Studio della produzione del quarkonio in collisioni p-Pb e Pb-Pb con l'esperimento ALICE al LHC

Gabriele Gaetano Fronzé

For the ALICE Collaboration

Università & INFN Torino, Subatech Nantes

20 Aprile 2017 – Trieste (IT)

Overview

Introduzione

1. Il QGP
2. Il quarkonio
3. Il fattore di modifica nucleare
4. Perché studiare collisioni pp, p-Pb e Pb-Pb
5. L'esperimento ALICE

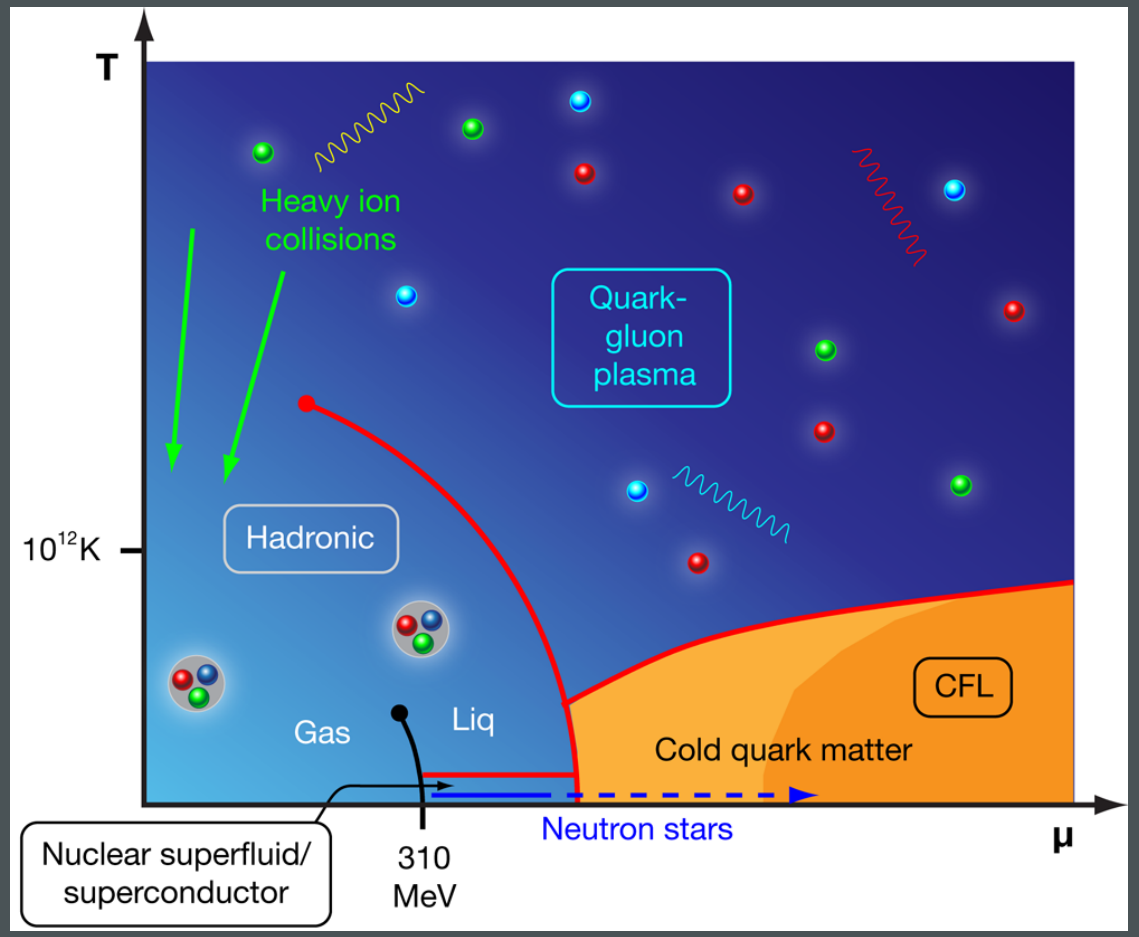
Risultati

6. J/ψ e $\Upsilon(1S)$ in collisioni p-Pb a $\sqrt{S_{NN}}$ =5.02 TeV e $\sqrt{S_{NN}}$ = 8.16 TeV
7. J/ψ e $\Upsilon(1S)$ in collisioni Pb-Pb a $\sqrt{S_{NN}}$ = 5.02 TeV
8. Conclusioni

Introduzione

Cos'è il QGP

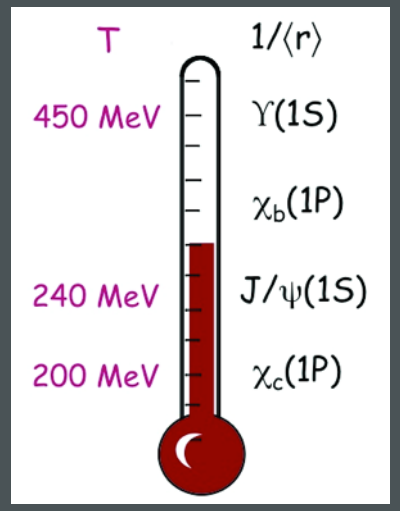
- Il QGP (Plasma di Quark e Gluoni) è uno stato della materia nucleare predetto dalla QCD (Quantum Chromo Dynamics) che si forma in condizioni di alte temperatura e pressione
- In questa fase i quark ed i gluoni sono deconfinati (libertà asintotica)
- Il QGP può essere prodotto sperimentalmente in collisioni ultrarelativistiche di ioni pesanti
- Il QGP perdura per pochi fm/c. Per questo motivo non può essere osservato direttamente, ma viene studiato attraverso i suoi effetti sulla produzione di particelle

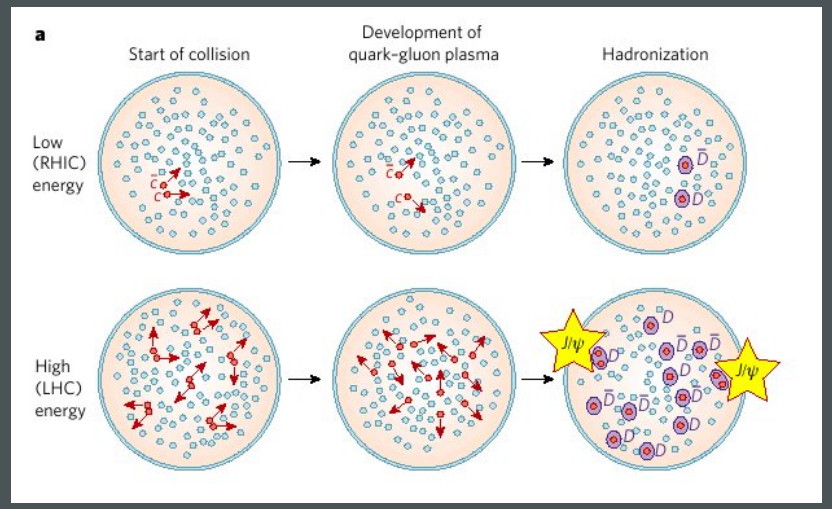


Lo studio del QGP attraverso la produzione di quarkonio

$Q\bar{Q}$ prodotti molto presto nella collisione → Attraversano il QGP → Sensibili alle caratteristiche del plasma

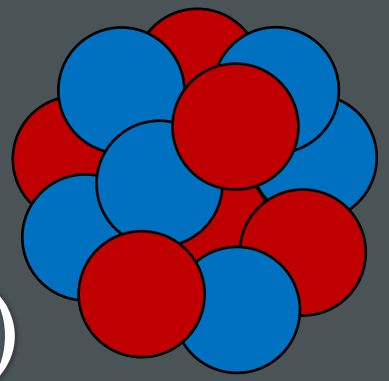
- La misura della produzione di quarkonia è sensibile alla presenza del QGP:
  - Soppressione dovuta a *color screening* da cariche di colore libere nel mezzo; [PLB 178 (4): 416–422]
  - Dissociazione sequenziale → Termometro del mezzo; [PLB 178 (1986): 416]
  - Produzione di coppie $c\bar{c}$ importante ad LHC → Rigenerazione. [PLB 490 (2000): 196–202]





Il fattore di modifica nucleare R_{AA}

(A,Z)



$$\stackrel{?}{=} Z \cdot p + (A-Z) \cdot n$$

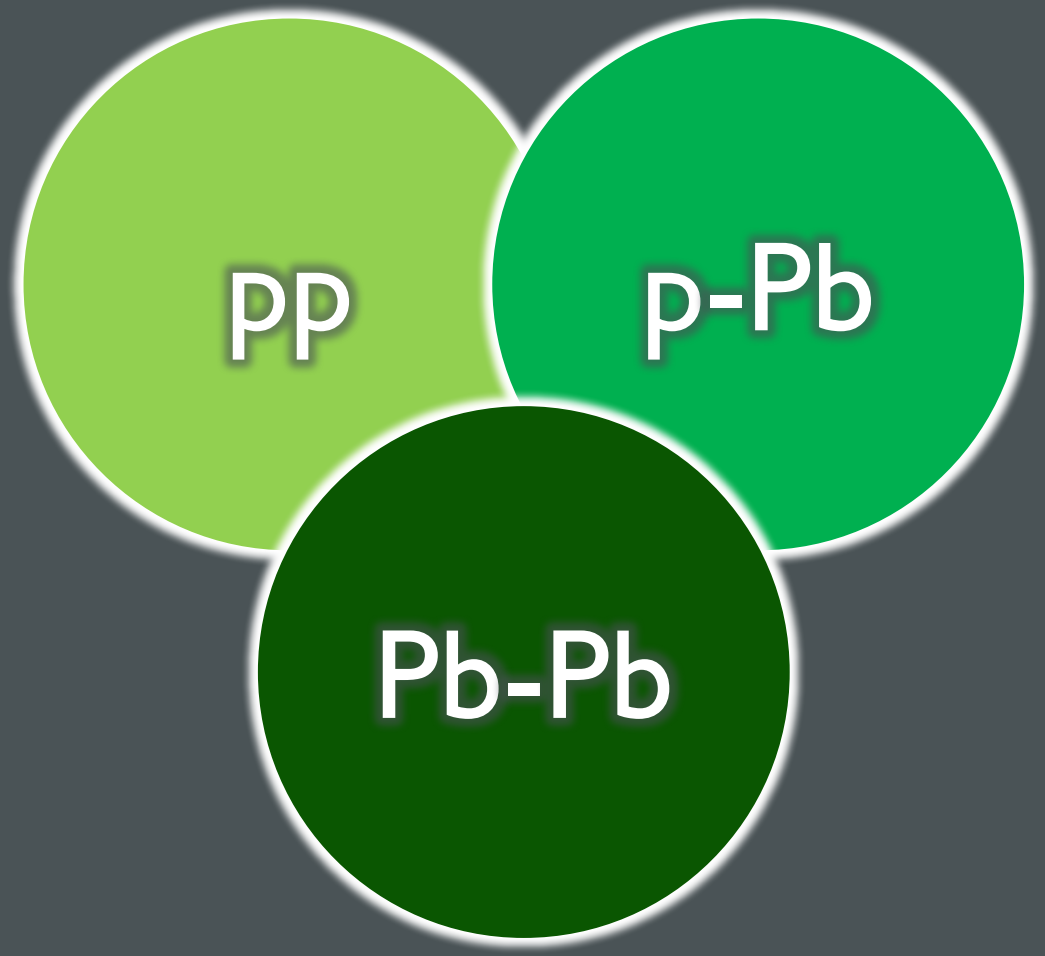
L' R_{AA} valuta la deviazione rispetto allo scaling binario.

$$R_{AA}^{q\bar{q}} = \frac{1}{T_{AA}} \cdot \frac{N_{AA}^{q\bar{q}}}{\sigma_{pp}^{q\bar{q}}} \quad \text{dove} \quad T_{AA} = \frac{\langle N_{Coll} \rangle}{\sigma_{pp}^{inel}}$$

