

## XVI Incontri di Fisica delle Alte Energie

Trieste, 19-21 Apr 2017

# Collisioni pp e pA: nuove protagoniste nella ricerca del QGP



Livio Bianchi

University of Houston



# Introduzione

Livio Bianchi

IFAE 2017

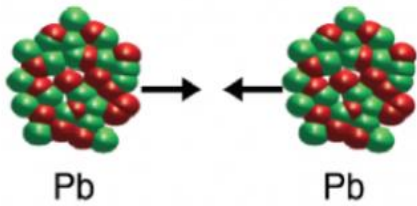
20 Apr 2017

2

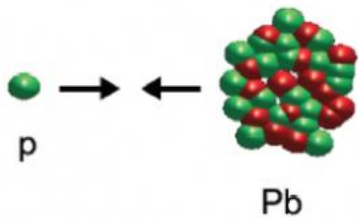
11



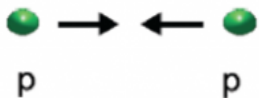
pp e p-A tradizionalmente studiati come  
“esperimenti di controllo” per evidenziare la  
presenza di QGP in A-A



QGP



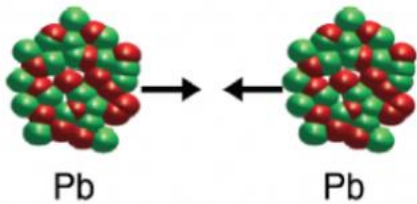
Effetti di stato  
iniziale (e.g.  
shadowing)



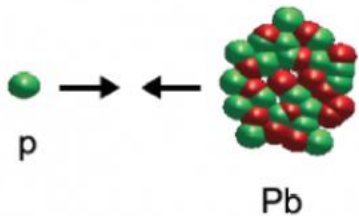
referenza



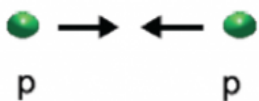
pp e p-A tradizionalmente studiati come  
“esperimenti di controllo” per evidenziare la  
presenza di QGP in A-A



QGP



Effetti di stato  
iniziale (e.g.  
shadowing)



referenza

Cambio di prospettiva:

Produzione di QGP in “sistemi piccoli”?

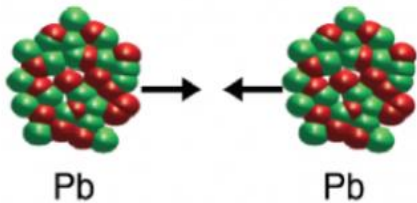
Siamo in cerca di:

- **Collettività** (flow, freeze-out comune)
- **Proprietà chimiche** (abbondanze adroniche compatibili con fase deconfinata precedente ad adronizzazione)
- **Proprietà fisiche** (jet quenching, soppressione di particelle ad alto  $p_T$ , ecc..)

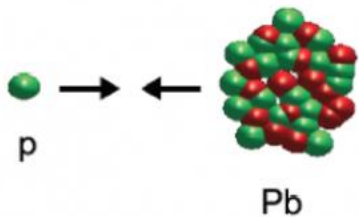




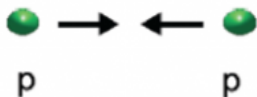
pp e p-A tradizionalmente studiati come  
“esperimenti di controllo” per evidenziare la  
presenza di QGP in A-A



QGP



Effetti di stato  
iniziale (e.g.  
shadowing)



referenza

Cambio di prospettiva:



Produzione di QGP in “sistemi piccoli”?

Siamo in cerca di:

- **Collettività** (flow, freeze-out comune)
- **Proprietà chimiche** (abbondanze adroniche compatibili con fase deconfinata precedente ad adronizzazione)
- **Proprietà fisiche** (jet quenching, soppressione di particelle ad alto  $p_T$ , ecc..)

Sistema “piccolo”. Ci riferiamo a:

- dimensioni di proiettile e bersaglio;
- dimensioni del sistema creato.

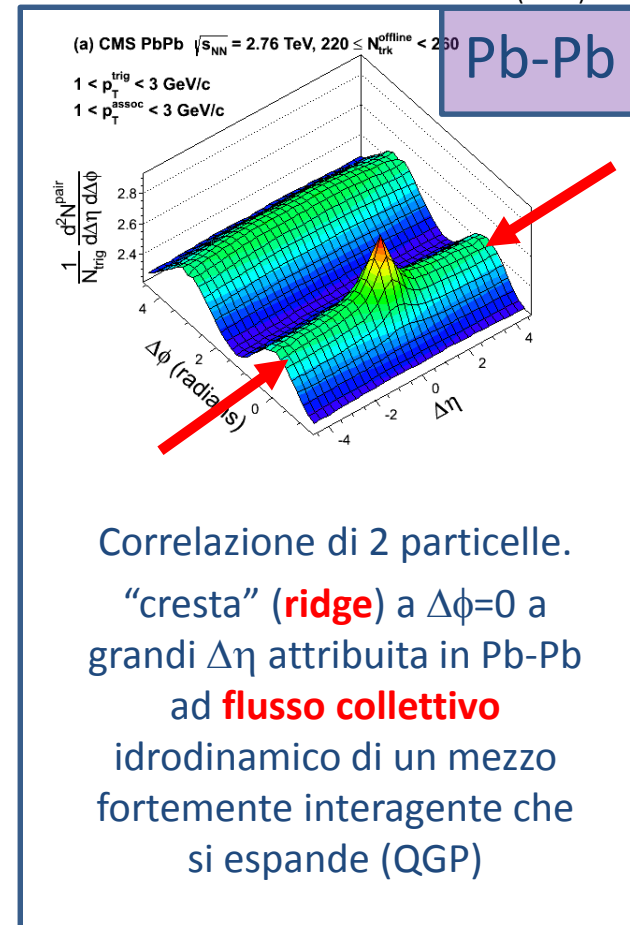
**Variabile discriminante: molteplicità** (dibattuto)



Sistema  
“piccolo”



Sistema  
“grande”





# Collettività : ridge

Livio Bianchi

IFAE 2017

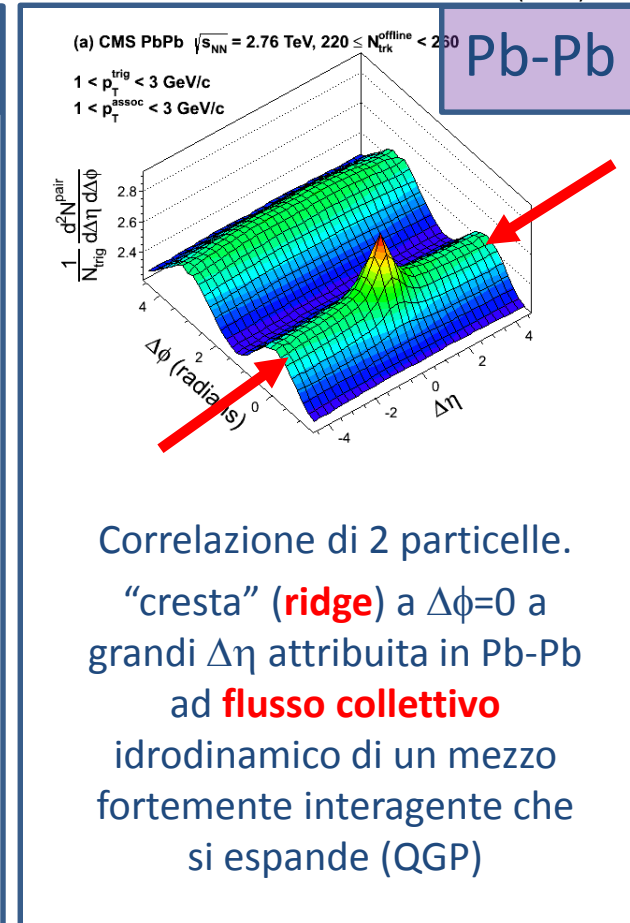
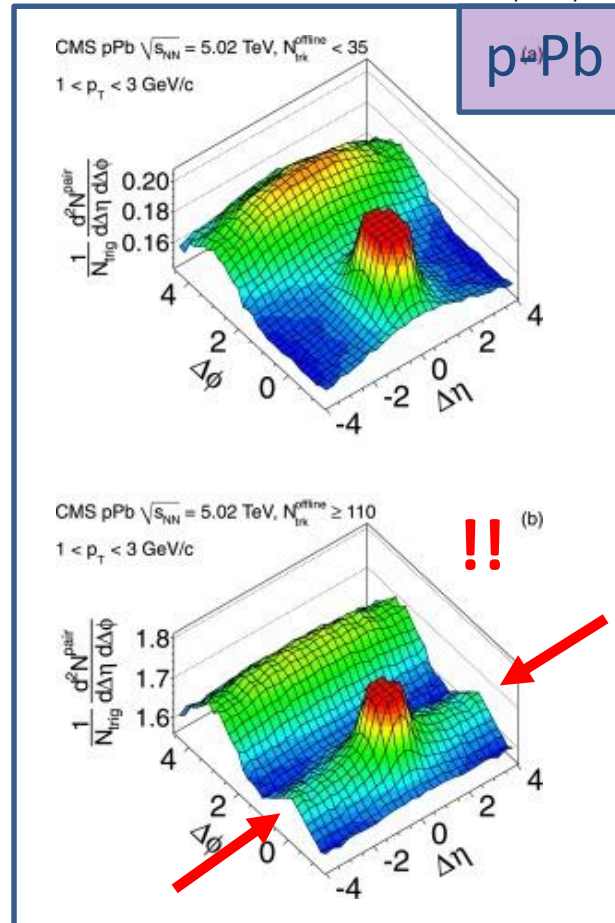
20 Apr 2017

