



Misure di luminosità in collisioni p-p a LHC

Candidato Mattia Ivaldi

Relatore Martino Gagliardi

07/12/2017

Università degli Studi di Torino

Scuola di Scienze della Natura, Corso di Laurea in Fisica

A.A. 2016/2017

Outline

1. Luminosità
2. van der Meer scan e processi di riferimento
3. vdM@ALICE
 - » setup sperimentale
 - » analisi dei dati
 - » consistency check
4. Valutazione delle correzioni per offset e β^* dinamico
5. Conclusioni e outlook

Luminosità

- La luminosità \mathcal{L} è uno dei benchmark per valutare le prestazioni di un collider:

$$\text{rate di eventi di tipo } p \text{ [s}^{-1}\text{]} \leftarrow \textcolor{red}{R_p} = \mathcal{L} \sigma_p \rightarrow \text{sezione d'urto [b]}$$

- Per una coppia di fasci collineari di densità fattorizzabili e in moto lungo l'asse z

$$\rho_i(x, y, z, t) = N_i f_{x,i}(x) f_{y,i}(y) \frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z \mp ct)^2}{2\sigma_z^2}}, \quad i = 1, 2$$

la luminosità per *bunch crossing* assume la forma [1] [2]:

$$\mathcal{L} = \frac{f_{rev} N_1 N_2}{h_x h_y}$$

11.2455 kHz

A LHC

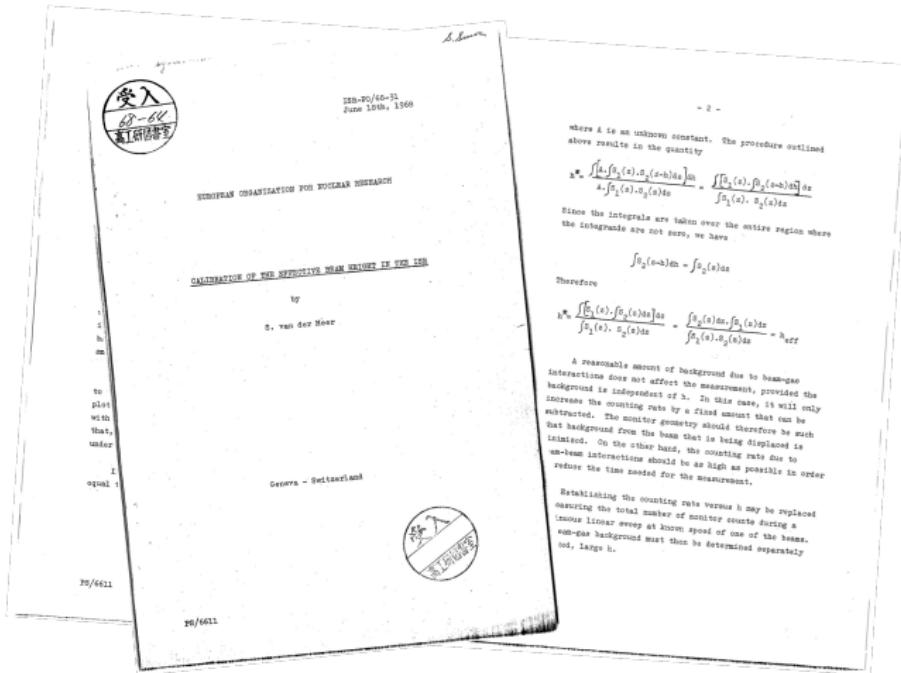
- DCCT: misurano l'intensità totale dei due fasci [3]
- fBCT, BPTX: misurano la popolazione relativa dei bunch [4] [5]

Larghezza efficace della superficie di overlap:

$$\frac{1}{h_x} = \int f_{x,1}(x) f_{x,2}(x) dx$$

- wire scan
- beam-gas imaging
- van der Meer scan

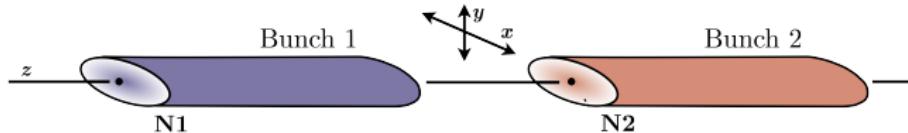
van der Meer scan



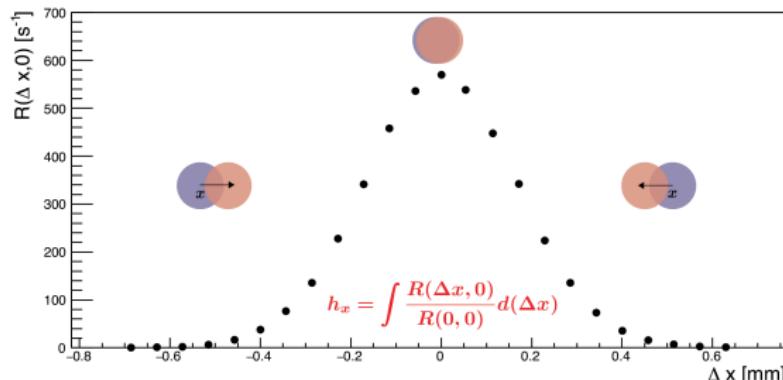
S. van der Meer, *Calibration of the effective beam height in the ISR*,
CERN-ISR-PO-68-31 (1968)

van der Meer scan

- I fasci sono spostati dalla condizione di *head-on* introducendo un offset lungo x o y e si misura il rate di collisioni al variare dell'offset.



- La quantità h_x è pari al rapporto tra l'integrale della curva $R(\Delta x, 0)$ e il suo valore massimo $R(0, 0)$ [6] - analogamente per h_y .



Processi di riferimento

- I van der Meer scan sono effettuati in run dedicati, durante i quali si misurano con precisione la luminosità e la sezione d'urto (σ_{ref}) per uno o più processi di riferimento.
- Sia ε la percentuale di eventi anelastici che soddisfano una precisa condizione di trigger, allora:

$$\sigma_{ref} = \varepsilon \sigma_{anel} = \frac{R_{ref}}{\mathcal{L}}$$

durante il
van der Meer scan

dove ε dipende dall'accettanza del rivelatore usato come luminometro e dalla condizione di trigger.

