

# Misure di luminosità e sezioni d'urto di riferimento nell'esperimento ALICE tramite van der Meer scan

Mattia Ivaldi

Università degli Studi di Torino — mattia.ivaldi@edu.unito.it

## Abstract

Presentato nel 1968 [1], il van der Meer scan è, ad oggi, il metodo non invasivo più usato per misure di luminosità ai collider. Il vdM scan si effettua in sessioni apposite, in cui si misurano con precisione sezioni d'urto di riferimento, usate poi per la misura indiretta della luminosità durante i periodi di presa dati standard.

## Luminosità

Sia  $\sigma_\varphi$  la sezione d'urto di produzione della particella  $\varphi$  in un determinato esperimento condotto tramite un collider. Il rate di produzione di  $\varphi$  è dato da  $R_\varphi = L \sigma_\varphi$  dove  $L$  prende il nome di *luminosità* e rappresenta il rate per sezione d'urto unitaria. È noto [2] che, dati due fasci collidenti, è possibile scrivere la luminosità infinitesima nel SdR del fascio 1 come  $dL = \rho_1 \rho_2 K dV_2$ , dove  $\rho_{1,2}$  sono le rispettive densità,  $dV_2$  è il volume del fascio 2 e  $K$  è il fattore di Möller. Integrando rispetto a spazio e tempo la quantità  $dL$  si ottiene la luminosità integrata per bunch crossing, moltiplicando quest'ultima per  $f_{rev}$  si ottiene la luminosità effettiva del collider:

$$\begin{aligned} \mathcal{L} &= f_{rev} K \iint \rho_1(x, y, z, t) \rho_2(x, y, z, t) dV dt \\ &= f_{rev} N_1 N_2 K \iint f_1(x, y, z, t) f_2(x, y, z, t) dV dt \end{aligned} \quad (1)$$

dove  $f_{1,2}$  sono distribuzioni di probabilità normalizzate a 1. Assumendo che:

- la forma dei due bunch sia invariante per traslazioni rigide nella direzione di propagazione ( $z$ );
- i fasci siano collineari;
- le densità di particelle nelle tre direzioni spaziali siano fattorizzabili;
- entrambi i bunch presentino forma gaussiana in  $z$ ;

si ottiene il *beam overlap integral*:

$$\mathcal{L} = f_{rev} N_1 N_2 \iint f_{1x}(x) f_{1y}(y) f_{2x}(x) f_{2y}(y) dx dy \quad (2)$$

Definendo le *effective beam widths*  $h_{x,y}$  come:

$$\frac{1}{h_{x,y}} = \int f_{1x,y}(x, y) f_{2x,y}(x, y) dx, y \quad (3)$$

la luminosità effettiva del collider si riscrive come:

$$\mathcal{L} = \frac{f_{rev} N_1 N_2}{h_x h_y} \quad (4)$$

## van der Meer scan

Siano  $\rho_{1,2}(x_i) = N_{1,2} f_{1,2}^{x_i}(x_i)$  le densità di particelle nella direzione trasversa  $x_i$ , si ha:

$$h_{eff} = \frac{\int \rho_1(x_i) dx_i \int \rho_2(x_i) dx_i}{\int \rho_1(x_i) \rho_2(x_i) dx_i} \quad (5)$$

Ora, si immagini di spostare i fasci dalla condizione di *head-on* introducendo un off-set  $h$  lungo  $x$  o  $y$  e misurare il rate di collisioni al variare di  $h$ .

