



# Incontri di Fisica alle Alte Energie

Trieste, 20 Aprile 2017

## Studio delle molteplicità di particelle cariche con ALICE

Valentina Zacco

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare  
Sezione di Torino

per la Collaborazione ALICE



ALICE



Misure di molteplicità:

1.  $dN_{\text{ch}}/d\eta$  densità di pseudorapidità
2.  $P(N_{\text{ch}})$  distribuzione di probabilità

misurate all'**inizio** della presa dati o dopo, quando si conosce meglio il rivelatore e con **migliori** tecniche di analisi

Energie LHC → la produzione di particelle è dominata dai processi di QCD soft

Energia di collisione cresce → maggiori contributi dai processi hard



ALICE

# Motivazioni e indice



Misure di molteplicità:

1.  $dN_{ch}/d\eta$  densità di pseudorapidità
2.  $P(N_{ch})$  distribuzione di probabilità

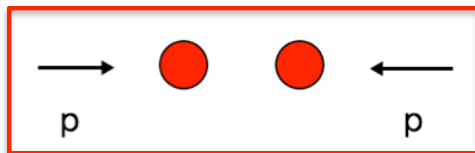
misurate all'**inizio** della presa dati o dopo, quando si conosce meglio il rivelatore e con **migliori** tecniche di analisi

Energie LHC → la produzione di particelle è dominata dai processi di QCD soft

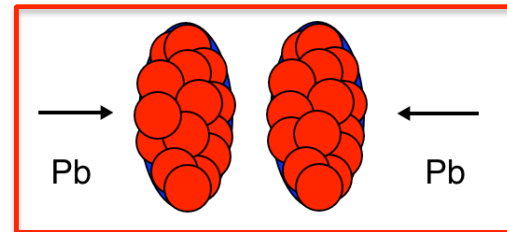
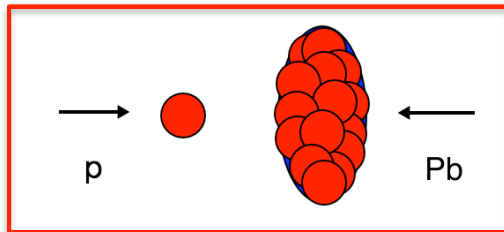
Energia di collisione cresce → maggiori contributi dai processi hard

✓ Rivelatore ALICE

✓ Risultati



✓ Riassunto e prospettive



**Rivelatore**





ALICE

# A Large Ion Collider Experiment



Rivelatori  
di trigger

Run 1

anni: 2009 - 2014

pp  $\sqrt{s} = 0.9$  a 8 TeV

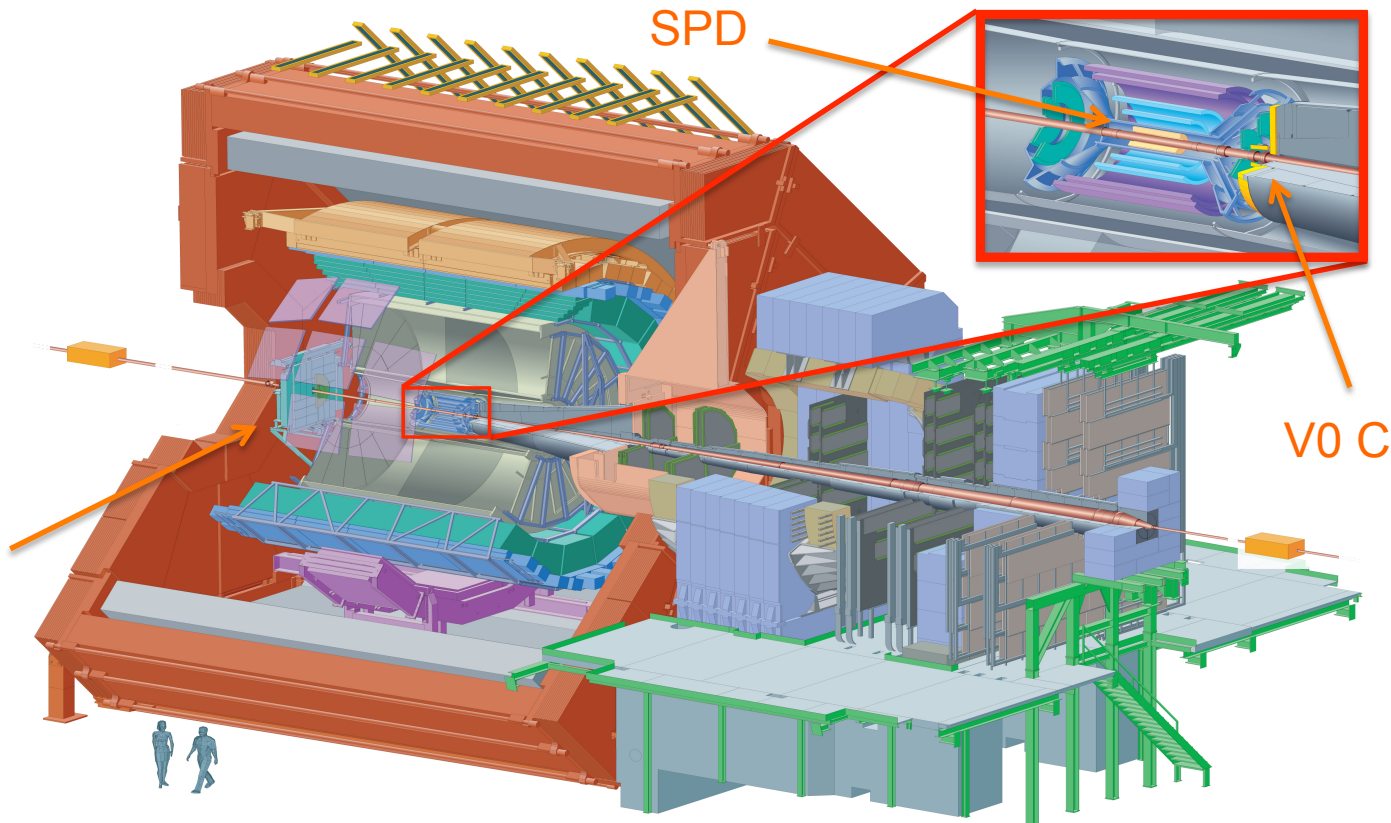
p-Pb  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV

