

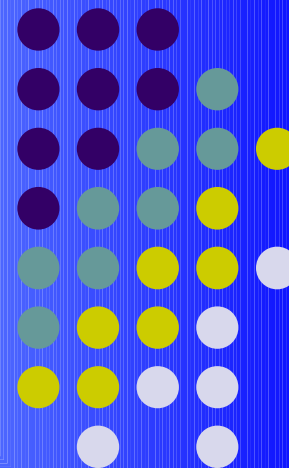
# Nuovi risultati di FINUDA



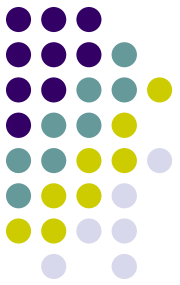
*Stefania Bufalino*

V Congressino di Sezione

11 gennaio 2008

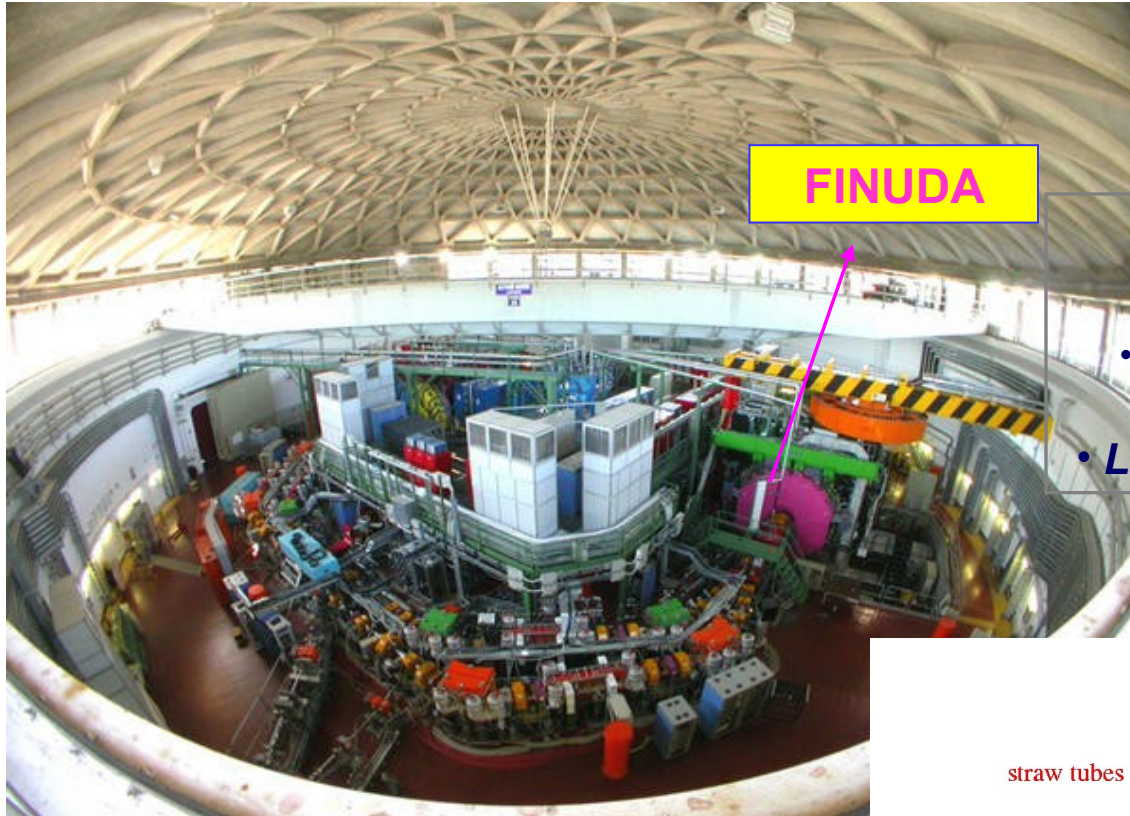


# Piano della presentazione



- L'esperimento FINUDA a DAΦNE
- Set-up sperimentale per seconda presa dati
- Importanza dello studio del decadimento non mesonico degli ipernuclei  $\Lambda$  (NMWD)
- Studio del decadimento non mesonico:
  - risultati dell'analisi degli ipernuclei  ${}^5_{\Lambda}\text{He}$  e  ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$
  - confronto dei risultati di FINUDA con precedenti risultati sperimentali del KEK
  - confronto dei risultati sperimentali di FINUDA con recenti calcoli teorici
- Conclusioni

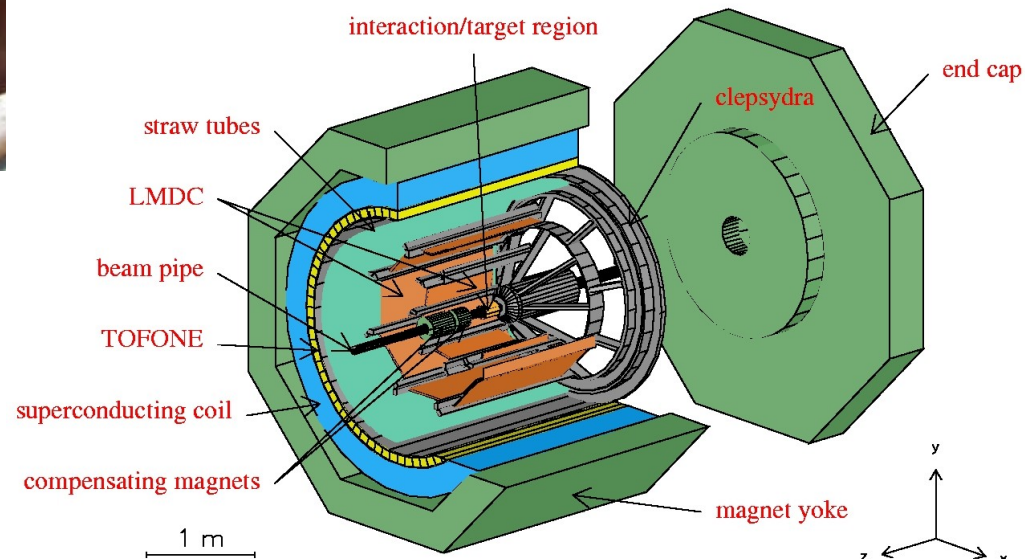
# FINUDA @ DAΦNE



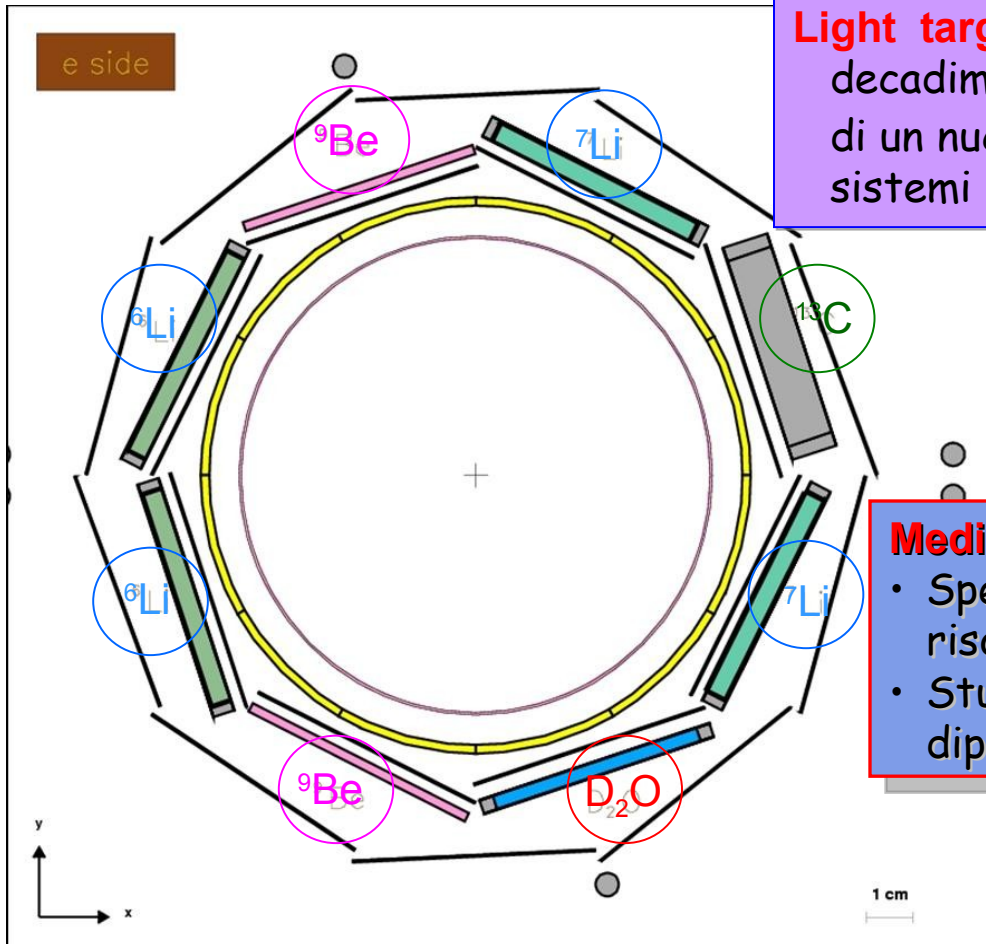
Seconda presa dati

(ottobre 2006-giugno 2007)

- **Luminosita' media integrata in un giorno  $\sim 7 \text{ pb}^{-1}$**
- **Luminosita' integrata totale  $\sim 964 \text{ pb}^{-1}$**



# Bersagli della seconda presa dati



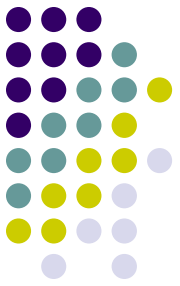
**Light targets:** ideali per lo studio dei decadimenti deboli.  ${}^6_{\Lambda}\text{Li}$  instabile per emissione di un nucleone utilizzato per accedere a sistemi leggeri  ${}^5_{\Lambda}\text{He}$ ,  ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ ,  ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ .

## **Medium targets:**

- Spettroscopia ipernucleare ad alta risoluzione e con elevata statistica
- Studio dei decadimenti deboli e dipendenza dal numero di massa  $A$

$2 \times {}^6\text{Li}$ ,  $2 \times {}^7\text{Li}$ ,  ${}^{13}\text{C}$ ,  $2 \times {}^9\text{Be}$ ,  $\text{D}_2\text{O}$

# Decadimenti deboli degli ipernuclei $\Lambda$

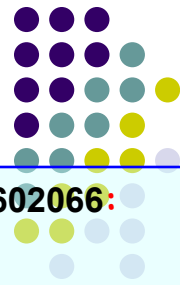


- **Decadimento debole della  $\Lambda$  libera :**
  - $\Lambda \rightarrow p\pi$  B.R. 63.9% ( $\Gamma_\pi$ )
  - $\Lambda \rightarrow n\pi^0$  B.R. 35.8% ( $\Gamma_{\pi^0}$ )
- **Decadimento mesonico** soppresso in materia nucleare a causa del **blocco di Pauli** del nucleone nello stato finale
- Validita' della **regola fenomenologica  $\Delta I = 1/2$**  per decadimenti che coinvolgono quark strani
- **Decadimento non mesonico:**
  - $\Lambda n \rightarrow nn$  ( $\Gamma_n$ ) “neutron-induced decay”
  - $\Lambda p \rightarrow np$  ( $\Gamma_p$ ) “proton-induced decay”
  - $\Lambda NN \rightarrow nNN$  ( $\Gamma_2$ ) “two nucleons-induced decay”

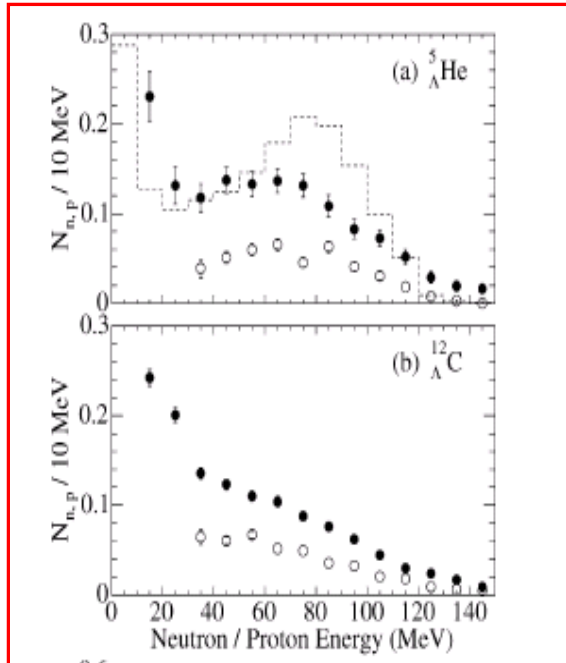
Ampiezza di decadimento totale  $\Gamma_T = \Gamma_M + \Gamma_{NM}$

$$\begin{aligned} & \nearrow \Gamma_M = \Gamma_{\pi^-} + \Gamma_{\pi^0} \\ & \searrow \Gamma_{NM} = \Gamma_n + \Gamma_p + \Gamma_2 \end{aligned}$$

# Spettri di energia di protoni: dati esistenti



Okada et al. PLB 597 (2004) pp 249-256



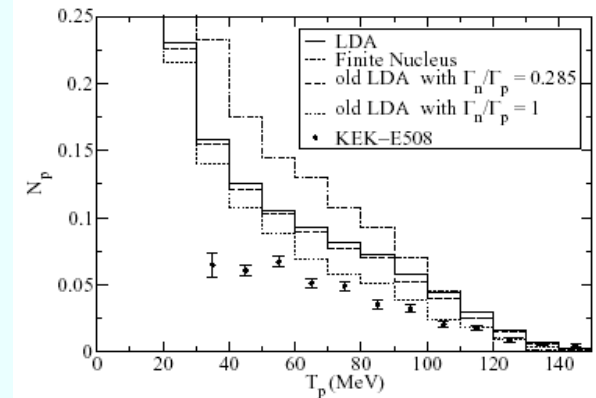
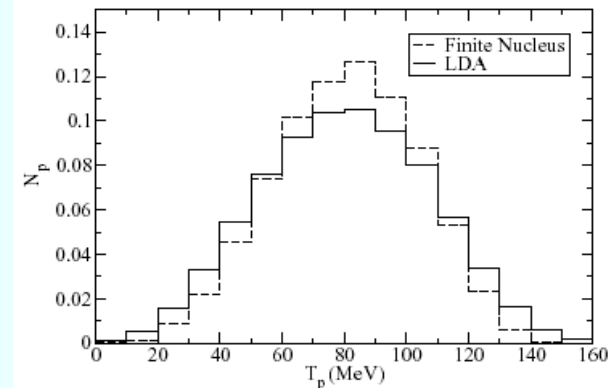
- ✓ misure effettuate al KEK con lo spettrometro SKS
- ✓ alta soglia in energia per la rivelazione di protoni (35 MeV)
- ✓ Nessuna informazione sul possibile contributo dell'interazione di stato finale ( FSI ) o del decadimento indotto da due nucleoni

E.Bauer, Ramos et al.,2006:nucl-th/0602066:

Calcoli teorici di  $E_p$  senza (sopra) e con (sotto) effetti di FSI .

