



ALICE

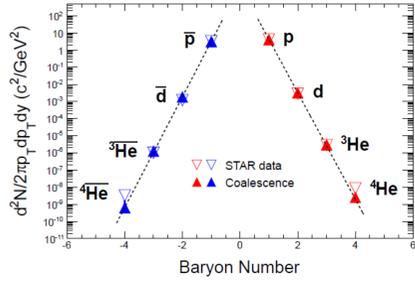
# Produzione di Nuclei e Antinuclei in ALICE a LHC

Manuel Colocci, ALICE Collaboration

## Motivazioni

Nelle collisioni Pb-Pb alle alte energie si osserva una produzione abbondante di nuclei e antinuclei leggeri nella regione lontana dalla rapidità del fascio

Modelli termici e a coalescenza ne descrivono la formazione [1] [2]



Entrambi i meccanismi di produzione prevedono un andamento esponenziale per il tasso di produzione r degli (anti)nuclei in funzione del numero barionico [1]

I simboli aperti vengono dall'esperimento STAR (RHIC) mentre la linea tratteggiata rappresenta il fit ottenuto a partire dalla funzione e^{-r|B|} dove:

$$r = 1.1^{+0.3}_{-0.2} \cdot 10^3 \text{ nuclei}$$
$$r = 1.6^{+1.0}_{-0.6} \cdot 10^3 \text{ antinuclei}$$

- La misura della produzione di (anti)nuclei permette di investigare il loro meccanismo di formazione
- L'abbondante produzione di (anti)ipertrizio  $\bar{\Lambda}^3\text{H}$  ( $\bar{\Lambda}^3\bar{\text{H}}$ ) rappresenta un segnale della formazione del QGP [3]
- Calcoli di QCD su reticolo suggeriscono l'esistenza di stati esotici come  $\bar{\Lambda}\bar{n}$  e H-Dibarioni ( $\Lambda\Lambda$ ) [4]
- I rapporti di produzione permettono di stimare il potenziale bariochimico e la temperatura di freeze-out del sistema
- La misura della produzione fornisce indicazioni circa il profilo di densità e l'estensione spaziale della sorgente al freeze-out

## Il rivelatore ALICE

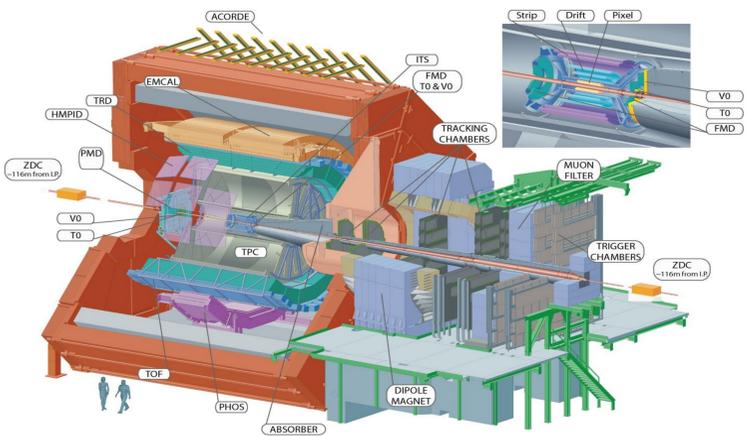
ALICE (A Large Ion Collider Experiment) a LHC (Large Hadron Collider) al CERN investiga collisioni Pb-Pb, pp e p-Pb

Pb-Pb @  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV  
p-Pb @  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV  
pp @  $\sqrt{s} = 0.9, 2.76, 7, 8$  TeV

ALICE si avvale di un rivelatore particolarmente adatto al tracciamento e all'identificazione di particelle in regimi di alta molteplicità

Nella zona centrale del rivelatore:

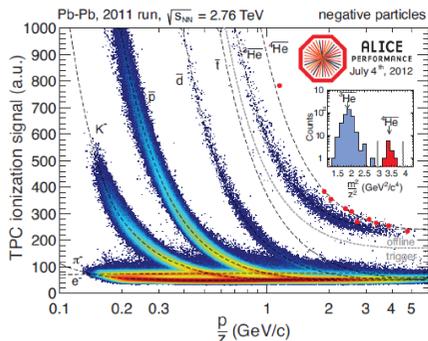
- Il Sistema di Tracciamento Interno (ITS), la Camera a Proiezione Temporale (TPC) per il tracciamento e l'identificazione delle particelle a basso impulso
- Il sistema a tempo di volo (TOF) per la separazione  $\pi/K$  e  $K/p$  fino a impulsi intermedi
- Il Rivelatore a Radiazione di Transizione (TRD) per l'identificazione degli elettroni