[Nucl. Phys. A 774, 3 (2006)]

Si veda la presentazione di Valentina Zaccolo (Giovedì 20/04, 17:55)

Perché studiare collisioni pp, p-Pb e Pb-Pb

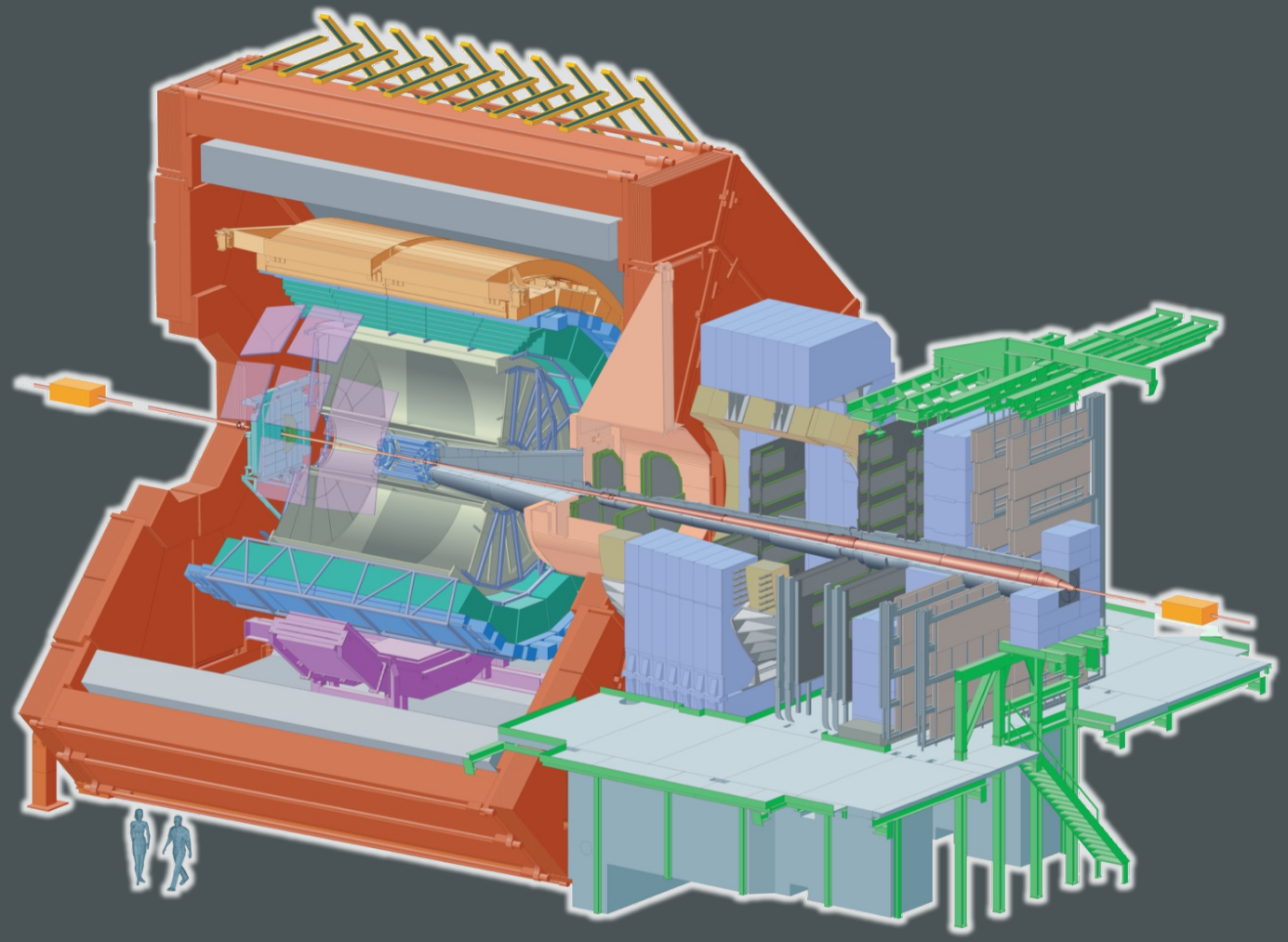


- Collisioni pp → σ_{pp} per R_{AA}
- Collisioni p-Pb → non si forma QGP*, ma sono presenti *Cold Nuclear Matter effects* (CNM)
- Le collisioni Pb-Pb → si forma il QGP, studiato in relazione ai sistemi più semplici

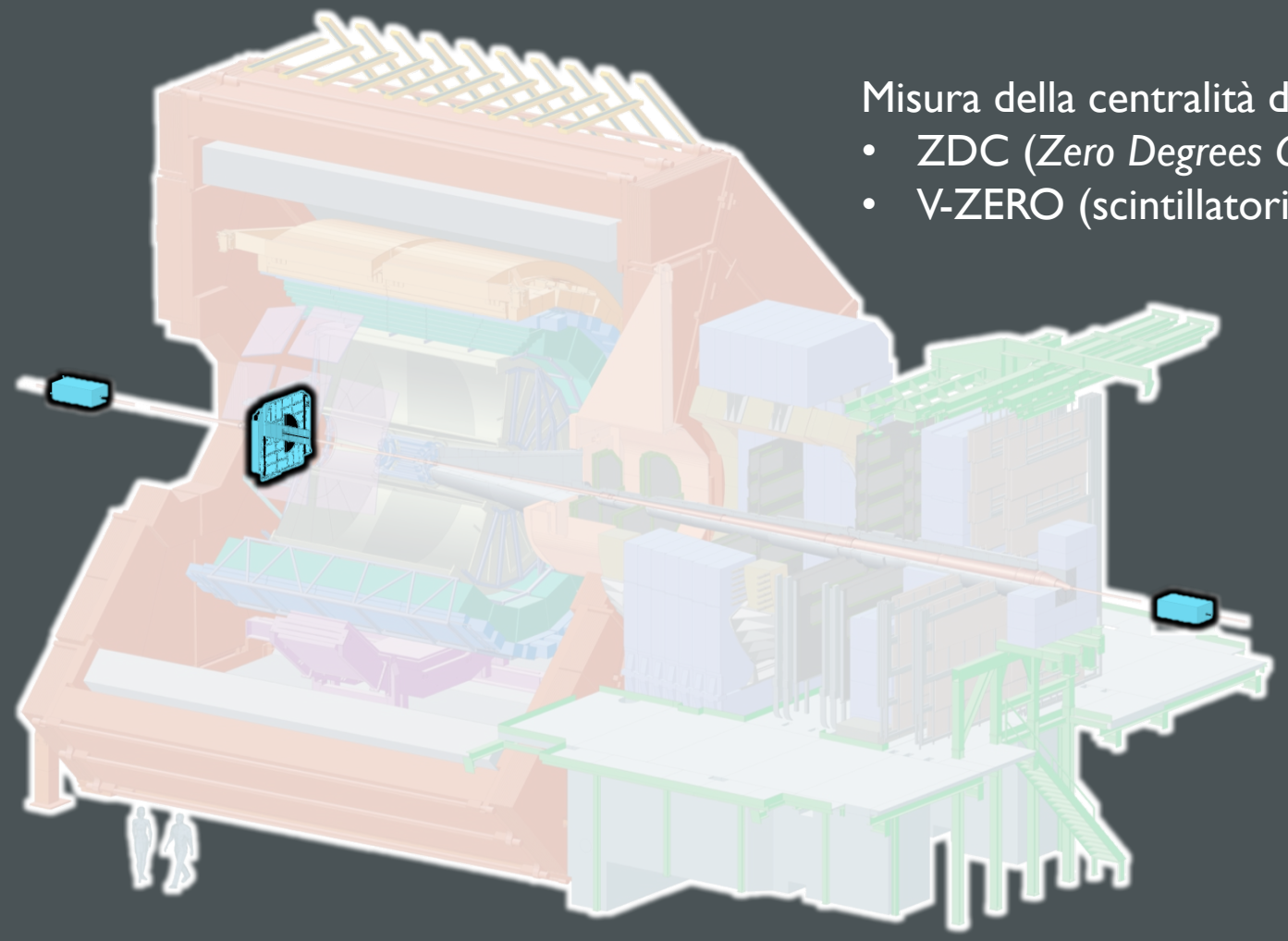
* Recenti misure non escludono la formazione di QGP in sistemi più semplici.

L’esperimento ALICE

L’esperimento ALICE



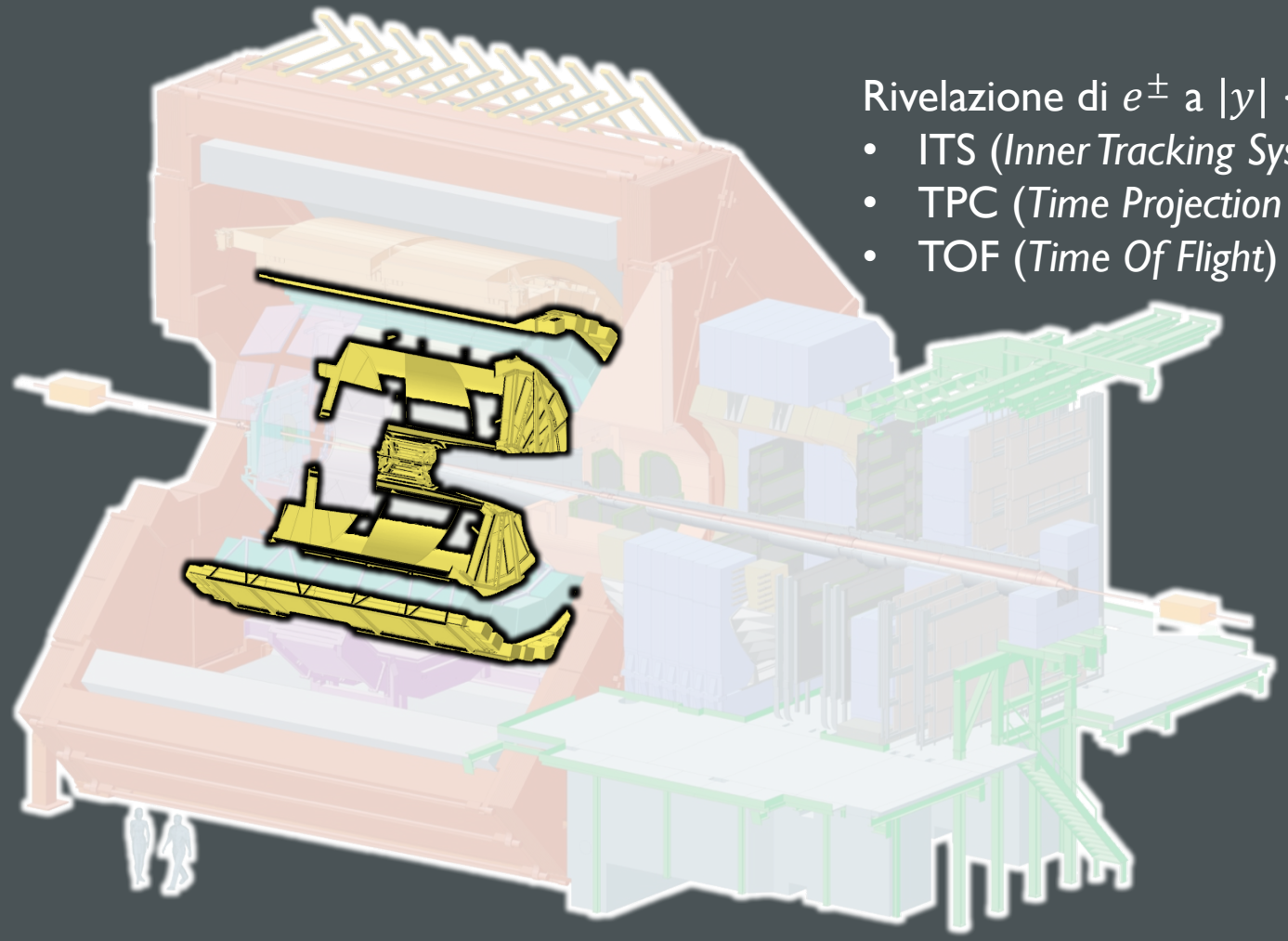
L'esperimento ALICE



Misura della centralità della collisione:

- ZDC (*Zero Degrees Calorimeters*)
- V-ZERO (scintillatori)

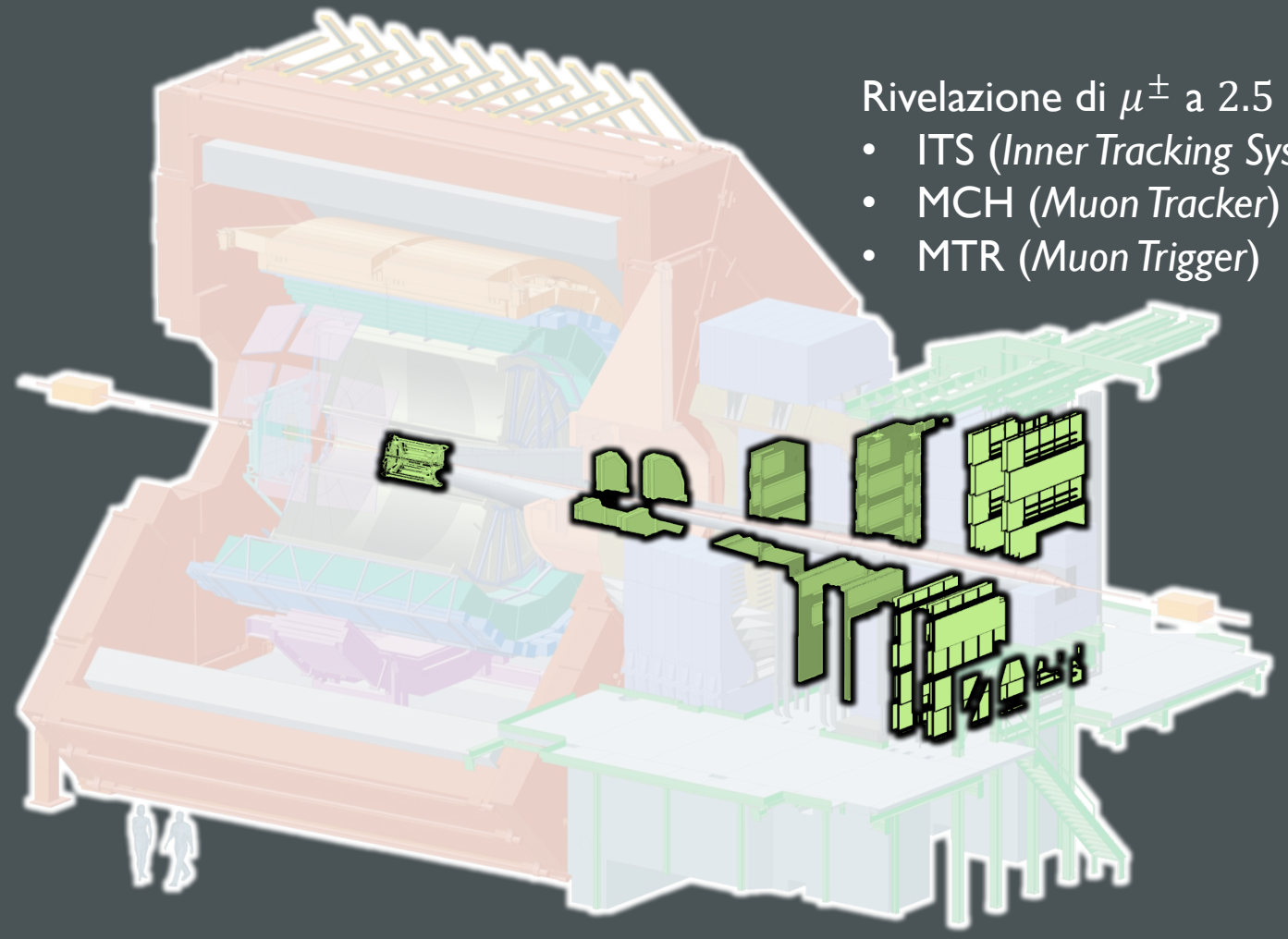
L'esperimento ALICE



Rivelazione di $e^{\pm}$ a $|y| < 0.9$ in Pb-Pb:

- ITS (*Inner Tracking System*)
- TPC (*Time Projection Chamber*)
- TOF (*Time Of Flight*)

L'esperimento ALICE



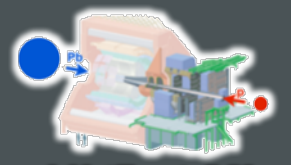
Rivelazione di $\mu^{\pm}$ a $2.5 < y < 4.0$ in Pb-Pb:

- ITS (*Inner Tracking System*)
- MCH (*Muon Tracker*)
- MTR (*Muon Trigger*)

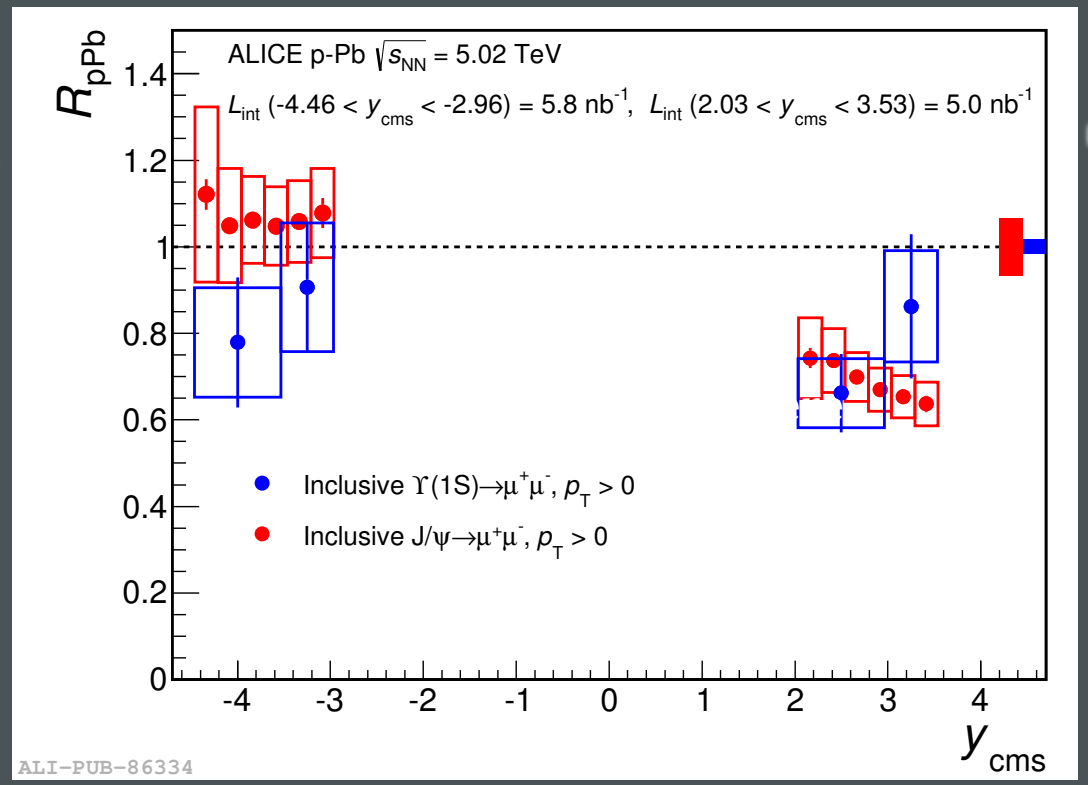
Misure in collisioni p-Pb

2013 @ $\sqrt{s_{\mathrm{NN}}}$=5.02 TeV & 2016 @ $\sqrt{s_{\mathrm{NN}}}$=8.16 TeV

J/ψ e $\Upsilon(1S)$ R_{pA} @ $\sqrt{s_{NN}}$=5.02 TeV



$-4.46 < Y_{cms} < -2.96$

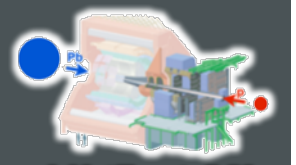


$2.03 < Y_{cms} < 3.53$

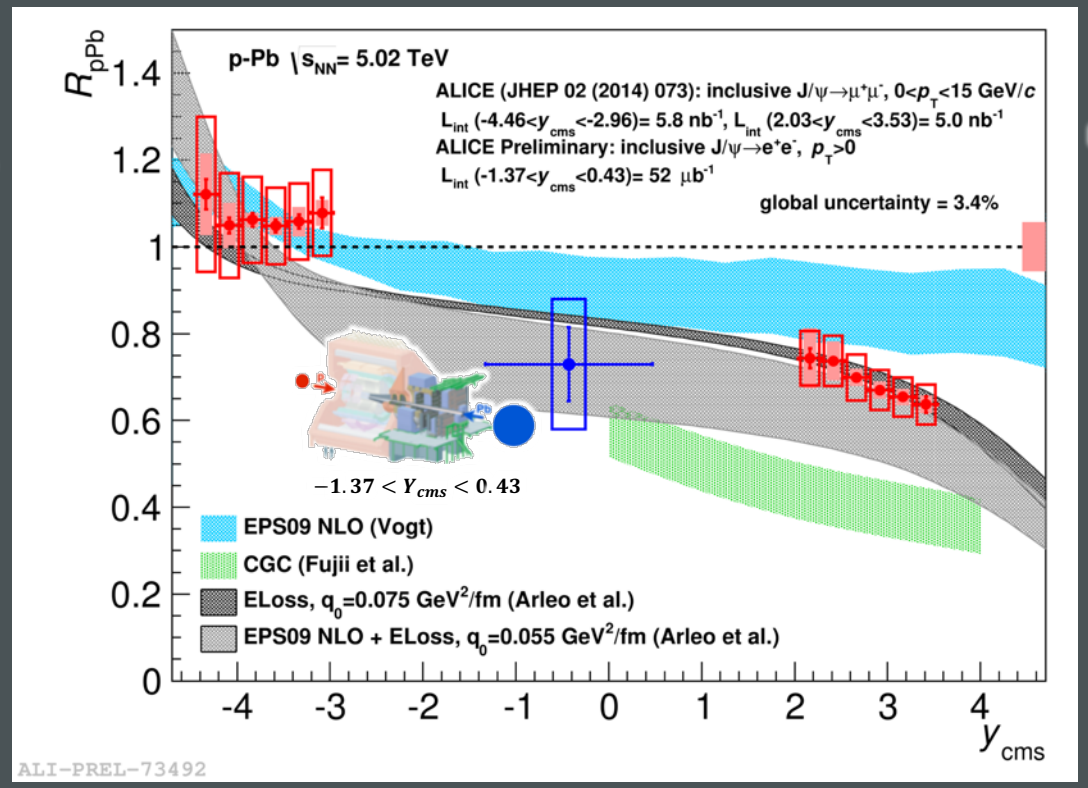
[PLB 740 (2015): 105–117]

- J/ψ:
  - Rapidità negativa: assenza di significative modifiche nucleari
  - Rapidità positiva: chiara soppressione
- $\Upsilon(1s)$ simile struttura con più incertezza