Dati dell'esperimento KEK-E508

${}^{12}_{\Lambda}\text{C}$



E' necessario un ulteriore studio....

# Evento di NMWD indotto da un protone in FINUDA

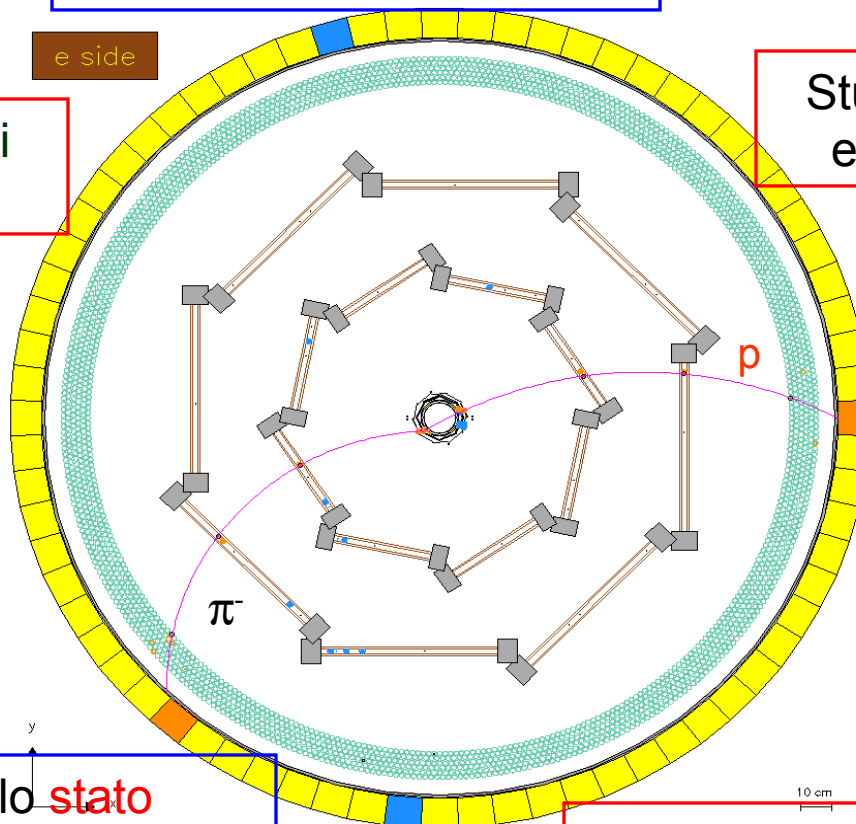


eventi con un  $\pi^-$  e un  
protone in coincidenza

Studio dello spettro di  
impulso dei  $\pi^-$

Studio dello spettro di  
energia dei protoni

Correzione per  
accettanza degli  
spettri di protoni



Identificazione dello stato  
fondamentale dell'ipernucleo (g.s.)

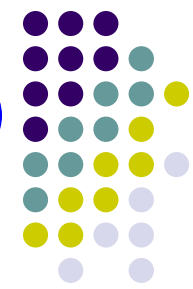
Ricerca delle possibili  
reazioni di fondo



Spettri di energia di protoni da  
decadimento non mesonico del

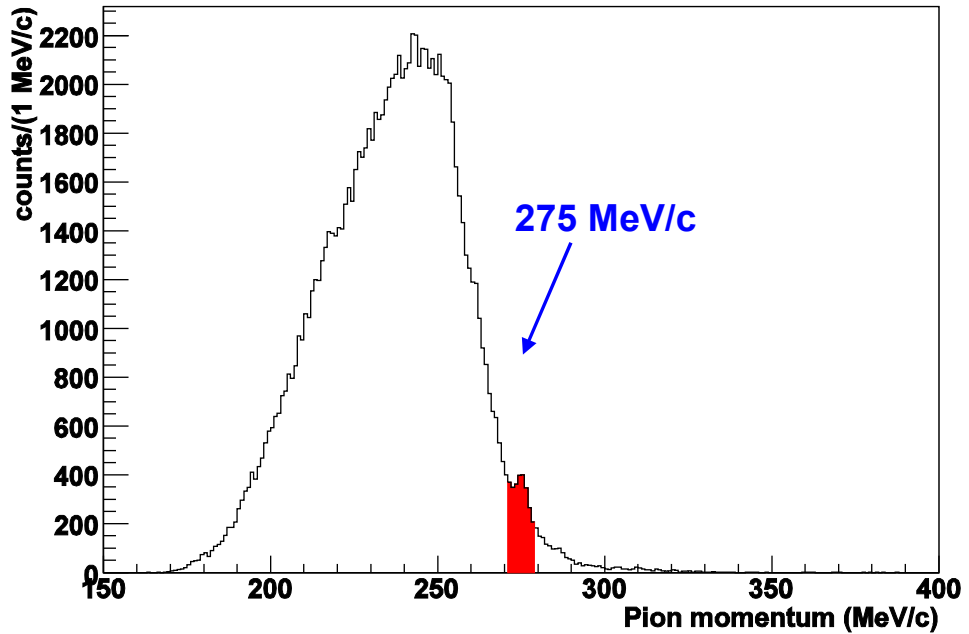






# Spettro di impulso dei $\pi^-$ per i bersagli di ${}^7\text{Li}$ targets (1)

Spettro inclusivo dei pioni negativi  
(somma dei due bersagli di  ${}^7\text{Li}$ )

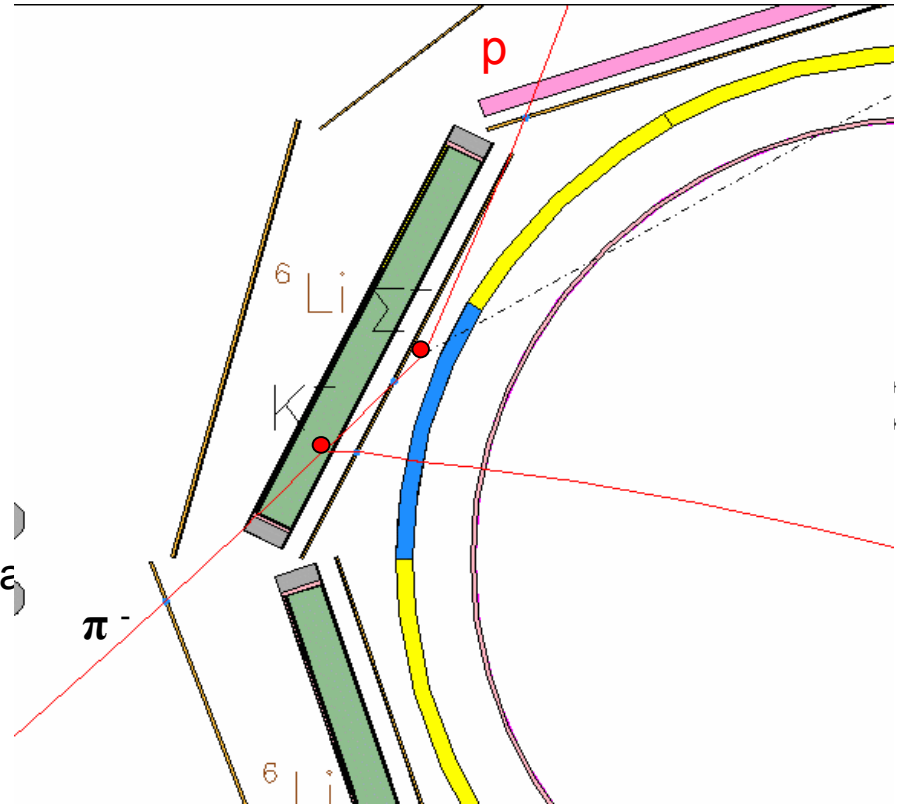


- impulso ricostruito e corretto per la perdita di energia nei materiali attraversati
- tagli di qualita' sul fit della traccia

## Riduzione del fondo

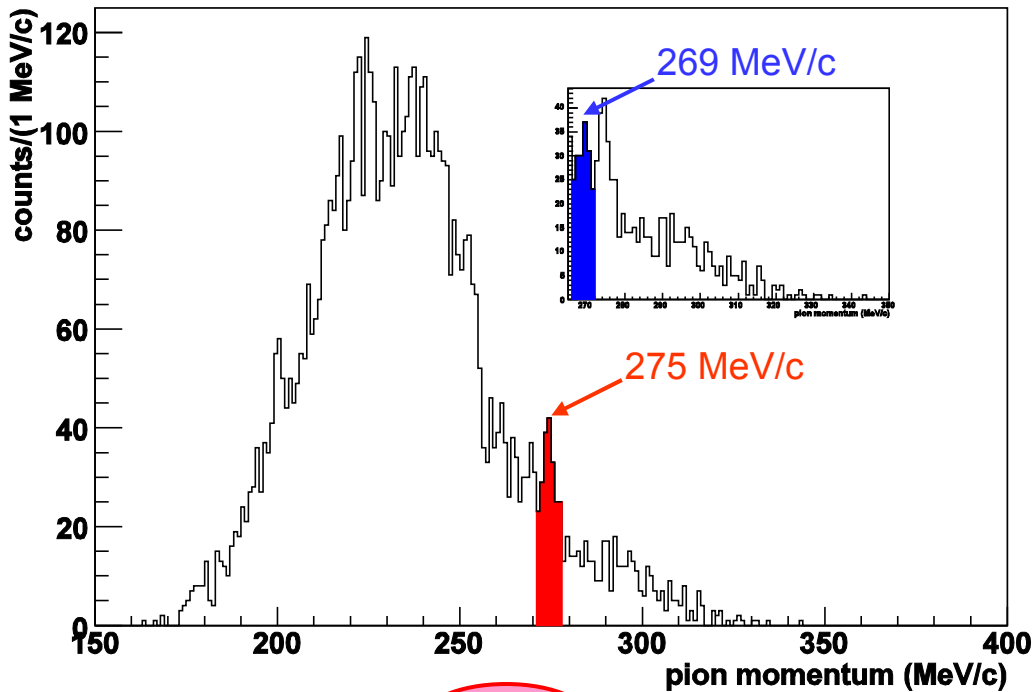
Taglio sulla distanza tra il punto estrapolato della traccia del  $\pi^-$  e il vertice del  $\text{K}^-$  ( $d < 0.3 \text{ cm}$ )

→ Ottimizzazione del rapporto segnale/rumore

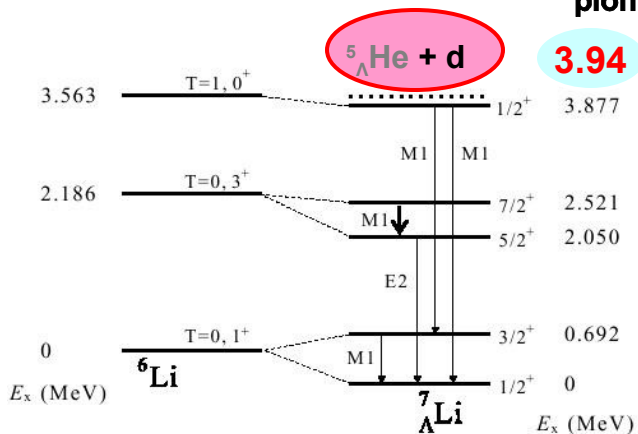




# Spettro di impulso dei $\pi^-$ per i bersagli di ${}^7\text{Li}$ (2)



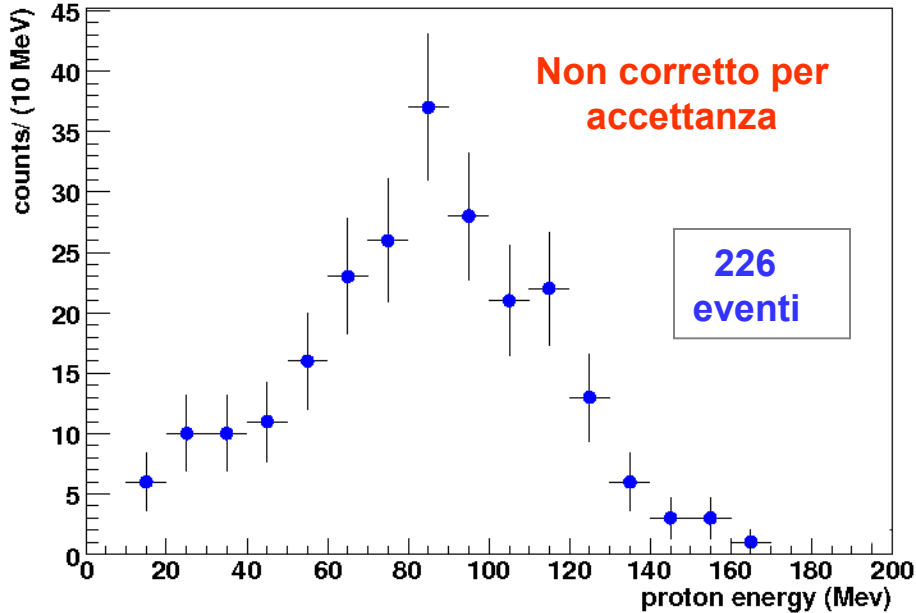
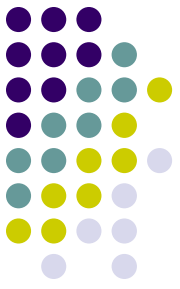
- Spettro dei pioni negativi per eventi con un protone in coincidenza
- Oltre al picco relativo allo stato fondamentale (275 MeV/c) emerge un secondo picco (269 MeV/c)
- $K^-$  stoppato in un bersaglio di  ${}^7\text{Li}$ :  ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$ , ( ${}^6_{\Lambda}\text{He} + p$ ), ( ${}^5_{\Lambda}\text{He} + d$ ), ( ${}^4_{\Lambda}\text{He} + t$ ), ( ${}^3_{\Lambda}\text{He} + \alpha$ ).
- Sistemi ipernucleari con massa minore  $\rightarrow$



Valore di impulso massimo  
(272,67 MeV/c)

Sperimentalmente  
 $\Delta B_{\Lambda} = 3.98 \text{ MeV}$  <sup>10</sup>

# Spettri di protoni da NMWD del ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$ (1)

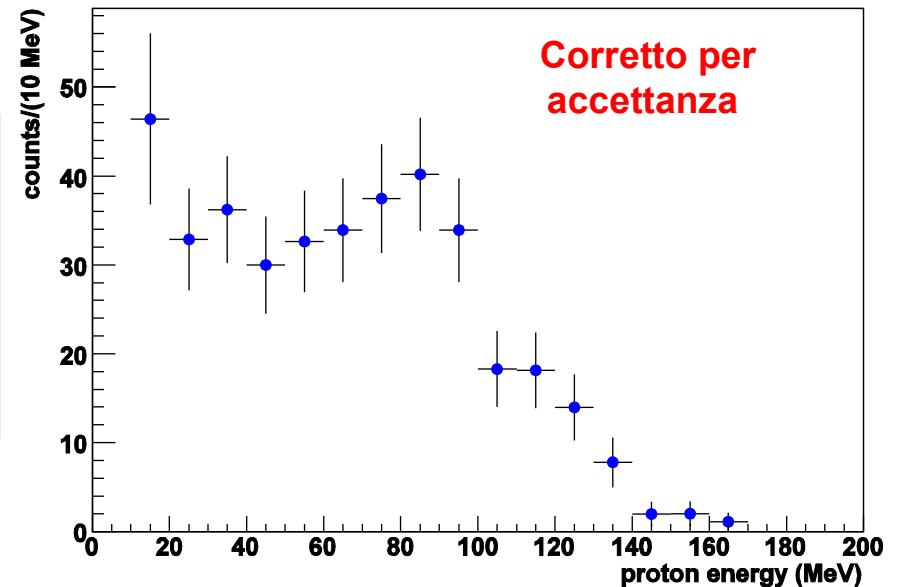


**Spettro di energia di protoni** in **coincidenza** con un  $\pi$  di formazione del  ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$  nello stato fondamentale.

