

Produzione di J/ψ e $\psi(2S)$ in collisioni p-Pb
a $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV con l'esperimento ALICE (LHC)



IFAE, INCONTRI DI FISICA DELLE ALTE ENERGIE 2014

9-11 Aprile 2014, Laboratori Nazionali del Gran Sasso



Marco Leoncino*, Universita' e INFN, Torino

(*per la collaborazione ALICE)

Sommario

- Introduzione.
- Il rivelatore ALICE e il run p-Pb (2013).
- Risultati: fattori di modificazione nucleare, confronto con i risultati in collisioni Pb-Pb, modelli teorici.
- Conclusioni.



Introduzione

Charmonio: stato legato di un quark **charm** e di un **anticharm**.

PROPRIETA' DEL CHARMONIO:

Meccanismi di produzione:

- Fusione di due gluoni ("prompt")
 - Decadimento da mesoni-b ("b-decay")
- } **produzione inclusiva** (i risultati di questa presentazione si riferiscono alla produzione inclusiva)

Decadimenti elettromagnetici:

- B.R. $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^- = (5.93 \pm 0.06)\%$, $J/\psi \rightarrow e^+e^- = (5.94 \pm 0.06)\%$
- B.R. $\psi(2S) \rightarrow \mu^+\mu^- = (7.80 \pm 0.90) \cdot 10^{-3}$, $\psi(2S) \rightarrow e^+e^- = (7.82 \pm 0.17) \cdot 10^{-3}$

Introduzione

Charmonio: stato legato di un quark **charm** e di un **anticharm**.

PROPRIETA' DEL CHARMONIO:

Meccanismi di produzione:

- Fusione di due gluoni ("prompt")
 - Decadimento da mesoni-b ("b-decay")
- } **produzione inclusiva** (i risultati di questa presentazione si riferiscono alla produzione inclusiva)

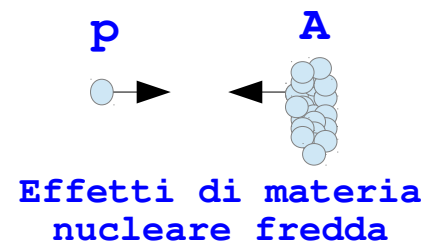
Decadimenti elettromagnetici:

- B.R. $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^- = (5.93 \pm 0.06)\%$, $J/\psi \rightarrow e^+e^- = (5.94 \pm 0.06)\%$
- B.R. $\psi(2S) \rightarrow \mu^+\mu^- = (7.80 \pm 0.90) \cdot 10^{-3}$, $\psi(2S) \rightarrow e^+e^- = (7.82 \pm 0.17) \cdot 10^{-3}$

I TASSI DI PRODUZIONE DEL CHARMONIO SONO INFLUENZATI DAL MEZZO ATTRAVERSATO:

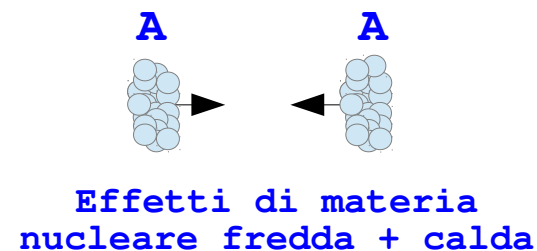
Effetti di "materia nucleare fredda" (CNM), collisioni pA:

- shadowing
- coherent energy loss
- effetti di stato finale



Effetti di "materia nucleare calda", collisioni AA:

- color screening nel mezzo deconfinato (QGP)
- ricombinazione dei quark c e $\bar{c}$



Introduzione

Charmonio: stato legato di un quark **charm** e di un **anticharm**.

PROPRIETA' DEL CHARMONIO:

Meccanismi di produzione:

- Fusione di due gluoni ("prompt")
 - Decadimento da mesoni-b ("b-decay")
- } **produzione inclusiva** (i risultati di questa presentazione si riferiscono alla produzione inclusiva)

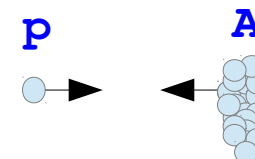
Decadimenti elettromagnetici:

- B.R. $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^- = (5.93 \pm 0.06)\%$, $J/\psi \rightarrow e^+e^- = (5.94 \pm 0.06)\%$
- B.R. $\psi(2S) \rightarrow \mu^+\mu^- = (7.80 \pm 0.90) \cdot 10^{-3}$, $\psi(2S) \rightarrow e^+e^- = (7.82 \pm 0.17) \cdot 10^{-3}$

I TASSI DI PRODUZIONE DEL CHARMONIO SONO INFLUENZATI DAL MEZZO ATTRAVERSATO:

Effetti di "materia nucleare fredda" (CNM), collisioni pA:

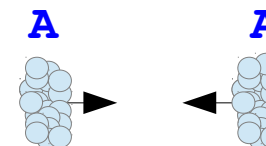
- shadowing
- coherent energy loss
- effetti di stato finale



Effetti di materia nucleare fredda

Effetti di "materia nucleare calda", collisioni AA:

- color screening nel mezzo deconfinato (QGP)
- ricombinazione dei quark c e $\bar{c}$

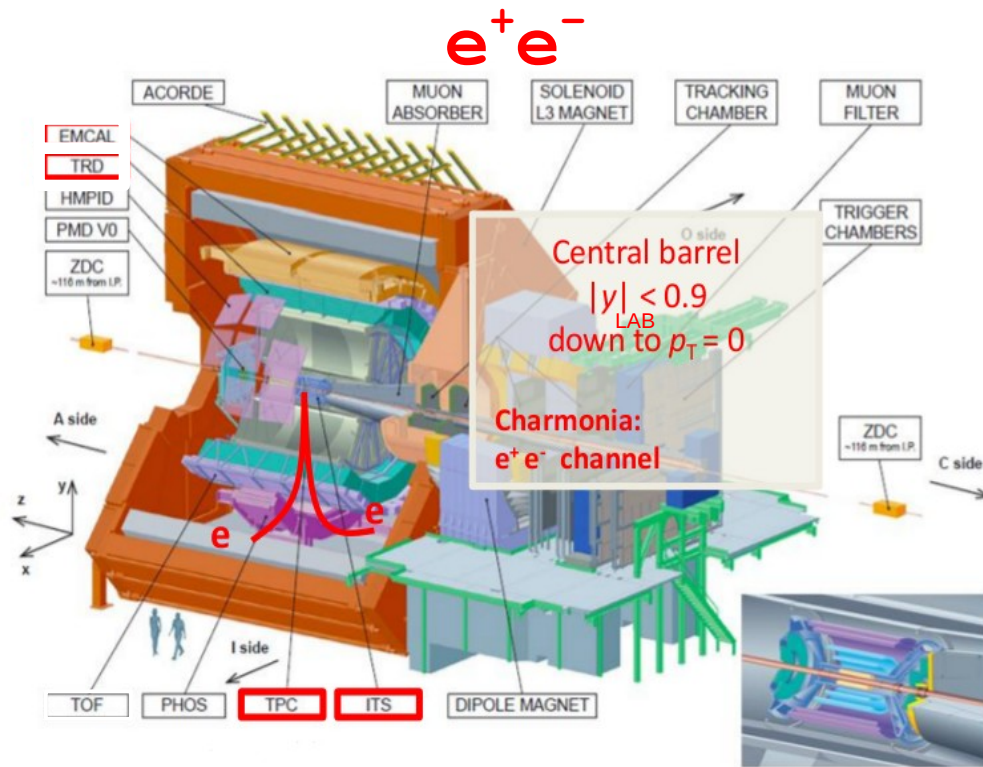


Effetti di materia nucleare fredda + calda

Lo studio del charmonio in collisioni p-A e' utile per quantificare gli effetti di materia nucleare fredda (presenti anche in collisioni A-A)

ALICE e il run p-Pb

ALICE permette di rivelare il charmonio nei canali di decadimento e^+e^- , $\mu^+\mu^-$.



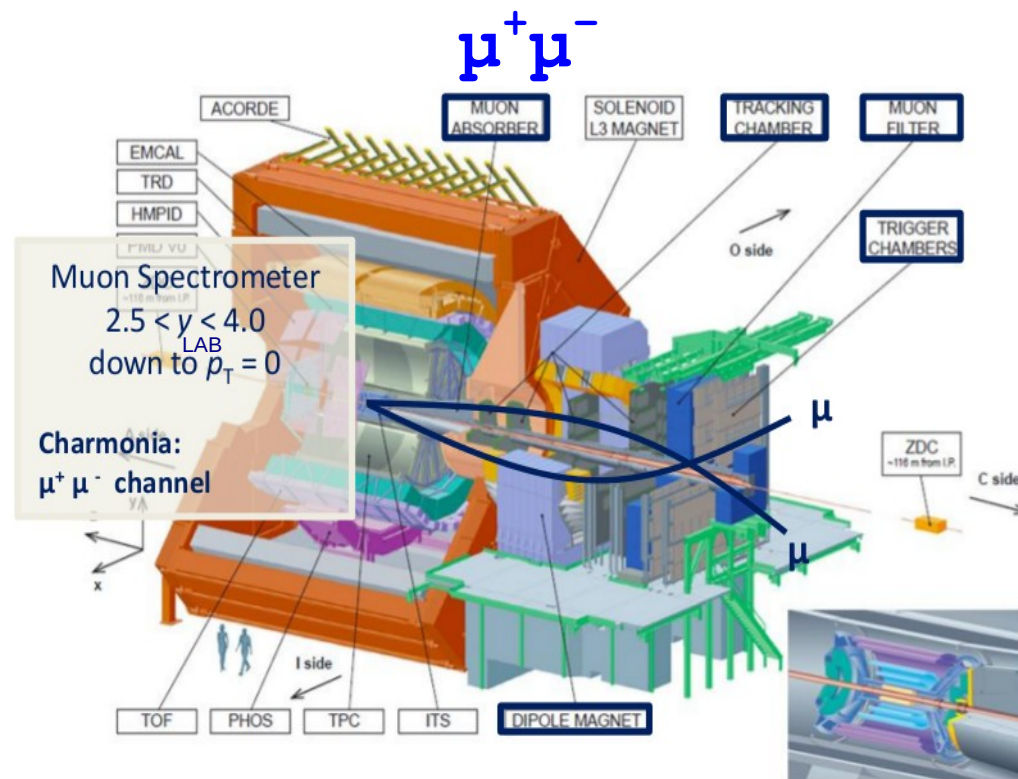
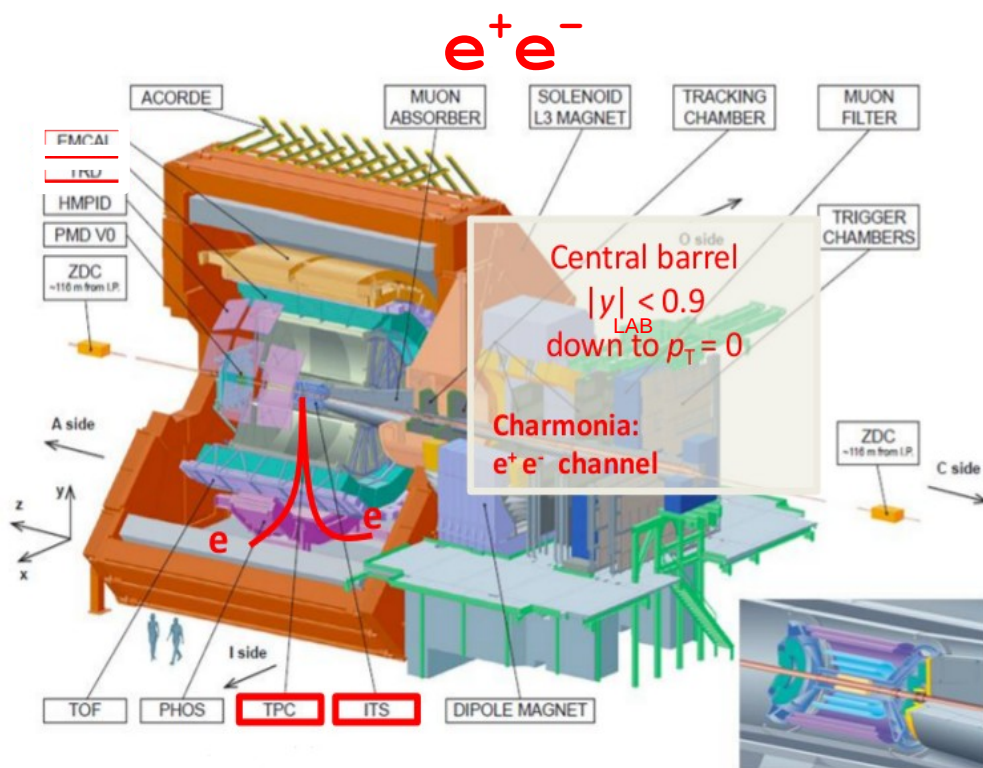
Rivelatori centrali: $J/\psi \rightarrow e^+e^-$

