

Misura della luminosità di LHC

V Workshop italiano
sulla fisica p-p ad LHC

Questo Workshop è il quinto della serie iniziata a Pisa nel 2003, con lo scopo di creare un proficuo scambio di idee tra le comunità sperimentali di ATLAS, CMS, e questa volta anche di LHCB e ALICE, operanti in modo particolare sulla fisica delle interazioni p-p ad LHC, dando largo spazio a contributi dei ricercatori più giovani. Con l'approssimarsi della partenza di LHC, particolare interesse assumono per questa edizione tutte le tematiche di analisi previste, con l'intervento per ognuna anche di giovani colleghi teorici per favorire una maggiore sinergia tra teorici e sperimentali sulla "fisica" di LHC.

Comitato Scientifico

L. Foà	G. Mantovani
G. Bilei	M. Calvi
P. Campana	M. Curatolo
M. Diemoz	U. Dosselli
F. Ferroni	F. Giacotti
M. Mangano	L. Mandelli
G. Polesello	G. Rolandi
R. Tenchini	G. Tonelli

Comitato Organizzatore Locale

G. Mantovani	M. Biasini
B. Caponeri	L. Fanò
A. Santocchia	L. Servoli

Congress Hotel Giò **PERUGIA**
30 Gennaio - 2 Febbraio 2008

Web: www.pg.infn.it/pplhc08
E-mail: pplhc08@pg.infn.it

CONTACTS:
Phone: +39 075 5852715
Fax: +39 075 44666



Foto: S. Caprini

Michele DE GRUTTOLA (*CMS Napoli*)
Mauro VILLA (*ATLAS Bologna*)
Stefano DE CAPUA (*LHCB CERN*)
Fabrizio FERRO (*TOTEM Genova*)



- La luminosità e i metodi di misura
- Misure sui fasci
- Misure assolute integrate
- Misure su canali noti
- Luminosità istantanea e tecniche sperimentali
- Problemi aperti/Conclusioni

La luminosità e i metodi di misura

- Luminosità istantanea e integrata
- Motivazioni
- Misure dirette e indirette

Misure sui fasci

- Il metodo *van der Meer* per LHC
- Il metodo *beam-gas* (LHCb)

Misure assolute integrate

Misure su canali noti

Luminosità istantanea e tecniche sperimentali

Problemi aperti/Conclusioni

Stefano DE CAPUA (LHCb CERN)

La luminosità



In una macchina acceleratrice, la luminosità è uno dei parametri fondamentali per caratterizzarne le prestazioni

□ La **luminosità istantanea** di un acceleratore è definita dal numero di particelle collidenti per unità d'area e per unità di tempo.

$$L(t) = \frac{f \sum_{i=1}^{k_b} N_{1i} N_{2i}}{4\pi\sigma_x \sigma_y}$$

(caso ideale)

□ La **luminosità integrata** è definita dall'integrale rispetto al tempo della luminosità istantanea.

$$\mathcal{L} = \int_{t_0}^{t_1} \mathcal{L}(t) dt$$

Bunch population	Number of bunches	Bunch spacing	Mode	Experiment (not exclusive)	IP beta	Luminosity [cm ⁻² s ⁻¹]
<i>(a) Collision studies with single pilot bunch, no crossing angle</i>						
5×10 ⁹	1	n/a	p-p	ATLAS/CMS	18 m	2.5×10 ²⁶
					1.2 m	3.7×10 ²⁷
				ALICE, LHC-b	10 m	4.4×10 ²⁶
<i>(b) Collision studies with single higher intensity bunch, no crossing angle</i>						
2.75×10 ¹⁰	1	n/a	p-p	ATLAS/CMS	1.2 m	1.1×10 ²⁹
1.15×10 ¹¹					0.55 m	4.3×10 ³⁰
				ALICE	10 m	2.4×10 ²⁹
				LHC-b	35 m	6.7×10 ²⁸
<i>(c) Early p-p luminosity run (different scenarios)</i>						
2.75×10 ¹⁰	43	2.025 μs	p-p	ATLAS/CMS	1.2 m	4.8×10 ³⁰
1.15×10 ¹¹						8.4×10 ³¹
4.0×10 ¹⁰	2808	25 ns				6.5×10 ³²
1.15×10 ¹¹						936
<i>(d) Nominal p-p luminosity run</i>						
1.15×10 ¹¹	2808	25 ns	p-p	ATLAS/CMS	0.55 m	1.0×10 ³⁴
				LHC-B	35 m	1.9×10 ³²
				ALICE ¹	10 m	≤3.0×10 ³⁰

Le motivazioni

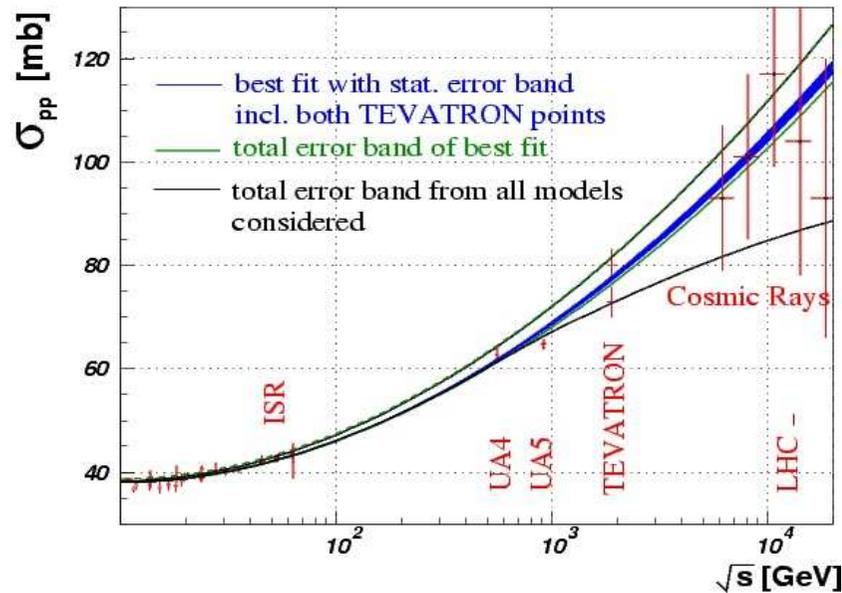


- Consente di monitorare le prestazioni della macchina e le condizioni di stabilità dei fasci collidenti.
- La luminosità istantanea fornisce informazioni sul tasso di eventi, mentre quella integrata sul numero totale di eventi.
- Permette di determinare la sezione d'urto di un processo fisico: $R=L\sigma$
 - Test di modelli di produzione di quark pesanti (tt , bb , cc).
 - Fornisce una normalizzazione globale per le analisi di fisica, necessaria per studi di nuova fisica.
 - Misura delle Funzioni di Distribuzione Partonica (PDF).
 - Calcolo della sezione d'urto totale pp , confronto con i raggi cosmici.
 - Etc.