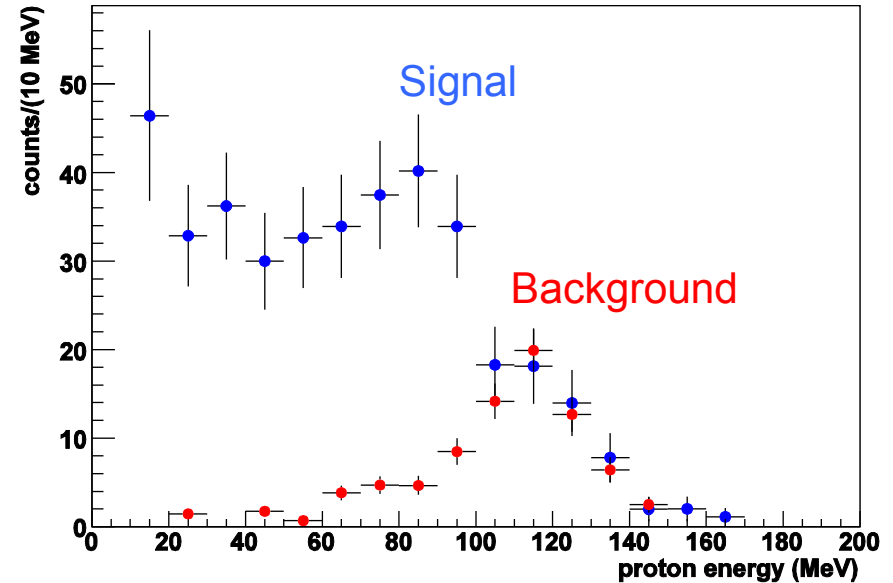
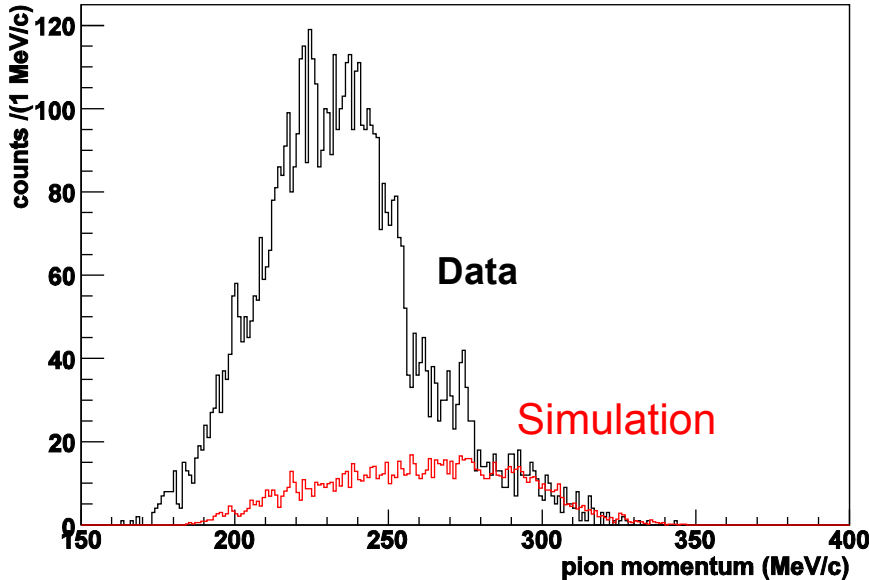
L'utilizzo di **bersagli sottili** e l'inclusione di **tracce corte** permette di **ridurre la soglia di energia** per i protoni.

Forma dello spettro a **15-40 MeV** importante per studiare gli effetti della **FSI** e il possibile assorbimento da due nucleoni.

**E' possibile studiare un range di energia mai studiato prima**

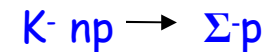


# Spettri di protoni da NMWD del ${}^7_{\text{A}}\text{Li}$ (2)



**Simulazione:** 4 milioni di eventi generati in tutto lo spettrometro  $\rightarrow$   $3.6 \times 10^5$  eventi con un  $\text{K}^-$  stoppato in un bersaglio di  ${}^7\text{Li}$

✓ Simulazione della reazione di fondo

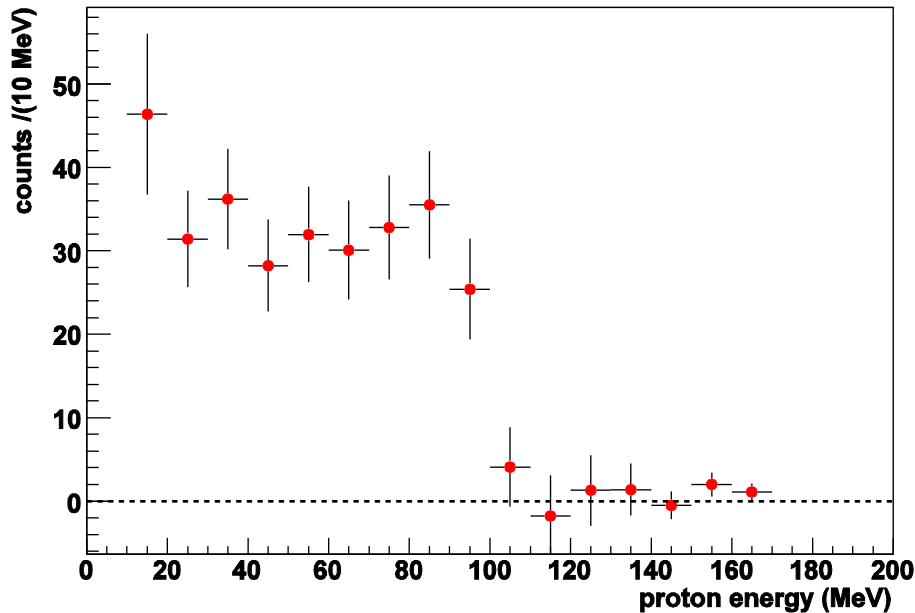
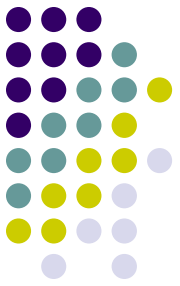


Seguita dal decadimento  $\Sigma^- \rightarrow \text{n}\pi^-$

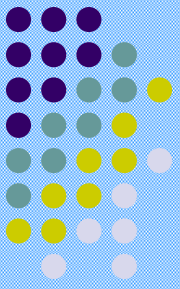
✓ i nucleoni hanno un impulso attribuito secondo la distribuzione di Fermi

✓ criteri di selezione e quality cuts usati per l'analisi dei dati reali

# ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$ NMWD



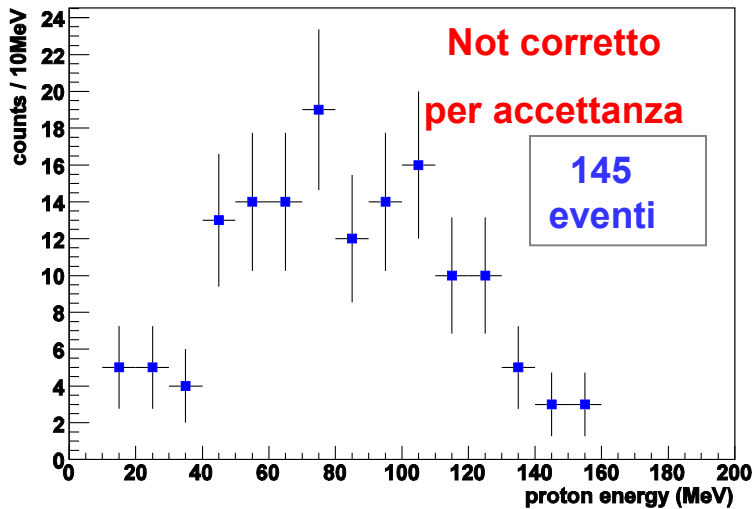
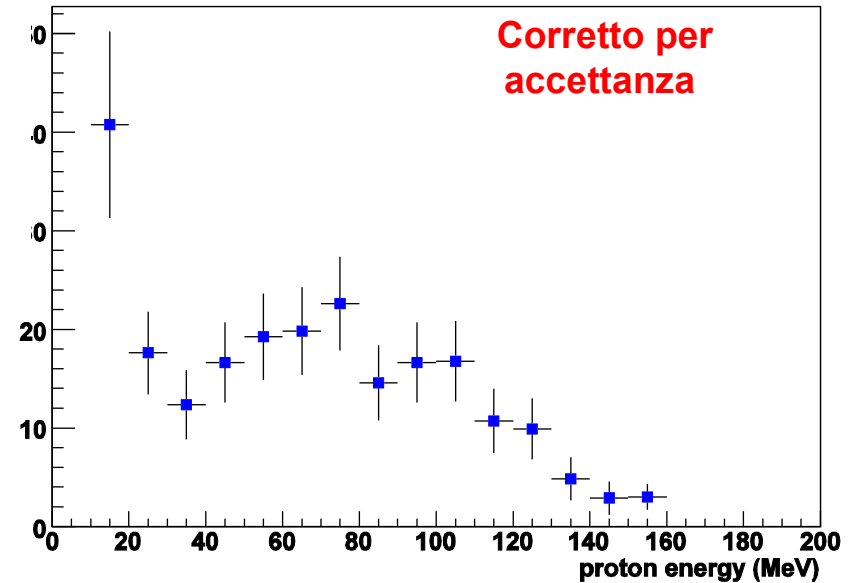
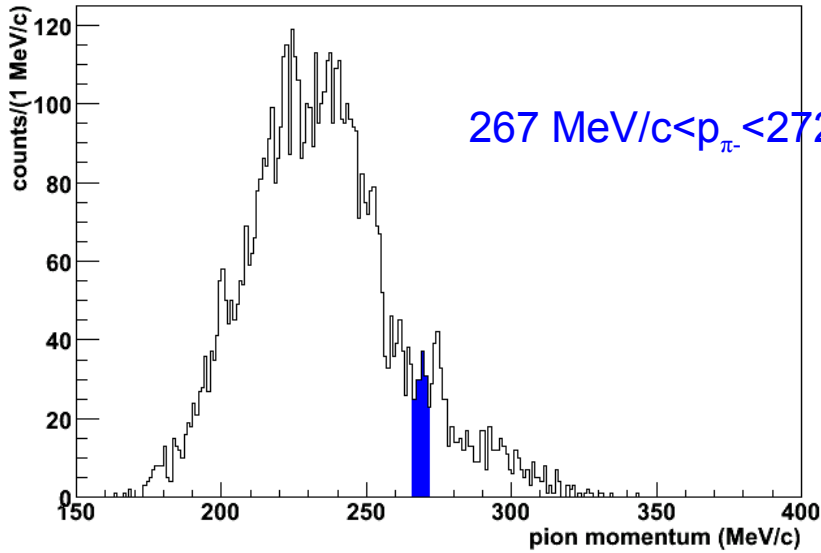
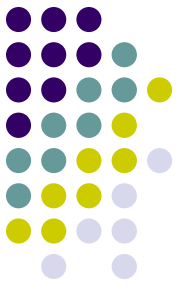
- **Spettro di energia di protoni** dal NMWD del  ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$
- La forma dello spettro a bassa energia e' dovuta al rescattering del protone dentro il nucleo (**FSI**)
- La FSI non e' cosi' forte da eliminare il segnale a 80 MeV.
- Errori statistici dovuti all'errore sul calcolo dell'accettanza e alla sottrazione del fondo.