J/ψ R_{pA} @ $\sqrt{s_{NN}}$=5.02 TeV



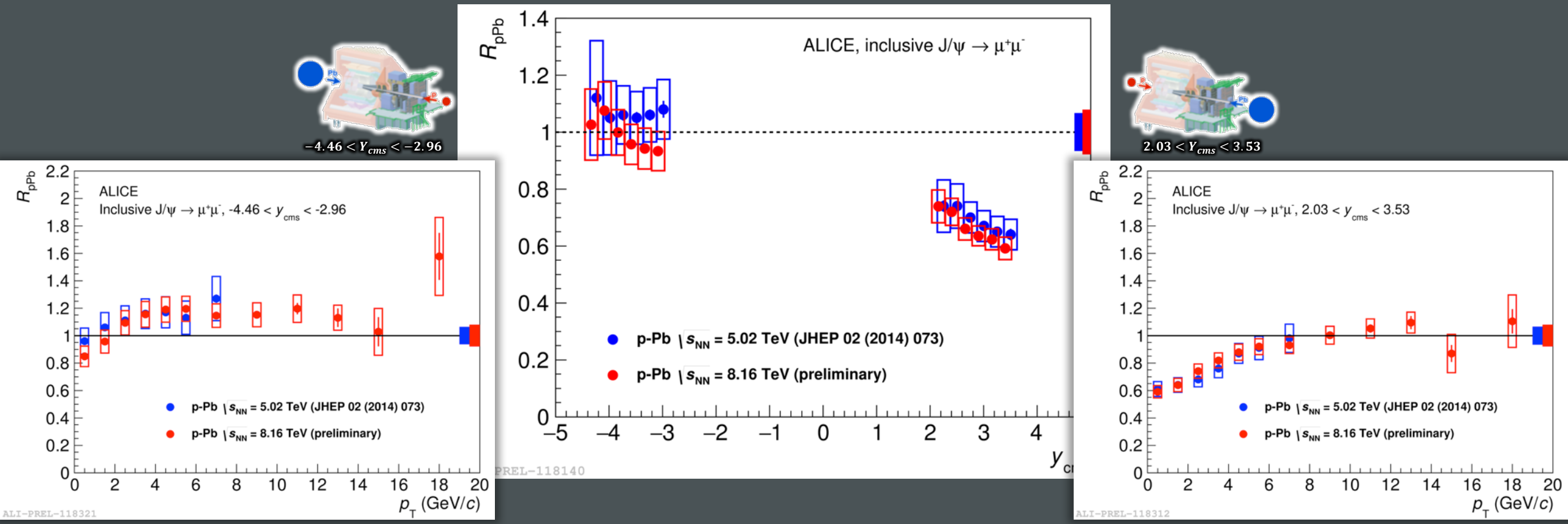
$-4.46 < Y_{cms} < -2.96$



$2.03 < Y_{cms} < 3.53$

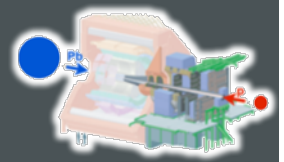
- Studio $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ estende accettanza
- Compatibilità con processi di *Energy Loss* e modifica nucleare delle PDF

J/ψ R_{pA} @ $\sqrt{s_{NN}}$=8.16 TeV

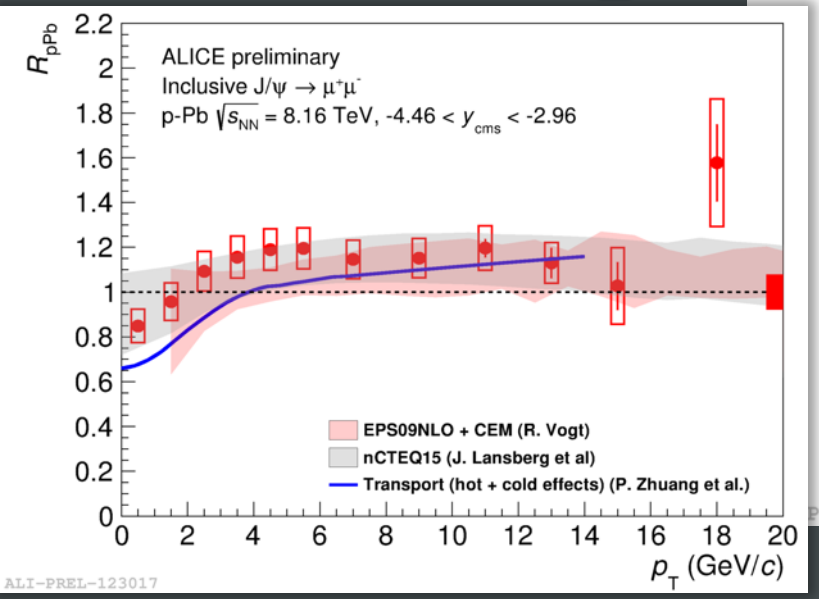


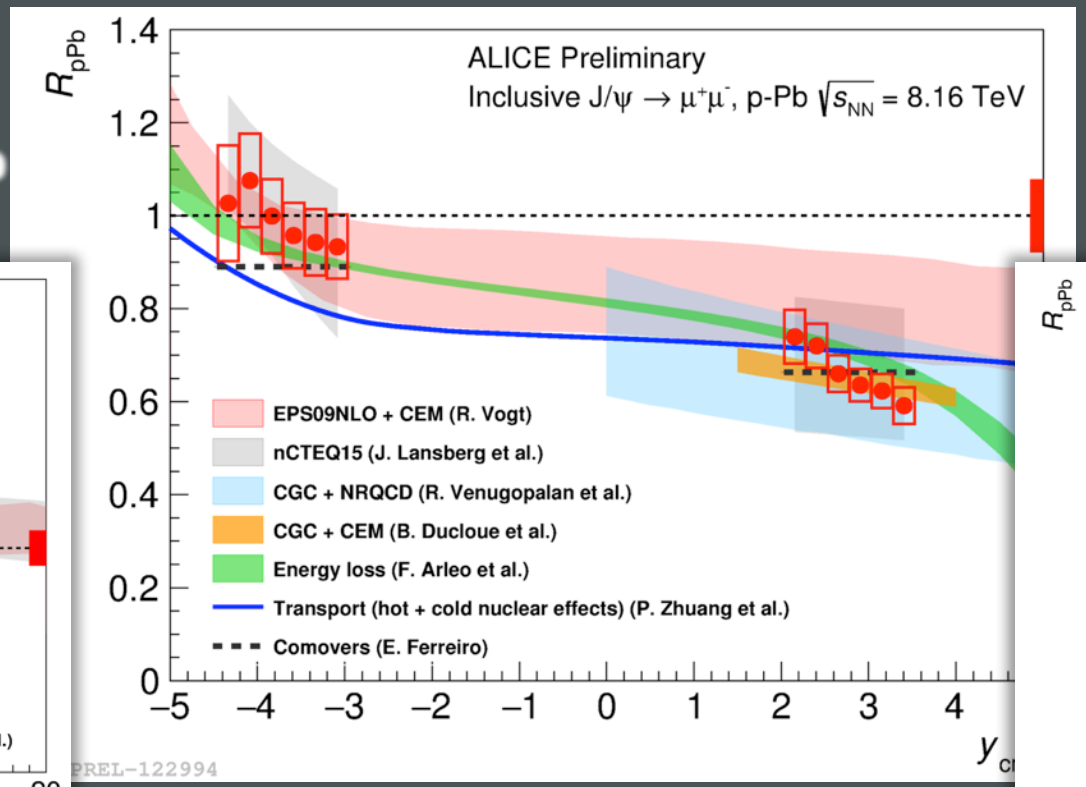
- Nessuna dipendenza evidente da $\sqrt{s_{NN}}$
- Compatibilità con limitate modifiche nucleari a rapidità negativa
- Maggiore soppressione a rapidità in avanti e basso p_T