Pb-Pb  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV

V0 A

SPD

V0 C





ALICE

# A Large Ion Collider Experiment



Rivelatori  
di trigger

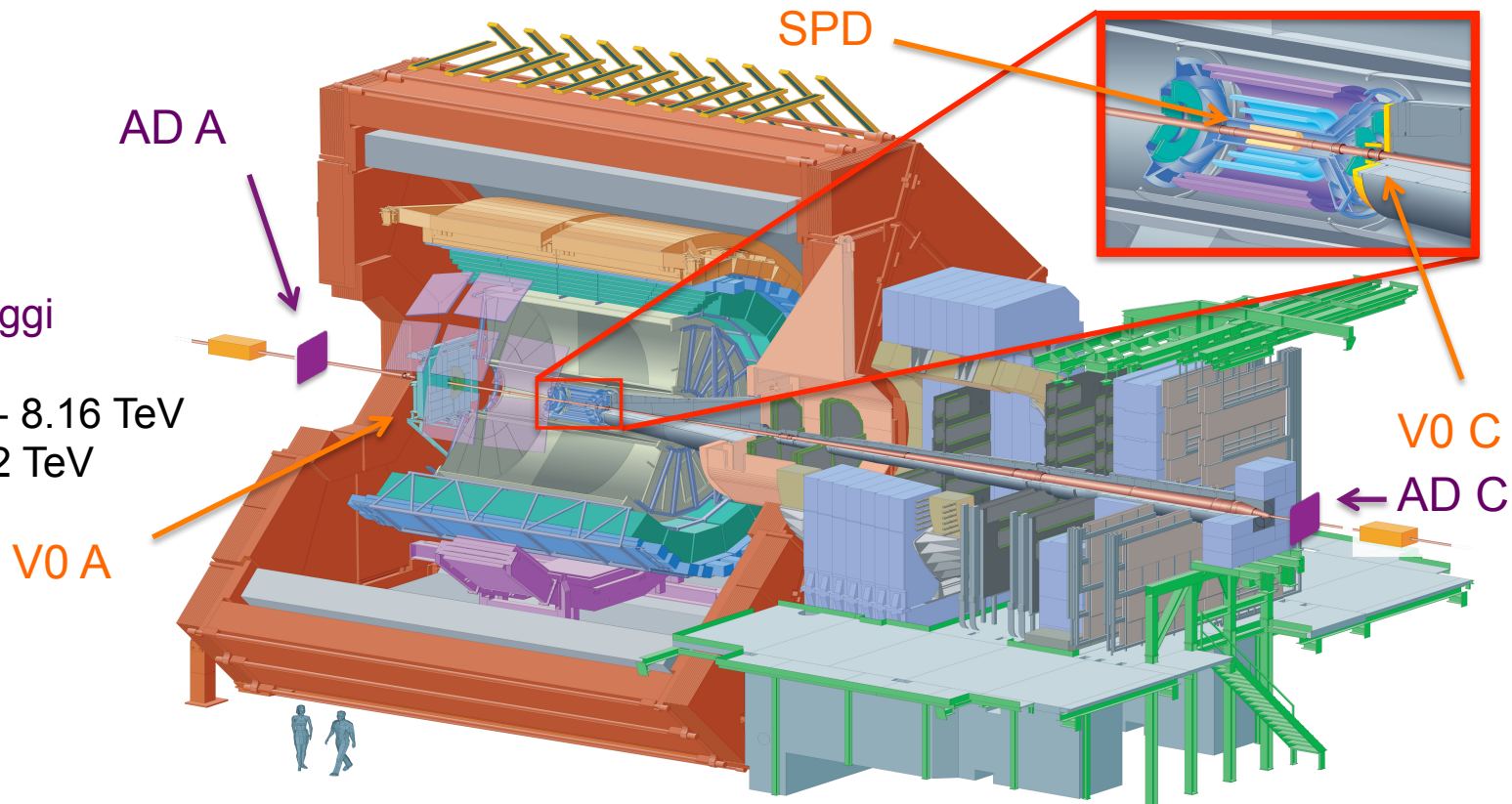
Run 2

anni: 2015 - tutt'oggi

pp  $\sqrt{s} = 13$  TeV

p-Pb  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02 - 8.16$  TeV

Pb-Pb  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV





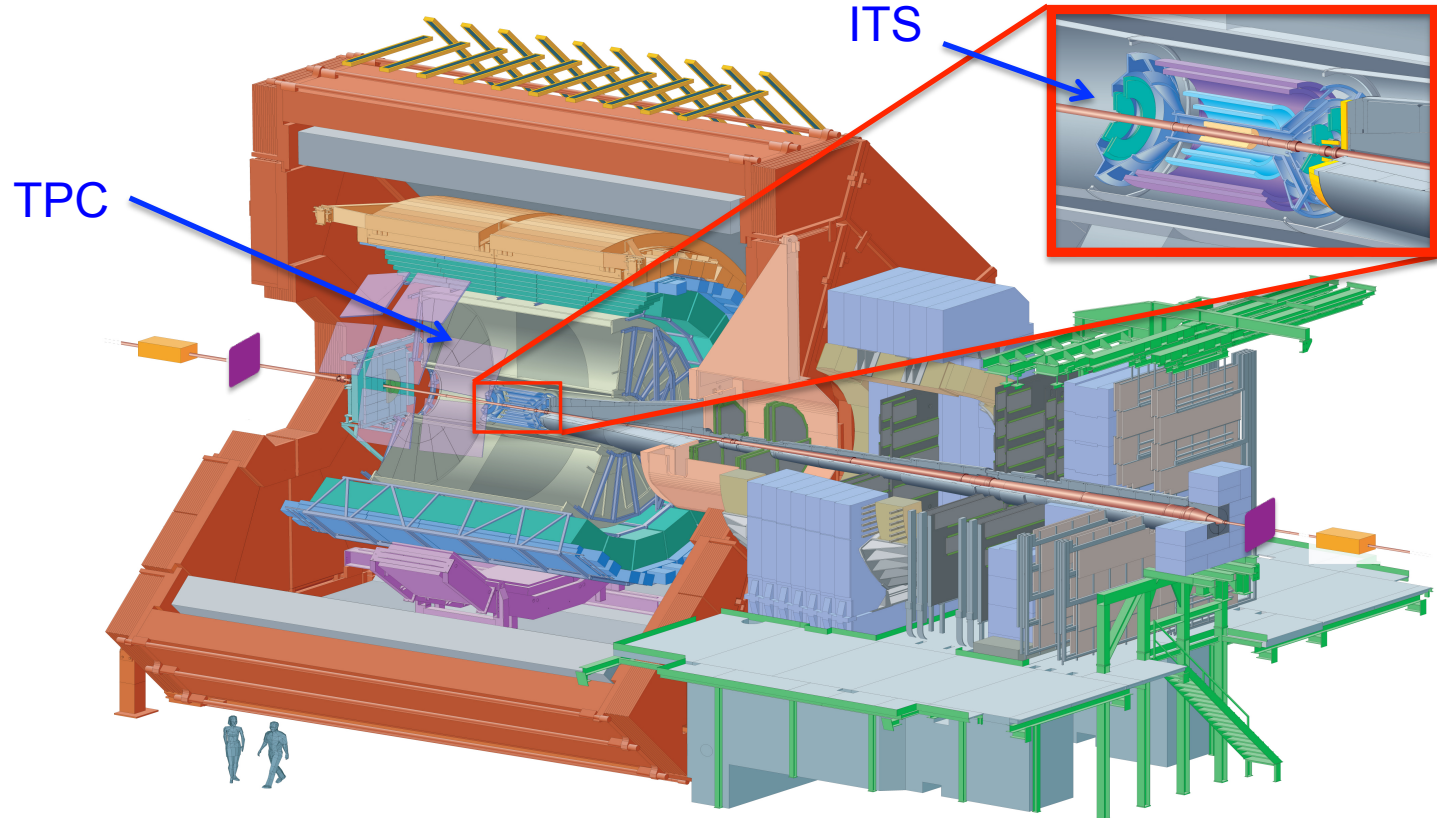
ALICE

# A Large Ion Collider Experiment



Rivelatori  
usati

Rapidità  
centrale





ALICE

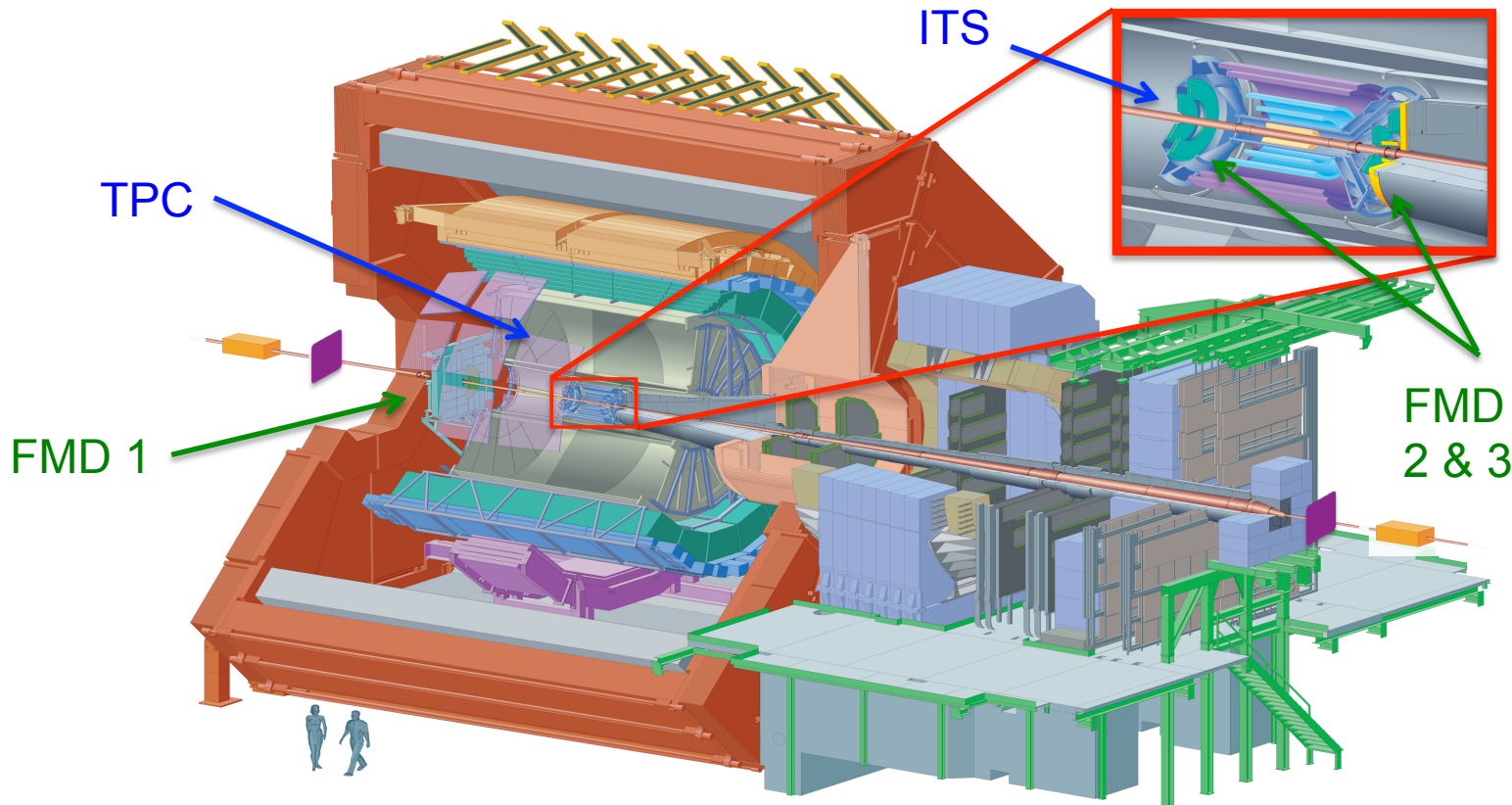
# A Large Ion Collider Experiment



**Rivelatori  
usati**

**Rapidità  
centrale**

**Rapidità  
in avanti**



**Risultati in pp**



ALICE

# Densità di pseudorapidità in pp



## Run 1

Charged-particle multiplicities in proton–proton collisions at  $\sqrt{s} = 0.9$  to 8 TeV [1]

- Tracce globali
- tre classi di eventi: INEL, INEL>0 (almeno una particella in  $|\eta|<1$ ) e NSD (Non-Single-Diffr)
- Monte Carlo tuned con:
  - 1) misure delle sezioni d'urto diffrattive
  - 2) distribuzione della massa diffrattiva