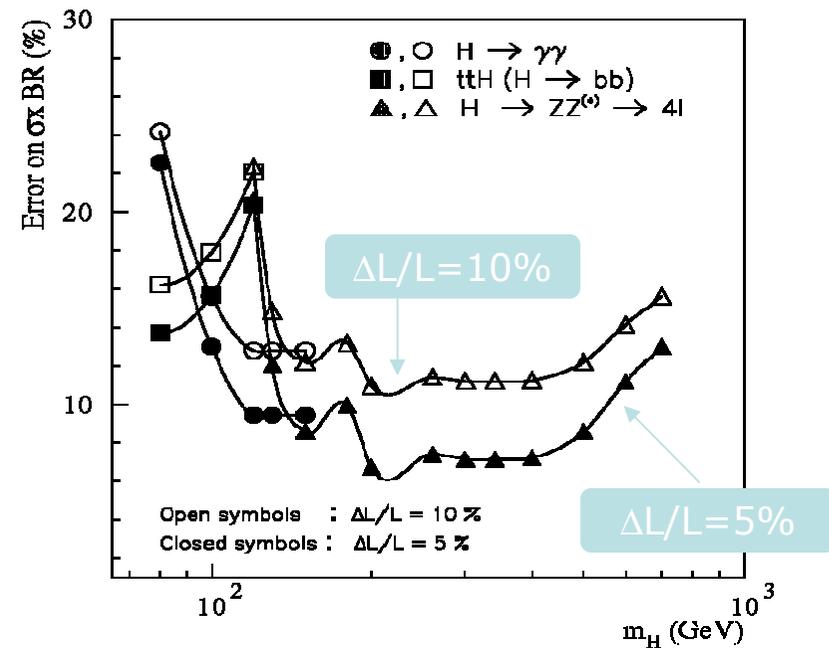
Le motivazioni (II)



Sezione d'urto totale pp.



Errori sistematici dominati dalla luminosità.



I metodi di misura



- Misura di luminosità diretta (dalle proprietà del fascio):
 - Metodo di Van der Meer
 - Wire Method
 - Luce di sincrotrone

- Misura di luminosità indiretta:
 - Teorema ottico
 - Confronto con sezioni d'urto calcolate teoricamente
 - Sezione d'urto di riferimento (precedentemente determinata)

Il metodo di van der Meer



Dati 2 fasci di particelle di eguale altezza e larghezza collidenti nel piano orizzontale con angolo α , si puo dimostrare che:

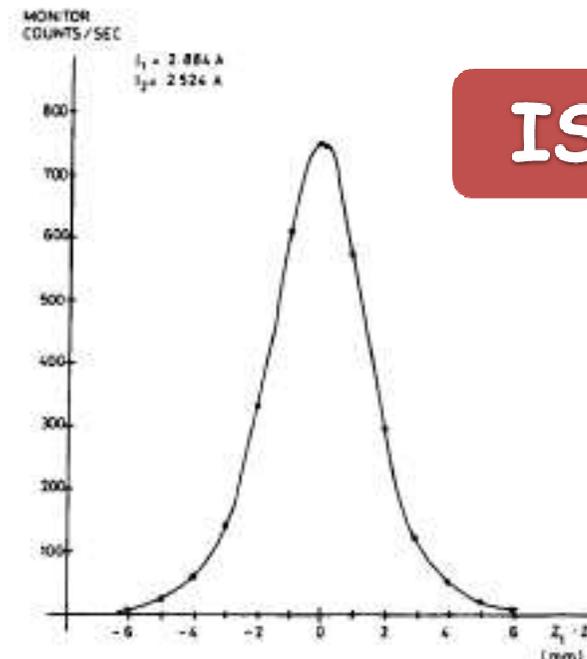
$$\mathcal{L}(t) = \frac{I_1 I_2}{c e^2 h_{\text{eff}}(t) \tan(\alpha/2)}, \quad h_{\text{eff}}(t) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \rho_1(z) dz \int_{-\infty}^{+\infty} \rho_2(z) dz}{\int_{-\infty}^{+\infty} \rho_1(z) \rho_2(z) dz}$$

Metodo di van der Meer:

Misurando il tasso di conteggio in funzione della distanza verticale h tra i due fasci, si ottiene una curva che ha un massimo per $h=0$.

Van der Meer dimostrò che:

$$h_{\text{eff}} = \frac{\text{area sotto la curva}}{\text{valore della curva ad } h = 0}$$

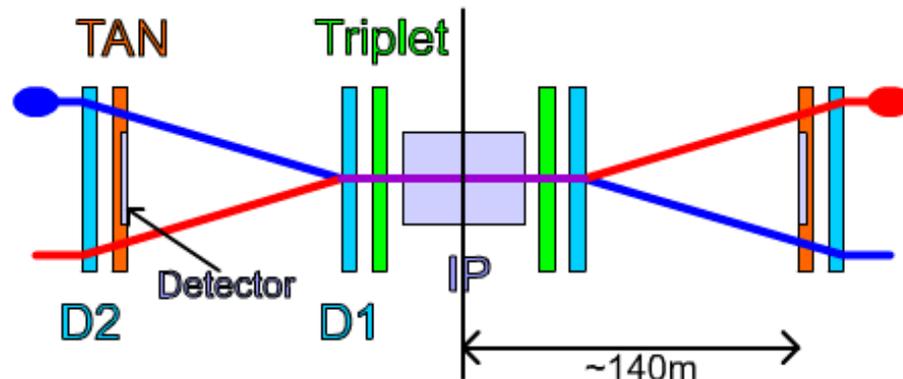


BRAN: LHC collision rate monitor



$$L = \underbrace{\frac{N_{b1} N_{b2} f_{rev} k_b}{2\pi \sqrt{(\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2)(\sigma_{y1}^2 + \sigma_{y2}^2)}}}_{\text{Beam parameters}} \cdot \exp \left[\underbrace{-\frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{2(\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2)} - \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)^2}{2(\sigma_{y1}^2 + \sigma_{y2}^2)}}_{\text{Beam offsets}} \right]$$

Troppi parametri per determinare la luminosità dalle osservabili del fascio \Rightarrow è necessario un **monitor dedicato**. BRAN misura il tasso di collisioni rivelando il flusso in avanti delle **particelle neutre** generate dalle interazioni.