## Anti-elio $\bar{4}\text{He}$ e anti-ipertrizio $\bar{\Lambda}^3\bar{\text{H}}$

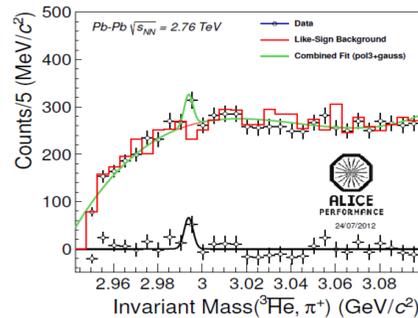
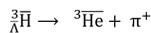
L'anti-elio  $\bar{4}\text{He}$  è stato identificato

- selezionando tutti gli eventi per i quali almeno una particella perde un'energia corrispondente a  $\bar{3}\text{He}$  o possiede una massa maggiore
- utilizzando le informazioni provenienti dal TOF per calcolare il rapporto  $m^2/z^2$



Un ipernucleo è un nucleo che contiene almeno un iperone al posto di un nucleone

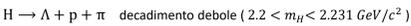
L'anti-ipertrizio  $\bar{\Lambda}^3\bar{\text{H}}$  è stato osservato in collisioni Pb-Pb, ricostruendo il vertice di decadimento:



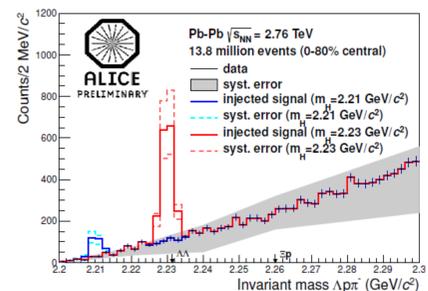
Il segnale  $\bar{\Lambda}^3\bar{\text{H}}$  ha una massa media di 2.993(1) GeV/c<sup>2</sup> ed un'ampiezza di 2.0 ± 1.2 MeV/c<sup>2</sup>. I primi 2168 candidati di  $\bar{\Lambda}^3\bar{\text{H}}$  sono stati misurati nel 2010 dall'esperimento STAR al RHIC (Au-Au @  $\sqrt{s_{NN}} = 0.2$  TeV) [3]

## Stati legati barionici

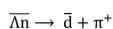
La ricerca dell'H-Dibarione ( $\Lambda\Lambda$ ) viene effettuata nei due canali:



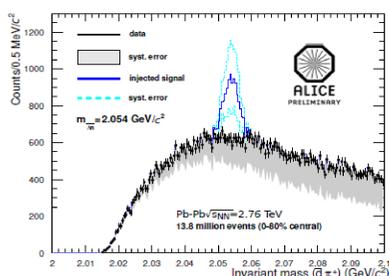
Il numero di particelle atteso per le collisioni avvenute nel 2010 utilizzando modelli termici, corrisponde a 1350 stati a decadimento debole e 211 stati risonanti; per contro nessuna osservazione è avvenuta. Ciò determina un limite superiore nella distribuzione in rapidità prevista dai modelli termici (99% C.L.):  $dN/dy \leq 2 \cdot 10^{-4}$  (dec. debole)  $dN/dy \leq 8.4 \cdot 10^{-4}$  (st. ris.)



La ricerca di possibili  $\bar{\Lambda}\bar{n}$  stati legati avviene in collisioni Pb-Pb, nel canale:

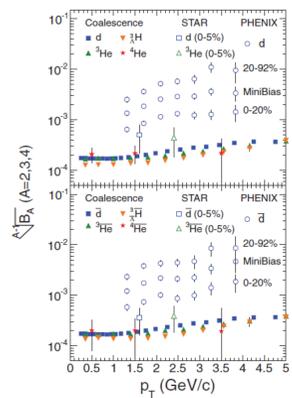


Il numero di  $\bar{\Lambda}\bar{n}$  attesi per i dati raccolti nel 2010 è pari a circa 4000; per contro nessuna osservazione è avvenuta. Ciò determina un limite superiore nella distribuzione in rapidità prevista dai modelli termici (99% C.L.):  $dN/dy \leq 1.5 \cdot 10^{-3}$