ALICE

# Densità di pseudorapidità in pp



## Run 1

### Charged-particle multiplicities in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 0.9$ to 8 TeV [1]

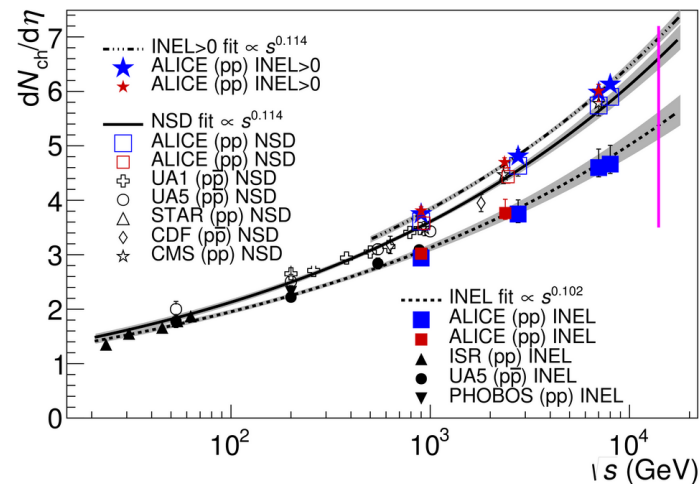
- Tracce globali
- tre classi di eventi: INEL, INEL>0 (almeno una particella in  $|\eta|<1$ ) e NSD (Non-Single-Diffr)
- Monte Carlo tuned con:

- 1) misure delle sezioni d'urto diffrattive
- 2) distribuzione della massa diffrattiva

Estrapolazione dal power-fit a energia più bassa:

$$\left. \frac{dN_{ch}}{d\eta} \right|_{\eta=0}$$

$$\int_{-0.5}^{+0.5} \frac{dN_{ch}}{d\eta} d\eta$$



| $\sqrt{s}$ (TeV) | INEL            | NSD             | INEL>0          |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 13               | $5.30 \pm 0.24$ | $6.50 \pm 0.20$ | $6.86 \pm 0.10$ |



ALICE

# Distribuzioni di molteplicità in pp



## Procedura:

1. Unfolding: ricavare lo spettro primario delle particelle cariche

- minimizzazione  $\chi^2$  o metodo Bayesiano

2. Efficienza di Trigger e vertice

Generatori tunati per la diffrazione [2]:

PYTHIA 6 (Perugia 0) e PHOJET

---

[1] **ALICE** Collaboration, Eur. Phys. J. C 77 (2017) 33

[2] A. B. Kaidalov and M. G. Poghosyan, arXiv:0909.5156 [hep-ph]





ALICE

# Distribuzioni di molteplicità in pp



## Procedura:

### 1. Unfolding: ricavare lo spettro primario delle particelle cariche

- minimizzazione  $\chi^2$  o metodo Bayesiano

### 2. Efficienza di Trigger e vertice

Generatori tunati per la diffrazione [2]:

PYTHIA 6 (Perugia 0) e PHOJET

## Run 1

Charged-particle multiplicities

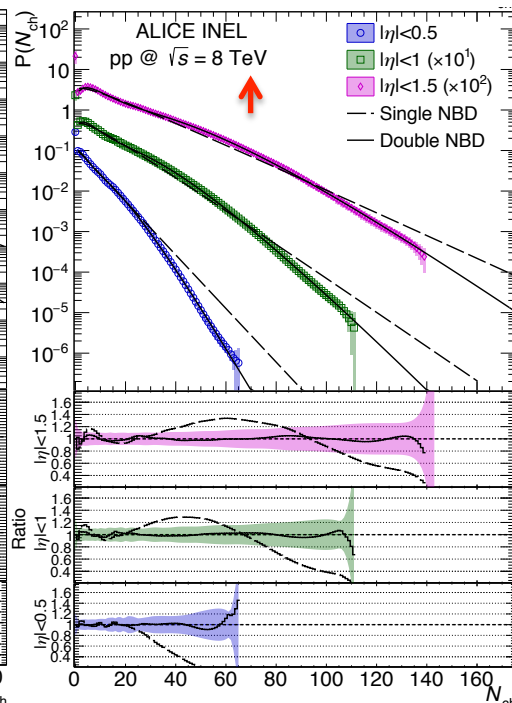
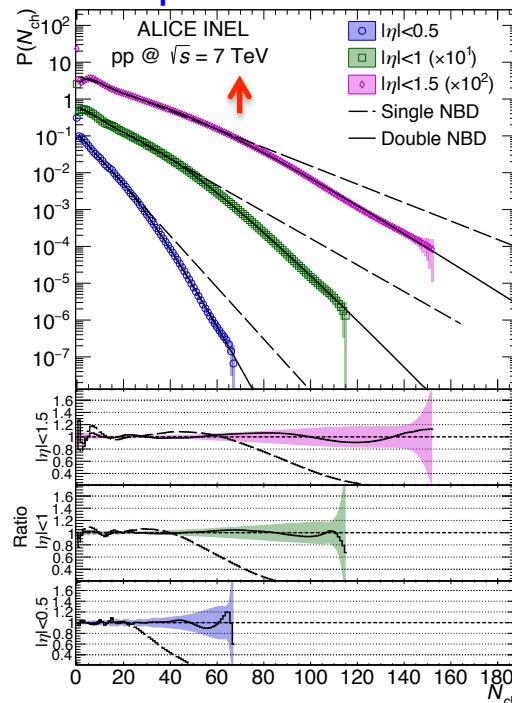
in proton–proton collisions

at  $\sqrt{s} = 0.9$  to 8 TeV [1]

- fit con le doppie Negative Binomial

Distributions (NBD)

$$P(n) = \lambda [\alpha P_{\text{NBD}}(n, \langle n \rangle_1, k_1) + (1 - \alpha) P_{\text{NBD}}(n, \langle n \rangle_2, k_2)]$$



[1] **ALICE** Collaboration, Eur. Phys. J. C 77 (2017) 33

[2] A. B. Kaidalov and M. G. Poghosyan, arXiv:0909.5156 [hep-ph]



ALICE

# Distribuzioni di molteplicità in pp

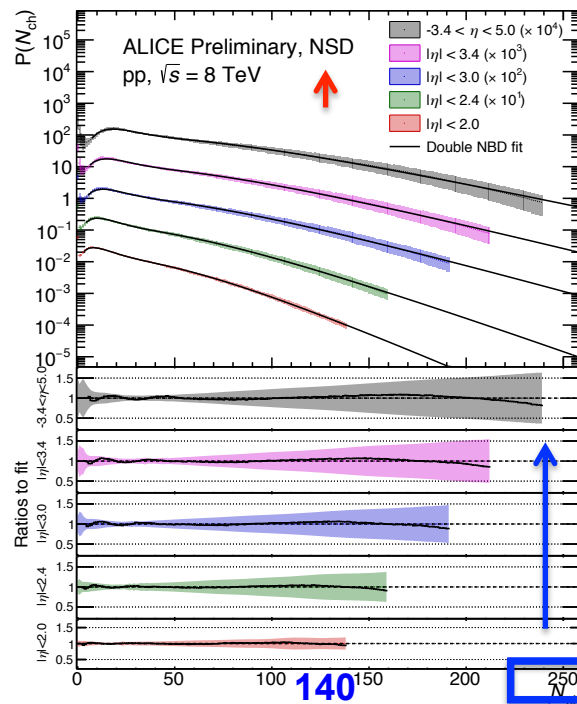
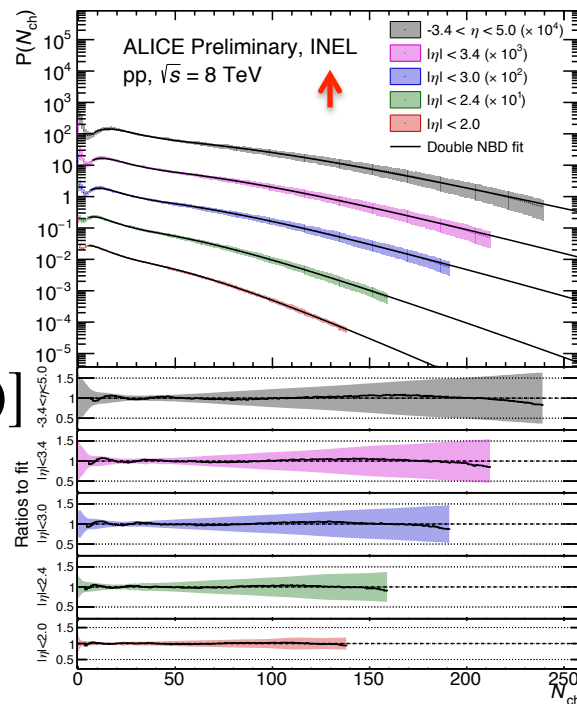


## Run 1

Charged-particle multiplicity distributions over a wide pseudorapidity range in proton-proton collisions with ALICE [3]

- SPD e FMD  $-3.4 < \eta < 5.0$
- fit con la doppia NBD

$$P(n) = \lambda [\alpha P_{\text{NBD}}(n, \langle n \rangle_1, k_1) + (1 - \alpha) P_{\text{NBD}}(n, \langle n \rangle_2, k_2)]$$



[3] ALICE Collaboration, arXiv: 1512.05273 [nucl-ex]

