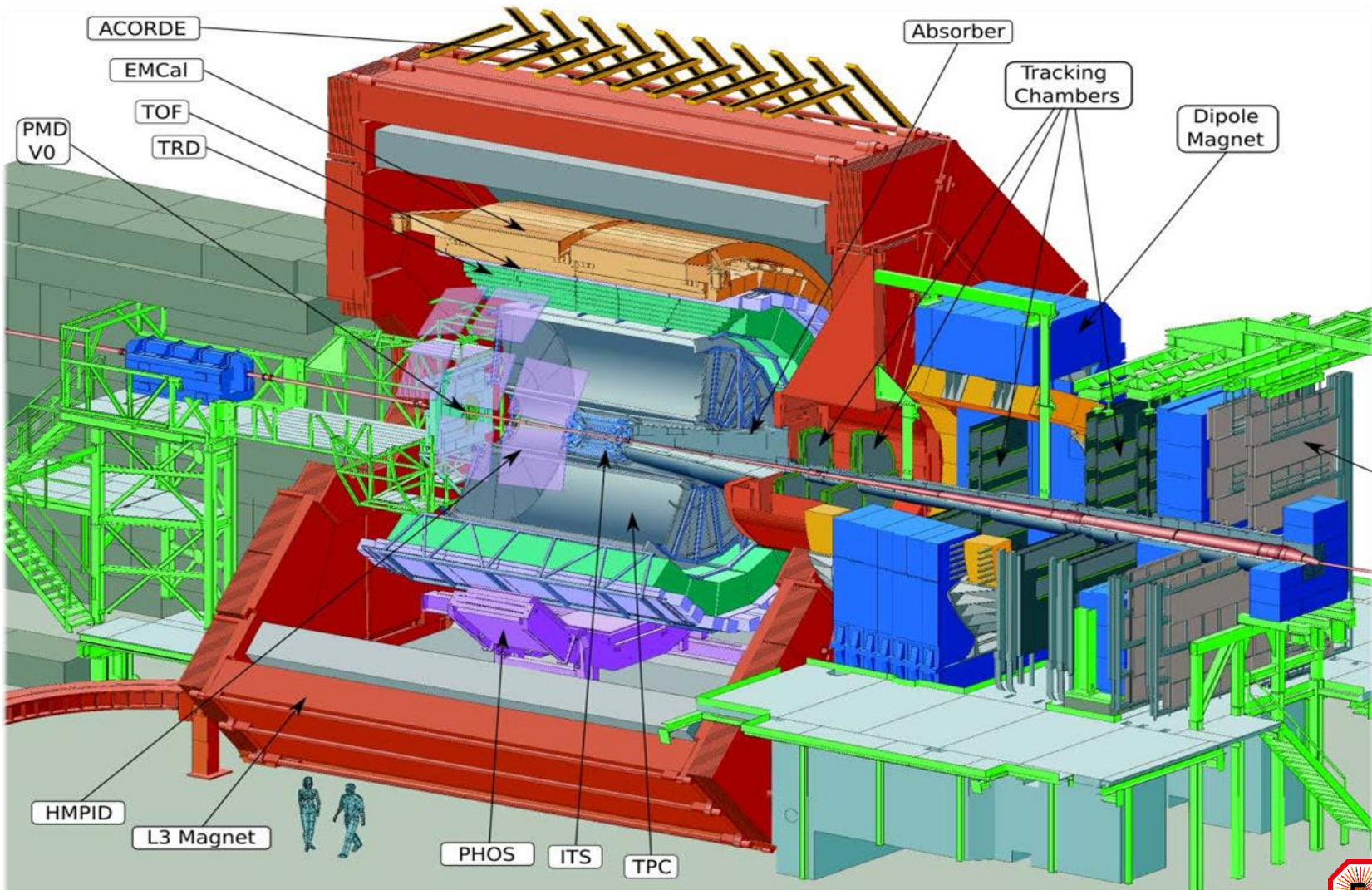
B.R. tot=( $5.0 \pm 1.3$ )%

## $\Lambda_c^+ \rightarrow K^0 p$ e coniugato in carica:

$K_S^0$ (50%)	B.R. tot =( <u><math>2.3 \pm 0.6</math></u> )%
$\pi^+ \pi^-$ :	B.R.=( <u><math>69.20 \pm 0.05</math></u> )%