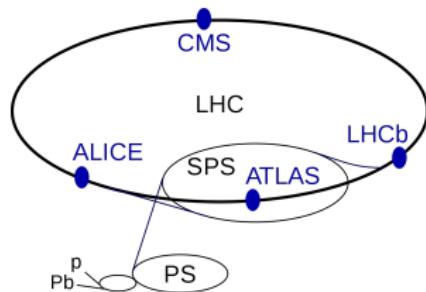
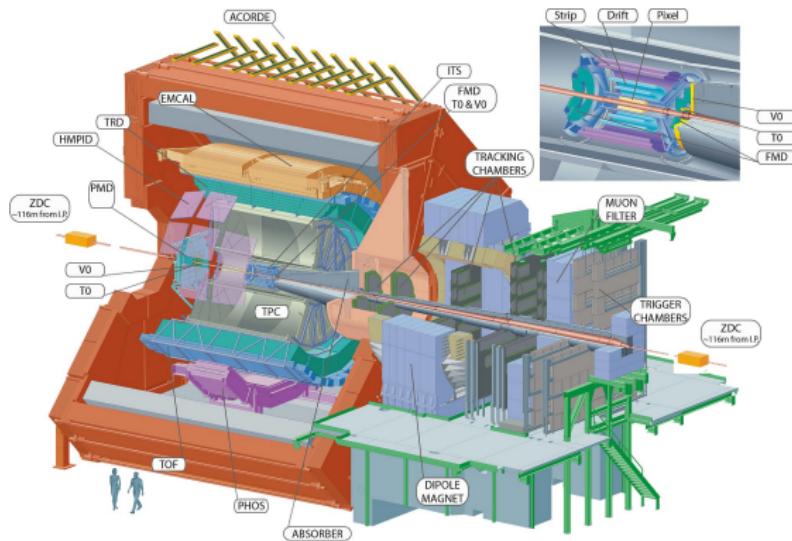
- Le sezioni d'urto di riferimento sono usate per la misura indiretta della luminosità durante i periodi di presa dati standard [7].

$$\mathcal{L} = \frac{R_{ref}}{\sigma_{ref}}$$

durante la
presa dati standard

A Large Ion Collider Experiment

- ALICE è un rivelatore *general-purpose*, specializzato nello studio delle collisioni tra ioni pesanti e nella caratterizzazione del Quark Gluon Plasma [8].

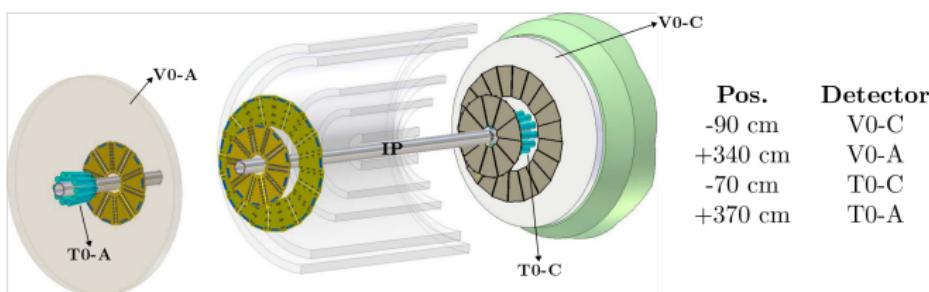


- La misura di sezioni d'urto di produzione di varie particelle è un elemento fondamentale nello studio di collisioni Pb-Pb, Pb-p, p-p.

- Per collisioni p-p ALICE utilizza principalmente due luminometri [9]:

V0 due anelli di scintillatori plastici;

T0 due array di radiatori Cherenkov.

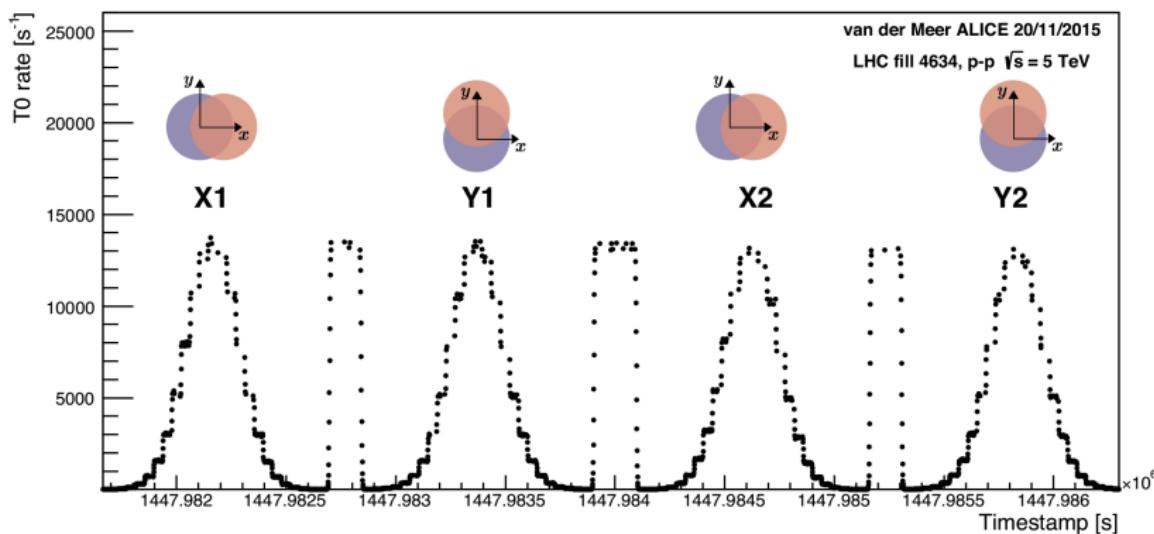


- Le condizioni di trigger che definiscono i processi di riferimento sono:

V0-based coincidenza tra V0-A e V0-C;

T0-based coincidenza tra T0-A e T0-C, coordinata longitudinale del vertice di interazione appartenente al range $|z| < 30$ cm ($z = 0$ nom. IP). Permette di rigettare il background dovuto alle interazione beam-gas e beam-satellite.