Valentina Zaccolo - IFAE2017

ALICE solo SPD

140

7/14



ALICE

# Densità di pseudorapidità in pp



## Run 2

Pseudorapidity and transverse-momentum distribution of charged particles in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV [4]

misura in  $|\eta| < 1.8$

$$\int_{-0.5}^{+0.5} \frac{dN_{ch}}{d\eta} d\eta$$

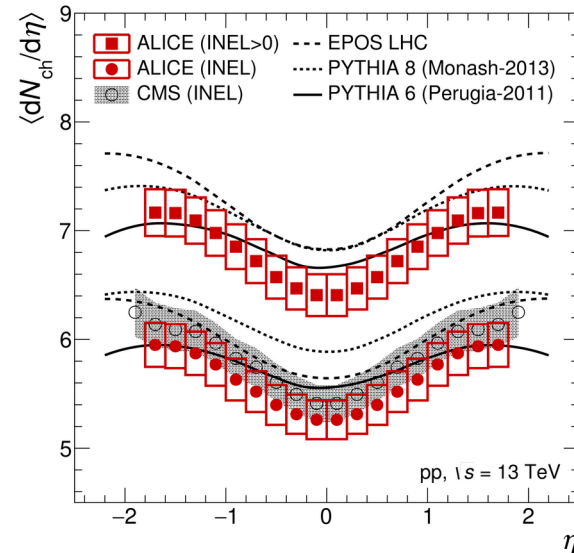
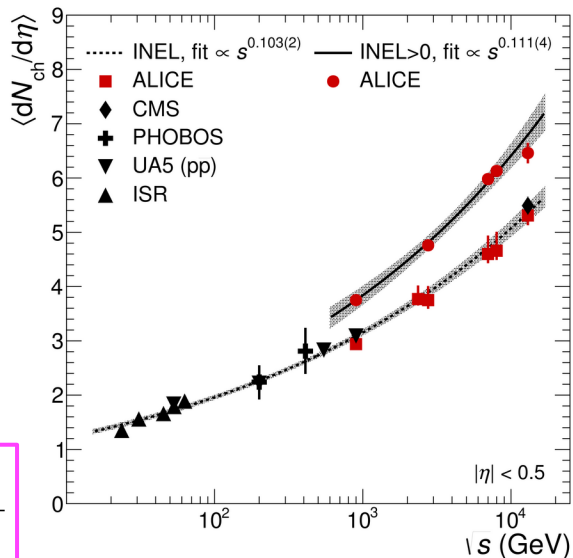
INEL

INEL&gt;0

$5.31 \pm 0.18$  and  $6.46 \pm 0.19$

estrapolazione power-fit da energia più bassa:

| $\sqrt{s}$ (TeV) | INEL            | NSD             | INEL>0          |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 13               | $5.30 \pm 0.24$ | $6.50 \pm 0.20$ | $6.86 \pm 0.10$ |



[4] **ALICE** Collaboration, PLB 753 (2016) 319-329

Valentina Zaccolo - IFAE2017

8/14

# **Risultati in Pb-Pb**



ALICE



# La centralità: modello Glauber MC [5]

## 1. Definire stocasticamente la posizione dei nucleoni

funzione di densità nucleare (distribuzione di Fermi)

$$\rho(r) = \rho_0 \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r-R}{a}\right)}$$

[5] B. Alver, M. Baker, C. Loizides, and P. Steinberg, arXiv: 0805.4411 [nucl-ex]



# La centralità: modello Glauber MC [5]

## 1. Definire stocasticamente la posizione dei nucleoni

funzione di densità nucleare (distribuzione di Fermi)  $\rho(r) = \rho_0 \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r-R}{a}\right)}$

## 2. Simulare una collisione nucleare

- sequenza di collisioni indipendenti binarie nucleone-nucleone
- approssimazione eikonale
- stessa sezione d'urto usata per tutte le collisioni
- “diametro della sfera”

$$d < \sqrt{\sigma_{\text{NN}}^{\text{inel}} / \pi}.$$

[5] B. Alver, M. Baker, C. Loizides, and P. Steinberg, arXiv: 0805.4411 [nucl-ex]



ALICE



# La centralità: modello Glauber MC [5]

## 1. Definire stocasticamente la posizione dei nucleoni

funzione di densità nucleare (distribuzione di Fermi)

$$\rho(r) = \rho_0 \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r-R}{a}\right)}$$

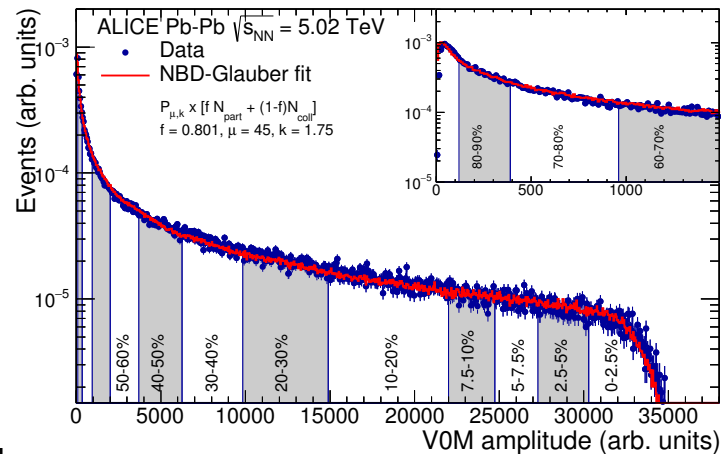
## 2. Simulare una collisione nucleare

- sequenza di collisioni indipendenti binarie nucleone-nucleone
- approssimazione eikonale
- stessa sezione d'urto usata per tutte le collisioni
- “diametro della sfera”

$$d < \sqrt{\sigma_{NN}^{inel} / \pi}.$$

## 3. Sezione d'urto adronica

MC Glauber + fit con NBD  $\rightarrow$   
distribuzione di molteplicità



[5] B. Alver, M. Baker, C. Loizides, and P. Steinberg, arXiv: 0805.4411 [nucl-ex]

Valentina Zaccolo - IFAE2017

9/14



ALICE



# La centralità: modello Glauber MC [5]

## 1. Definire stocasticamente la posizione dei nucleoni

funzione di densità nucleare (distribuzione di Fermi)

$$\rho(r) = \rho_0 \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r-R}{a}\right)}$$

## 2. Simulare una collisione nucleare

- sequenza di collisioni indipendenti binarie nucleone-nucleone
- approssimazione eikonale
- stessa sezione d'urto usata per tutte le collisioni
- "diametro della sfera"

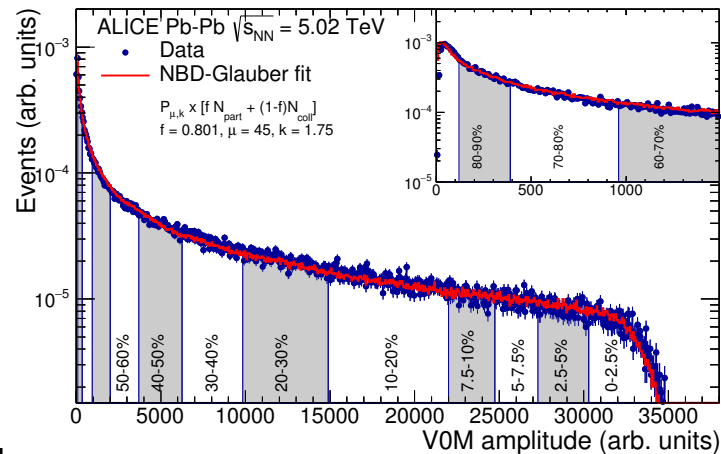
$$d < \sqrt{\sigma_{NN}^{\text{inel}} / \pi}.$$

## 3. Sezione d'urto adronica

MC Glauber + fit con NBD  $\rightarrow$   
distribuzione di molteplicità

## 4. Anchor Point [6]

punto di discordanza tra dati e simulazione



[5] B. Alver, M. Baker, C. Loizides, and P. Steinberg, arXiv: 0805.4411 [nucl-ex]

[6] **ALICE** Collaboration, ALICE-PUBLIC-2015-008





ALICE

# Densità di Pseudorapidità in Pb-Pb



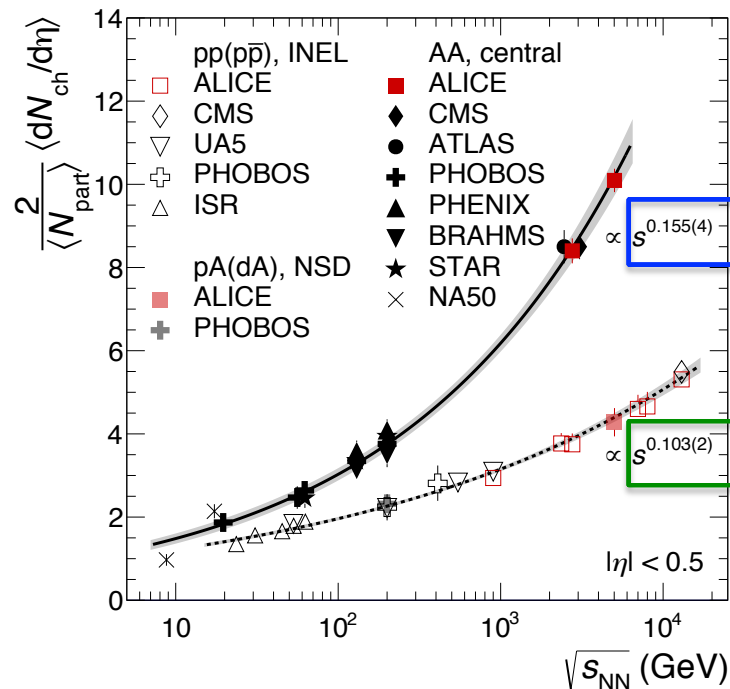
## Run 2

Centrality dependence of the charged-particle multiplicity density at mid-rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV [7]