B.R. tot=( $0.8 \pm 0.2$ )%

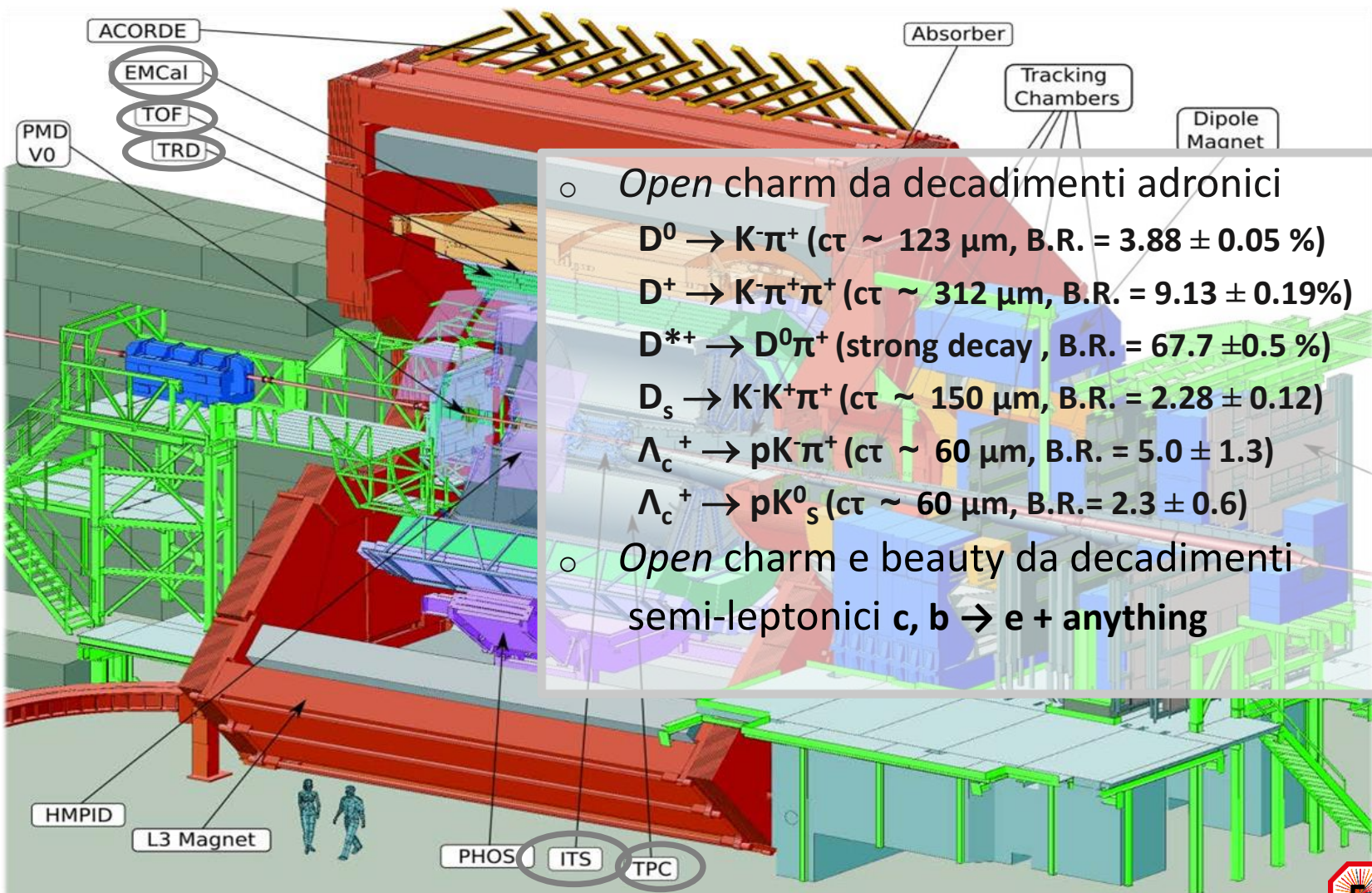
# Il rivelatore ALICE





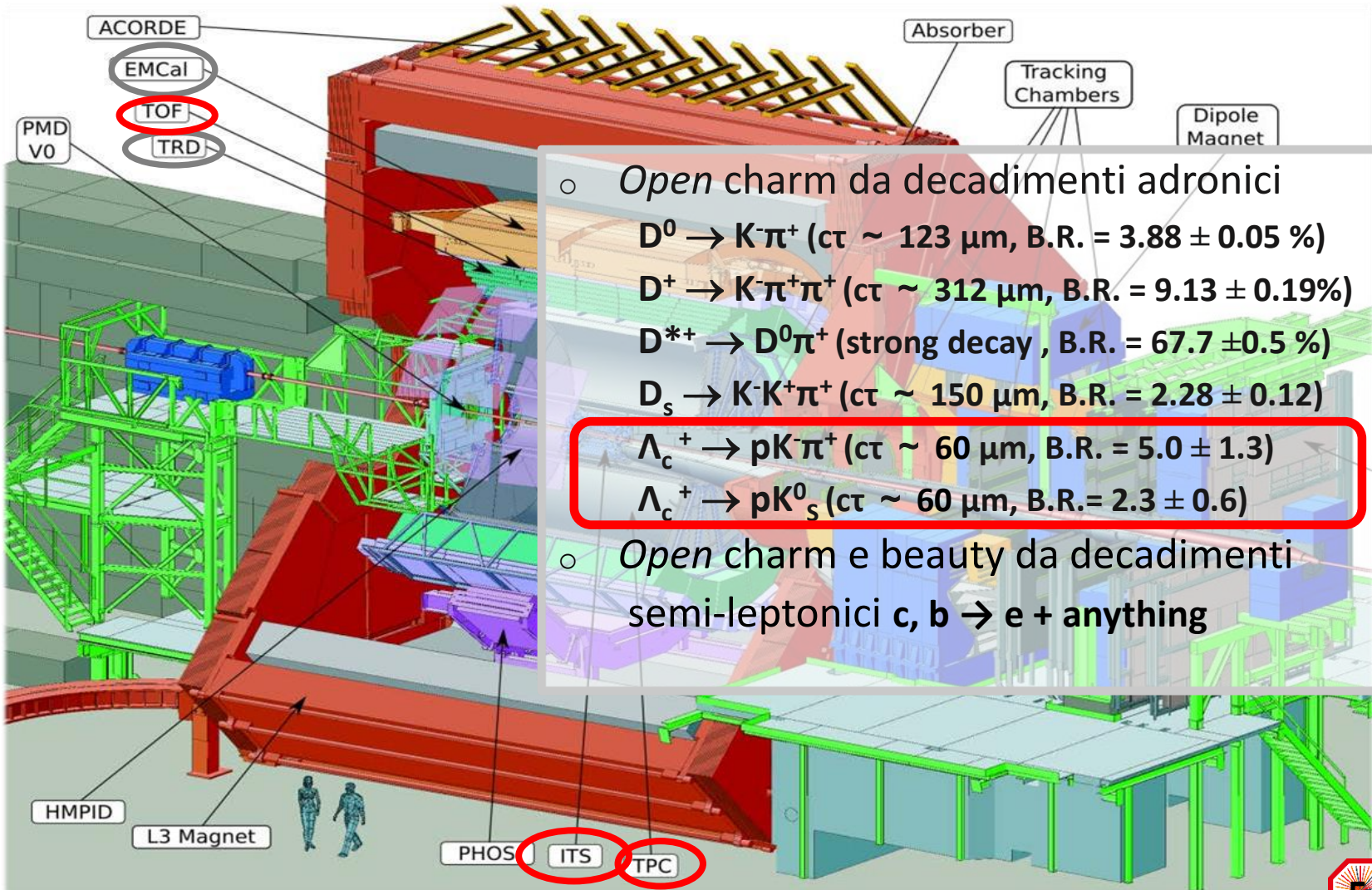
# Il rivelatore ALICE

- Misure di *open charm* e beauty nel *barrel* centrale di ALICE



# Il rivelatore ALICE

- Misure di  $\Lambda_c^+$  nel *barrel* centrale di ALICE

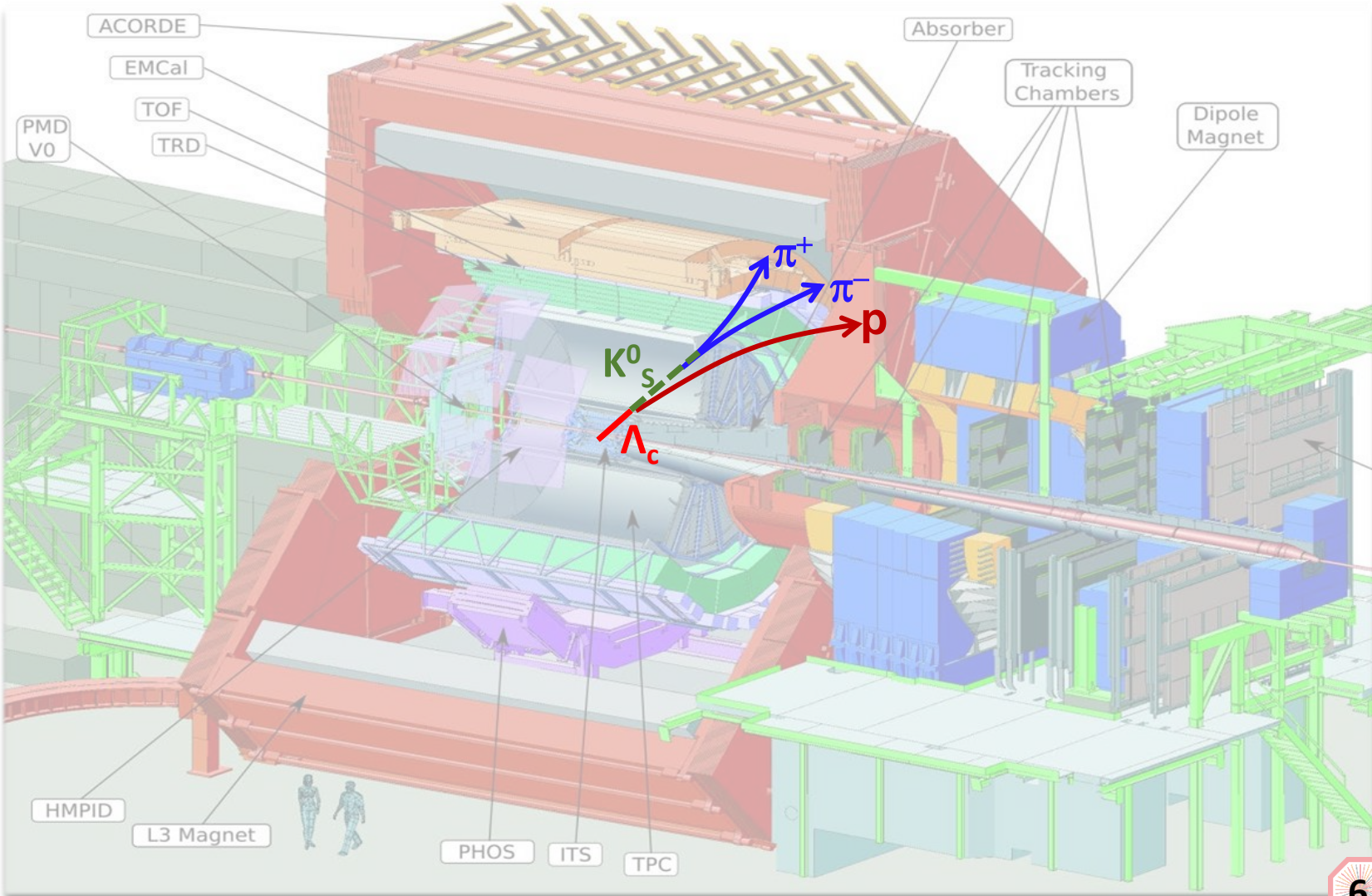




# Il rivelatore ALICE

## I detector fondamentali per l'analisi di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_S^0$

- Misure di  $\Lambda_c^+$  nel **barrel centrale** di ALICE





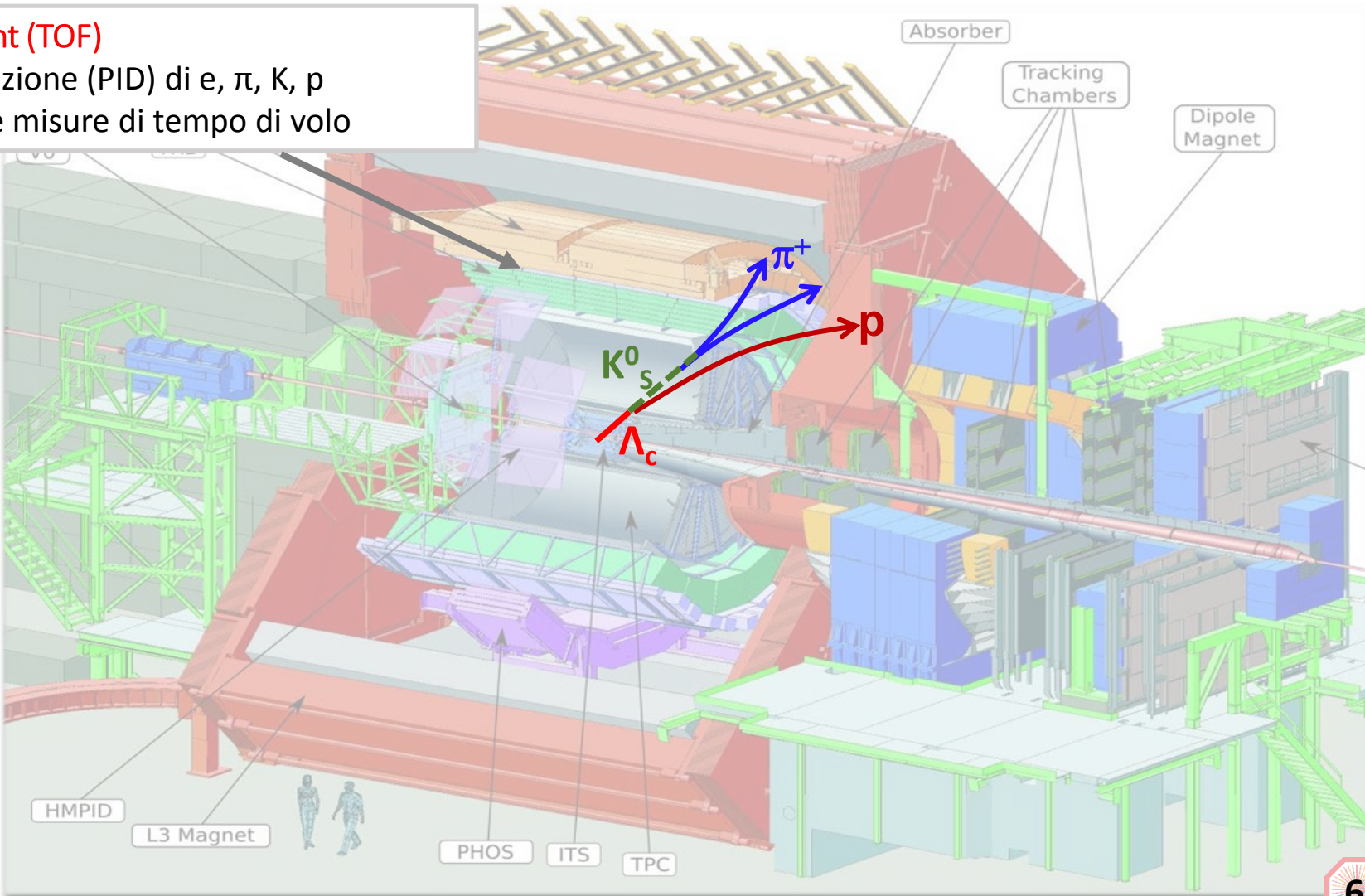
# Il rivelatore ALICE

## I detector fondamentali per l'analisi di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_s^0$

- Misure di  $\Lambda_c^+$  nel **barrel centrale** di ALICE