L'upgrade di ALICE potrebbe permettere di raggiungere le prime conclusioni circa l'esistenza di stati barionici esotici

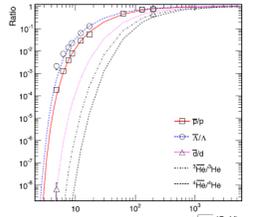
## Risultati al Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC)



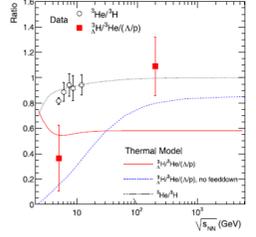
$$E_A \frac{dN_A}{dp_A} \approx B_A \left( E_p \frac{dN_p}{dp_p} \right)^A$$
$$A^{-1} \sqrt{B_A} \propto \frac{1}{V}$$

- Il parametro di coalescenza  $B_A$  mostra una forte dipendenza dalla centralità, compatibile con una variazione del volume della fireball. La dipendenza da  $p_T$  fornisce informazioni relative al profilo di densità dei nucleoni e al radial flow [1]
- In ALICE sono in corso misure dei parametri  $B_A$

Confronto fra le previsioni dei modelli termici per rapporti di particelle in collisioni fra ioni centrali e misure sperimentali ottenute a AGS, SPS e RHIC [2]



Le misure dei rapporti  $d/\bar{d}$ ,  ${}^3\text{He}/\bar{{}^3\text{He}}$ ,  ${}^3\text{He}/\bar{{}^3\text{He}}$ ,  ${}^3\text{He}/\bar{{}^3\text{He}}$ , sono in buon accordo con le previsioni dei modelli termici

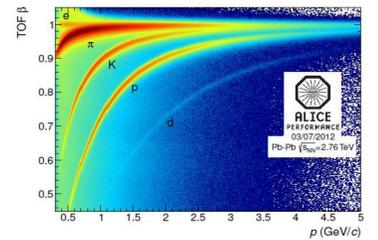
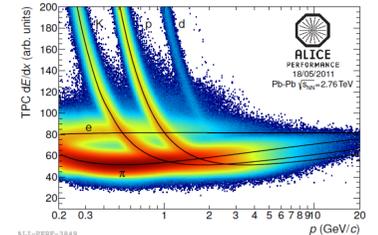


I modelli termici e a coalescenza richiedono maggiori informazioni sperimentali.

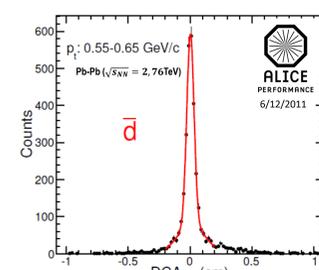
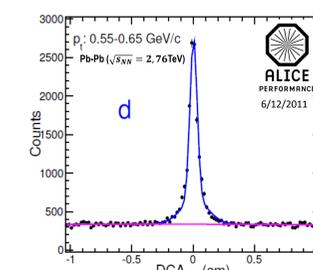
## Identificazione di (anti)nuclei

L'identificazione di (anti)nuclei in ALICE è possibile in virtù della misura:

- della perdita di energia specifica ( $dE/dx$ ) in funzione della rigidità ( $p/z$ ) fornita dalla TPC nella regione a pseudorapidità  $|\eta| < 0.9$ , con una risoluzione  $\sigma_{TPC} \approx 5\%$  in nelle collisioni pp e  $\sigma_{TPC} \approx 7\%$  in collisioni Pb-Pb
- della velocità delle particelle fornita dal TOF con una risoluzione  $\sigma_{TOF} \approx 120$  ps in collisioni pp e  $\sigma_{TOF} \approx 84$  ps in collisioni Pb-Pb e con un'accettanza simile alla TPC
- del vertice d'interazione effettuata dall'ITS con una risoluzione (nel piano trasversale alla beam-pipe) di 150  $\mu\text{m}$  in collisioni pp e 10  $\mu\text{m}$  in collisioni Pb-Pb, al fine di separare particelle primarie e secondarie