- 20/11/2015, LHC fill 4634 (22 bunch), p-p, $\sqrt{s} = 5$ TeV
- 2 coppie di scan $X + Y$



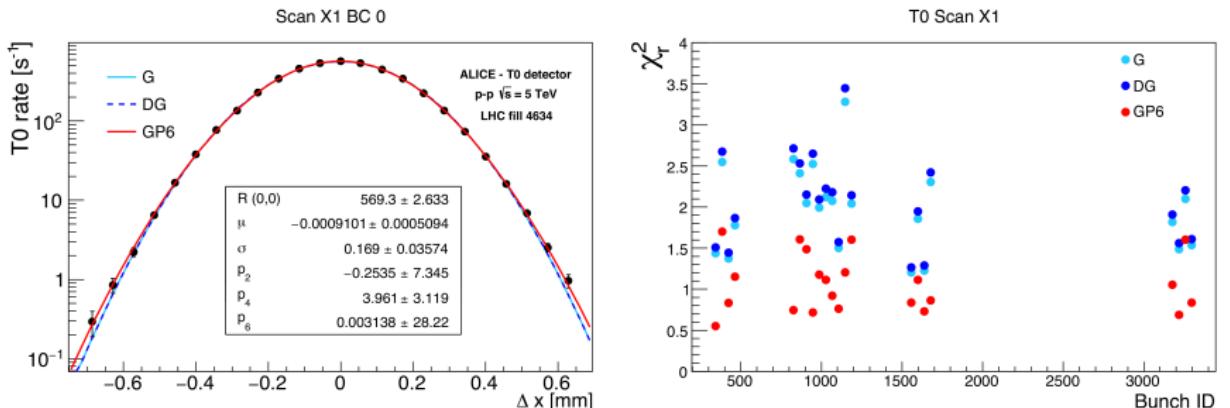
Input

- » Misure di intensità di fasci e bunch;
- » Curve di rate vs separazione, già corrette per beam-gas background, pile-up e luminosity decay.

Output

- » Larghezze efficaci h_x , h_y ;
- » Luminosità per ogni coppia di bunch collidenti;
- » **Sezioni d'urto di riferimento.**

- Le curve $R(\Delta x, 0)$ sono interpolate con: **G**, **DG** ($\chi^2_r < 3.5$) e **GP6** ($\chi^2_r \sim 1$).



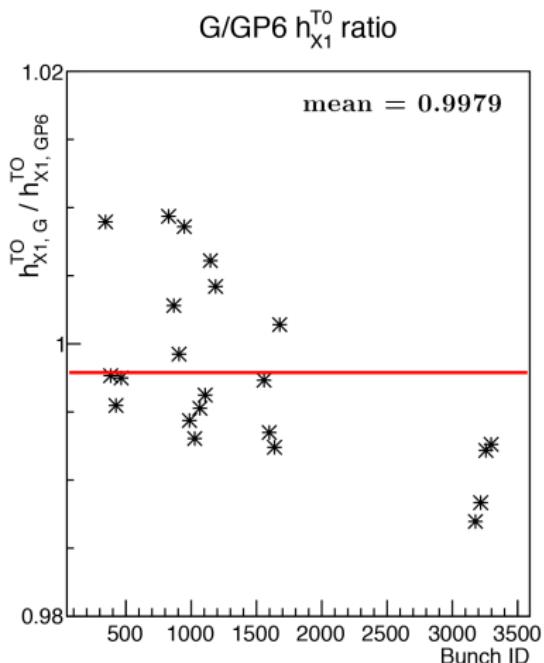
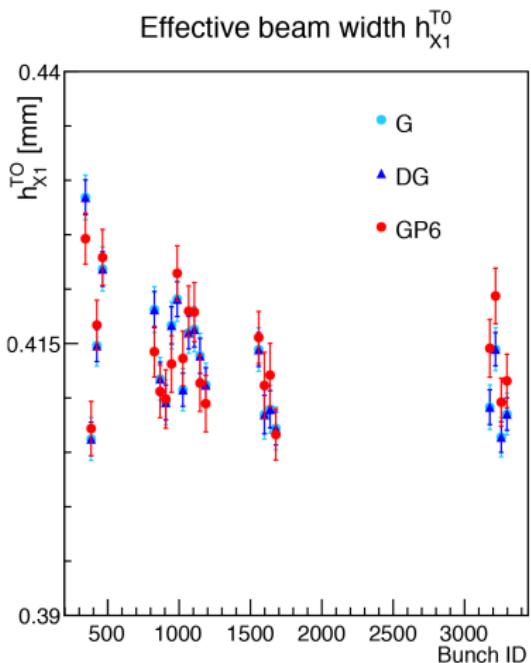
$$G \text{ (gaussian): } R = R(0,0) e^{-\frac{(\Delta x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

$$DG \text{ (double-gaussian): } R = R(0,0) e^{-\frac{(\Delta x - \mu_1)^2}{2\sigma_1^2}} + R(0,0) e^{-\frac{(\Delta x - \mu_2)^2}{2\sigma_2^2}}$$

$$GP6 \text{ (gaussian} \times \text{pol6): } R = R(0,0) e^{-\frac{(\Delta x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \{1 + p_2(\Delta x - \mu)^2 + p_4(\Delta x - \mu)^4 + p_6(\Delta x - \mu)^6\}$$

