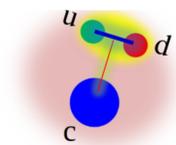




# Studi sul barione charmato $\Lambda_c$ a BESIII

Giulio Mezzadri – gmezzadr@fe.infn.it - INFN Ferrara – per l'esperimento BESIII

## Perché è importante studiare il barione $\Lambda_c$ ?



Charmed baryon ( $\Lambda_c[uudc]$ )  
 $m_u, m_d \ll m_c \rightarrow$  diquark + quark  
(qq) (Q)

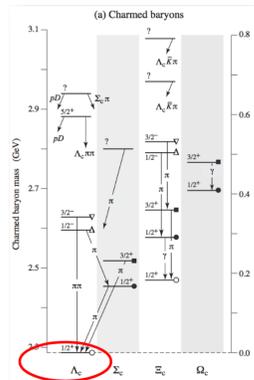
Il barione  $\Lambda_c$  (quark di valenza  $udc$ ) è descritto nelle teorie effettive [1] come composto da un doppietto ( $ud$ ) e un singoletto ( $c$ ).

La presenza del doppietto semplifica lo studio delle proprietà del barione  $\Lambda_c$ , in quanto tutta la dinamica dipende solo dal comportamento del quark  $c$ .

Il barione  $\Lambda_c$  è il più leggero dei barioni charmati. Quindi questa particella è alla base di tutte le catene di decadimento degli altri barioni.

Inoltre, è importante conoscere con elevata precisione il rapporto di decadimento  $BR(\Lambda_c \rightarrow pK\pi^+)$ : molti stati finali sono normalizzati a questo valore.

Lo stesso rapporto di decadimento è importante per la determinazione dell'elemento di matrice  $V_{ub}$  nel modo di decadimento barionico.

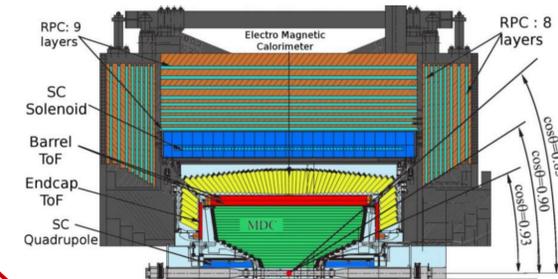


## BESIII @ BEPCII

BESIII (Beijing Spectrometer III) è ospitato presso il collisionatore simmetrico a fasci leptonici BEPCII (Beijing Electron Positron Collider) dell'Istituto per la Fisica delle Alte Energie di Pechino, Cina.

Il collisionatore opera ad energie comprese tra 2 e 4.6 GeV, nella cosiddetta regione  $\tau$ -charm. L'energia del centro di massa può essere selezionata per accedere con precisione e con basso fondo alle varie risonanze nell'intervallo di energia.

La luminosità di disegno è  $10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , che è stata raggiunta nel 2016.



Il rivelatore BESIII è composto da una serie di sotto-rivelatori, con un disegno ottimizzato per la fisica del sapore.

L'accettazione totale è 93% dell'angolo solido disponibile, diviso in una parte centrale e due parti laterali (avanti e indietro).

## I dati raccolti

Energia (GeV)	Luminosità ( $\text{pb}^{-1}$ )
4.575	~48
4.580	~8.5
4.590	~8.1
4.599	~567

Nel campione di dati a 4.599 GeV BESIII ha raccolto circa 110000 coppie  $\Lambda_c \bar{\Lambda}_c$  [2].

Questi dati sono 29 MeV sopra la soglia: il contributo del fondo adronico è perciò molto ridotto. D'altro canto, è una grande sfida per il rivelatore e per le tecniche di ricostruzione perché spesso le tracce hanno momenti molto bassi e sono difficili da identificare.

## Il barione $\Lambda_c$ a BESIII: studi a soglia

BESIII ha iniziato il proprio programma di fisica nel 2014, a seguito di uno studio sulla possibilità di incremento dell'energia nel centro di massa dell'acceleratore.

Una presa dati dedicata ha permesso di raccogliere dati a quattro energie differenti sopra soglia di produzione di coppie di barioni  $\Lambda_c \bar{\Lambda}_c$  (da 2.08 a 29 MeV).