### Time-Of-Flight (TOF)

- Identificazione (PID) di  $e$ ,  $\pi$ ,  $K$ ,  $p$  mediante misure di tempo di volo



# Il rivelatore ALICE

## I detector fondamentali per l'analisi di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_s^0$

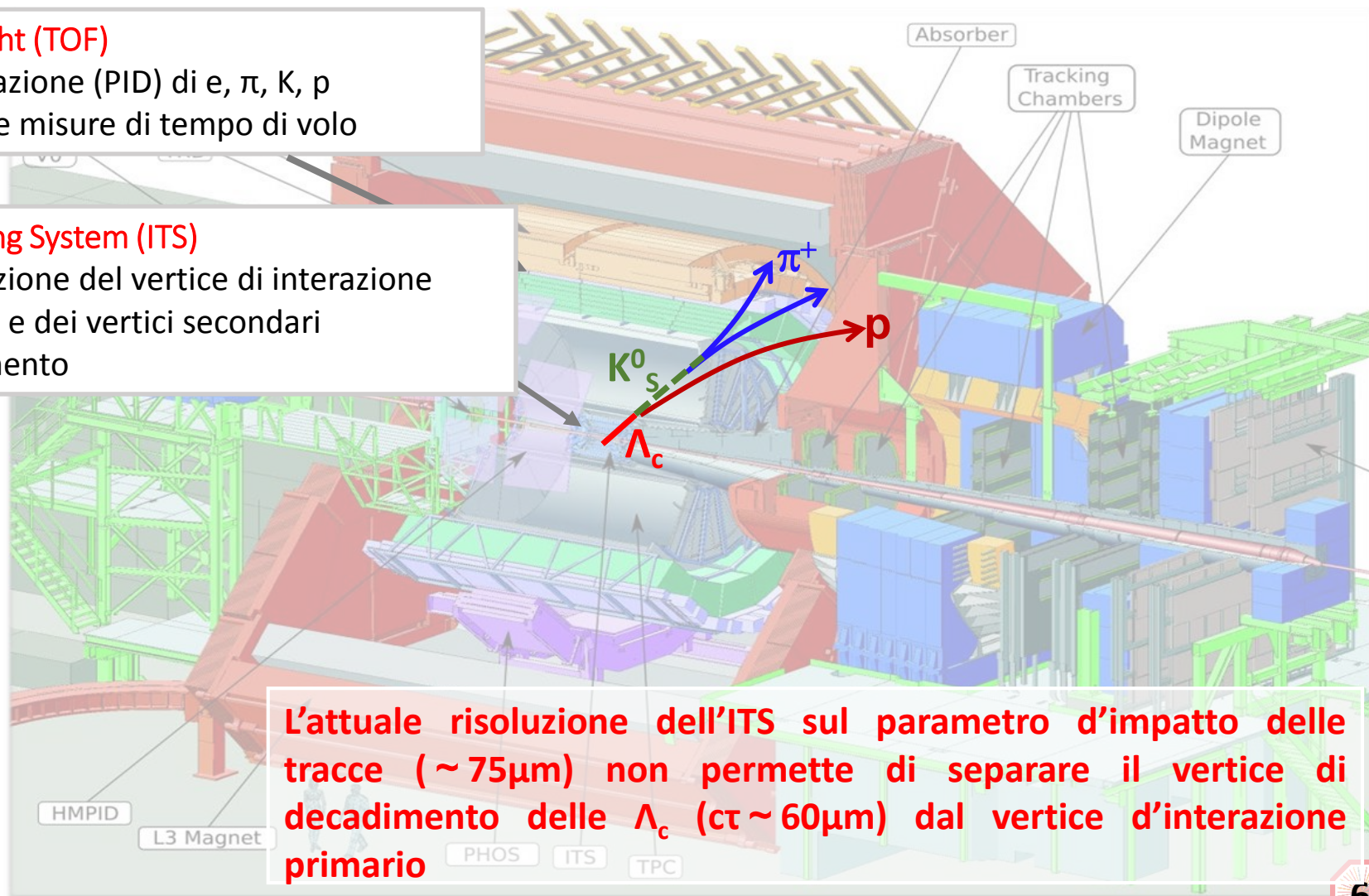
- Misure di  $\Lambda_c^+$  nel **barrel centrale** di ALICE

### Time-Of-Flight (TOF)

- Identificazione (PID) di  $e$ ,  $\pi$ ,  $K$ ,  $p$  mediante misure di tempo di volo

### Inner Tracking System (ITS)

- Ricostruzione del vertice di interazione primario e dei vertici secondari
- Tracciamento