3

11

PLB 718 (2013) 795

JHEP 07 (2011) 076

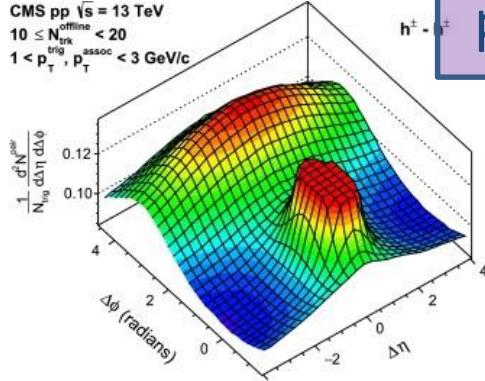


Correlazione di 2 particelle.  
“cresta” (**ridge**) a  $\Delta\phi=0$  a grandi  $\Delta\eta$  attribuita in Pb-Pb ad **flusso collettivo** idrodinamico di un mezzo fortemente interagente che si espande (QGP)

PLB 765 (2017) 193

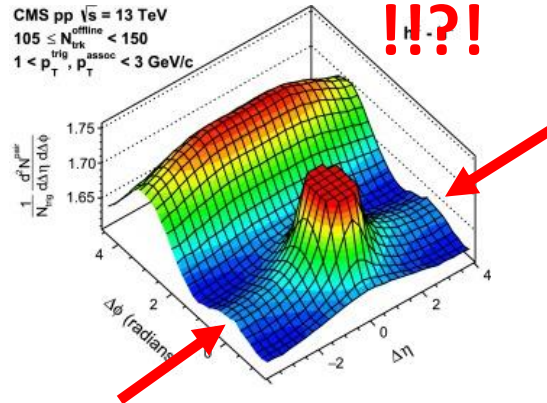
 $h^+ - h^-$  pp

CMS pp  $\sqrt{s} = 13$  TeV  
 $10 \leq N_{trk}^{offline} < 20$   
 $1 < p_T^{trig}, p_T^{assoc} < 3$  GeV/c



CMS pp  $\sqrt{s} = 13$  TeV  
 $105 \leq N_{trk}^{offline} < 150$   
 $1 < p_T^{trig}, p_T^{assoc} < 3$  GeV/c

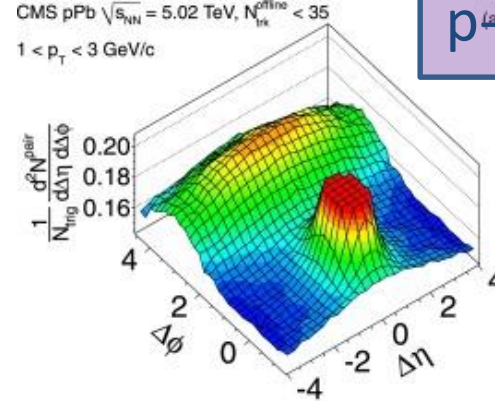
!!!



PLB 718 (2013) 795

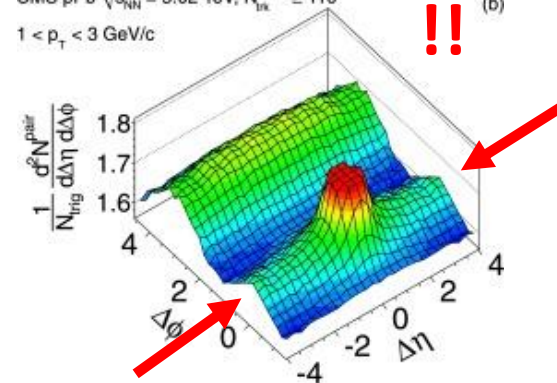
p-Pb

CMS pPb  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV,  $N_{trk}^{offline} < 35$   
 $1 < p_T < 3$  GeV/c



CMS pPb  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV,  $N_{trk}^{offline} \geq 110$   
 $1 < p_T < 3$  GeV/c

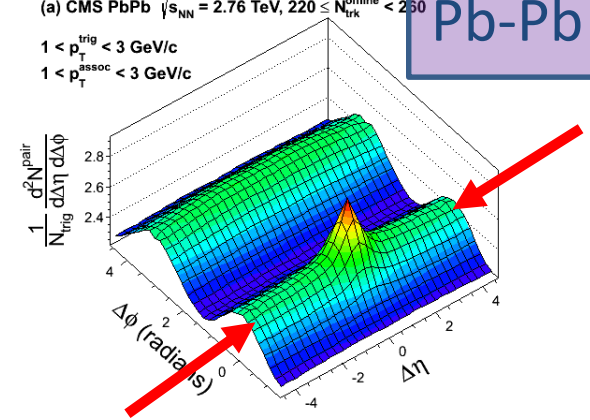
!! (b)



JHEP 07 (2011) 076

Pb-Pb

(a) CMS PbPb  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV,  $220 \leq N_{trk}^{offline} < 250$   
 $1 < p_T^{trig} < 3$  GeV/c  
 $1 < p_T^{assoc} < 3$  GeV/c



Correlazione di 2 particelle.

“cresta” (ridge) a  $\Delta\phi=0$  a grandi  $\Delta\eta$  attribuita in Pb-Pb ad **flusso collettivo** idrodinamico di un mezzo fortemente interagente che si espande (QGP)

Possibili spiegazioni di questo fenomeno in pp e p-Pb:

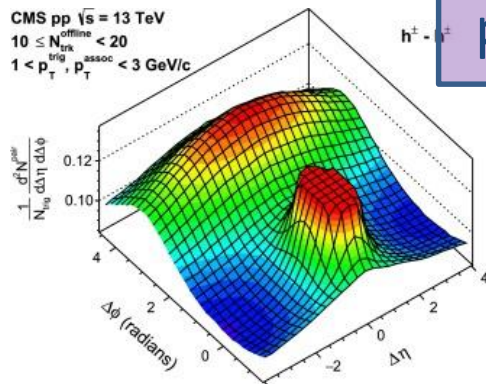
- Correlazioni di stato iniziale tra gluoni;
- Formazione di QGP;
- ...?



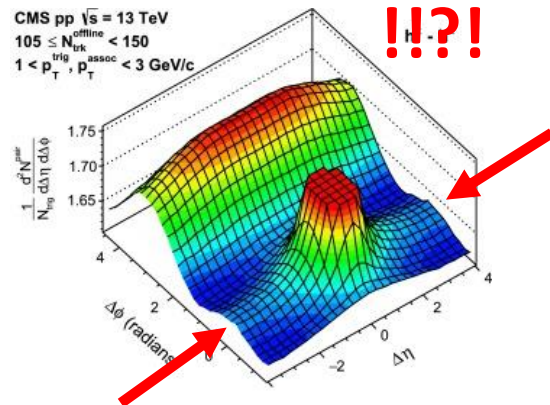
PLB 765 (2017) 193

 $h^+ - h^-$  **pp**

CMS pp  $\sqrt{s} = 13$  TeV  
 $10 \leq N_{\text{trk}}^{\text{offline}} < 20$   
 $1 < p_T^{\text{trig}}, p_T^{\text{assoc}} < 3$  GeV/c



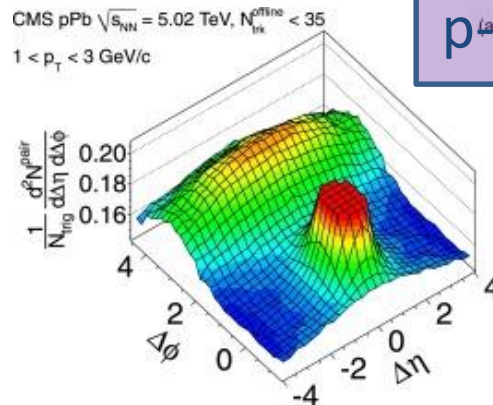
CMS pp  $\sqrt{s} = 13$  TeV  
 $105 \leq N_{\text{trk}}^{\text{offline}} < 150$   
 $1 < p_T^{\text{trig}}, p_T^{\text{assoc}} < 3$  GeV/c

**!!!?**


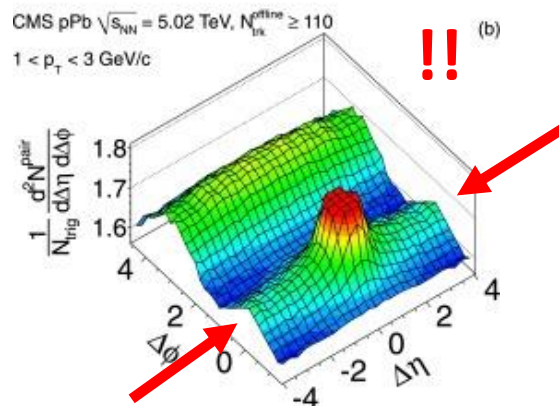
PLB 718 (2013) 795

 $p + \text{Pb}$ 

CMS pPb  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV,  $N_{\text{trk}}^{\text{offline}} < 35$   
 $1 < p_T < 3$  GeV/c



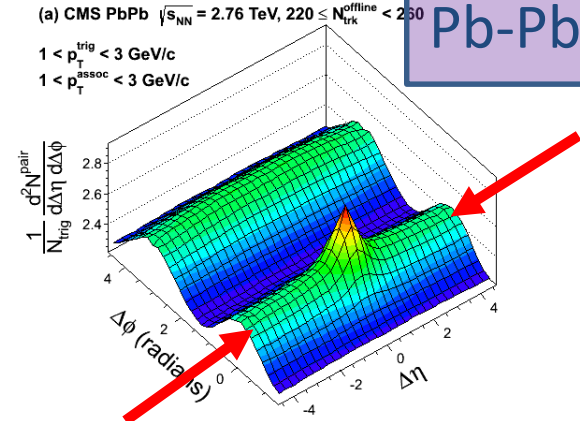
CMS pPb  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV,  $N_{\text{trk}}^{\text{offline}} \geq 110$   
 $1 < p_T < 3$  GeV/c

**!!** (b)


JHEP 07 (2011) 076

**Pb-Pb**

(a) CMS PbPb  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV,  $220 \leq N_{\text{trk}}^{\text{offline}} < 250$   
 $1 < p_T^{\text{trig}} < 3$  GeV/c  
 $1 < p_T^{\text{assoc}} < 3$  GeV/c



Correlazione di 2 particelle.