Errore previsto $\sim 10\%$

N.B. Per determinare la scala delle distanze sono necessari gli esperimenti !

BRAN: i rivelatori



Il rivelatore utilizzato deve essere in grado di:

1. Sostenere alte dosi di radiazione (1 Ggy)
2. Fare misure bunch per bunch (40 MHz)

Si sono adottate **due tecnologie** diverse, ognuna delle quali performante su uno dei due punti.

1. Atlas & CMS : fast ionization chamber

formata da 7 piatti paralleli con celle di gas di spessore 1mm e superficie 90x90 mm². Il rivelatore è inserito in un contenitore alla pressione di circa 10 bar (94% Ar e 6% N₂).



2. Alice & LHCb : sensori a stato solido (CdTe)

rivelatori policristallini Cadmium-Telluride con dischi di diametro di 16 mm e spessore di 380 μ m.



LHCb: il metodo beam-gas



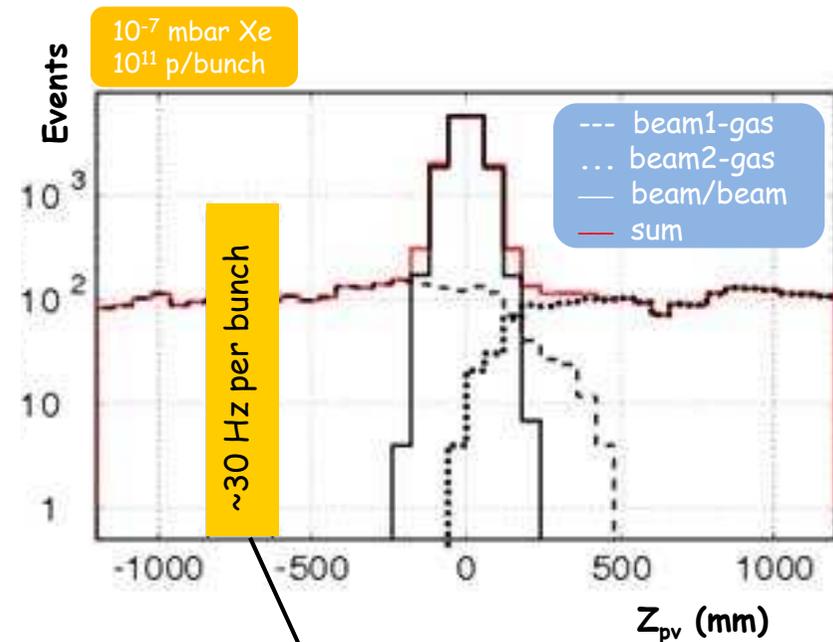
$$L = f \underline{N_1 N_2} \cos^2(\underline{\varphi/2}) \int \underline{\rho_1(\vec{x}, t)} \underline{\rho_2(\vec{x}, t)} d^3x dt$$

☒ measured by AB group

☒ measured by LHCb

Il metodo:

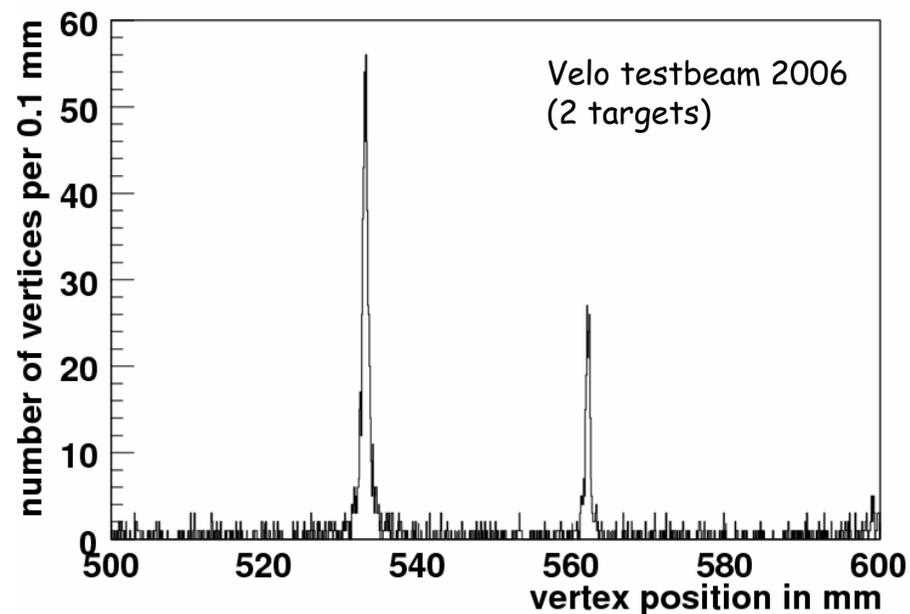
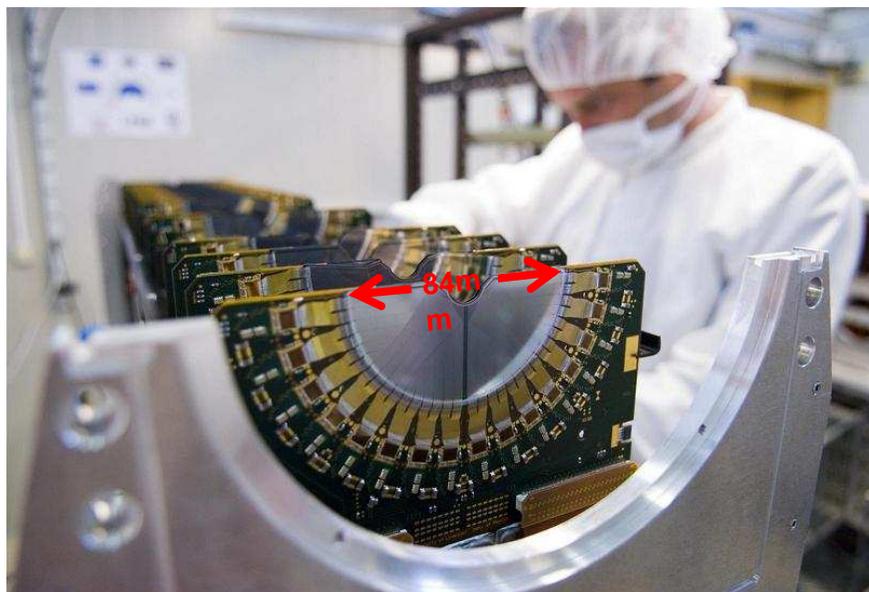
- ☐ Iniettare una piccola quantità di gas (per es. Xenon) nella regione del rivelatore di vertice.
- ☐ Ricostruire i vertici della interazione tra il bunch e il gas.
 - determinare gli angoli dei fasci, i profili e le posizioni relative.
 - calcolare l'integrale di sovrapposizione.
- ☐ Necessità di Run dedicati:
 - passo iniziale: usare il gas residuo.