# Il rivelatore ALICE

## I detector fondamentali per l'analisi di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_s^0$

- Misure di  $\Lambda_c^+$  nel **barrel centrale** di ALICE

### Time-Of-Flight (TOF)

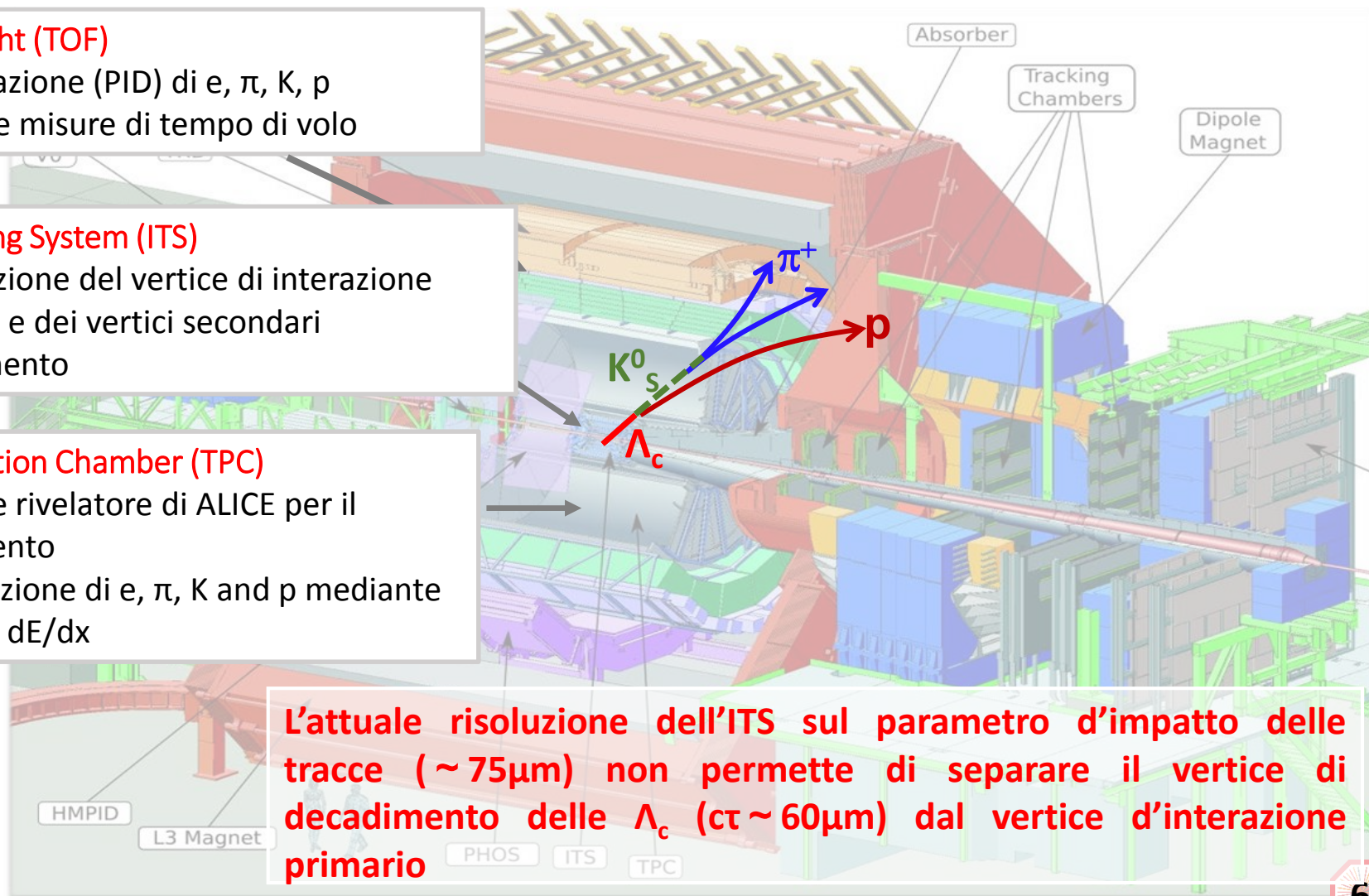
- Identificazione (PID) di  $e$ ,  $\pi$ ,  $K$ ,  $p$  mediante misure di tempo di volo

### Inner Tracking System (ITS)

- Ricostruzione del vertice di interazione primario e dei vertici secondari
- Tracciamento

### Time Projection Chamber (TPC)

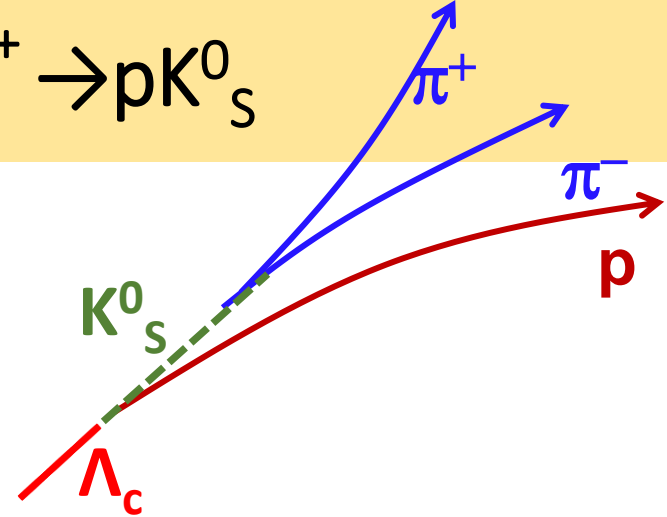
- Principale rivelatore di ALICE per il tracciamento
- Identificazione di  $e$ ,  $\pi$ ,  $K$  and  $p$  mediante misure di  $dE/dx$



L'attuale risoluzione dell'ITS sul parametro d'impatto delle tracce ( $\sim 75\mu\text{m}$ ) non permette di separare il vertice di decadimento delle  $\Lambda_c$  ( $c\tau \sim 60\mu\text{m}$ ) dal vertice d'interazione primario

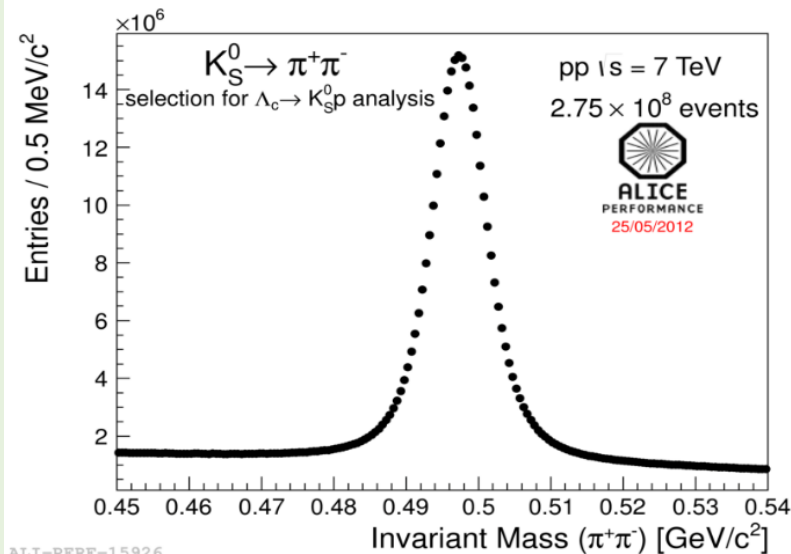
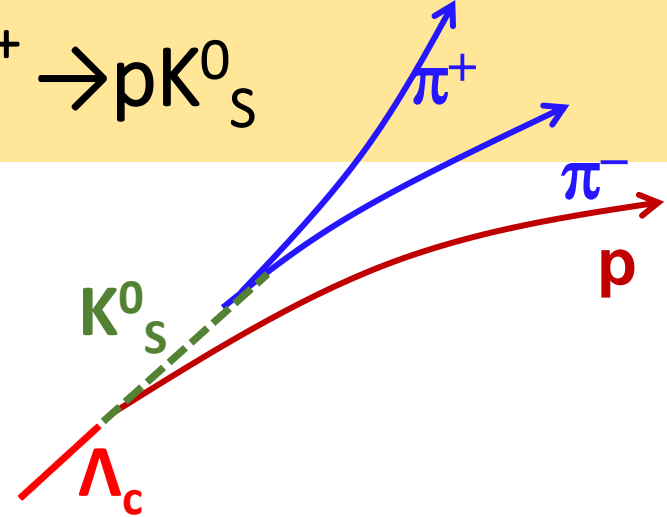
# Strategia di analisi di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_S^0$