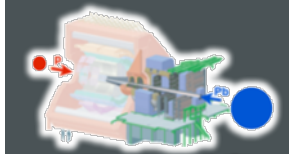
J/ψ R_{pA} @ $\sqrt{s_{NN}}$=8.16 TeV



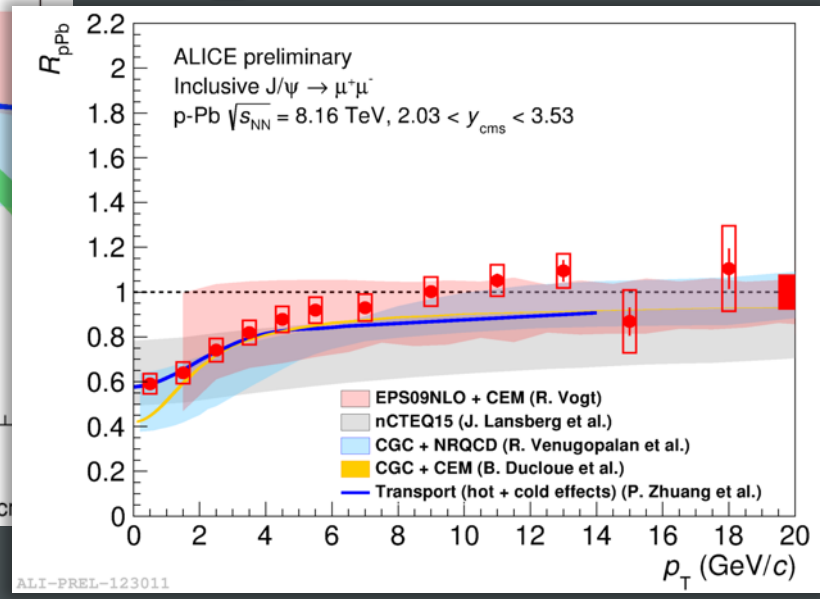
$-4.46 < Y_{cms} < -2.96$







$2.03 < Y_{cms} < 3.53$

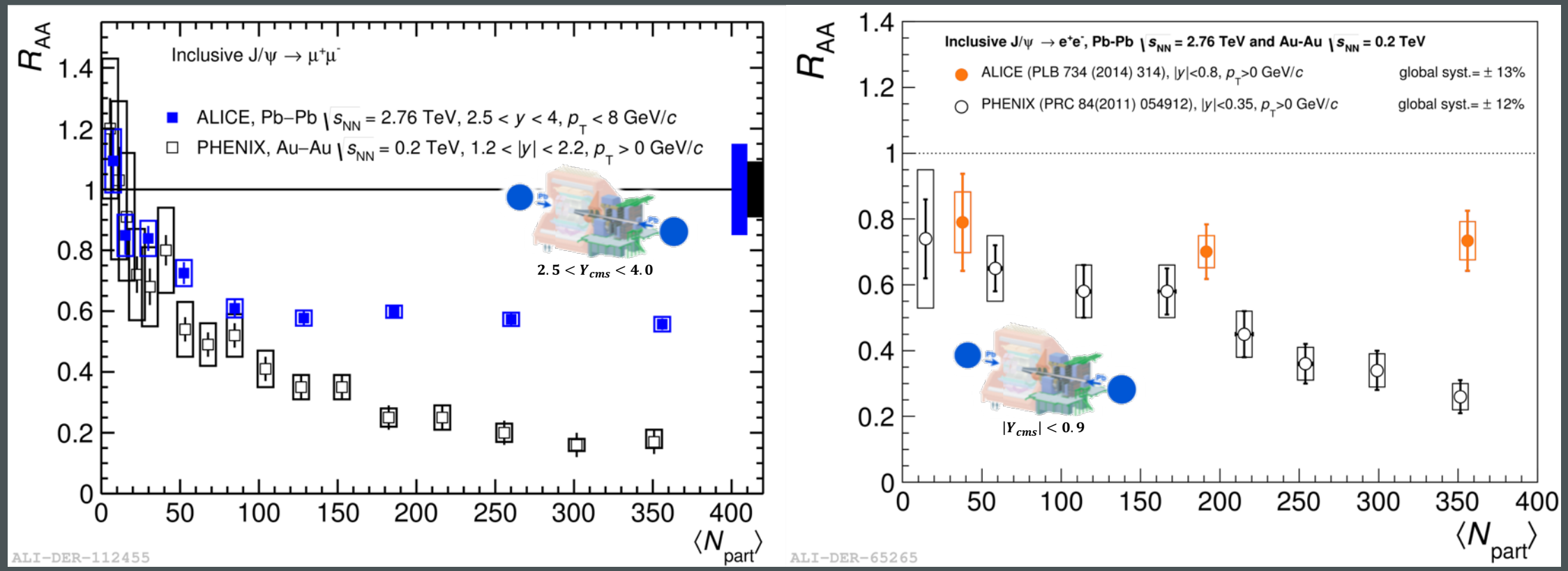


Modelli con CNM riproducono bene i dati

Misure in collisioni Pb-Pb

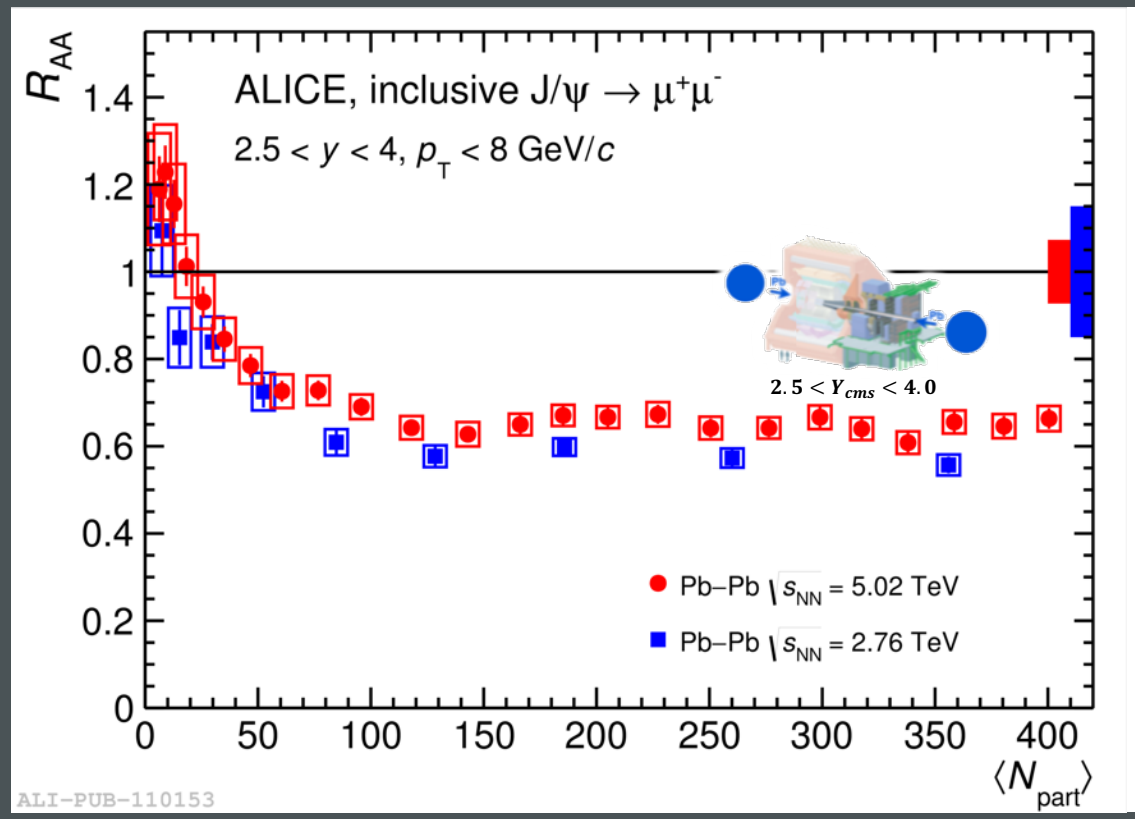
2011 @ $\sqrt{s_{\mathrm{NN}}}$=2.76 TeV e 2015 @ $\sqrt{s_{\mathrm{NN}}}$=5.02 TeV

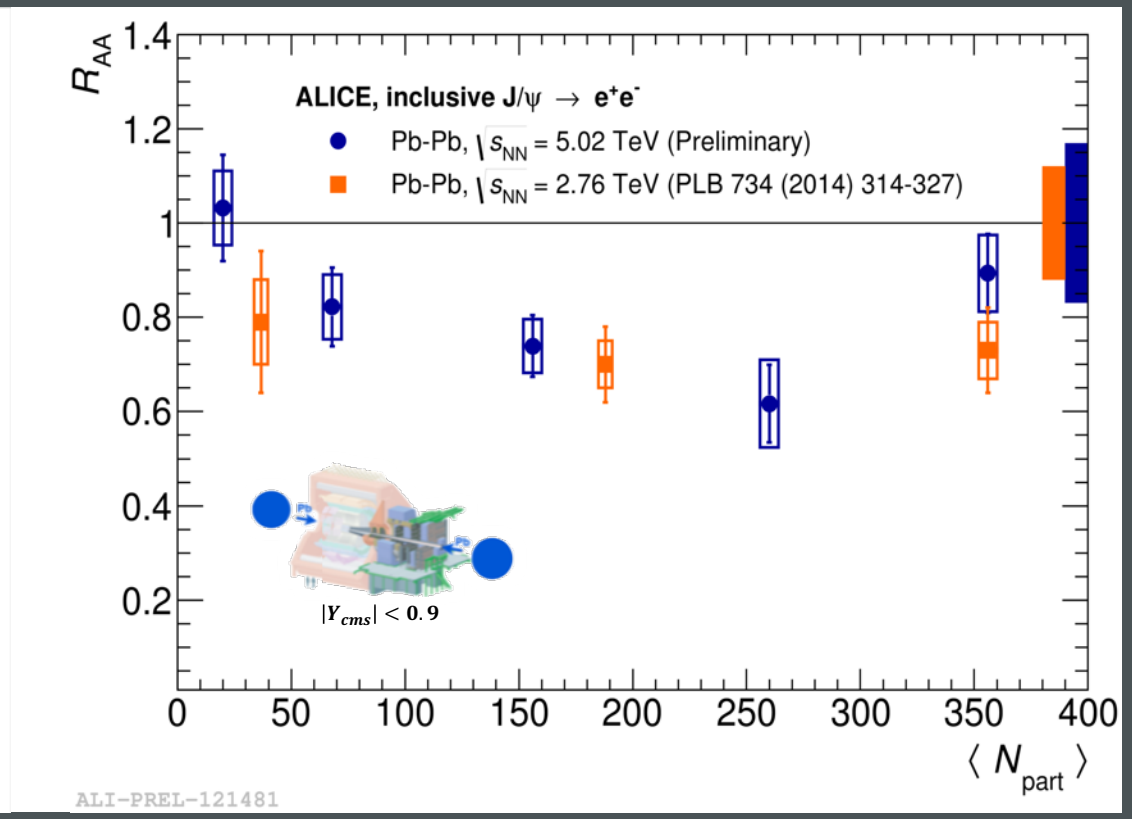
J/ψ R_{AA} @ $\sqrt{s_{NN}}$=200 GeV e 2.76 TeV



- PHENIX @ RHIC a $\sqrt{s_{NN}}$=200 GeV: soppressione in collisioni centrali
- ALICE @ LHC a $\sqrt{s_{NN}}$=2.76 TeV: soppressione inferiore a RHIC malgrado fattore 14 in energia

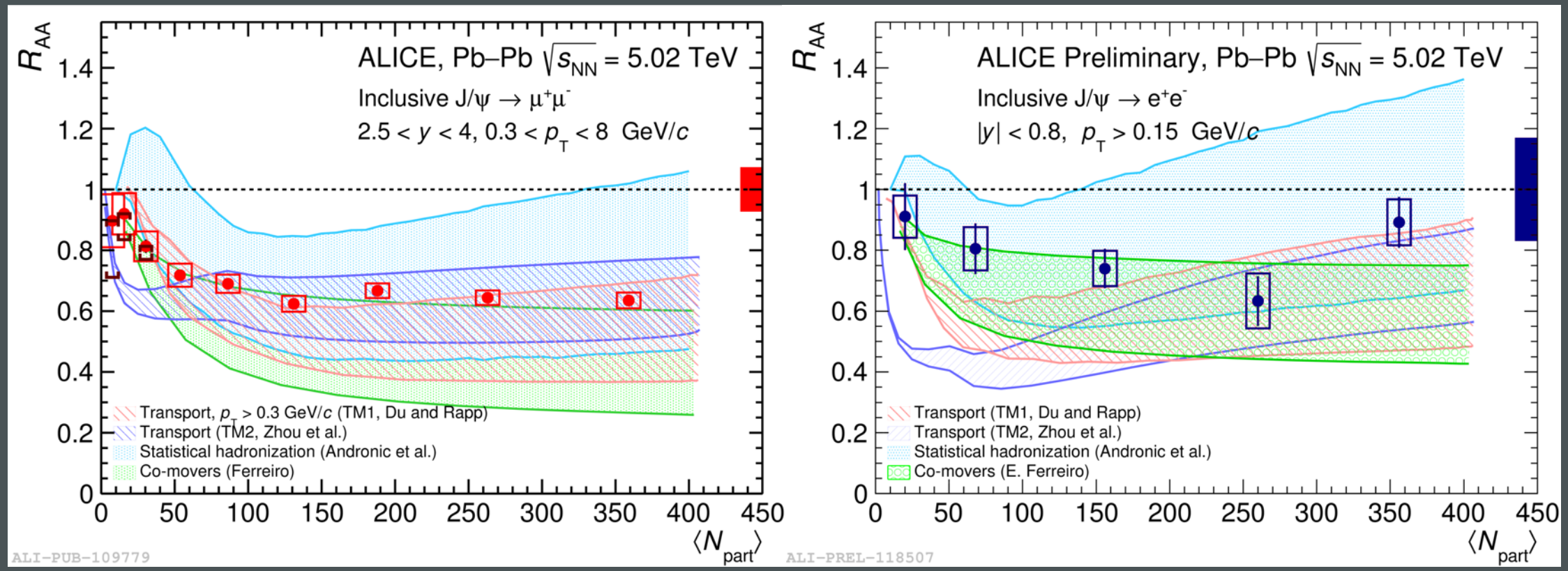
J/ψ R_{AA} @ $\sqrt{s_{NN}}$=2.76 TeV e 5.02TeV





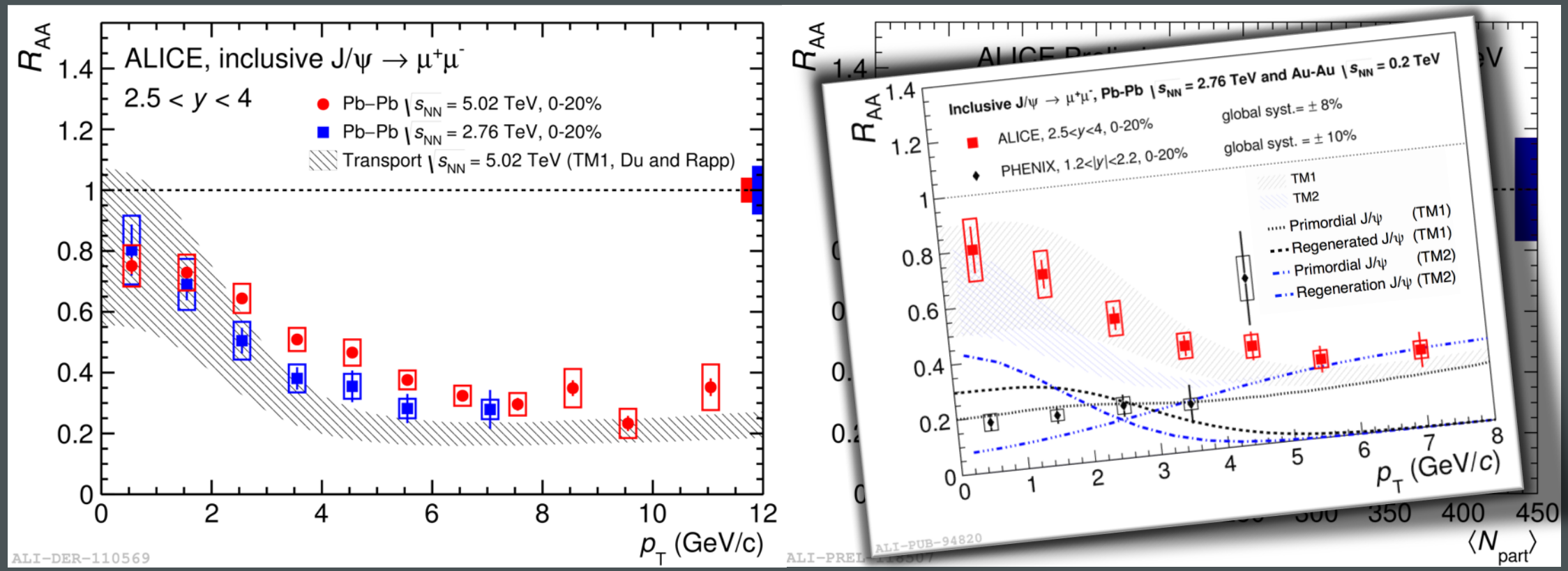
- Misure compatibili entro le incertezze con quelle a energia inferiore
- Rapidità in avanti: R_{AA} a $\sqrt{s_{NN}}$= 5.02 TeV sistematicamente superiore