LHCb: il metodo beam-gas (II)



- Simultaneamente si possono ricostruire i vertici bunch-bunch e calibrare una sezione d'urto di riferimento (es. $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$).
- Il canale di riferimento potrà quindi essere utilizzato per monitorare la luminosità in maniera continua durante i Run di fisica.



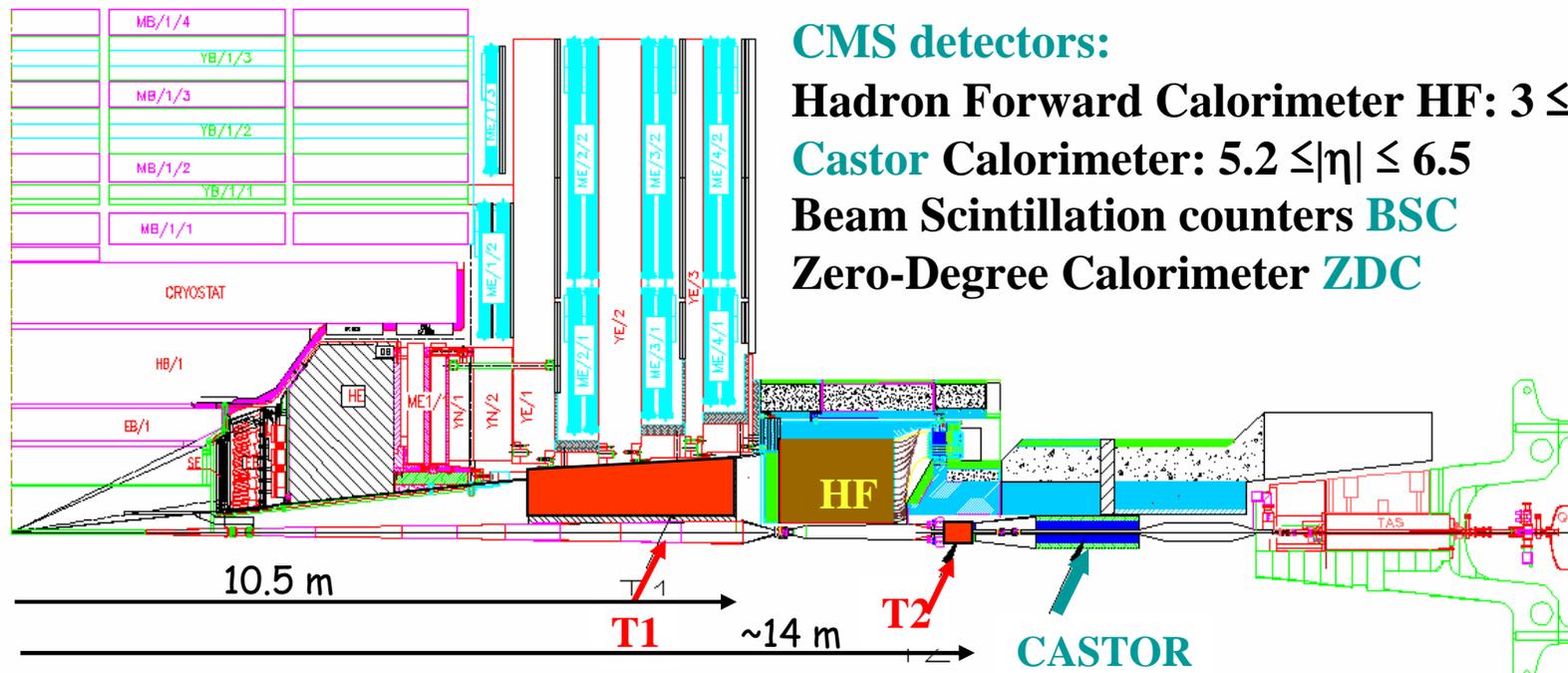
Sommario 2^a parte



- La luminosità e i metodi di misura
- Misure sui fasci
- Misure assolute integrate
 - TOTEM e ATLAS Roman Pots
 - Sezione d'urto totale
 - Scattering elastico e ottiche dedicate
 - Estrapolazioni
- Misure su canali noti
- Luminosità istantanea e tecniche sperimentali
- Problemi aperti/Conclusioni

Fabrizio FERRO (*TOTEM Genova*)

Forward Detectors @ CMS/Totem



CMS detectors:

Hadron Forward Calorimeter HF: $3 \leq |\eta| \leq 5$

Castor Calorimeter: $5.2 \leq |\eta| \leq 6.5$

Beam Scintillation counters BSC

Zero-Degree Calorimeter ZDC

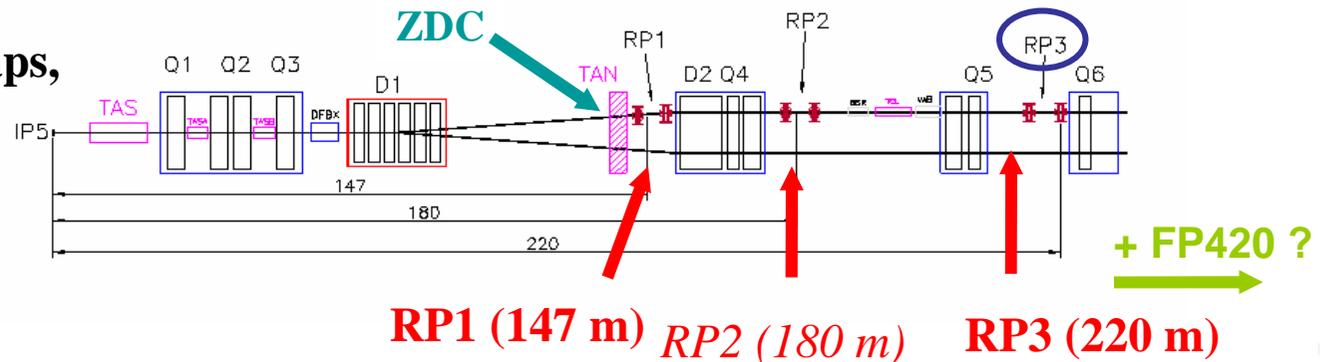
TOTEM detectors:

T1 (CSC) in CMS endcaps,

T2 (GEM) dietro HF

T1 + T2: $3 \leq |\eta| \leq 6.8$

Roman Pots con Si det.



