

Studio della produzione di particelle “light-flavoured” e delle loro correlazioni in eventi ad alta molteplicità a LHC

Roberto Preghenella
per la Collaborazione ALICE
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
CERN

Incontri di Fisica della Alte Energie (IFAE 2015)
Roma, Università di Roma Tor Vergata
8-10 Aprile 2015



Il rivelatore ALICE

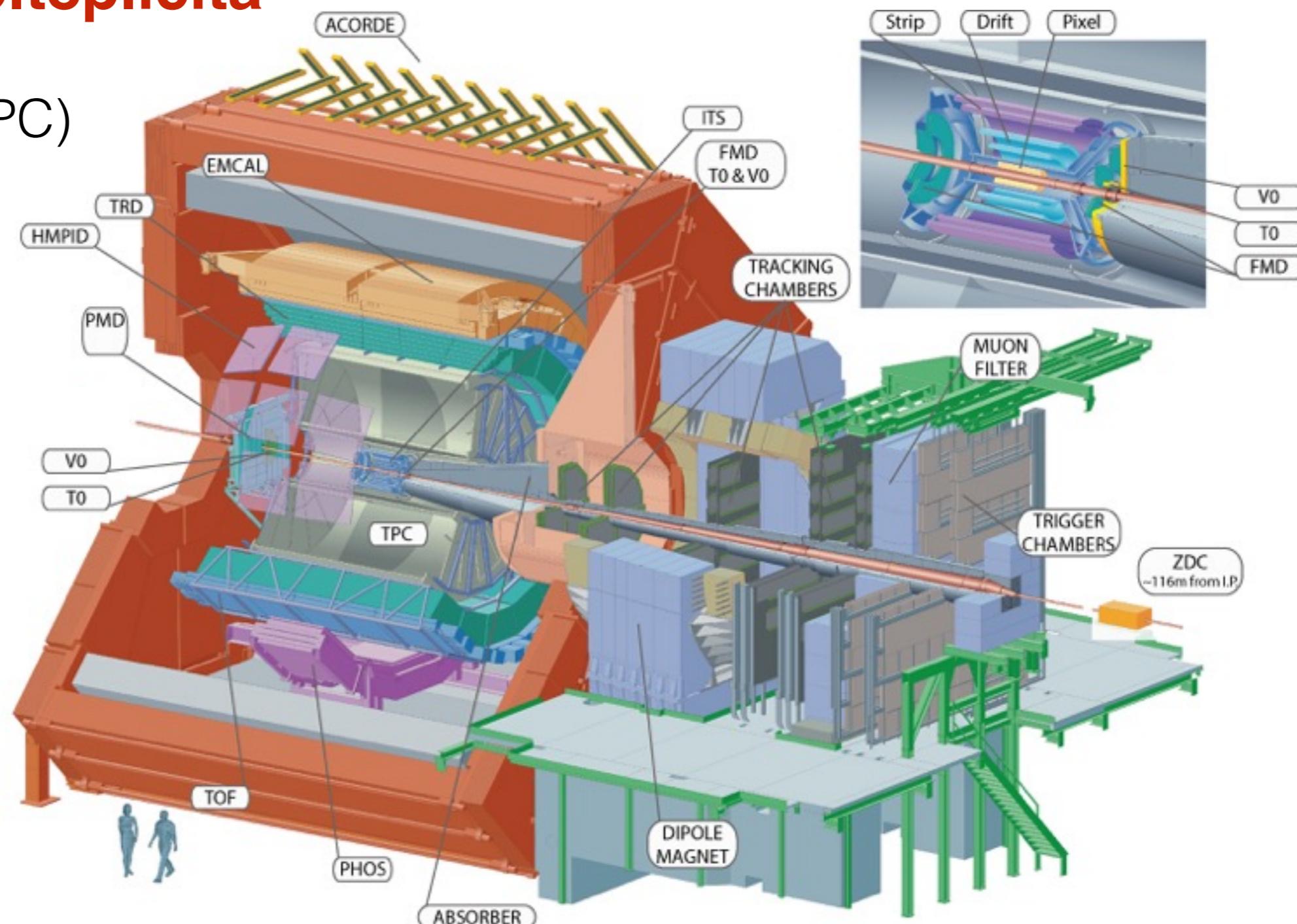
disegnato per studi

ad altissima molteplicità

$dN_{ch}/d\eta \leq 8000$

tracciamento 3D (TPC)

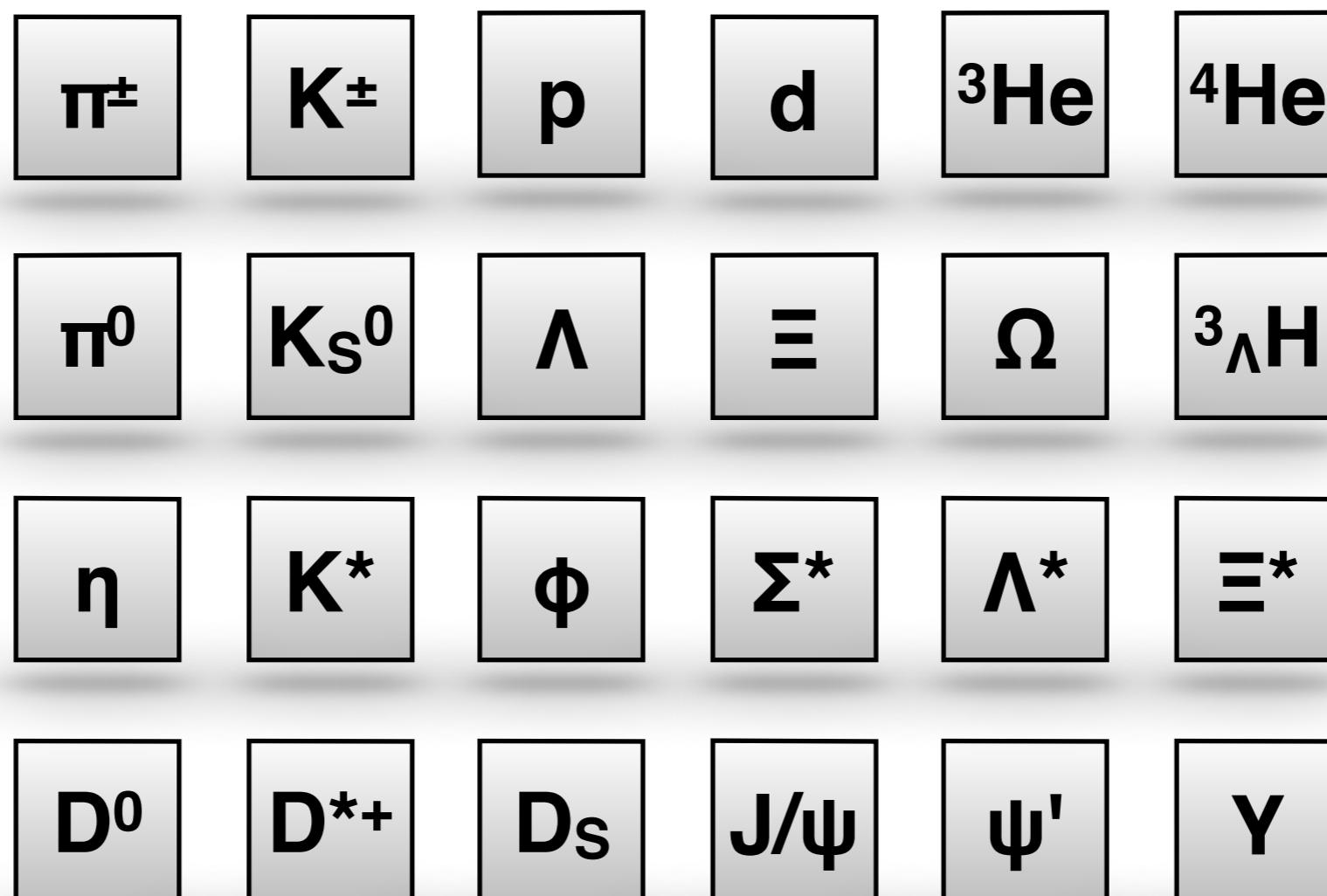
un esperimento dedicato alla fisica "heavy-ion" a LHC



utilizza tutte le tecniche di **PID** conosciute

Uno zoo di particelle

ALICE ha misurato la produzione di un gran numero di
particelle, risonanze e nuclei e anti-particelle/nuclei



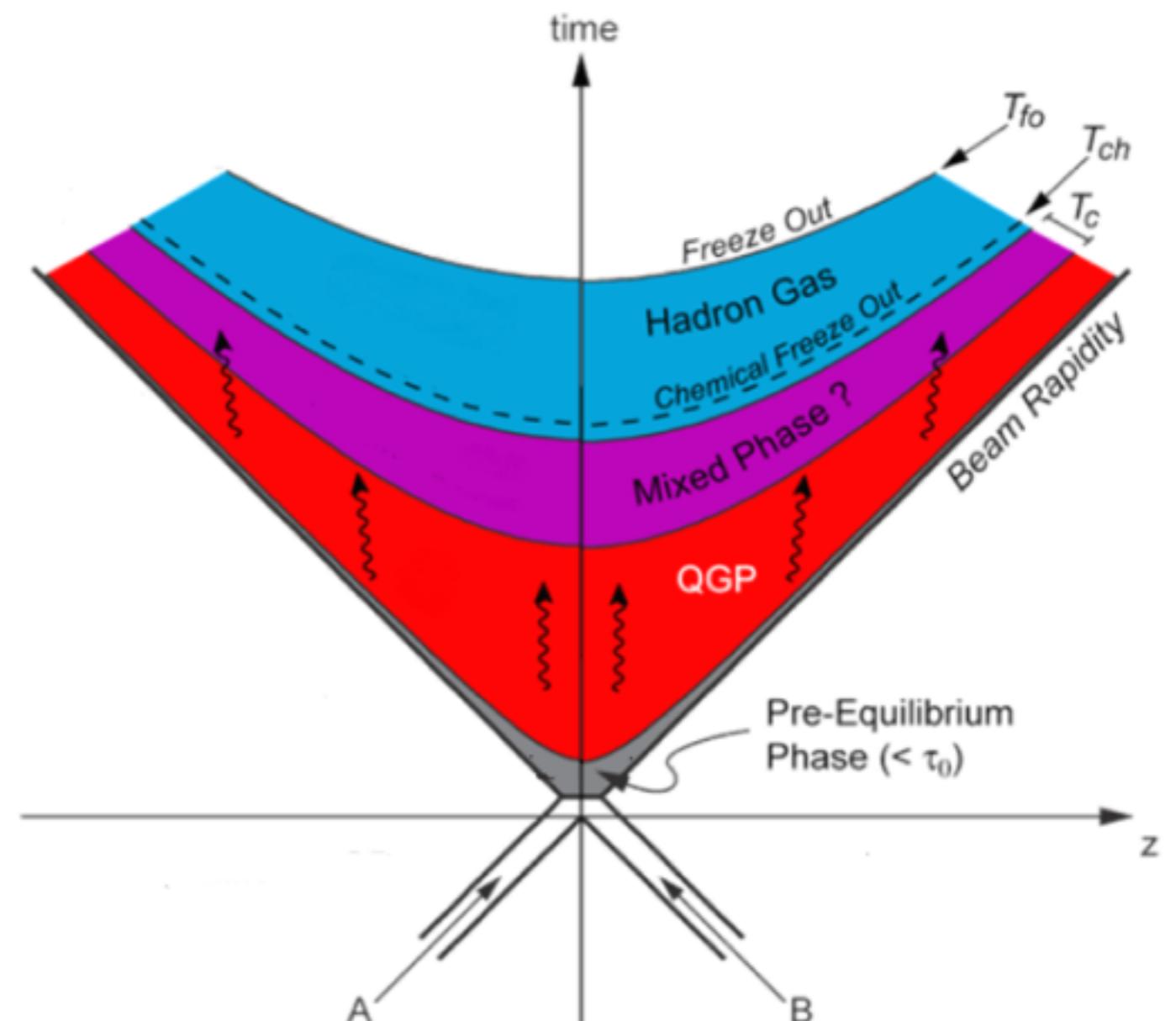
Fenomeni collettivi

La materia creata in collisioni di ioni pesanti ad alta energia può essere descritta tramite modelli idrodinamici

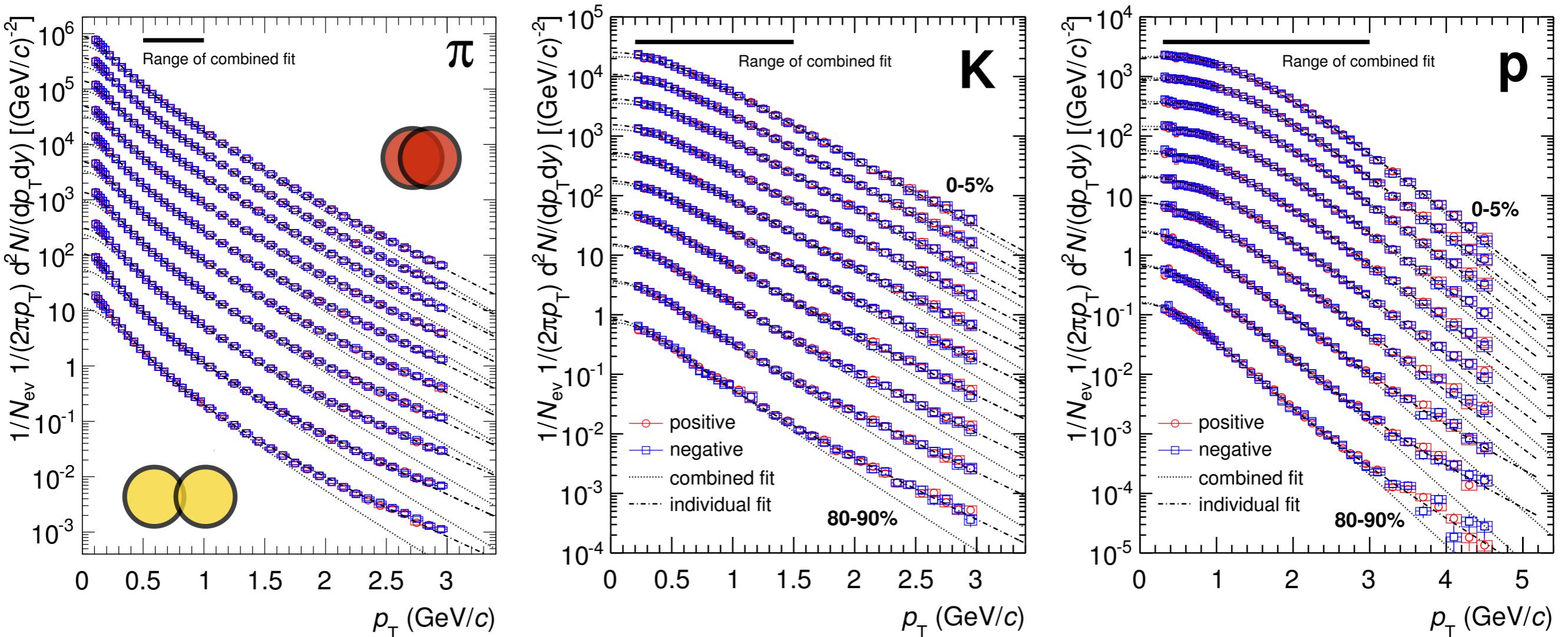
- fase partonica calda e densa in rapida espansione
- si sviluppano flussi collettivi e il sistema si raffredda
- transizione di fase (adronizzazione) quando è raggiunta la T_{critica}

che comporta

- dipendenza della forma degli spettri in p_T dalla massa della particella
- caratteristica anisotropia azimutale (anisotropia spaziale iniziale)



Produzione di particelle in Pb-Pb



chiara evoluzione degli spettri in $p_T \rightarrow$ "hardening"
maggiormente pronunciato per i protoni
dipendenza dalla massa come previsto in espansione
idrodinamica collettiva

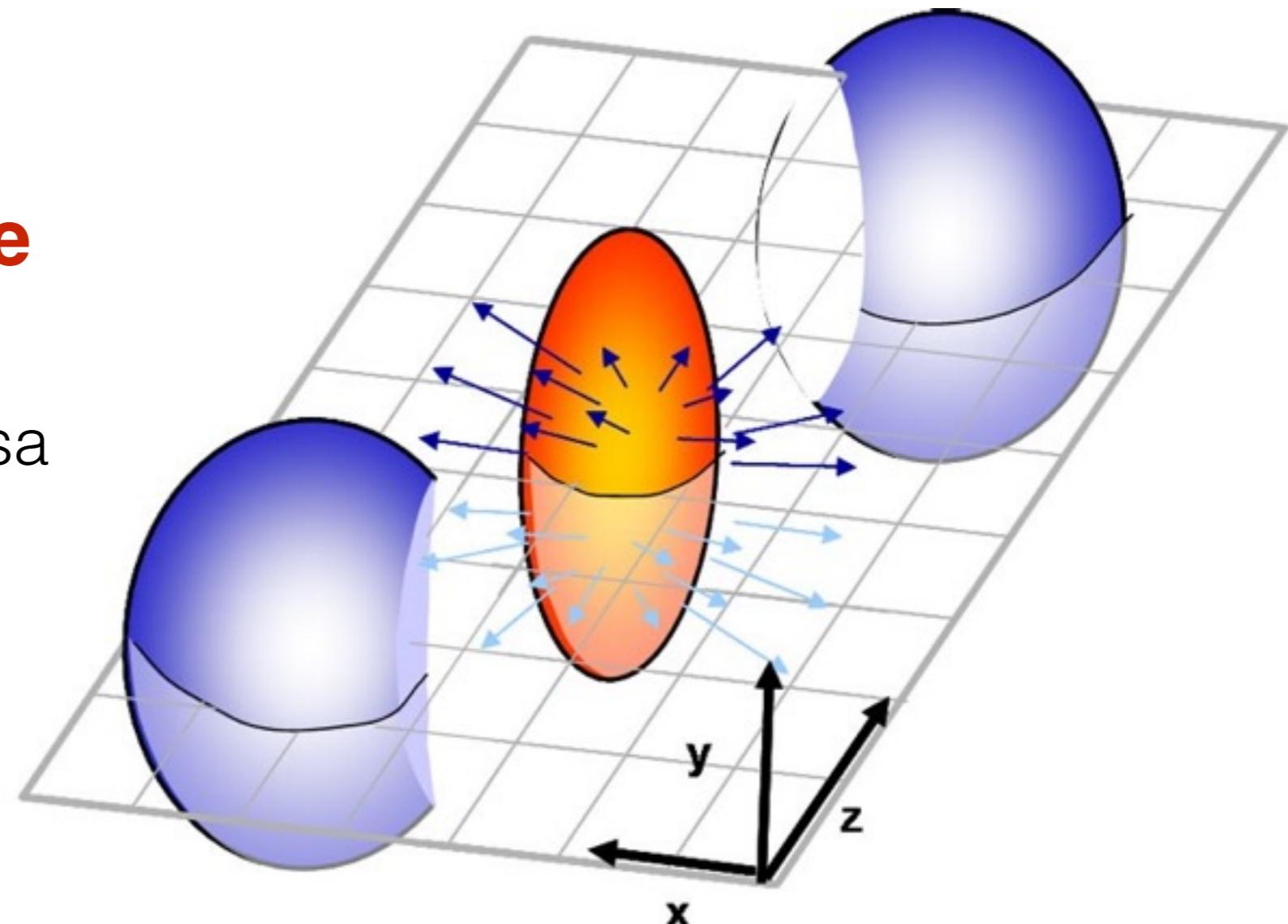
Fenomeni collettivi

la materia creata in collisioni di ioni pesanti ad alta energia **può essere descritta tramite modelli idrodinamici**

- fase partonica calda e densa in rapida espansione
- si sviluppano flussi collettivi e il sistema si raffredda
- transizione di fase (adronizzazione) quando è raggiunta la T_{critica}

che comporta

- dipendenza della forma degli spettri in p_T dalla massa della particella
- caratteristica anisotropia azimutale (anisotropia spaziale iniziale)