“cresta” (**ridge**) a  $\Delta\phi=0$  a grandi  $\Delta\eta$  attribuita in Pb-Pb ad **flusso collettivo** idrodinamico di un mezzo fortemente interagente che si espande (QGP)

Possibili spiegazioni di questo fenomeno in pp e p-Pb:

- Correlazioni di stato iniziale tra gluoni;
- Formazione di QGP;
- ...?

Come quantificare questo effetto per ora solo qualitativo?

**Flusso anisotropo**







# Collettività: flusso anisotropo

Livio Bianchi

IFAE 2017

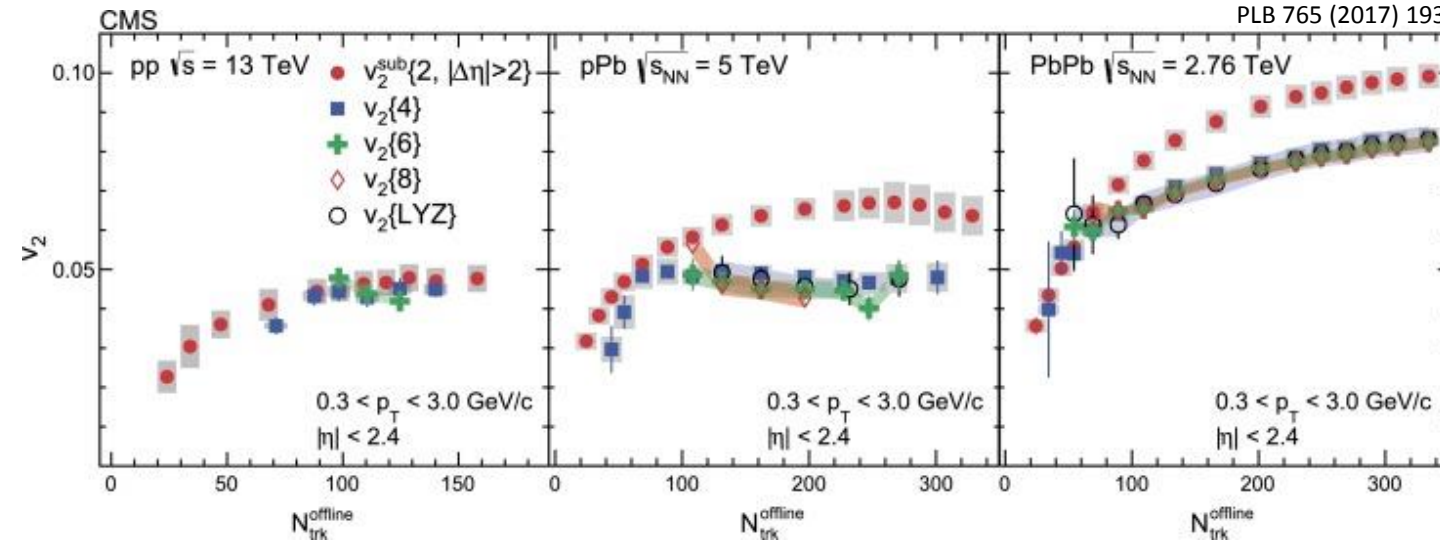
20 Apr 2017

4

—

11

PLB 765 (2017) 193



**Osserviamo flusso ellittico in tutti i sistemi!**

Ma:

- Difficile sottrarre il contributo di “non flow”
- Work in progress



# Collettività: flusso anisotropo

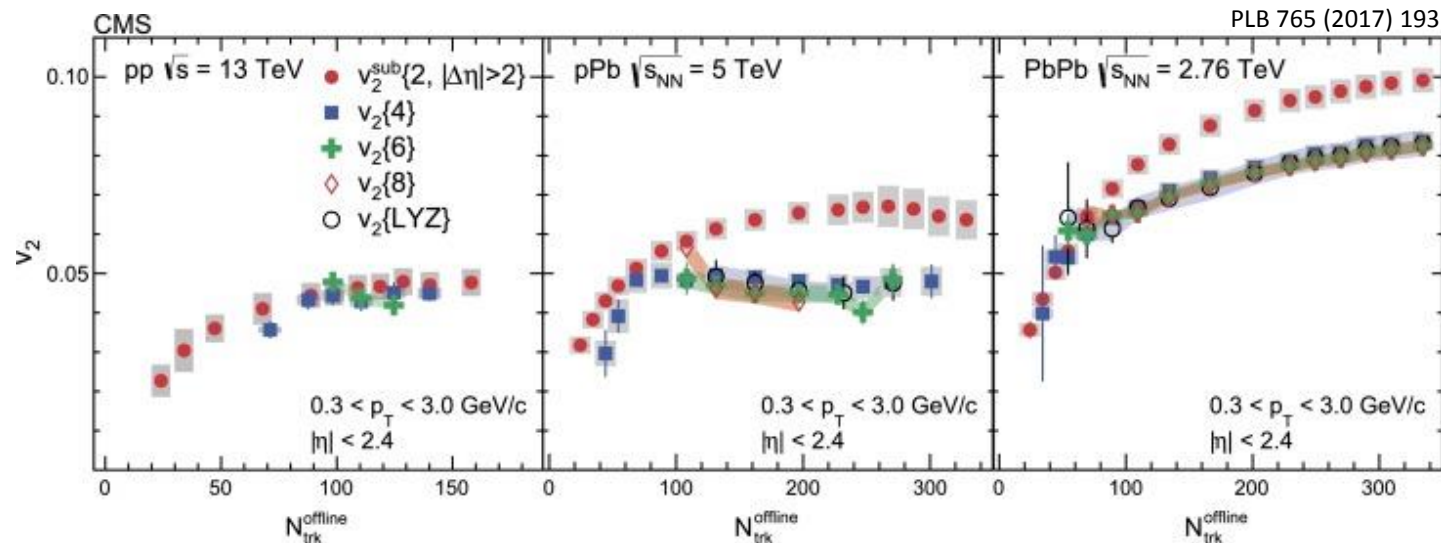
Livio Bianchi

IFAE 2017

20 Apr 2017

4

11

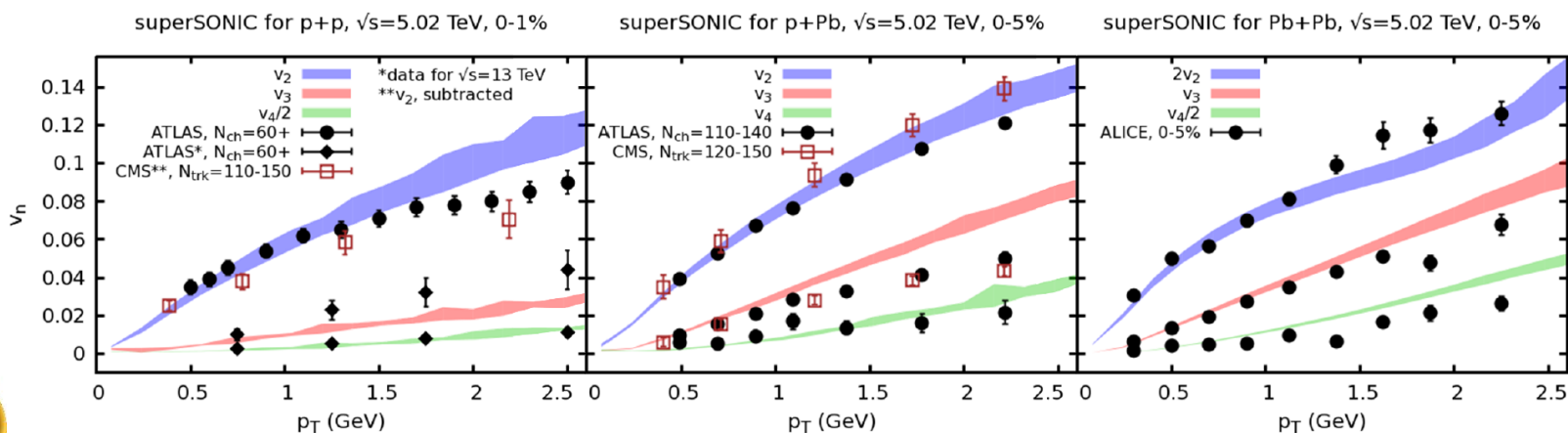


**Osserviamo flusso ellittico in tutti i sistemi!**

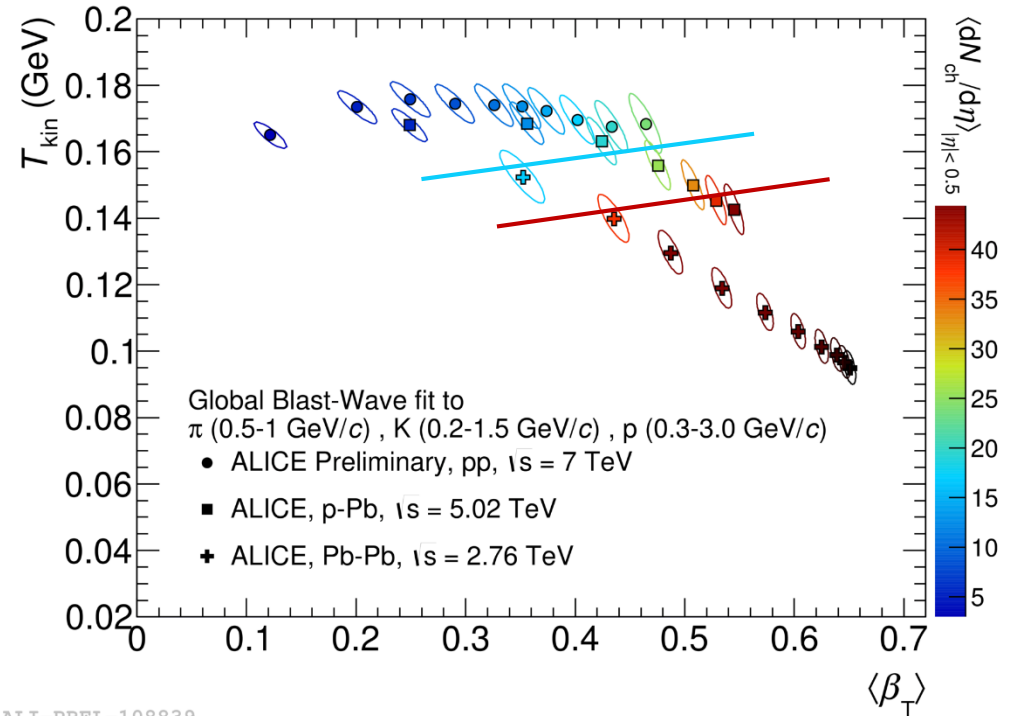
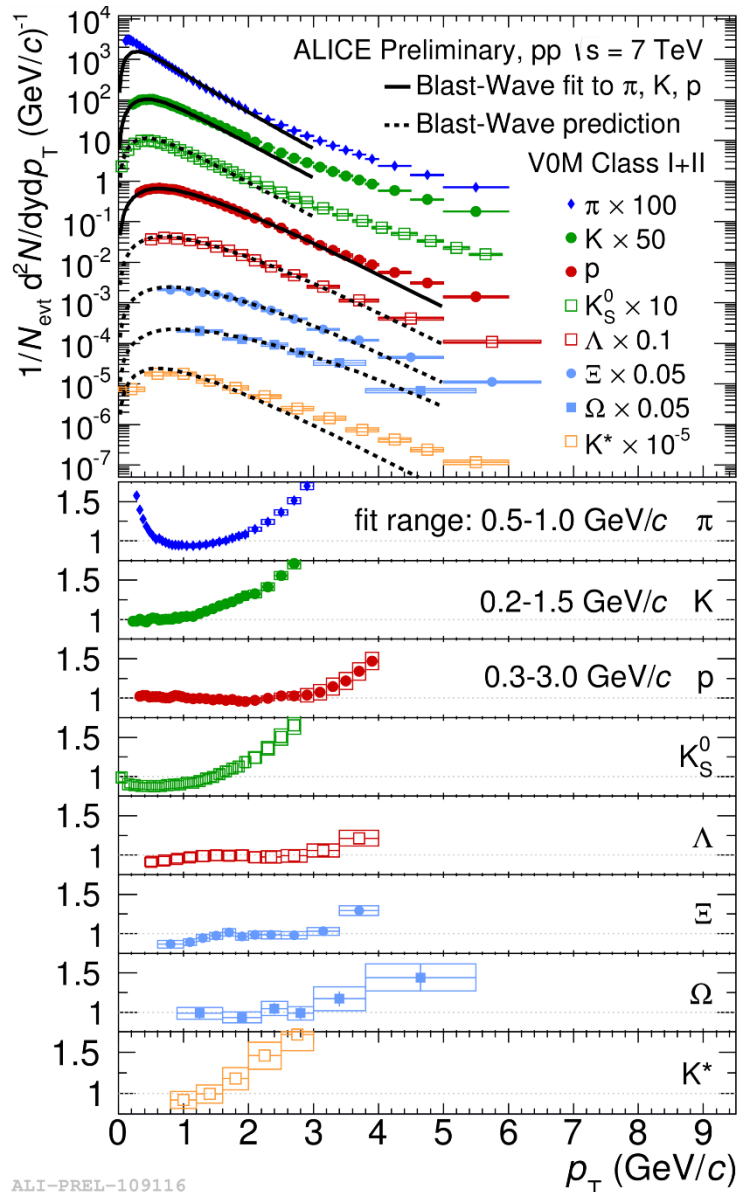
Ma:

- Difficile sottrarre il contributo di “non flow”
- Work in progress

**Nel frattempo i teorici sognano...**



[ Dall'articolo: “One fluid to rule them all ... ” arXiv:1701.07145 ]



ALI-PREL-108839

## Modello idrodinamico,

assume  $\beta_T$  espansione e  $T_{kin}$  comuni per ogni specie.

Se assunzione ok: fitto  $\pi, K, p \rightarrow$  predico altre particelle.

- **assunzione regge per tutti i sistemi**
- pp e p-Pb: progressione  $T_{kin}-\beta_T$  simile
- Considerando la molteplicità: **in Pb-Pb espansione meno "violenta"**, ma  $T_{kin}$  simile in tutti i sistemi



# Composizione chimica: stranezza

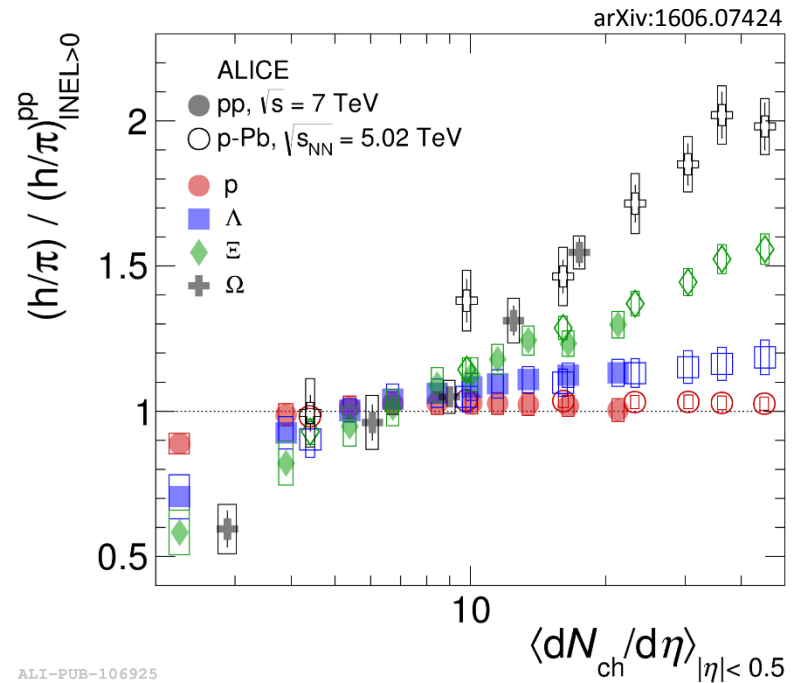
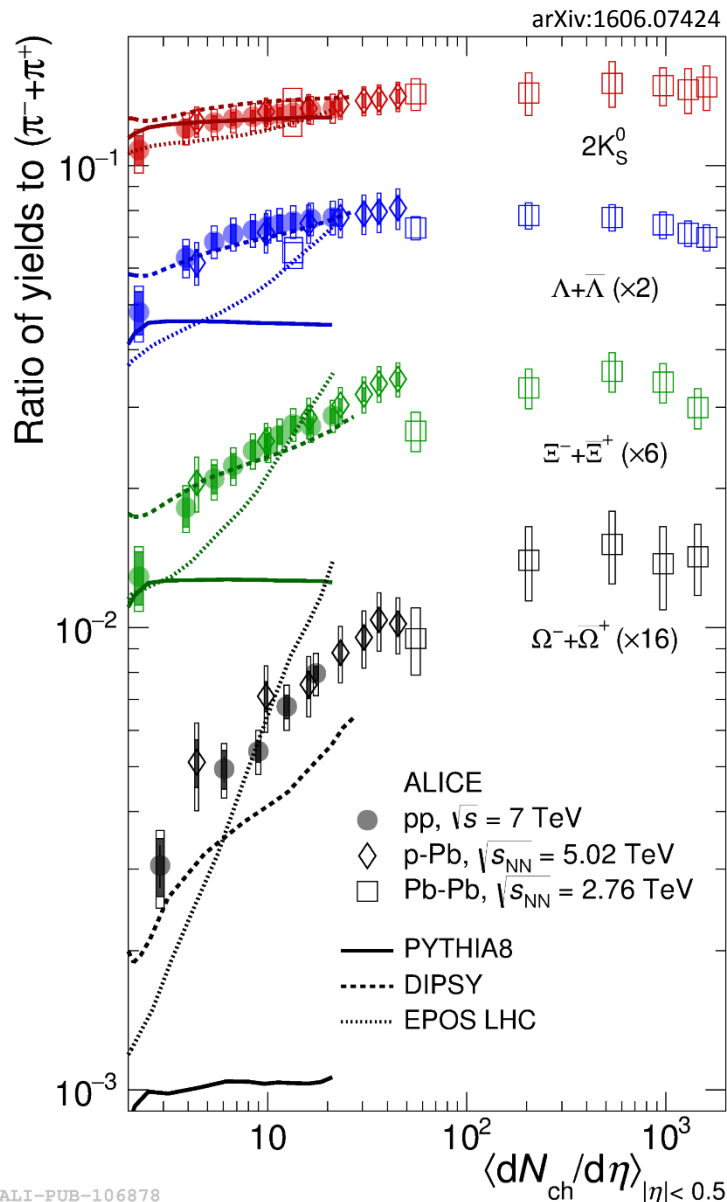
Livio Bianchi