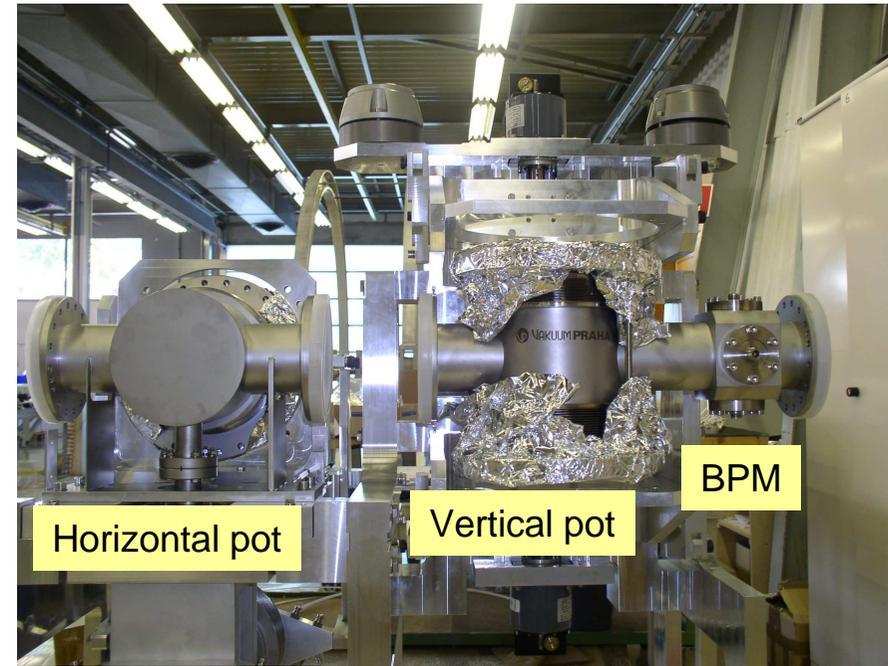
RP1 (147 m) RP2 (180 m) RP3 (220 m)

TOTEM: Roman Pots e rivelatori al Si



10 planes of edgeless detectors

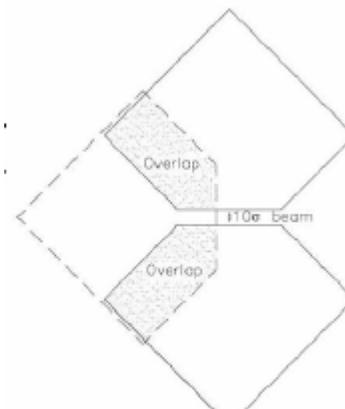
- Proton detection a una distanza minima di $10\sigma_{\text{fascio}} + d$ (bordo fisico del rivelatore)
- Necessari rivelatori edgeless per minimizzare d : Silicon strip edgeless detectors (bordo di $\sim 50\mu\text{m}$)
- $\sigma_{\text{fascio}} \sim 0.1 - 0.5 \text{ mm}$ (a seconda dell'ottica)
- Risoluzione $\sim 20\mu\text{m}$



Horizontal pot

Vertical pot

BPM



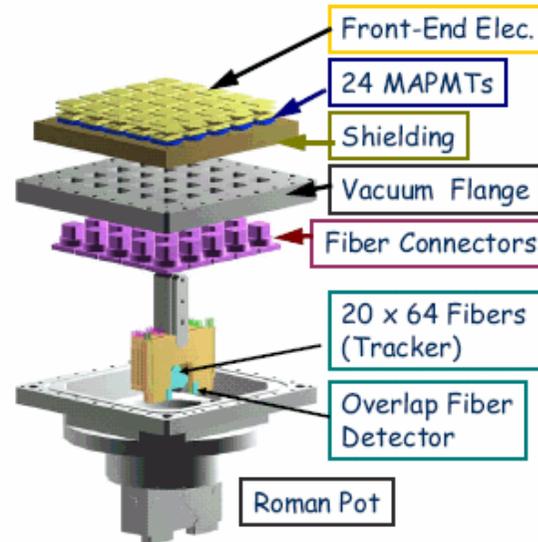
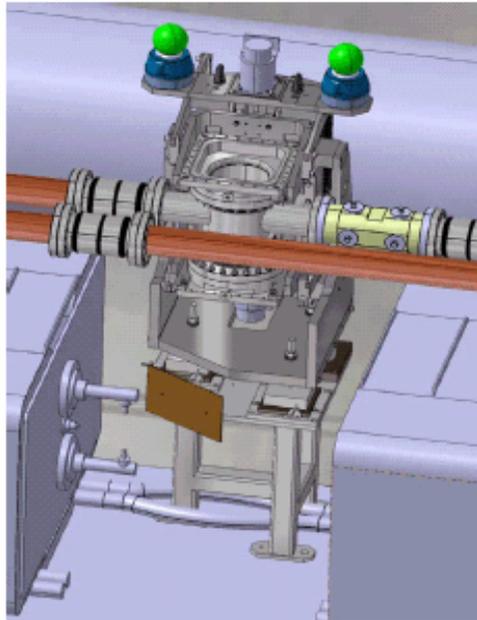
Overlap of vertical and horizontal dets.