- Le candidate  $K_S^0$  sono ricostruite da coppie di tracce (selezionate in base a tagli topologici) con carica opposta, che formano un vertice dislocato dal vertice di interazione



# Strategia di analisi di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_S^0$

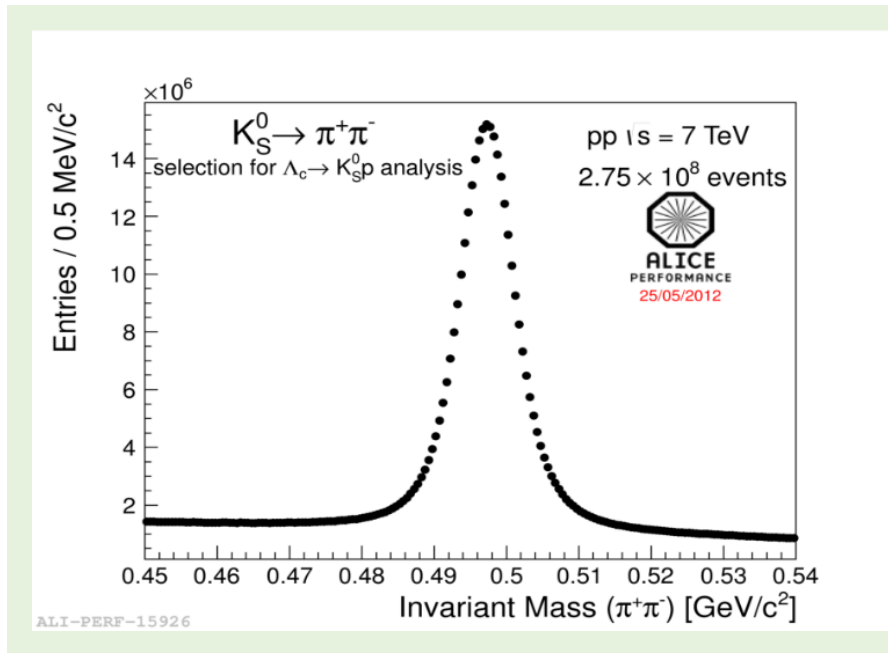
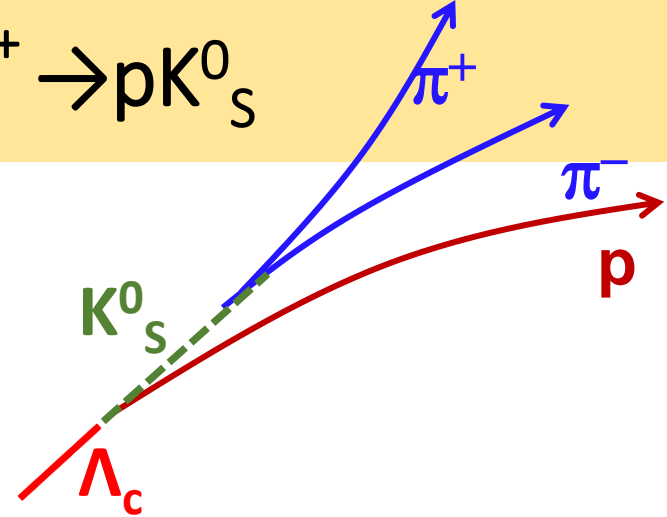
- Le candidate  $K_S^0$  sono ricostruite da coppie di tracce (selezionate in base a tagli topologici) con carica opposta, che formano un vertice dislocato dal vertice di interazione



Un chiaro segnale per i  $K_S^0$  nei plot di massa invariante  $m_{\text{inv}}(\pi^+, \pi^-)$  limita notevolmente il fondo combinatorio, nonostante il basso B.R.

# Strategia di analisi di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_S^0$

- Le candidate  $K_S^0$  sono ricostruite da coppie di tracce (selezionate in base a tagli topologici) con carica opposta, che formano un vertice dislocato dal vertice di interazione



Un chiaro segnale per i  $K_S^0$  nei plot di massa invariante  $m_{\text{inv}}(\pi^+, \pi^-)$  limita notevolmente il fondo combinatorio, nonostante il basso B.R.

- Una terza carica, identificata come protone, è combinata con un  $K_S^0$  per formare una candidata  $\Lambda_c^+$



# Strategia di analisi di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^0_S$

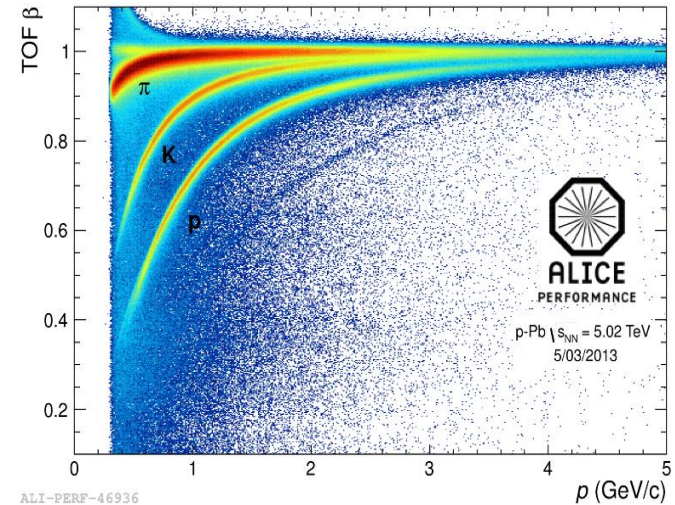
- L'eccellente *Particle Identification* (PID) di ALICE è essenziale per selezionare correttamente i protoni

Rivelatori utilizzati:

- TOF (misure di tempo di volo)
- TPC (misure di perdita di energia)

Approccio utilizzato:

- **Tagli sul numero di sigma**  
differenza tra il valore (tempo di volo o  $dE/dx$ ) atteso e quello misurato, in unità di risoluzione del rivelatore



# Strategia di analisi di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_S^0$

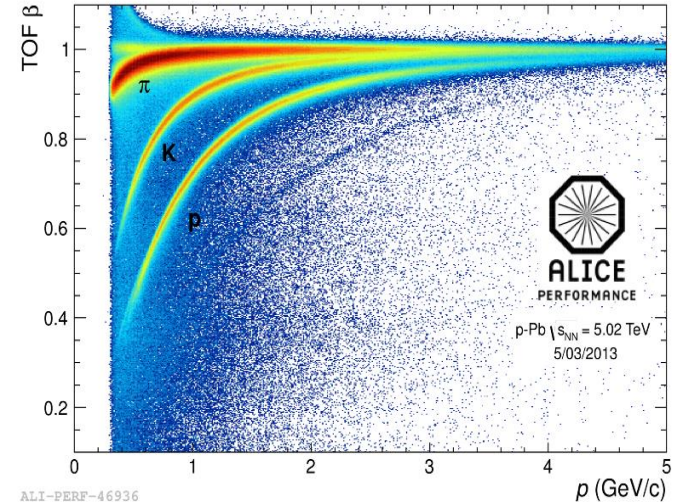
- L'eccellente *Particle Identification* (PID) di ALICE è essenziale per selezionare correttamente i protoni

Rivelatori utilizzati:

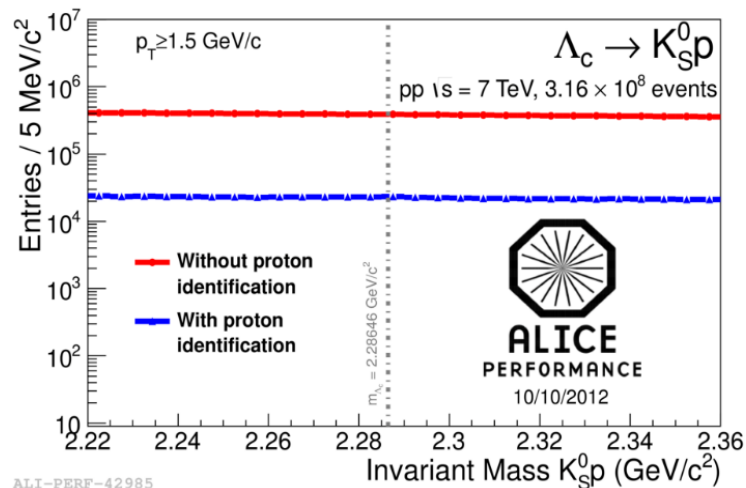
- TOF (misure di tempo di volo)
- TPC (misure di perdita di energia)