IFAE 2017

20 Apr 2017

6

11



La quantità di stranezza aumenta con la molteplicità:

- Aumento  $\propto$  al numero di quark  $s$  nell'adrone
- Aumento identico in pp e p-Pb
- Alta molteplicità: valori  $\approx$  a quelli misurati in Pb-Pb



# Composizione chimica: stranezza

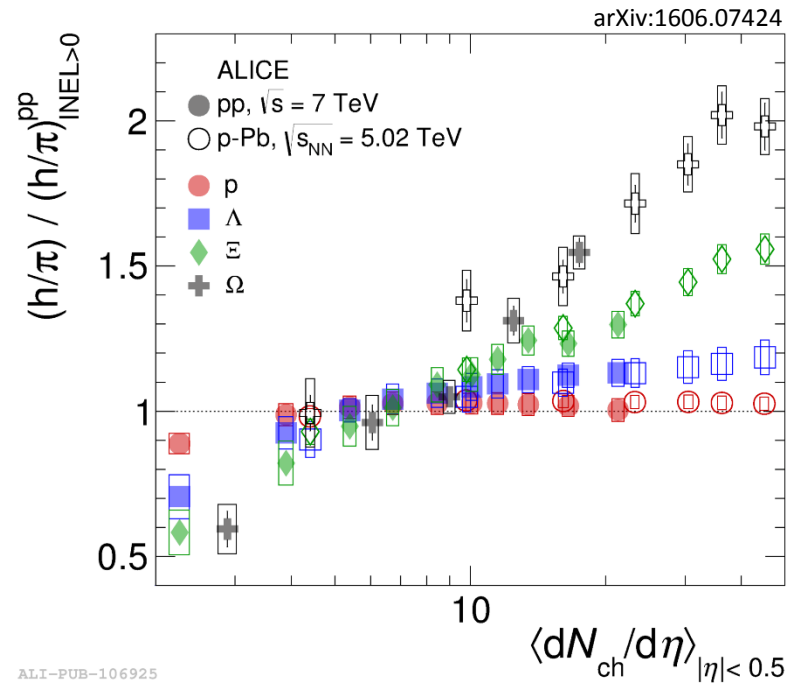
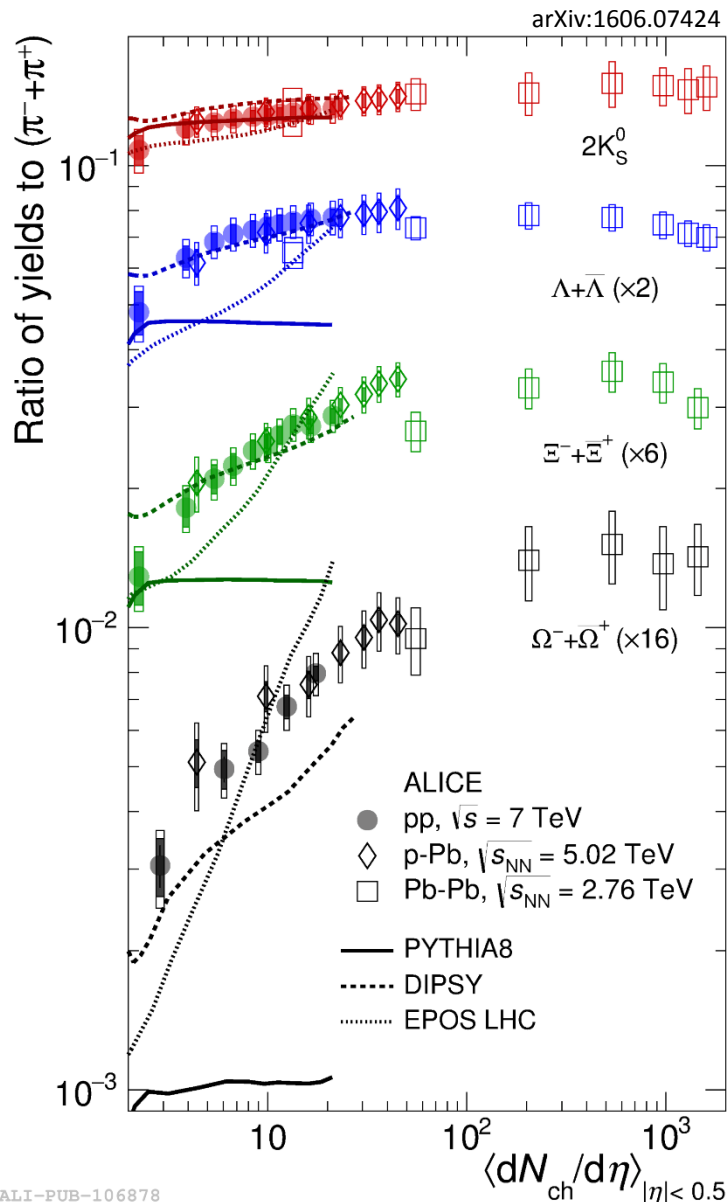
Livio Bianchi

IFAE 2017

20 Apr 2017

6

11



La quantità di stranezza aumenta con la molteplicità:

- Aumento  $\propto$  al numero di quark  $s$  nell'adrone
- Aumento identico in pp e p-Pb
- Alta molteplicità: valori  $\approx$  a quelli misurati in Pb-Pb

**pp e p-Pb ad alta molteplicità:  
sistema con le stesse abbondanze chimiche  
presenti nel QGP!!!**



# Collettività e chimica: $\Lambda/K^0_S$

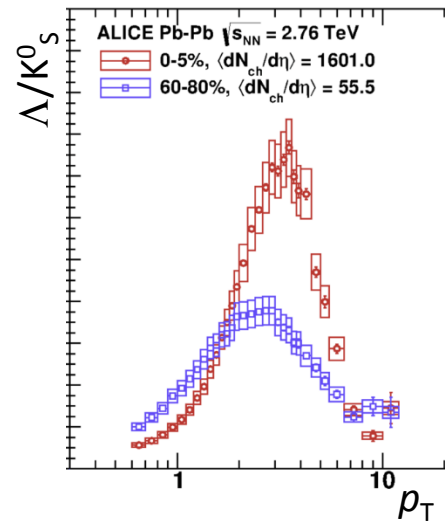
Livio Bianchi

IFAE 2017

20 Apr 2017

7

11



Rapporto  $\Lambda/K^0_S$  in Pb-Pb:  
anomalia barionica, attribuita  
a flusso radiale idrodinamico.