$$h_x = \int \frac{R(\Delta x, 0)}{R(0, 0)} d(\Delta x)$$

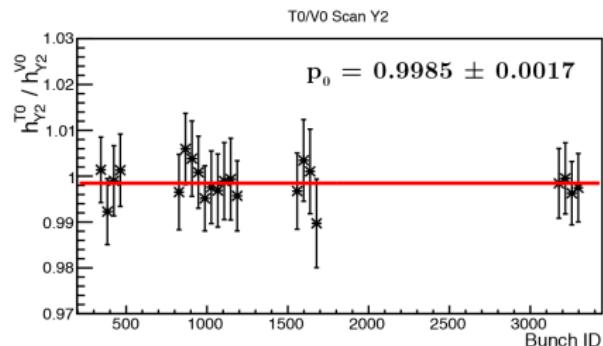
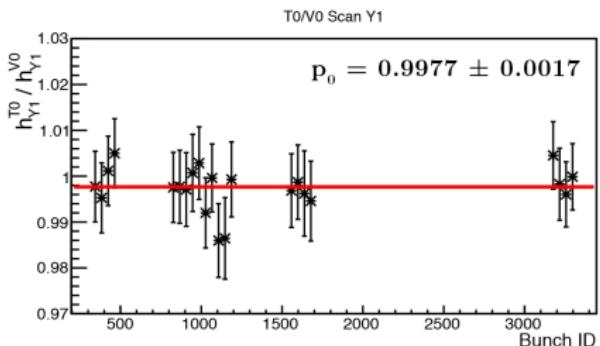
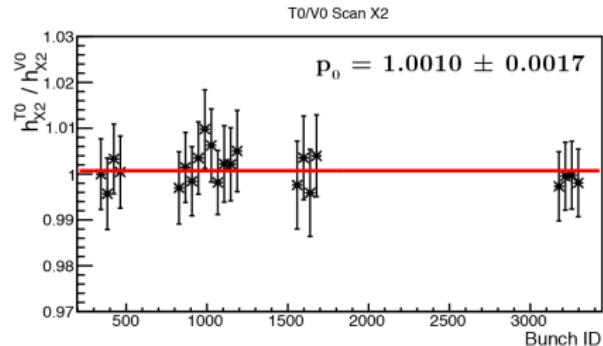
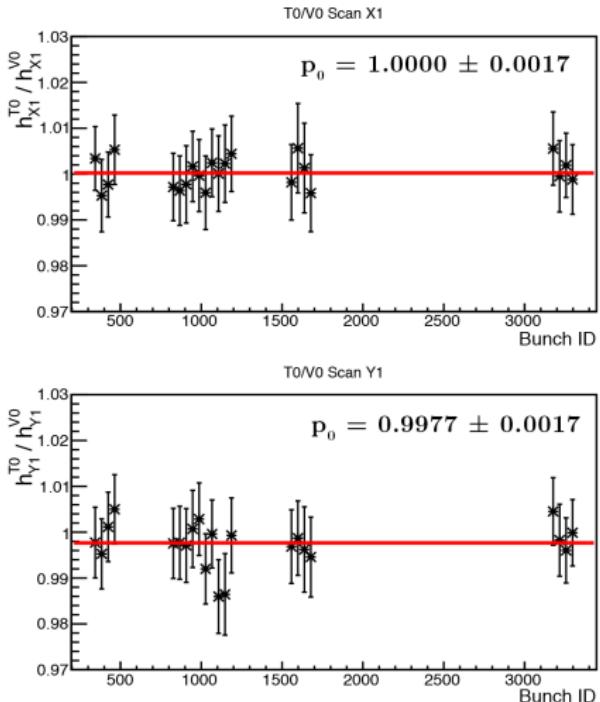
Si verifica la consistenza tra le larghezze efficaci h ottenute con diversi tipi di fit.



- La consistenza è verificata a meno dello 0.2%.

vdM@ALICE - consistenza tra h^{V0} e h^{T0}

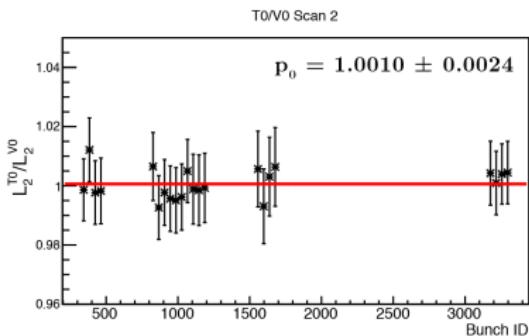
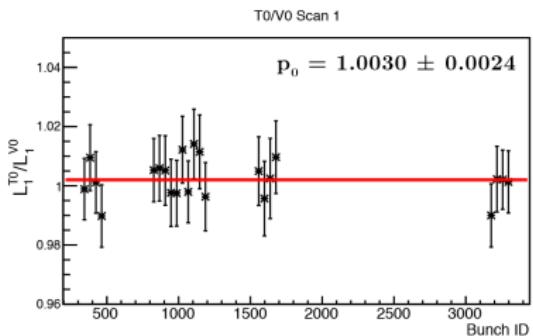
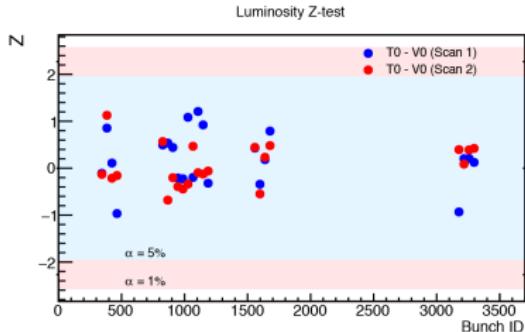
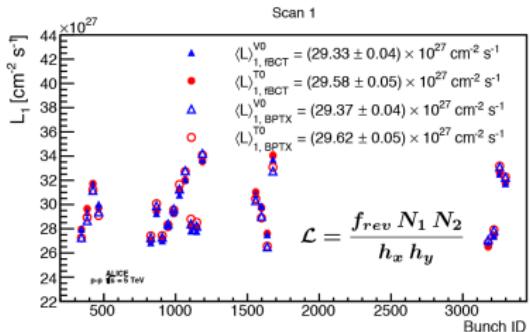
Si verifica la consistenza tra i valori di h^{V0} e h^{T0} per i due scan.



- La consistenza è verificata a meno dello 0.25%.