- Conferma del trend ricavato da energie più basse

In collisioni pp,  $\sim 1/2$  dell'energia (\*)  
usata per la produzione di particelle,  
il resto è energia cinetica

Nucleoni legati del nucleo sembrano essere  
più efficaci nella produzione di particelle



[7] ALICE Collaboration, PRL 116, 222302 (2016)

(\*) se coefficiente di inelasticità è  $K \approx 0.5$  per pp



ALICE

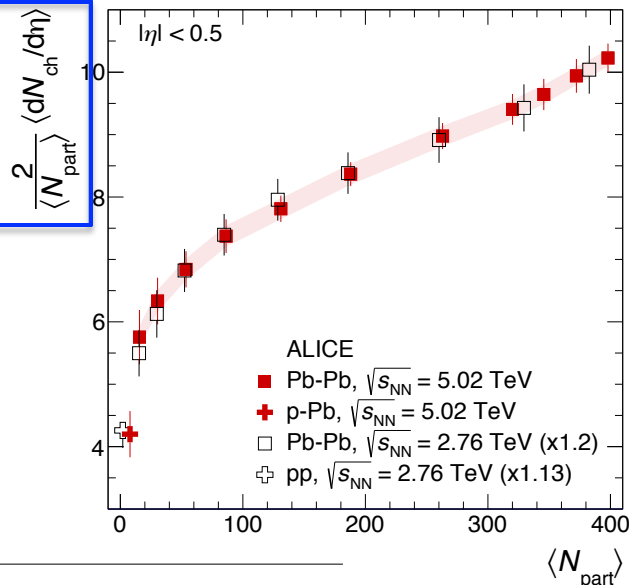
# Densità di Pseudorapidità in Pb-Pb



## Run 2

Centrality dependence of the charged-particle multiplicity density at mid-rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV [7]

↙ Cresce di 1.8 con la centralità. Rapporto tra 5.02 TeV e 2.76 TeV è piatto entro le incertezze



[7] ALICE Collaboration, PRL 116, 222302 (2016)



ALICE

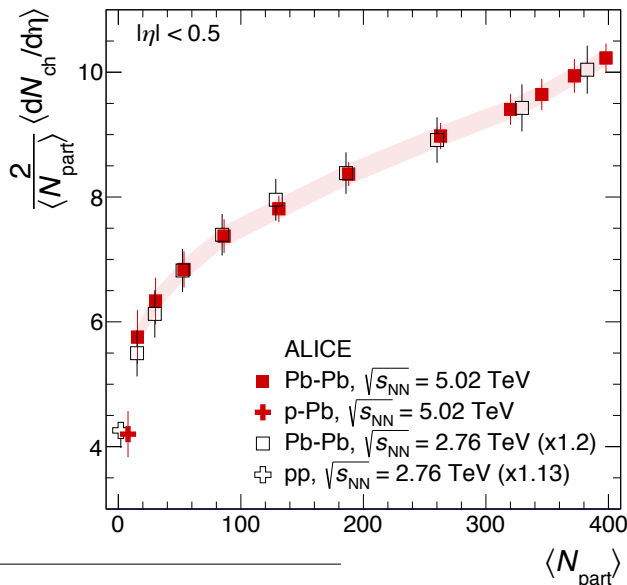
# Densità di Pseudorapidità in Pb-Pb



## Run 2

Centrality dependence of the charged-particle multiplicity density at mid-rapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV [7]

**Cresce di 1.8** con la centralità. Rapporto tra 5.02 TeV e 2.76 TeV è piatto entro le incertezze

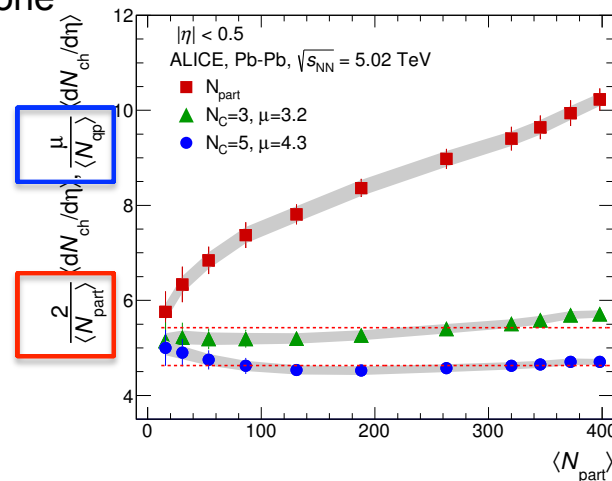


## MC Glauber con scaling dei quark [8]

Posizione del singolo quark determinata con la densità del protone

$$\rho(r) = \rho_0^{proton} \exp(-a \cdot r)$$

la densità di molteplicità delle particelle **scala linearmente** con il numero dei quark costituenti che partecipano alla collisione [8]



[7] ALICE Collaboration, PRL 116, 222302 (2016)

[8] C. Loizides, Phys. Rev. C 94, 024914 (2016)

**Risultati in p-Pb**



ALICE

# Bias nella determinazione della centralità in pA

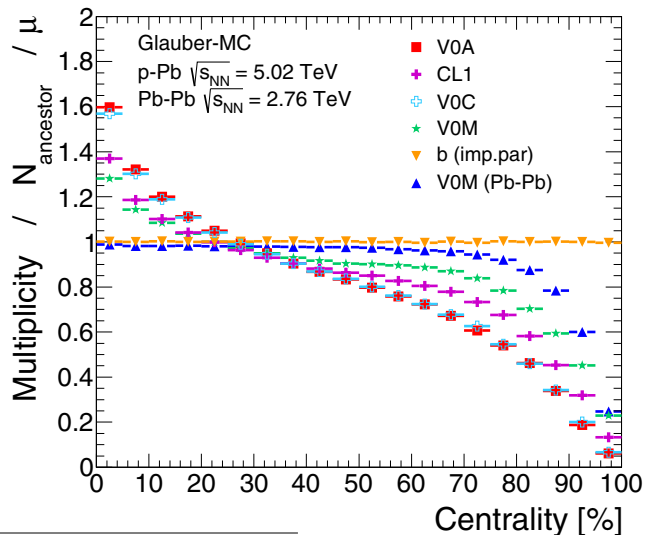


## Run 1

Centrality dependence of particle production in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV [9]

- Fluttuazioni della molteplicità
- pochi partecipanti

→ **bias dinamico** nella determinazione delle classi di centralità basate sulla **molteplicità**



[9] ALICE Collaboration, Phys. Rev. C91, 064905 (2015)

Valentina Zaccolo - IFAE2017

12/14



ALICE

# Bias nella determinazione della centralità in pA

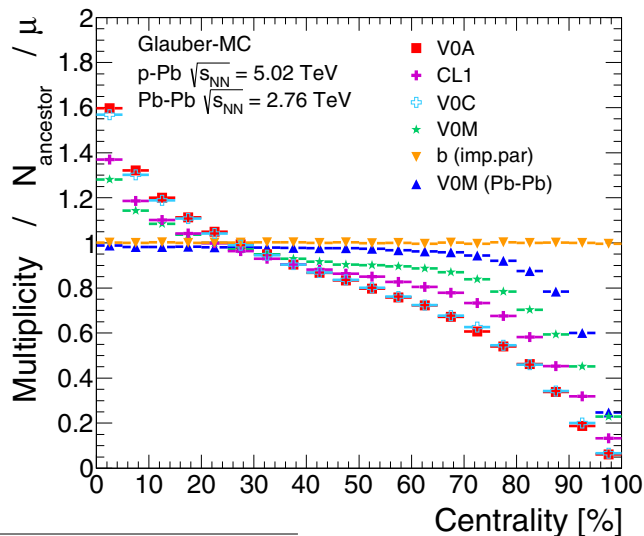


## Run 1

### Centrality dependence of particle production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV [9]

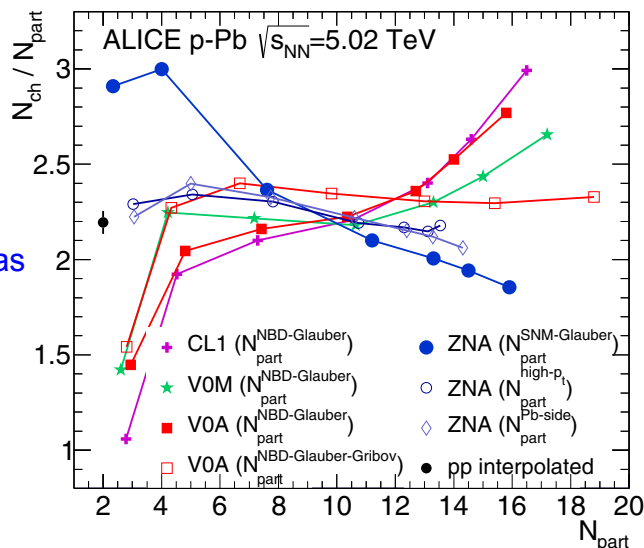
- Fluttuazioni della molteplicità
- pochi partecipanti