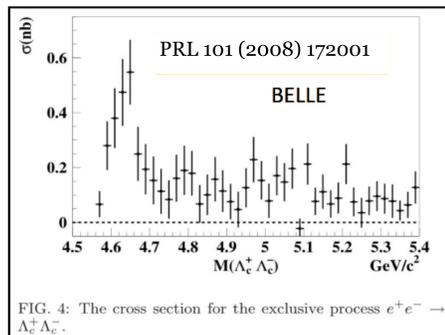
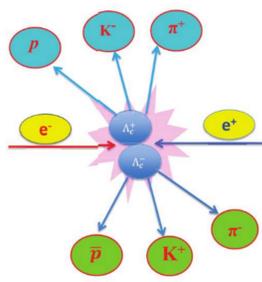


FIG. 4: The cross section for the exclusive process  $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c^+ \Lambda_c^-$ .



Nelle Analisi a Ricostruzione Parziale vengono utilizzate due variabili (da calcolarsi nel centro di massa dell'evento):

1) Massa relativa all'energia del fascio (*Mass beam constrained*)

$$M_{bc} = \sqrt{E_{beam}^2 - p_{candidate}^2}$$

2) Differenza di energia (*dE*)

$$dE = E_{candidate} - E_{beam}$$

## Le tecniche di analisi

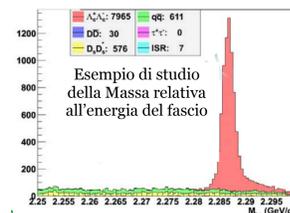
La possibilità di studiare coppie di barioni charmati a soglia si concretizza a BESIII con due tecniche di ricostruzione:

• **Analisi a Ricostruzione Parziale (*Single Tag*)**  
Solo uno lato del decadimento viene ricostruito, poiché la conservazione del numero barionico e del numero di *charm* garantiscono che se da un lato ricostruisco il  $\Lambda_c$ , nell'altro trovo la sua antiparticella;

- **Vantaggio:** elevata efficienza;
- **Svantaggio:** maggiore fondo adronico;

• **Analisi a Ricostruzione Totale (*Double Tag*)**  
La coppia di particella-antiparticella viene ricostruita nella sua totalità. È possibile accedere alle informazioni di massa e momento mancante per studiare stati finali con particelle neutre;

- **Vantaggio:** fondo adronico (quasi) assente;
- **Svantaggio:** efficienza ridotta.



Esempio di studio della Massa relativa all'energia del fascio

## Osservazione di $\Lambda_c \rightarrow nK_s\pi^+$

PRL 118, 112001 (2016)

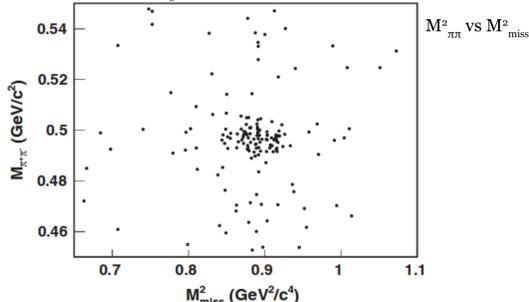
Prima misura diretta di uno stato finale di decadimento con un neutrone

Rappresenta anche un test della relazione di isospin:

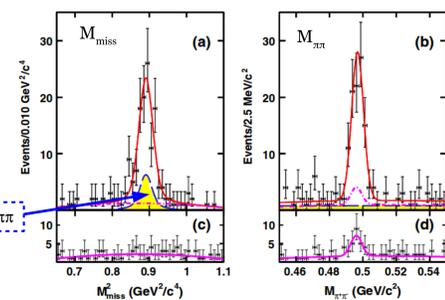
$$A(n\bar{K}^0\pi^+) + A(pK^-\pi^+) + \sqrt{2}A(p\bar{K}^0\pi^0) = 0.$$

Lo studio è condotto in Analisi a Ricostruzione Totale.

Il numero di eventi è calcolato con un'interpolazione bidimensionale alla massa mancante (che deve risuonare alla massa del neutrone) e alla massa della coppia  $\pi^+\pi^-$  (che deve risuonare alla massa del  $K_s$ ).



Il fondo e il segnale sono interpolati simultaneamente per incrementare la precisione.



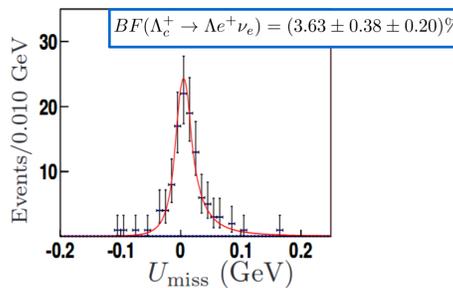
$$BF(\Lambda_c^+ \rightarrow nK_s^0\pi^+) = (1.82 \pm 0.23 \pm 0.11)\%$$

## Decadimenti semileptonici di $\Lambda_c$

Studio dei decadimenti semileptonici permette di accedere all'elemento  $V_{cs}$  ed è un modo per testare la conservazione dell'universalità leptonica.