Intervallo di rapidità studiato (nel c.m.s.):

$$-1.37 < y_{\text{CMS}} < 0.43 \text{ ("midrapidity")}$$

ALICE e il run p-Pb

ALICE permette di rivelare il charmonio nei canali di decadimento e^+e^- , $\mu^+\mu^-$.



Rivelatori centrali: $J/\psi \rightarrow e^+e^-$

Intervallo di rapidita' studiato (nel c.m.s.):

$$-1.37 < y_{\text{CMS}} < 0.43 \text{ ("midrapidity")}$$

Spettrometro per muoni: $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$

Intervalli di rapidita' studiati (nel c.m.s.):

$$-4.46 < y_{\text{CMS}} < -2.96 \text{ ("backward" rapidity)}$$

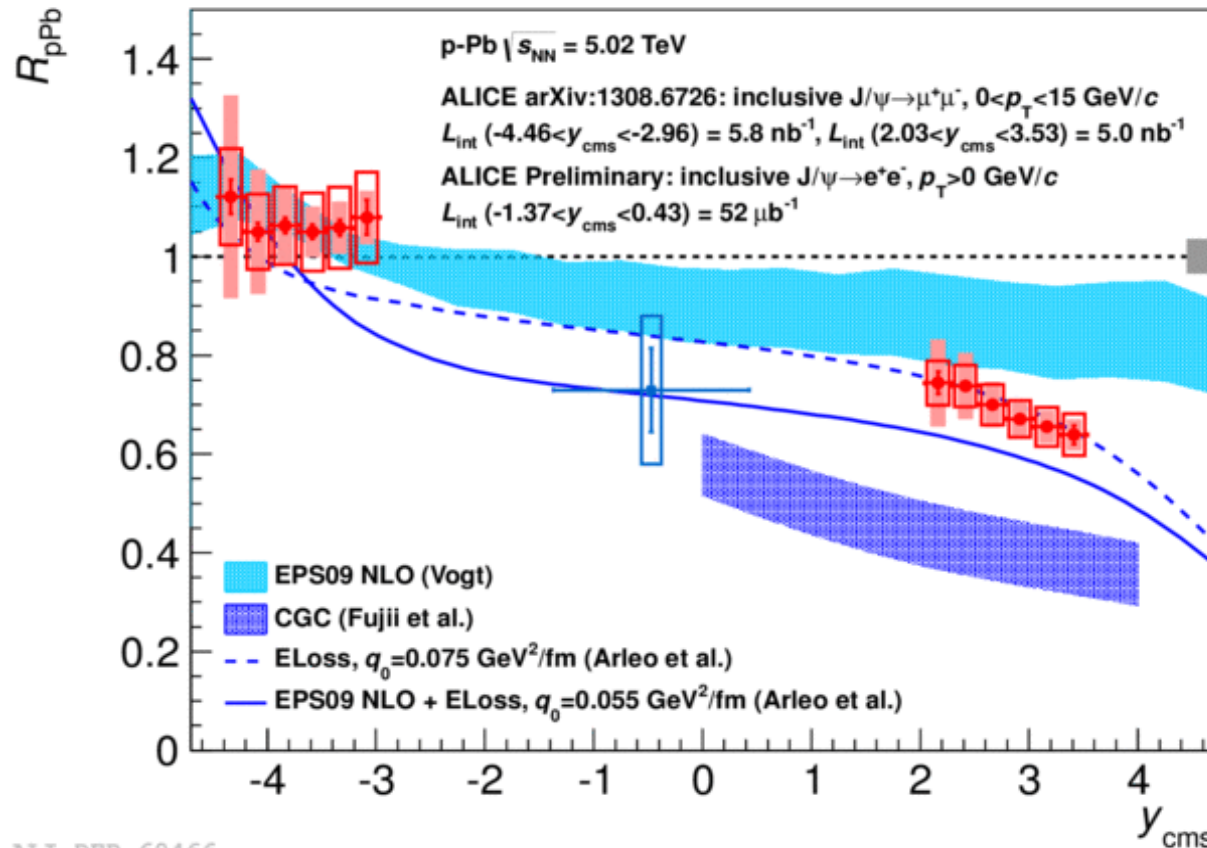
$$2.03 < y_{\text{CMS}} < 3.53 \text{ ("forward" rapidity)}$$

Maggiori dettagli sul run p-Pb (2013) nelle slide di backup.

Risultati: J/ψ

J/ψ R_{pPb} in funzione della rapidità'

Per studiare gli **effetti del mezzo nucleare** sulla produzione della J/ψ si introduce il fattore di modificazione nucleare, R_{pPb} :



$$R_{pPb} = \frac{Y_{pPb}^{J/\psi}}{T_{pPb} \cdot \sigma_{pp}^{J/\psi}}$$

Dove:

$$Y_{pPb}^{J/\psi} = \frac{N_{J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-}}{(A \cdot \epsilon) N_{MB}}$$

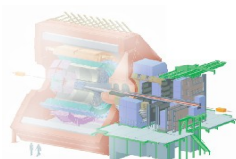
T_{pPb} = "nuclear thickness
function" (modello di
Glauber)

ALICE coll. (arXiv:1308.6726)

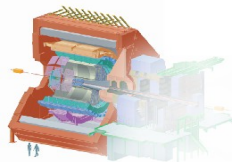
- **Modello di shadowing**: riproduce i dati a rapidità' negativa, alcune differenze a rapidità' positiva (Vogt, arXiv:1301.3395).
- **Modello di Energy loss**: riproduce i dati a rapidità' positiva, alcune differenze a rapidità' negativa (Arleo, arXiv:1212.0434).
- **Color Glass Condensate**: sovrastima la soppressione (Fuji, arXiv:1304.2221).

R_{pPb} della J/ψ in funzione del momento trasverso

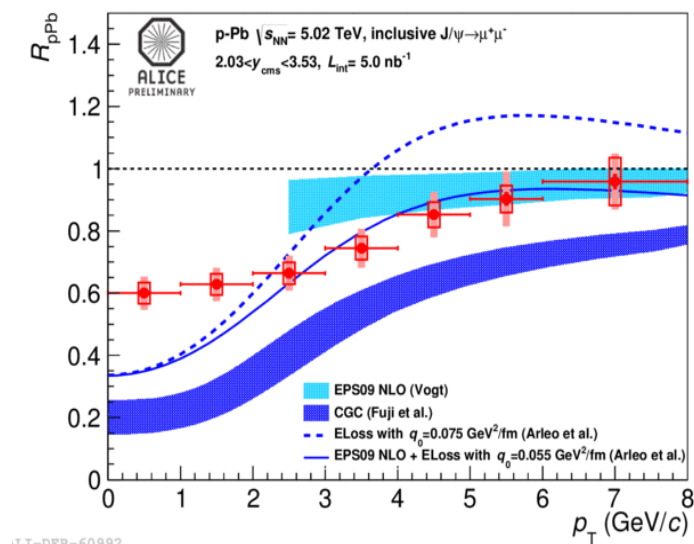
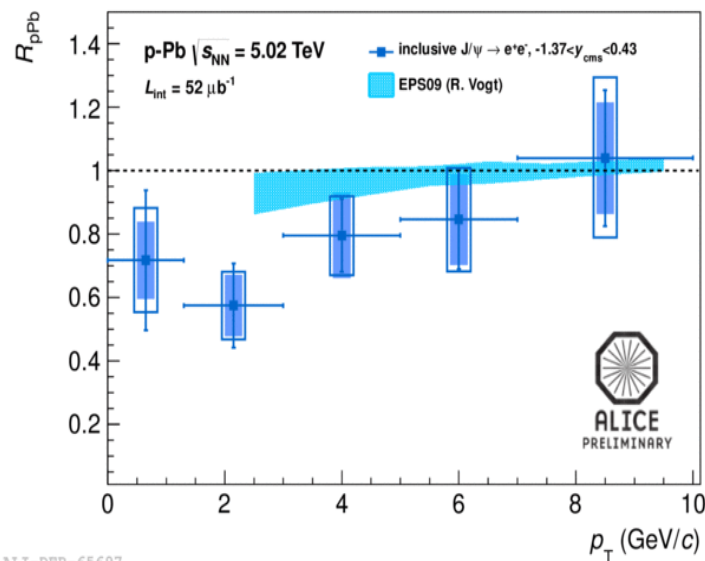
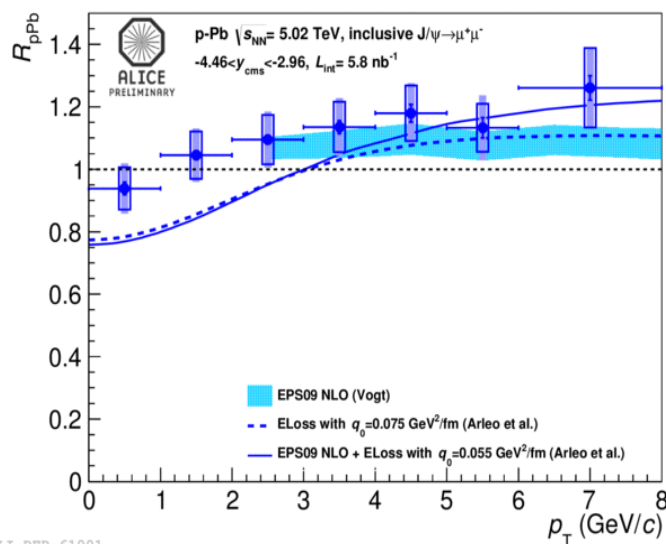
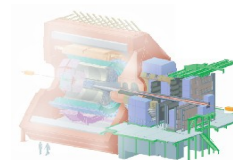
Backward