→ **bias dinamico** nella determinazione delle classi di centralità basate sulla **molteplicità**



Centralità della collisione usando l'estimatore **ZNA**:  
energia depositata  
nel calorimetro neutronico  
dal lato di frammentazione  
del Pb

- CL1, V0M e VOA:  
crescono più che linearmente → bias
- ZNA:  
saturazione sopra  $N_{part} \sim 13$
- **Ibrido (Mid-molt ~  $N_{part}$ )**  
scaling quasi perfetto con  $N_{part}$



[9] ALICE Collaboration, Phys. Rev. C91, 064905 (2015)

Valentina Zaccolo - IFAE2017



ALICE

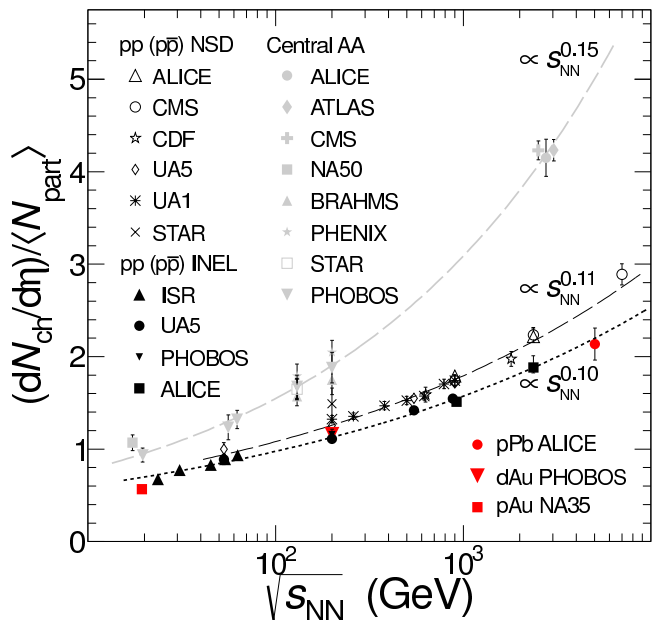
# Densità di pseudorapidità in p-Pb



## Run 1

Pseudorapidity density of charged particles in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV [10]

$$(dN_{ch}/d\eta_{cms})/\langle N_{part} \rangle = 2.14 \pm 0.17 \text{ (syst.)}$$



[10] ALICE Collaboration, PRL 110 (2013) 032301

Valentina Zaccolo - IFAE2017

13/14



ALICE

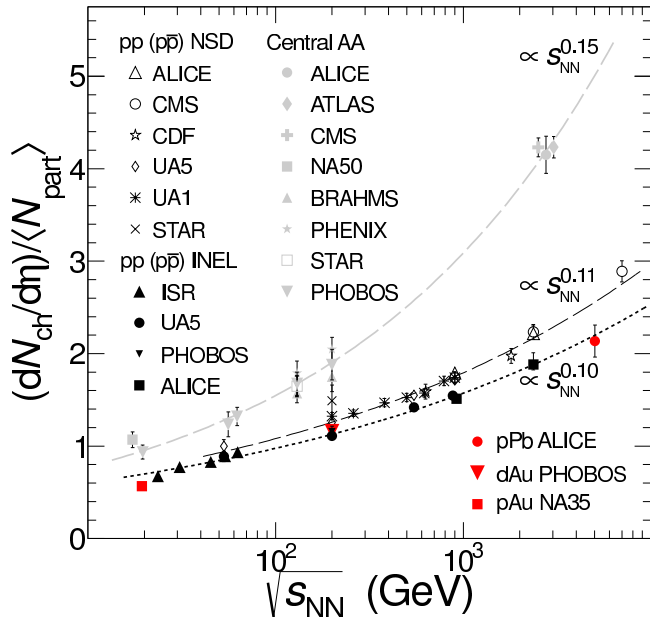
# Densità di pseudorapidità in p-Pb



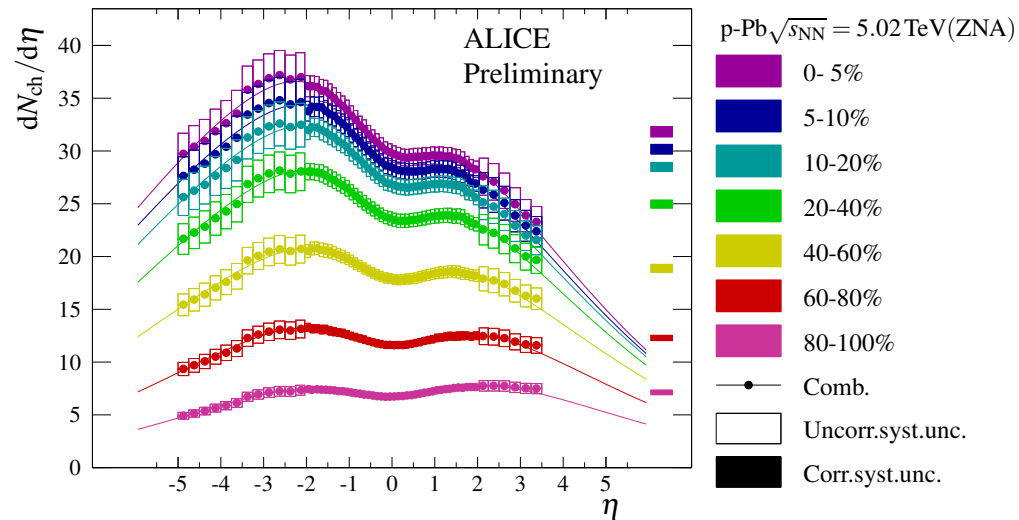
## Run 1

Pseudorapidity density of charged particles in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV [10]

$$\langle dN_{ch}/d\eta_{cms} \rangle / \langle N_{part} \rangle = 2.14 \pm 0.17 \text{ (syst.)}.$$



Centralità della collisione usando l'estimatore ZNA:

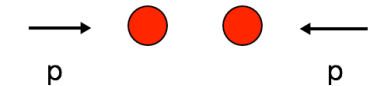


[10] ALICE Collaboration, PRL 110 (2013) 032301

Valentina Zaccolo - IFAE2017

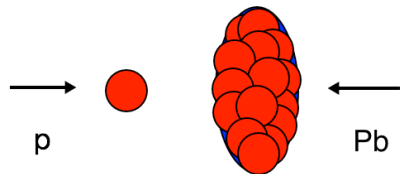
13/14





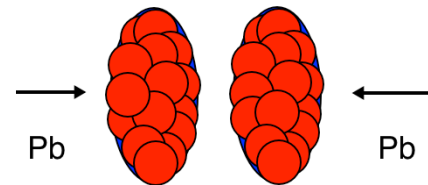
Studi dettagliati pubblicati per Run 1 e 2 :

- ✓ buone predizioni estrapolando ad energie più alte



Analisi dei nuovi dati a  $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$  TeV

- ✓ solida metodologia per la determinazione della centralità



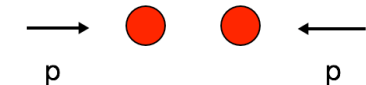
Completamento delle analisi del Run 1 e 2

- ✓ nessuna sorpresa andando da  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  a 5.02 TeV



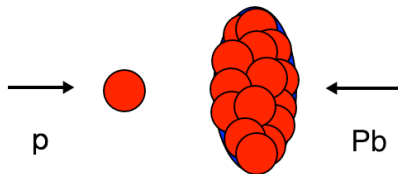
ALICE

# Riassunto e prospettive



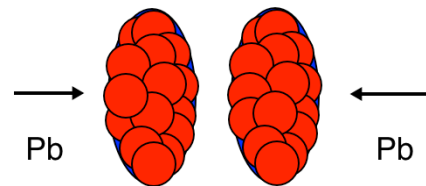
Studi dettagliati pubblicati per Run 1 e 2 :

- ✓ buone predizioni estrapolando ad energie più alte



Analisi dei nuovi dati a  $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$  TeV

- ✓ solida metodologia per la determinazione della centralità



Completamento delle analisi del Run 1 e 2

- ✓ nessuna sorpresa andando da  $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  a 5.02 TeV

**Prossimo articolo in preparazione:**

Centrality determination study and analysis of the charged-particle multiplicity in p-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} 8.16$  TeV

**...Grazie!**



- [1] **ALICE** Collaboration, “Charged-particle multiplicities in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 0.9$  to 8 TeV”, Eur. Phys. J. C (2017) 77:33
- [2] A. B. Kaidalov and M. G. Poghosyan, “Description of soft diffraction in the framework of reggeon calculus. Predictions for LHC”, arXiv:0909.5156 [hep-ph]
- [3] **ALICE** Collaboration, “Charged-Particle Multiplicity Distributions over a Wide Pseudorapidity Range in Proton-Proton Collisions with ALICE”, arXiv: 1512.05273 [nucl-ex]
- [4] **ALICE** Collaboration, “Pseudorapidity and transverse-momentum distributions of charged particles in proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV”, PLB 753 (2016) 319-329
- [5] B. Alver, M. Baker, C. Loizides, and Steinberg, ” The PHOBOS Glauber Monte Carlo”, arXiv: 0805.4411 [nucl-ex]
- [6] **ALICE** Collaboration, “Centrality dependence of the charged-particle multiplicity density at midrapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV ”, ALICE-PUBLIC-2015-008
- [7] **ALICE** Collaboration, , “Centrality dependence of the charged-particle multiplicity density at midrapidity in Pb-Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV ”, PRL 116, 222302 (2016)
- [8] C. Loizides, “Glauber modeling of high-energy nuclear collisions at sub-nucleon level”, Phys. Rev. C 94, 024914 (2016)