J/ψ R_{AA} @ $\sqrt{s_{NN}}$=2.76 TeV e 5.02TeV



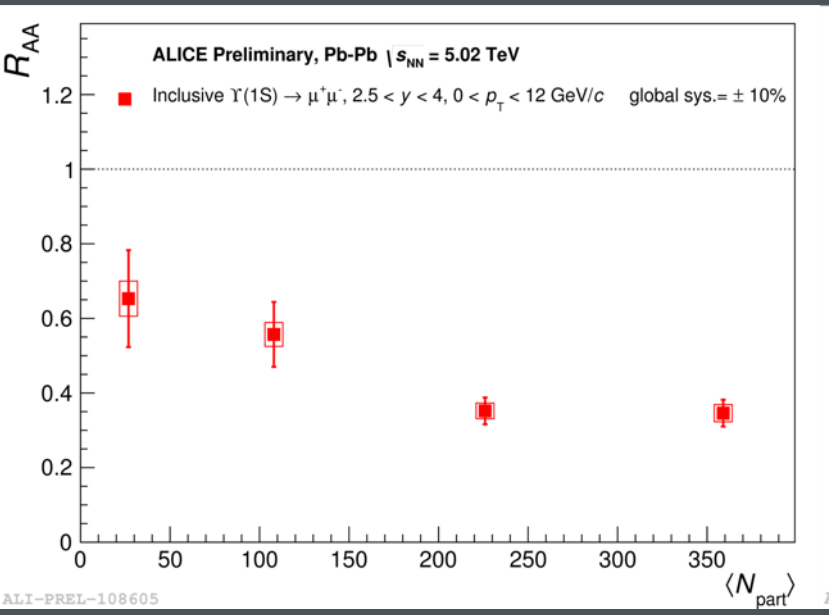
- Misure compatibili con modelli teorici che assumono rigenerazione
- Chiara indicazione di soppressione e (ri)generazione del charmonio

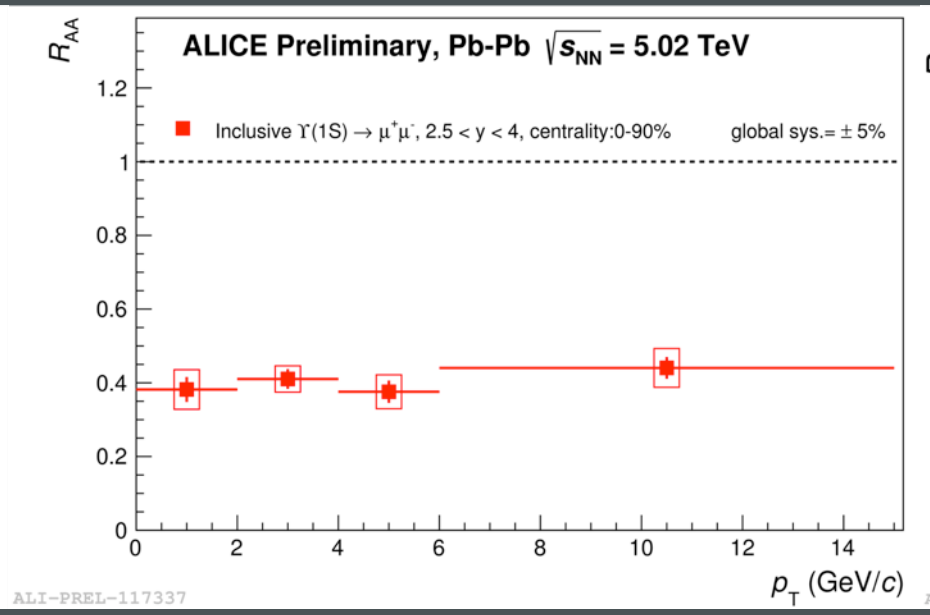
J/ψ R_{AA} @ $\sqrt{s_{NN}}$=2.76 TeV e 5.02TeV

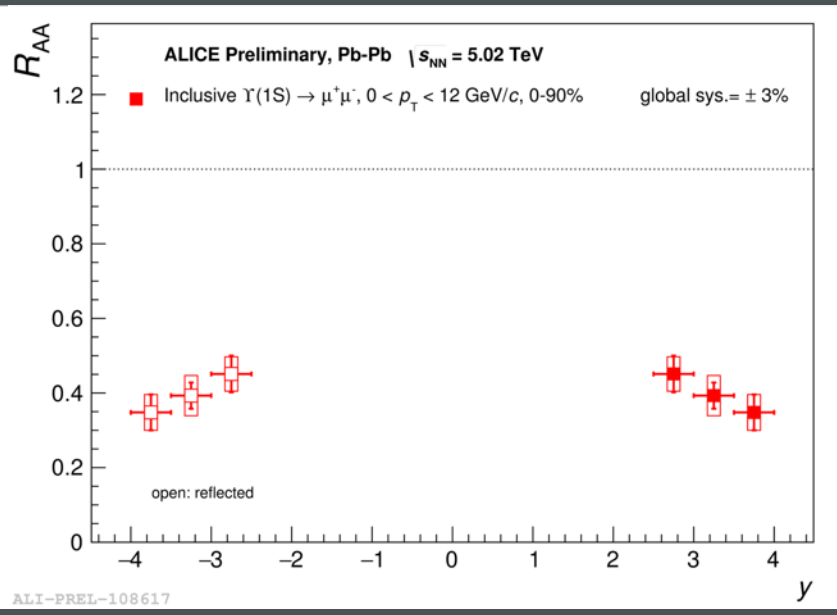


Rigenerazione maggiore a basso p_T

$\Upsilon(1S)$ R_{AA} @ $\sqrt{s_{\mathrm{NN}}}$=5.02 TeV

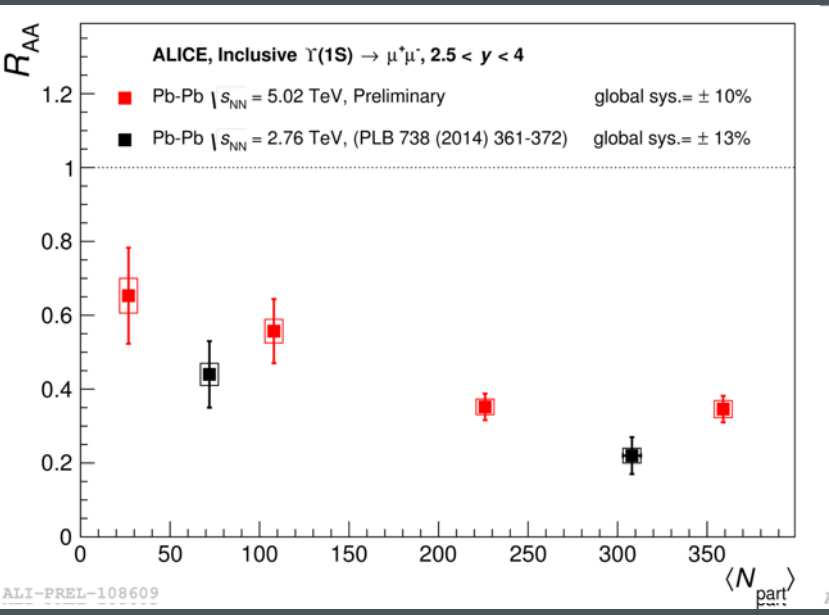


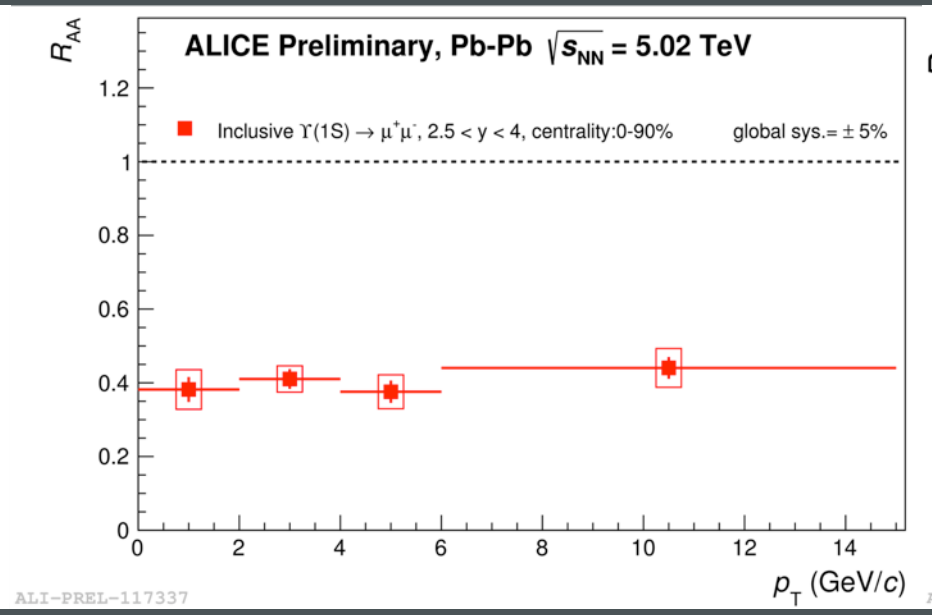


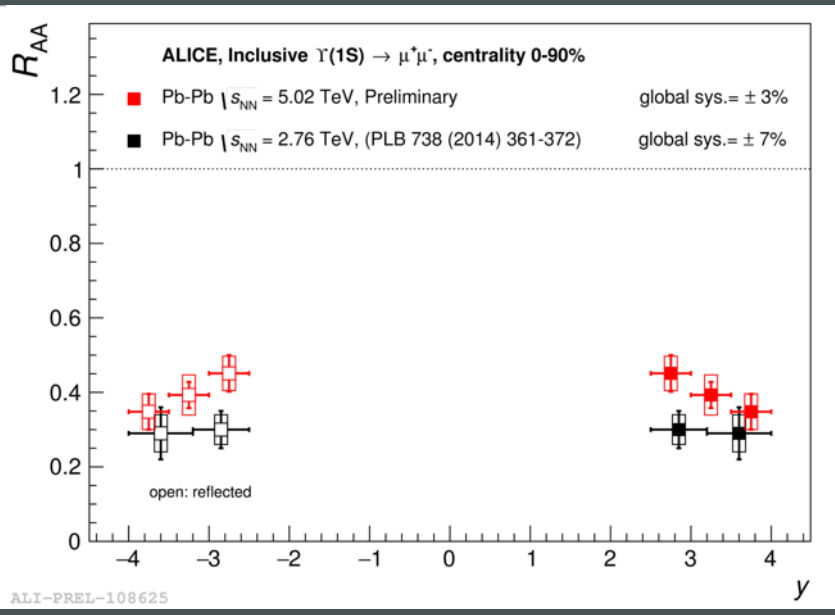


- Studio del bottomonio complementare a quello del charmonio
- Andamento constante in funzione di p_T
- Dipendenza dalla rapidità non conclusiva a causa delle incertezze