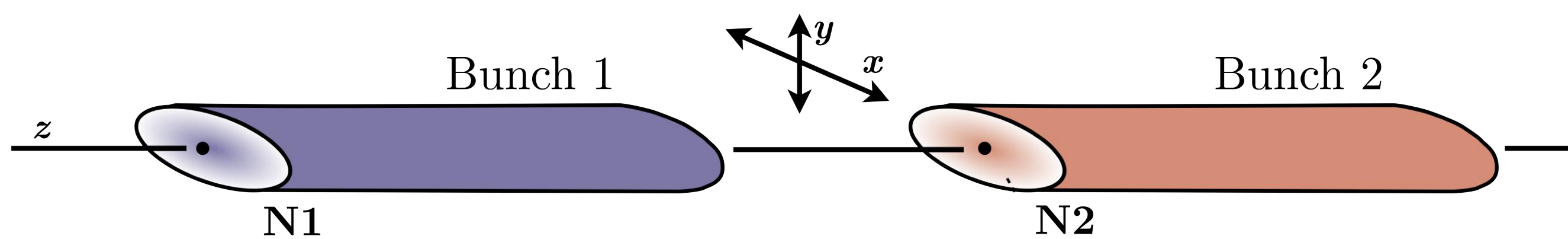


Figura 1: Due bunch collidenti in LHC lungo la direzione  $z$ .

È possibile dimostrare [1] che la quantità  $h_{eff}$  è pari al rapporto tra l'integrale della curva  $R(h)$  e il suo valore massimo:

$$h_x = \int \frac{R(\Delta x, 0)}{R(0, 0)} dx, \quad h_y = \int \frac{R(0, \Delta y)}{R(0, 0)} dy \quad (6)$$

dove  $R(\Delta x, 0)$  e  $R(0, \Delta y)$  sono le curve  $R(h)$ , quando l'off-set viene introdotto rispettivamente lungo le direzioni  $x$  e  $y$  e  $R(0, 0)$  è il rate di bunch *head-on*. Un evento anelastico che soddisfa una precisa condizione di trigger è denominato processo di riferimento. Sia allora  $\varepsilon$  la percentuale di processi di riferimento sul totale degli eventi anelastici ( $\sigma_{inel}$ ), la sezione d'urto di riferimento (o visibile) è definita come  $\sigma_{ref} = \varepsilon \sigma_{inel}$ . Determinata la luminosità di un processo di riferimento tramite van der Meer scan, la sua sezione d'urto è pari a:

$$\sigma_{ref} = \frac{R(0, 0)}{\mathcal{L}} \quad (7)$$

La luminosità **non** dipende dal processo con il quale la si misura! Se, ad esempio, si intende conoscere la sezione d'urto di produzione di  $J/\Psi$  è sufficiente conoscere il numero di  $J/\Psi$  prodotte e dividerlo per la luminosità determinata con un processo di riferimento.

## Referenze

- [1] S. van der Meer, *Calibration of the effective beam height in the ISR*, CERN, Geneva, <http://cds.cern.ch/record/296752/files/196800064.pdf>, 1968  
[2] W. Herr, B. Muratori, <https://cdsweb.cern.ch/record/941318/files/p361.pdf>, 2010