- [9] **ALICE** Collaboration, "Centrality Dependence of particle production in p-Pb Collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV", Phys. Rev. C91, 064905 (2015)
- [10] **ALICE** Collaboration, "Pseudorapidity density of charged particles in p + Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV", PRL 110 (2013) 032301

**Backup**



ALICE

# Sub-rivelatori usati



## Rapidità centrale

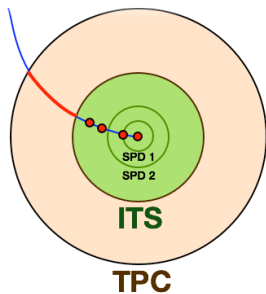
### 1. Tracce globali

#### TPC

- $|\eta| < 0.9$
- $70 < \text{punti} \leq 159$

#### ITS

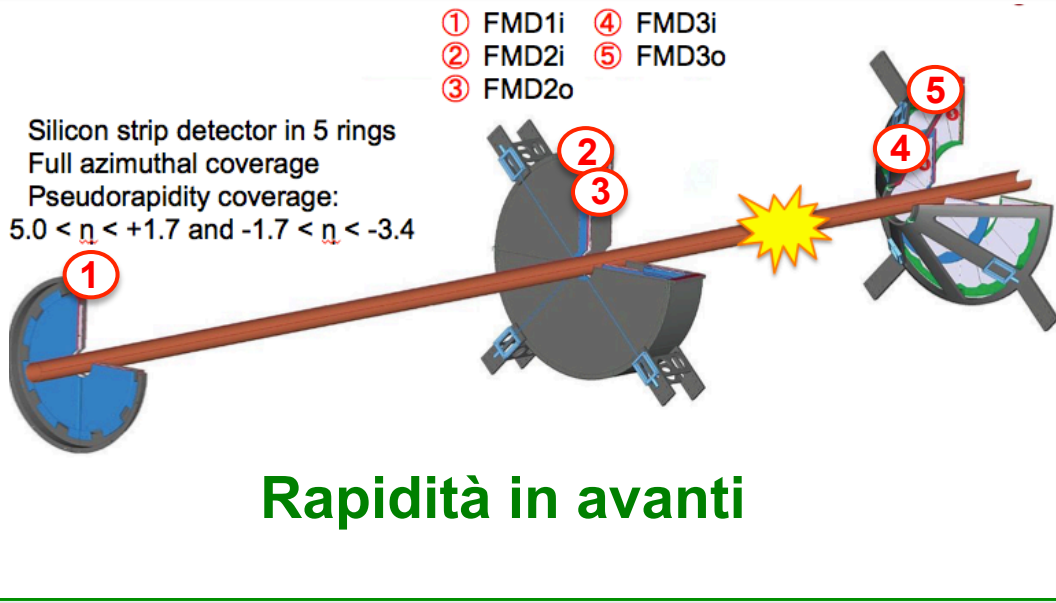
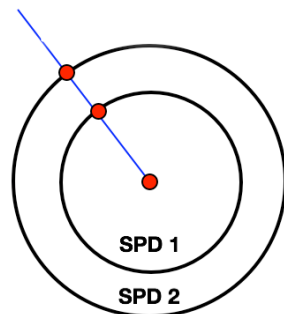
- $|\eta| < 1.3$
- $2 < \text{punti} \leq 6$
- ✓ informazione  $p_T$



### 2. Tracce SPD

#### Solo SPD

- espandere la copertura a  $|\eta| < 2$
- ✓ no informazione  $p_T$





ALICE

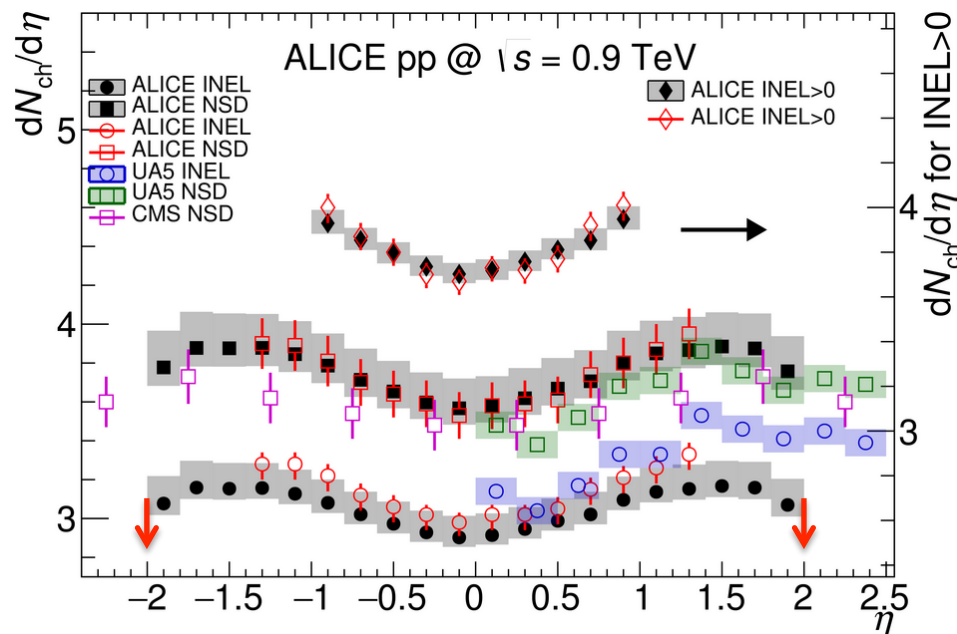
# Densità di pseudorapidità in pp



## Run 1

Charged-particle multiplicities in proton–proton collisions at  $\sqrt{s} = 0.9$  to 8 TeV [1]

- Tracce globali
- tre classi di eventi: INEL, INEL>0 (almeno una particella in  $|\eta|<1$ ) e NSD (Non-Single-Diffr)
- Monte Carlo Monte Carlo tuned con:
  - 1) misure delle sezioni d'urto diffrattive
  - 2) distribuzione della massa diffrattiva





ALICE

# Distribuzioni di molteplicità in pp



## Procedura:

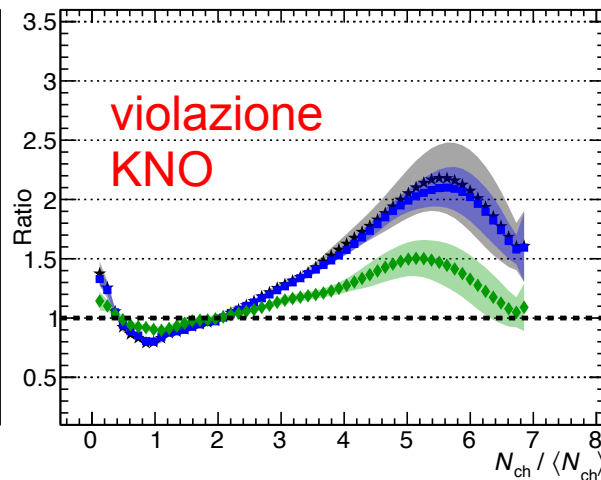
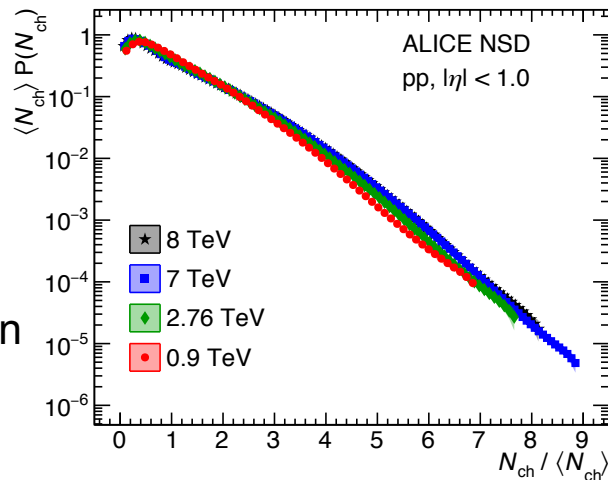
1. **Unfolding:** ricavare lo spettro primario delle particelle cariche
  - minimizzazione  $\chi^2$  o metodo Bayesiano
2. **Efficienza di Trigger e vertice** Generatori tunati per la diffrazione [2]: PYTHIA 6 (Perugia 0) e PHOJET

## Run 1

Charged-particle multiplicities  
in proton–proton collisions  
at  $\sqrt{s} = 0.9$  to 8 TeV [1]

- Test scaling Koba-Nielsen-Olesen  
(Nucl.Phys., vol. B40, 1972)

$$P_n(s) = \frac{1}{\langle n \rangle} \psi \left( \frac{n}{\langle n \rangle} \right)$$