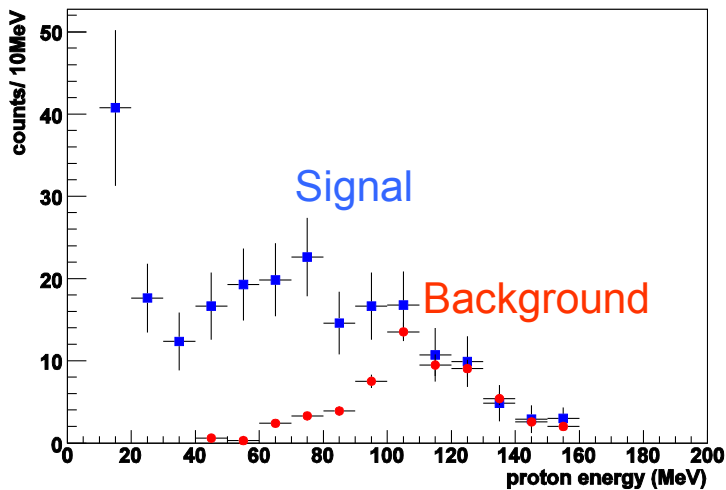
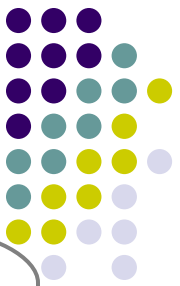
Spettri di energia di protoni da  
decadimento non mesonico del



# Spettri di protoni da NMWD del $^5\text{He}$ con bersagli di $^7\text{Li}$



# Spettri di protoni da NMWD del $^5_{\Lambda}\text{He}$

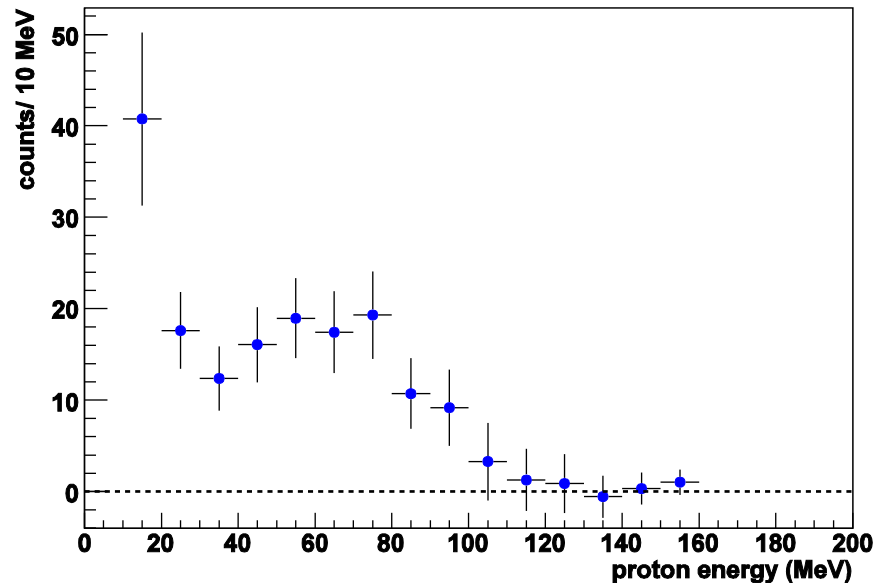


Il fondo per  $^5_{\Lambda}\text{He}$  e' stato valutato utilizzando la simulazione del canale di **reazione K-np** e sottraendo lo spettro dei protoni in coincidenza con un  $\pi^-$  avente impulso nella regione **267-272 MeV/c**

■ **Spettro di energia di protoni** del decadimento non mesonico del  $^5_{\Lambda}\text{He}$  dopo la sottrazione del fondo

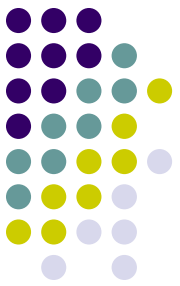
■ Effetto della **FSI** sulla forma dello spettro a bassa energia

■ Presenza del segnale a 80 MeV (meta' del Q-value della reazione)

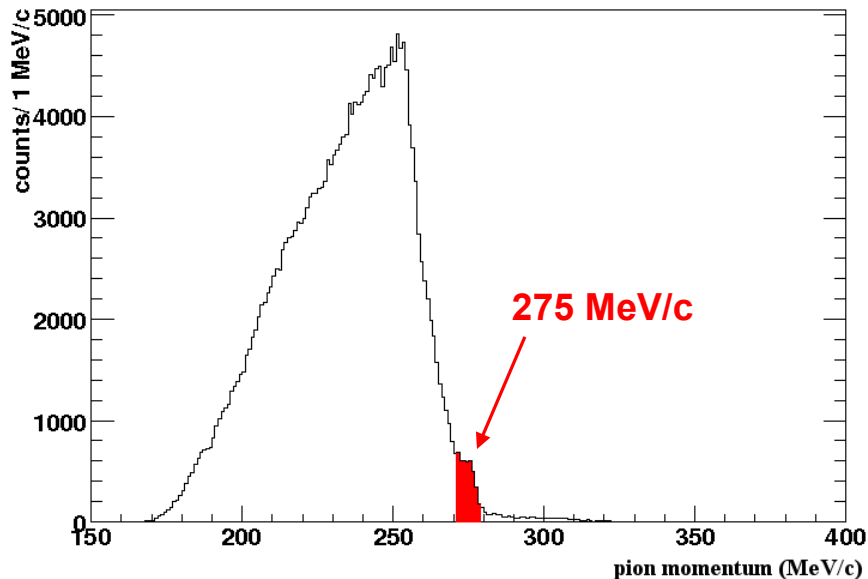




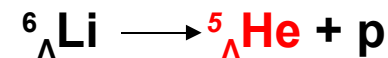
# Spettro di impulso dei $\pi^-$ per i bersagli di ${}^6\text{Li}$ (1)



Spettro inclusivo dei pioni negativi  
(somma dei due bersagli di  ${}^6\text{Li}$ )

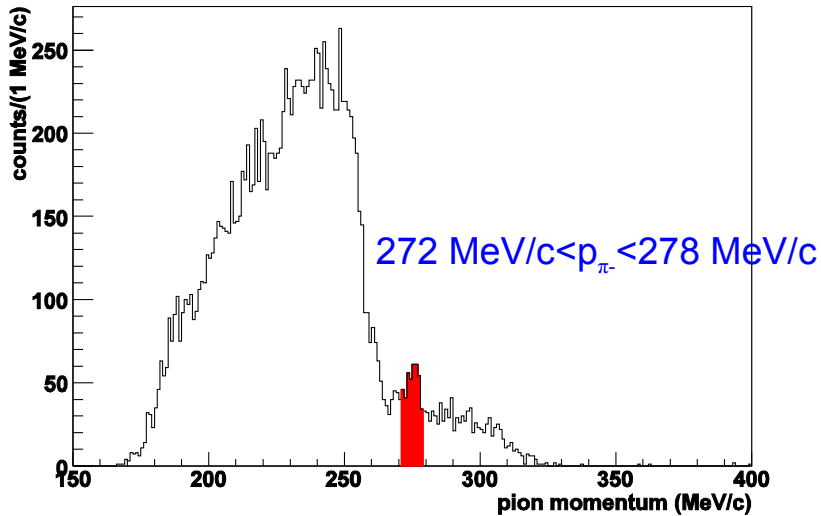
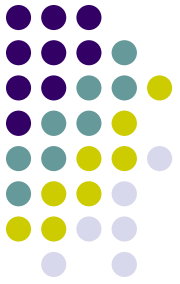


- impulso ricostruito e corretto per la perdita di energia nei materiali attraversati
- tagli di qualità sul fit della traccia
- La regione di impulso selezionata in rosso corrisponde alla formazione del  ${}^6_{\Lambda}\text{Li}$  nello **stato fondamentale** ( $272 \text{ MeV}/c < p_{\pi} < 278 \text{ MeV}/c$ ).
- Lo stato fondamentale del  ${}^6_{\Lambda}\text{Li}$  è “proton unbound” infatti decade in



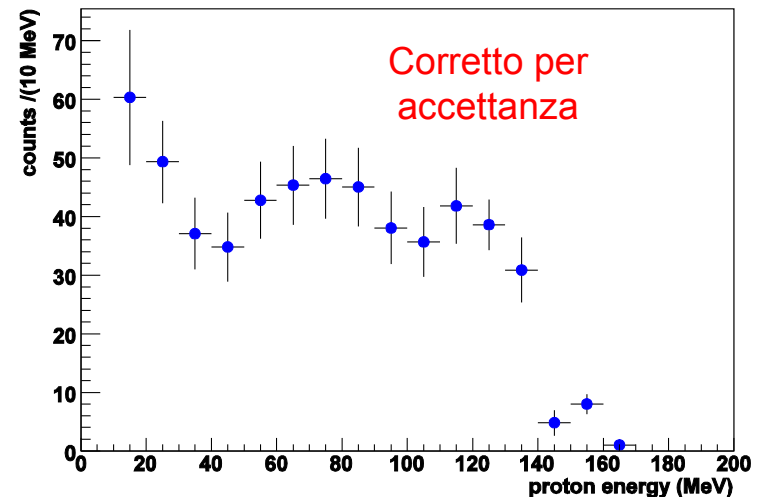
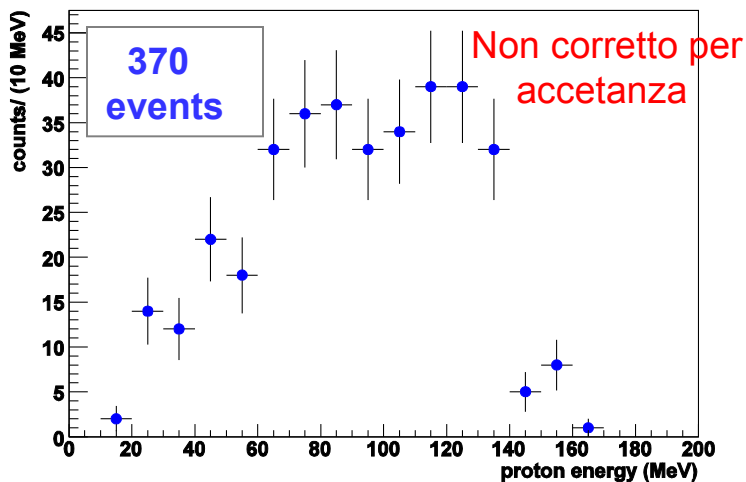
- Taglio sulla distanza tra il punto estrapolato della traccia del  $\pi^-$  e il vertice del  $K^-$  ( $d < 0.25 \text{ cm}$ )

# Spettri di protoni da NMWD del ${}^5_{\Lambda}\text{He}$ con bersagli di ${}^6\text{Li}$

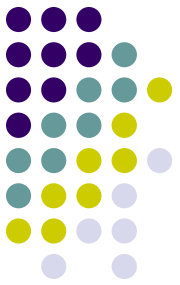


Spettro dei pioni negativi per eventi con un protone in coincidenza

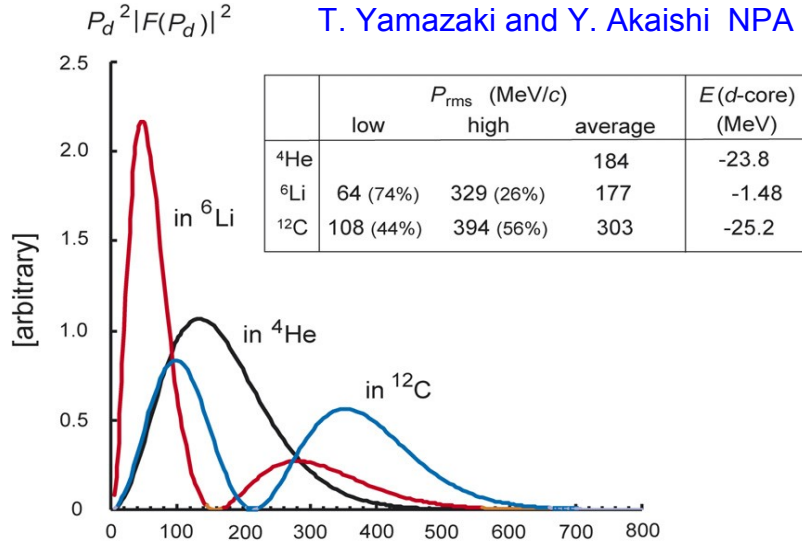
- un picco emerge a **275 MeV/c** (**state fondamentale**)
- Lo **spettro di protoni** mostra una forma diversa da quella del  ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$
- La differenza puo' essere attribuita alla **struttura a cluster** del nucleo del  ${}^6\text{Li}$



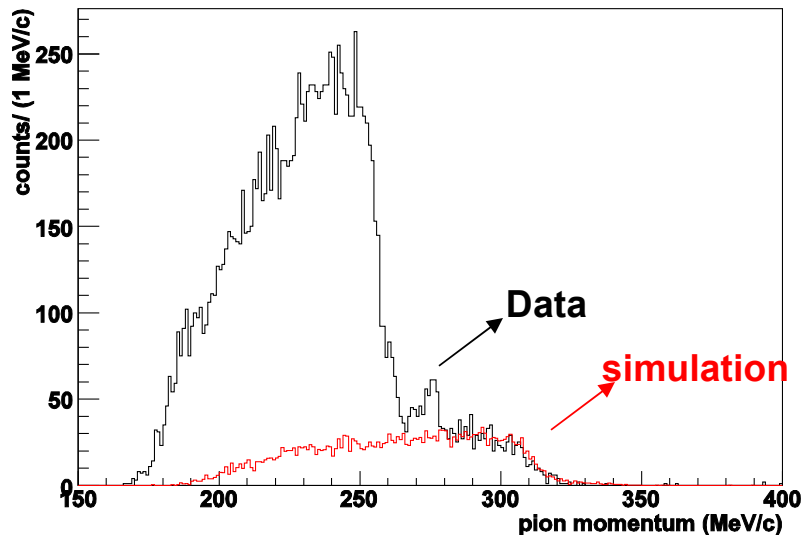
# Studio del fondo per i bersagli di ${}^6\text{Li}$



T. Yamazaki and Y. Akaishi NPA 792 (2007) 229



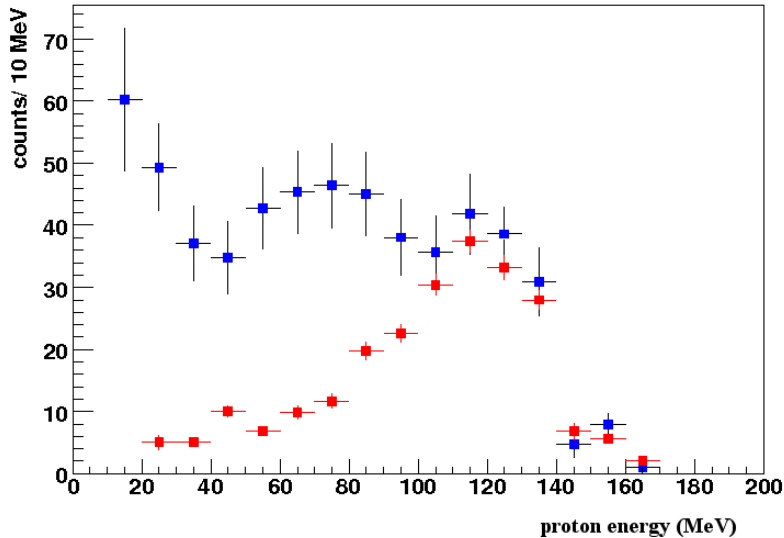
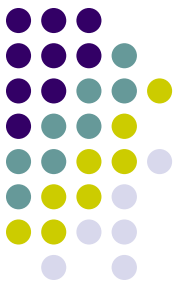
- ✓ La struttura a due cluster del  ${}^6\text{Li}$  ( $\alpha+d$ ) e' ben nota ed e' stata osservata in reazioni in volo ( $\pi^+, 2p$ ) e reazioni a riposo ( $\pi^-, 2n$ )
- ✓ La simulazione della reazione di fondo tiene conto della distribuzione dell'impulso di un deutone in un nucleo di  ${}^6\text{Li}$



**Simulazione:** 3.5 milioni di eventi generati in tutto lo spettrometro →

$4 \times 10^5$  eventi con un  $K^-$  stoppato in un bersaglio di  ${}^7\text{Li}$