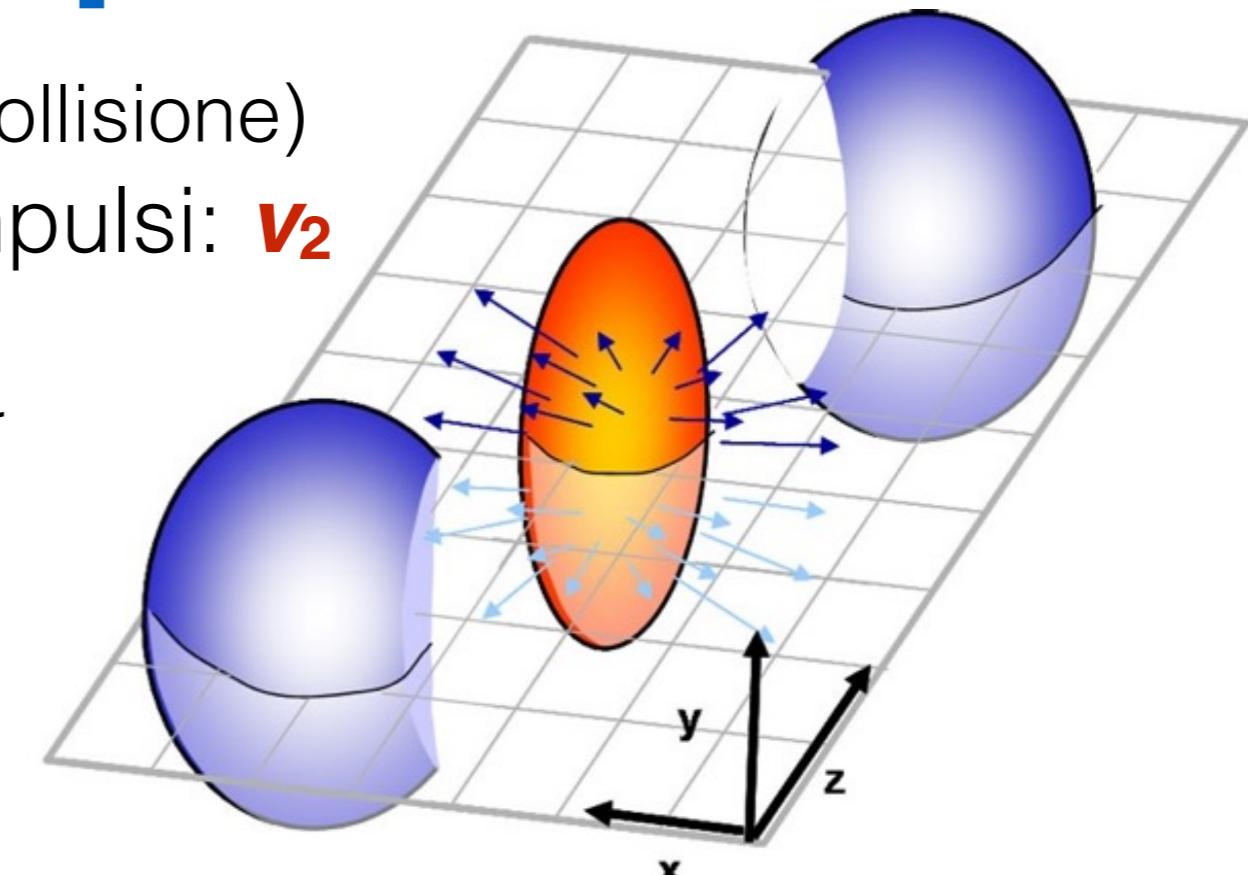
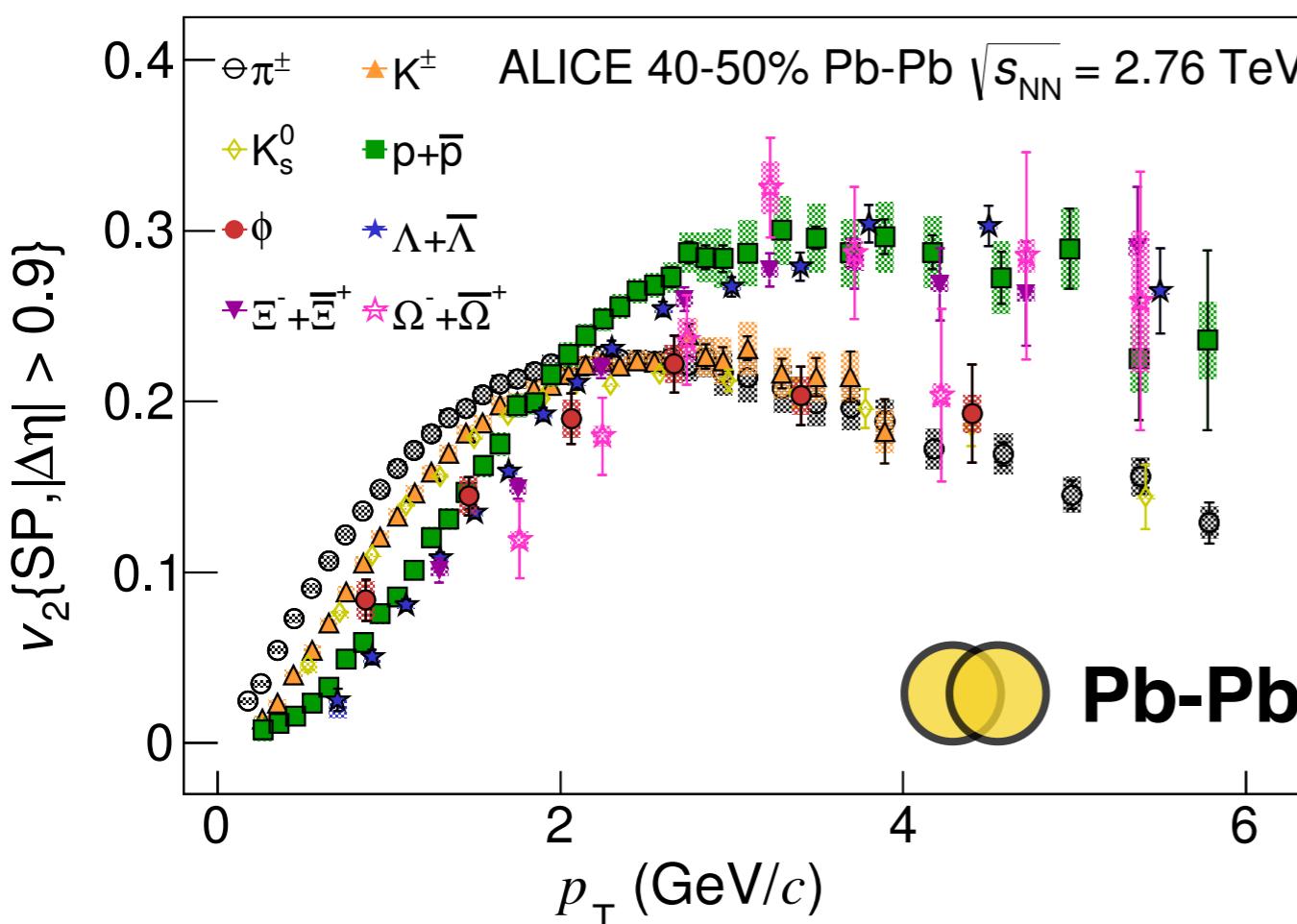


Flusso anisotropo in Pb-Pb

anisotropia spaziale (geometria collisione)

→ anisotropia nello spazio degli impulsi: **v_2**

v_2 connesso alle proprietà della fase partonica deconfinata
viscosity over entropy-density (η/s)
del mezzo caldo e denso



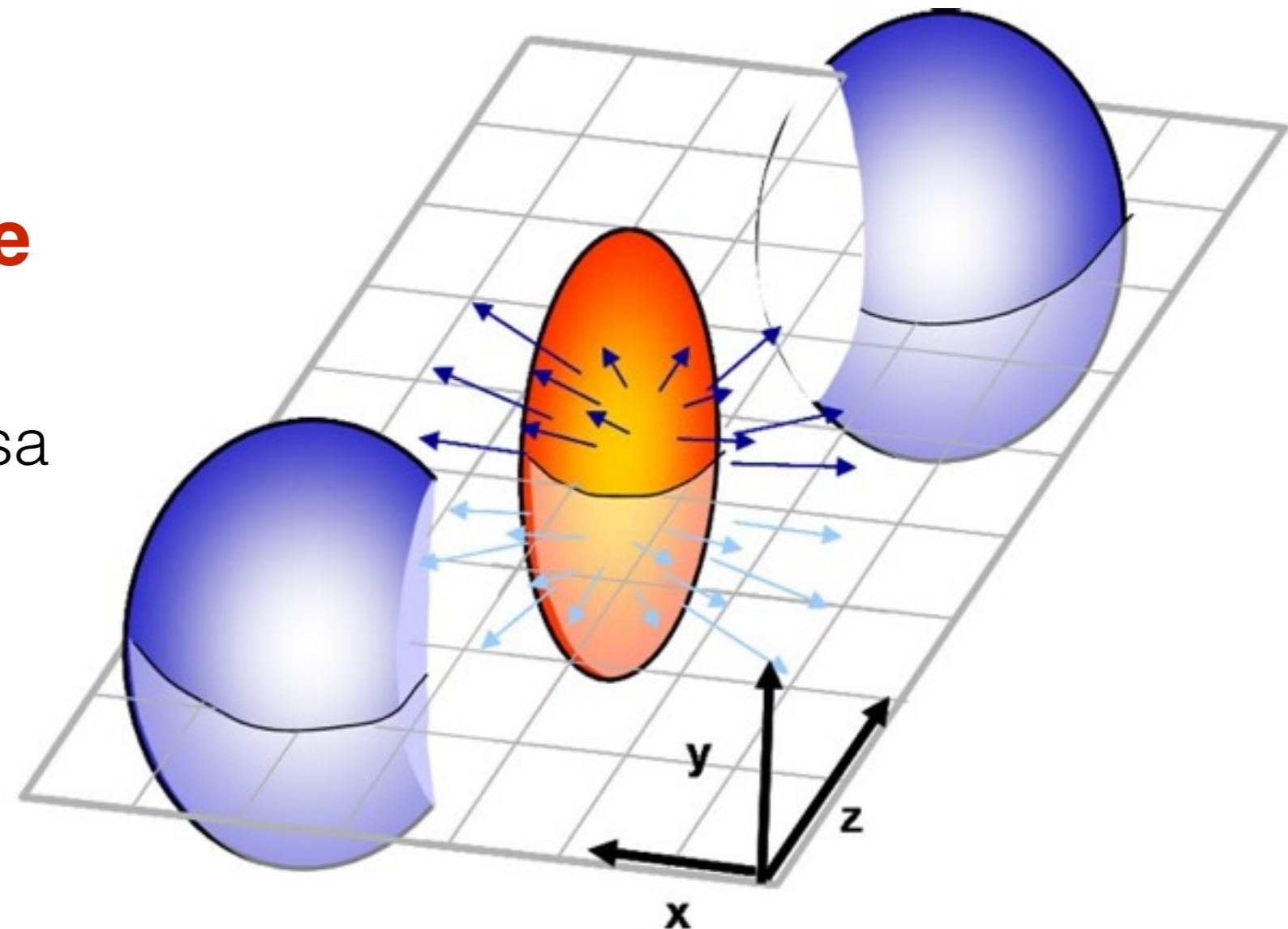
v_2 misurato per
 $\pi^\pm, K^\pm, K_s^0, p, \phi, \Lambda, \Xi, \Omega$

"mass ordering"
attribuito alla velocità di
espansione radiale
comune

Fenomeni collettivi

la materia creata in collisioni di ioni pesanti ad alta energia **può essere descritta tramite modelli idrodinamici**

- fase partonica calda e densa in rapida espansione
- si sviluppano flussi collettivi e il sistema si raffredda
- transizione di fase (adronizzazione) quando è raggiunta la T_{critica}



che comporta

- dipendenza della forma degli spettri in p_T dalla massa della particella
- caratteristica anisotropia azimutale (anisotropia spaziale iniziale)

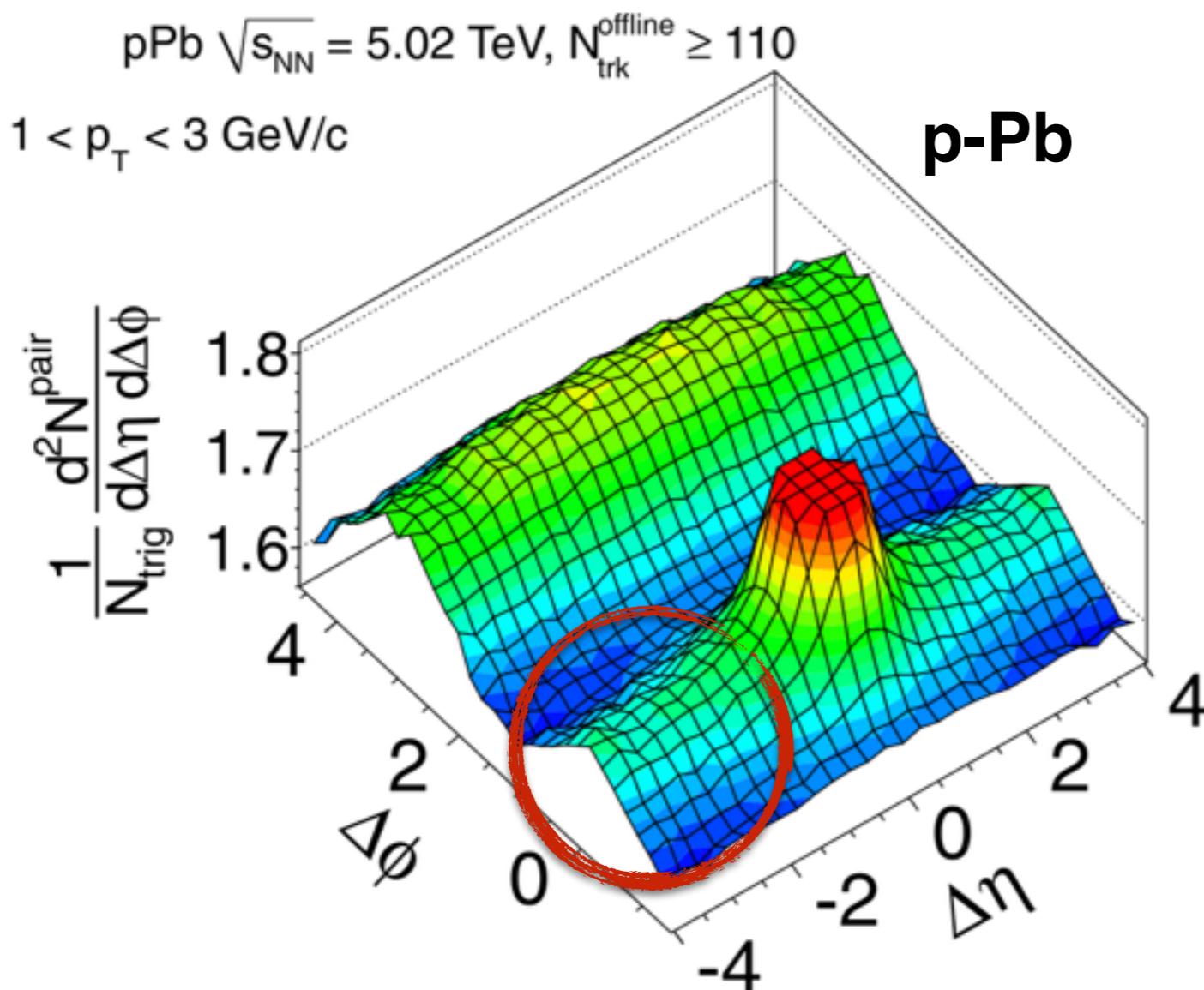
esistono effetti simili anche in piccoli sistemi ?

Correlazioni a due particelle

osservazione di una struttura

long-range ($2 < |\Delta\eta| < 4$), **near-side** ($\Delta\phi \approx 0$)

nelle correlazioni angolari in eventi p-Pb ad alta molteplicità

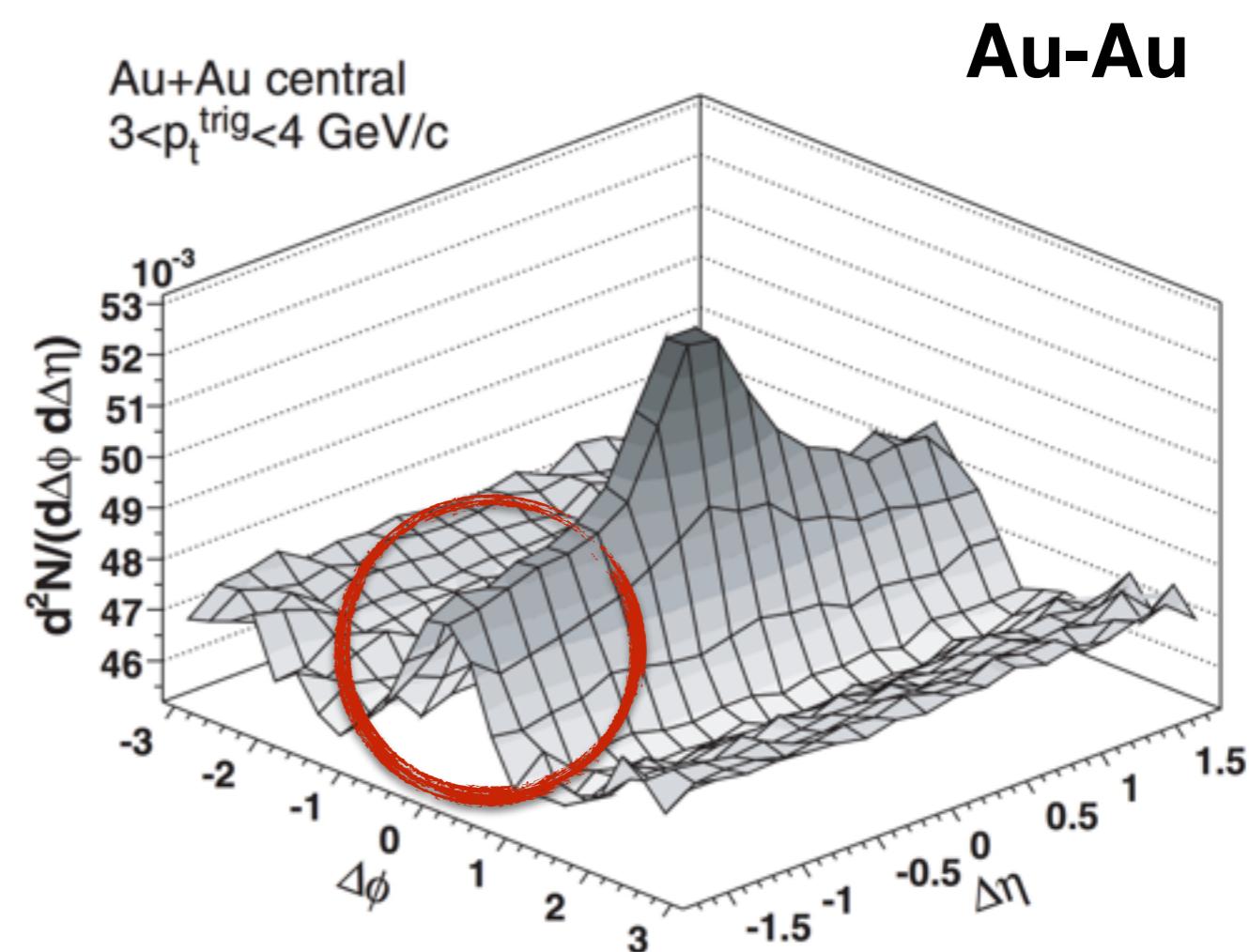
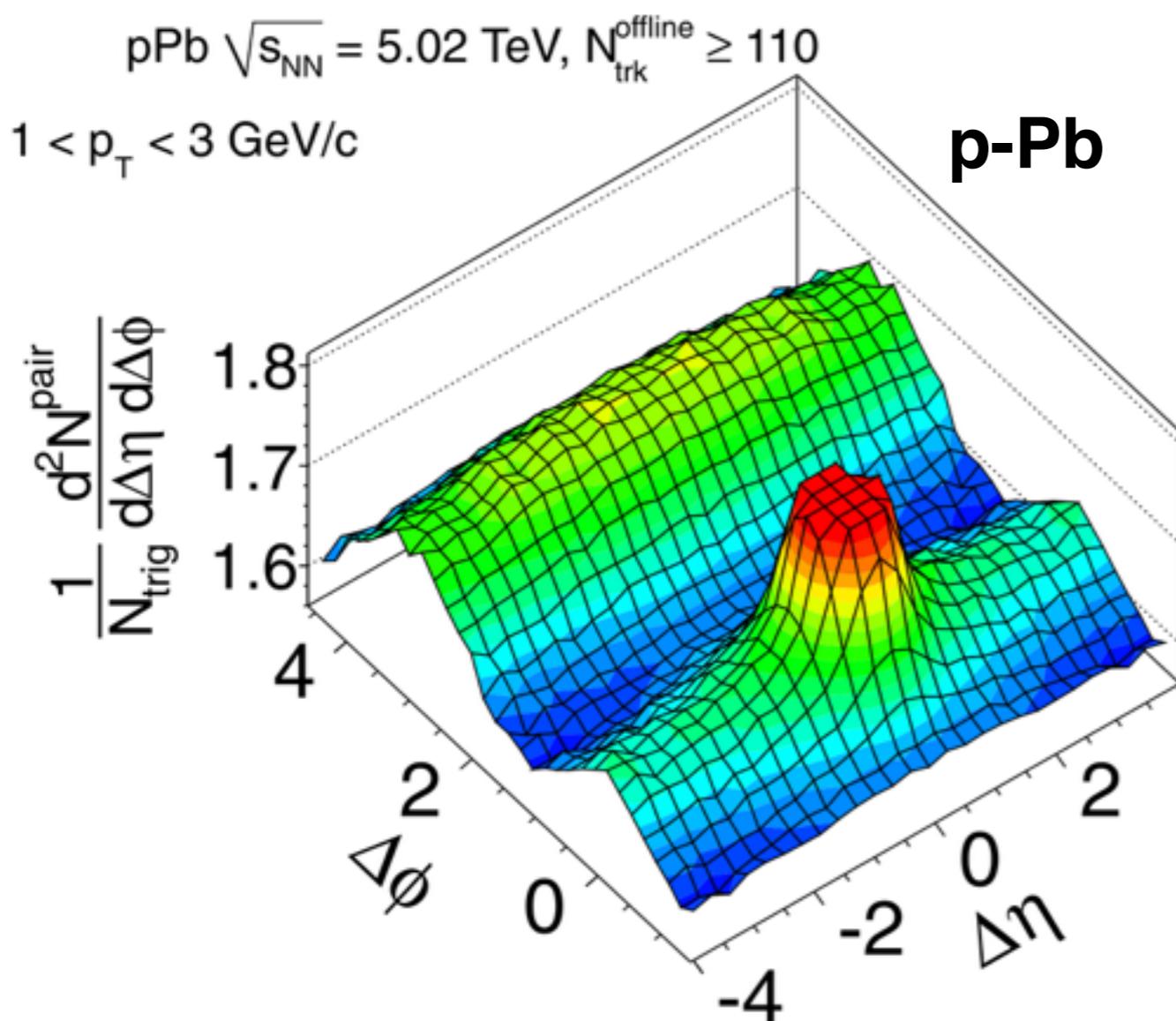