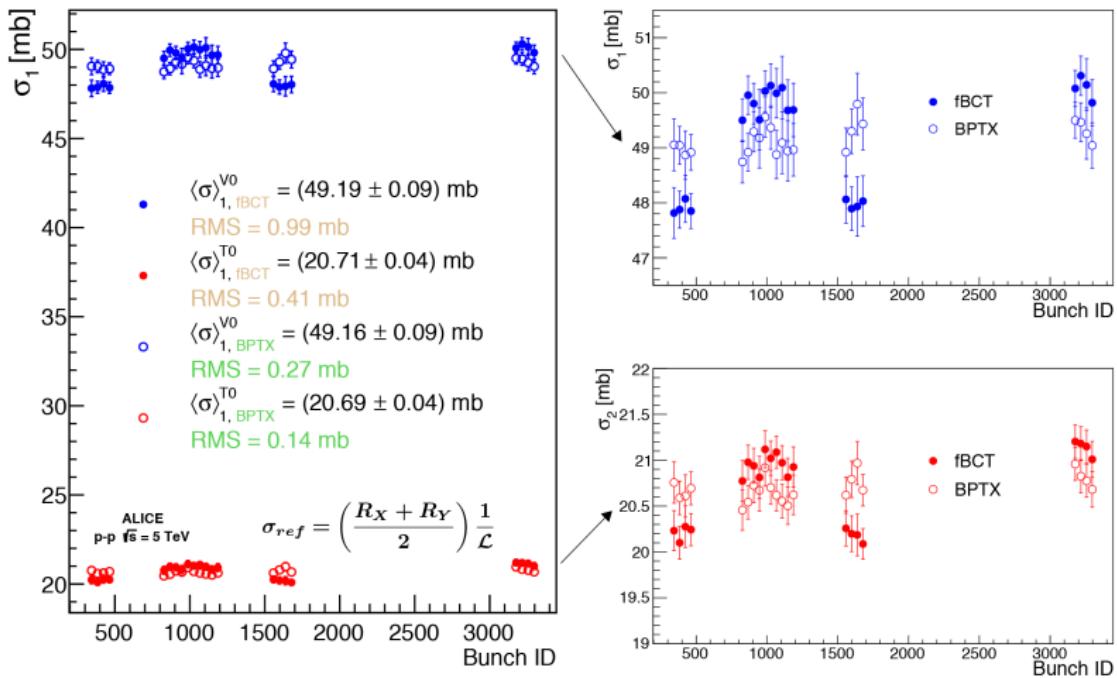
vdM@ALICE - luminosità per coppie di bunch

Sono state calcolate le luminosità misurate dal V0 e dal T0 per i due scan, usando alternativamente fBCT e BPTX per la misura di $N_1 N_2$.



- La consistenza tra \mathcal{L}^{V0} e \mathcal{L}^{T0} è verificata a meno dello 0.3% e, per tutte le coppie di bunch, la differenza tra \mathcal{L}^{V0} e \mathcal{L}^{T0} è sempre $< 2\sigma$.

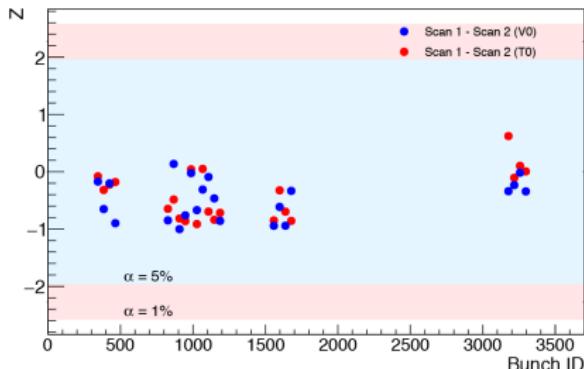
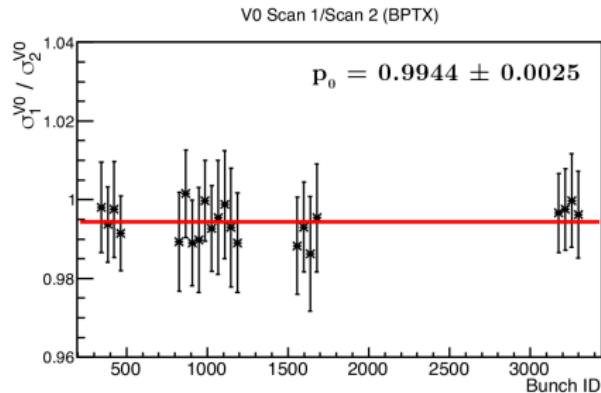
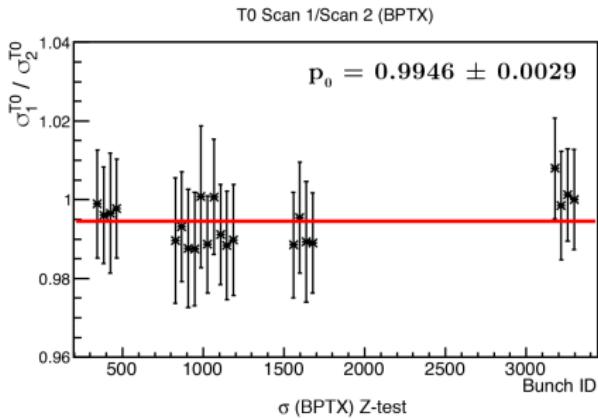
Sono state calcolate le sezioni d'urto di riferimento σ^{V0} e σ^{T0} .



⚠ Emerge un problema di calibrazione degli fBCT, che si manifesta in una diversa sensibilità per slot pari e dispari. L'analisi prosegue usando i valori forniti dal BPTX.

