

## Studio della produzione di Upsilon e dei suoi stati eccitati in funzione della molteplicità e di altri parametri in collisioni p-p

Con bottomonium si intendono i mesoni pesanti senza Flavour composti da una coppia b-b, la cui spettroscopia è ben conosciuta. Di particolare interesse sono lo stato  $Y(1S)$  e i suoi stati eccitati  $Y(2S)$  e  $Y(3S)$ , in quanto, avendo una modalità di decadimento in 2 muoni, sono facili da identificare, specialmente per un esperimento come CMS dotato di un'ottima risoluzione per i muoni. Un'altra rilevante caratteristica del sistema  $Y(nS)$  è che gli stati  $Y(2S)$  e  $Y(3S)$ , essendo stati eccitati, hanno un'energia di legame minore rispetto a  $Y(1S)$ . Questo fattore si rivela molto importante se si considera la loro produzione in collisioni di ioni pesanti, quando è prevista la formazione di uno stato libero di quark e gluoni (Quark Gluon Plasma, QGP). Le  $Y(nS)$  prodotte nella collisione, attraversando e interagendo con il QGP, possono scomporsi prima di venire rilevate. Ci si aspetta quindi una soppressione della produzione di bottomonium in collisioni fra ioni rispetto alle collisioni fra protoni, e che questa soppressione sia più forte per gli stati eccitati.

Questo è stato effettivamente osservato da CMS in collisioni Piombo-Piombo (Pb-Pb), dove in particolare lo stato  $Y(3S)$  è così soppresso da non essere osservabile, come osservabile in Figura 1.

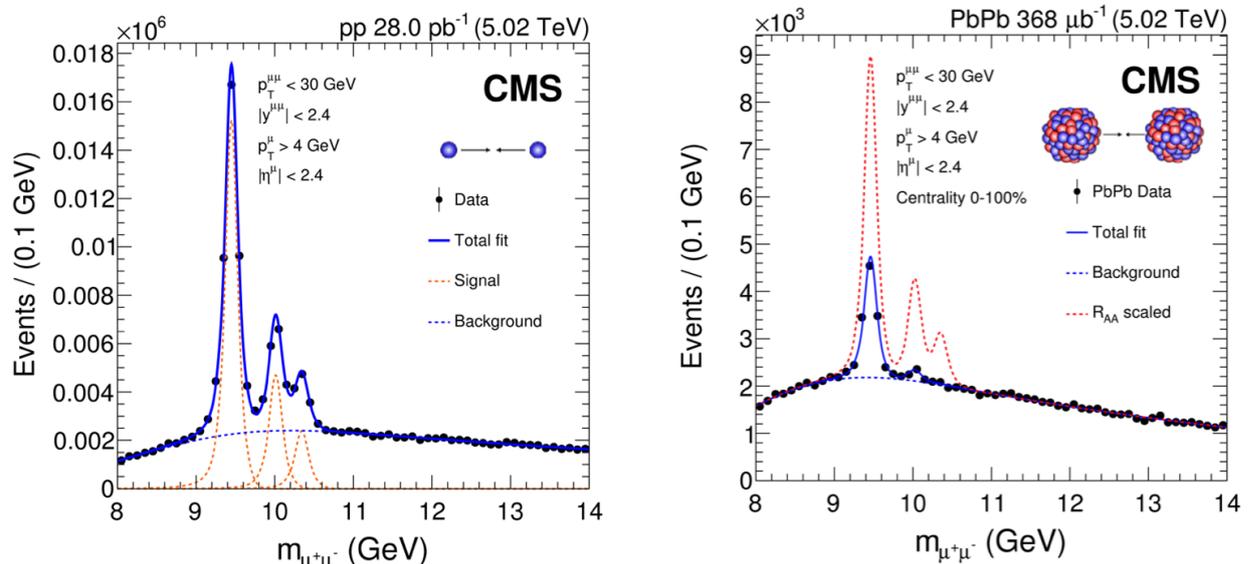


Figura 1 Spettro di Massa invariante in due muoni nella regione delle  $Y(nS)$  in collisioni protone-protone (sinistra) e ioni pesanti (a destra). A destra la linea tratteggiata in rosso mostra lo spettro atteso in assenza di soppressione. Pubblicato in **PLB 790 (2019) 270**.

Utilizzando come variabile di riferimento per stimare l'energia della collisione la molteplicità, ovvero il numero di particelle prodotte nella collisione stessa, è possibile

confrontare le osservazioni fatte per Pb-Pb con sistemi interagenti più “piccoli”, come protone-piombo (p-Pb) e protone-protone (p-p), dove non ci si aspetta la formazione di QGP. In modo inaspettato si è vista una diminuzione della produzione dello stato eccitato  $Y(2S)$  rispetto a  $Y(1S)$ , come mostrato in Figura 2.