TOTEM RPs pronte,
in fase di
installazione

ATLAS: ALFA detector



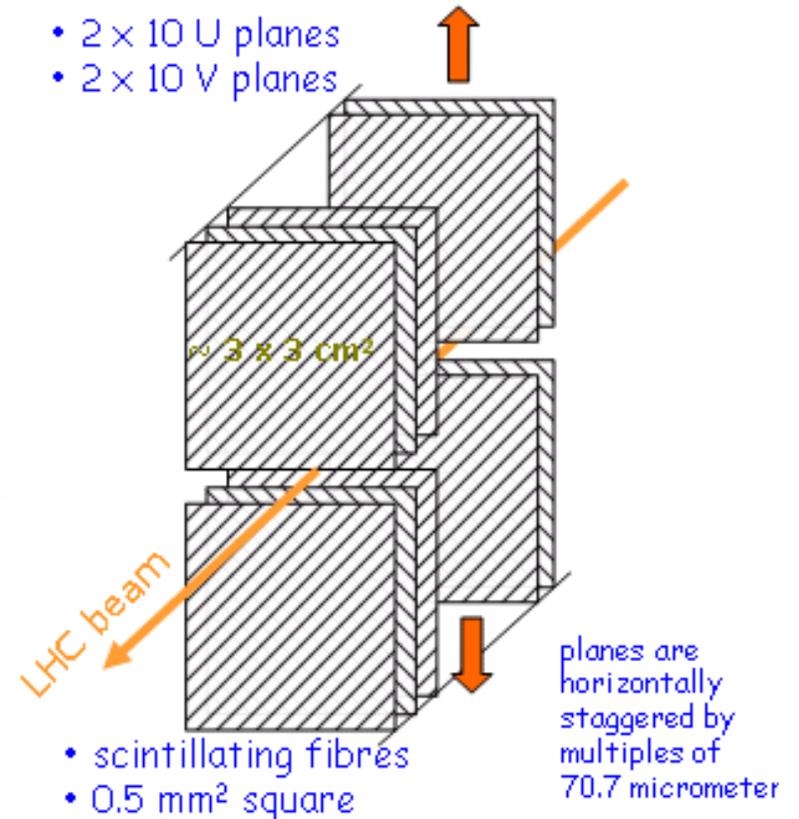
The Roman Pot Unit



Tracciatore a fibre

Concept

- 2 x 10 U planes
- 2 x 10 V planes



Regione di interferenza Coulomb-Nucleare

$$|t| \sim 0.00065 \text{ GeV}^2 \text{ o } \theta \sim 3.5 \mu\text{rad}$$

Rivelatore vicino alla beam pipe (1.5 mm)

Elevata risoluzione spaziale ($< 100 \mu\text{m}$, goal $30 \mu\text{m}$).

Assenza di area inattiva

Misura della luminosità e σ_{tot} (1)



1. Usando il teorema ottico

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{L} \sigma_{tot}^2 &= \frac{16 \pi}{1 + \rho^2} \times \frac{dN_{el}}{dt} \Big|_{t=0} \\ \mathcal{L} \sigma_{tot} &= N_{el} + N_{inel} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} \mathcal{L} &= \frac{1 + \rho^2}{16 \pi} \frac{(N_{el} + N_{inel})^2}{(dN_{el}/dt)|_{t=0}} \\ \sigma_{tot} &= \frac{16 \pi}{1 + \rho^2} \times \frac{(dN_{el}/dt)|_{t=0}}{N_{el} + N_{inel}} \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{\text{Re}(f_{el}(t))}{\text{Im}(f_{el}(t))} \Big|_{t \rightarrow 0}$$

2. Misura dello scattering elastico nella regione di interferenza Coulomb-Nucleare

$$\frac{dN}{dt} \Big|_{t=CNI} = \mathcal{L} \pi |f_C + f_N|^2 \approx \mathcal{L} \pi \left| -\frac{2\alpha_{EM}}{|t|} + \frac{\sigma_{tot}}{4\pi} (i + \rho) e^{-\frac{b|t|}{2}} \right|^2$$

Necessarie ottiche speciali con buona accettazione a basso $|t| \sim p^2 \theta^2$
Elevate sezioni d'urto $O(\text{mb}) \rightarrow$ elevata statistica in tempi brevi
Errori di misura prevalentemente sistematici

Misura della luminosità e σ_{tot} (2)



TOTEM

Run **tipicamente di 1 giorno** (per avere statistica sufficiente):

- misura del **rate inelastico** N_{inel}
(dominato dal background e dalle sistematiche sul trigger);
- misura del **rate elastico** N_{el} ed estrapolazione di dN_{el}/dt a $t = 0$ (punto ottico)
(dominato da sistematiche model-dependent).
- parametro ρ non noto, dall'extrapolazione di COMPETE: $\rho = 0.1361 \pm 0.0015^{+0.0058}_{-0.0025}$

errore relativo[1 / (1 + ρ^2)]: **0.16 %**

$-t_{min} \sim 10^{-3} \text{ GeV}^2$
 $\mathcal{L} \sim 10^{28} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

$\beta^* = 1540\text{m}$

0.8 %

< 1 %

$-t_{min} \sim 3 \cdot 10^{-3} \text{ GeV}^2$
 $\mathcal{L} \sim 10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

90m

0.8 %

< 10 %

ATLAS - ALFA

Misura del rate elastico nella zona di interazione
Coulomb- Nucleare e fit dei parametri L , σ_{tot} , r e b

$\beta^* \sim 2600\text{m}$ $-t_{min} \sim 6 \cdot 10^{-4} \text{ GeV}^2$
 $\mathcal{L} \sim 10^{27} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

	input	fit	Stat. error
L	8.10 10 ²⁶	8.151 10 ²⁶	1.77 %
σ_{tot}	101.5 mb	101.14 mb	0.9%
b	18 Gev ⁻²	17.93 Gev ⁻²	0.3%
ρ	0.15	0.143	4.3%

TOTEM: misura del rate totale $N_{el} + N_{inel}$

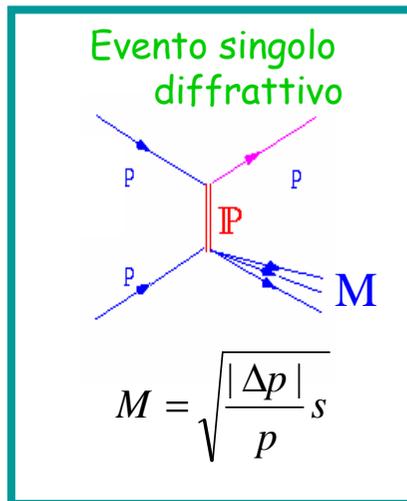


Perdite del trigger

Tipologia di trigger \ Tipologia d'evento	σ [mb]	T1/T2 double arm trigger [mb]	T1/T2 single arm trigger [mb]	Errore sistematico dopo estrapolazione [mb]
Minimum bias	58	0.3	0.06	0.06
Singolo diffrattivi	14	-	3	0.6
Doppio diffrattivi	7	2.8	0.3	0.1
Doppio Pomerone	1	0.2		0.02
Elastic Scattering	30	-	-	0.2 (2)

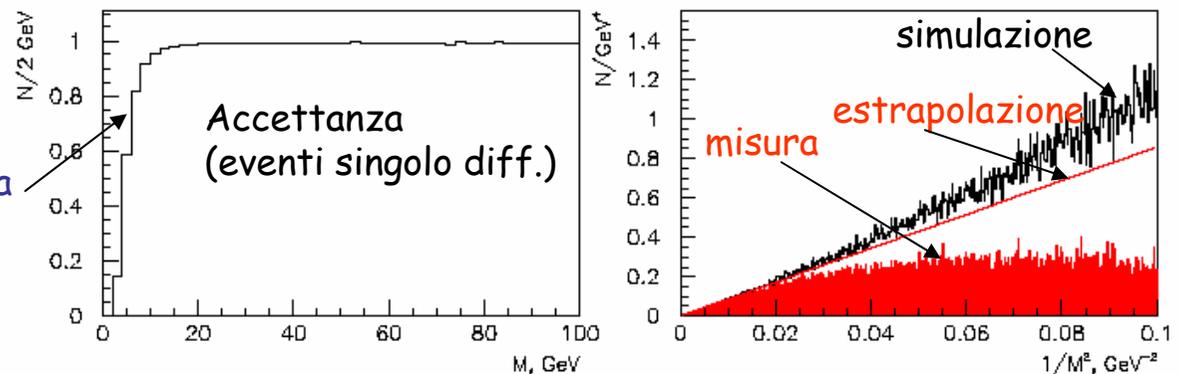
@ $\beta^* = 1540$ (90) m

Totale: 0.8 mb \approx 0.8 % @ $\beta^* = 1540$ m
 2 - 5 mb \approx 2 - 5 % @ $\beta^* = 90$ m