Approccio utilizzato:

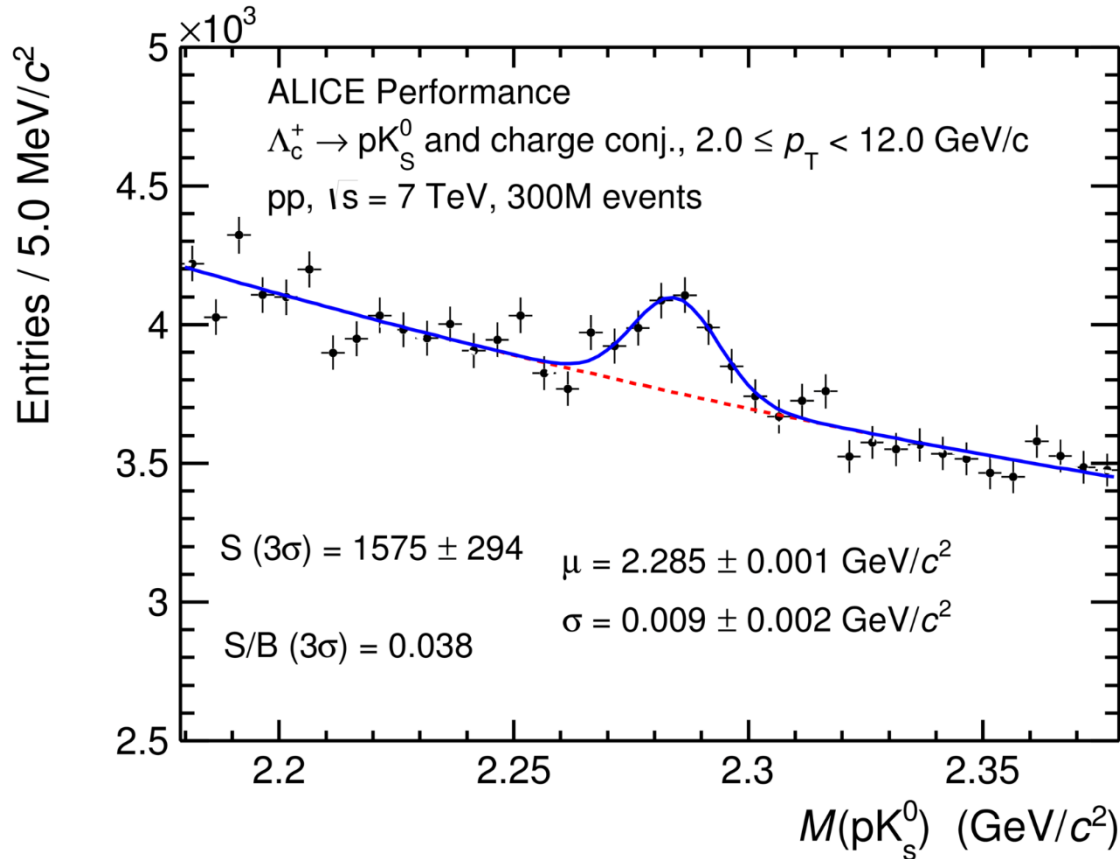
- **Tagli sul numero di sigma**  
differenza tra il valore (tempo di volo o  $dE/dx$ ) atteso e quello misurato, in unità di risoluzione del rivelatore



Applicando questa PID si ottiene una forte soppressione del fondo (di un fattore  $\sim 20$ )



# Estrazione del segnale di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_s^0$ in collisioni pp



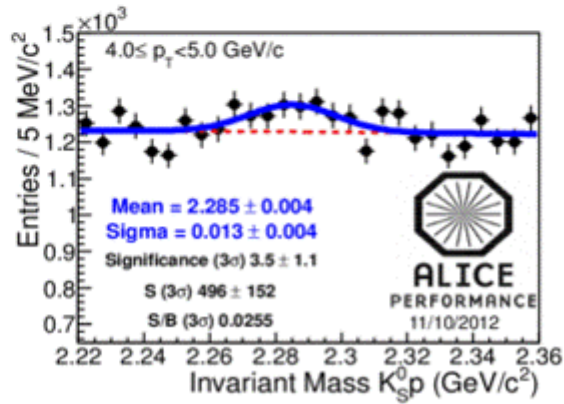
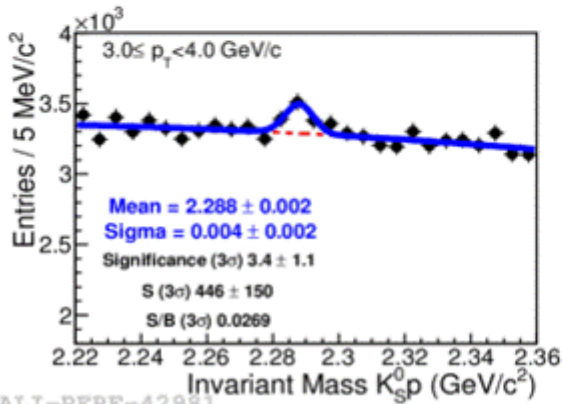
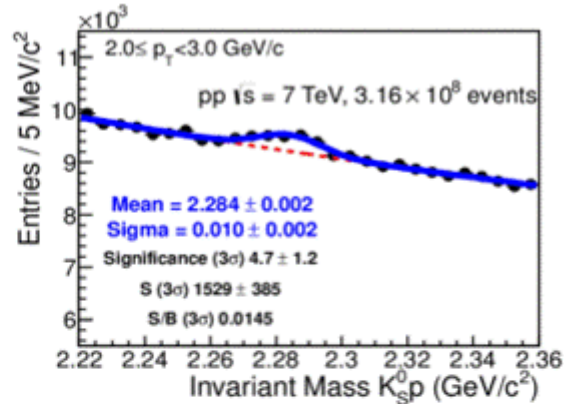
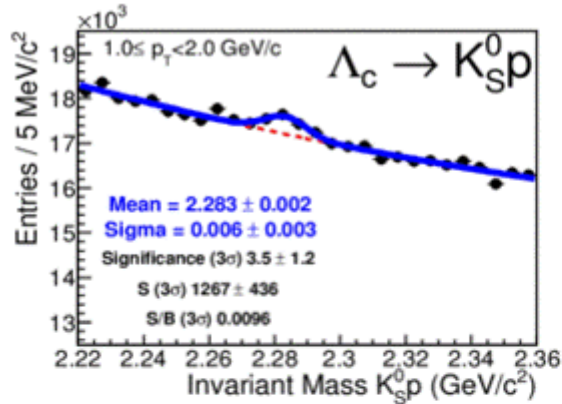
$3.0 \times 10^8$  eventi minimum bias analizzati in collisioni pp a  $\sqrt{s} = 7$  TeV (2010)

Il segnale è fittato con una funzione Gaussiana; il fondo con una funzione polinomiale del secondo ordine.