CMS, PLB 718 (2013) 795

II "ridge"

long-range ($2 < |\Delta\eta| < 4$), **near-side** ($\Delta\phi \approx 0$)

simile alla struttura denominata "ridge" osservata in Au-Au
interpretazione: dovuto a presenza di fenomeni collettivi



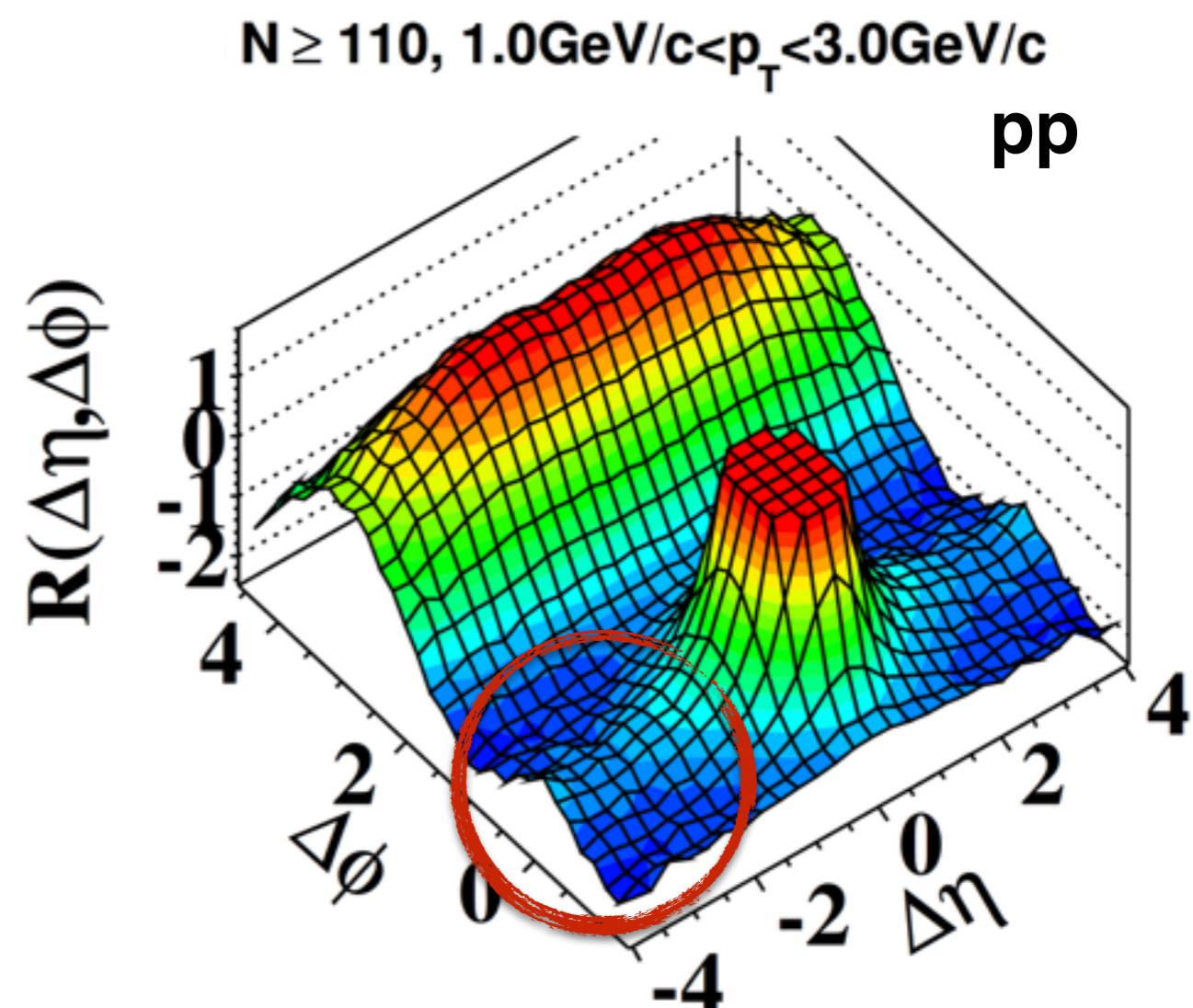
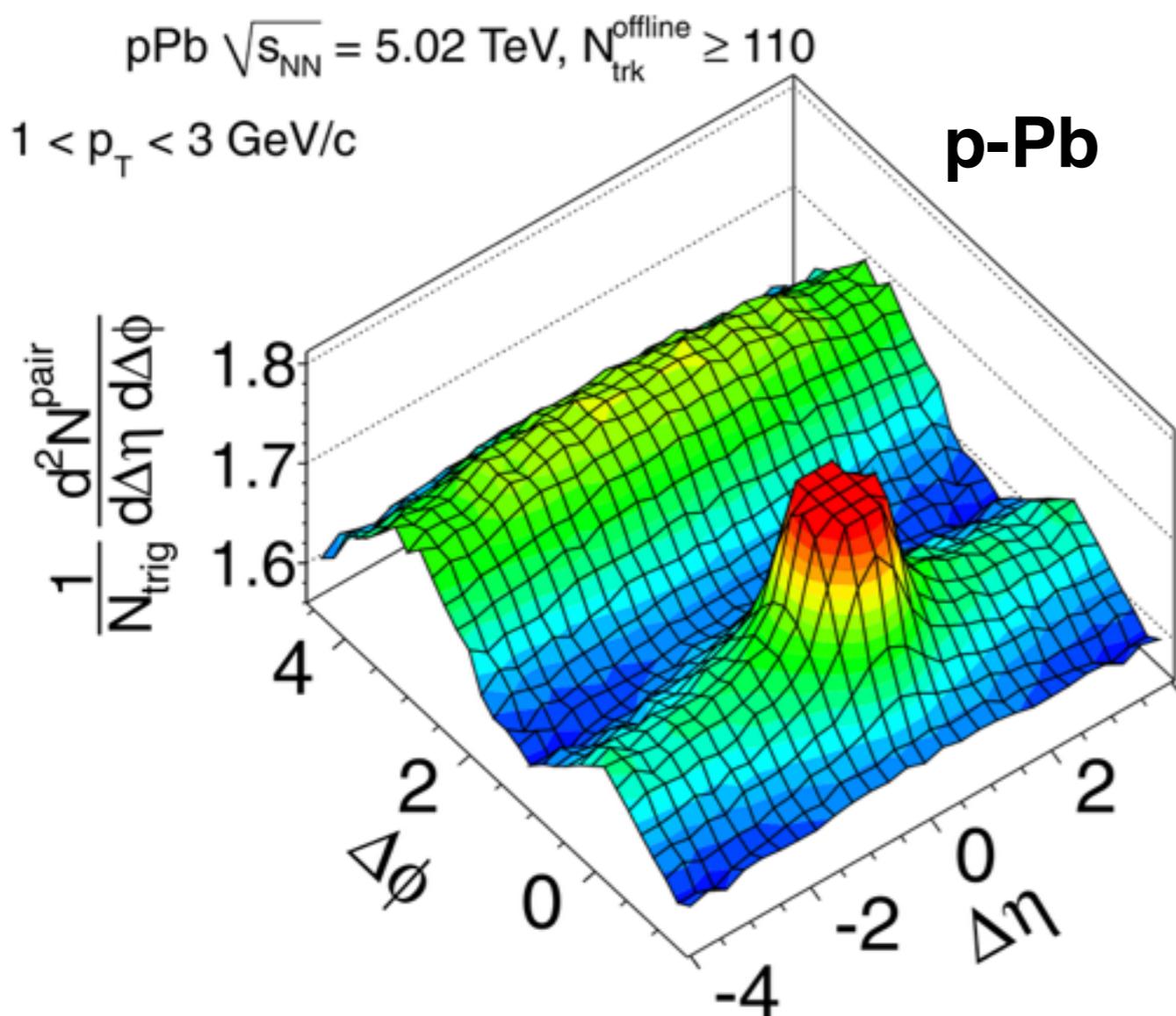
CMS, PLB 718 (2013) 795

STAR, PRC 80 (2010) 064912

II "ridge"

long-range ($2 < |\Delta\eta| < 4$), **near-side** ($\Delta\phi \approx 0$)

struttura osservata anche in eventi pp ad alta molteplicità
in realtà è stata osservata prima in pp che in p-Pb

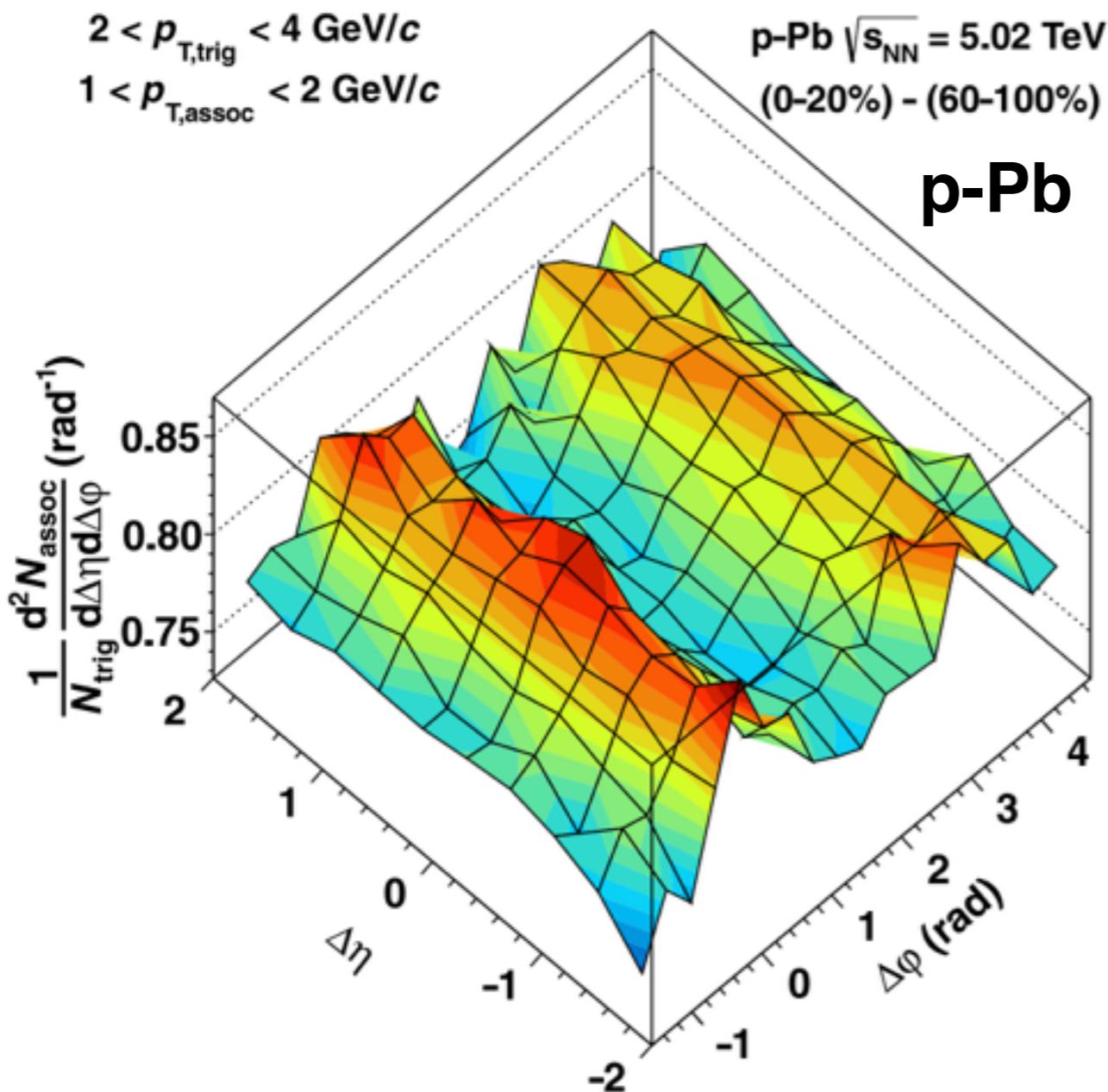


CMS, PLB 718 (2013) 795

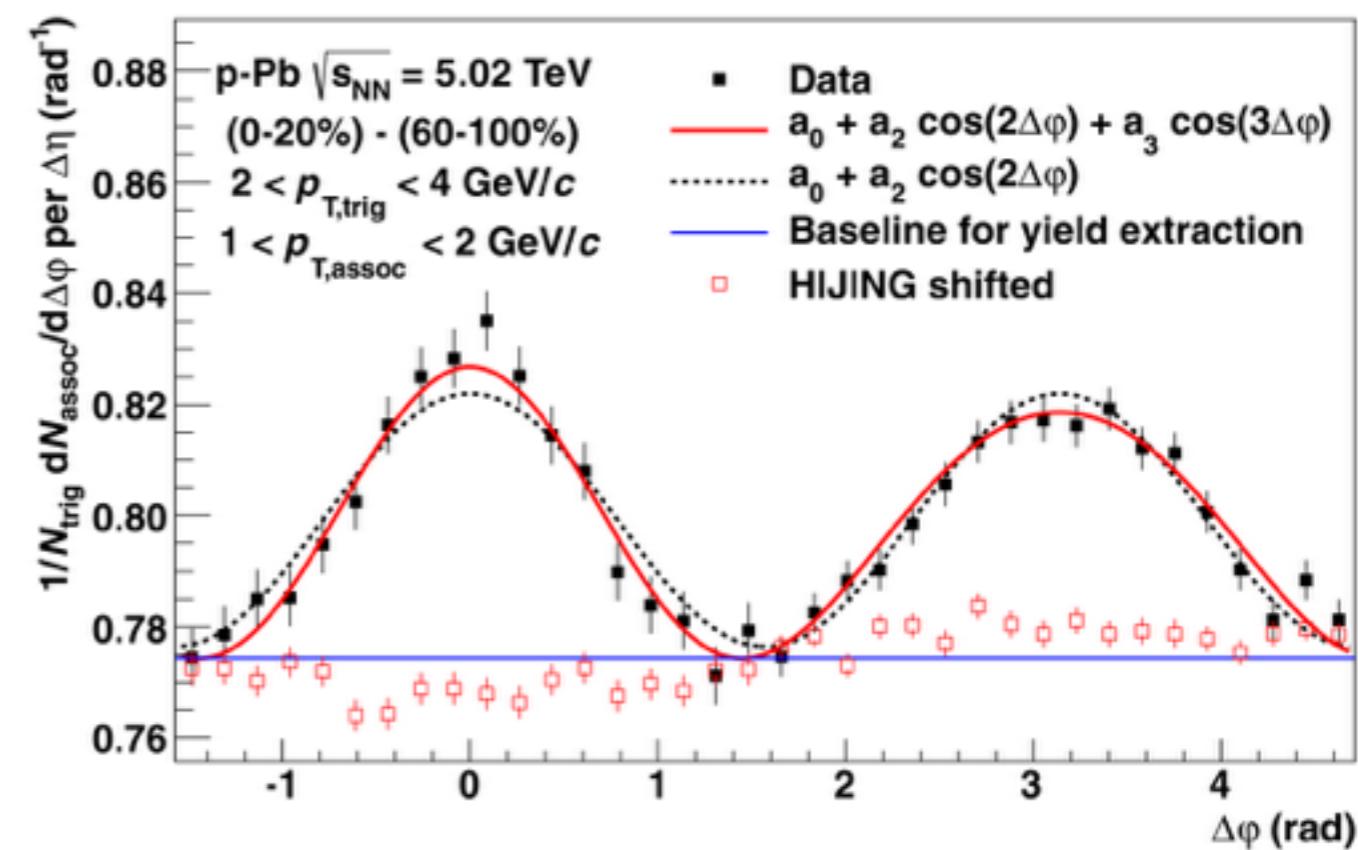
CMS, JHEP 09 (2010) 091

II "double ridge"

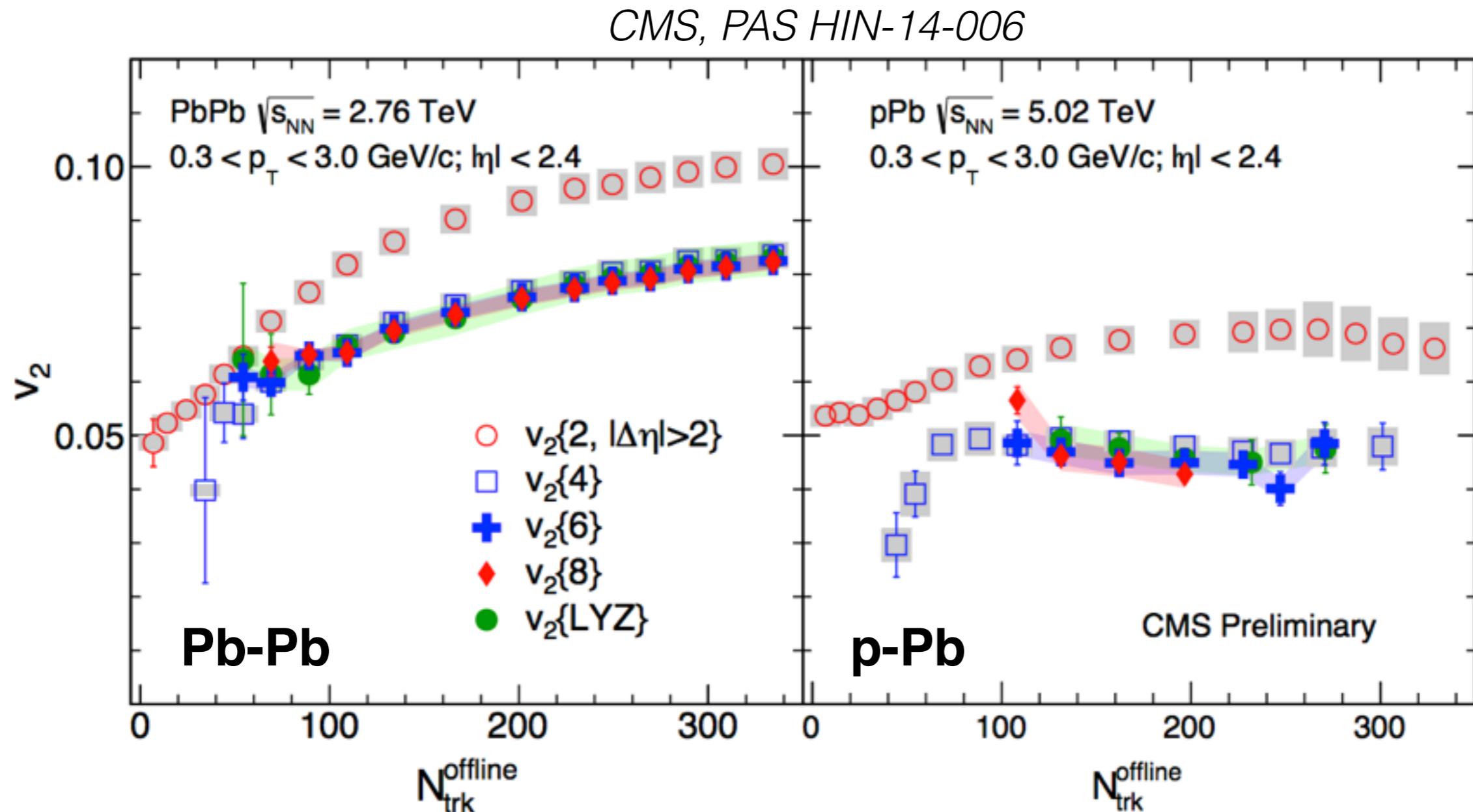
l'osservazione del ridge in p-Pb ha stimolato **ulteriori idee**
rimozione del contributo da jet: sottrazione degli eventi a bassa molteplicità
rivelata la presenza di una struttura "**double ridge**"



sembra un effetto collettivo
espansione di Fourier in $\Delta\phi$: v_2, v_3, \dots