# Collettività e chimica: $\Lambda/K^0_S$

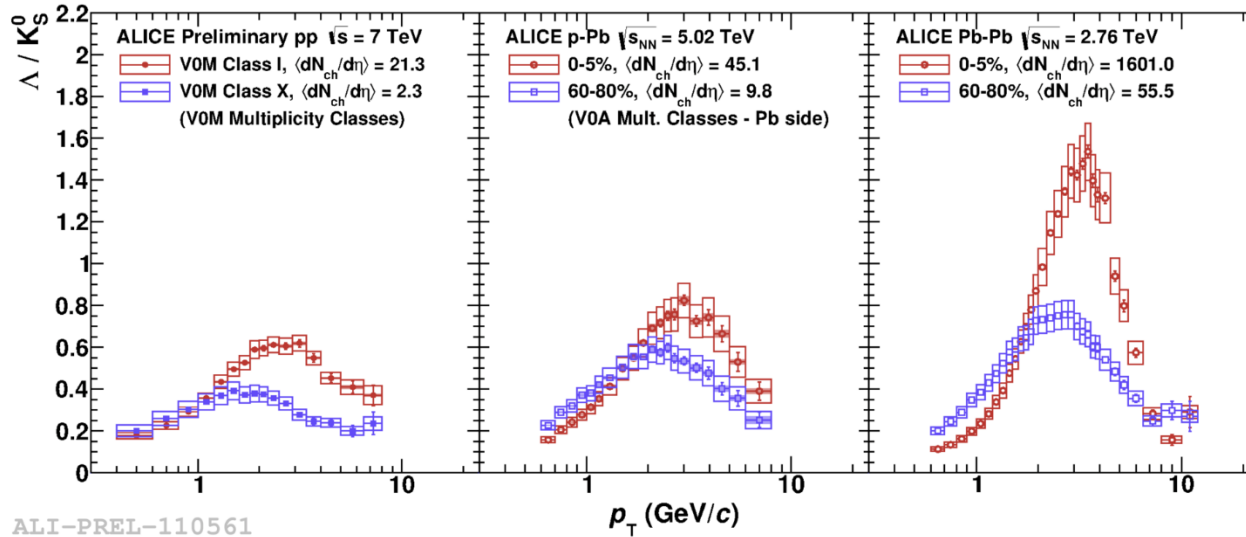
Livio Bianchi

IFAE 2017

20 Apr 2017

7

11



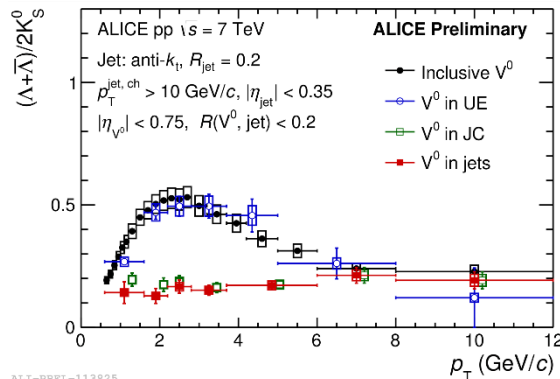
Rapporto  $\Lambda/K^0_S$  in Pb-Pb:  
anomalia barionica, attribuita  
a flusso radiale idrodinamico.

**Presente anche in pp e p-A!!**

**E' possibile fare un confronto  
tra sistemi più quantitativo?**

**Inciso:**

questa osservabile è  
esclusivamente legata alla  
parte "soft" dell'evento





# Collettività e chimica: $\Lambda/K^0_S$

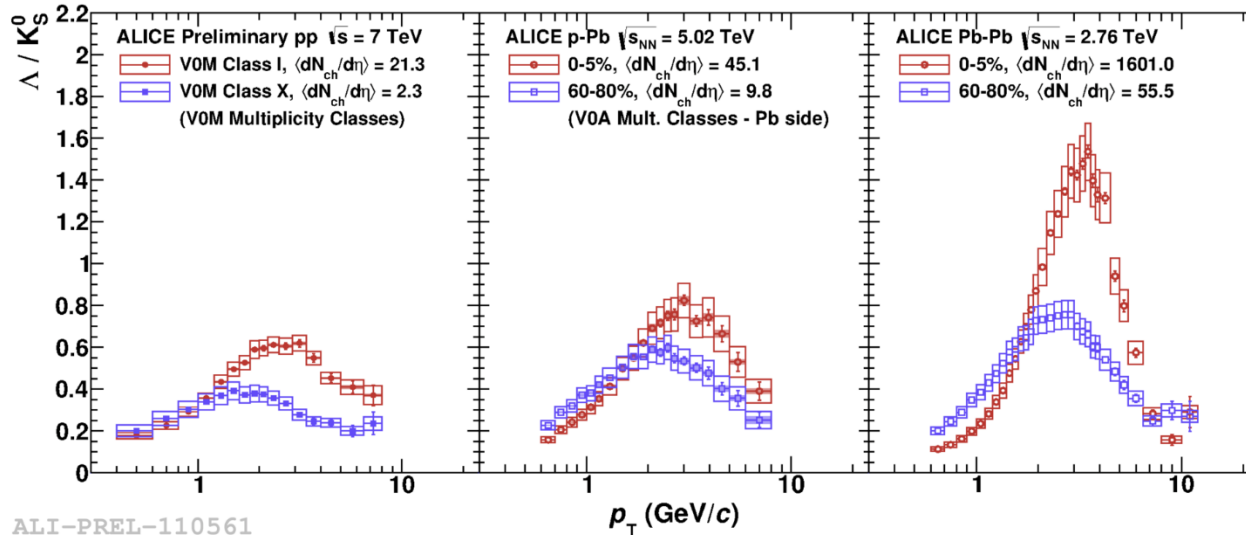
Livio Bianchi

IFAE 2017

20 Apr 2017

7

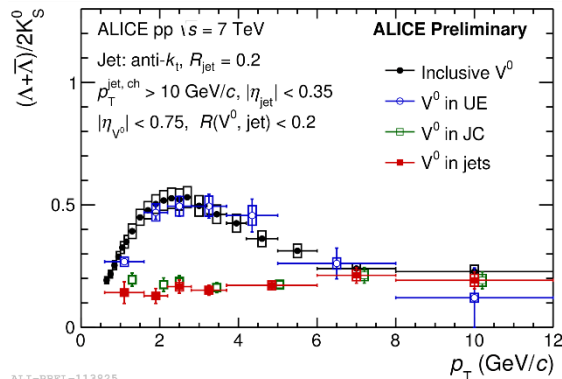
11



ALI-PREL-110561

**Inciso:**

questa osservabile è esclusivamente legata alla parte “soft” dell’evento

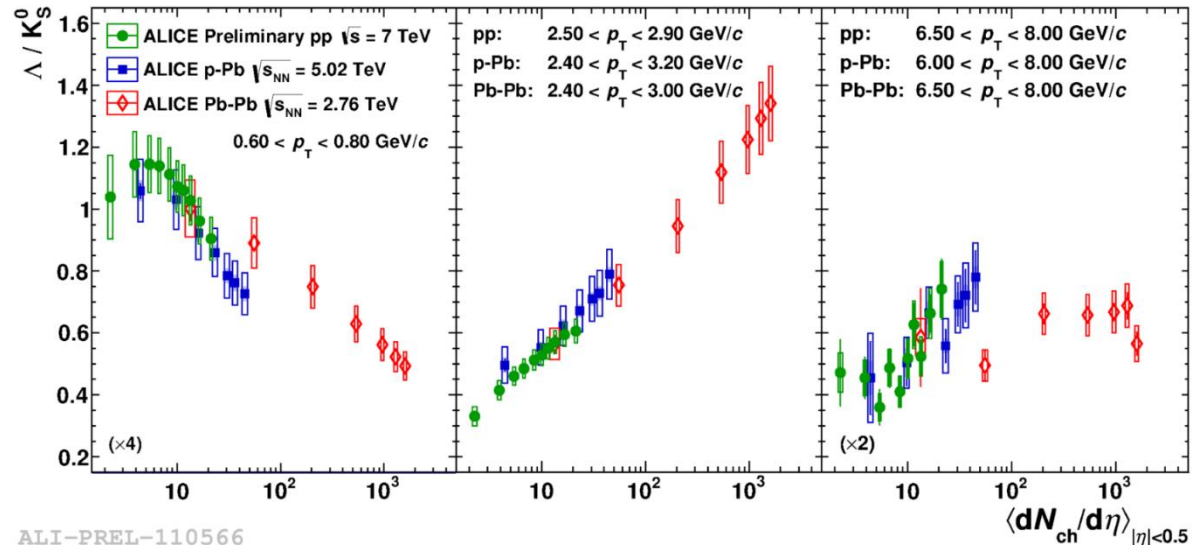


ALI-PREL-113825

Rapporto  $\Lambda/K^0_S$  in Pb-Pb:  
anomalia barionica, attribuita  
a flusso radiale idrodinamico.

**Presente anche in pp e p-A!!**

**E' possibile fare un confronto  
tra sistemi più quantitativo?**



ALI-PREL-110566

**Continuità evidente!!**

**Il meccanismo che genera il picco è lo stesso nei tre sistemi?**



# Hard probes: $R_{AA}$ ad alto $p_T$

Livio Bianchi

IFAE 2017

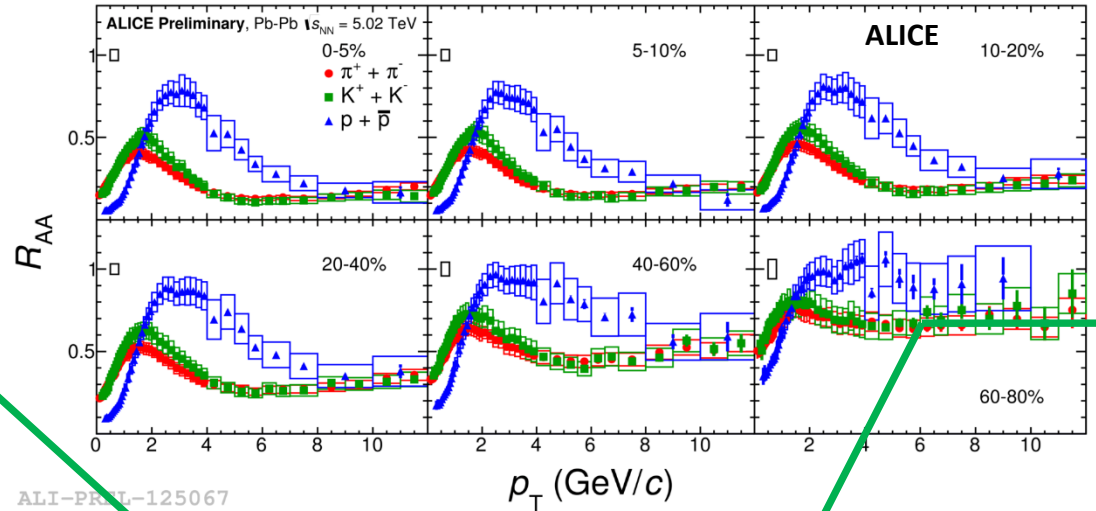
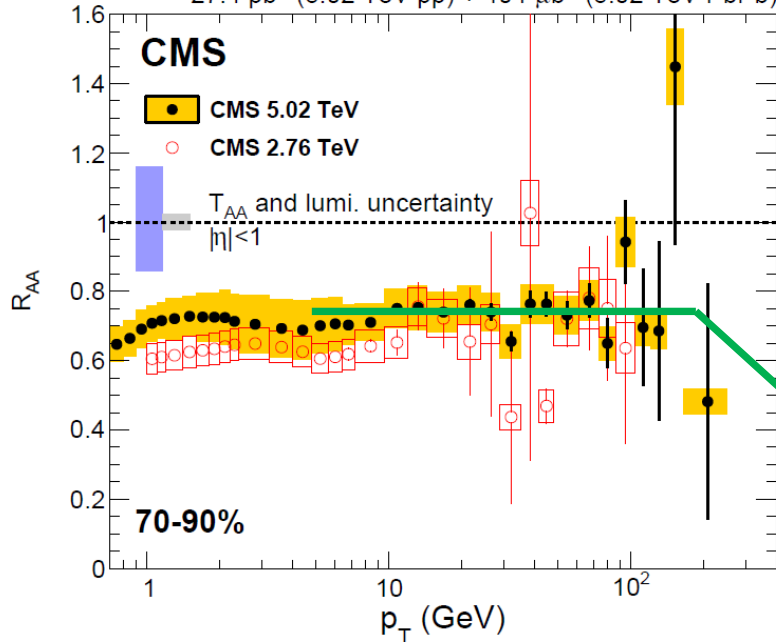
20 Apr 2017