Mid-rapidity



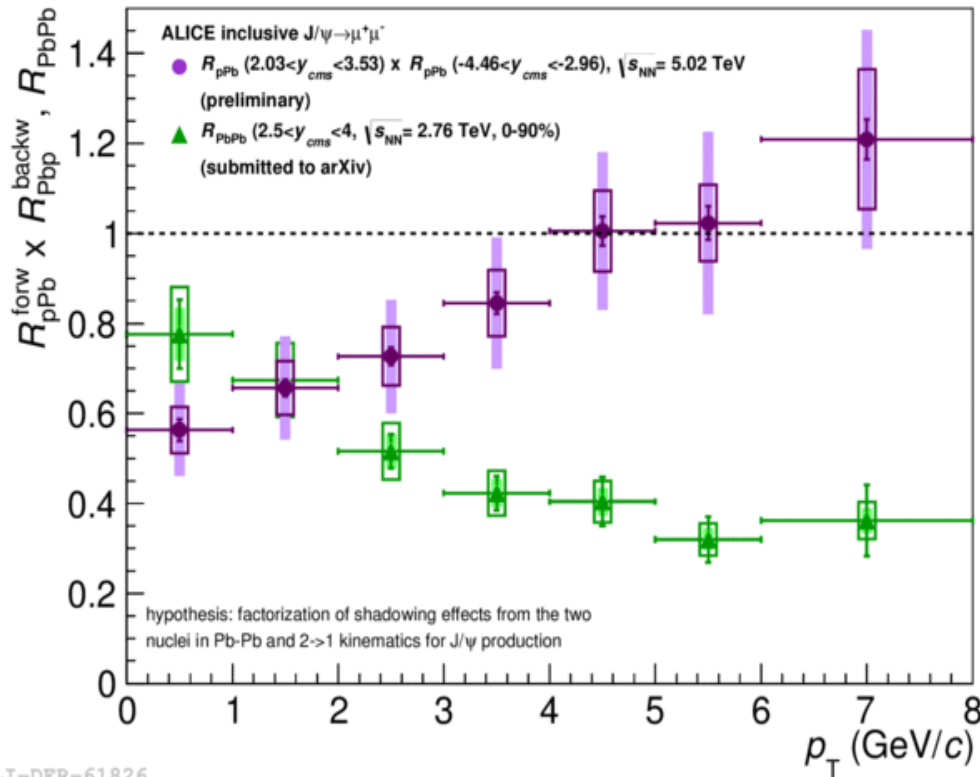
Forward



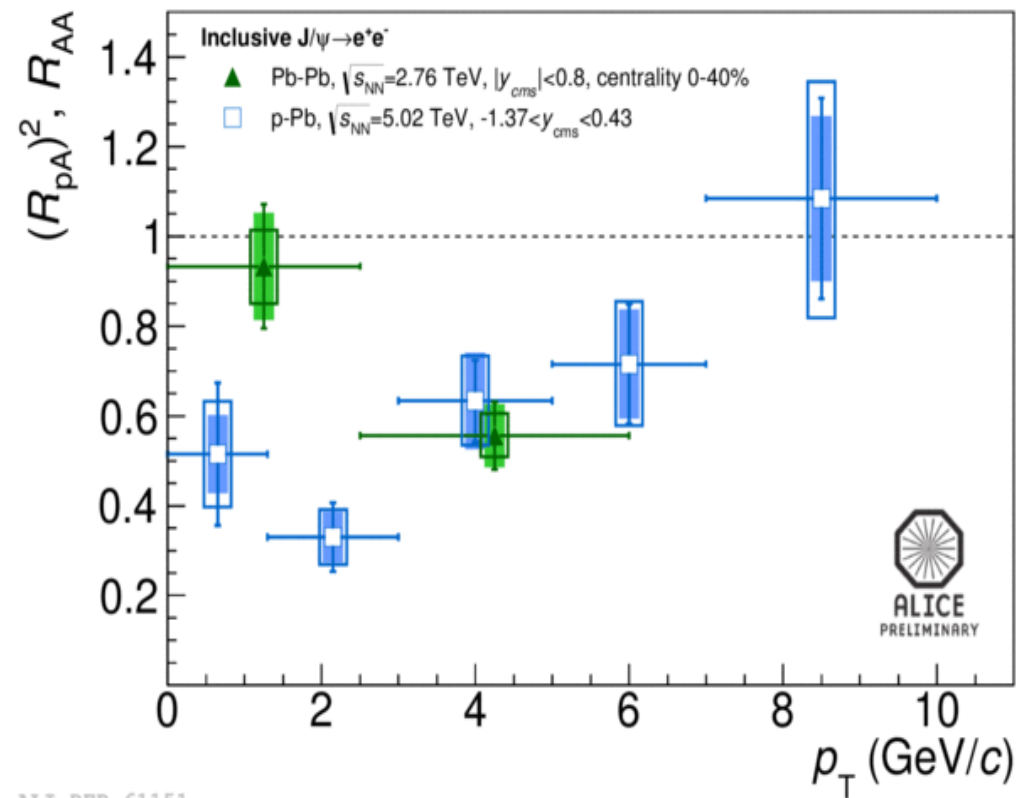
- La dipendenza dal momento trasverso cresce da rapidità negativa a positiva.
- I modelli che includono lo **shadowing** descrivono ragionevolmente i dati.
- I modelli di **energy loss** (a rapidità positiva e negativa) sono in accordo con i dati a partire da $\sim 3 \text{ GeV}/c$.
- Il modello basato sul **Color Glass Condensate** sovrastima la soppressione.

Confronto dei dati in collisioni p-Pb e Pb-Pb

“Backward” e “forward”



“Mid-rapidity”

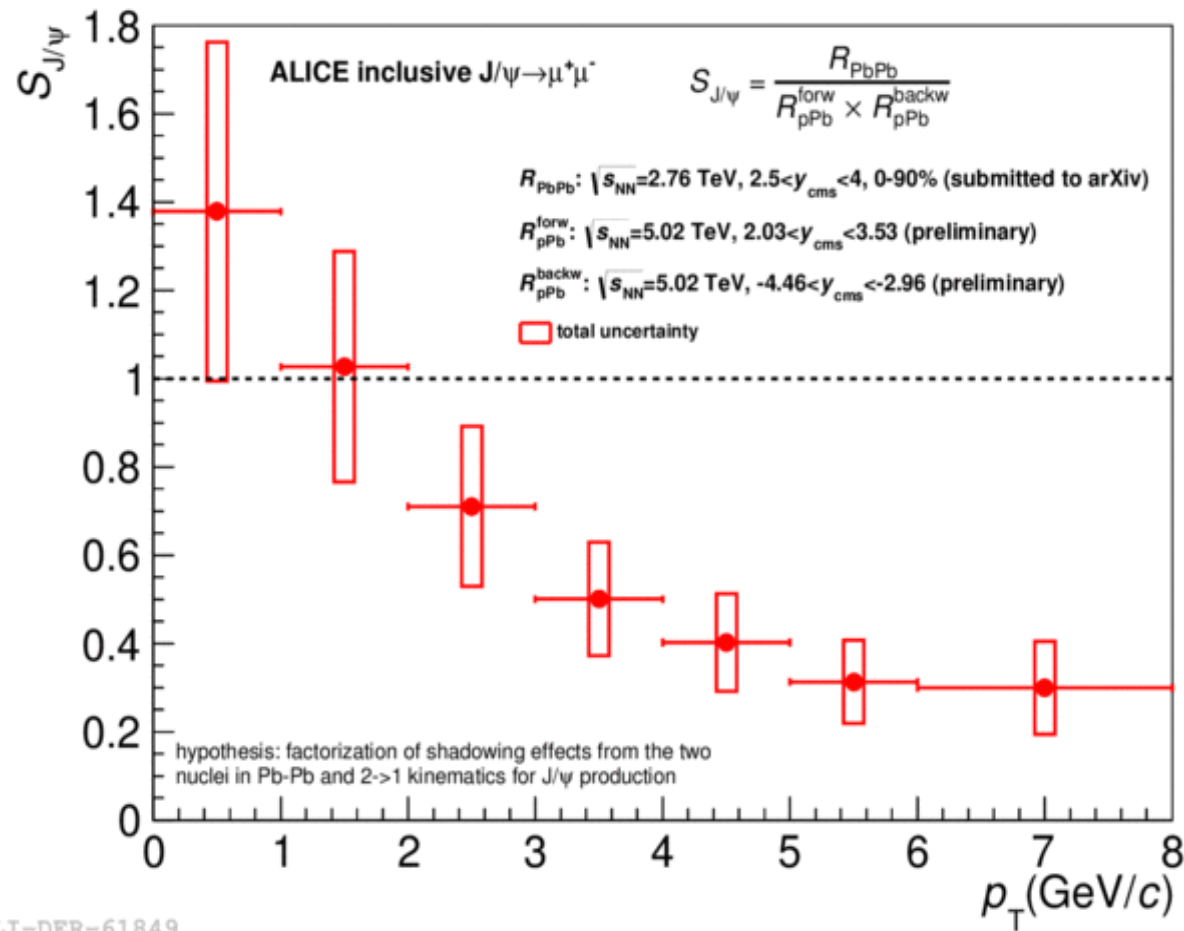


Il fattore R_{p-Pb} (collisioni p-Pb) puo' essere confrontato con R_{Pb-Pb} (collisioni Pb-Pb) assumendo che valgano le seguenti ipotesi:

- 1) Le regioni delle x-Bjorken “sondate” dalla J/ψ in Pb-Pb e p-Pb (Pb-p) sono simili.
- 2) Fattorizzazione dello shadowing in p-Pb e Pb-Pb:

$$\text{SHADOWING}_{PbPb} = R_{pPb}(y \geq 0 (\text{forward})) \times R_{pPb}(y \leq 0 (\text{backward})) \quad (R_{pPb}^2 \text{ a } y=0 (\text{mid-rapidity}))$$

$S_{J/\psi}$ in funzione di p_T



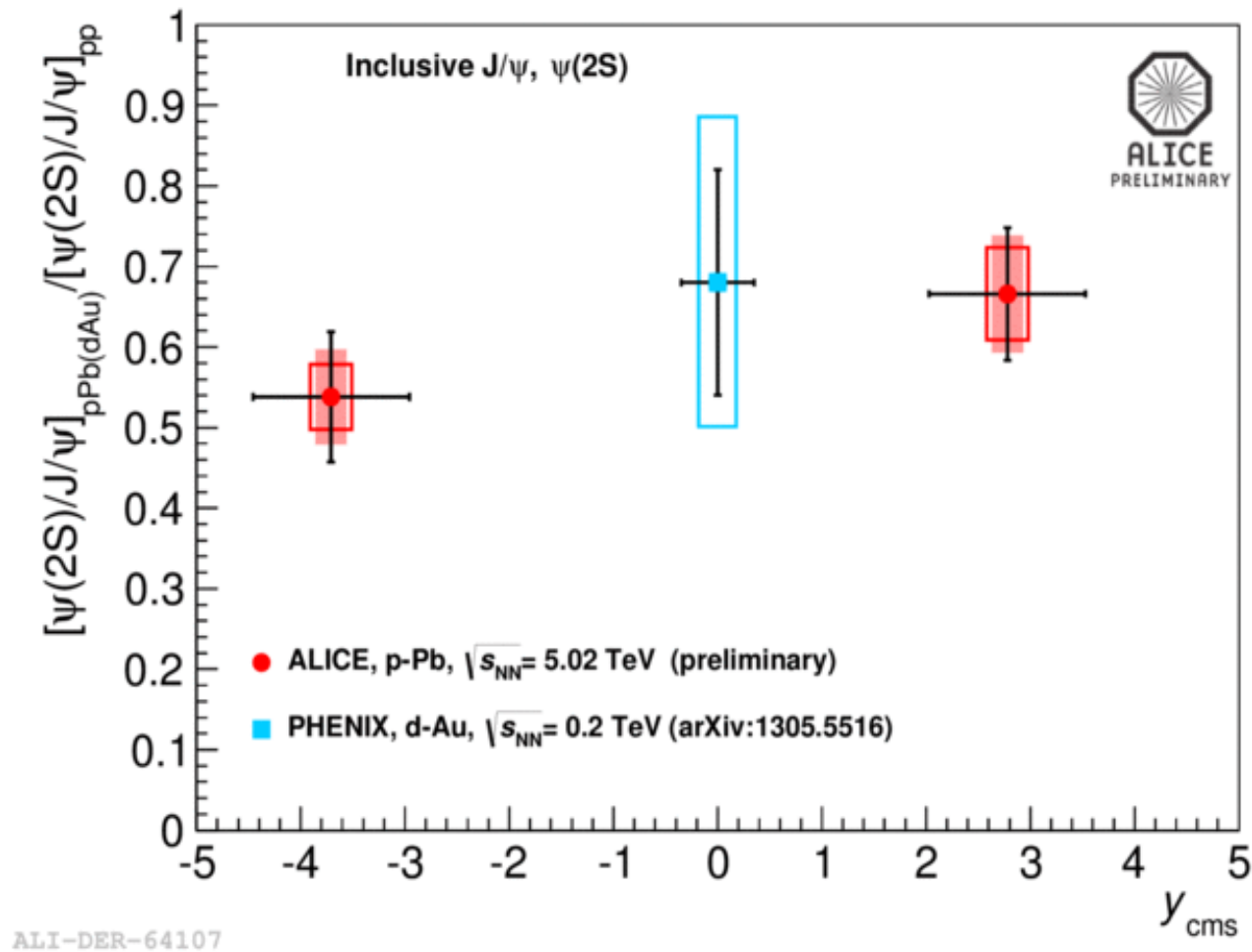
→ A rapidità backward e forward e' possibile introdurre la variabile:

$$S_{J/\psi} = R_{PbPb} / (R_{pPb}^{forward} \cdot R_{pPb}^{backward})$$

→ Possibili effetti di ricombinazione a bassi momenti trasversi (< 1 GeV/c).

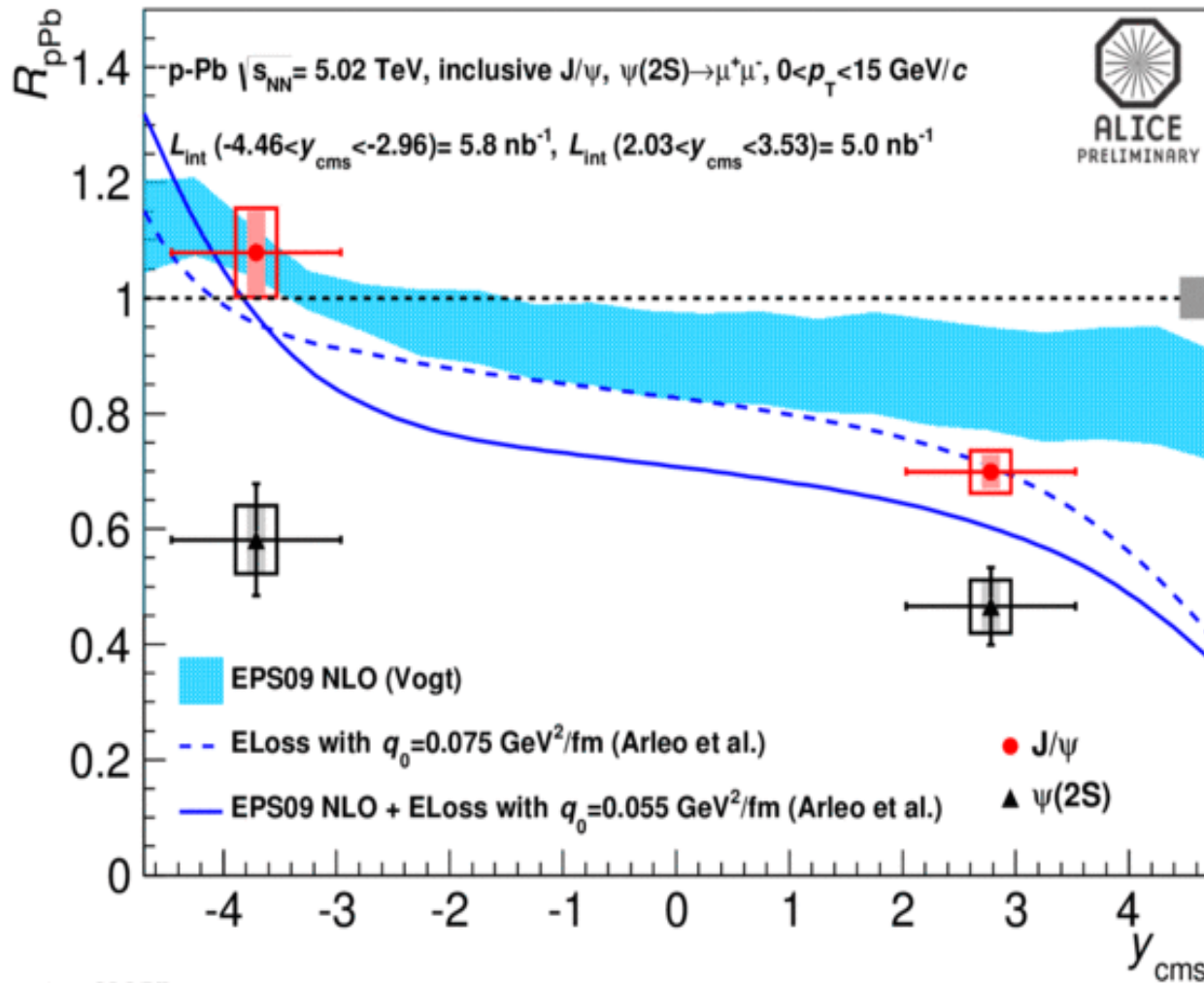
Risultati: $\psi(2S)$

Doppio rapporto $(\psi(2S)/J/\psi)|_{pA} / (\psi(2S)/J/\psi)|_{pp}$



- Il rapporto $\psi(2S)/J/\psi$ in collisioni p-Pb e' **inferiore** rispetto a quello osservato in collisioni p-p.
- Il risultato e' in accordo qualitativo con le osservazione di **PHENIX** in collisioni d-Au collisioni a mid-rapidity.

$\psi(2S)$: fattore di modificazione nucleare R_{pPb}



$$R_{pPb}^{\psi(2S)} = R_{pPb}^{J/\psi} \frac{\sigma_{pPb}^{\psi(2S)}}{\sigma_{pPb}^{J/\psi}} \frac{\sigma_{pp}^{J/\psi}}{\sigma_{pp}^{\psi(2S)}}$$

→ **Shadowing**: le distribuzioni cinematiche dei gluoni che producono la coppia $c\bar{c}$ (che in seguito adronizza in J/ ψ e $\psi(2S)$) sono simili.

→ **Energy loss**: non dipende in maniera sensibile dallo stato.

I modelli teorici utilizzati per la J/ ψ sono validi anche per la $\psi(2S)$.

→ La $\psi(2S)$ e' fortemente soppressa rispetto alla J/ ψ (in particolare a rapidita' negativa).

→ I modelli teorici **non sono in accordo** con i risultati sperimentali.

→ **Effetti di stato finale?**

Conclusioni

- Lo studio degli effetti di **materia nucleare fredda** e' importante per **separare** la soppressione legata alla formazione del **QGP** da quella causata dagli **effetti nucleari**.

Conclusioni

- Lo studio degli effetti di **materia nucleare fredda** e' importante per **separare** la soppressione legata alla formazione del **QGP** da quella causata dagli **effetti nucleari**.
- I risultati di **ALICE** mostrano che:
 - La soppressione della **J/ψ** cresce da rapidita' negative a positive.
 - I **modelli** basati sullo shadowing e/o energy loss descrivono i dati in maniera accettabile.
 - La **$\psi(2S)$** e' fortemente soppressa rispetto alla J/ψ : effetti di stato finale?