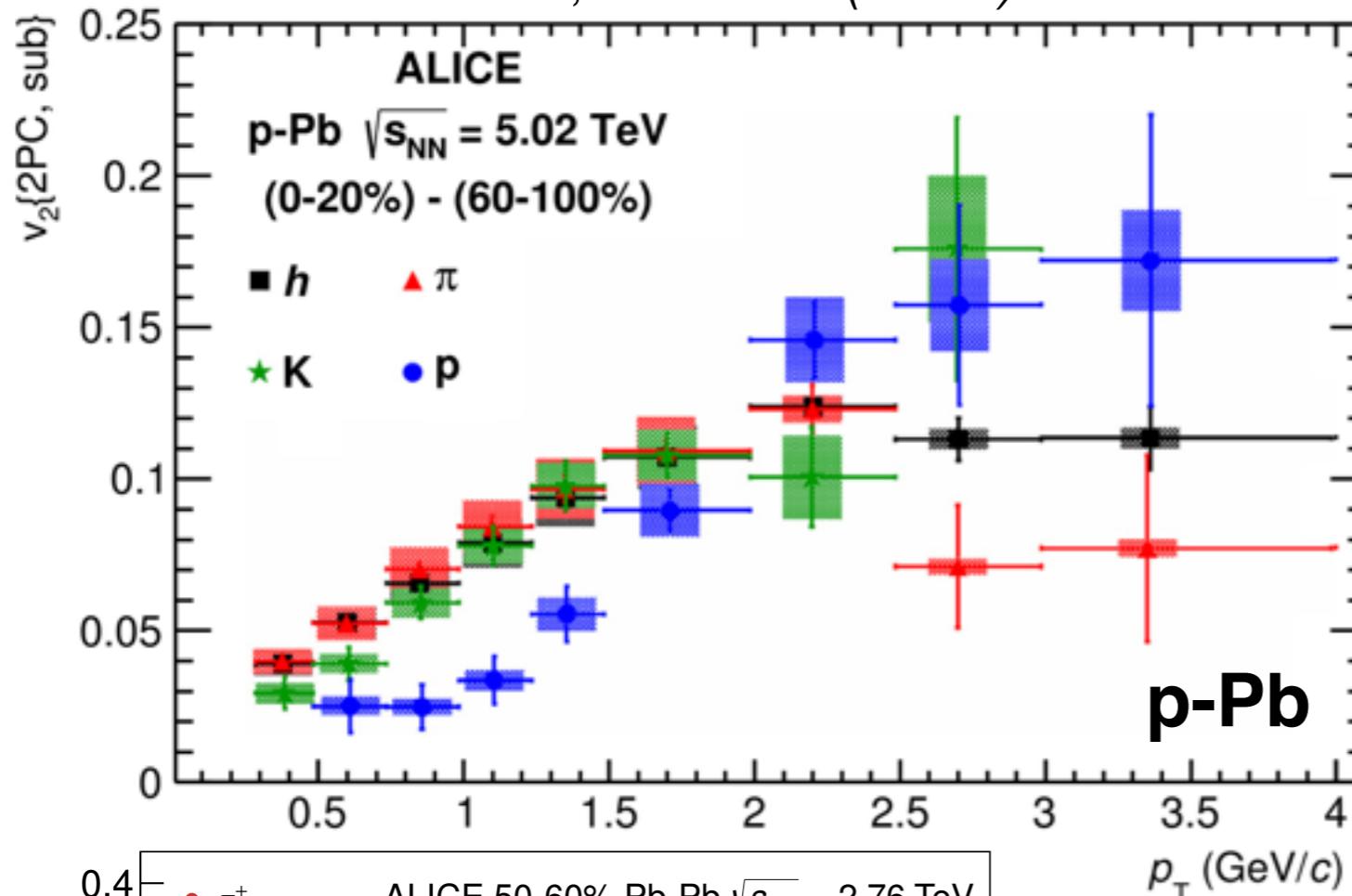
Un vero fenomeno collettivo



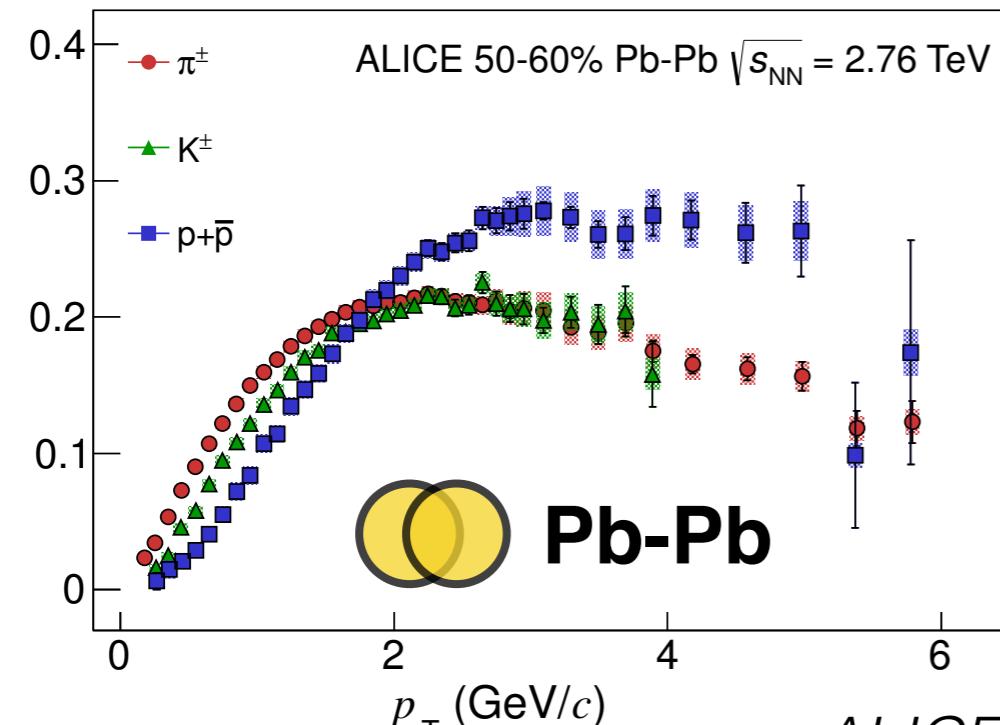
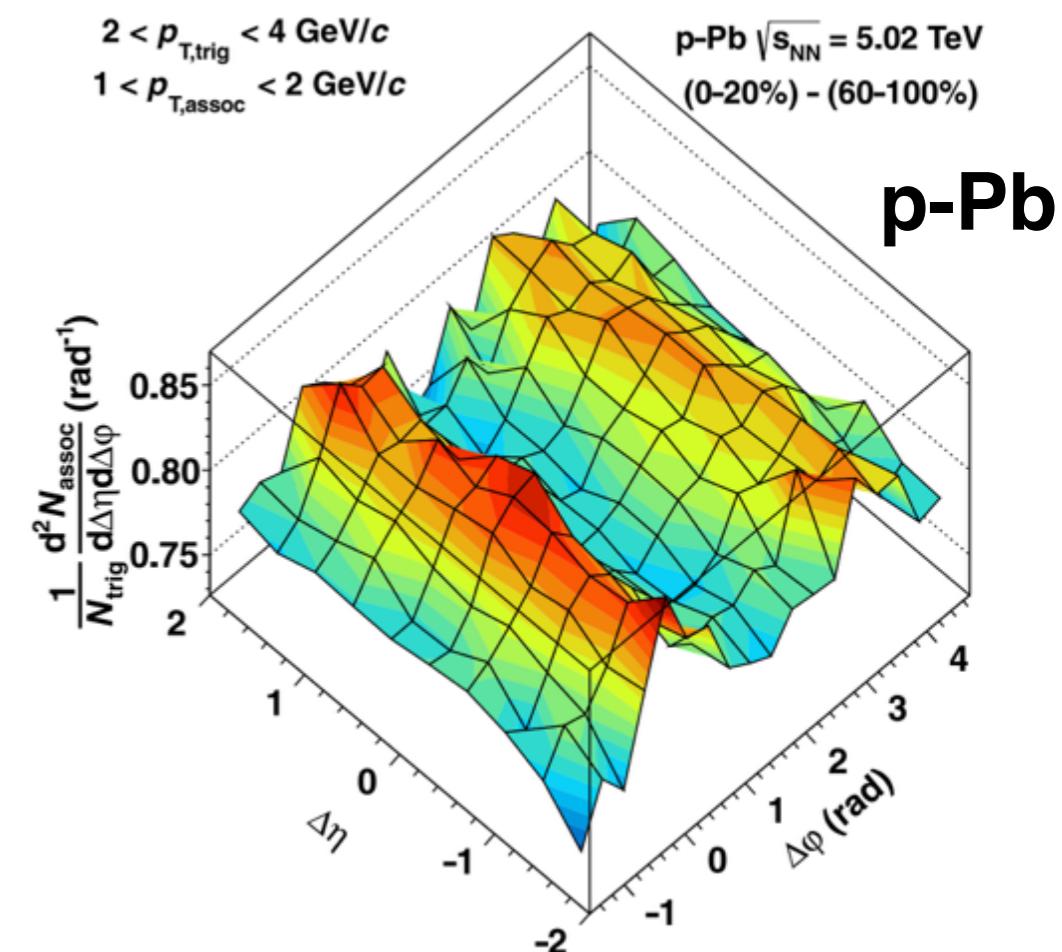
v₂ rimane grande anche quando calcolato con più particelle
 $v_2\{4\} = v_2\{6\} = v_2\{8\} = v_2\{\text{LYZ}\}$ differente sensibilità ad effetti non collettivi
c'è della **reale collettività in p-Pb**

v_2 di particelle identificate in p-Pb

ALICE, PLB 726 (2013) 164



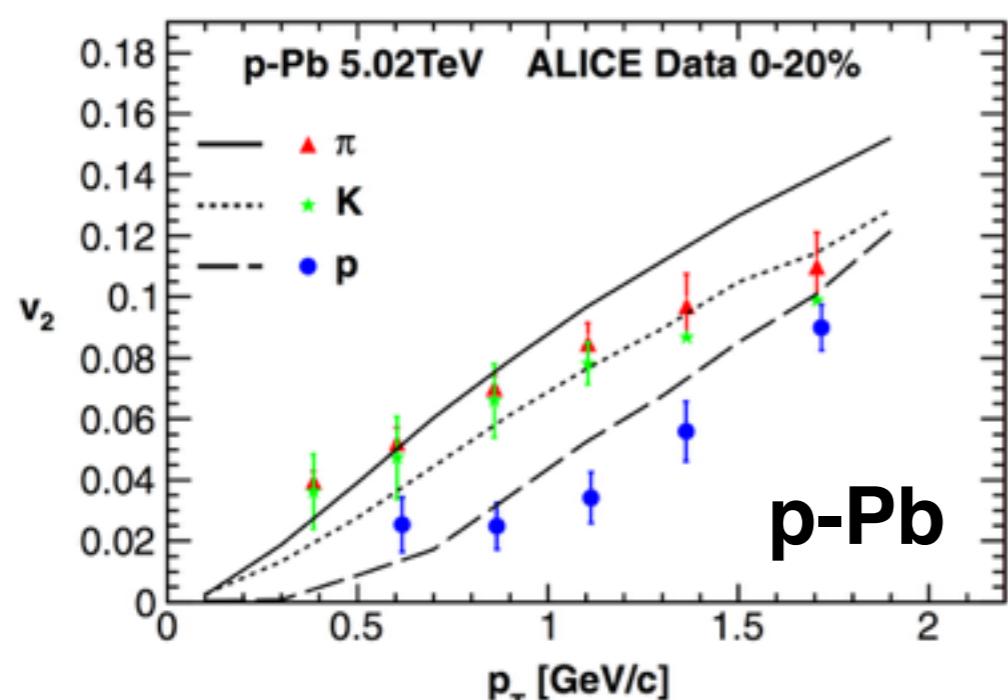
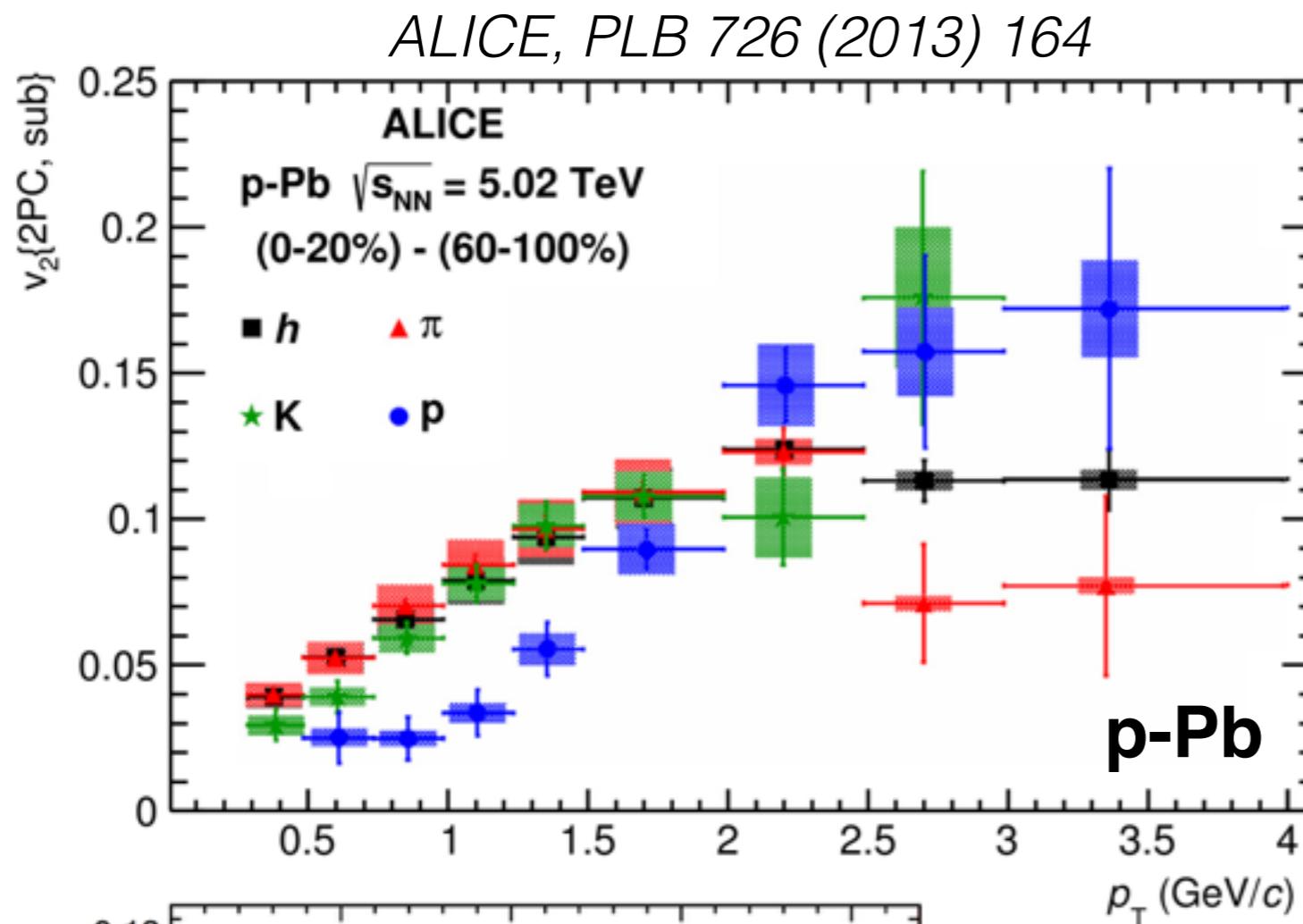
ALICE, PLB 719 (2013) 29



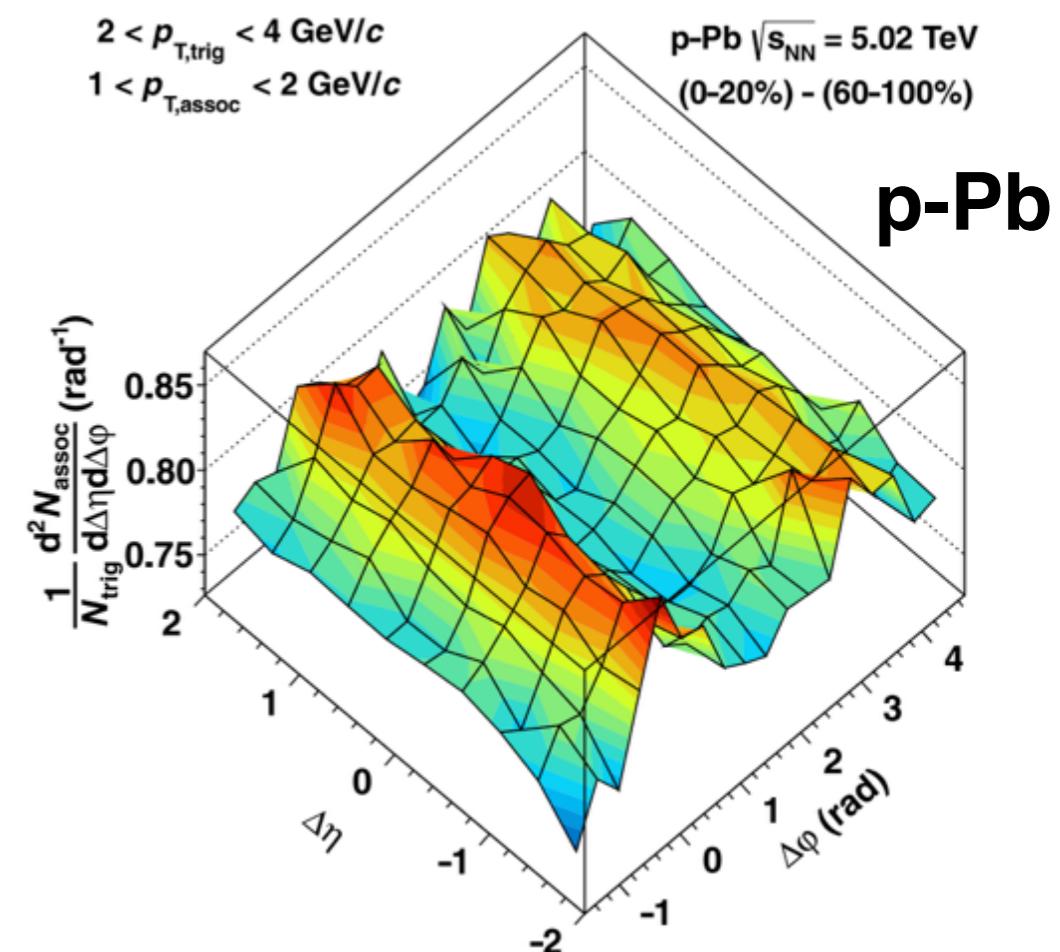
"**mass ordering**" osservato a basso p_T
 v_2 è inferiore per particelle più pesanti
inversione (crossing) a più alto p_T
somigliante alle osservazioni A-A

ALICE, arXiv:1405.4632 [nucl-ex]

v_2 di particelle identificate in p-Pb



ALICE, PLB 719 (2013) 29



"mass ordering" osservato a basso p_T
 v_2 è inferiore per particelle più pesanti
 inversione (crossing) a più alto p_T

consistente con le previsioni

espansione idrodinamica collettiva

Bozek et al., PRL 111 (2013) 172303

Produzione di particelle in p-Pb

Blast-Wave

hydro-motivated fit
thermal sources expanding
with common velocity

EPOS LHC

full event generator with
hydro evolution

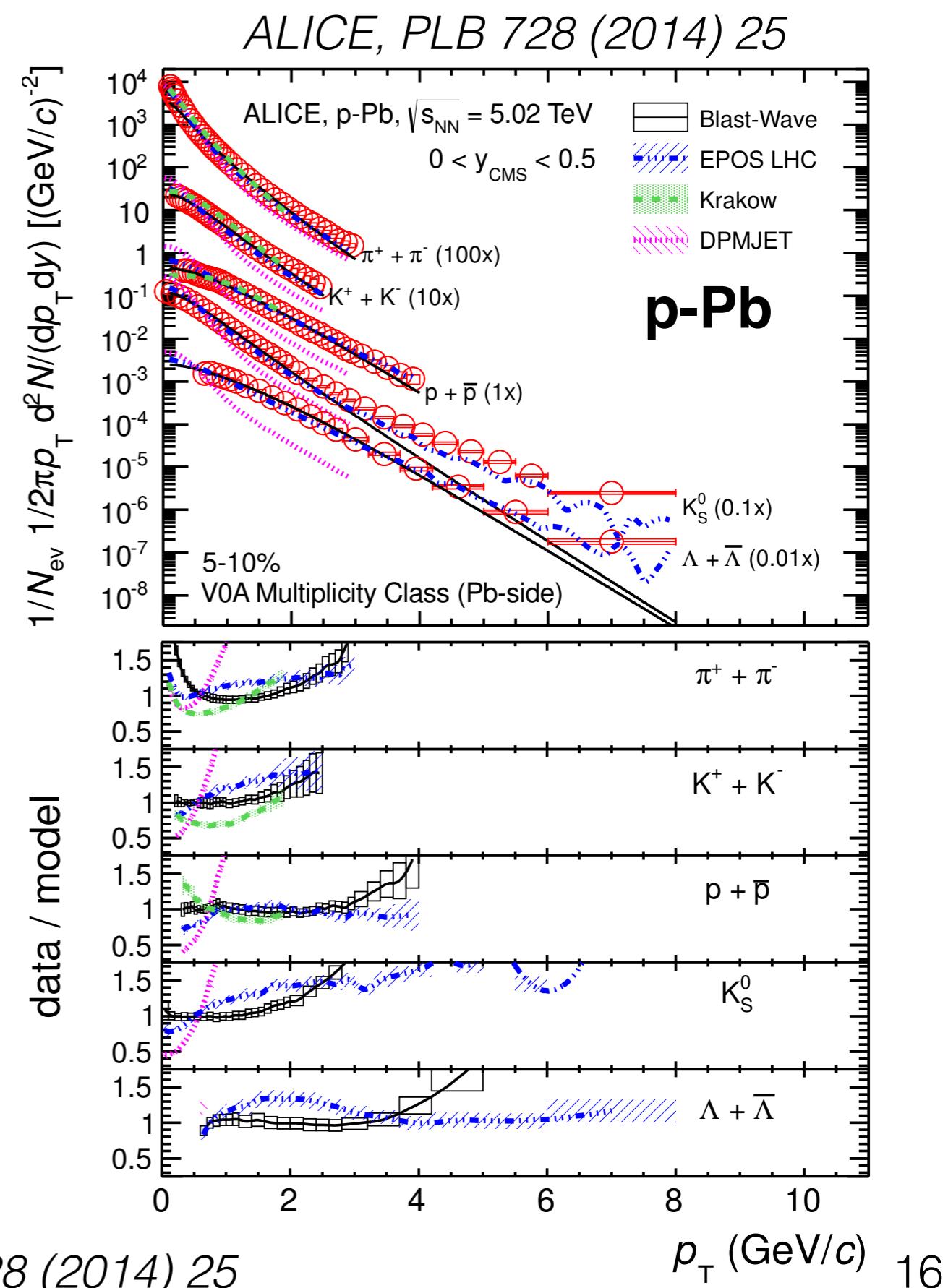
Krakow

3+1 viscous hydro

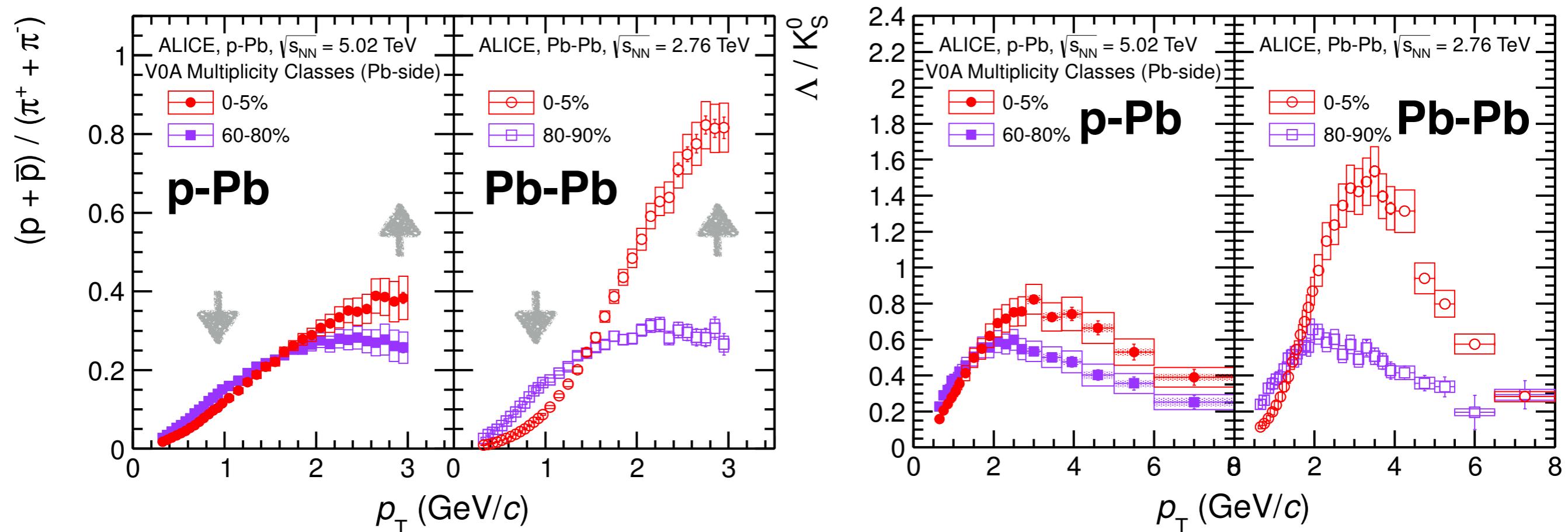
DPMJET

pQCD based

**migliore descrizione fornita
dai modelli che includono
effetti idrodinamici collettivi**



Rapporti barione-mesone in p-Pb



significativa dipendenza dalla molteplicità:

arricchimento a p_T intermedio con l'aumentare della molteplicità
corrispondente svuotamento nella regione a basso p_T

reminiscente dei fenomeni osservati in A-A

generalmente compresi in termini di moti collettivi / ricombinazione di quark

Rapporto p/φ

rapporto barione/meson:

p: 938 MeV/c² $qq\bar{q}$

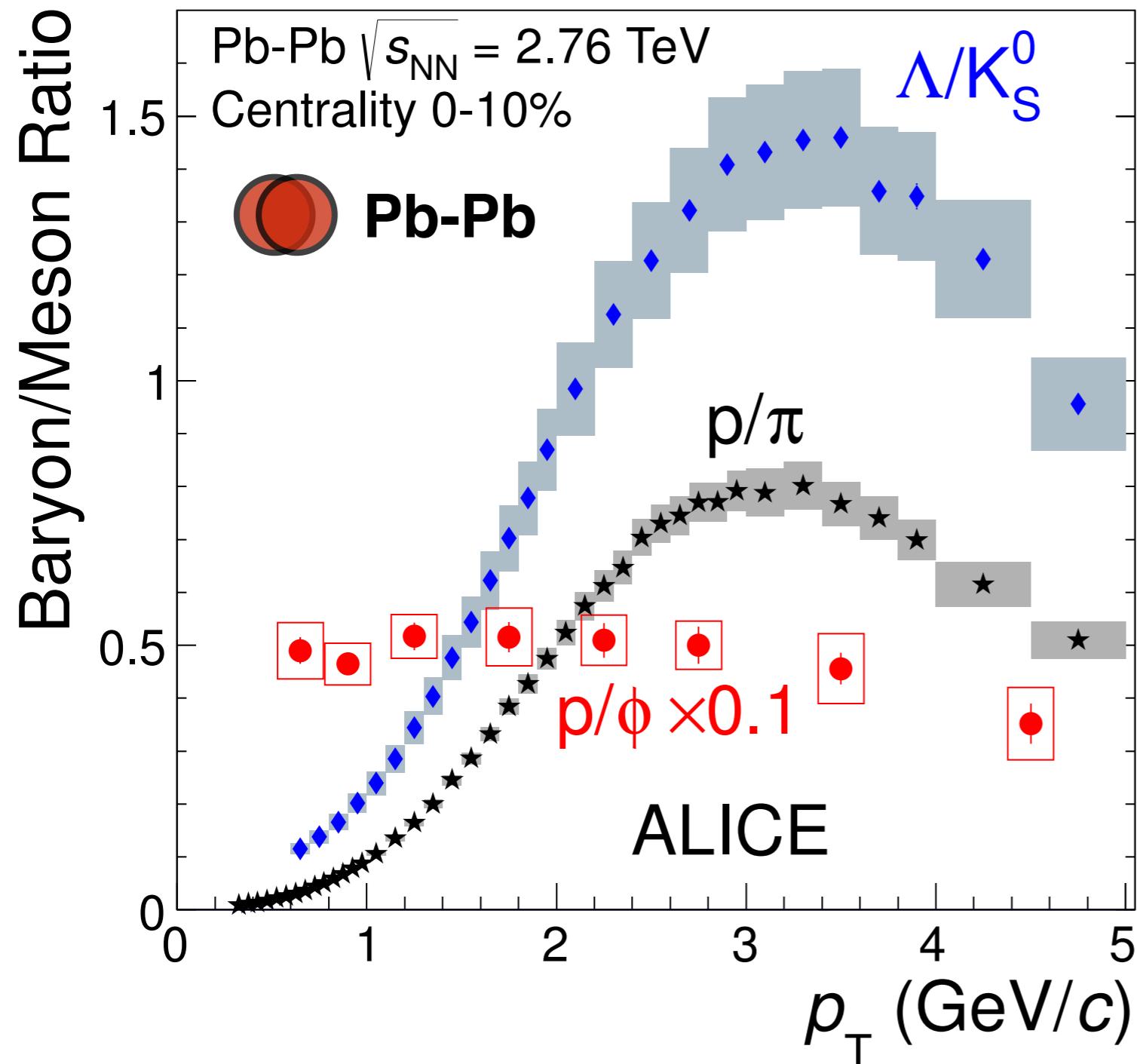
φ: 1018 MeV/c² $q\bar{q}$

le forme degli spettri sono
**molto simili se particelle
hanno masse simili**

rapporto p/φ è costante

i dati sembrano indicare
che sia la **massa della
particella il parametro
principale che definisce
la forma dello spettro**

(come previsto da idrodinamica)



Flusso radiale collettivo in p-Pb

modello “Blast-Wave”

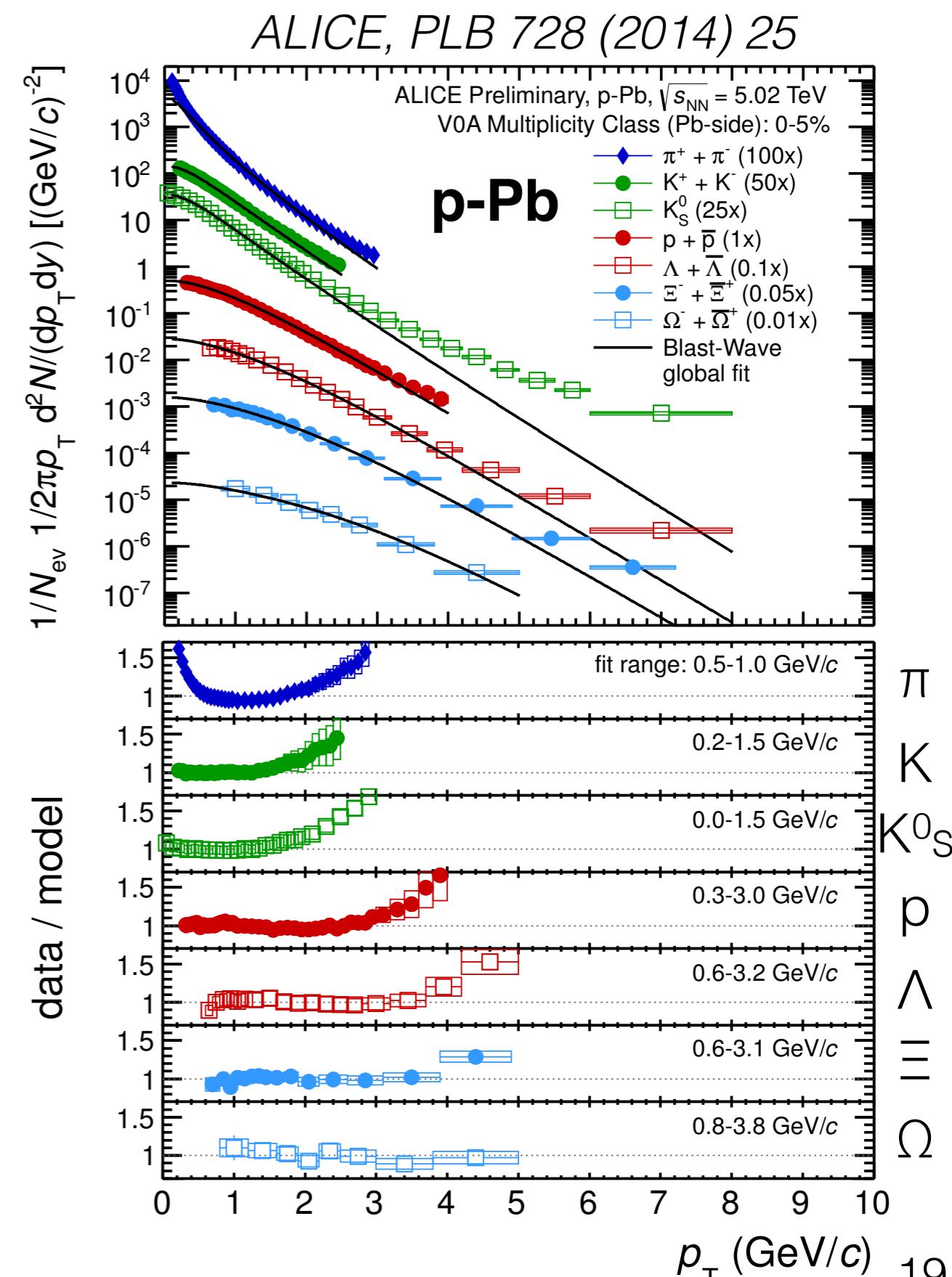
ispirato da idrodinamica
caratterizzare spettri in p_T e
testare ipotesi flusso radiale

spettri da sorgenti termiche T_{kin}
espansione con velocità comune $\langle \beta_T \rangle$

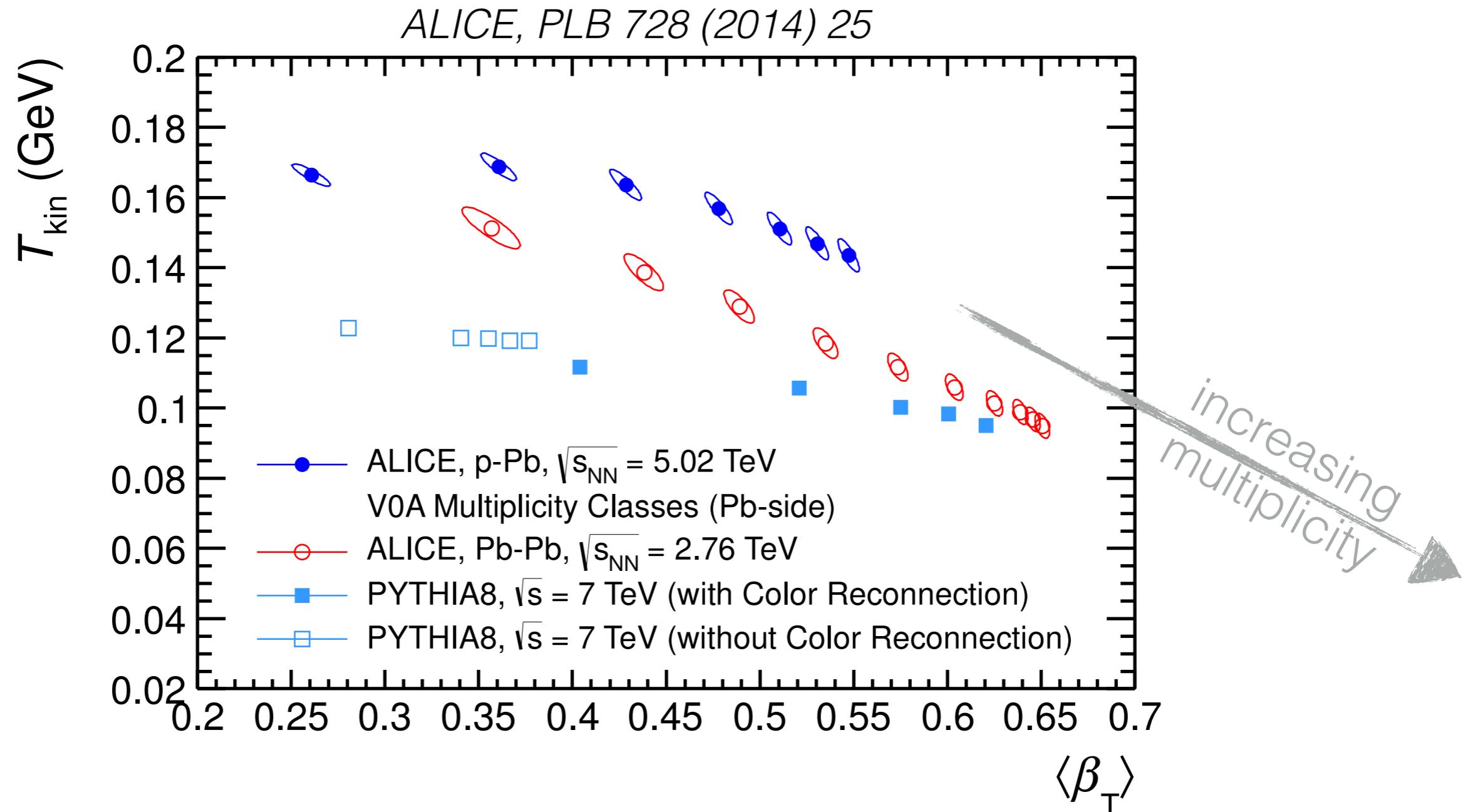
Schnedermann et al., PRC 48 (1993) 2462

fit coerente su
tutti gli adroni stabili
 π K K^0_S p Λ Ξ Ω

buona descrizione dei dati

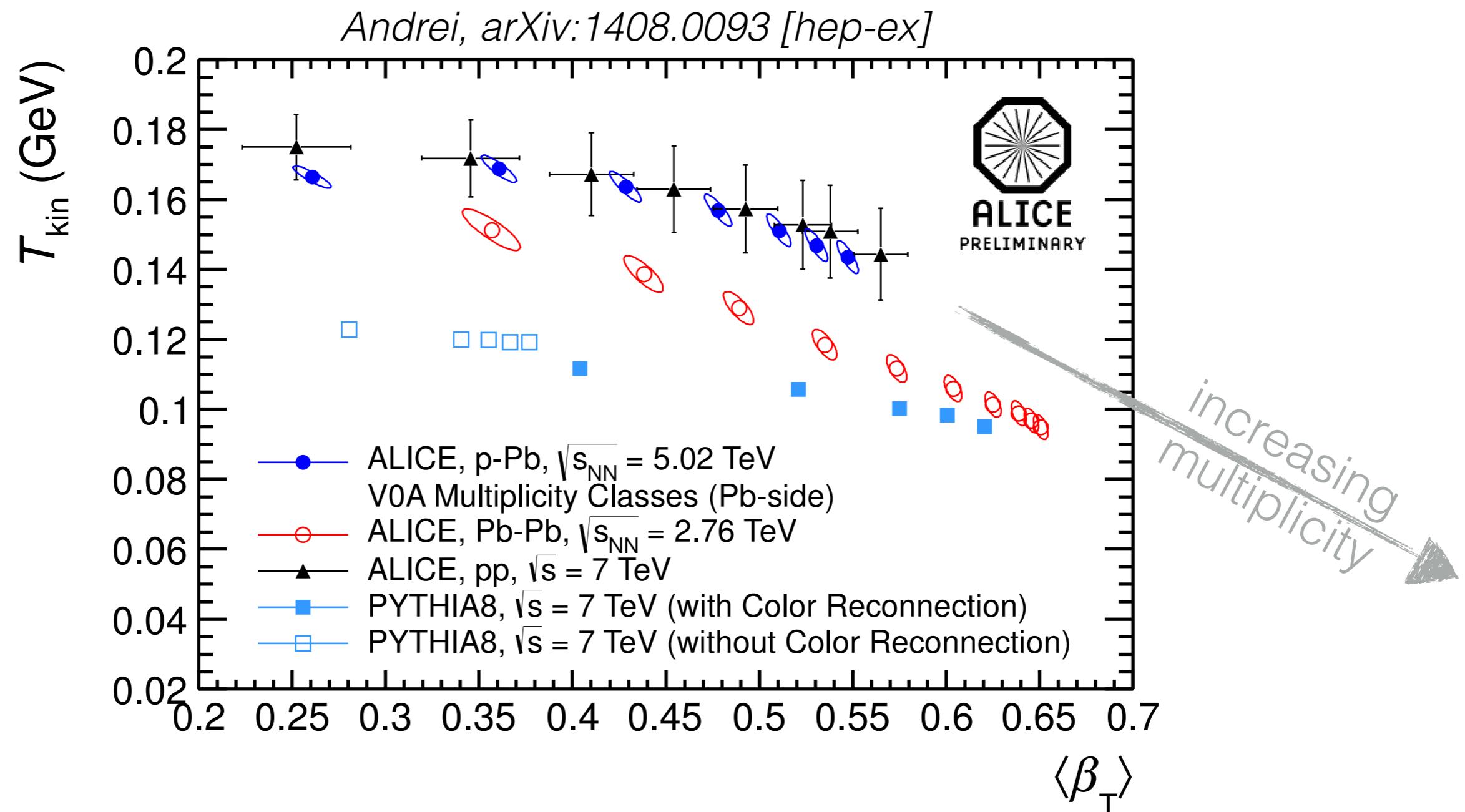


Blast-Wave fit parameters



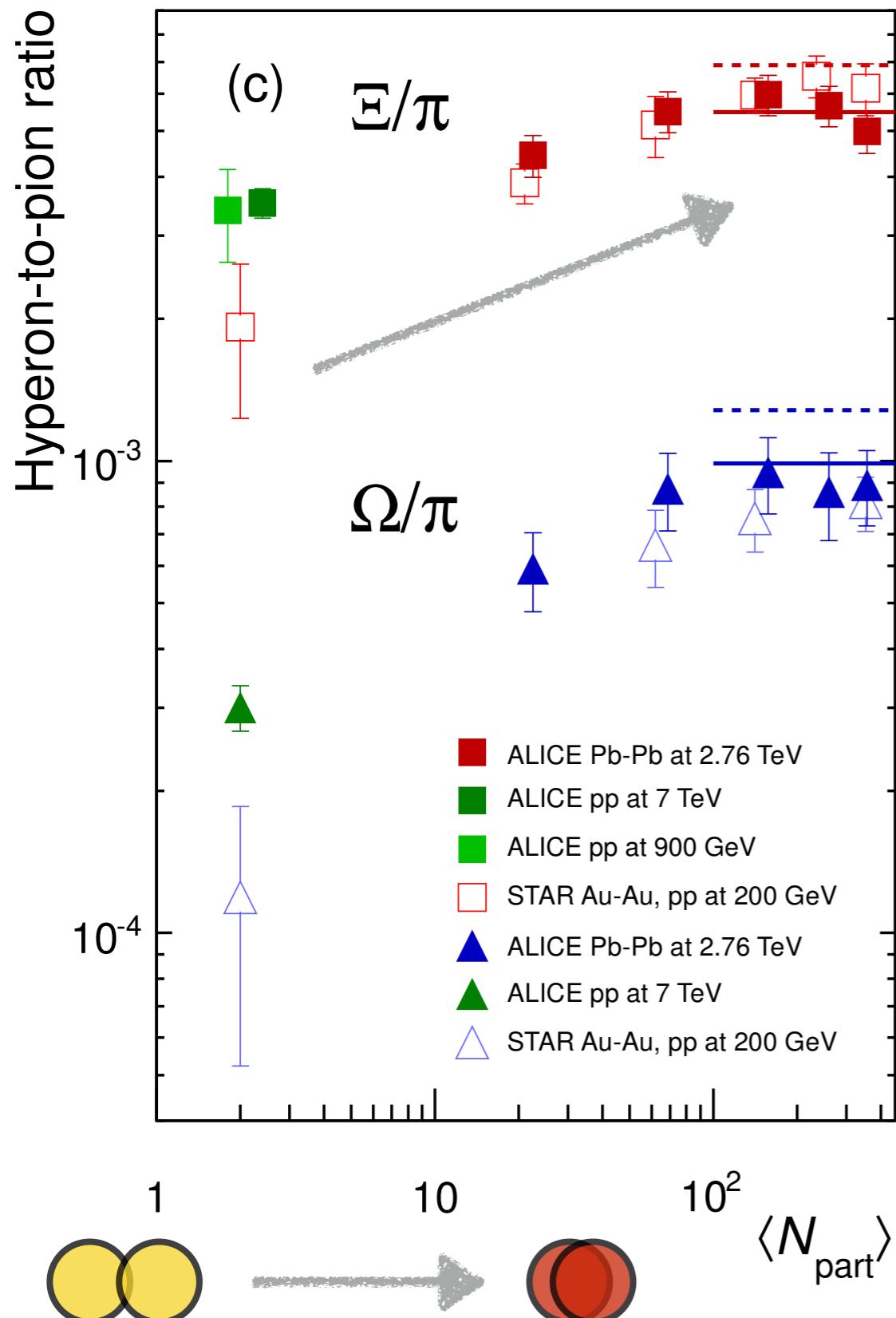
p-Pb mostra **caratteristiche simili a Pb-Pb**
parametri evolvono con la molteplicità: $\langle \beta_T \rangle$ aumenta, T_{kin} diminuisce