8

11

EPJC 72 (2012) 1945

27.4 pb<sup>-1</sup> (5.02 TeV pp) + 404 μb<sup>-1</sup> (5.02 TeV PbPb)



$\langle N_{part} \rangle = 23 \rightarrow R_{AA} = 0.65$

$\langle N_{part} \rangle = 11 \rightarrow R_{AA} = 0.7$

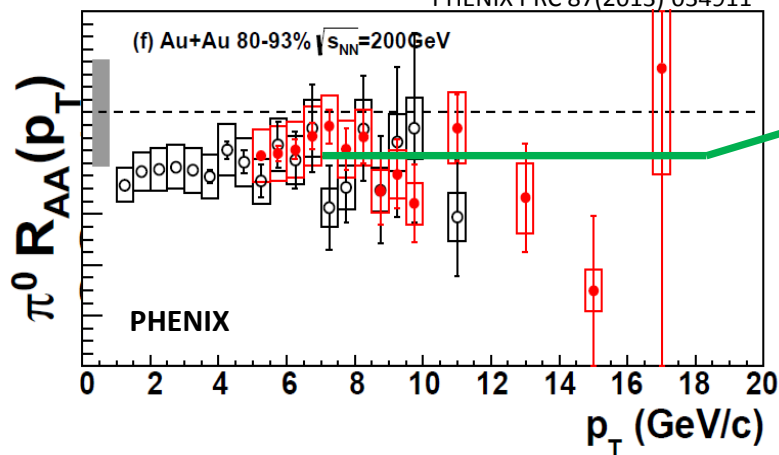
$\langle N_{part} \rangle = 5 \rightarrow R_{AA} = 0.8 ?$

$R_{AA} \neq 1$  in A-A fino a bassi  $\langle N_{part} \rangle$

Ma cosa succede in collisioni pp e p-A?

Difficile definire un  $R_{AA}$  in pp...!!!

PHENIX PRC 87(2013) 034911





# Hard probes: $R_{pA}$ e jets

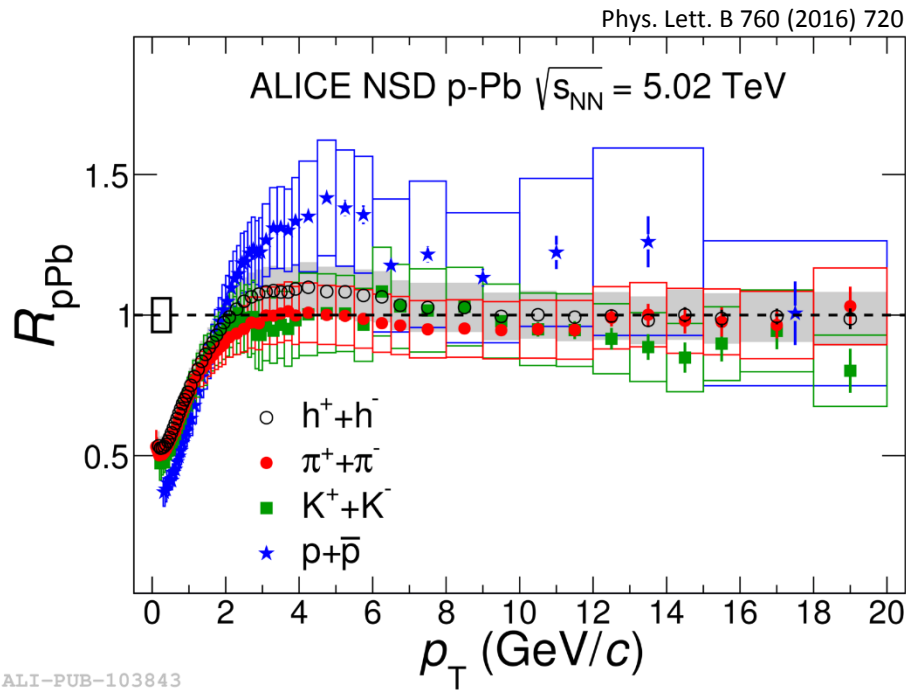
Livio Bianchi

IFAE 2017

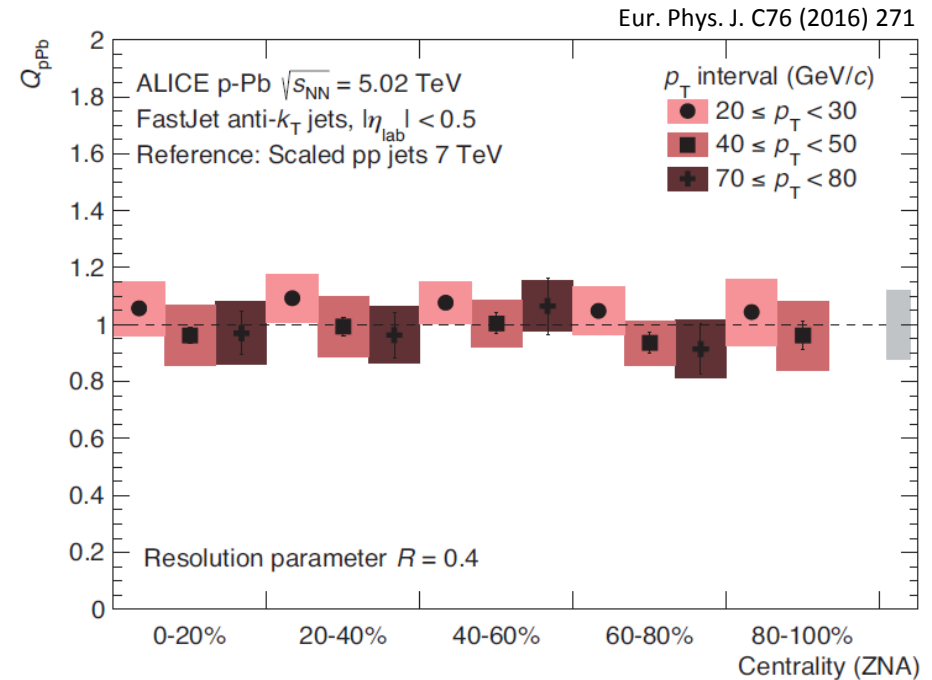
20 Apr 2017

9

11



Nessuna indicazione di  $R_{pPb} \neq 1$   
ad alto  $p_T$  per adroni carichi



Fattore di soppressione di jet = 1  
in qualsiasi intervallo di  $p_T$

**Sostanziale differenza rispetto a urti di ioni.**

**La molteplicità non lega univocamente le osservabili “hard”  
tra vari sistemi collidenti**



# Hard probes: mesoni charmati e quarkonia

Livio Bianchi

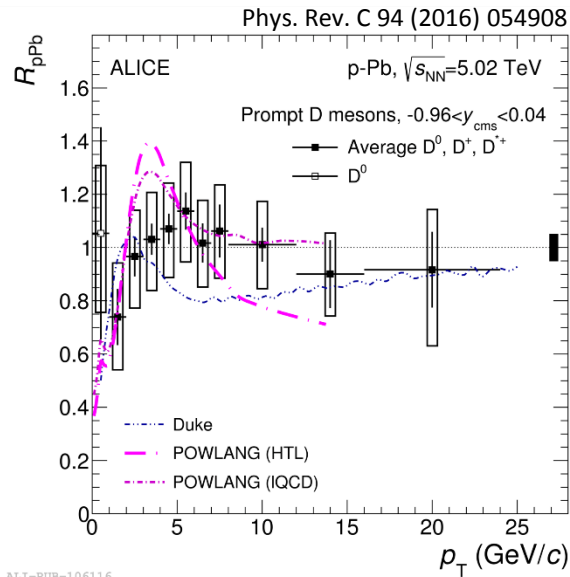
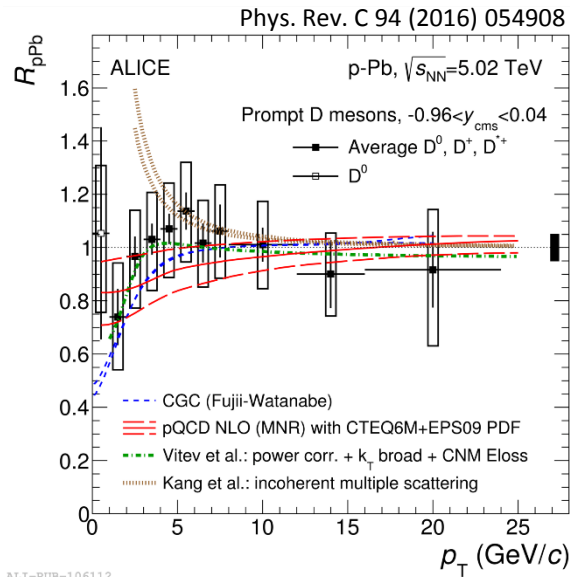
IFAE 2017

20 Apr 2017

10

—

11



$R_{pPb}$  di mesoni charmati:  
l'attuale precisione non consente  
di discriminare tra modelli.