Conclusioni

- Lo studio degli effetti di **materia nucleare fredda** e' importante per **separare** la soppressione legata alla formazione del **QGP** da quella causata dagli **effetti nucleari**.
- I risultati di **ALICE** mostrano che:
 - La soppressione della **J/ψ** cresce da rapidita' negative a positive.
 - I **modelli** basati sullo shadowing e/o energy loss descrivono i dati in maniera accettabile.
 - La **$\psi(2S)$** e' fortemente soppressa rispetto alla J/ψ : effetti di stato finale?



Grazie per l'attenzione!

Materiale aggiuntivo

Risultati in collisioni p-Pb

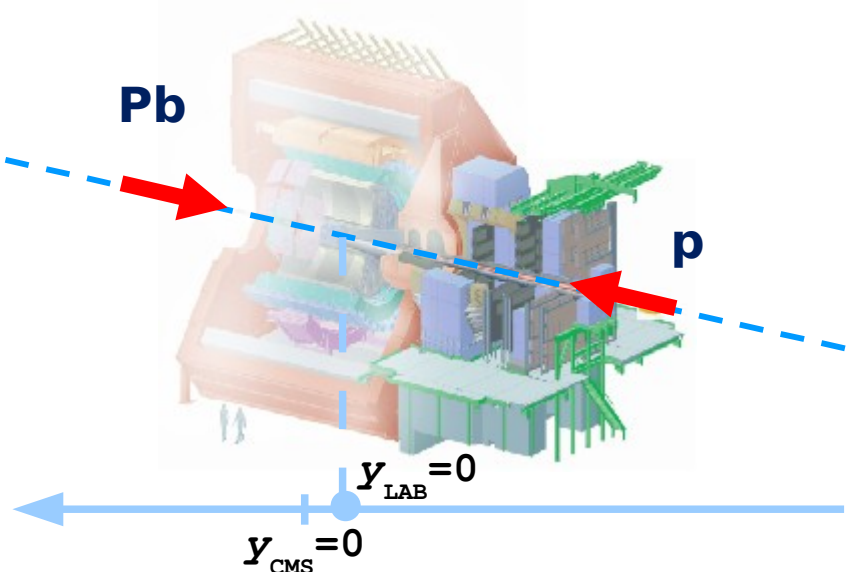
Il run p-Pb (2013)

Shift in rapidita' a causa della diversa energia dei fasci ($E_p = 4 \text{ TeV}$, $E_{Pb} = 1.58 \text{ A} \cdot \text{TeV}$)

$$|\Delta y_{\text{CMS}}| = 0.5 \log (Z_{Pb} A_p / Z_p A_{Pb}) = 0.465$$

Pb-p

$L_{\text{int}} = 5.8 \text{ nb}^{-1}$



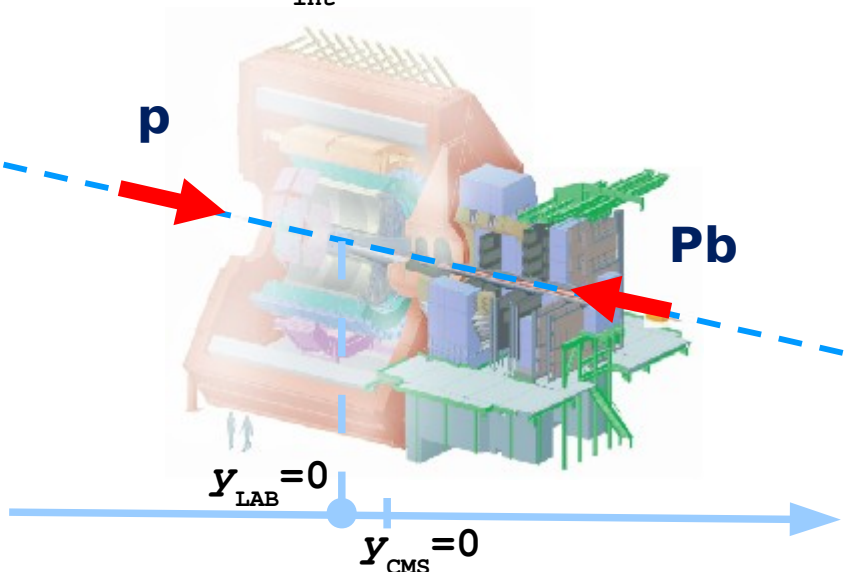
Configurazione "backward rapidity"
(nel S.R. del centro di massa)

$-4.46 < y_{\text{CMS}} < -2.96$

Dimuoni: trigger dedicato

p-Pb

$L_{\text{int}} = 5.0 \text{ nb}^{-1}$



Configurazione "forward rapidity"
(nel S.R. del centro di massa)

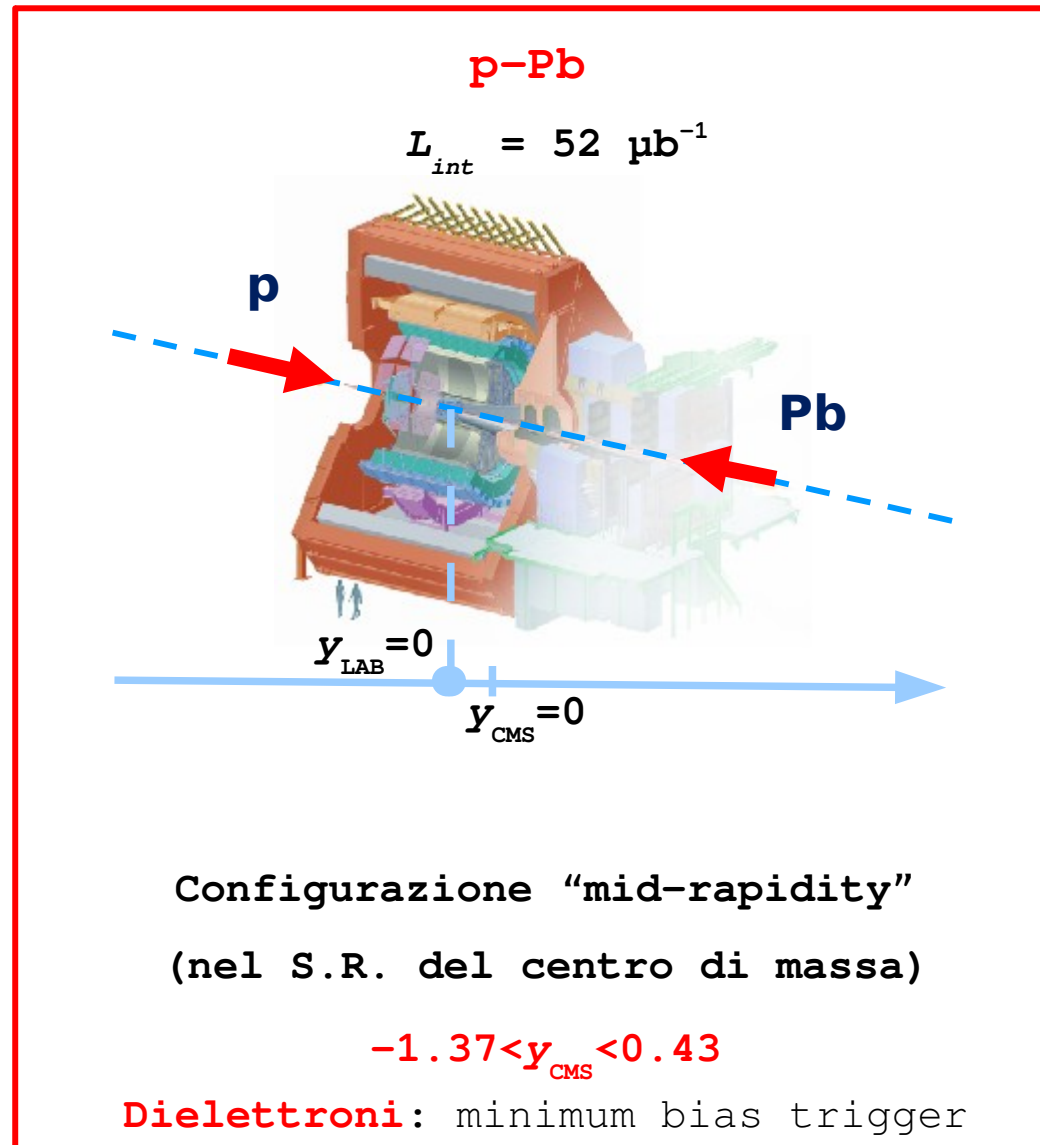
$2.03 < y_{\text{CMS}} < 3.53$

Dimuoni: trigger dedicato

Il run p-Pb (2013)

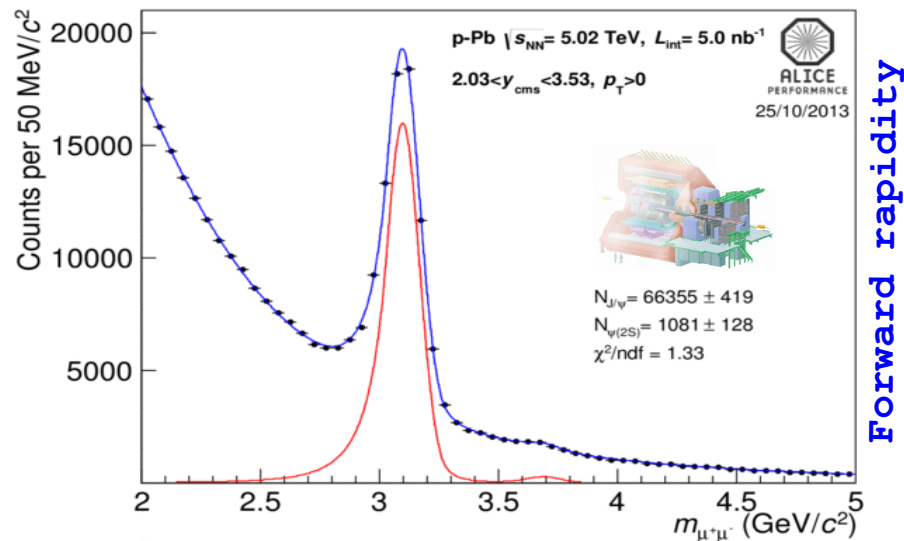
Shift in rapidita' a causa della diversa energia dei fasci ($E_p = 4 \text{ TeV}$, $E_{Pb} = 1.58 \text{ A} \cdot \text{TeV}$)