$\Upsilon(1S)$ R_{AA} @ $\sqrt{s_{\mathrm{NN}}}$=5.02 TeV

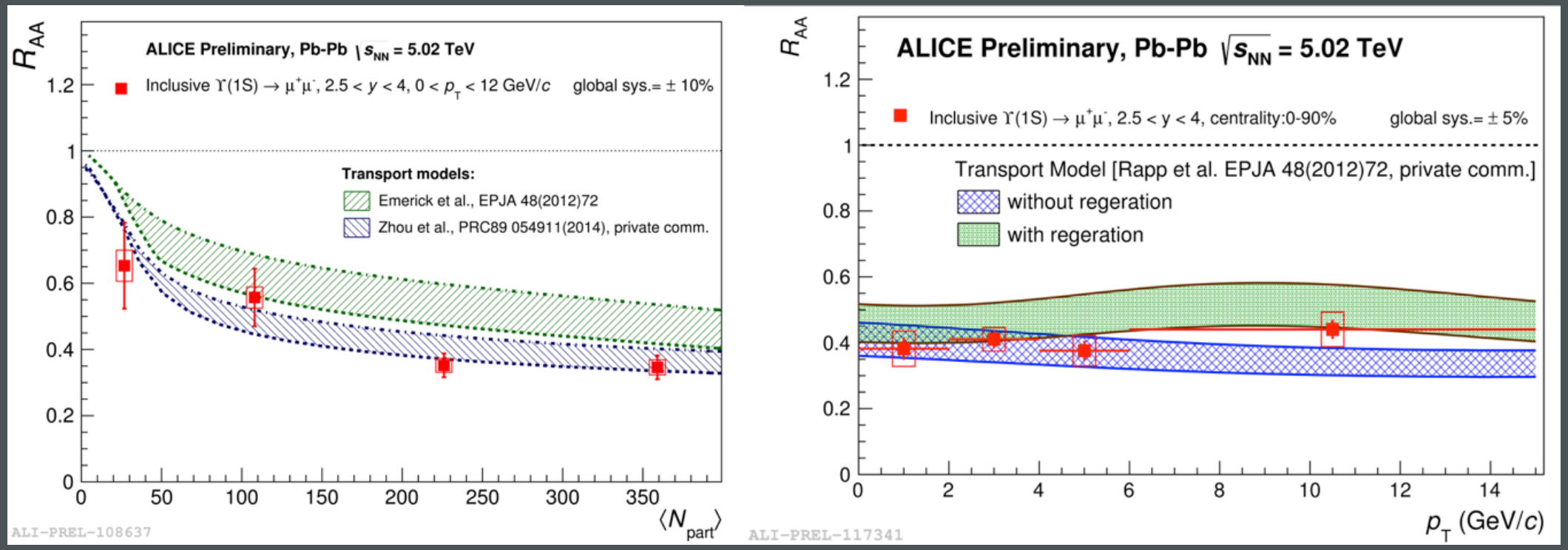






- Valori di R_{AA} a $\sqrt{s_{\mathrm{NN}}}$=5.02 TeV sistematicamente superiori rispetto a $\sqrt{s_{\mathrm{NN}}}$=2.76 TeV
- Dati a energie diverse compatibili entro le incertezze

$\Upsilon(1S)$ R_{AA} @ $\sqrt{s_{\mathrm{NN}}}$=5.02 TeV



- Modelli con (verde) o senza (blu) rigenerazione descrivono le misure
- Misure e modelli compatibili in funzione di p_T

Conclusioni

Conclusioni

- ALICE ha misurato la produzione di quarkonio in collisioni p-Pb e Pb-Pb:
  - La soppressione del quarkonio osservata in collisioni p-Pb è spiegabile con effetti di CNM
  - La produzione di J/ψ in collisioni Pb-Pb ad LHC sembra essere ben riprodotta da modelli che prevedono meccanismi di rigenerazione
  - Lo studio della $\Upsilon(1s)$ permette il *cross-check* di modelli e predizioni che contemplino meccanismi di rigenerazione
- Ulteriori misure permetteranno di porre condizioni più forti sui modelli e di evidenziare l'eventuale dipendenza dall'energia

Grazie per la vostra attenzione!

Backup

Selezione degli eventi e delle tracce ed *analisys strategy* per canale $\mu^+\mu^-$

$N_{\Upsilon(1s)}$ misurato nel canale $\mu^+\mu^-$ tramite fit di uno spettro di massa invariante.

Trigger online su dimuoni di p_T superiore a 1GeV/*c* per ogni muone.

Tagli sui singoli muoni:

- Matching tra tracker e trigger;
- $-4.0 < \eta_\mu < -2.5$;
- $p_{T\,\mu} \geq 2\ \mathrm{GeV}/c$;
- $17.6\ cm < R_{abs} < 89.5\ cm$.

Tagli sui dimuoni di segno opposto:

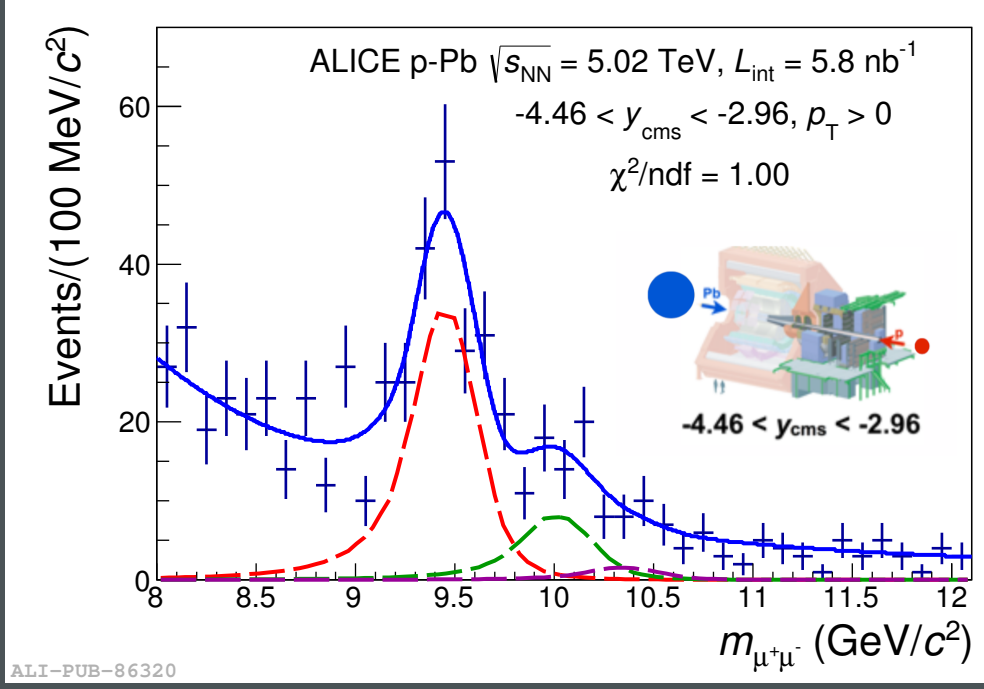
- $-4.0 < y_{\mu\mu} < -2.5$.

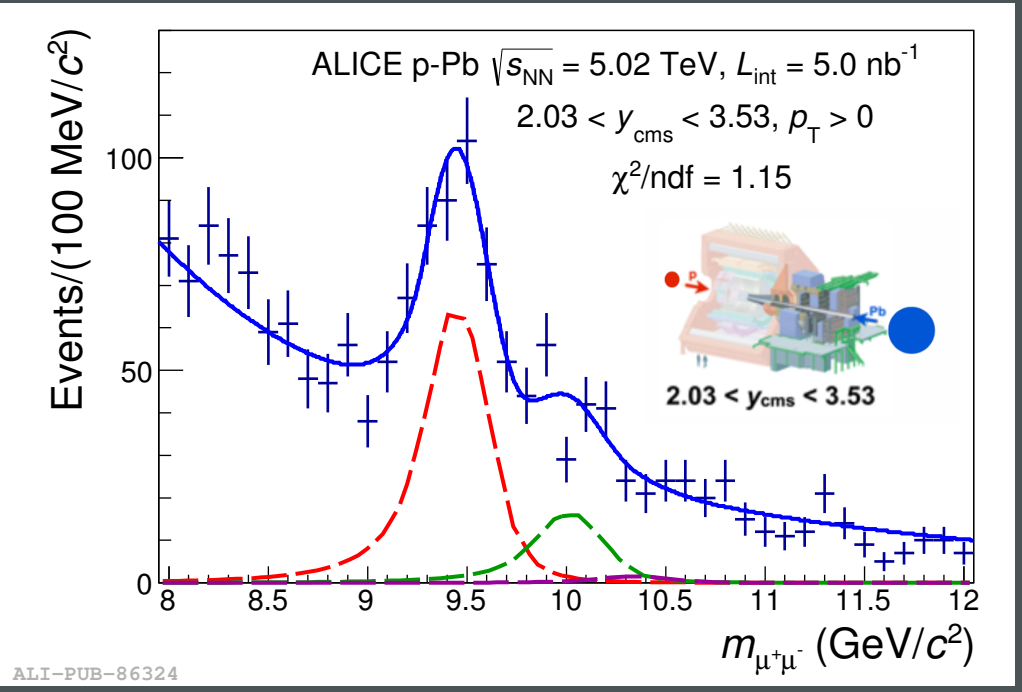
Fitting function per spettro in massa invariante:

- Una Extended Crystal Ball per ogni risonanza studiata;
- Background empirico: doppi o singoli esponenziali o power law.

Data sample in p-Pb @ $\sqrt{s_{NN}}$=5.02 TeV

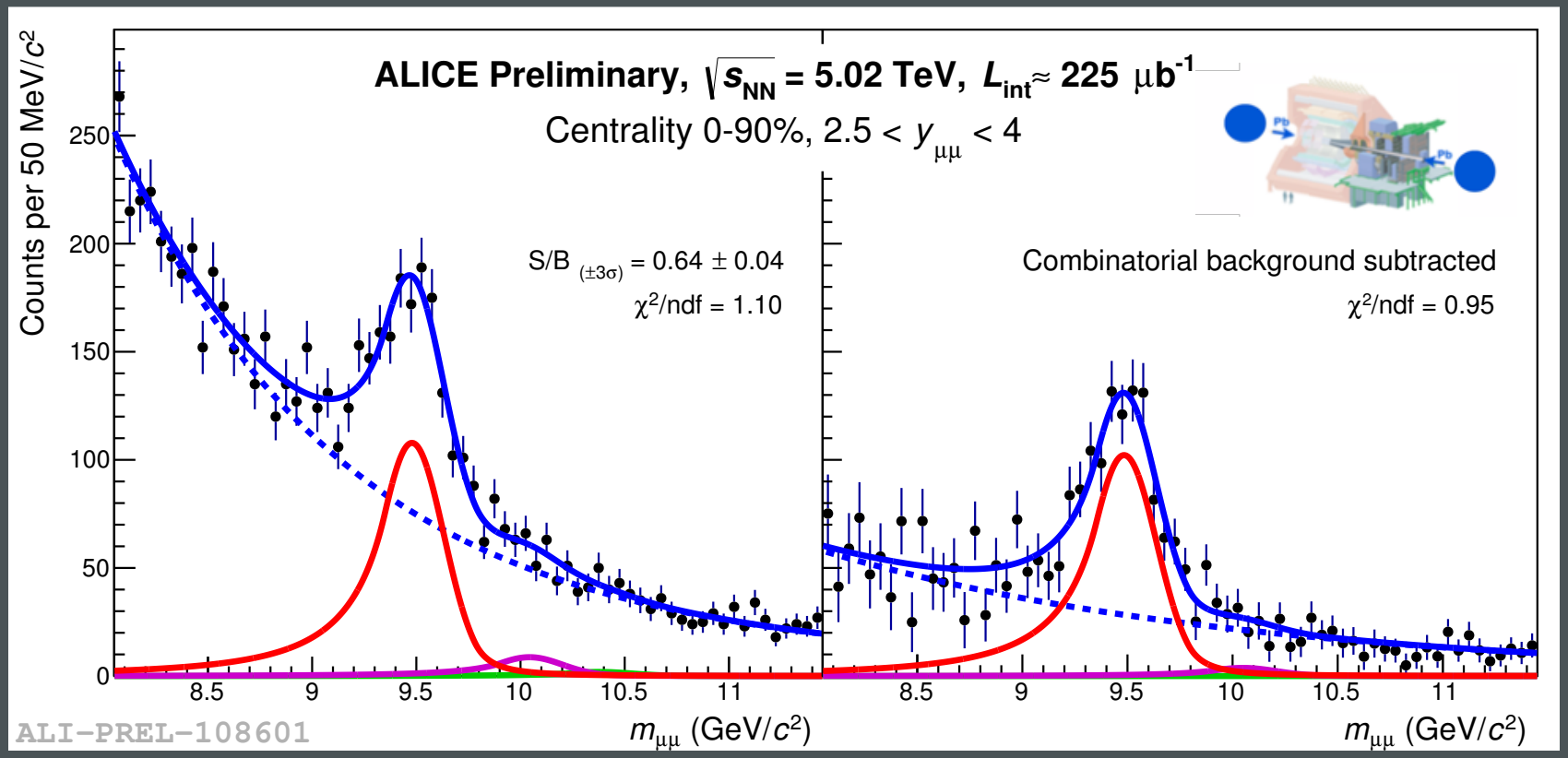
	$\mathcal{L}_{INT}$	Rapidity range
Pb-p	$5.8\ nb^{-1}$	$-4.46 < y_{CMS} < -2.96$
p-Pb	$5.0\ nb^{-1}$	$2.03 < y_{CMS} < 3.53$