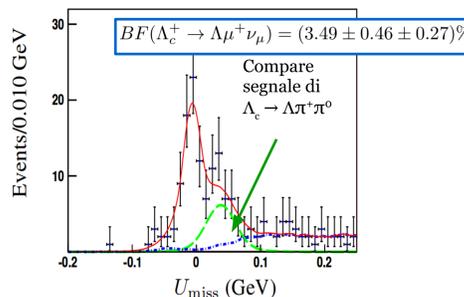
$\Lambda_c \rightarrow \Lambda e^+ \nu_e$  PRL 115, 221805 (2015)

Analisi a Ricostruzione Totale. Il neutrino è studiato come massa mancante.



$\Lambda_c \rightarrow \Lambda \mu^+ \nu_\mu$  PLB 767, 42 (2017)

Analisi a Ricostruzione Totale. Il neutrino è studiato come massa mancante.



Il rapporto dei due rapporti di decadimento è compatibile con 1: conservazione universalità leptonica confermata.

$$\Gamma(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \mu^+ \nu_\mu) / \Gamma(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda e^+ \nu_e) = 0.96 \pm 0.16 \pm 0.04$$

Recentemente Rosner e Gronau [3] hanno evidenziato alcune discrepanze tra le misure esclusive ed inclusive spiegate dalla possibile mancanza di alcuni decadimenti semileptonici della  $\Lambda_c$ .

## Misura della sezione d'urto

$e^+e^- \rightarrow \Lambda_c \bar{\Lambda}_c$

PRL 120, 132001 (2018)

Studio della sezione d'urto nei 4 valori d'energia collezionati. Confronto con la misura di BELLE [4], per comprendere il comportamento vicino alla soglia e fare un confronto con le previsioni teoriche.

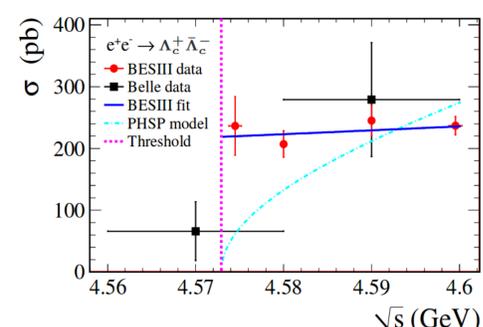
$$\sigma_{B\bar{B}}(s) = \frac{4\pi\alpha^2 C\beta}{3s} |G_M(s)|^2 \left[ 1 + \frac{2m_B^2 c^4}{s} \left| \frac{G_E(s)}{G_M(s)} \right|^2 \right]$$

Particelle cariche: Sezione d'urto non nulla perché il termine coulombiano C dipende da  $1/\beta$  e quindi non si cancella.  
Particelle neutre: Sezione d'urto si annulla con la velocità  $\beta$  perché il termine coulombiano  $C = 1$ .

Nel caso di  $pp$ , BaBar ha osservato una sezione d'urto piatta a soglia [5].

Nel caso di  $\Lambda\bar{\Lambda}$ , BESIII ha invece osservato una rapida risalita [6].

Studiare la sezione d'urto di barioni a soglia aiuta a comprendere meglio il fattore di forma e il termine coulombiano.



I 4 punti di BESIII mostrano che l'andamento si discosta dalle previsioni dello spazio delle fasi. La precisione della misura è molto migliore di quella di BELLE.

Nel programma dei prossimi 10 anni è previsto un ulteriore incremento dell'energia del centro di massa per testare la misura di BELLE e verificare se esiste la risonanza  $\Upsilon(4660)$  [7].

### Bibliografia:

[1] Y. Kohara, Nuovo Cim. A 111, 67 (1998)  
[2] BESIII Collaboration, PRL 116, 052001 (2016)

[3] J. Rosner and M. Gronau, arXiv:1803.02267v3  
[4] BELLE Collaboration, PRL 101 172001 (2008)

[5] BaBar Collaboration, PRD 87 092005 (2013)  
[6] BESIII Collaboration, arXiv: 1709.10236 (accepted by PRD-RC)  
[7] Particle Data Group, Chin. Phys. C 40, 100001 (2016)