Con maggiore statistica  
interessante vedere ad alta  
molteplicità!



# Hard probes: mesoni charmati e quarkonia

Livio Bianchi

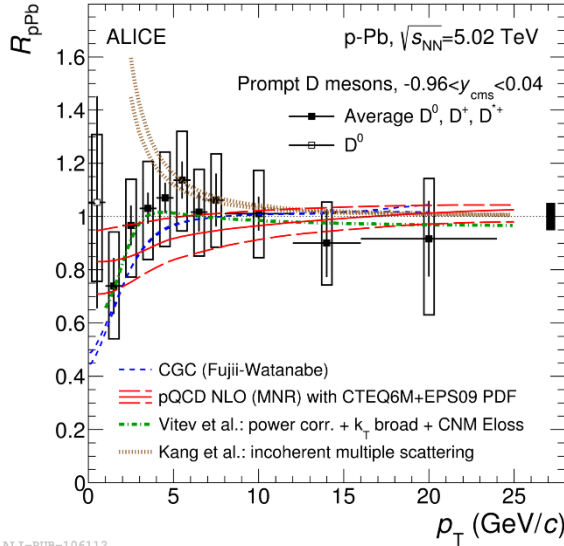
IFAE 2017

20 Apr 2017

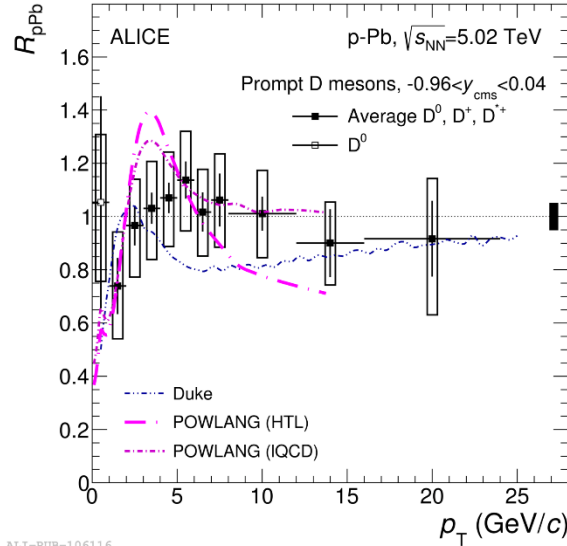
10

11

Phys. Rev. C 94 (2016) 054908



Phys. Rev. C 94 (2016) 054908



$R_{pPb}$  di mesoni charmati:  
l'attuale precisione non consente  
di discriminare tra modelli.

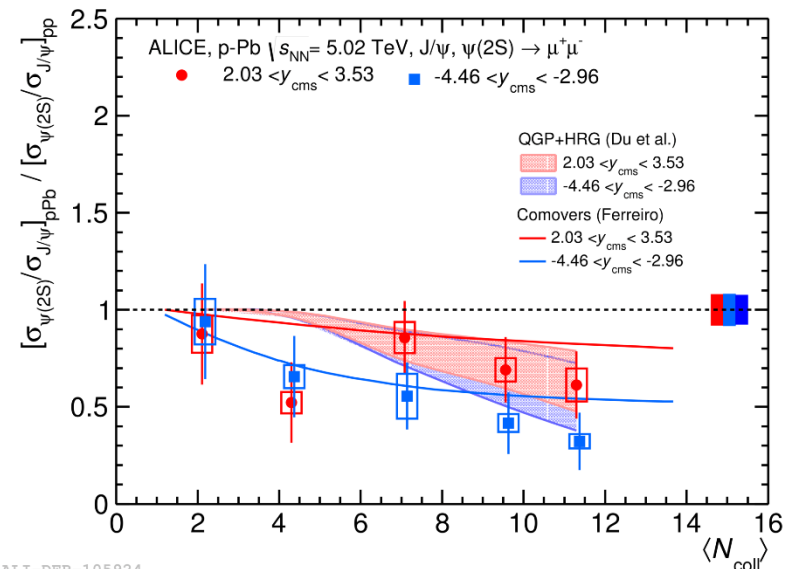
Con maggiore statistica  
interessante vedere ad alta  
molteplicità!

$\psi(2S)$  maggiormente soppressa rispetto a  $J/\psi$  in p-Pb

Gli effetti di stato iniziale sono identici!  
Soppressione sequenziale?

Situazione qualitativamente simile per gli stati del  
bottomonio (CMS – JHEP 04 (2014) 103)

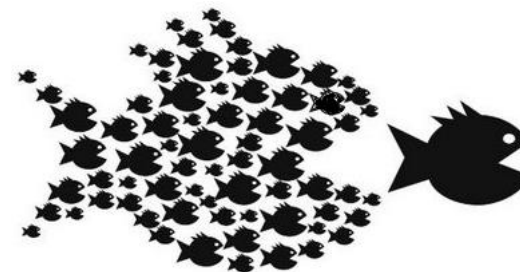
arXiv:1603.02816v2



ALI-DER-105924



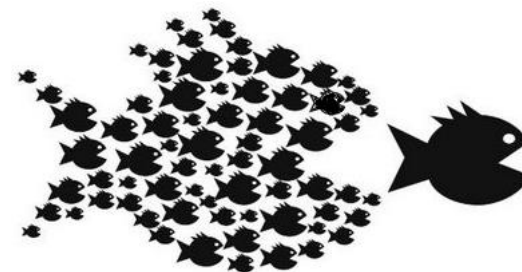
Gli studi del QGP si stanno (parzialmente) spostando verso collisioni più elementari ad alta molteplicità



Sistemi “piccoli” - vantaggi e svantaggi:

- 👍 Stato iniziale è (più) facilmente determinabile
- 👍 Apparato sperimentale non deve essere ottimizzato per flussi di particelle estremi
- 👎 Il sistema formato è meno esteso e difficilmente raggiunge l'equilibrio
- 👎 Eventi potenzialmente interessanti molto rari.

Gli studi del QGP si stanno (parzialmente) spostando verso collisioni più elementari ad alta molteplicità



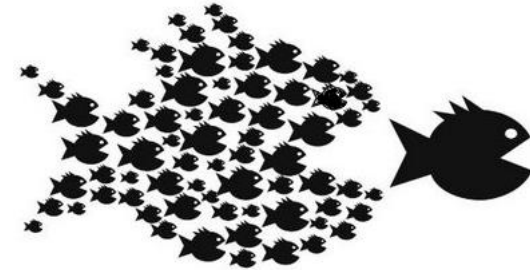
Sistemi “piccoli” - vantaggi e svantaggi:

- ✔ Stato iniziale è (più) facilmente determinabile
- ✔ Apparato sperimentale non deve essere ottimizzato per flussi di particelle estremi
- ✘ Il sistema formato è meno esteso e difficilmente raggiunge l'equilibrio
- ✘ Eventi potenzialmente interessanti molto rari.

Ad oggi, in **pp** e **p-A** abbiamo potuto osservare:

- Fenomeni legati alla **collettività**
- Stesse **abbondanze chimiche** presenti nel QGP
- **Assenza** di molti (ma non tutti) **fenomeni** dinamici legati ad osservabili **“hard”**

Gli studi del QGP si stanno (parzialmente) spostando verso collisioni più elementari ad alta molteplicità



Sistemi “piccoli” - vantaggi e svantaggi:

- 👍 Stato iniziale è (più) facilmente determinabile
- 👍 Apparato sperimentale non deve essere ottimizzato per flussi di particelle estremi
- 👎 Il sistema formato è meno esteso e difficilmente raggiunge l'equilibrio
- 👎 Eventi potenzialmente interessanti molto rari.

Ad oggi, in **pp** e **p-A** abbiamo potuto osservare:

- Fenomeni legati alla **collettività**
- Stesse **abbondanze chimiche** presenti nel QGP
- **Assenza** di molti (ma non tutti) **fenomeni** dinamici legati ad osservabili “**hard**”

Sviluppi (prospettiva personale):

- Focalizzarsi su pp (modelli fenomenologici più solidi, utile per HEP)
- Sviluppare trigger efficienti per alta molteplicità
- Adottare osservabili legate alla “isotropia dell'evento”

*grazie*