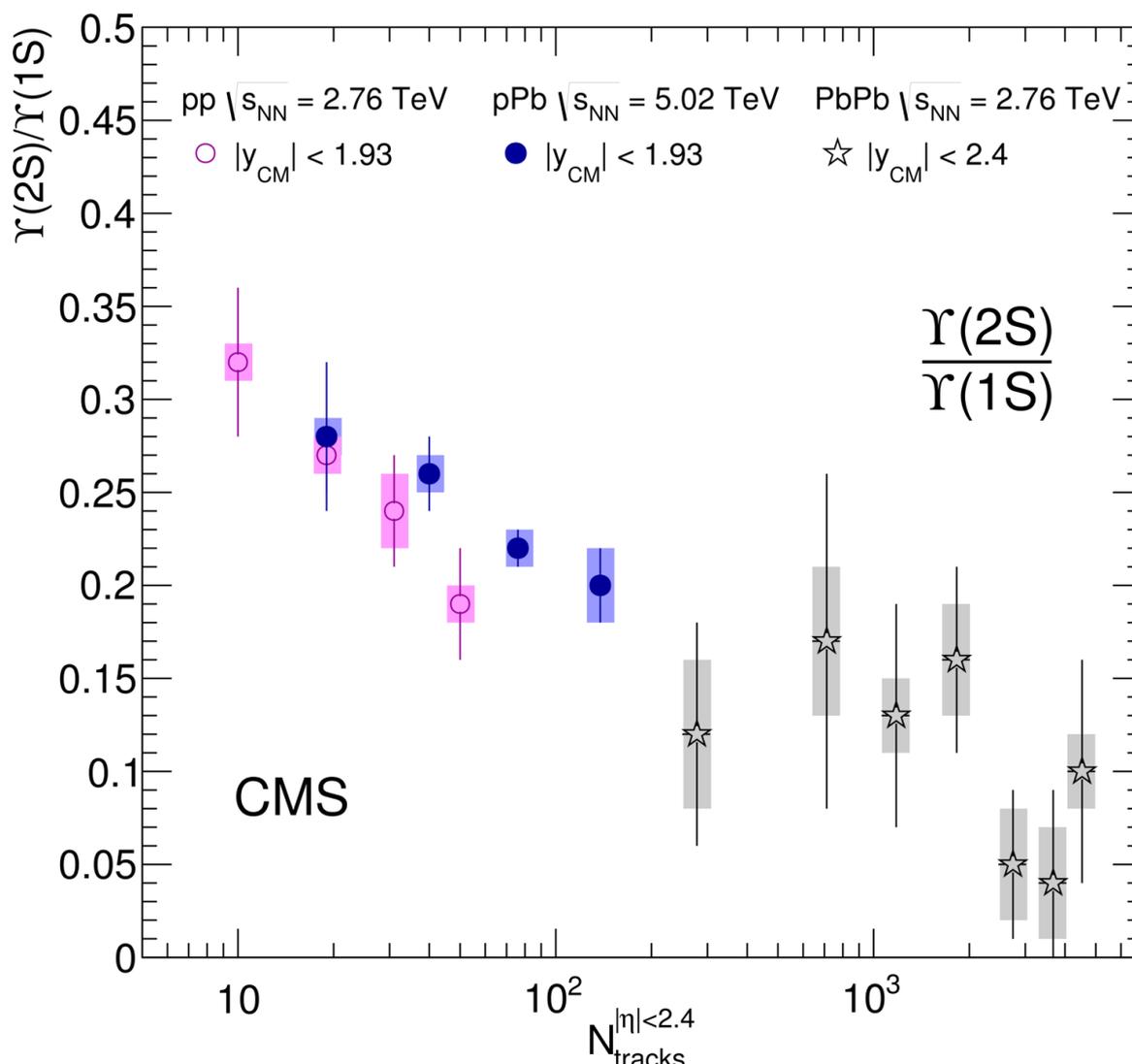


Figura 2 Rapporto di produzione fra la  $Y(2S)$  e la  $Y(1S)$  in funzione della molteplicità di tracce cariche in collisioni pp, pPb e PbPb. Pubblicato in *J. High Energy Phys.* 04 (2014) 103.

Visto che il campione di protone-protone usato nella pubblicazione era molto piccolo, perché preso in modo specifico per avere la stessa energia per nucleone delle collisioni di ioni pesanti, a Bologna si è pensato di studiare questa dipendenza dalla molteplicità usando l'intera statistica del 2011 di collisioni standard p-p a 7 TeV. L'aver a disposizione un campione con maggiore statistica ha permesso di effettuare studi molto più dettagliati, tenendo ad esempio conto del momento trasverso delle  $Y(nS)$ , del numero di particelle cariche prodotte nella loro direzione, o della forma dell'evento. L'analisi, svolta interamente a Bologna, è nelle fasi finali di approvazione all'interno della collaborazione, ed ha confermato la dipendenza del rapporto di produzione fra gli stati eccitati e la  $Y(1S)$  in funzione della molteplicità,

con modalità simili alla soppressione osservata in collisioni di ioni pesanti. Ha anche mostrato importanti legami fra la produzione delle  $Y(nS)$  e le caratteristiche dell'evento di collisione nel suo insieme.

Non è chiaro a questo punto se certi segnali considerati indicativi della formazione di QGP non debbano essere più considerati tali o se, invece, il QGP si può produrre anche in interazione fra sistemi semplici come p-p, contrariamente a quanto si credeva.