# Spettri di protoni da NMWD del ${}^5_{\Lambda}\text{He}$ con bersagli di ${}^6\text{Li}$



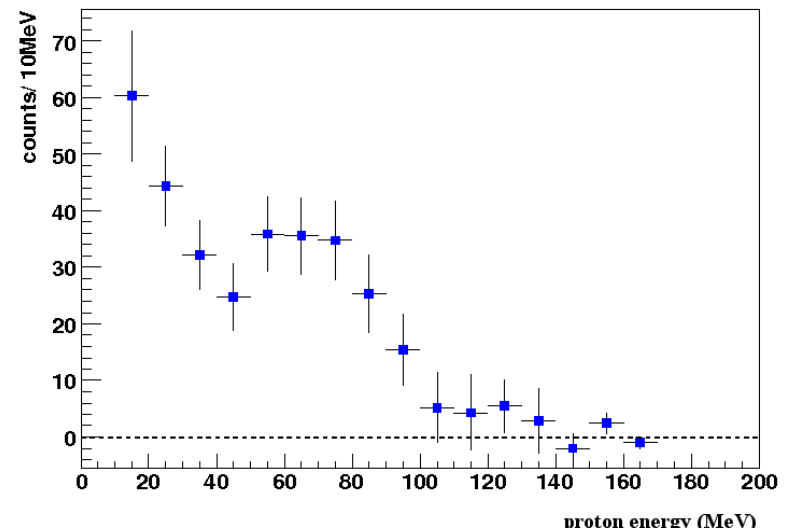
■ **spettro di energia di protoni** dal decadimento non-mesonico del  ${}^5_{\Lambda}\text{He}$  dopo la correzione per accettazione

■ **spettro di energia di protoni** rivelati in coincidenza con un  $\pi^-$  dei **dati simulati**

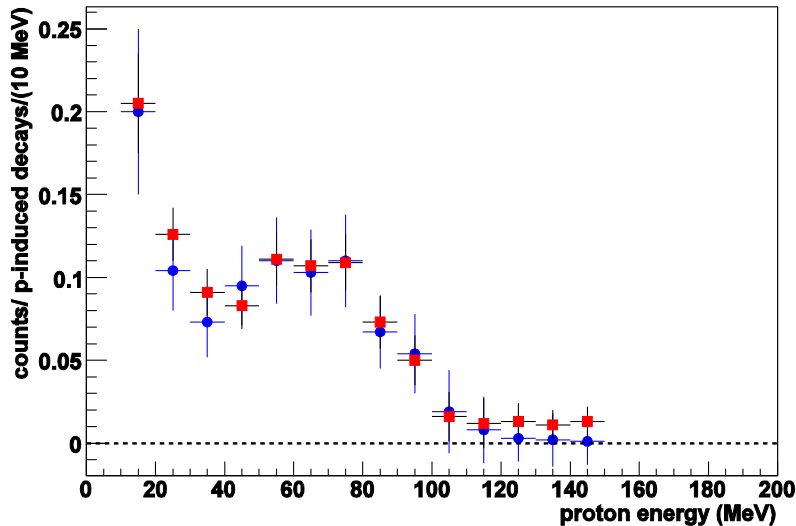
✓ **Spettro di energia di protoni** dal decadimento non mesonico del  ${}^5_{\Lambda}\text{He}$  dopo la sottrazione del fondo

✓ Contributo a bassa energia della **FSI** e del decadimento indotto da due nucleoni

✓ **Segnale a  $\sim 80$  MeV** chiaramente visibile



# NMWD del $^5_{\Lambda}\text{He}$



■ **spettro di energia di protoni dai bersagli di  $^7\text{Li}$**

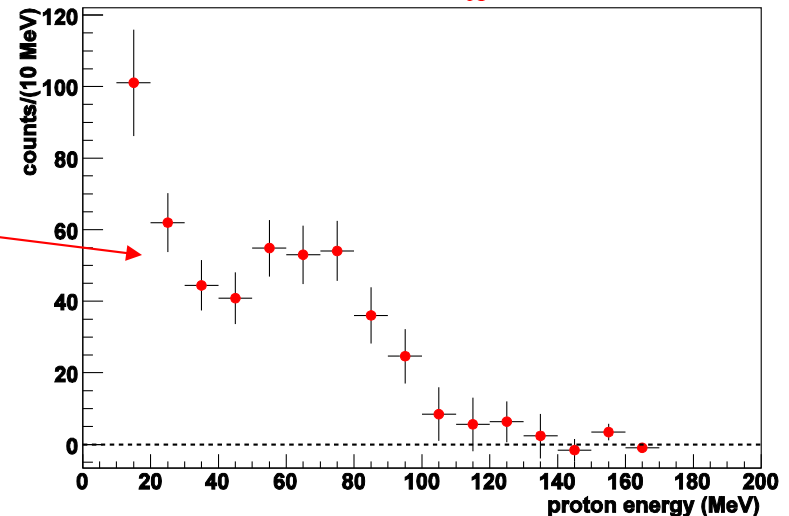
■ **spettro di energia di protoni dai bersagli di  $^6\text{Li}$**

Spettri normalizzati in area oltre 15 MeV

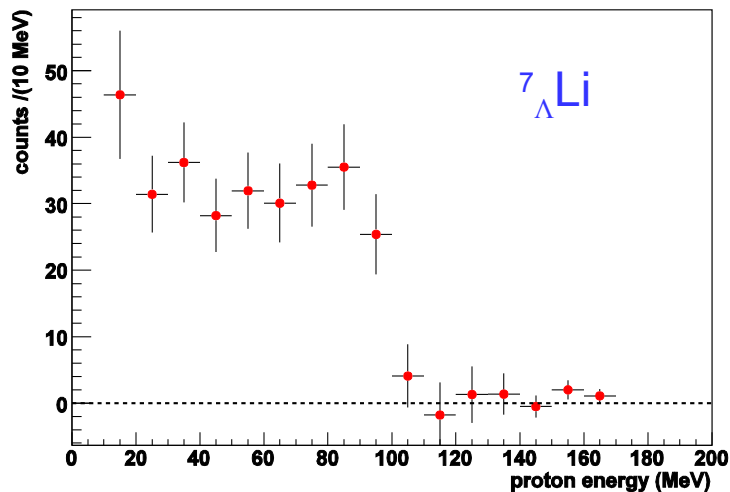
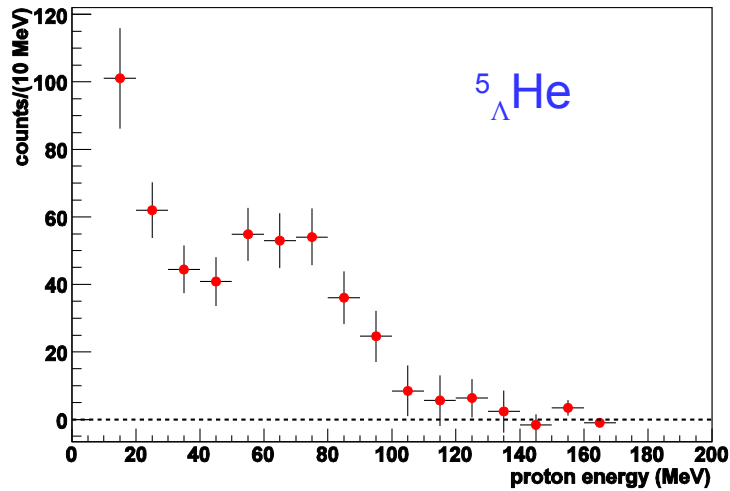
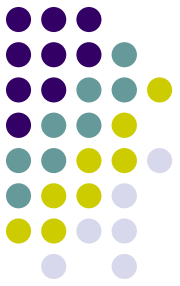
Spettro finale dal decadimento non mesonico del  $^5_{\Lambda}\text{He}$

■ Kolmogorov-Smirnov test: probabilita' di compatibilita'  $P=0.89$  con un livello di confidenza del 95%

■ I due spettri sono compatibili quindi possono essere sommati

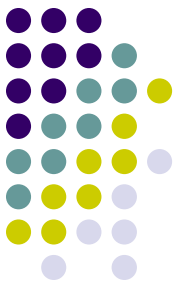


# Prima misura diretta di $\Gamma_p$

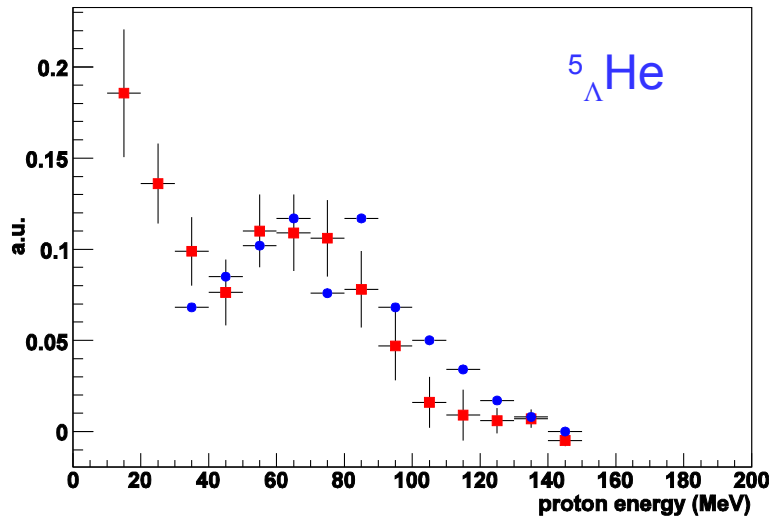


Target	Hypernucleus	$\Gamma_p$ (units of $\Gamma_{\Lambda}$ )
${}^6\text{Li}$	${}^5_{\Lambda}\text{He}$	$0.28 \pm 0.09$
${}^7\text{Li}$	${}^7_{\Lambda}\text{Li}$	$0.37 \pm 0.09$
${}^7\text{Li}$	${}^5_{\Lambda}\text{He}$	$0.21 \pm 0.12$
Media pesata dei valori del ${}^6\text{Li}$ e del ${}^7\text{Li}$	${}^5_{\Lambda}\text{He}$	$0.25 \pm 0.07$

# FINUDA vs KEK e confronto con i calcoli teorici



(Phys. Lett. B 597 [2004] 249-256)



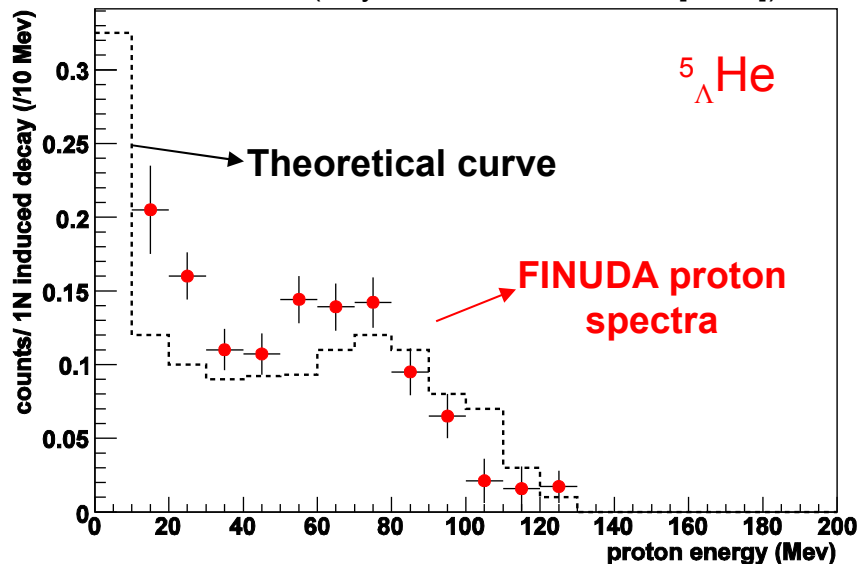
• spettro di energia di protoni ottenuti al KEK

• spettro di energia di protoni dai dati di FINUDA

■ I due spettri sono normalizzati in area oltre 35 MeV

■ Kolmogorov-Smirnov test:  $P=0.78$  con un livello di confidenza del 75% → buona compatibilità'

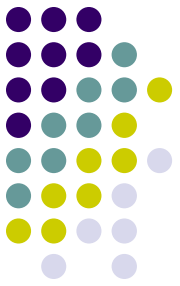
(Phys. Rev. C 69 054603 [2004])



Kolmogorov-Smirnov test:  $P=0.65$  con un livello di confidenza del 75%

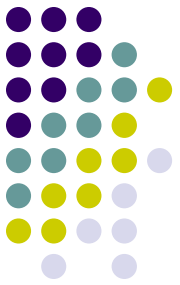
${}^5_{\Lambda}\text{He}$  : l'utilizzo di tecniche Monte Carlo per ipernuclei leggeri e' discutibile

# Conclusioni



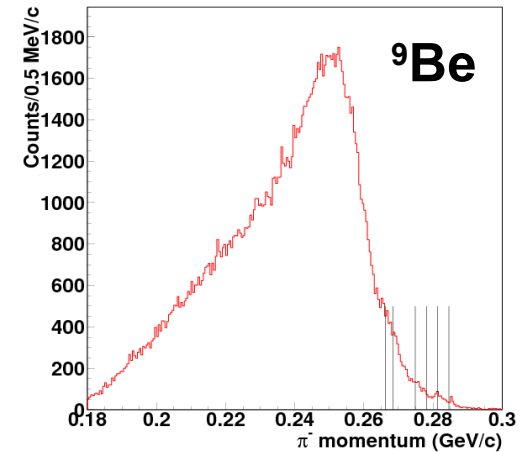
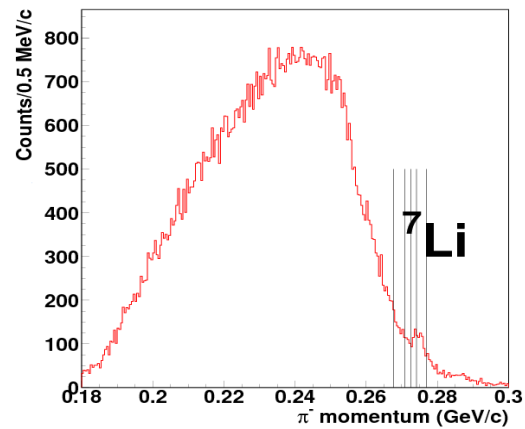
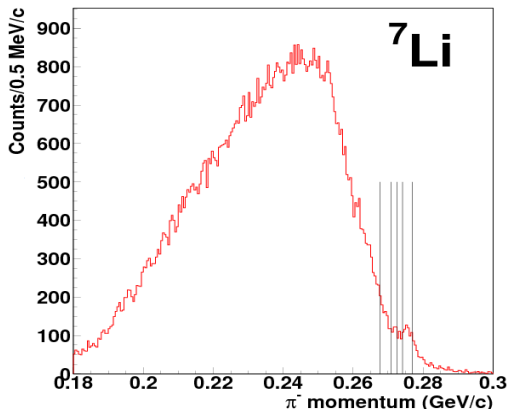
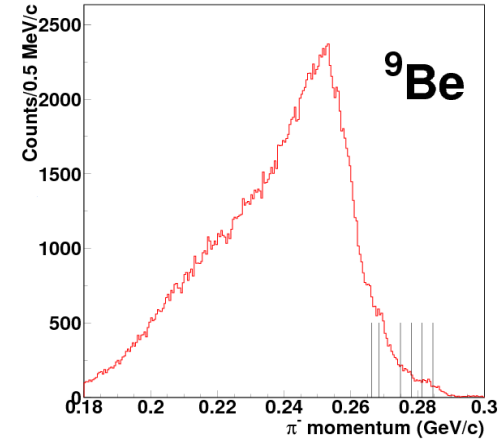
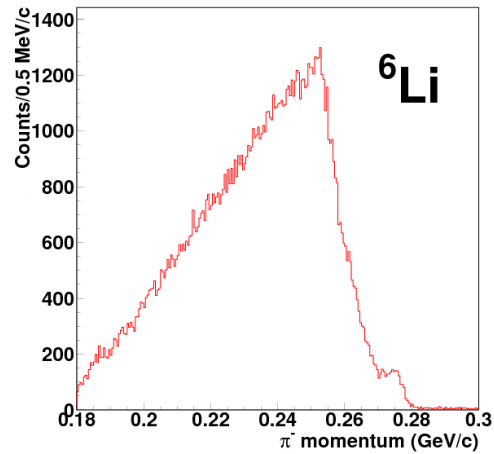
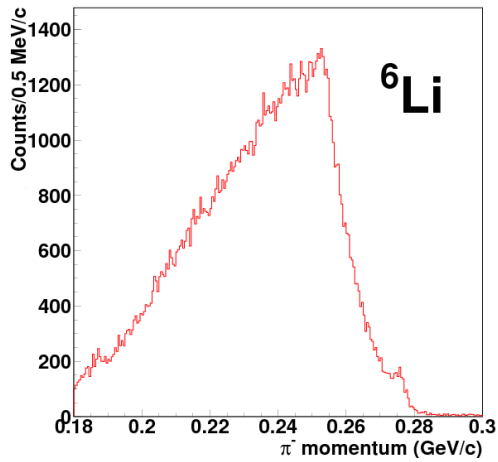
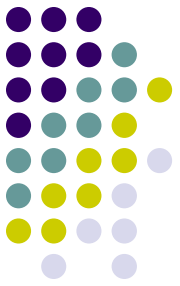
- **Secondo run** concluso in giugno 2007 raccogliendo la luminosita' attesa
- Dall'analisi dei dati raccolti e' stato condotto uno studio completo del **NMWD indotto da un protone** per  ${}^5_{\Lambda}\text{He}$  e  ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$  raggiungendo risultati molto interessanti
- Introducendo nell'analisi dei dati "**tracce corte**" nella selezione dei protoni e' stata abbassata la **soglia in energia a 15 MeV** permettendo lo studio di una regione mai studiata prima
- **Prima misura diretta** sperimentale dell'ampiezza di decadimento  $\Gamma_p$  per  ${}^5_{\Lambda}\text{He}$  e  ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$ . In particolare il valore di  $\Gamma_p$  per il  ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$  e' stato misurato per la prima volta.
- Ulteriori analisi in corso