$$|\Delta y_{\text{CMS}}| = 0.5 \log (Z_{Pb} A_p / Z_p A_{Pb}) = 0.465$$

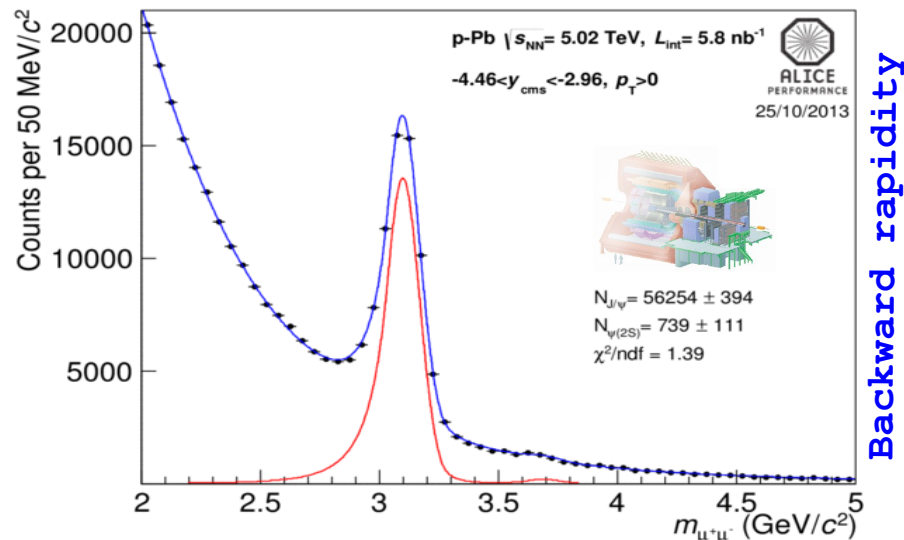


Spettri di massa invariante

canale $\mu^+\mu^-$

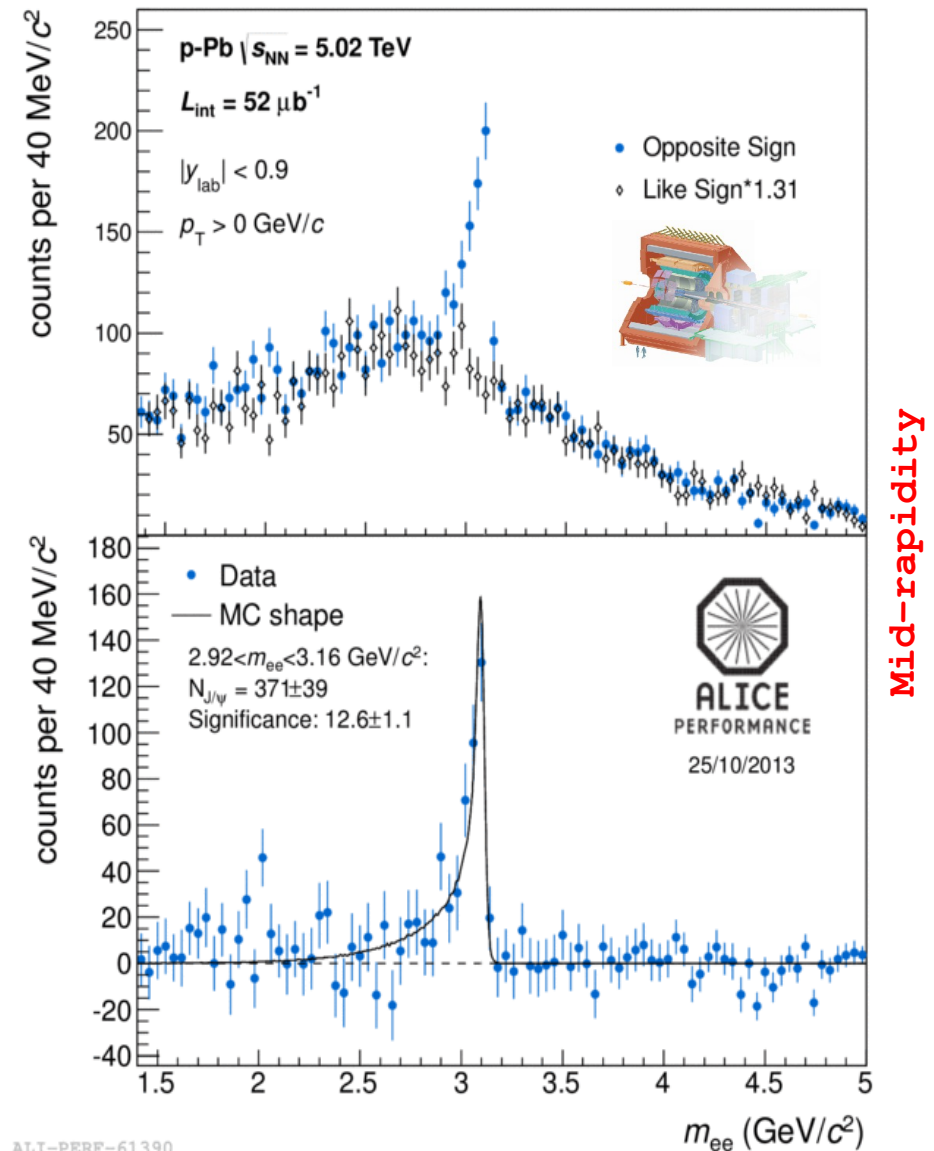


ALI-PERF-60385



ALI-PERF-60389

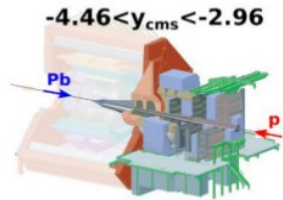
canale e^+e^-



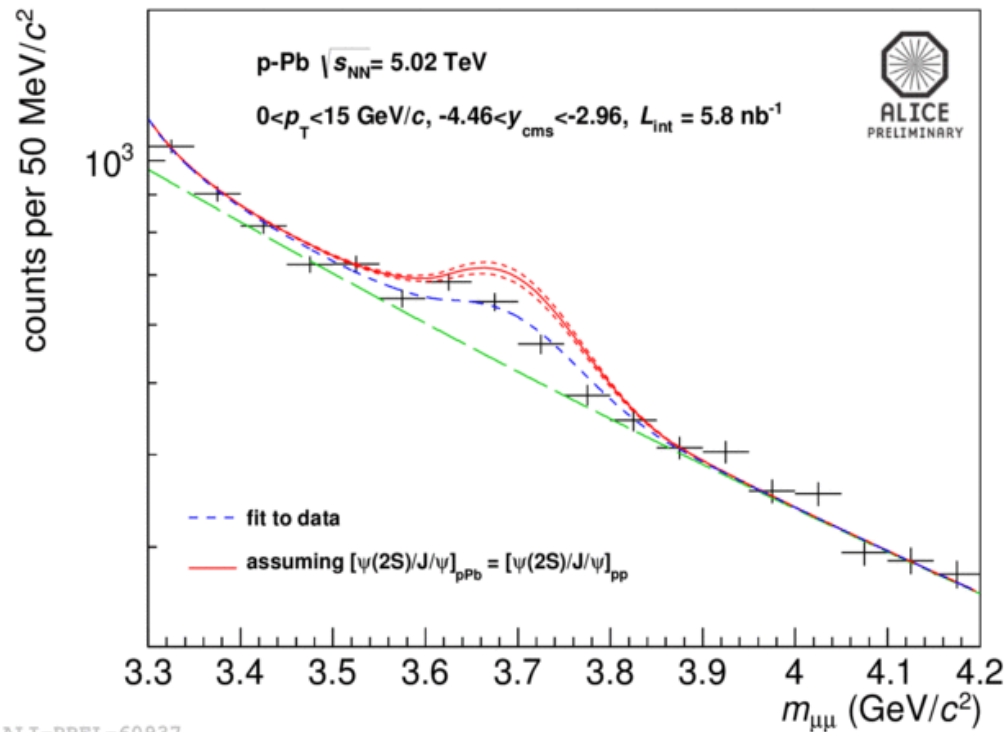
ALI-PERF-61390

Ottime performances dei rivelatori in entrambi i canali di decadimento.

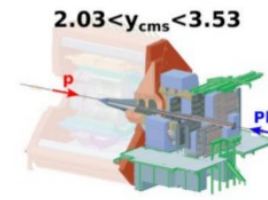
Studio della $\psi(2S)$ in collisioni p-Pb



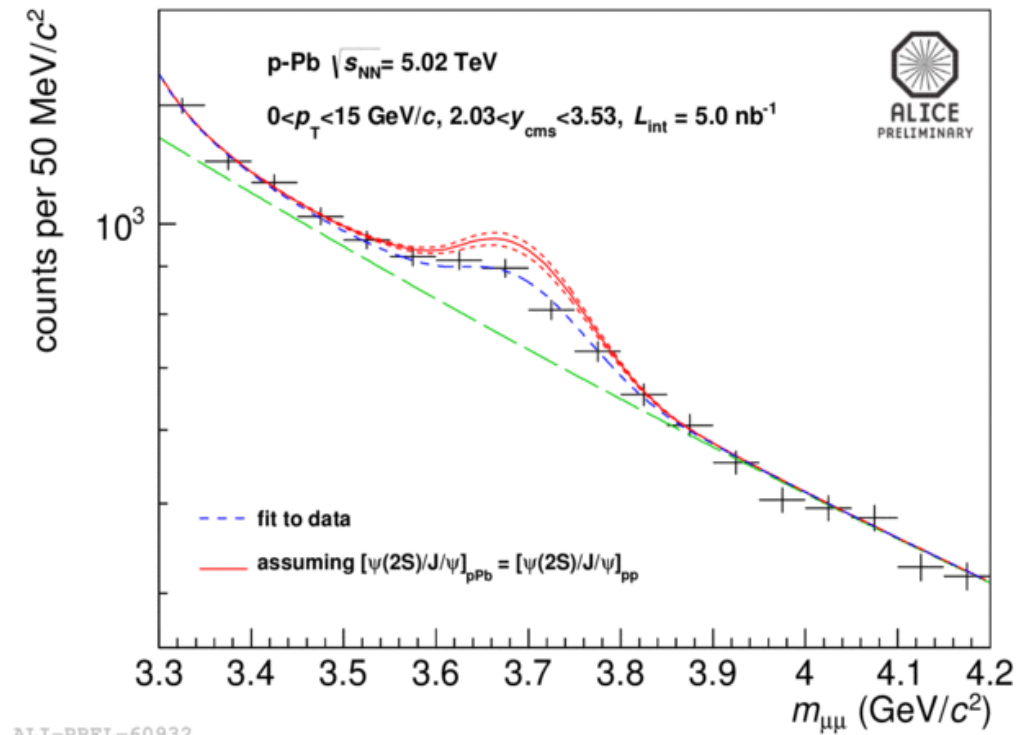
Backward y
(dimuoni)