vdM@ALICE - riproducibilità della misura

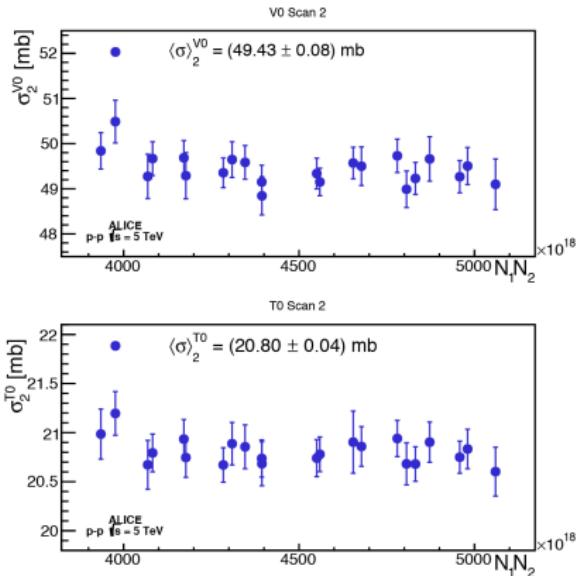
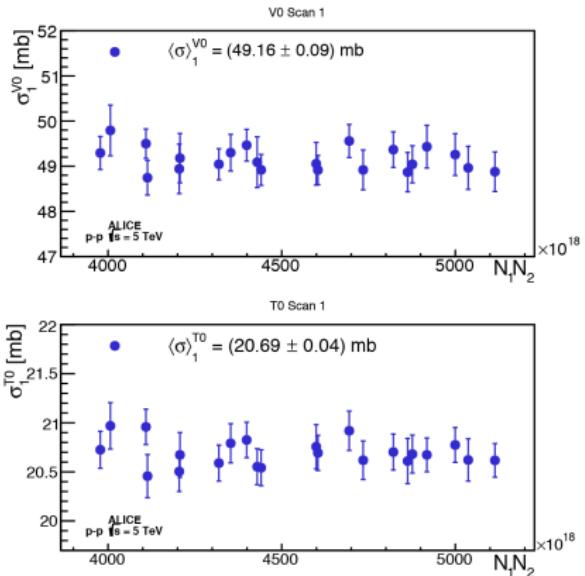
Si verifica la consistenza tra le sezioni d'urto di riferimento σ^{V0} e σ^{T0} tra i due scan.



► La consistenza tra scan e scan è verificata a meno dello 0.6%.

Consistenza tra bunch e bunch e correzione per offset

Mostrando l'andamento di σ^{V0} e σ^{T0} in funzione del prodotto $N_1 N_2$ si osserva una pendenza decrescente.



- Possibile spiegazione per questo comportamento:

Intensità misurata dai BPTX $\leftarrow \textcolor{red}{(S_{i,j})} = N_{i,j} + \textcolor{red}{(O_i)} \rightarrow$ Offset sistematico

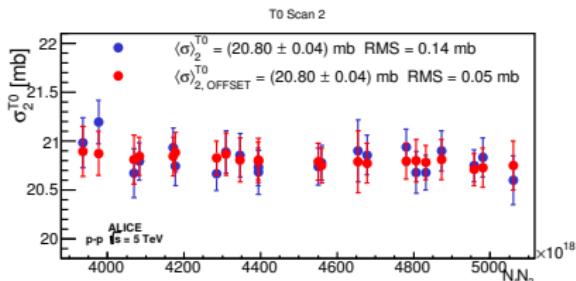
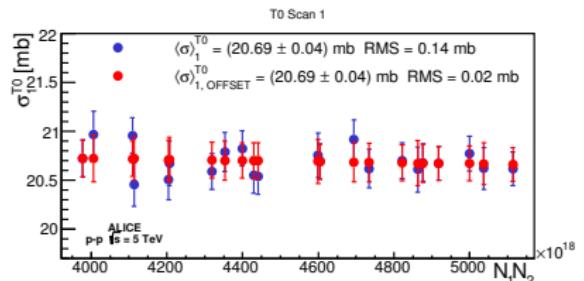
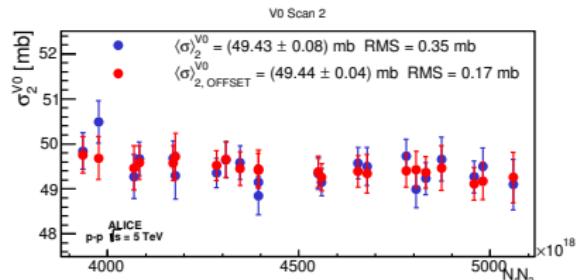
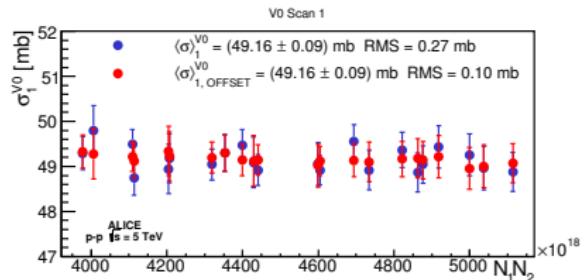
↓

Intensità reale del j-esimo bunch dell'i-esimo fascio

Consistenza tra bunch e bunch e correzione per offset

Per determinare O_i e correggere le sezioni d'urto, è utilizzata la funzione:

$$\text{Norm. al DCCT } I_i \leftarrow \sigma_j = \sigma_0 \frac{\frac{I_1 I_2}{(I_1 - n O_1)(I_2 - n O_2)}}{\frac{(s_{1,j} - O_1)(s_{2,j} - O_2)}{s_{1,j} s_{2,j}}}, \quad n = 44$$



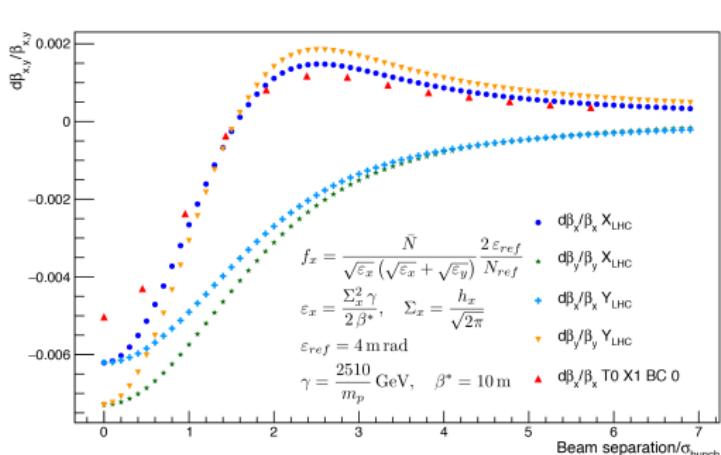
- La correzione lascia quasi invariate le sezioni d'urto (a causa della normalizzazione al DCCT), ma migliora le RMS, cioè la consistenza tra i diversi bunch.