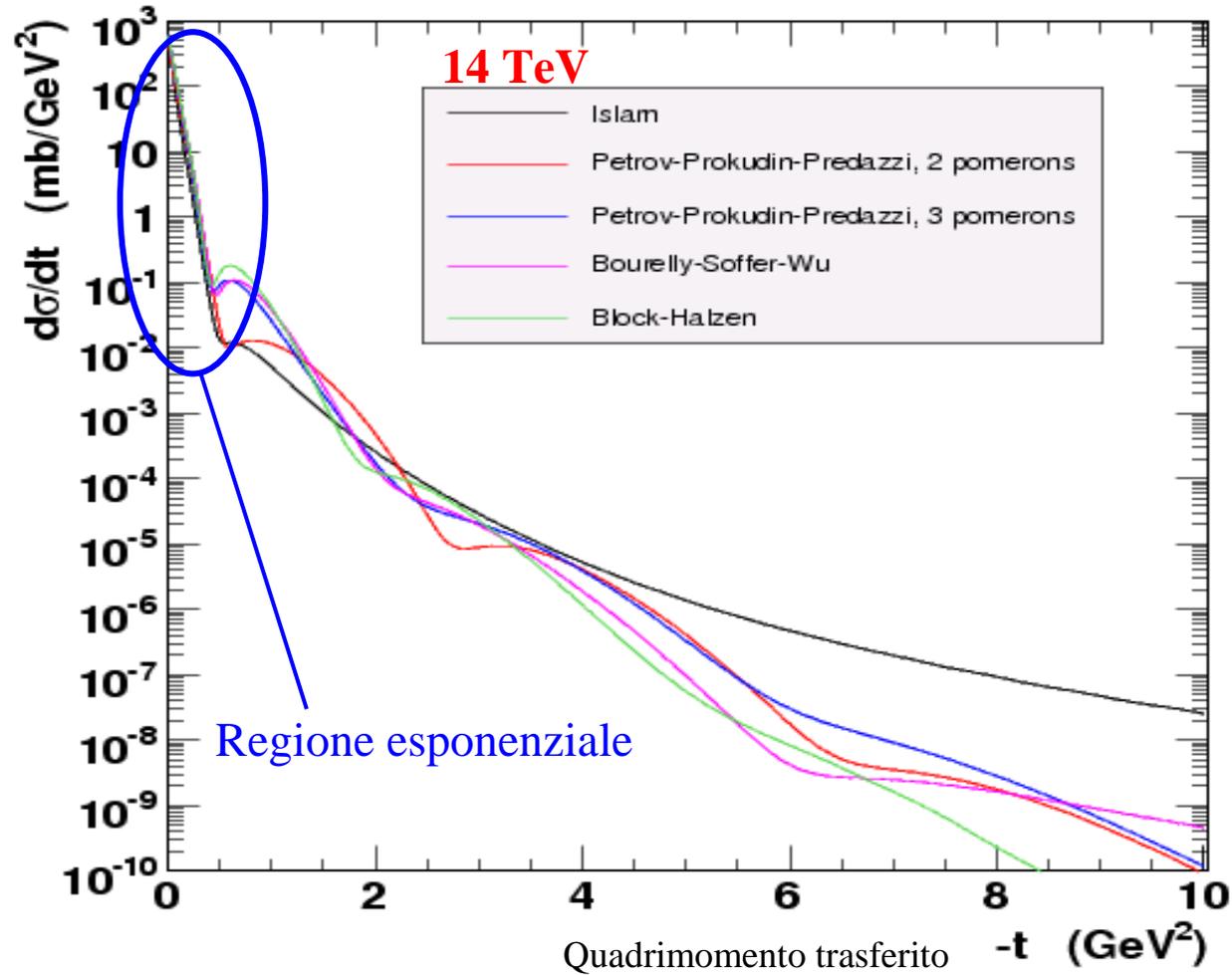


Perdita di eventi a bassa M (massa diffrattiva)

Estrapolazione della sezione d'urto diffrattiva ad alti $1/M^2$ usando $d\sigma/dM^2 \sim 1/M^2$.