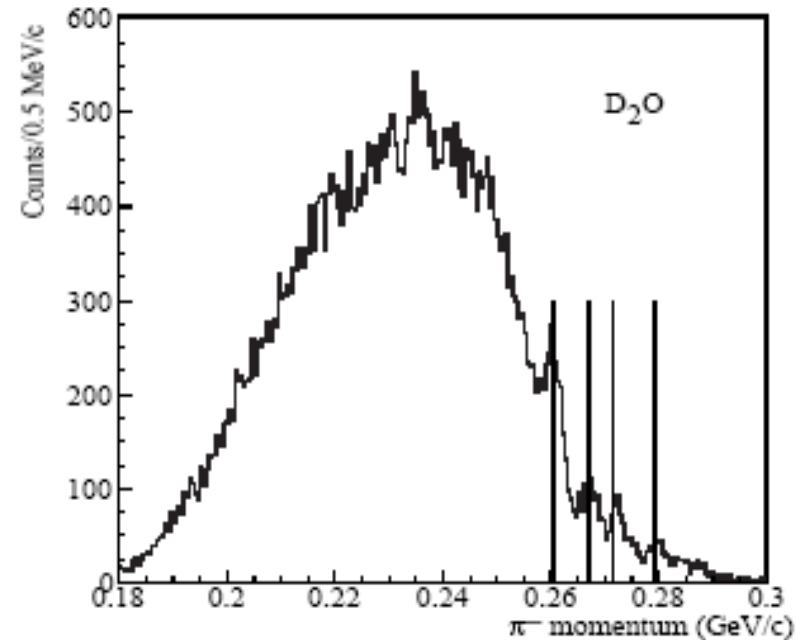
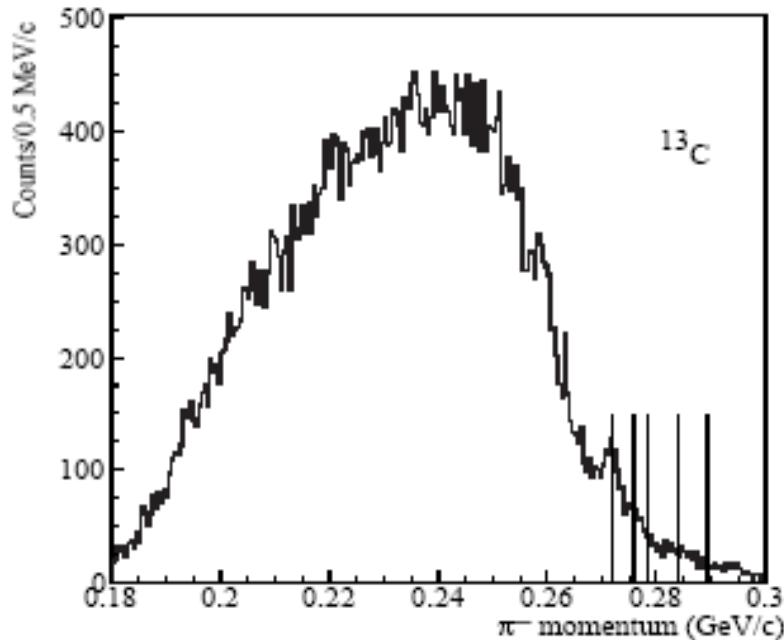
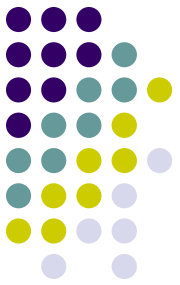


# BACK-UP

# Hypernuclear Spectroscopy

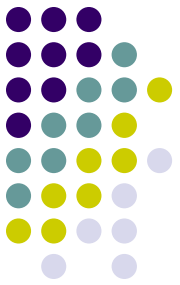


# Hypernuclear Spectroscopy



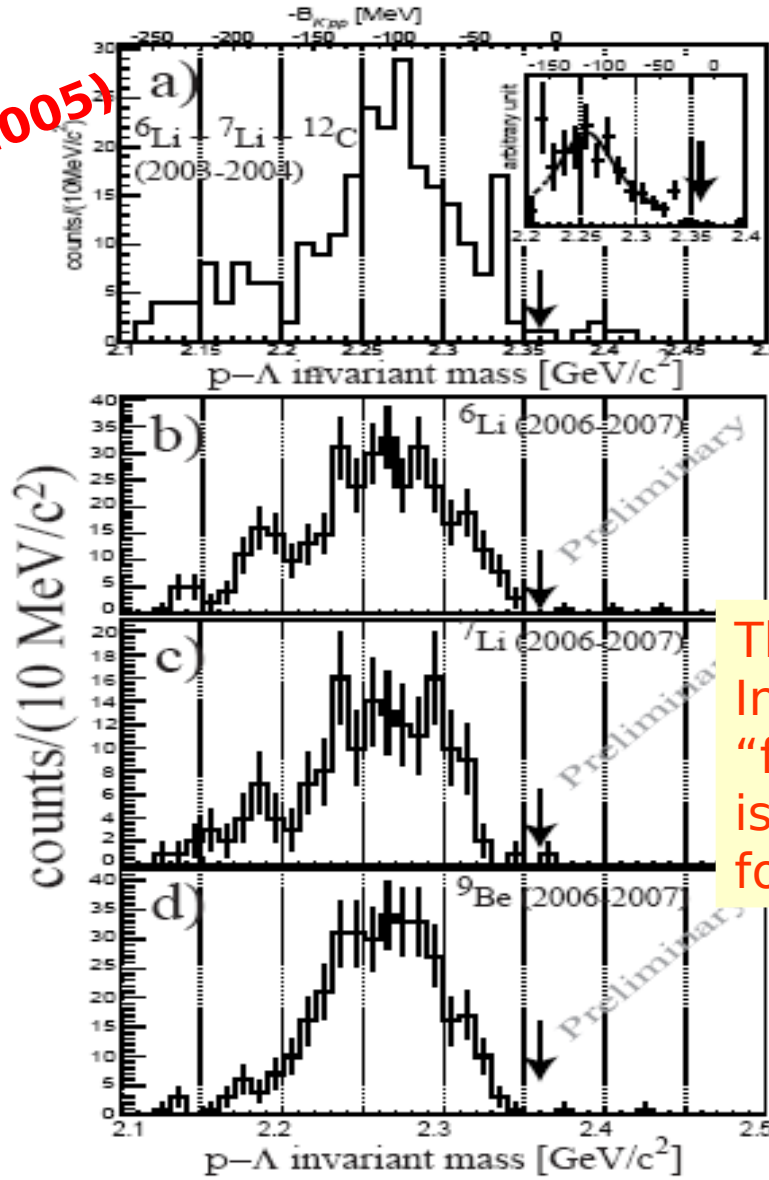
$^{13}\text{C}$   $\pi^-$  spectrum clearly shows the excited  $\pi^-$  spectrum from the  $\text{D}_2\text{O}$  target clearly show Hypernuclear level expected at 272 MeV/c all the Hypernuclear levels expected from  $^{16}\text{O}$

# K-pp clusters I

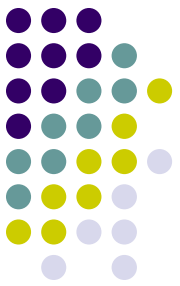


Phys. Rev. Lett. 94 (2005)  
212303

Data taking  
2006-2007

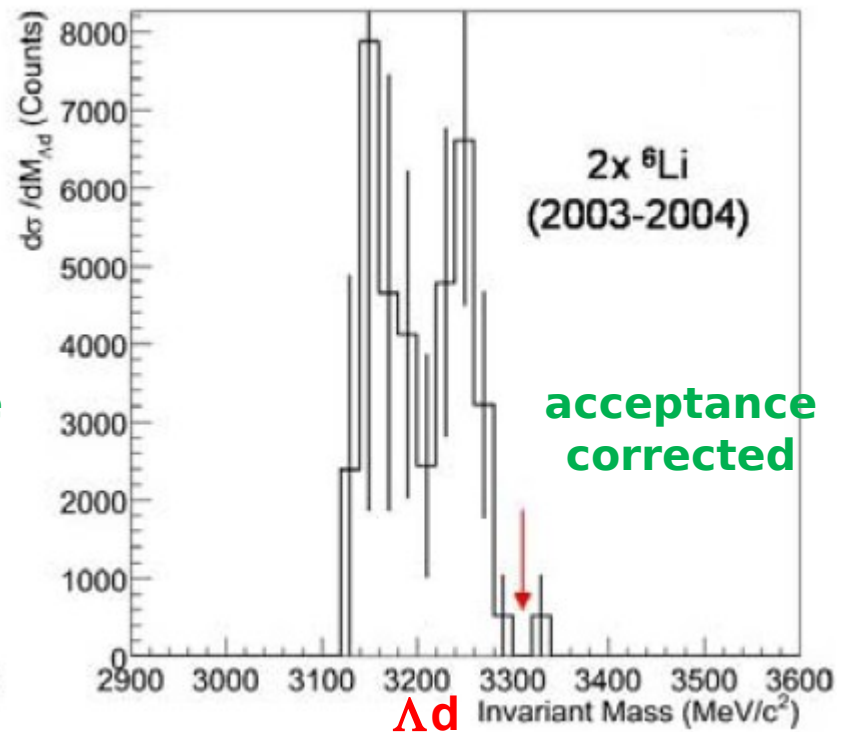
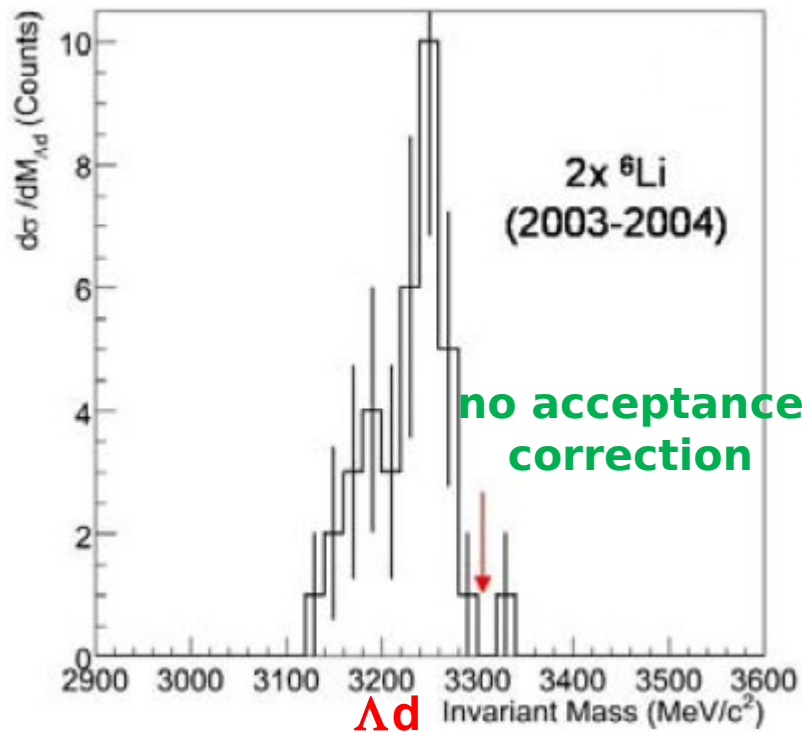


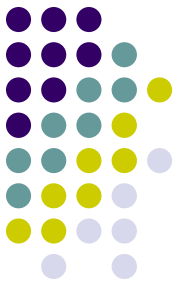
The "bump" in the p $\Lambda$  Inv. Mass. below the "free" K-pp threshold is confirmed, separately for each light target