ALICE

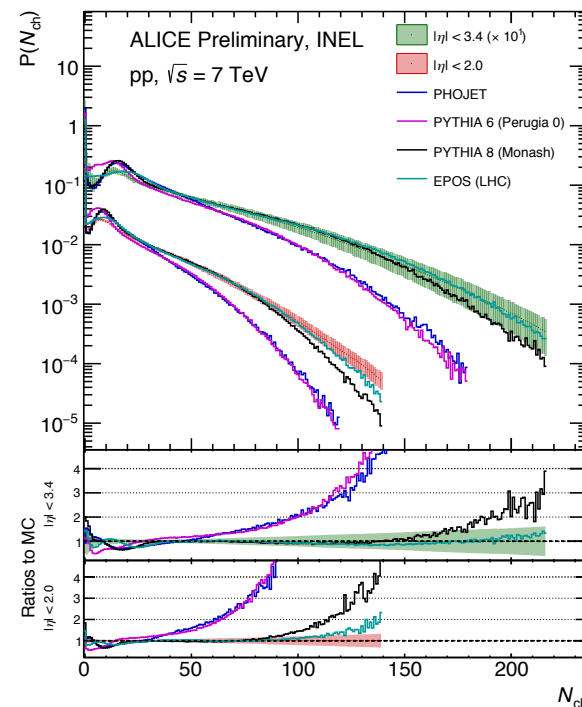
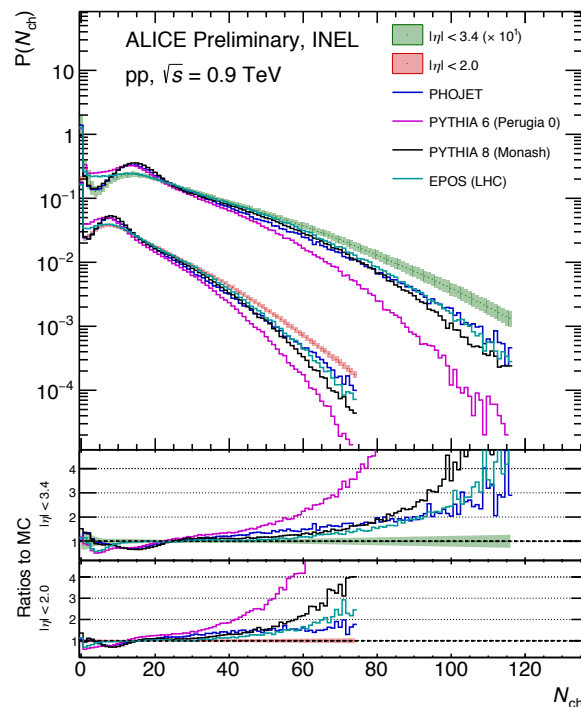
# Distribuzioni di molteplicità in pp



## Run 1

Charged-particle multiplicity distributions over a wide pseudorapidity range in proton-proton collisions with ALICE [3]

- SPD e FMD  $-3.4 < \eta < 5.0$
- comparazione con Monte Carlo
  - ✓ PHOJET
  - tuned a  $\sqrt{s} = 0.9$  TeV
  - ✓ EPOS LHC
  - ✓ PYTHIA 8 Monash



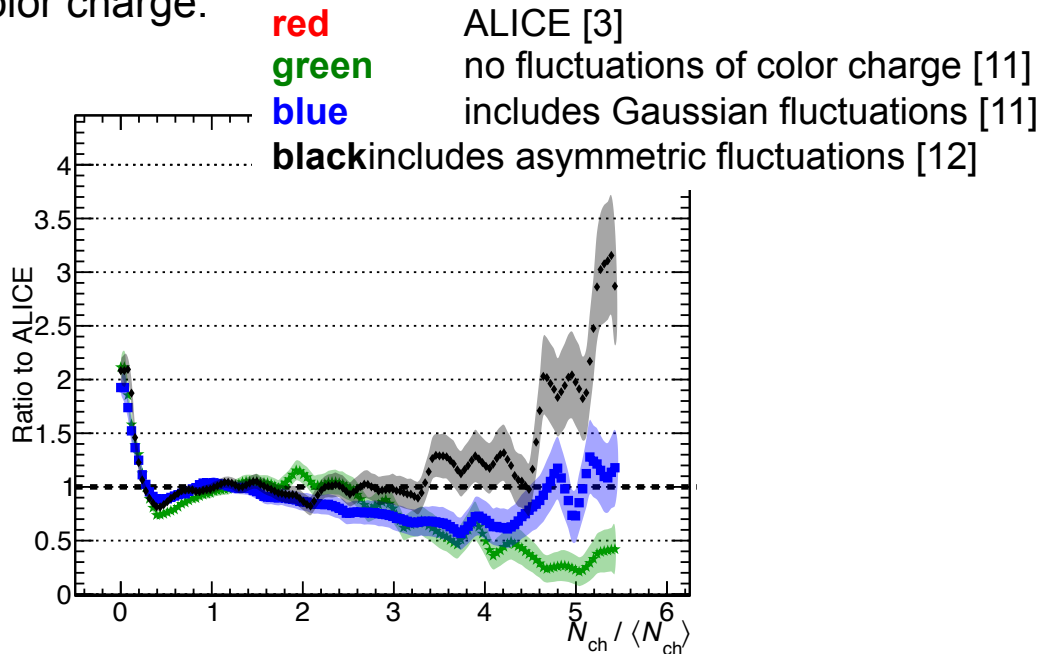
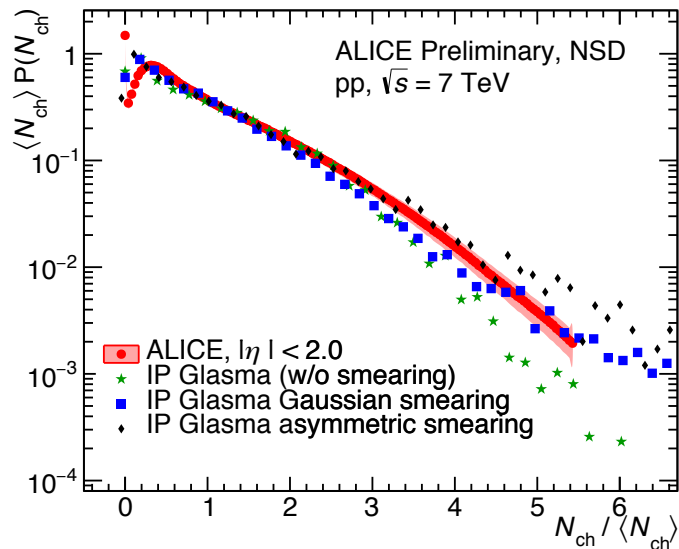


ALICE

# Comparison with IP-Glasma Model



1. "IP-Glasma" initial conditions **IP-Sat model** with classical evolution of the glasma gluon fields. Contains fluctuations of color charge.



[3] **ALICE** Collaboration, arXiv: 1512.05273 [nucl-ex]

[11] B. Schenke, P. Tribedy, and R. Venugopalan, Phys.Rev. C89 no. 2, (2014) 024901

[12] L. McLerran and P. Tribedy, arXiv: 1508.03292 [hep-ph]



ALICE

# Other saturation based models



2. Armesto model [13] geometrical scaling model with no pre-thermal

evolution of the produced gluons

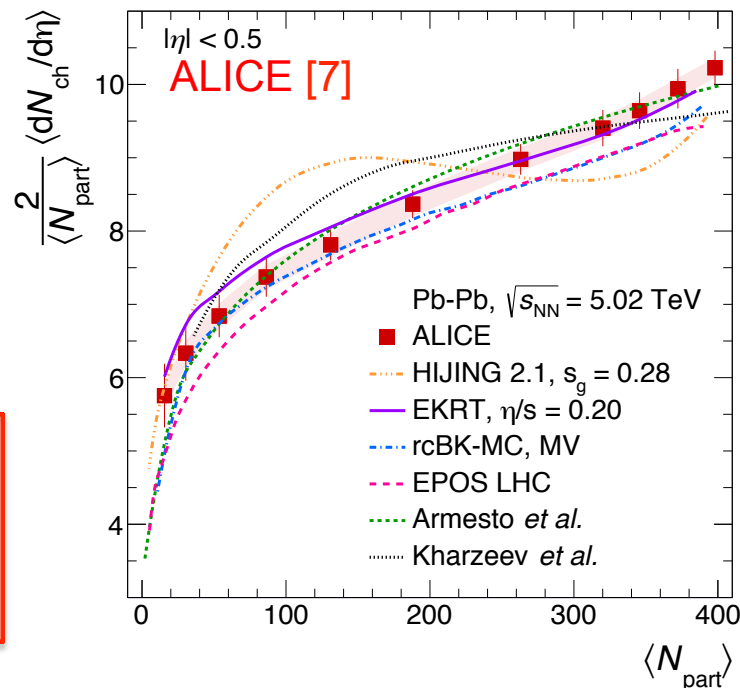
3. EKRT model [14]

- dominance of minijets in high energy nuclear collisions
- saturation of gluon production
- no fluctuations of color charge

4. Several others (rcBK [16] , MC-KLN [16] ...)

## Challenges:

- implementation of glasma
- distributions: additional fluctuations
- complications at forward rapidities



[7] **ALICE** Collaboration, PRL 116, 222302 (2016)

[13] N. Armesto, C. A. Salgado, and U. A. Wiedemann, Phys. Rev. Lett. 94 (2005) 022002

[14] H. Niemi, K. J. Eskola, R. Paatelainen, and K. Tuominen, Phys. Rev. C 93 (2016) 014912

[15] J. L. Albacete, A. Dumitru, and Y. Nara, J. Phys. Conf. Ser. 316 (2011) 012011.

[16] D. Kharzeev, E. Levin, and M. Nardi, Nucl. Phys. A 747 (2005) 609–629.