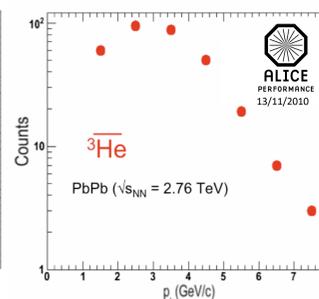
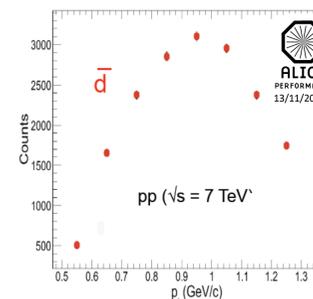


## Spettri



I nuclei, a differenza degli antinuclei, possono anche essere prodotti nell'interazione con il materiale del rivelatore

La distribuzione della distanza di minimo approccio (DCAxy) al vertice primario dei nuclei è simile a quella degli antinuclei, oltre a contenere un fondo dovuto alla componente secondaria; tale informazione viene utilizzata per rigettare quest'ultima



I conteggi raw dei  $d(\bar{d})$ ,  $t(\bar{t})$ ,  ${}^3\text{He}(\bar{{}^3\text{He}})$  sono stati misurati analizzando le distribuzioni in DCAxy a differenti  $p_T$  in collisioni Pb-Pb @  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV e in collisioni pp @  $\sqrt{s} = 7$  TeV

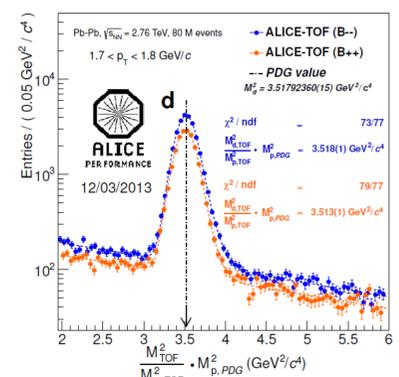
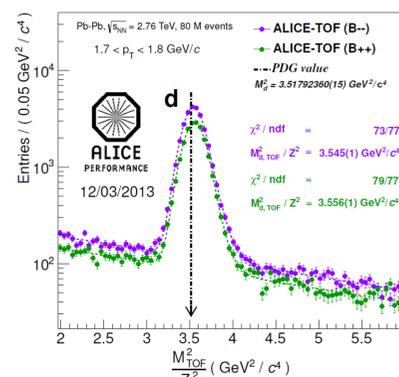
Gli spettri corretti per efficienza e accettazione sono in corso d'opera, in collisioni pp e Pb-Pb. I rapporti di particelle verranno confrontati con le previsioni dei modelli termici [6]

## Distribuzioni in massa al TOF

Il segnale sul TOF permette di misurare la massa dei nuclei e dei corrispondenti antinuclei

- Un taglio pari a  $2\sigma_{TPC}$  viene applicato per ridurre la frazione di tracce della TPC che vengono erroneamente associate con il segnale sul TOF (circa il 10% in collisioni Pb-Pb centrali)
- Il segnale sul TOF corrisponde ad una distribuzione gaussiana mentre il fondo residuo viene parametrizzato da una funzione esponenziale

- Il rapporto fra la massa degli (anti)nuclei e del (anti)protono riassume largamente un effetto sistematico dipendente dalla carica e dovuto ad un'incertezza nella descrizione del campo magnetico dell'esperimento. I simboli B- e B+ indicano le sue diverse polarità
- La misura della differenza in massa fra deutone e antideutone offre l'opportunità di verificare la simmetria CPT per l'energia di legame nucleare [5]



## Referenze

- [1] L. Xue et al., Phys. Rev. C, 85 064912 (2012)
- [2] A. Andronic et al., Phys. Lett. B 697 203 (2011)
- [3] B. I. Abelev et al. (STAR Collaboration), Science 328 54 (2010)
- [4] T. Inoue et al. (HAL QCD Collaboration), Phys. Rev. Lett. 106 162001 (2011), S.R. Beane et al. (NPLQCD Collaboration) Phys. Rev. Lett. 106 162001 (2011), P.E. Shanahan et al., Phys. Rev. Lett. 107 092004 (2011), J. Haidenbauer and U.G. Meiner, Phys. Lett. B 706 100 (2011)
- [5] A. Zichichi, Nuovo Cimento 24 12 (2001)
- [6] N. Sharma and A. Kalweit (ALICE Collaboration), Acta Phys. Pol. B Proc. Suppl. 5 2 (2012)
- [7] B. I. Abelev et al., (STAR Collaboration), Nature 473 353 (2011)