## K-p (pn) clusters

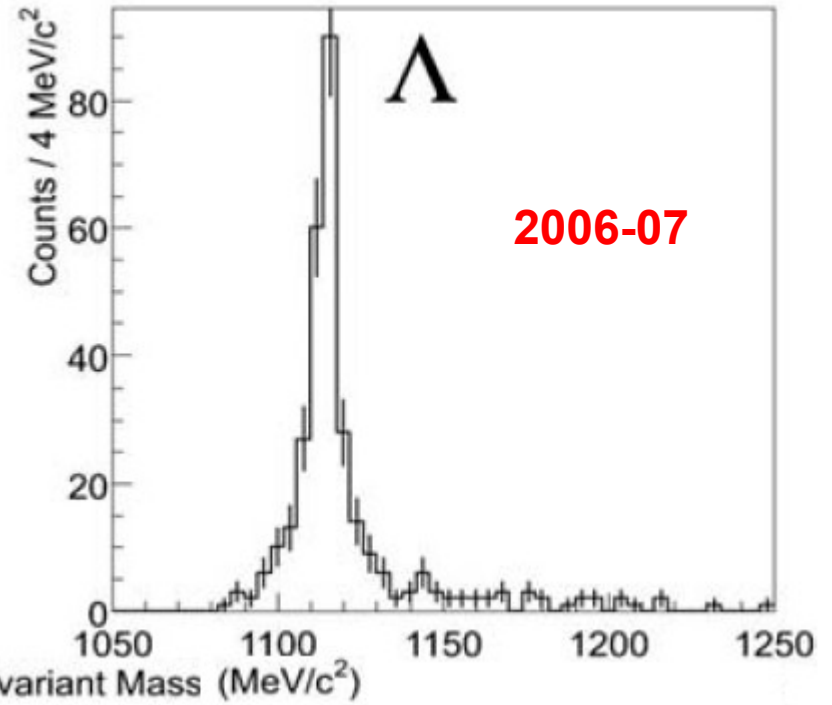
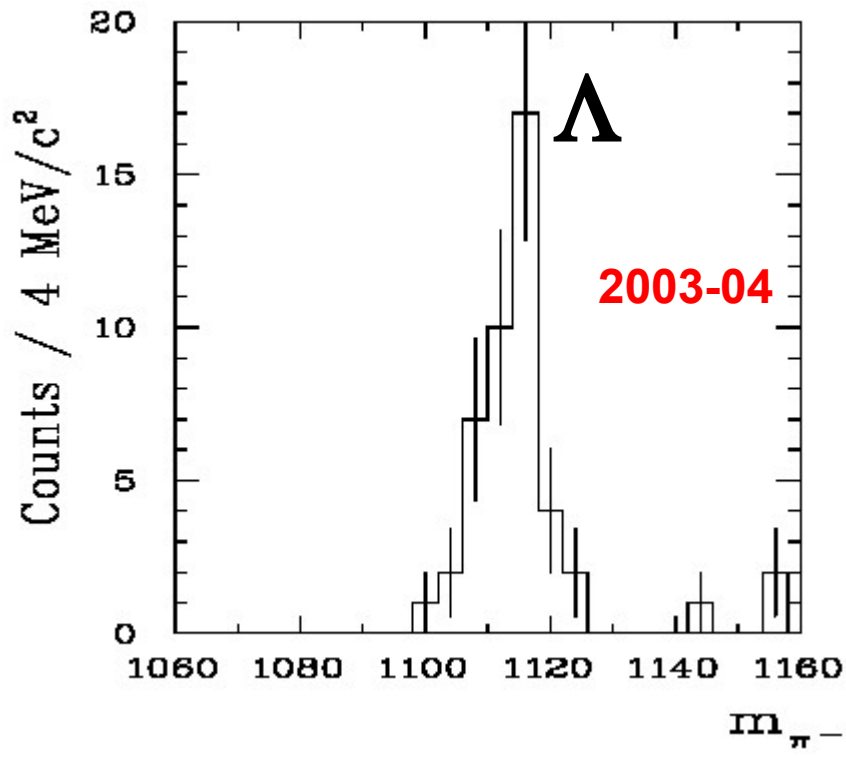
### $\Delta d$ invariant mass distributions



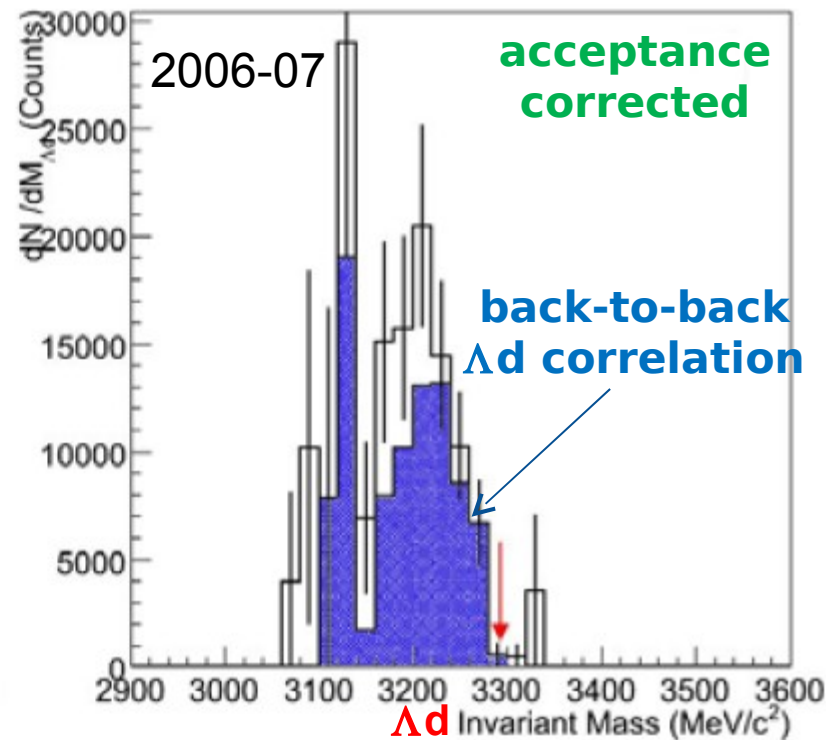
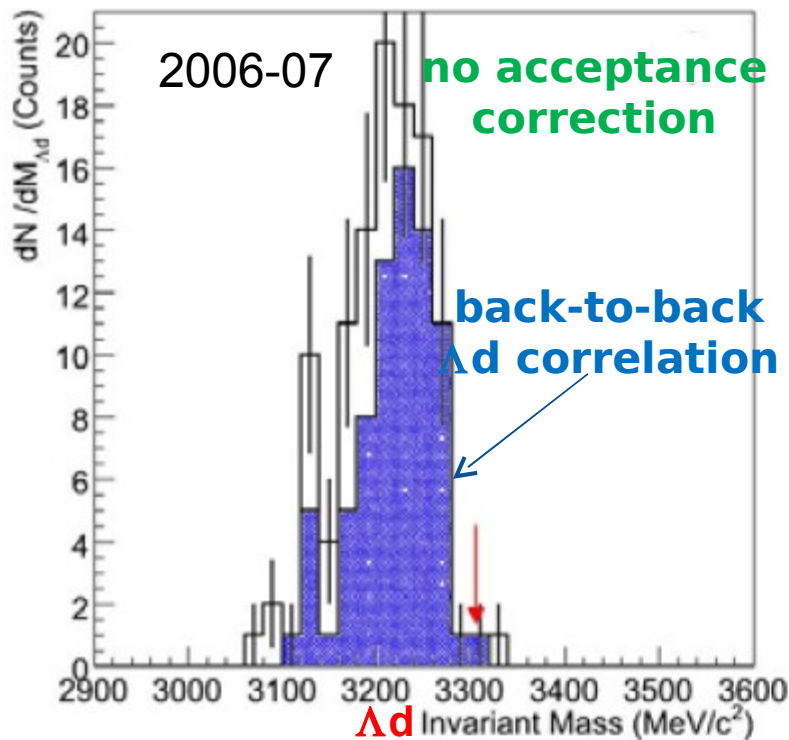
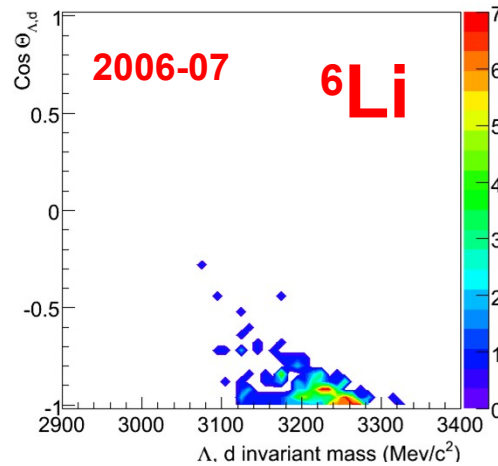
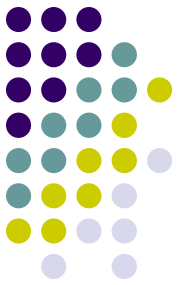


# $\Lambda$ selection in coincidence with $d$ emission

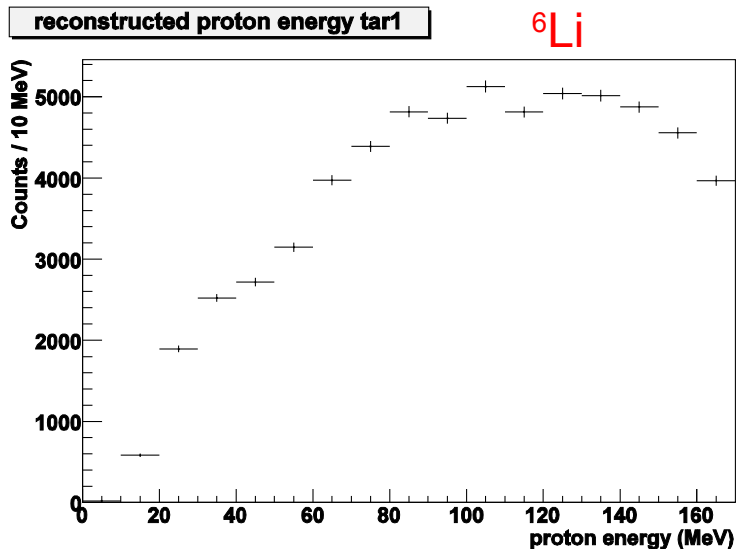
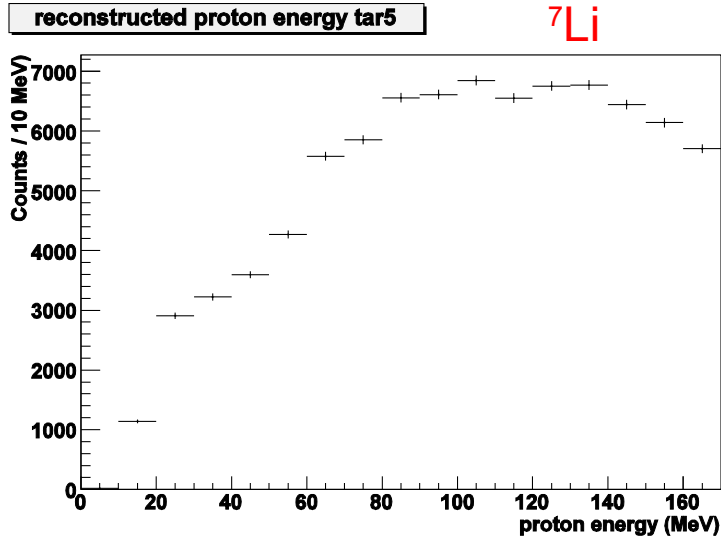
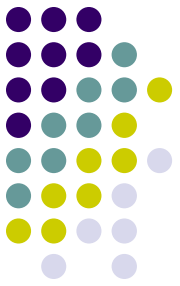
${}^6\text{Li}$



# $\Lambda d$ invariant mass distribution



# Calcolo dell'accettanza per i protoni



Generazione di 40 milioni di eventi:

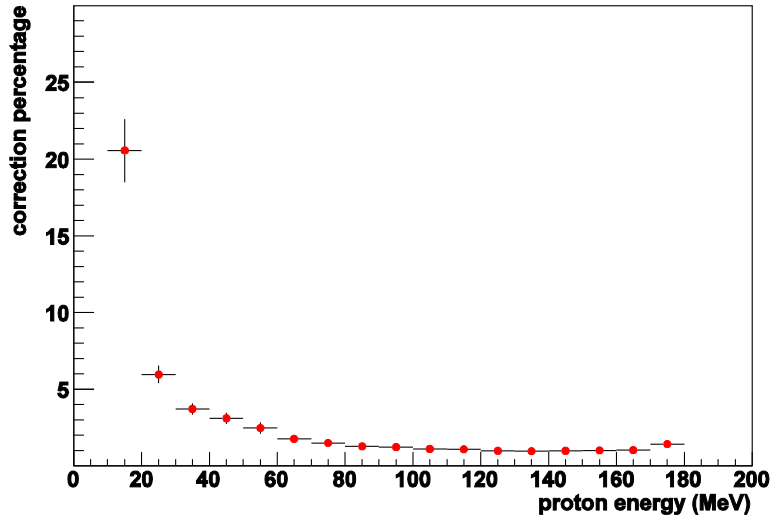
- Per ogni  $K^-$  stoppato nel bersaglio viene generato un protone
- protone emesso isotropicamente nello spettrometro FINUDA
- generazione di uno spettro di impulso piatto
- ampio range di impulso: da 100 MeV/c a 600 MeV/c



# Funzione di accettazione



reconstruction correction tar 1



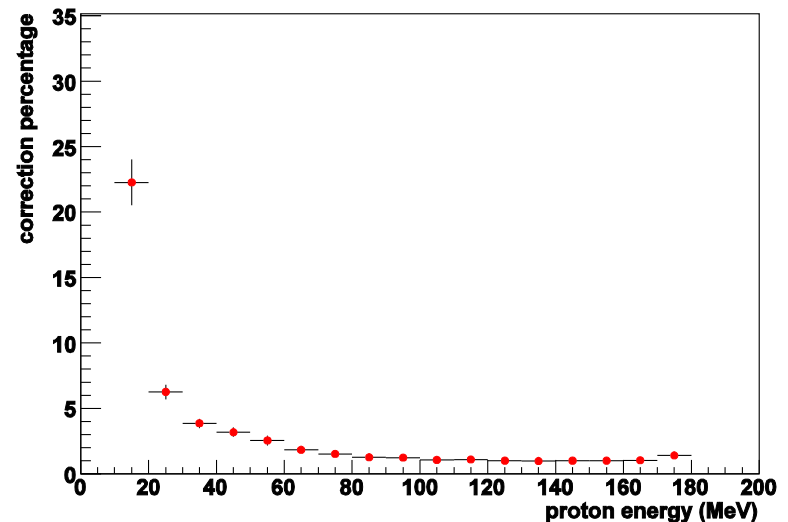
La **funzione di accettazione** dipende da:

- effetti geometrici
- efficienza dell'algoritmo di ricostruzione di FINUDA
- selezioni del trigger
- quality cuts