## vdM@ALICE

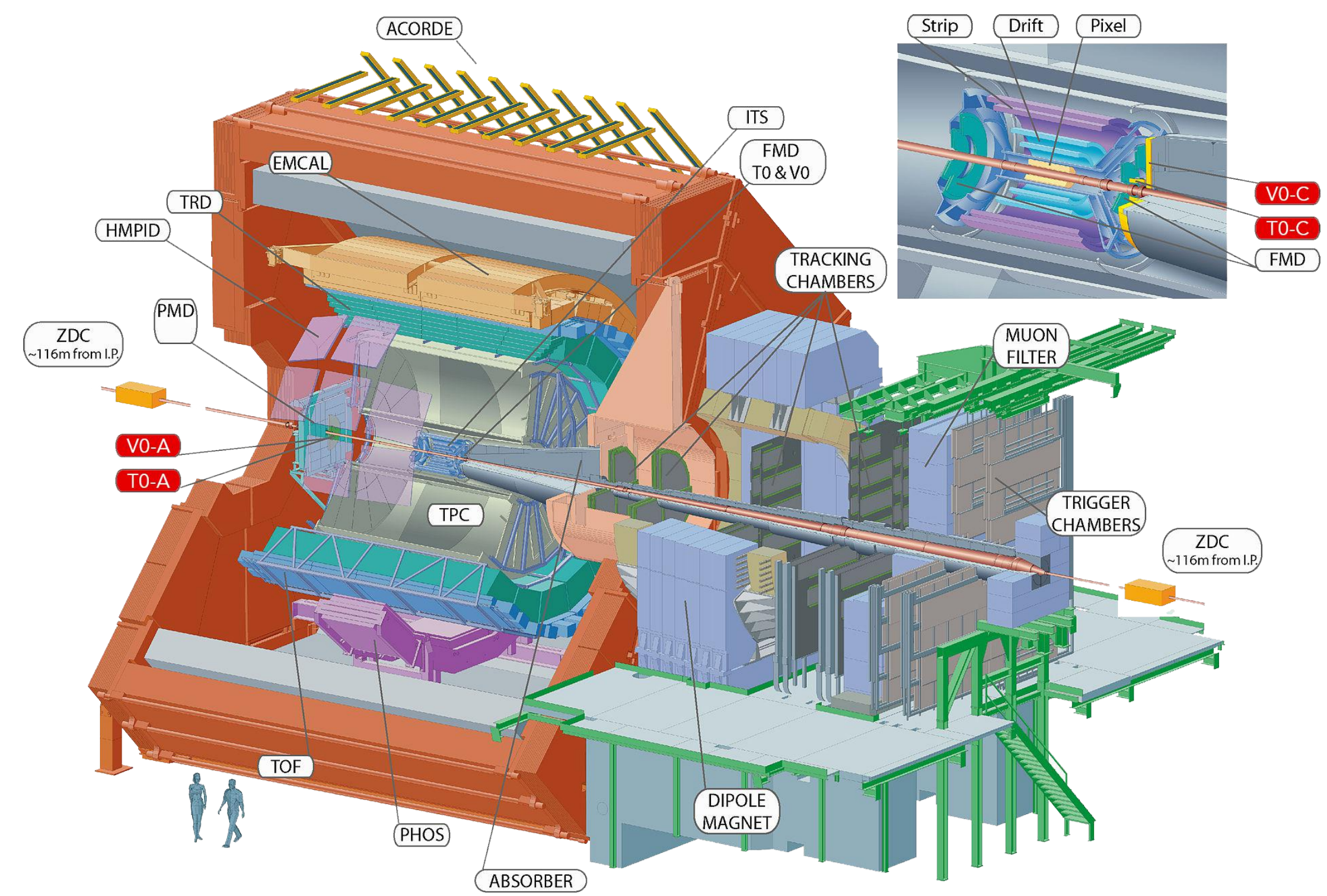


Figura 2: Setup dell'esperimento ALICE.

Le intensità dei fasci e dei bunch sono misurate utilizzando [3]:

DCCT: magnetometri di tipo fluxgate, 2 per fascio.

FBCT: trasformatori Bergoz con larghezza di banda compresa tra 400 Hz e 1.2 GHz, 2 per fascio.

Si consideri il vdM scan del 2013 (p-Pb + Pb-p,  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV), il trigger è [4]:

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 ( $z = 0$  nominal IP position).

Sono mostrati il rate grezzo in funzione del tempo e il rate corretto (beam-gas, beam-satellite, pileup, beam-intensity decay) in funzione della separazione tra i fasci per il run p-Pb e rivelatore T0 – la situazione per Pb-p e V0 è analoga.