ALI-PERF-97092

- Chiaro segnale di  $\Lambda_c^+$  in  $p_T$  integrato per  $p_T > 2$  GeV/c

# Estrazione del segnale di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_S^0$ in collisioni pp

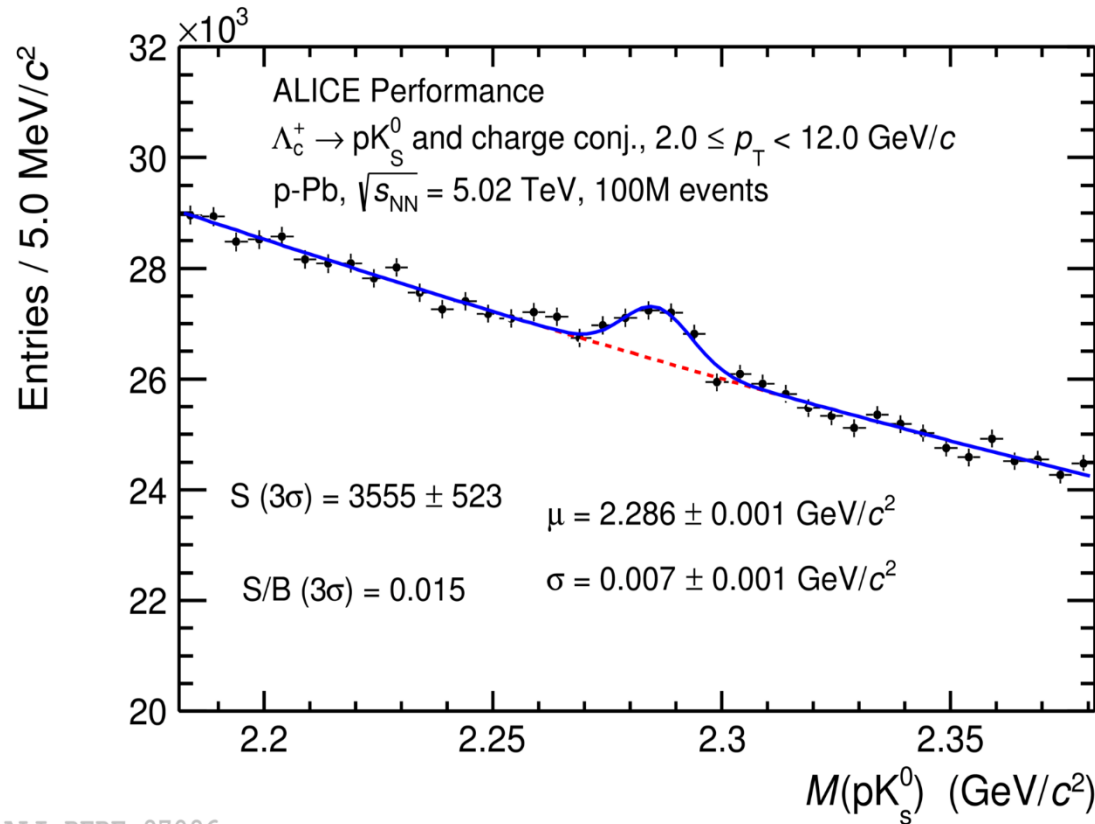


$3.0 \times 10^8$  eventi minimum bias analizzati in collisioni pp a  $\sqrt{s} = 7$  TeV (2010)

Il segnale è fittato con una funzione Gaussiana; il fondo con una funzione polinomiale del secondo ordine.

- Chiaro segnale di  $\Lambda_c^+$  in 4 intervalli di  $p_T$  in [1,5] GeV/c
- Lavoro di ottimizzazione dei tagli in corso, per migliorare l'estrazione del segnale

# Estrazione del segnale di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_s^0$ in collisioni p-Pb



$1 \times 10^8$  eventi minimum bias  
analizzati in collisioni p-Pb a  
 $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV (2013)

Il segnale è fittato con una  
funzione Gaussiana; il  
fondo con una funzione  
polinomiale del secondo  
ordine.

ALI-PERF-97096

- Chiaro segnale di  $\Lambda_c^+$  in  $p_T$  integrato tra 2 e 12 GeV/c

# Prospettive per future misure di $\Lambda_C$

- Principali obiettivi dell'upgrades dell'ITS e dell'LHC (durante il secondo lungo shutdown-LS2-(2018)) :
  - Migliorare la risoluzione sul parametro di impatto delle tracce di un fattore  $\sim 3$
  - Migliorare l'efficienza di tracciamento e la risoluzione in  $p_T$  a basso  $p_T$
  - Aumento del rate di presa dati



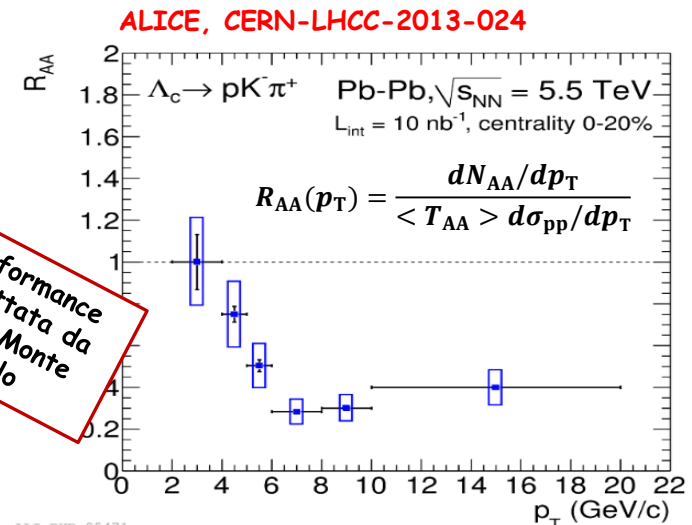
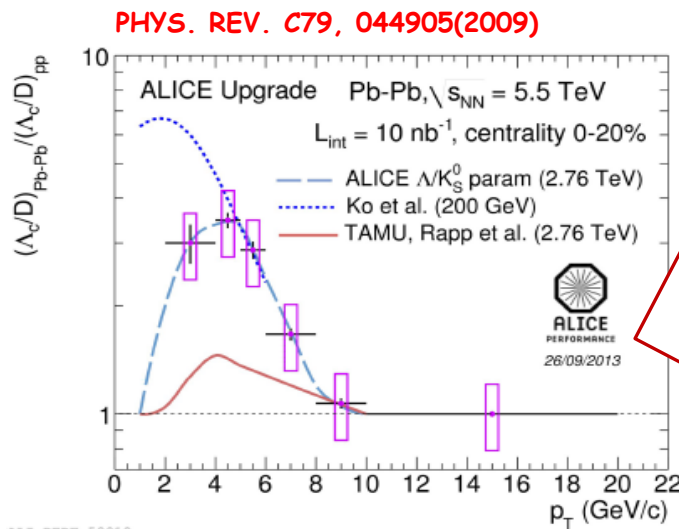
# Prospettive per future misure di $\Lambda_c$

- Principali obiettivi dell'upgrades dell'ITS e dell'LHC (durante il secondo lungo shutdown-LS2-(2018)) :
  - Migliorare la risoluzione sul parametro di impatto delle tracce di un fattore  $\sim 3$
  - Migliorare l'efficienza di tracciamento e la risoluzione in  $p_T$  a basso  $p_T$
  - Aumento del rate di presa dati
- Queste nuove caratteristiche di ALICE permetteranno di misurare adroni con charm, come  $\Lambda_c^+$ , anche in collisioni Pb-Pb.

# Prospettive per future misure di $\Lambda_c$

- Principali obiettivi dell'upgrades dell'ITS e dell'LHC (durante il secondo lungo shutdown-LS2-(2018)) :
  - Migliorare la risoluzione sul parametro di impatto delle tracce di un fattore  $\sim 3$
  - Migliorare l'efficienza di tracciamento e la risoluzione in  $p_T$  a basso  $p_T$
  - Aumento del rate di presa dati
- Queste nuove caratteristiche di ALICE permetteranno di misurare adroni con charm, come  $\Lambda_c^+$ , anche in collisioni Pb-Pb.

La misura del fattore  $R_{AA}$  per la  $\Lambda_c$ , il rapporto barioni/mesoni nel settore del charm, l'anisotropia azimutale saranno accessibili con la luminosità integrata di  $10 \text{ nb}^{-1}$  (target del programma di ALICE dopo l'upgrade)



Performance attesa da studi Monte Carlo

# Conclusioni

- Misura della produzione di  $\Lambda_c^+$  (e c.c.) interessante in collisioni pp, p-Pb e Pb-Pb con ALICE ad LHC
- Segnale per la  $\Lambda_c^+$  osservato in collisioni pp (2010) e p-Pb (2013), studiando il canale di decadimento  $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_s^0$ 
  - ➔ *Work in progress per la stima di sezione d'urto di produzione di  $\Lambda_c^+$*
- Misura difficile perché:
  - B.R. basso (soltanto 0.8 %)
  - piccola lunghezza di decadimento ( $\sim 60 \mu\text{m}$ )
- L'attuale setup sperimentale di ALICE non permette di misurare la  $\Lambda_c^+$  in collisioni Pb-Pb, a causa del fondo elevato, ma ci sono buone prospettive per una prima misura con l'upgrade dell'ITS dopo LS2.