Blast-Wave fit parameters



anche le collisioni pp mostrano caratteristiche simili
analisi Blast-Wave non conclusiva, necessaria ulteriore investigazione

Produzione di stranezza in Pb-Pb



arricchimento della stranezza

una delle prime caratteristiche distintive proposte per l'osservazione del QGP

Rafelski, PRL 48 (1982) 1066

chiaro aumento della produzione di stranezza in funzione di N_{part} (ovvero $\langle N_{\text{ch}} \rangle$) in collisioni Pb-Pb rispetto a collisioni pp

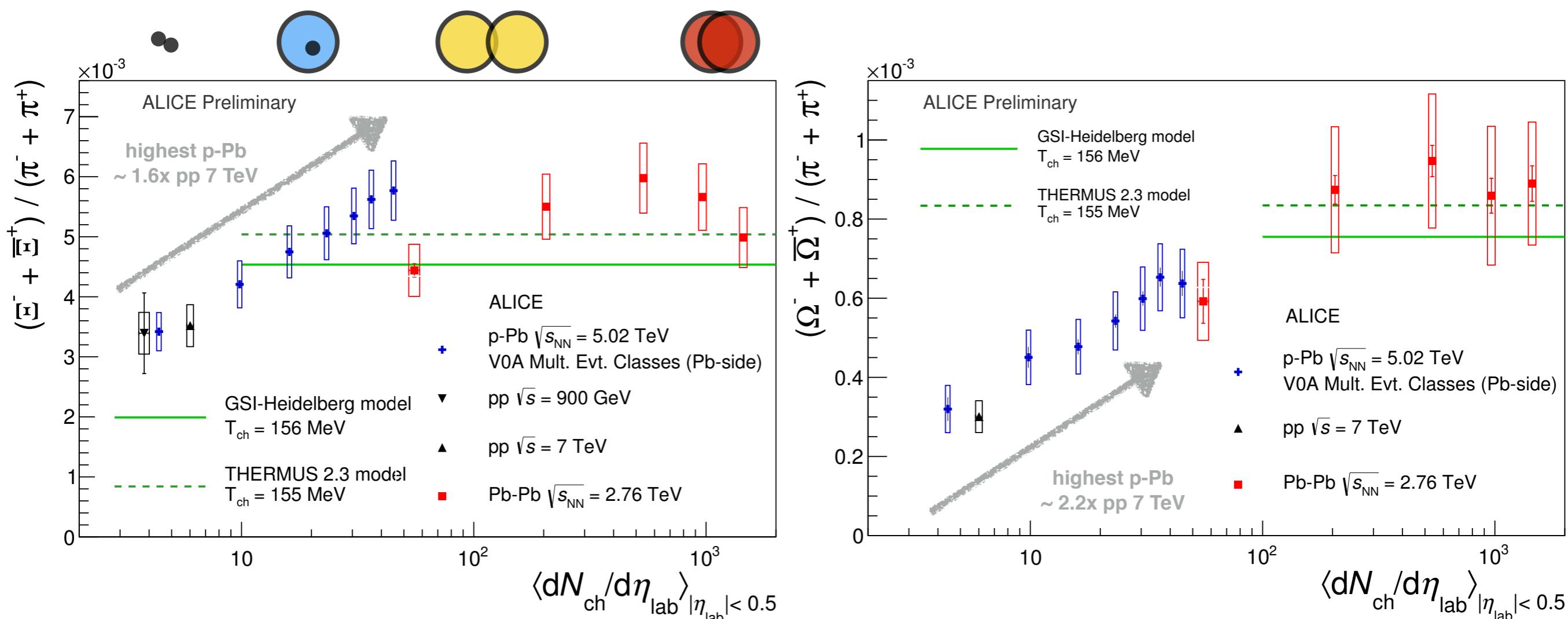
saturazione per $N_{\text{part}} > 150$

in accordo con le previsioni dei modelli di produzione statistica (insieme Gran Canónico)

GSI-Heidelberg: $T_{\text{ch}} = 164$ MeV

THERMUS: $T_{\text{ch}} = 170$ MeV

Produzione di stranezza in p-Pb



anche in p-Pb i rapporti Ξ/π e Ω/π aumentano con $\langle N_{ch} \rangle$

bassa molteplicità

Ξ e $\Omega \rightarrow$ consistenti with pp

alta molteplicità

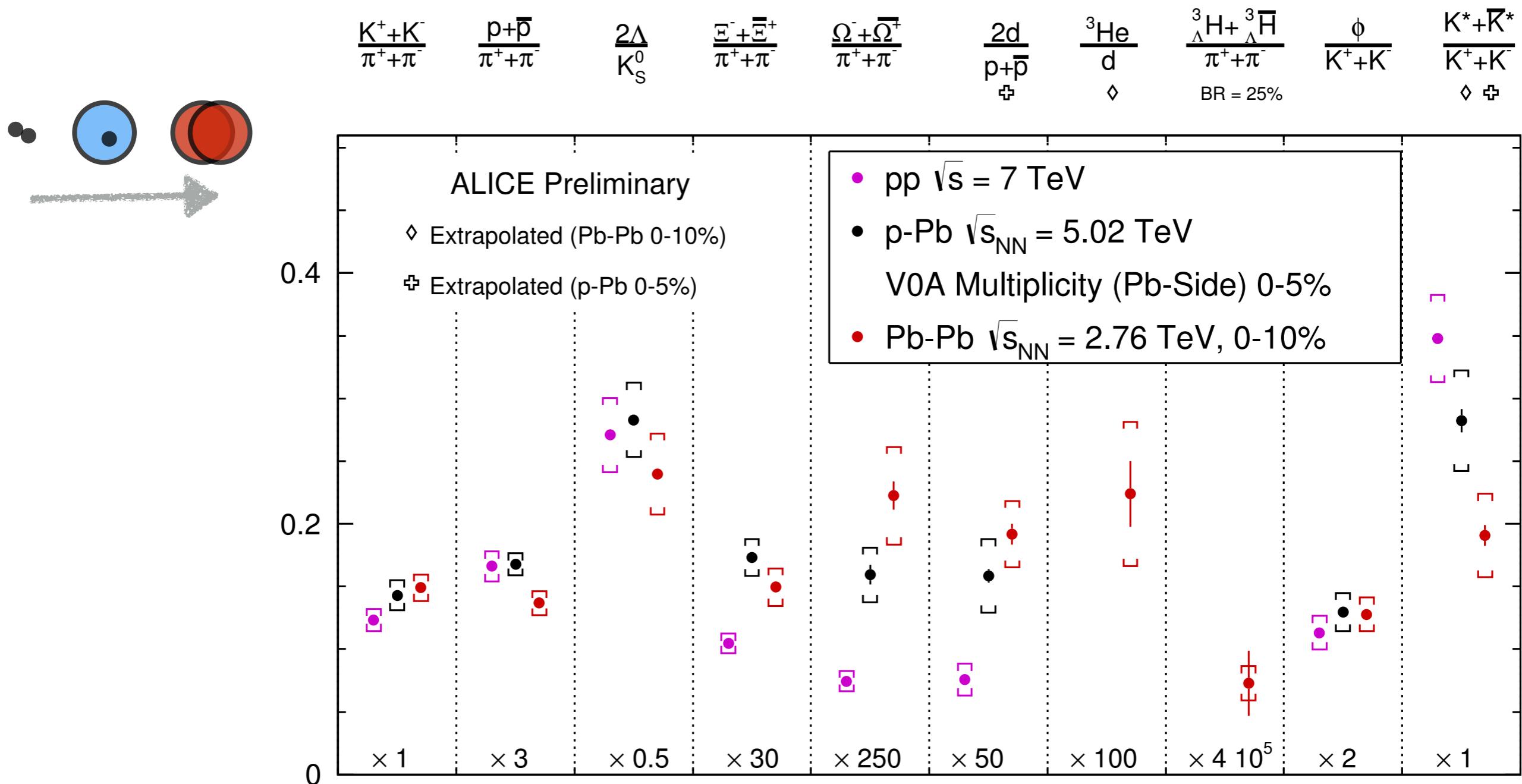
$\Xi \rightarrow$ compatibile con Pb-Pb centrale

$\Omega \rightarrow$ compatibile con Pb-Pb periferico

Panoramica produzione particelle

evoluzione con la dimensione / molteplicità del sistema

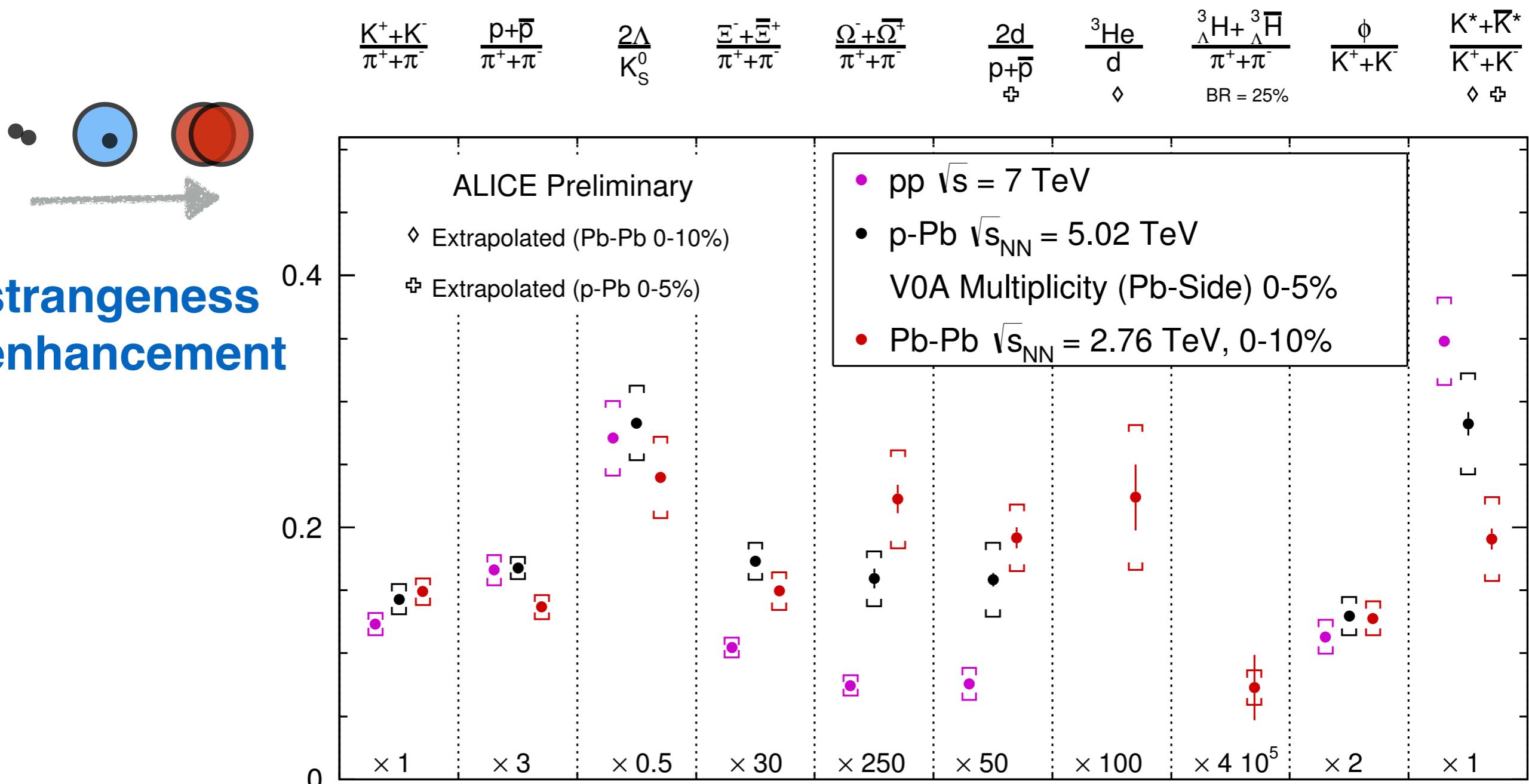
da sistemi di collisione piccoli (pp), intermedi (p-Pb) a grandi (Pb-Pb)



Panoramica produzione particelle

evoluzione con la dimensione / molteplicità del sistema

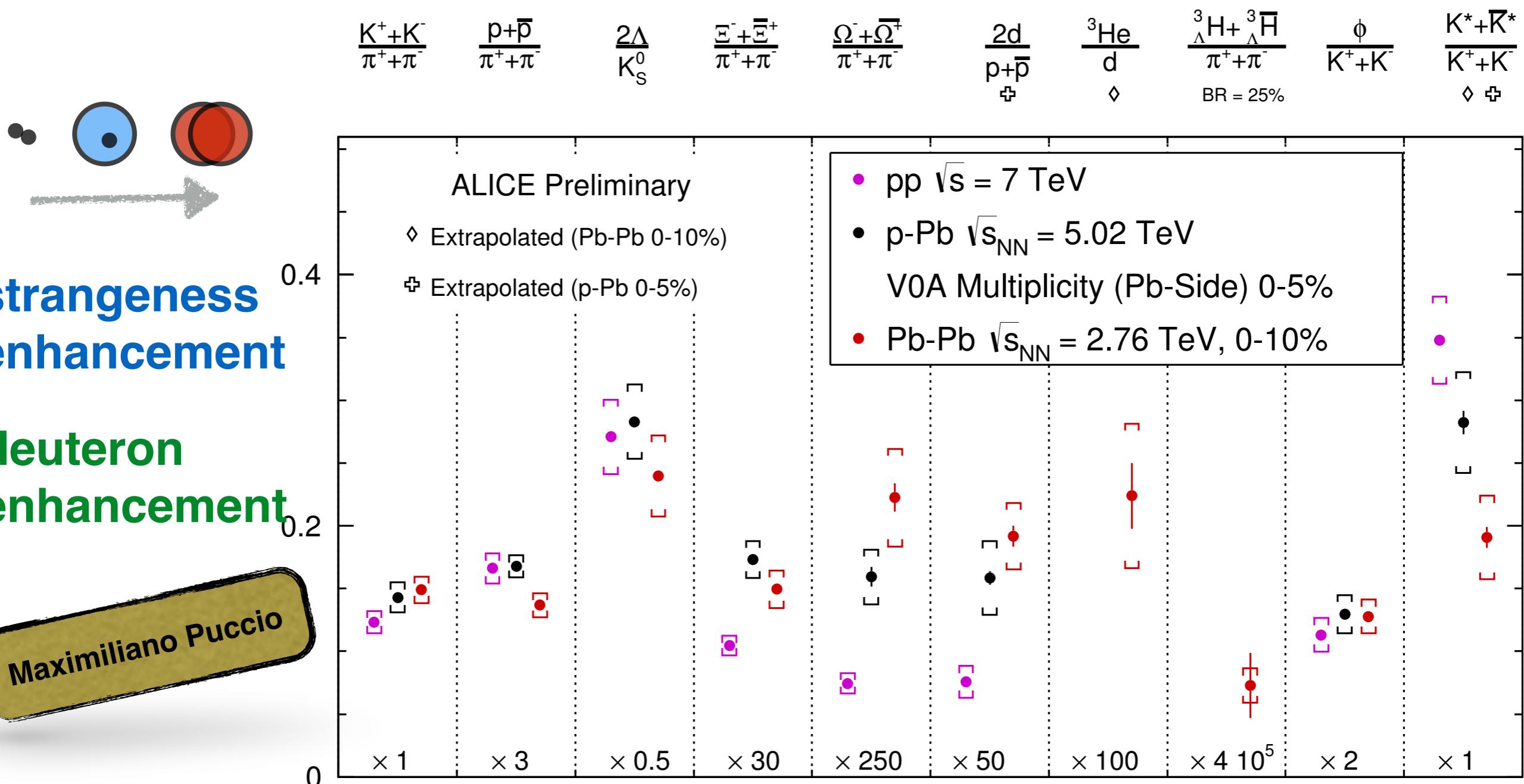
da sistemi di collisione piccoli (pp), intermedi (p-Pb) a grandi (Pb-Pb)



Panoramica produzione particelle

evoluzione con la dimensione / molteplicità del sistema

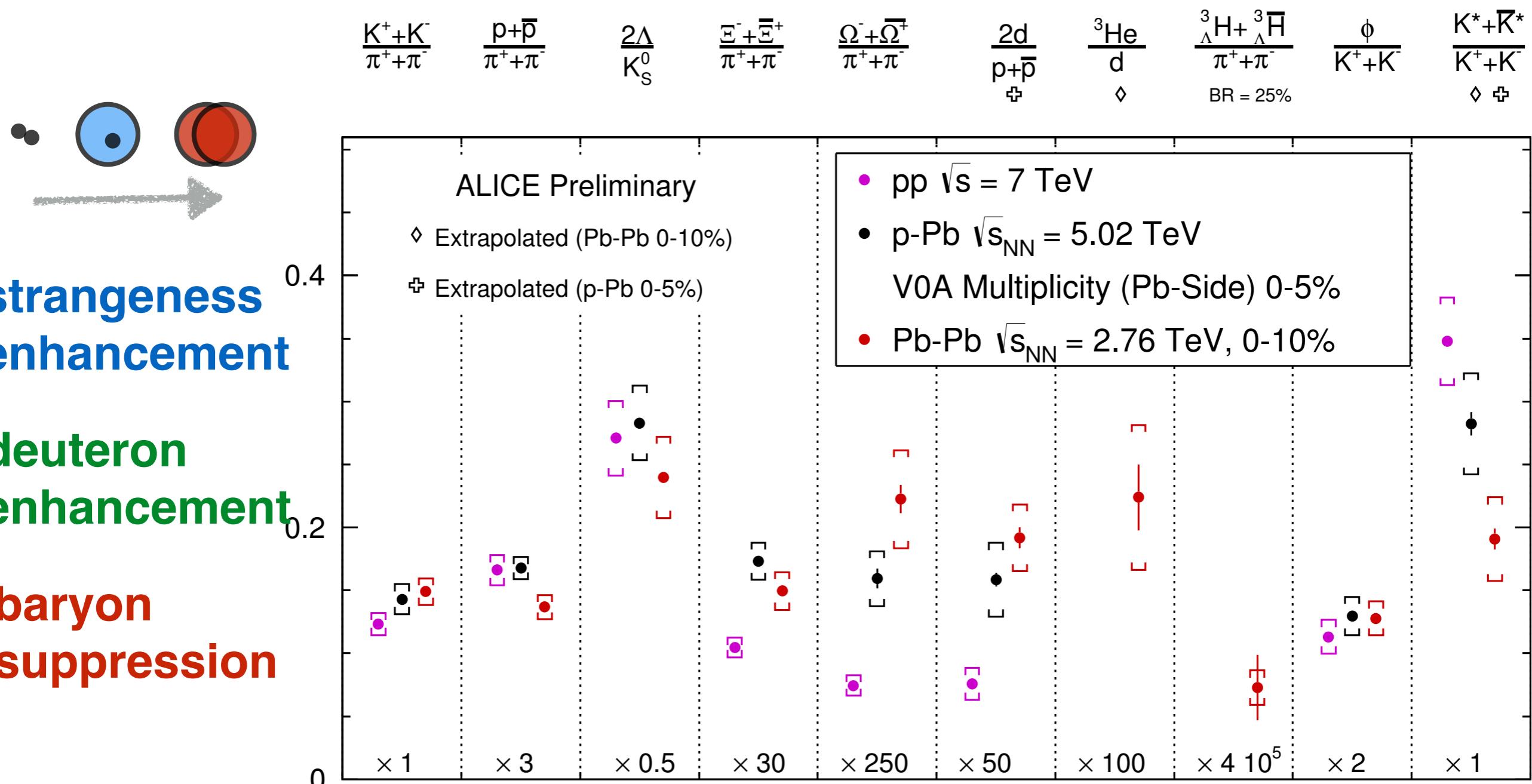
da sistemi di collisione piccoli (pp), intermedi (p-Pb) a grandi (Pb-Pb)