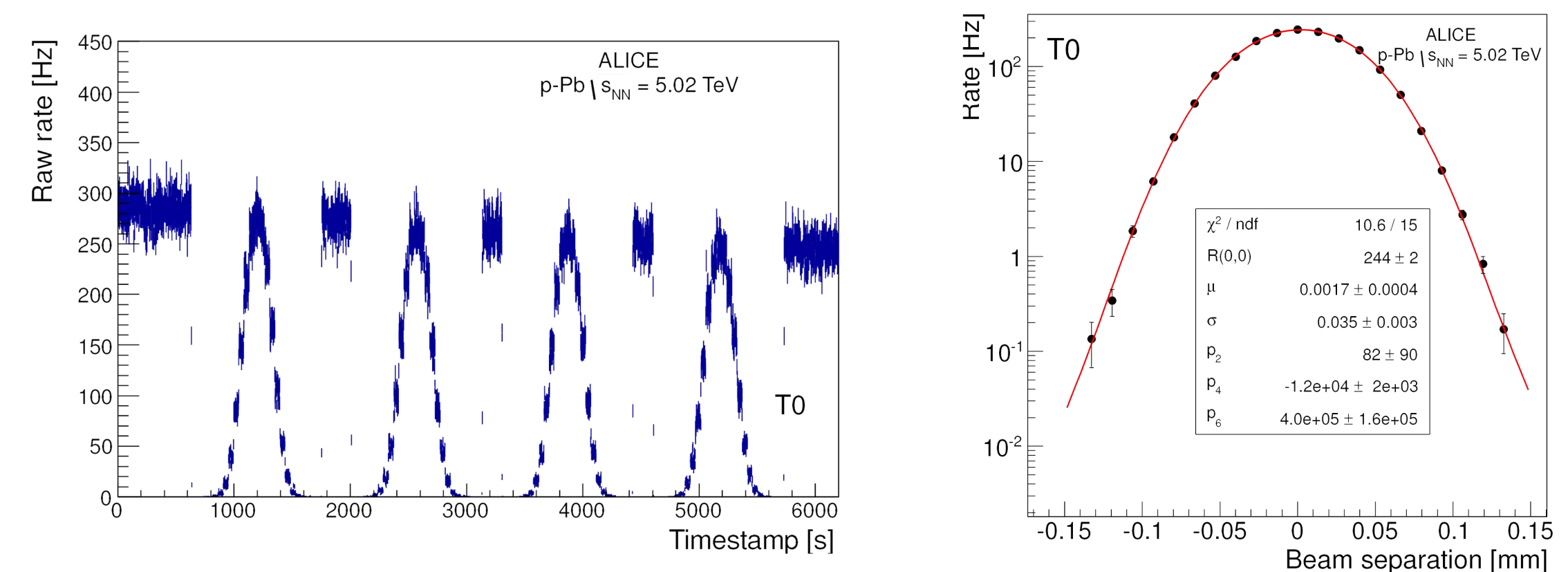


Figura 3: Rate grezzo in funzione del tempo e rate corretto in funzione della separazione tra i fasci per una coppia di bunch collidenti, per il run run p-Pb e rivelatore T0 [4].

Sono effettuati due scan per ogni run e le sezioni d'urto sono determinate tramite fit e tramite approccio numerico, calcolandone la media. Tali valori sono, poi, corretti considerando le possibili fonti di incertezze sistematiche: *transverse correlation*, *bunch-by-bunch consistency*, *scan-to-scan consistency*, *length-scale calibration*, *background subtraction*, *beam centering*, *bunch intensity et alia*. Si ottiene un'incertezza sistematica del 3.5% per lo scan p-Pb e del 3.2% per lo scan Pb-p. Si ottengono i risultati [4]:

$$\sigma_{V0}^{p-Pb} = (2.09 \pm 0.07) \text{ b}, \quad \sigma_{T0}^{p-Pb} = (1.59 \pm 0.06) \text{ b} \quad (8)$$

$$\sigma_{V0}^{Pb-p} = (2.12 \pm 0.07) \text{ b}, \quad \sigma_{T0}^{Pb-p} = (1.59 \pm 0.05) \text{ b} \quad (9)$$