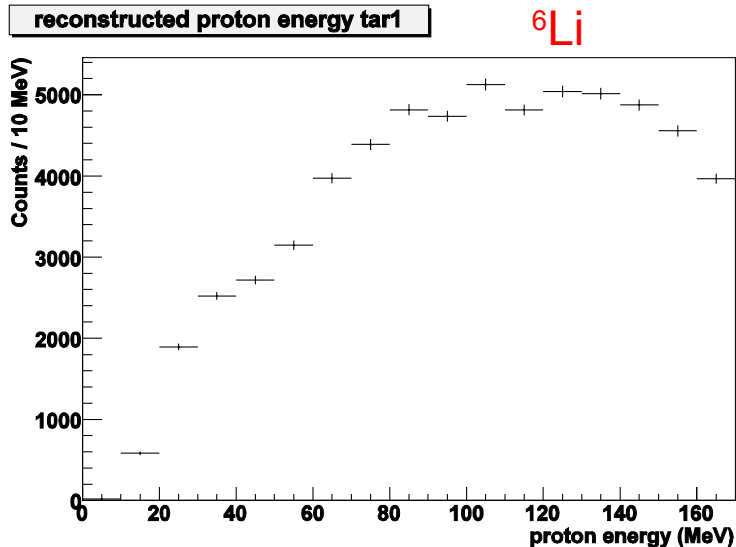
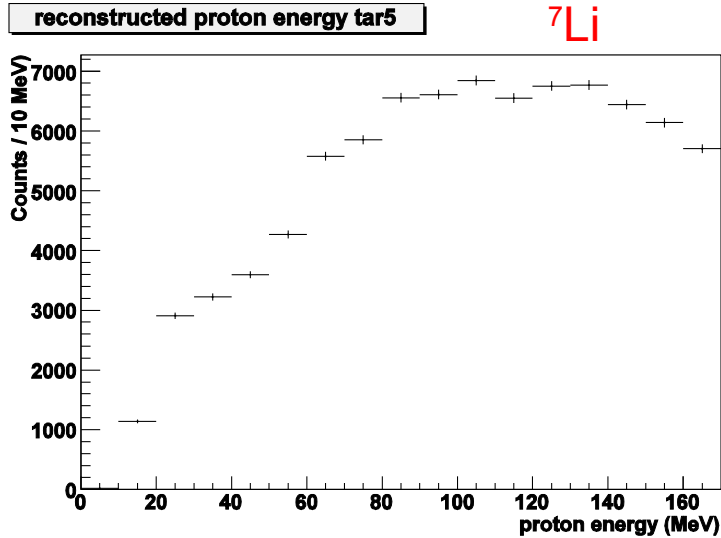
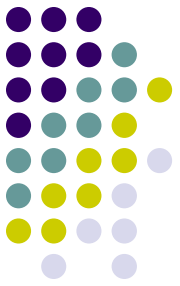
Rapporto tra il numero dei **protoni ricostruiti** e il numero degli **eventi generati**

Stessi criteri di selezione applicati agli eventi reali

reconstruction correction tar 5

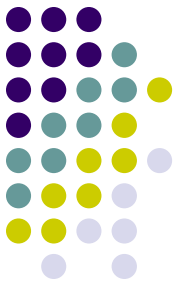


# FINUDA acceptance calculation



- Generation of :
- a proton is generated for each **K<sup>-</sup> stopped in a target**
  - proton emitted isotropically in the FINUDA spectrometer
  - generation of a
  - wide momentum range: from 100 MeV/c to 600 MeV/c

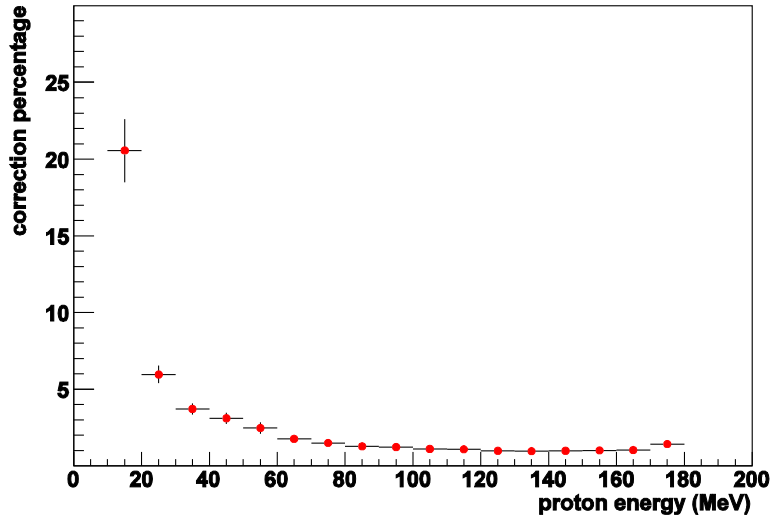
# FINUDA acceptance function



depends on:

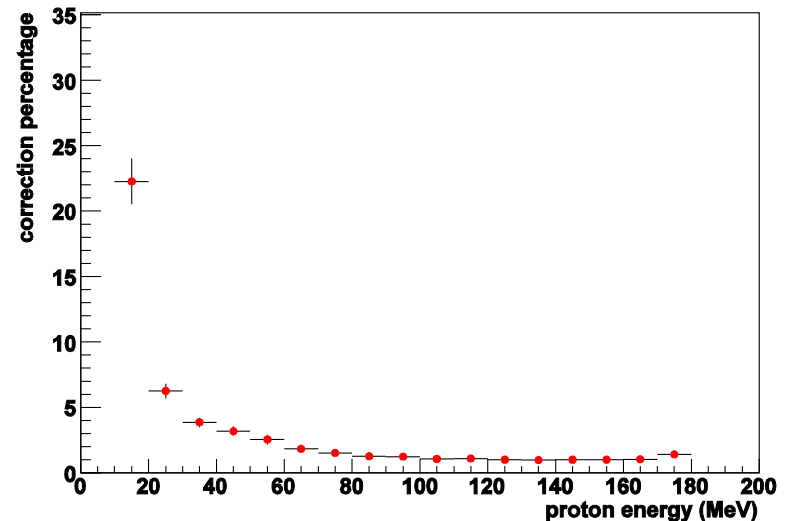
- The proton
- geometrical effects
- efficiency of the FINUDA reconstruction algorithm
- trigger selection
- quality cuts

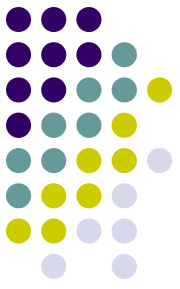
reconstruction correction tar 1



Ratio between the number of **reconstructed protons** and the number of **generated** events applying the same selection criteria applied to the real events

reconstruction correction tar 5

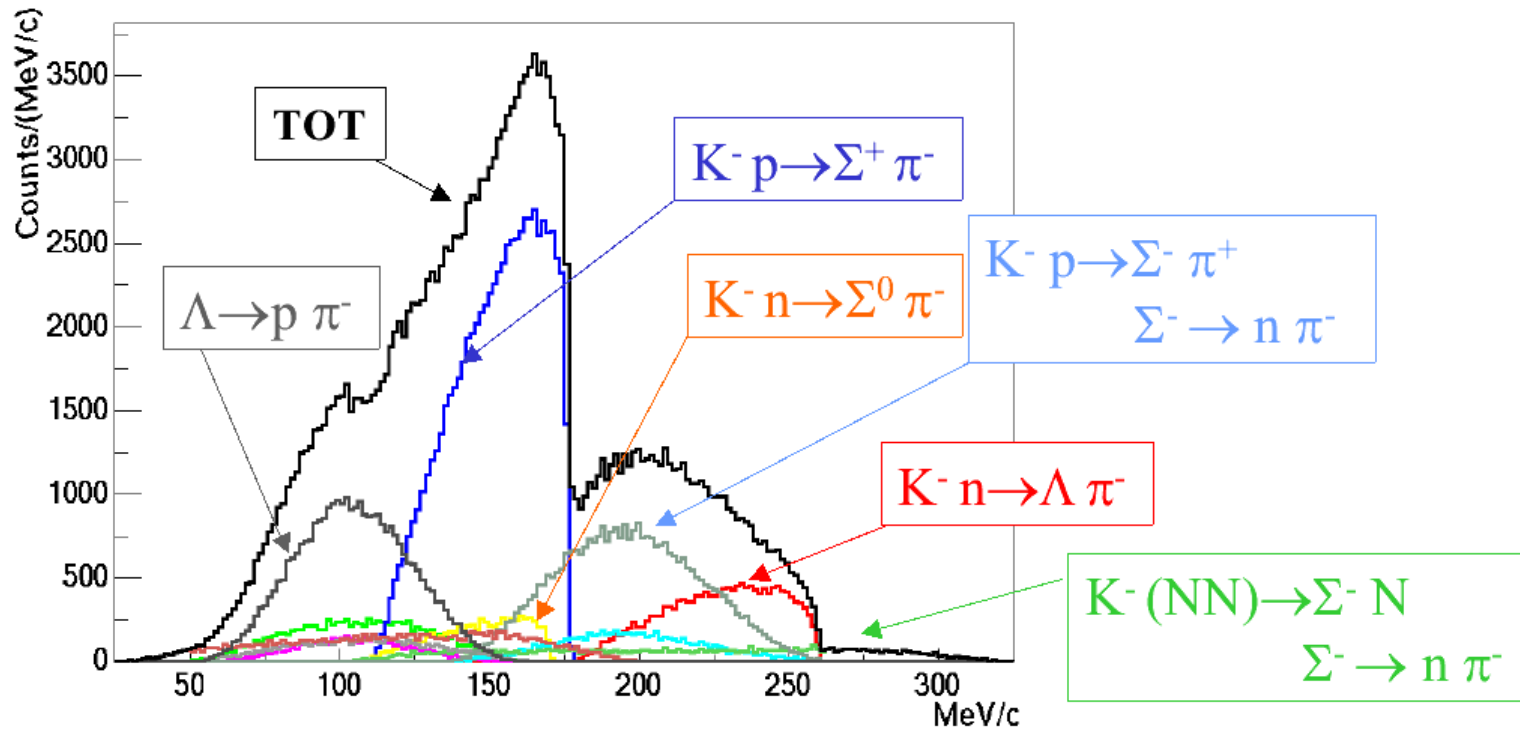




# Background study

Momentum distribution for  $\pi$  emitted when a  $K^-$  is stopped in a  $^{12}\text{C}$  target

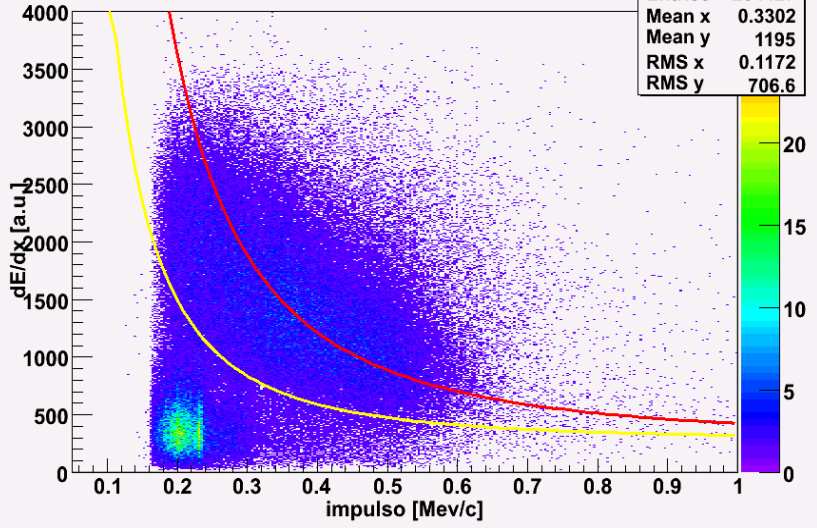
$\pi^-$ -momentum distribution



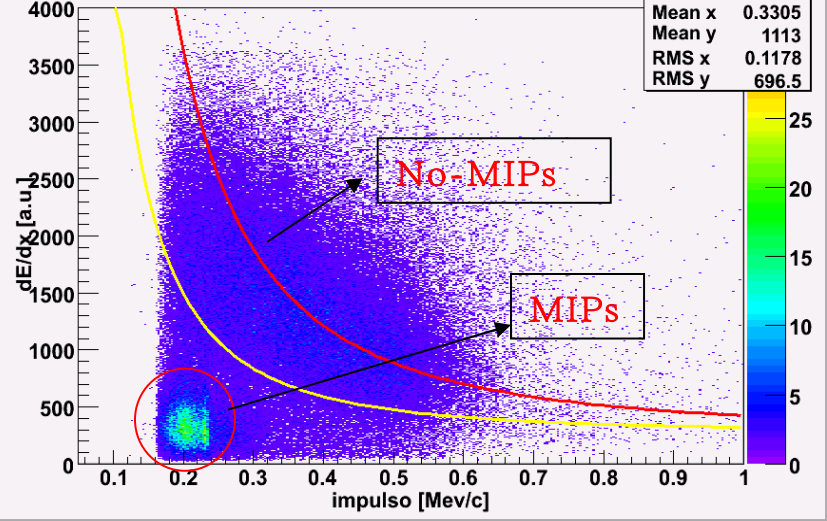
# Proton identification



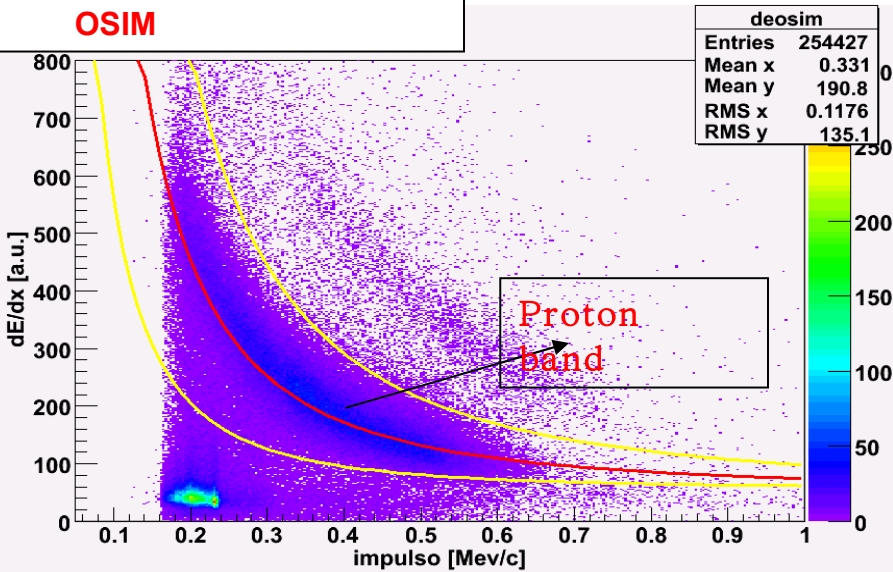
First layer of drift chamber



Second layer of drift chamber



OSIM



## Proton selection

at least one layer of drift chamber and the outer layer of silicon detector (OSIM)

# DAΦNE e+e- collider



energy	510 MeV
$\sigma_x$ (rms)	2.11 mm
$\sigma_y$ (rms)	0.021 mm
$\sigma_z$ (rms)	35 mm
bunch length	30 mm
crossing angle	12.5 mrad
frequency (max)	368.25 MHz
bunch/ring	up to 120
part./bunch	$8.9 \cdot 10^{10}$
current/ring	5.2 A (max)