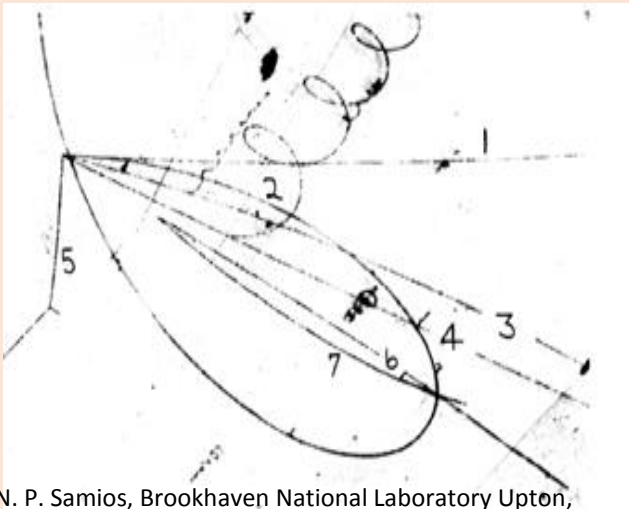
*Grazie per l'attenzione*

# *Materiale aggiuntivo*



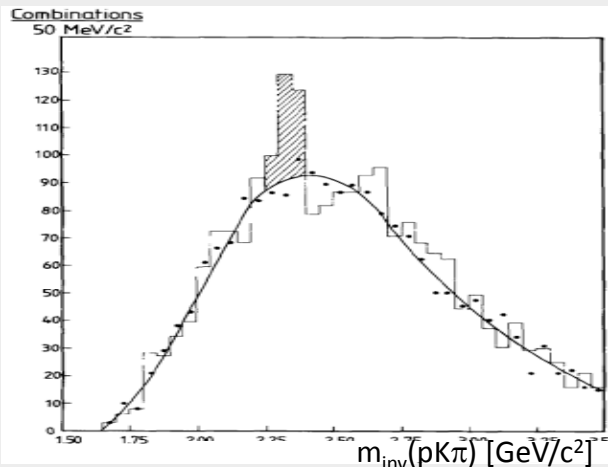
# Misure di $\Lambda_c$ nel passato

BNL (1975): prima osservazione in camera a bolle



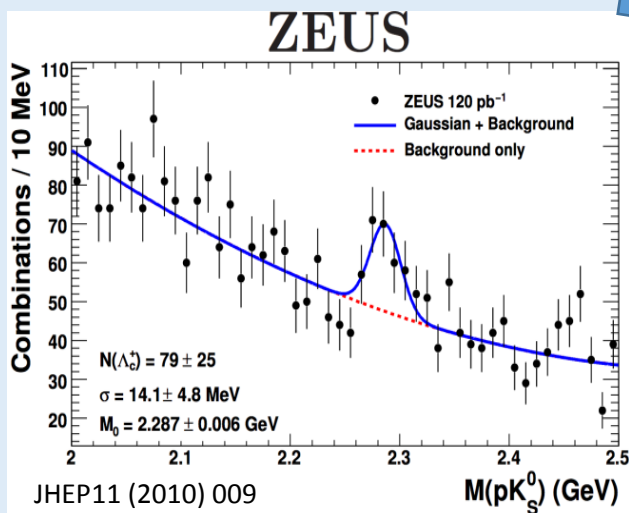
N. P. Samios, Brookhaven National Laboratory Upton, New York (1973)

ISR: misure in collisioni pp @62GeV



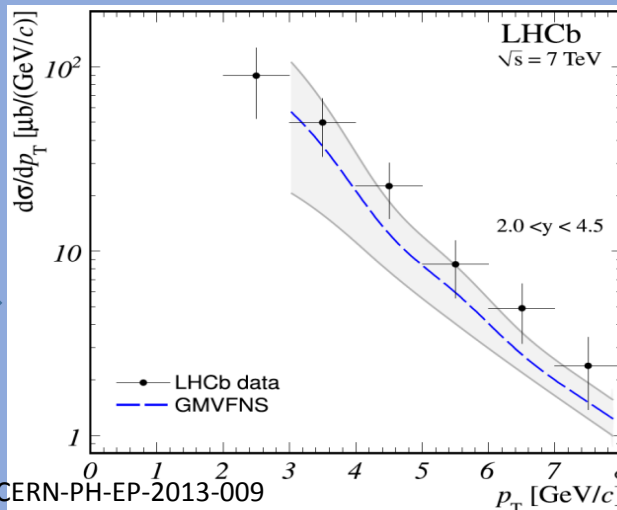
G. Bari et al, IL NUOVO CIMENTO, vol.104 A, n. 4 (1991)

ZEUS: misure in e-p



JHEP11 (2010) 009

LHCb: misure in collisioni pp @7TeV, per  $2 < y < 4.5$



CERN-PH-EP-2013-009

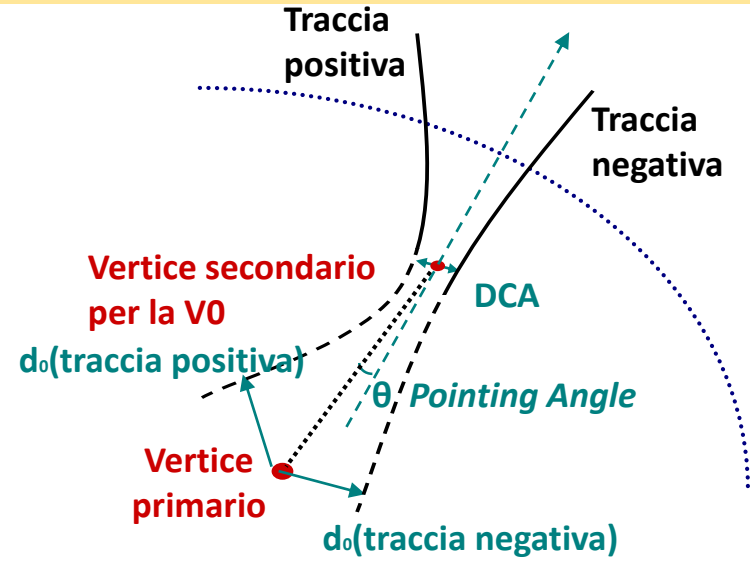
LHCb-PAPER-2012-041

Misura di  $\Lambda_c$  completamente nuova con ALICE!

# Ricostruzione di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_s^0$ e c. c.

## Costruzione delle candidate $K_s^0$ :

Quantità	Taglio applicato
Number of TPC cluster	70
Kink daughter	NO
$ \eta $	$< 0.8$
$p_T$ (V0 daughters)	$> 0.2$ GeV/c
$d_0$ (V0 daughters)	$> 500$ $\mu\text{m}$
DCA prong to prong	$< 5$ mm
$\rho(V0)$	[2mm;2m]
$ d_0(V0) $	$< 1$ mm
Cosine of pointing angle for V0	$> 0.99$



## Selezione dei candidati protoni (bachelor):

Quantità	Taglio applicato
kink	NO
Number of ITS clusters	2
Number of TPC clusters	70
$ d_0 $	$< 0.5$ mm
$p_T$	$> 0.3$ GeV/c

- Per costruire le candidate  $\Lambda_c^+$  accettiamo soltanto candidate  $K_s^0$  con massa invariante ( $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ) vicina alla massa nota per i  $K_s^0$  (497.614 MeV/c<sup>2</sup>)



# Ricostruzione di $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_S^0$ e c. c.

## Ottimizzazione di tagli su variabili topologiche in pp

$p_T(\Lambda_c)$ (GeV/c)	$p_T(p)$ min (GeV/c)	$p_T(K_S^0)$ min (GeV/c)	$ m(\pi^+\pi^-) - m(K_S^0) $ max (MeV/c <sup>2</sup> )	$d_0(p)$ max (cm)	$\cos PA(K_S^0)$ min
[4;5[	0.7	0.8	0.0080	0.06	0.99
[5;6[	0.8	1.1	0.0090	0.06	0.99
[6;8[	0.9	1.1	0.0100	0.06	0.99
[8;12[	0.9	1.2	0.0110	0.06	0.99

**Per tutti gli intervalli di  $p_T$ :**

$$p_T(\pi) > 0.2 \text{ GeV}/c$$

$$|m(p, \pi) - m(\Lambda)| > 5 \text{ MeV}/c^2$$

$$|m(\pi, p) - m(\Lambda)| > 5 \text{ MeV}/c^2$$

$$|m(e, e) - m(\gamma)| > 100 \text{ MeV}/c^2$$

**Strategia di PID utilizzata in questa analisi:**

$$\text{for } p(\text{bachelor}) \leq 1 \quad |n\sigma_{TPC}(\text{bachelor})| < 2$$

$$\text{for } 1 \leq p(\text{bachelor}) < 3 \text{ GeV}/c \quad |n\sigma_{TOF}(\text{bachelor})| < 3$$

$$\text{for } p(\text{bachelor}) \geq 3 \quad -2 < n\sigma_{TOF}(\text{bachelor}) < 3$$