Studio della produzione di sapori leggeri in funzione della molteplicità con l'esperimento ALICE a LHC

Nicolò Jacazio per la Collaborazione ALICE

Università di Bologna e INFN







Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Incontri di Fisica della Alte Energie Università di Genova

1 Aprile 2016

Nicolò Jacazio

IFAE 2016

I diversi sistemi di collisione a LHC



 Pb–Pb per studiare la materia adronica deconfinata (plasma di quark e gluoni o QGP)





 Recenti osservazioni sperimentali mostrano *somiglianze* (inaspettate!)



Somiglianze?

Collettività

- Rapporti barione/mesone
- Incremento della produzione di stranezza





ALICE A Large Ion Collider Experiment

Unico esperimento a LHC ottimizzato per lo studio delle collisioni di ioni pesanti

- Tracciamento fino a basso p_T (100 MeV/c)
- Campo magnetico moderato (B = 0.5 T) nella regione di rapidità centrale
- Alta granularità
- Identificazione di particelle (PID)



Int. J. Mod. Phys. A29(2014) 1430044



ALICE A Large Ion Collider Experiment

Unico esperimento a LHC ottimizzato per lo studio delle collisioni di ioni pesanti

- Tracciamento fino a basso p_T (100 MeV/c)
- Campo magnetico moderato (B = 0.5 T) nella regione di rapidità centrale
- Alta granularità
- Identificazione di particelle (PID)



EPJC 75 (2015) 226

ALICE

IFAE 2016

Molteplicità degli eventi



- Molteplicità definita come il numero di particelle cariche per evento
- In Pb–Pb legata alla centralità della collisione
- Misurata dal rivelatore VZERO
- Continuità tra i tre sistemi: da $\langle dN_{ch}/d\eta \rangle \sim 2$ in pp a $\langle dN_{ch}/d\eta \rangle \sim 1600$ in 0 - 5% Pb-Pb



Nicolò Jacazio

Evoluzione collettiva in Pb-Pb - flusso radiale



Schnedermann, Sollfrank e Heinz Phys. Rev. C 48, 2462



- ${\ensuremath{\bullet}}$ Dipendenza dello spettro dalla massa della particella osservata \rightarrow flusso radiale
- Evoluzione collettiva descritta da modelli idrodinamici e.g. Blast Wave

 $\beta_T \rightarrow$ velocità di espansione radiale $T_{kin} \rightarrow$ temperatura di disaccoppiamento

IFAE 2016

Evoluzione collettiva in Pb–Pb - flusso radiale





- Dipendenza dello spettro dalla massa della particella osservata \rightarrow flusso radiale
- Evoluzione collettiva descritta da modelli idrodinamici e.g. Blast Wave
- Le distribuzioni per pp e p-Pb si sovrappongono

 $eta_{ extsf{T}} extsf{ } o$ velocità di espansione radiale

 $_{cin}$ \rightarrow temperatura di disaccoppiamento

Schnedermann, Sollfrank e Heinz Phys. Rev. C 48, 2462

Evoluzione collettiva in Pb–Pb - flusso ellittico



- In collisioni non centrali ($b \neq 0$) il mezzo viene creato con un'anisotropia geometrica
- Forti gradienti di pressione anisotropi
- Anisotropia nei momenti delle particelle nello stato finale
- Quantificabile tramite una decomposizione di Fourier:

$$\frac{dN}{d(\varphi - \Psi_{RP})} = \frac{N_0}{2\pi} \left[1 + 2\nu_1 \cos\left(\varphi - \Psi_{RP}\right) + 2\nu_2 \cos\left(2\left(\varphi - \Psi_{RP}\right)\right) + \ldots \right]$$



Evoluzione collettiva in Pb–Pb - flusso ellittico



- In collisioni non centrali ($b \neq 0$) il mezzo viene creato con un'anisotropia geometrica
- Forti gradienti di pressione anisotropi
- Anisotropia nei momenti delle particelle nello stato finale
- Quantificabile tramite una decomposizione di Fourier:

$$\frac{dN}{d(\varphi - \Psi_{RP})} = \frac{N_0}{2\pi} \left[1 + 2v_1 \cos\left(\varphi - \Psi_{RP}\right) + 2v_2 \cos\left(2\left(\varphi - \Psi_{RP}\right)\right) + \ldots \right]$$



Correlazioni tra coppie di particelle in Pb–Pb

- La produzione di adroni in collisioni Pb–Pb è ben descritta dai modelli idrodinamici
- Le correlazioni angolari tra coppie di particelle formano strutture a cresta o "ridge"



ALI-PUB-14107



Correlazioni tra coppie di particelle in Pb–Pb

- La produzione di adroni in collisioni Pb–Pb è ben descritta dai modelli idrodinamici
- Le correlazioni angolari tra coppie di particelle formano strutture a cresta o "ridge"
 - $\Delta \varphi \sim$ 0 (near side)



ALI-PUB-14107



Correlazioni tra coppie di particelle in Pb–Pb

- La produzione di adroni in collisioni Pb–Pb è ben descritta dai modelli idrodinamici
- Le correlazioni angolari tra coppie di particelle formano strutture a cresta o "ridge"
 - $\Delta arphi \sim$ 0 (near side)
 - $\Delta arphi \sim \pi$ (away side)
 - Distribuite lungo tutto
 Δη (long range)



ALI-PUB-14107



Correlazioni tra coppie di particelle in p-Pb



- Differenza tra eventi ad alta e bassa molteplicità per rimuovere il contributo dai jet
- Evidenza del "double-ridge" anche in p-Pb
- Osservazioni simili riportate dalla Collaborazione ATLAS (Phys. Rev. Lett. 110, 182302 (2013))