Correzione per β^* dinamico

- La dimensione dei fasci σ dipende da β , funzione degli elementi focalizzanti dell'acceleratore: $\sigma \propto \sqrt{\varepsilon} \beta$.
- L'interazione elettromagnetica tra fasci al momento della collisione si traduce in una mutua (de)focalizzazione dei fasci stessi, alterando β [10].

$$\frac{d\beta_x}{\beta_x} \propto \frac{\bar{N}}{\sqrt{\varepsilon_x} (\sqrt{\varepsilon_x} + \sqrt{\varepsilon_y})}$$

- La variazione di β^* dipende dalla separazione tra i fasci, perturba la luminosità e dunque i rate misurati, deformando le curve del vdm scan.



- Calcoli teorici per valori di N e ε di riferimento;
- Emittanze stimate a partire dalle larghezze h .

Output

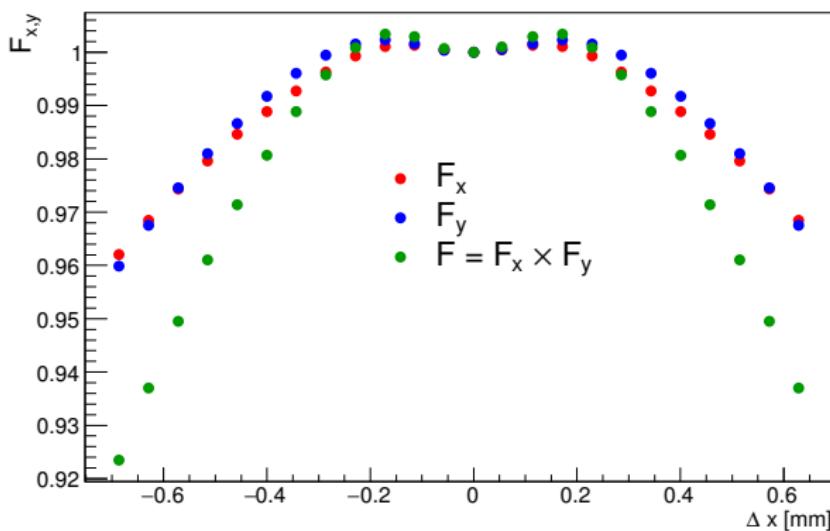
- Scaling factor f_x per $d\beta/\beta$ alle condizioni reali del vdm scan;
- Fattori di correzione F_x al rate misurato;
- Luminosità e sezioni d'urto corrette.

Correzione per β^* dinamico

➡ I rate sono divisi per un fattore di correzione F :

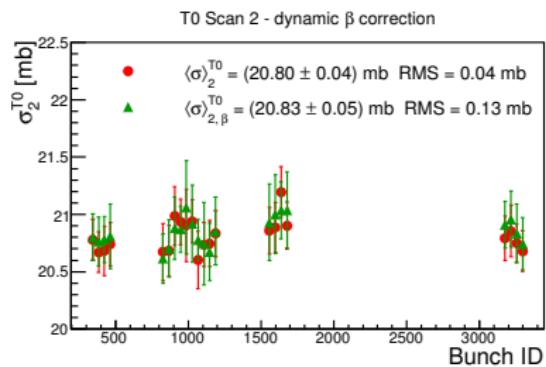
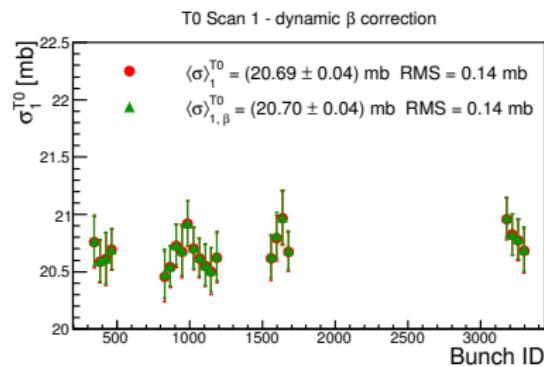
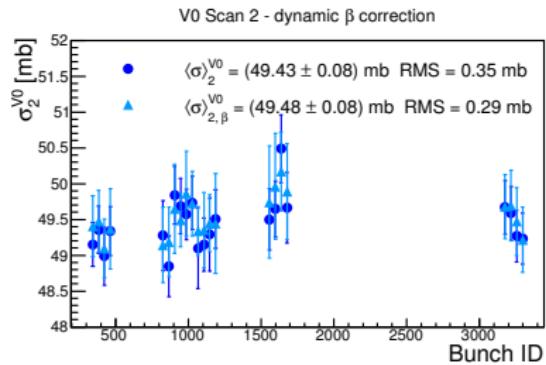
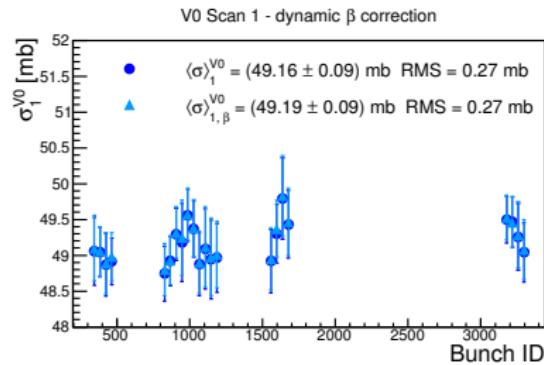
$$F_x = \sqrt{\frac{1 + \frac{d\beta_x}{\beta_x}}{1 + \frac{d\beta_x}{\beta_x} |_{HEAD-ON}}} \sqrt{\frac{1 + \frac{d\beta_y}{\beta_y}}{1 + \frac{d\beta_y}{\beta_y} |_{HEAD-ON}}} \exp \left\{ -\frac{\Delta^2}{2 \Sigma_x^2} \left[1 - \frac{1 + \frac{d\beta_x}{\beta_x} |_{HEAD-ON}}{1 + \frac{d\beta_x}{\beta_x}} \right] \right\}$$