ALI-PREL-60937



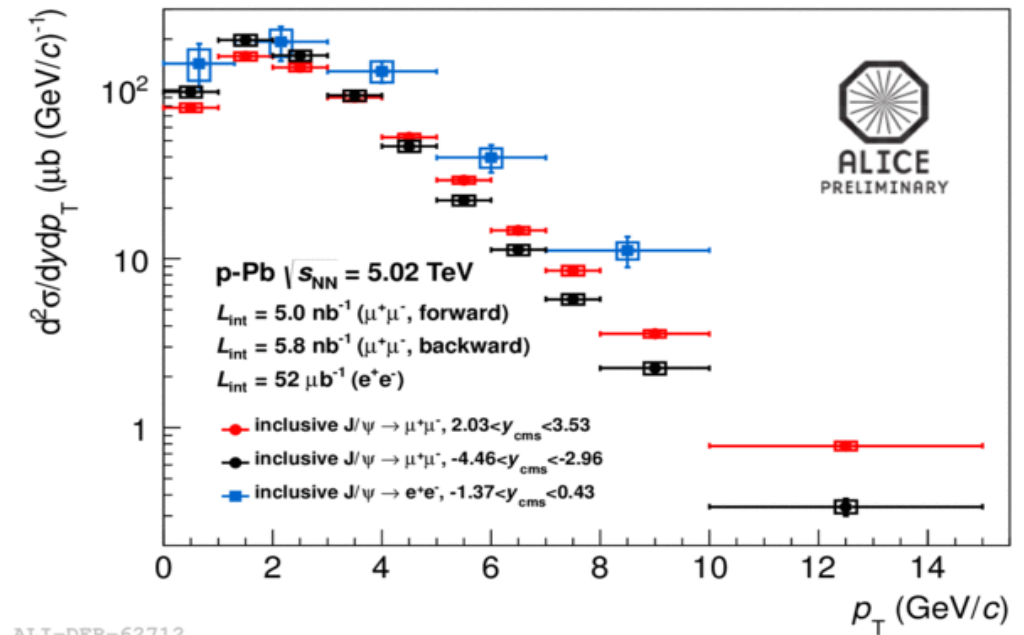
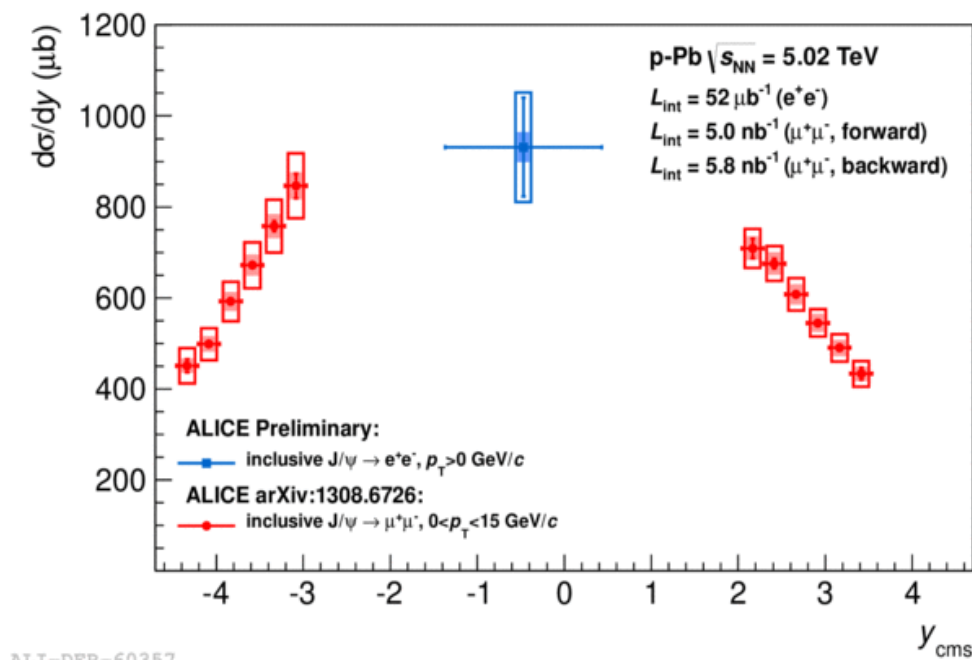
Forward y
(dimuoni)



ALI-PREL-60932

→ I tassi di produzione della $\psi(2S)$ in collisioni p-Pb sono inferiori rispetto a quelli misurati in collisioni p-p.

Sezioni d'urto della J/ψ



→ Le **sezioni d'urto** sono calcolate con la seguente formula:

$$\sigma_{J/\psi \rightarrow l^+l^-} = \frac{N_{J/\psi \rightarrow l^+l^-}}{L_{\text{int}} \times \text{Acc} \times \varepsilon \times BR_{J/\psi \rightarrow l^+l^-}}$$

Nuclear thickness function

La **configurazione nucleare** è data dalle **coordinate dei nucleoni** nel **nucleo**:

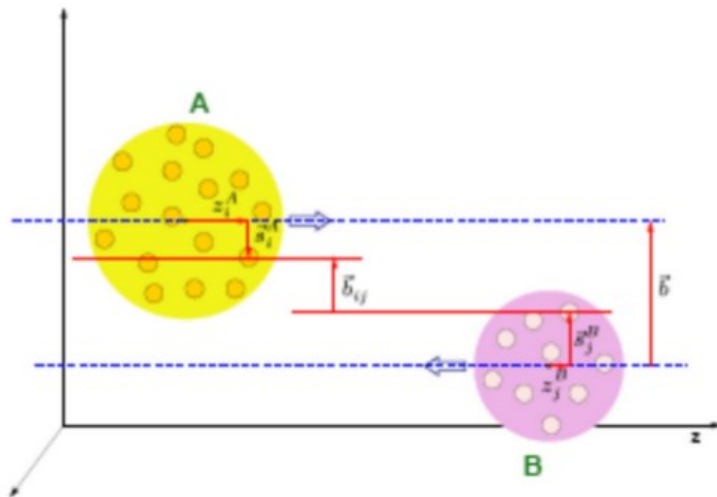
$$\{(x_1^A, y_1^A, z_1^A), \dots, (x_i^A, y_i^A, z_i^A), \dots, (x_A^A, y_A^A, z_A^A)\} \Rightarrow \{(\vec{s}_i^A, z_i^A)\}$$

$$\vec{s}_i^A = (x_i^A, y_i^A) = \text{coordinate trasverse}$$

Nell'approssimazione in cui i nucleoni viaggiano in linea retta:

- le coordinate $\{s_i^A\}$ non cambiano dopo la collisione.
- le coordinate z_i^A non sono rilevanti.

In questa approssimazione, è possibile introdurre la **nuclear thickness function** T_A :

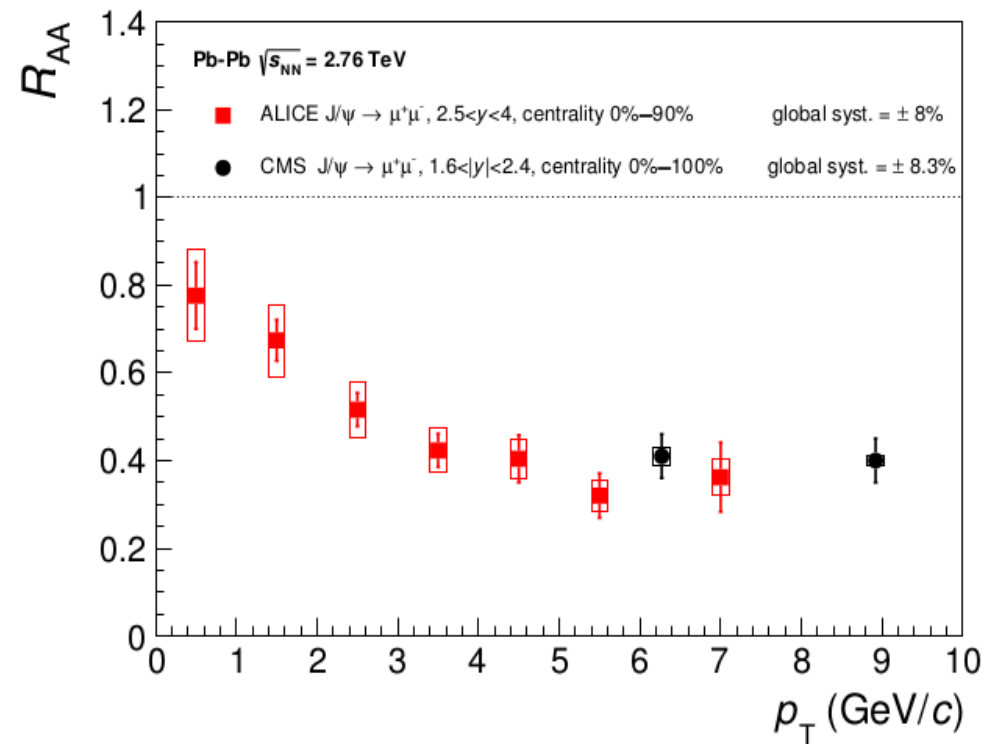
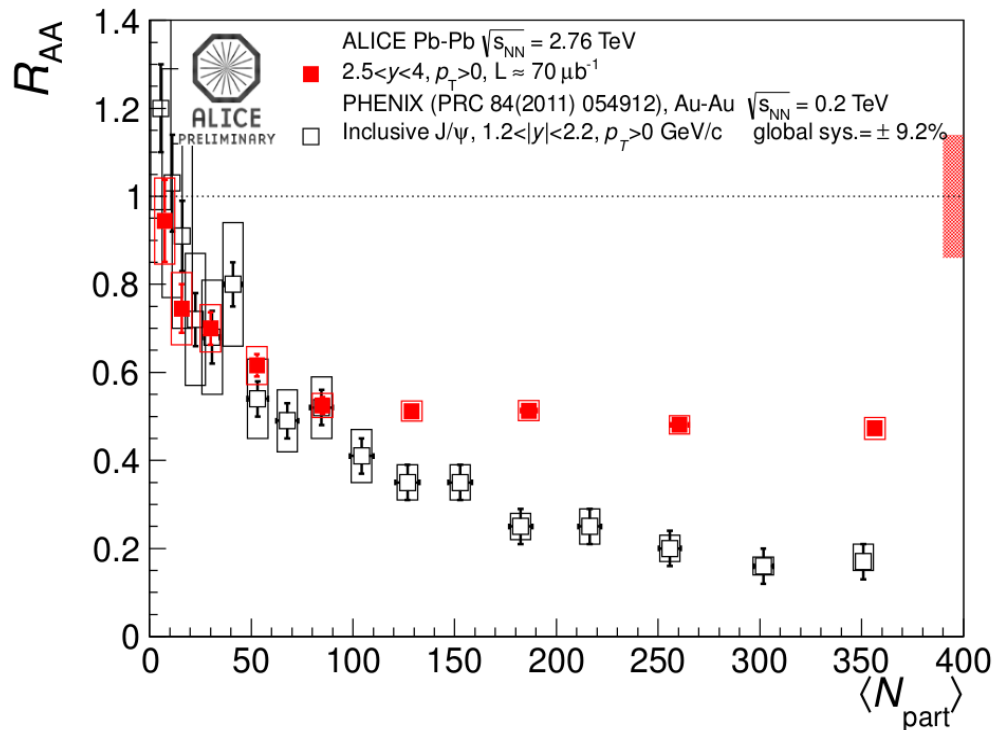


$$T_A(\vec{s}_A) = \int_{-\infty}^{+\infty} dz_A \rho_A(\vec{s}_i^A, z_i^A)$$

T_A = probabilità di trovare un nucleone del nucleo A, alla coordinata trasversa s_A