Correlazioni tra coppie di particelle in pp

- Osservata per la prima volta dalla Collaborazione CMS selezionando gli eventi ad alta molteplicità appare la struttura a "double-ridge" in pp
- Non osservato negli eventi a bassa molteplicità
- Riprodotto da Pythia con colour reconnection (JHEP 0605:026, 2006)

(d) CMS N \geq 110, 1.0GeV/c<p_<3.0GeV/c





Cosa abbiamo visto finora

• Collettività in Pb–Pb $ightarrow \langle p_T
angle$ e flusso ellittico





Cosa abbiamo visto finora

- Collettività in Pb–Pb $ightarrow \langle {\it p}_{T}
 angle$ e flusso ellittico
- Struttura a "double-ridge" nelle correlazioni angolari tra coppie di particelle





Cosa abbiamo visto finora

- Collettività in Pb–Pb $ightarrow \langle {\it p}_{T}
 angle$ e flusso ellittico
- Struttura a "double-ridge" nelle correlazioni angolari tra coppie di particelle
- Lo stesso si trova in p-Pb e pp ad alta molteplicità



→ Evoluzione collettiva anche in *sistemi più piccoli*?

Nicolò Jacazio

IFAE 2016

ALICE

Spettri di adroni "light-flavor" in pp a $\sqrt{s}=$ 7 TeV

- Analisi in funzione della molteplicità di particelle cariche
- Combinate le diverse tecniche di PID
- Spettri misurati per π^{\pm} , K, p, K⁰_s, K^{*}, ϕ , Λ , $\Xi \in \Omega$
- Rapporto rispetto allo spettro a molteplicità integrata (0 – 100%)
- Anche in questo caso "hardening" dello spettro al crescere della molteplicità



${\it K}/\pi$ e ${\it p}/\pi$ in pp



• \mathbf{K}/π non cambia significativamente

• p/π evolve con la molteplicità



${f K}/\pi$ e ${f p}/\pi$ in pp , p-Pb e Pb-Pb



- K/π non cambia significativamente
- p/π evolve con la molteplicità
-) Intersezione tra i rapporti ad alta e bassa molteplicità (pr \sim 1.5 GeV/ $m{e}$)<code>ICE</code>

Nicolò Jacazio

Λ/K_s^0 in pp, p-Pb e Pb-Pb



- $\langle dN_{ch}/\eta
 angle$ molto diversa nei tre casi
- Come per $m{p}/\pi$ stesso comportamento nei tre sistemi
- Differenza dell'ampiezza del rapporto in Pb–Pb



K $/\pi$ e p $/\pi$ vs $\langle dN_{ m ch}/d\eta angle$ a confronto con Pythia



Confronto con 4 tune di Pythia

• Nessun tune riproduce contemporaneamente K/π e p/π



K $/\pi$ e p $/\pi$ vs $\langle dN_{ m ch}/d\eta angle$ da pp a Pb–Pb



- In entrambi i casi i risultati in pp si sovrappongono a p–Pb e Pb–Pb
- Si nota una continua evoluzione indipendentemente dal sistema!

ightarrow E per quanto riguarda la produzione di stranezza?



Produzione di stranezza da pp a Pb-Pb

 L'incremento della produzione di stranezza è una delle osservabili storicamente proposta per caratterizzare la creazione del QGP



- In p–Pb Ξ/π raggiunge i valori di Pb–Pb
- Valori di pp Minimum Bias confrontabili con p–Pb a bassa molteplicità

ALICE

Nicolò Jacazio

Produzione di stranezza da pp a Pb-Pb

 L'incremento della produzione di stranezza è una delle osservabili storicamente proposta per caratterizzare la creazione del QGP



- pp a parità di molteplicità si allinea ai dati di p-Pb
- Pythia non riproduce correttamente quanto osservato in pp



Nicolò Jacazio

Conclusioni

 A LHC sono state trovate somiglianze tra pp, p–Pb e Pb–Pb (collettività, rapporto barione/mesone e produzione di stranezza)



Conclusioni

- A LHC sono state trovate somiglianze tra pp, p–Pb e Pb–Pb (collettività, rapporto barione/mesone e produzione di stranezza)
- Per la prima volta si è osservato l'incremento della produzione di stranezza in collisioni pp
- Difficoltà del modello a descrivere i dati
- Ulteriori indagini sono necessarie
- ightarrow Interesse verso molteplicità più alte



Conclusioni

- A LHC sono state trovate somiglianze tra pp, p–Pb e Pb–Pb (collettività, rapporto barione/mesone e produzione di stranezza)
- Per la prima volta si è osservato l'incremento della produzione di stranezza in collisioni pp
- Difficoltà del modello a descrivere i dati
- Ulteriori indagini sono necessarie
- ightarrow Interesse verso molteplicità più alte
 - I risultati sono inaspettati e di difficile interpretazione
- ightarrow Altre osservabili oltre alla molteplicità?







$\langle \textbf{p}_{T} \rangle$ in collisioni pp, p–Pb e Pb–Pb

- A parità di N_{ch} corrispondono regimi molto diversi
- In Pb–Pb (p_T) satura già a bassa molteplicità a causa del flusso radiale
- pp e p–Pb mostrano lo stesso andamento a bassa molteplicità

Confronto con i modelli

- pp descritto correttamente da Pythia 8 con colour reconnection e da EPOS (evoluzione idrodinamica)
- EPOS riproduce il valore dell'incremento in p–Pb ma mostra un diverso andamento



Rapporto barione/mesone

- Incremento del rapporto barione mesone in A–A
- Descritto dai modelli idrodinamici
- Effetto del flusso radiale