Panoramica produzione particelle

evoluzione con la dimensione / molteplicità del sistema

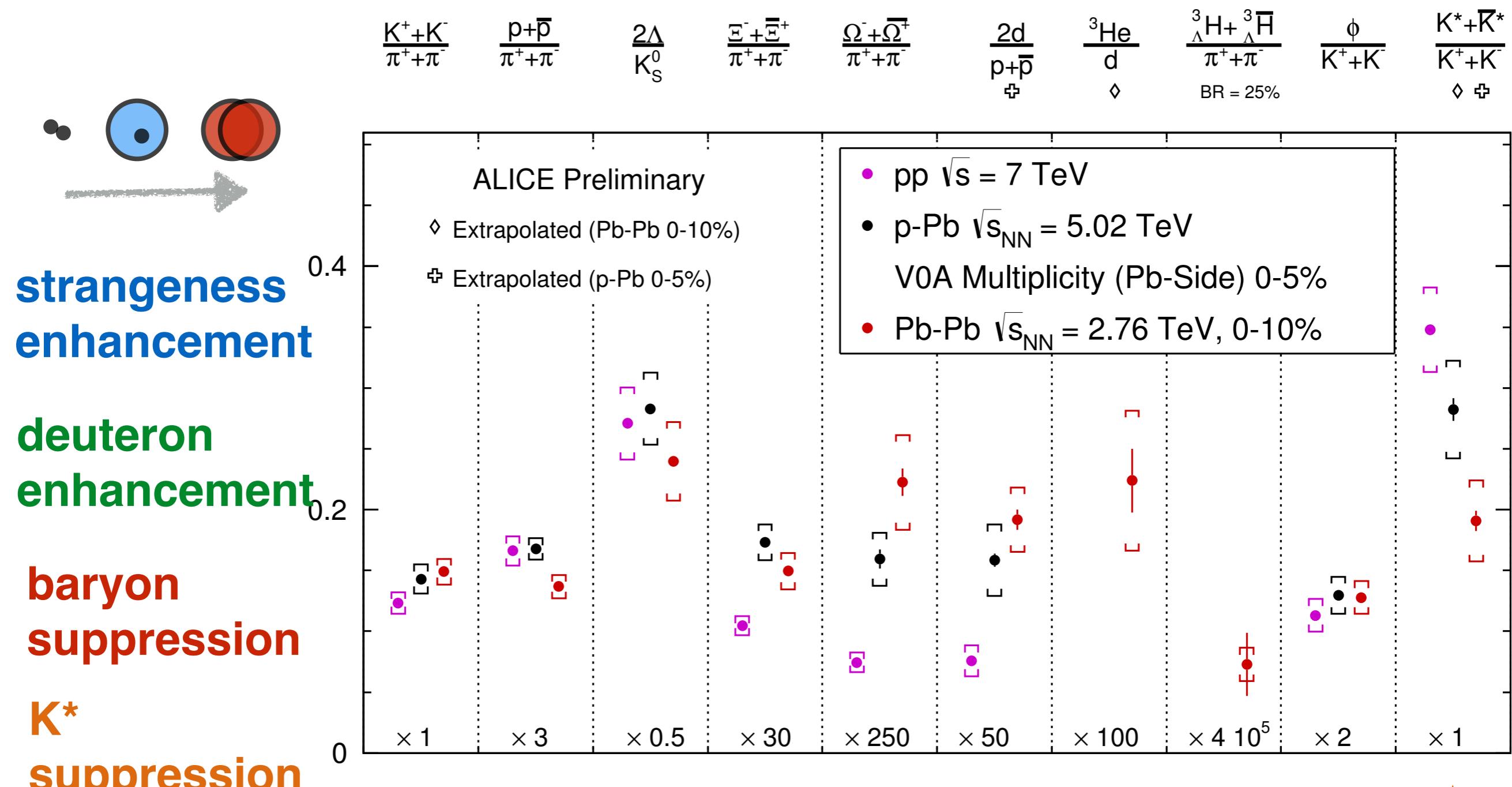
da sistemi di collisione piccoli (pp), intermedi (p-Pb) a grandi (Pb-Pb)



Panoramica produzione particelle

evoluzione con la dimensione / molteplicità del sistema

da sistemi di collisione piccoli (pp), intermedi (p-Pb) a grandi (Pb-Pb)



Conclusione

studio dettagliato delle proprietà della materia QCD calda

caratteristiche distinctive di effetti dovuti a fenomeni collettivi in Pb-Pb

la produzione di particelle in collisioni p-Pb mostra caratteristiche simili a quelle osservate in Pb-Pb

flusso ellittico non nullo, dipendenza dalla massa negli spettri in p_T
necessarie ulteriori investigazioni per stabilire la presenza di fenomeni
collettivi in piccoli sistemi di collisione

la produzione di particelle evolve aumentando la dimensione / molteplicità del sistema di collisione

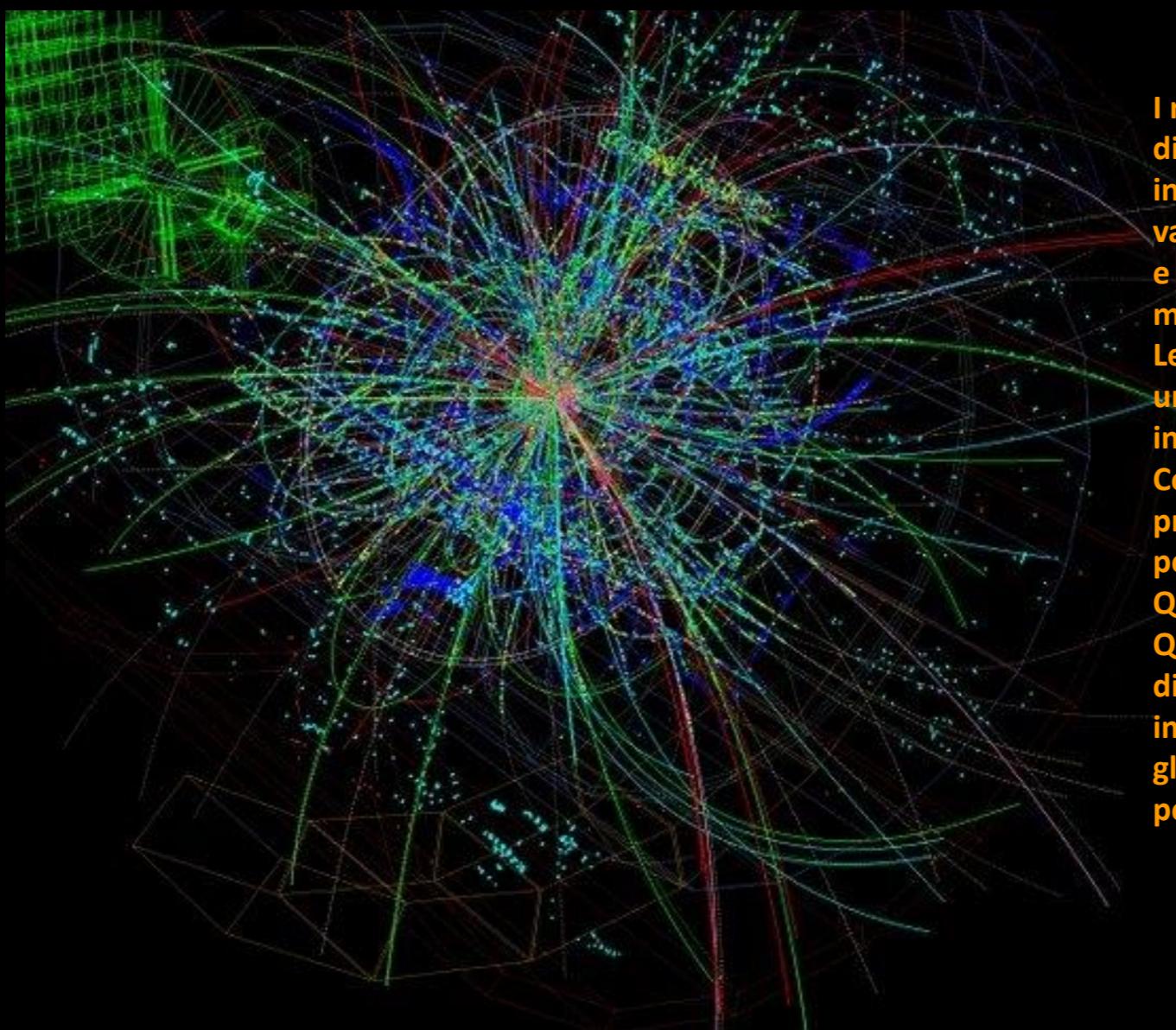
aumento della produzione di stranezza e di deutoni
soppressione di barioni e risonanze K^*

molti altri risultati dal Run-1 e un futuro promettente

nuovi dati in arrivo e ulteriori idee da testare con il Run-2 di LHC

INCONTRO SULLA FISICA CON IONI PESANTI A LHC

Bologna, sala Ulisse,
Accademia delle Scienze
26 - 27 maggio, 2015



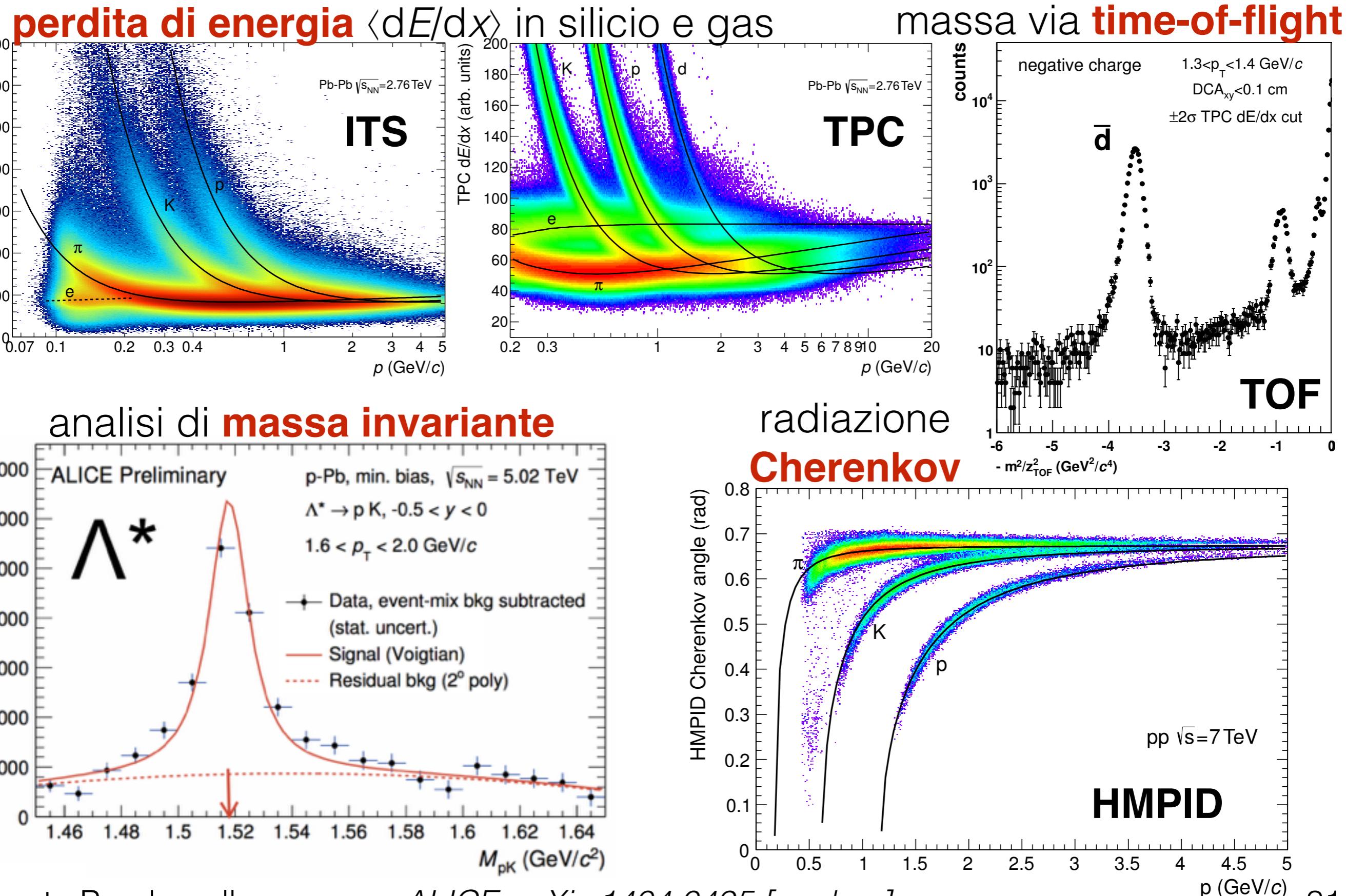
I risultati del Run1 a LHC hanno permesso di studiare le caratteristiche del plasma prodotto in collisioni tra nuclei pesanti usando diverse variabili. Lo studio delle collisioni protone-nucleo e protone-protone hanno inaspettatamente messo in evidenza possibili effetti collettivi. Le collisioni ultra-periferiche hanno rappresentato una sfida per gli esperimenti ed hanno fornito informazioni sulle PDF dei nuclei. Con il Run2 e con l'aumento di luminosità previsto per i Run3 e Run4 si aprono nuove possibilità di misura per meglio comprendere la QCD in condizioni estreme. Questo incontro vuole rafforzare e stimolare la discussione fra fisici teorici e sperimentali impegnati in questa fisica per definire meglio gli obiettivi delle analisi e degli sviluppi teorici per i prossimi anni.

Comitato organizzatore:

P. Antonioli
S. Arcelli
R. Nania (chair)
E. Scapparone
B. Simoni (scientific secretariat)

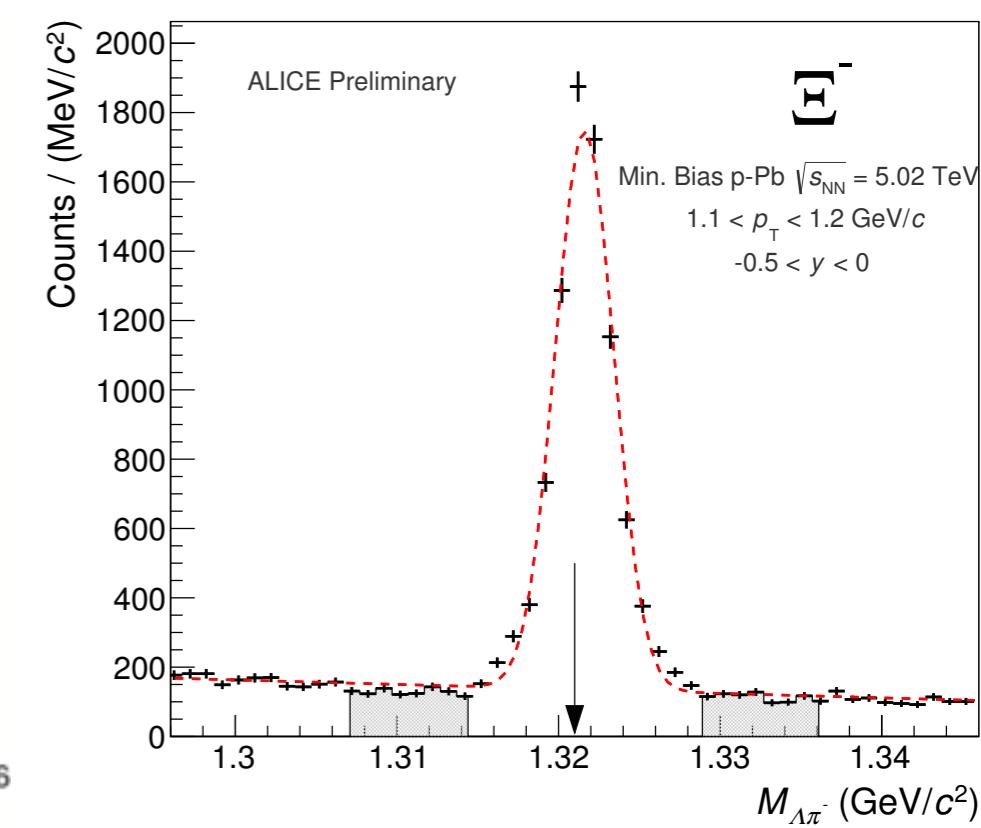
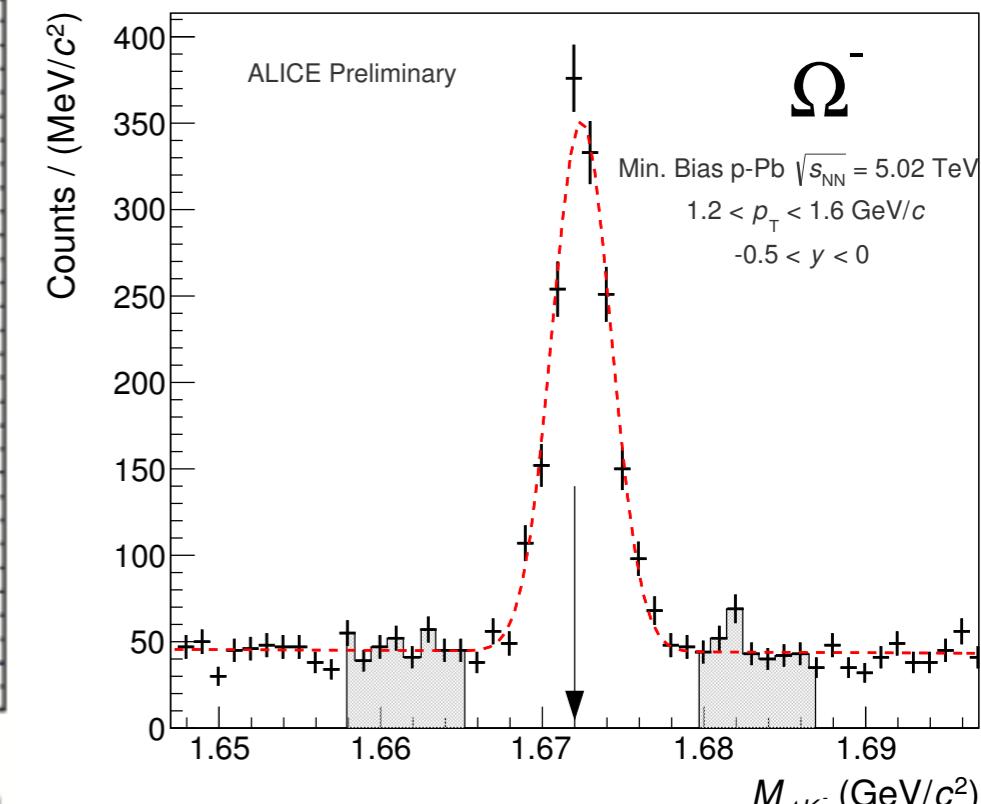
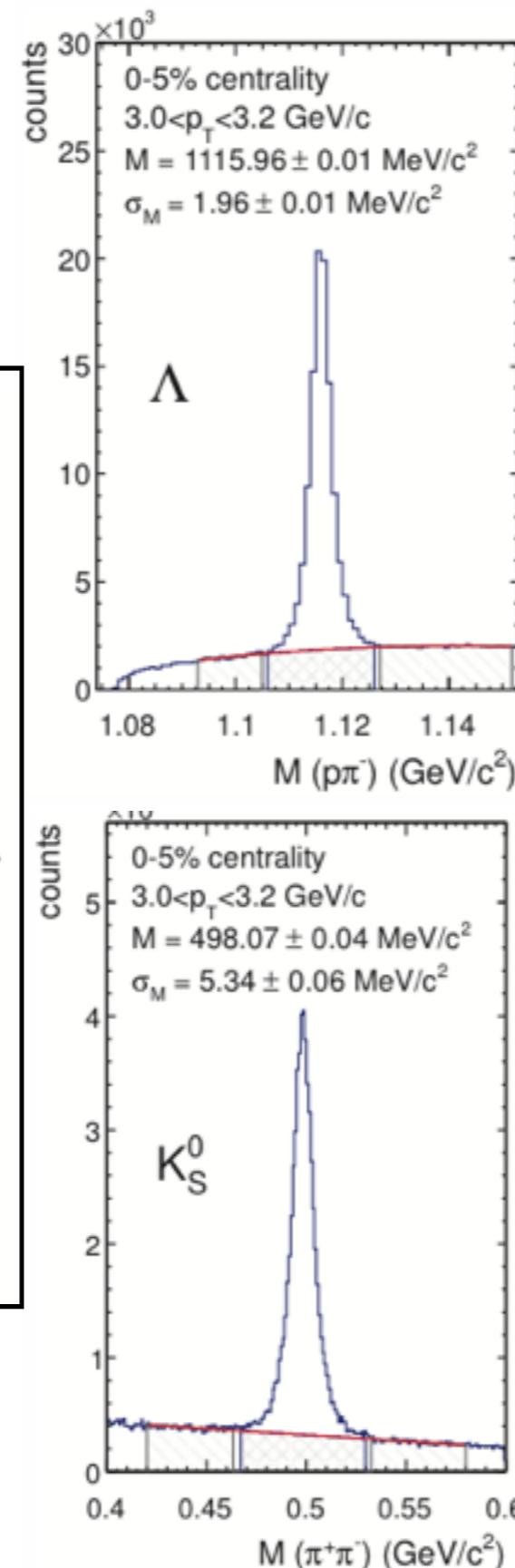
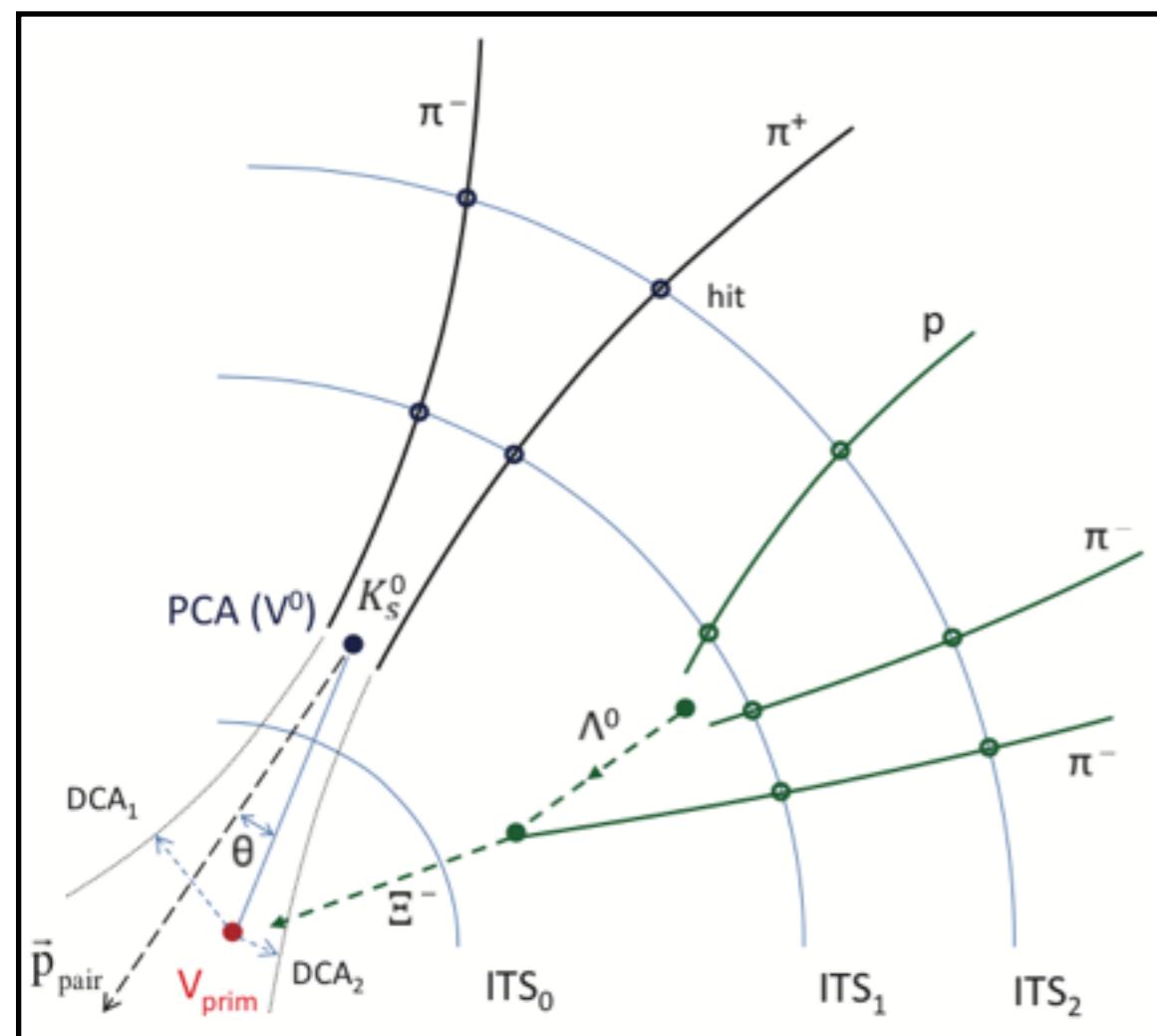
<http://www.bo.infn.it/incontroionipesanti/>