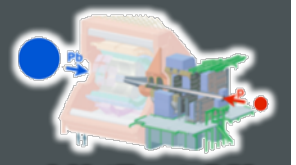


Data sample in Pb-Pb @ $\sqrt{s_{NN}}$=5.02 TeV

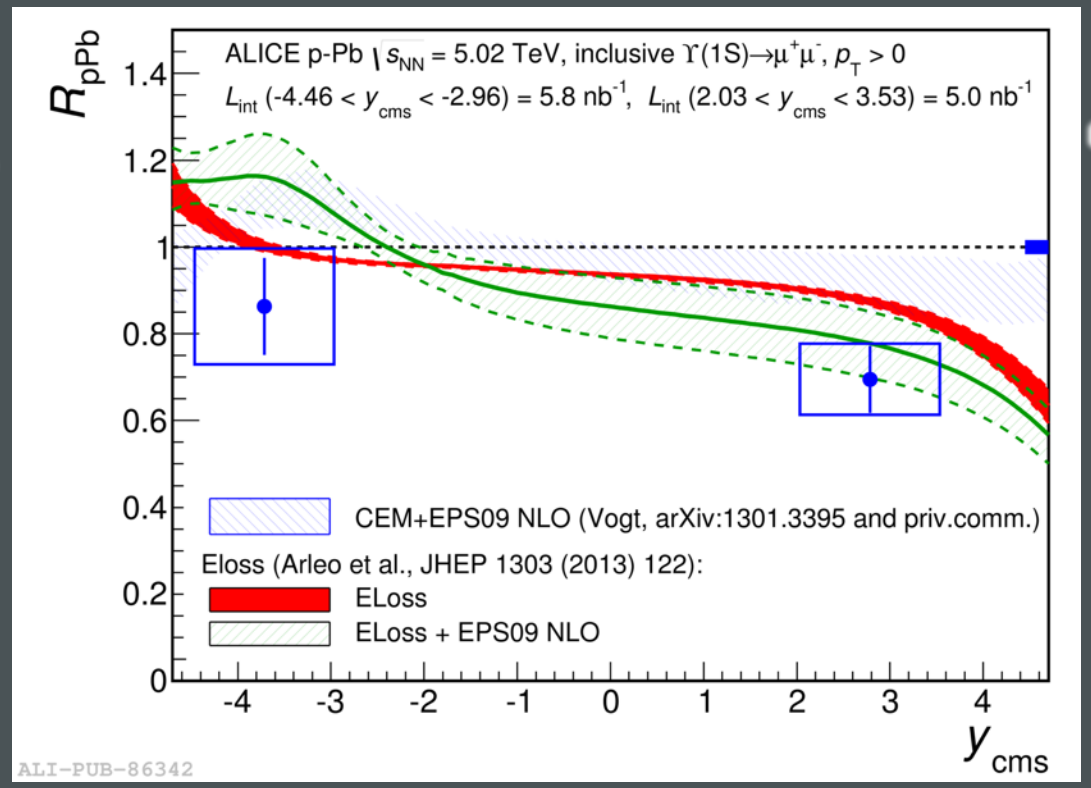
	$\mathcal{L}_{INT}$	Rapidity range	Centrality range
Pb-Pb	$225\ \mu b^{-1}$	$2.5 < y_{CMS} < 4.0$	0%-90%

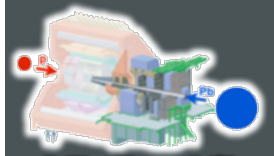


$\Upsilon(1S)$ R_{pA} @ $\sqrt{s_{\mathrm{NN}}}$=5.02 TeV



$-4.46 < Y_{cms} < -2.96$





$2.03 < Y_{cms} < 3.53$

[PLB 740 (2015): 105–117]

- I modelli tendono a sovrastimare l'*enhancement* a rapidità negativa
- Buona compatiblità con modelli ELoss e ELoss+nPDF

Copertura in *x* in pp e Pb-Pb con ALICE

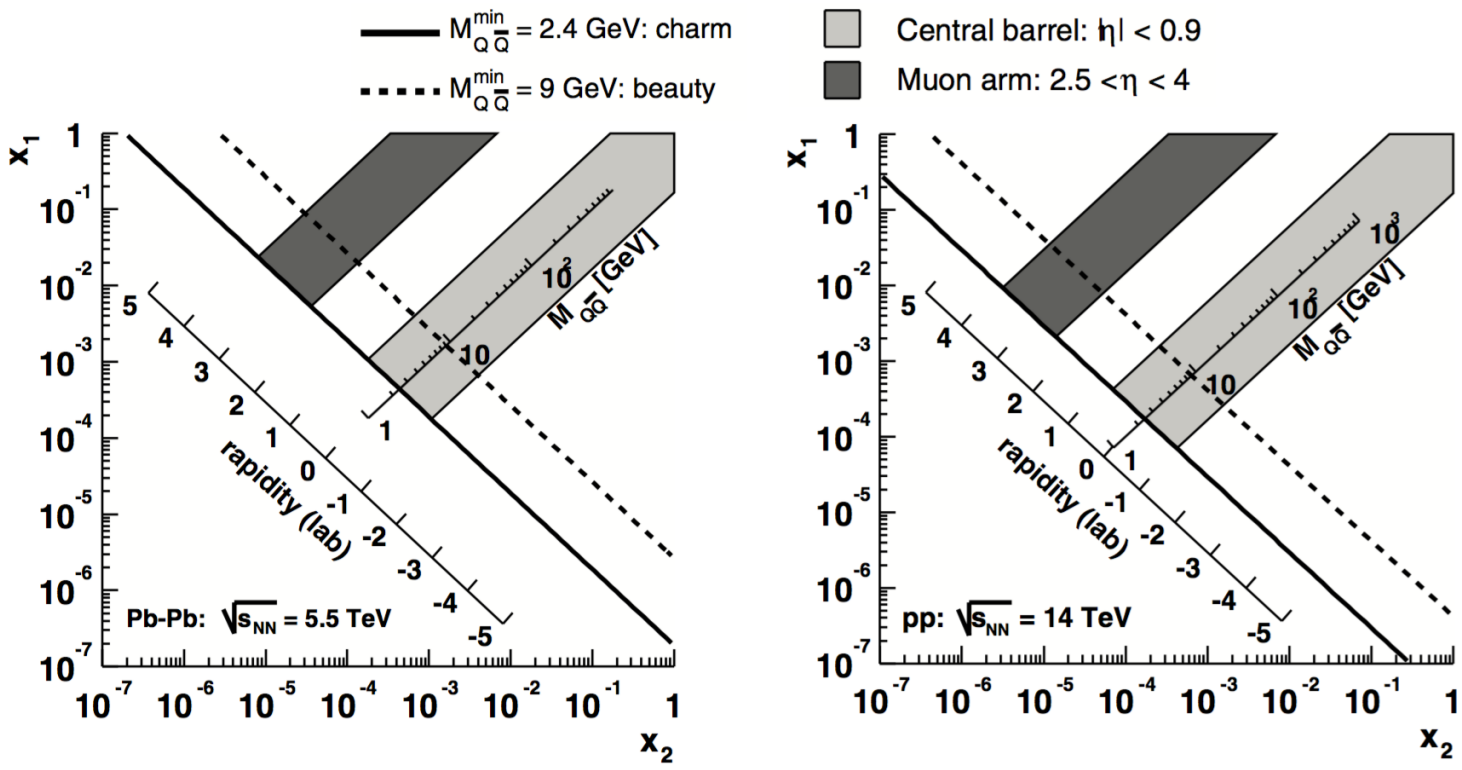
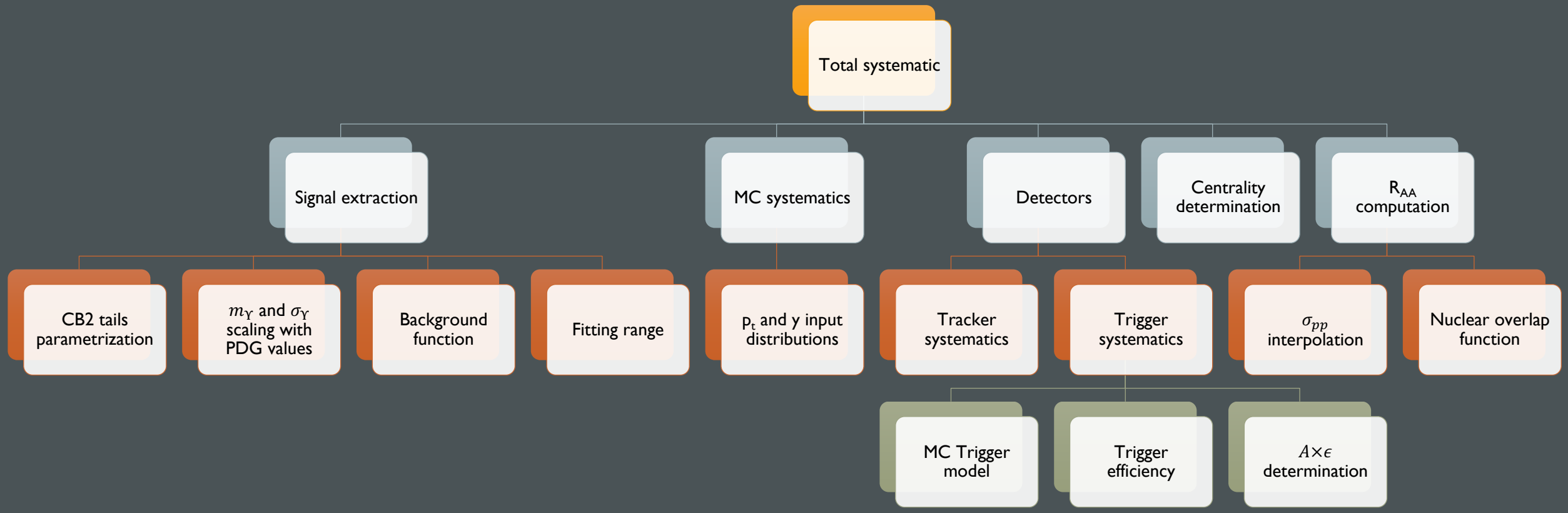


Figure 6.256. ALICE acceptance in the (x_1, x_2) plane for heavy flavours in Pb–Pb at 5.5 TeV (left) and in pp at 14 TeV (right). The figure is explained in detail in the text.

Sorgenti di errori sistematici