Poiché il SdR del centro di massa delle collisioni p-Pb e Pb-p è differente e differisce dal SdR di ALICE e data l'asimmetria dei rivelatori non c'è motivo di attendere identiche sezioni d'urto per le due configurazioni. Per questo motivo  $\sigma_{V0,T0}^{p-Pb}$  e  $\sigma_{V0,T0}^{Pb-p}$  non sono combinate. Le sezioni d'urto (8) e (9) sono state utilizzate per determinare la luminosità integrata durante la presa dati del 2013 relativa ai run p-Pb e Pb-p, ottenendo valori tra loro sempre compatibili per tutta la durata della presa dati.

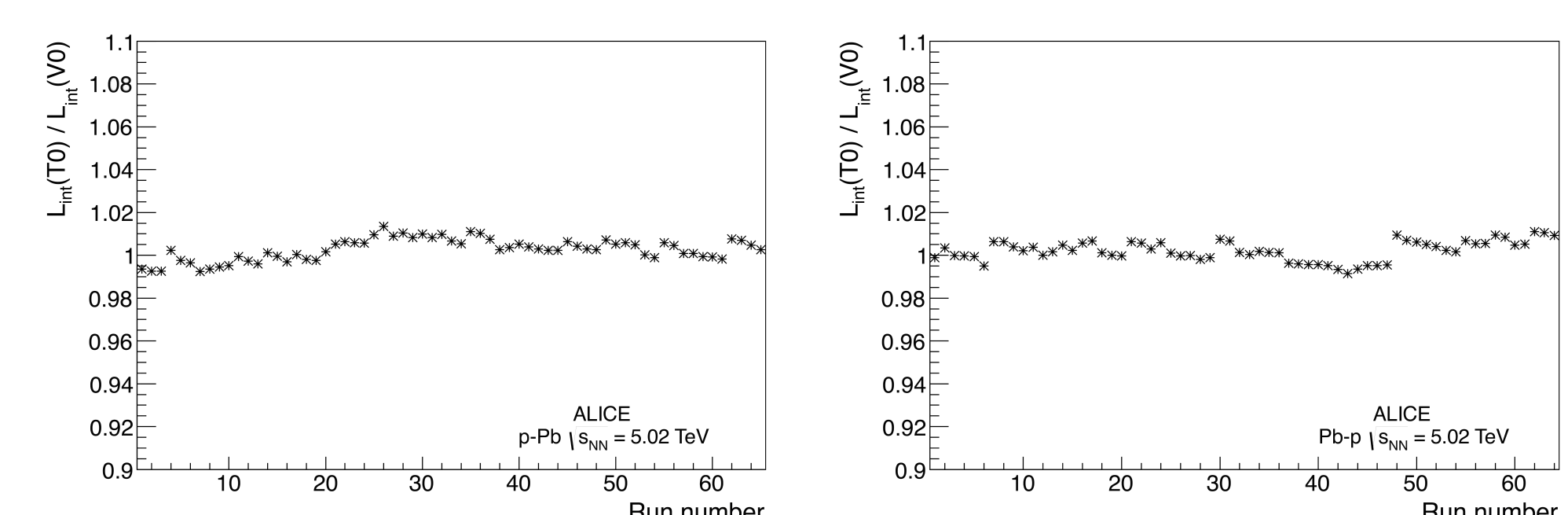


Figura 4: Rapporto  $L_{int}(T0)/L_{int}(V0)$  in funzione del numero di run (p-Pb e Pb-p) per la presa dati 2013 [4].

- [3] ALICE Collaboration, *Measurement of visible cross sections in proton-lead collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$  TeV in van der Meer scans with the ALICE detector*, JINST 9 (2014), 1100  
[4] J.-J. Gras, D. Belohrad, P. Odier, *Optimization of the LHC beam current transformers for accurate luminosity determination*, CERN, Geneva, <https://cds.cern.ch/record/1379466/files/CERN-ATS-2011-063.pdf>, 2011