Dynamic β correction factor - T0 Scan X1 BC 0



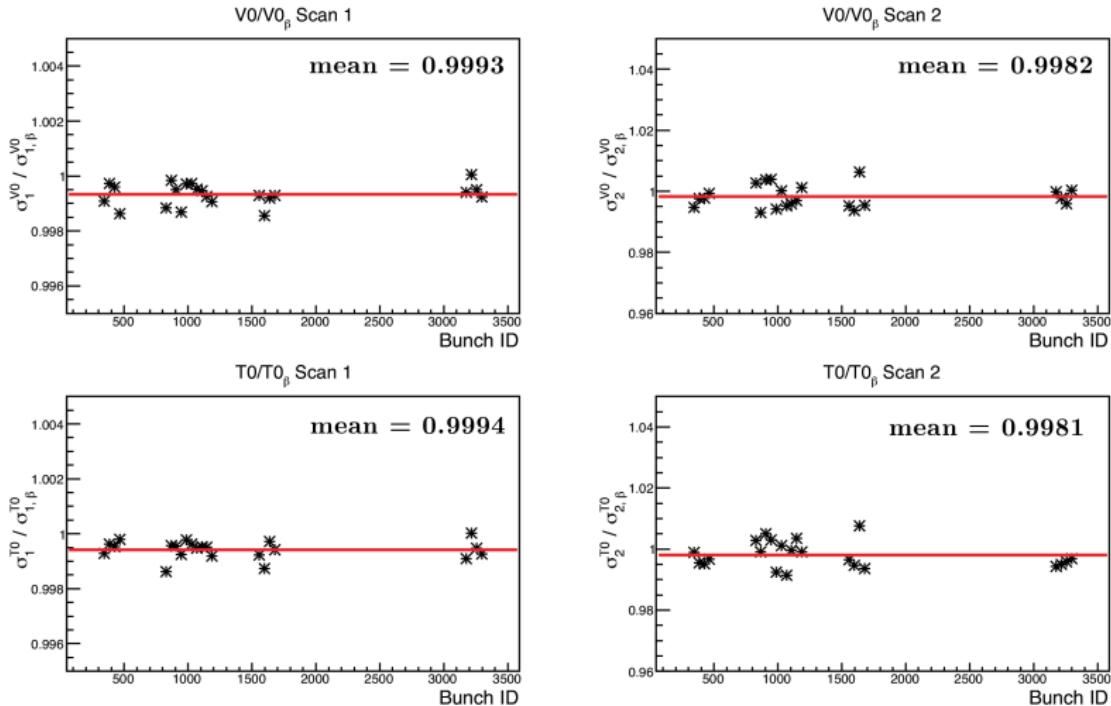
σ_{ref} prima e dopo la correzione

Le sezioni d'urto di riferimento σ^{V0} e σ^{T0} sono ricalcolate con i rate corretti.



Correzione per β^* dinamico

Si valuta l'entità dell'effetto calcolando il rapporto tra le sezioni d'urto prima e dopo la correzione.



► Per tali valori di N e ε l'effetto del β^* dinamico è <0.2%.

Conclusioni e outlook

- » Sono state misurate le sezioni d'urto di riferimento σ_{ref} per due processi. Ogni luminometro ha prodotto 44 σ_{ref} indipendenti.
- » La consistenza tra le procedure di fit è verificata entro lo **0.2%**.
- » Le luminosità \mathcal{L} stimate coi due luminometri sono in accordo entro lo **0.3%**.
- » La riproducibilità della misura da scan a scan è dello **0.6%**.
- » In seguito alla correzione per offset nei misuratori di corrente la compatibilità tra bunch è migliore dello **0.35%**.
- » Il bias dovuto al β^* dinamico è stimato essere <**0.2%**.

Outlook

- » Valutazione degli effetti di non fattorizzazione ($\sim 1\%$).
- » Valutazione della deflessione mutua tra i fasci ($\sim 1\%$).
- » Calibrazione del displacement ($\sim 1\%$).

*Above all, it's creative thinking
that lies at the basis of discoveries.*

S. van der Meer, *De Libero van het CERN*, Jaarboek 1985.

Bibliografia I

- [1] W. Herr, B. Muratori, *Concept of Luminosity*, Proceedings of CAS - CERN Accelerator School: Intermediate Course on Accelerator Physics, Zeuthen, Germany (2003).
- [2] M.A. Furman, *The Møller Luminosity Factor*, LBNL-53553, CBP Note-543 (2003).
- [3] P. Odier et al., *The DCCT for the LHC Intensity Measurement*, Proceedings of DIPAC09, Basel, Switzerland (2009).
- [4] D. Belohrad et al., *Implementation of the Electronics Chain for the Bunch by Bunch Intensity Measurement Devices for the LHC*, Proceedings of DIPAC09, Basel, Switzerland (2009).
- [5] C. Ohm, T. Pauly, *The ATLAS beam pick-up based timing system*, Nucl. Instrum. Methods A 623, 558 (2010).
- [6] S. van der Meer, *Calibration of the effective beam height in the ISR*, CERN-ISR-PO-68-31 (1968).

Bibliografia II

- [7] The ALICE Collaboration, *Performance of the ALICE Experiment at the CERN LHC*, Int. J. Mod. Phys. A29 (2014).
- [8] The ALICE Collaboration et al., *The ALICE experiment at the CERN LHC*, JINST 3 S08002 (2008).
- [9] ALICE Collaboration (P.Cortese et al.), *ALICE Technical Design Report on Forward Detectors: FMD, T0 and V0*, CERN-LHCC-2004-025, ALICE-TDR-011 (2004).
- [10] W. Herr, T. Pieloni, *Beam-Beam Effects*, Proceedings of CAS - CERN Accelerator School: Advanced Accelerator Physics, Trondheim, Norway, Zeuthen, Germany (2013).

Grazie!

Martino, Gabriella, Daniele, Nicolò I., Simone, Amair, Michele,
Riccardo, Andrea C., Eugenio, Chiara, Sara, Andrea S., Maria
Vittoria, David, Andrea B., Alessandro, Alessandra A., Elisa,
Luca, Miriana, Tiziana, Samuel, Lorenzo B., Martina, Setareh,
Raquel, Valerio, Marco, Vittorio, Gabriele, Leonardo, Lorenzo P.,
Giacomo, Stefano, Alberto, Federico, Nicolò A., Alessandra L.,
Sabrina, Timo, James, Sofia, Jyri, Binod, VJ, Lorenzo G. e
Marianna.