Identificazione di particelle

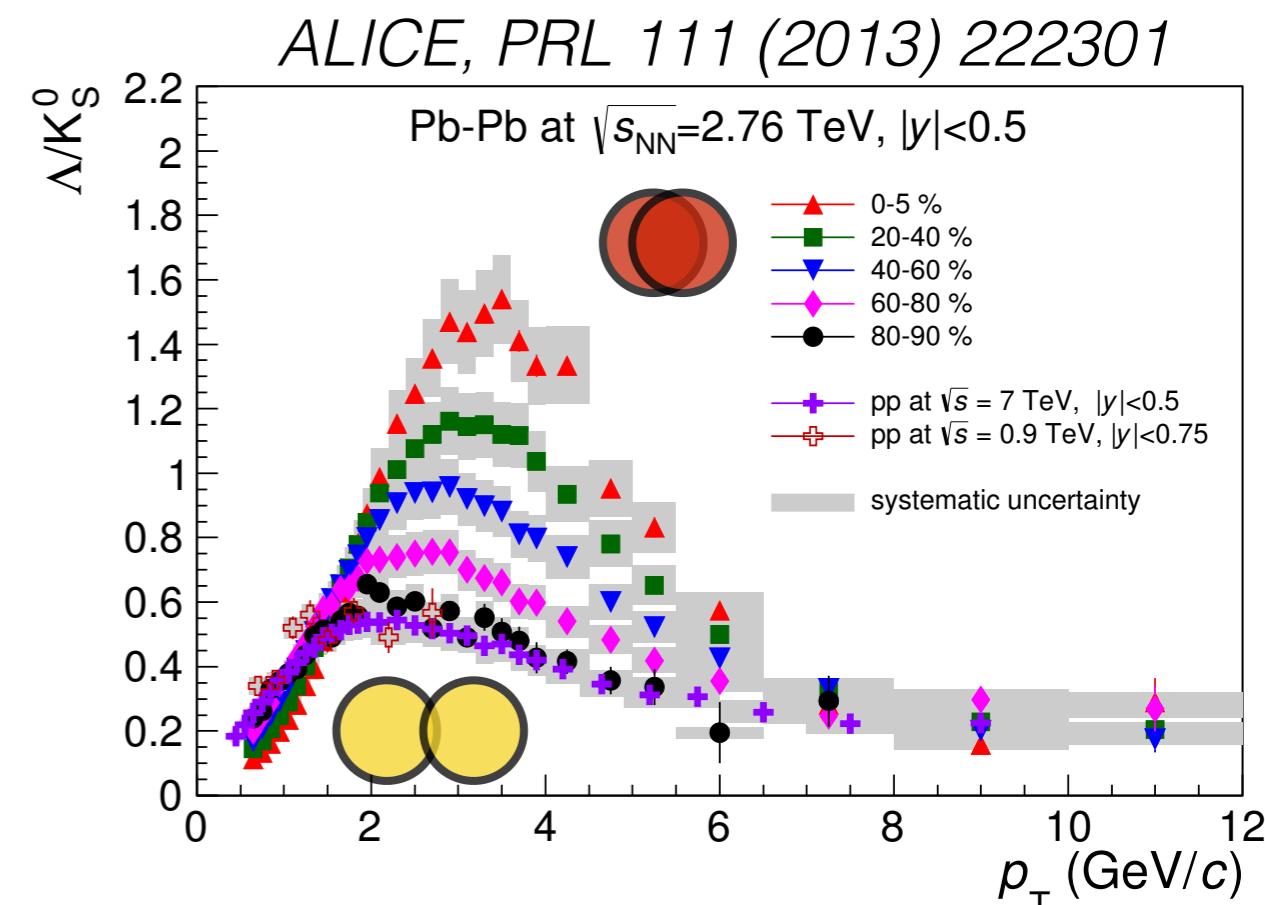
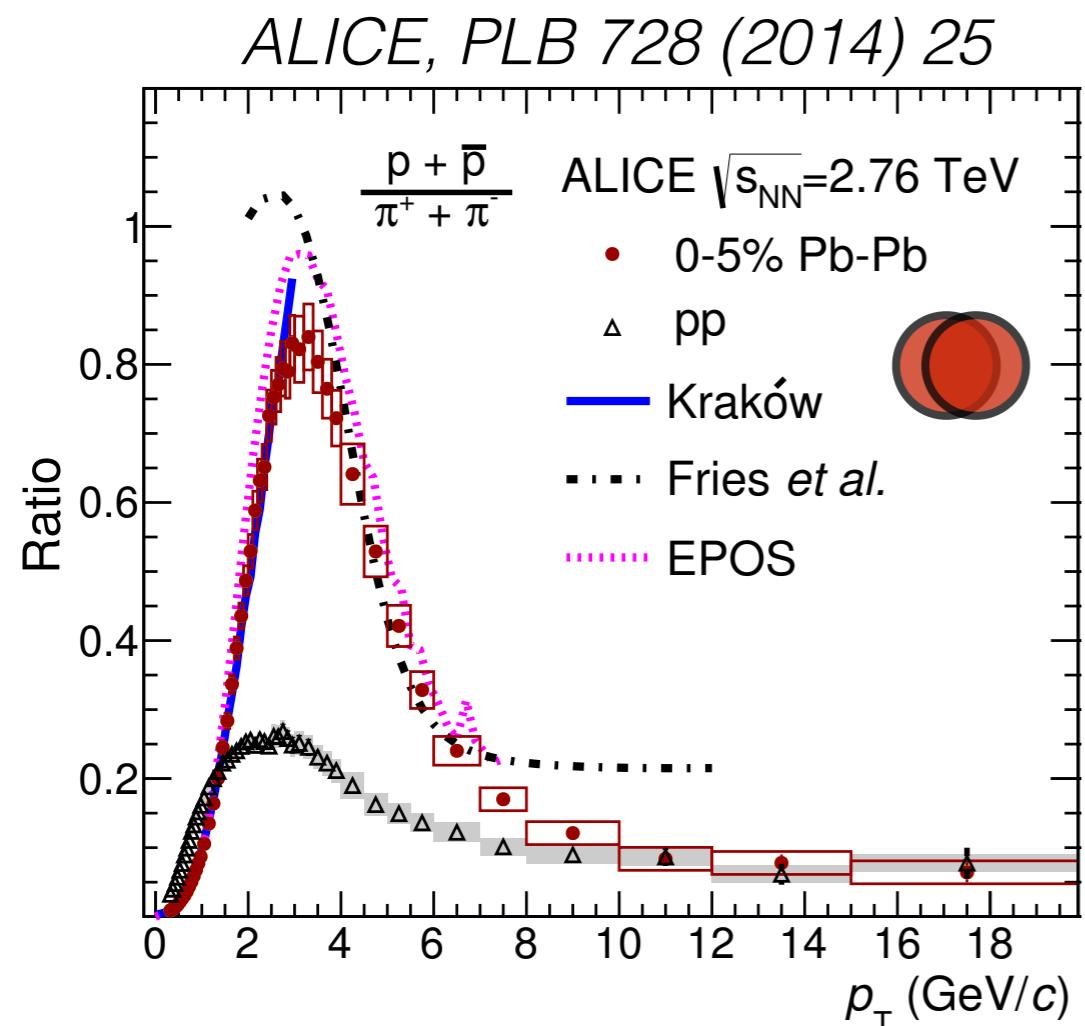


Identificazione di particelle

ricostruzione topologica di decadimenti deboli



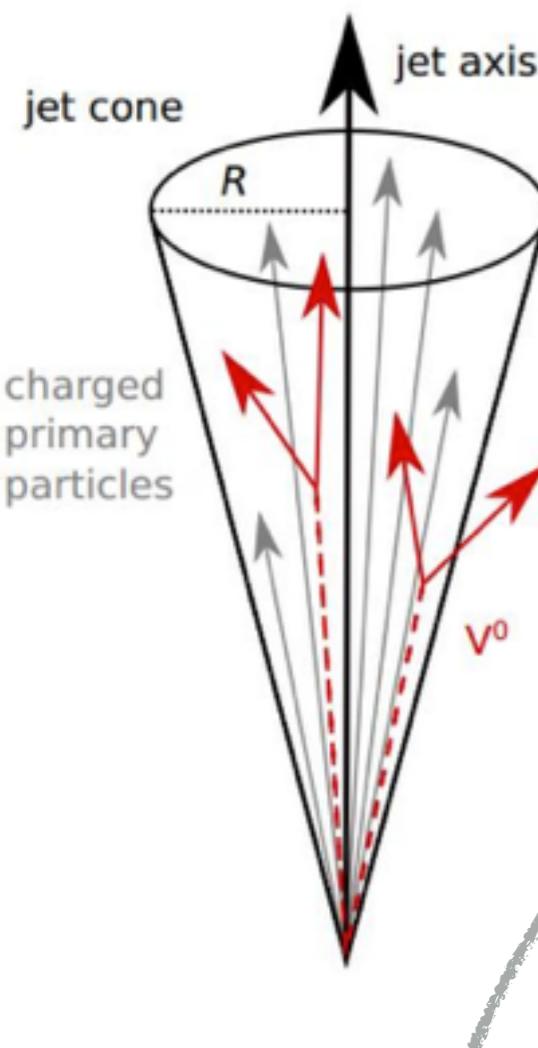
Rapporti barione-mesone in Pb-Pb



Rapporti Λ/K_S^0 and p/π sono **arricchiti rispetto a pp**
già osservato a energie inferiori

pp / Pb-Pb periferico \rightarrow Pb-Pb centrale:
il massimo aumenta e si sposta verso p_T maggiori

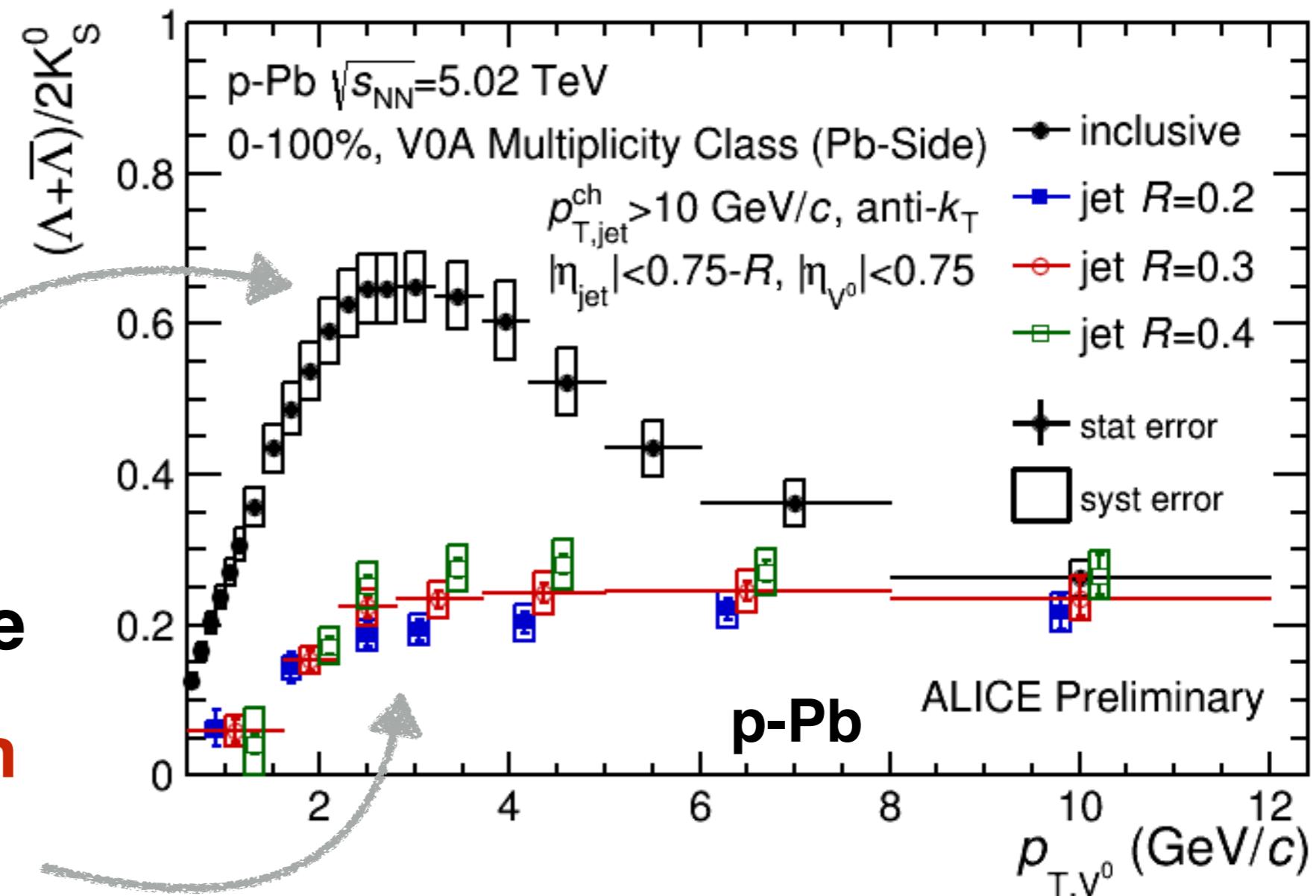
Da dove vengono i barioni extra?



particelle inclusive

**arricchimento non
osservato nei jet**

rapporto di produzione
 Λ/K^0_S misurato nei jet

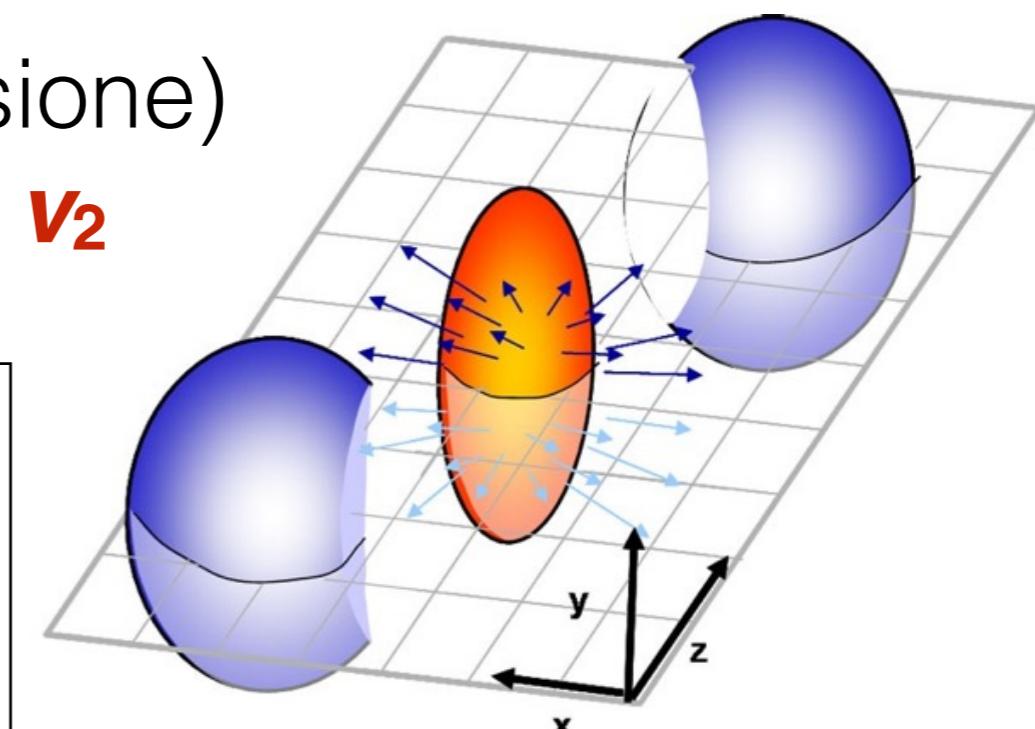
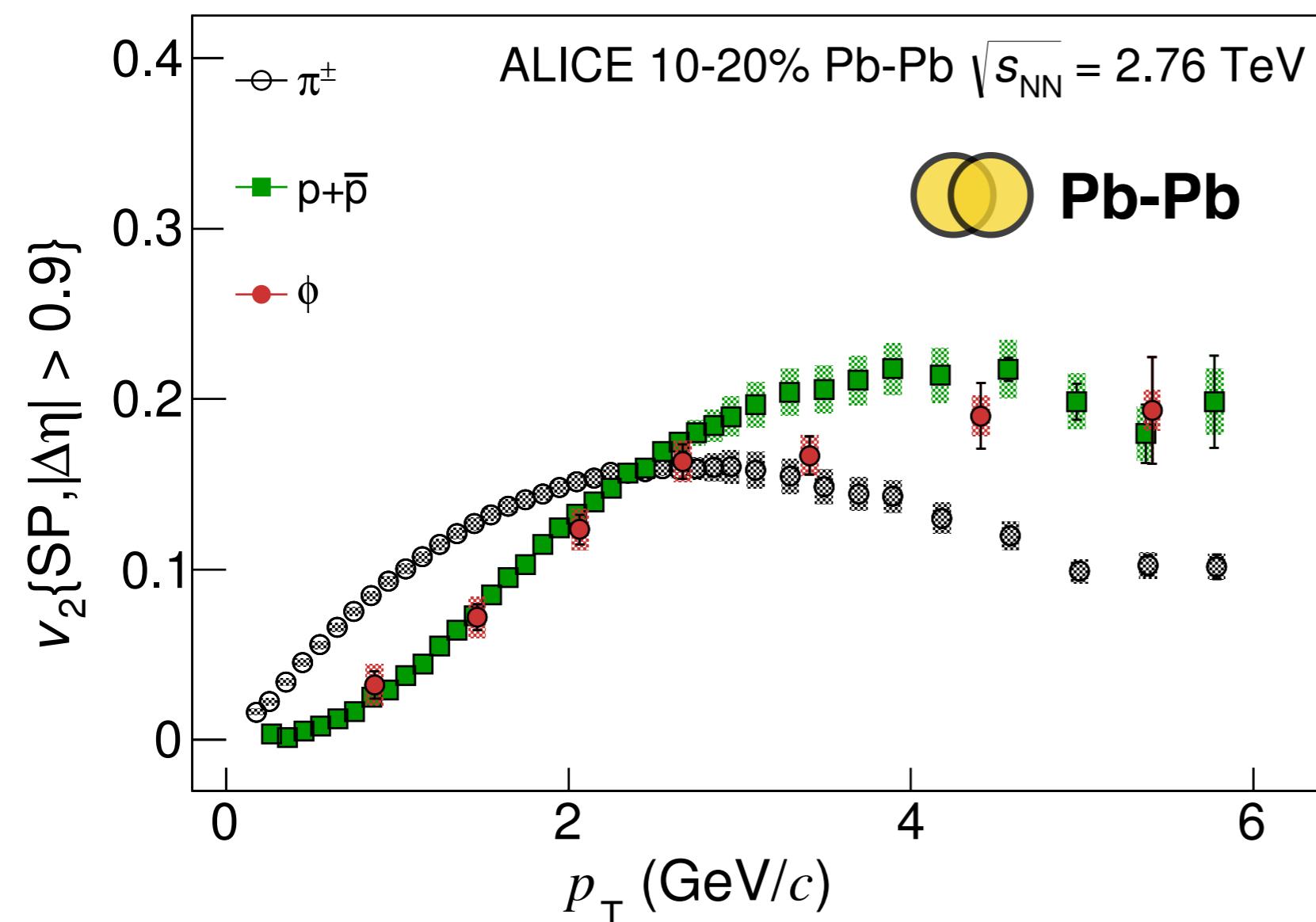


i barioni extra **non sono prodotti nei jet**

Flusso anisotropo: protone e ϕ

anisotropia spaziale (geometria collisione)

→ anisotropia nello spazio impulsi: v_2



**il mesone ϕ si
comporta come
un protone**

la massa
determina sia v_2
che lo spettro in p_T

Panoramica produzione particelle

rapporti di produzione di particelle in collisioni pp

non mostrano una significativa dipendenza dall'energia nel c.m.