Risultati in collisioni Pb-Pb

J/ψ in Pb-Pb: un breve riassunto

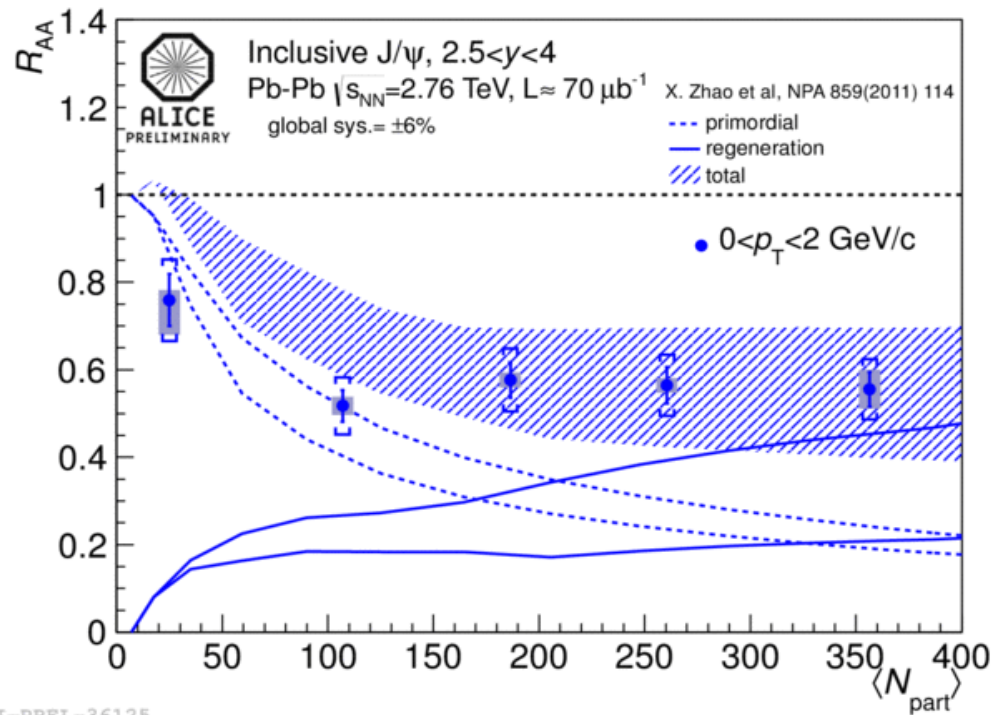


- I dati alle energie di **PHENIX** mostrano un aumento della soppressione in funzione della centralità crescente.
- I risultati di **ALICE** mostrano valori inferiori di soppressione.
- Evidenza di una **soppressione inferiore alle energie di ALICE, rispetto a quelle di RHIC.**
- La **soppressione è inferiore** a bassi valori di p_T .

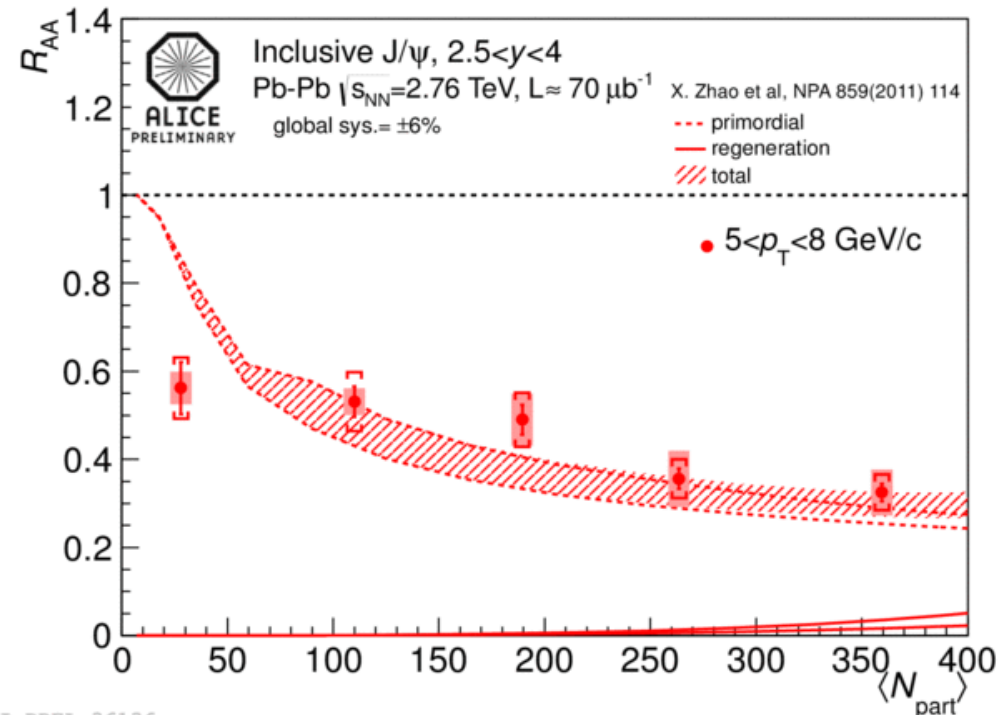
Schema di soppressione consistente con la presenza di ricombinazione!

R_{AA} vs p_T : confronto con i modelli teorici

L' R_{AA} della J/ψ è presentato in funzione della centralità in due diversi intervalli di momento trasverso:



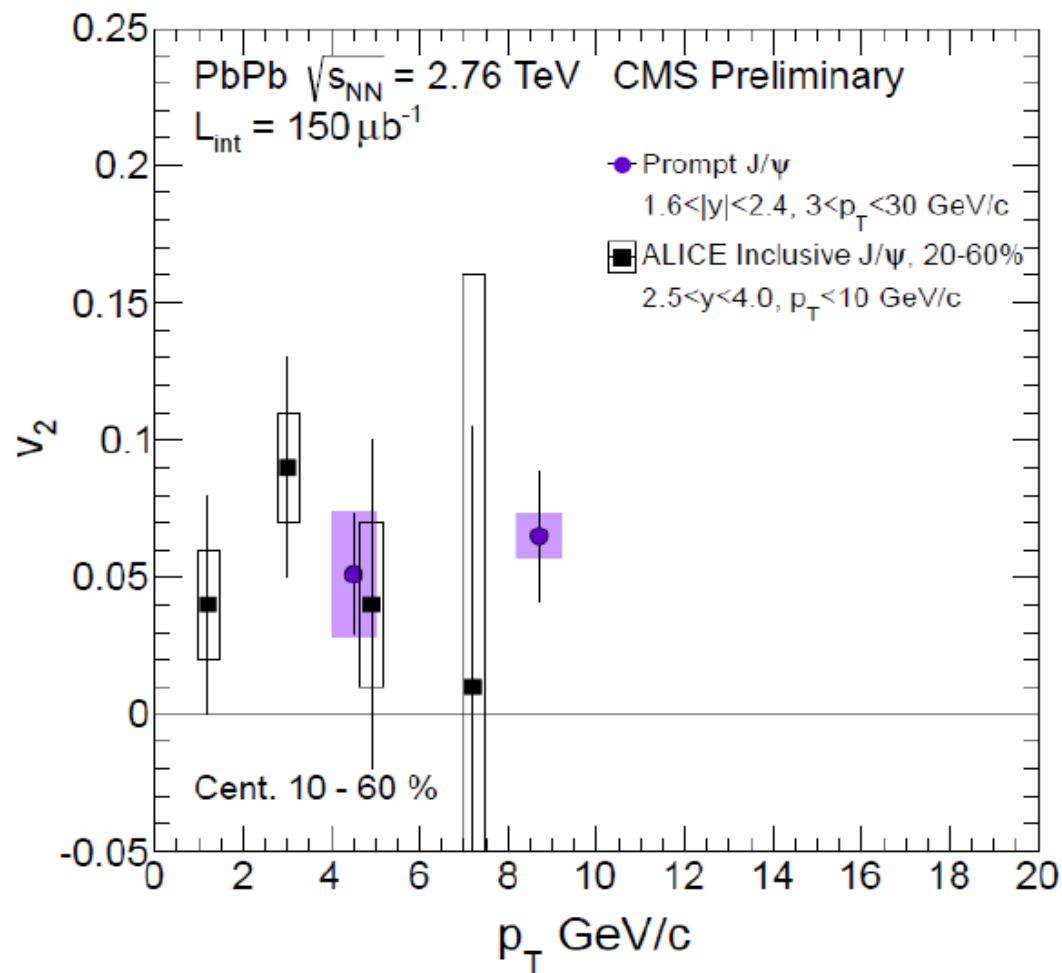
ALI-PREL-36125



ALI-PREL-36136

- Sono riportati i contributi di produzione “primordiale” (linea tratteggiata) e di rigenerazione (linea continua) e la loro somma.
- Si osservano valori maggiori di R_{AA} a basso p_T . Questa situazione è descritta dai modelli che includono un contributo di J/ψ prodotta mediante ricombinazione.

Elliptic flow della J/ψ



CMS HIN-2012-001
E. Abbas et al. (ALICE),
PRL111(2013) 162301

- Alle energie di LHC il contributo di J/ψ da ricombinazione dovrebbe avere come conseguenza la presenza di un segnale di elliptic flow non trascurabile.
- ALICE: v_2 non nullo.
- CMS: contributo significativo di v_2 .