Scattering elastico



Scattering elastico a basso $|t|$

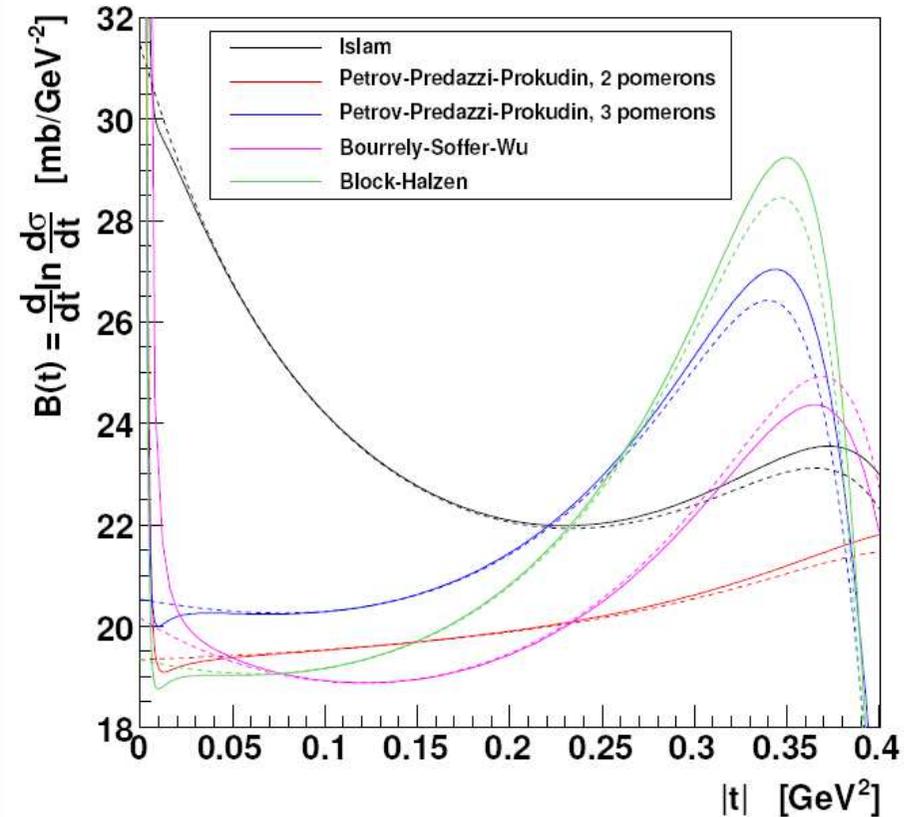
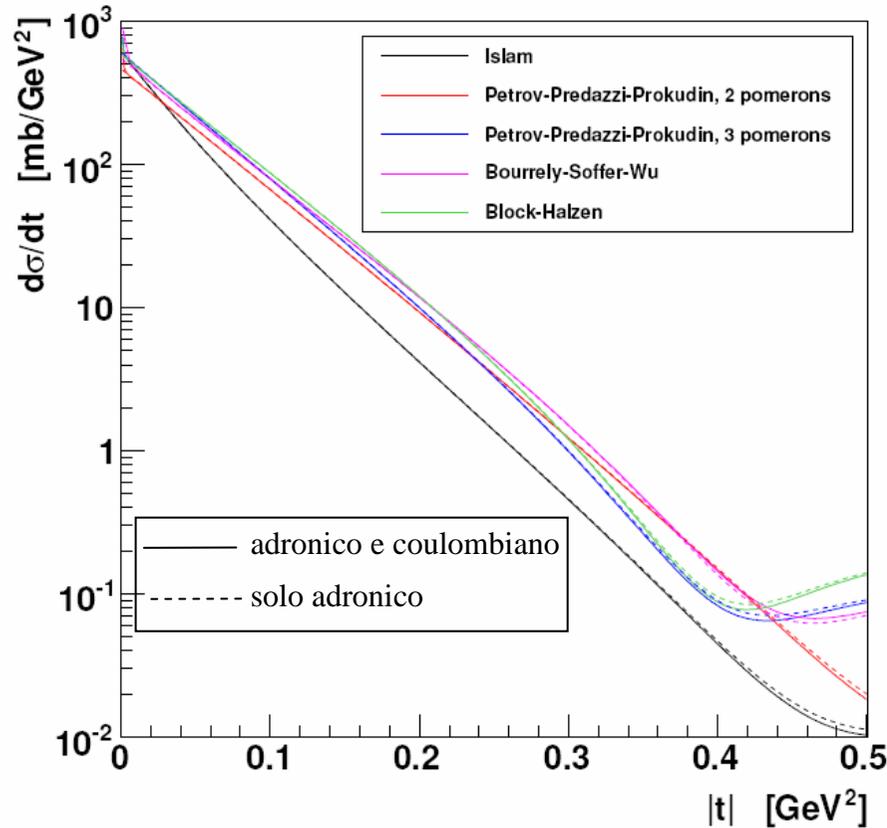


14 TeV:

Sezione d'urto

$$\frac{d\sigma}{dt} = A e^{B(t)t}$$

$B(t)$



TOTEM $\left\{ \begin{array}{l} \beta^* = 1540 \text{ m: } |t|_{\min} = 0.001 \text{ GeV}^2 \\ \beta^* = 90 \text{ m: } |t|_{\min} = 0.03 \text{ GeV}^2 \\ \beta^* = 11 \text{ m: } |t|_{\min} = 0.4 \text{ GeV}^2 \end{array} \right.$

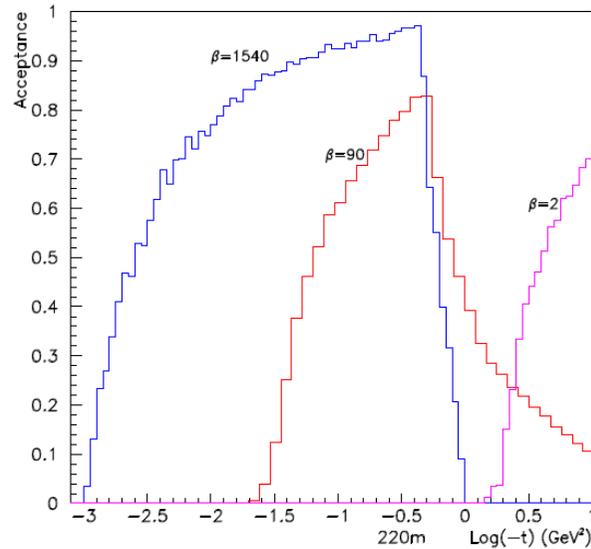
ATLAS $\beta^* = 2600 \text{ m: } |t|_{\min} = 0.0006 \text{ GeV}^2$

Scattering elastico: accettazione in t

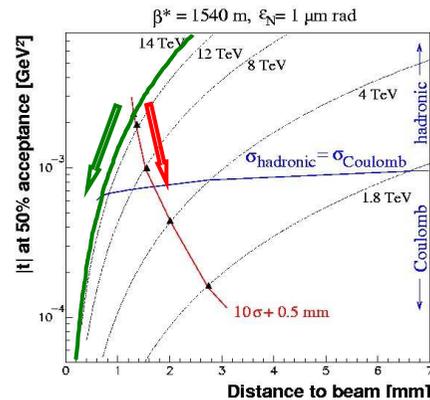
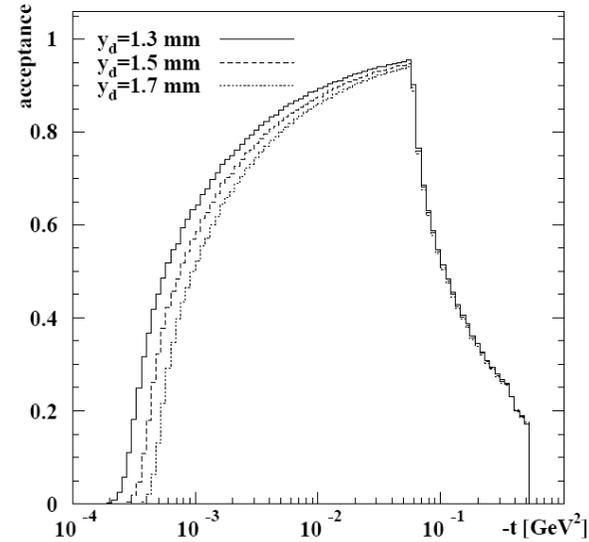


$$|t| = p^2 \theta^2$$

TOTEM



ATLAS



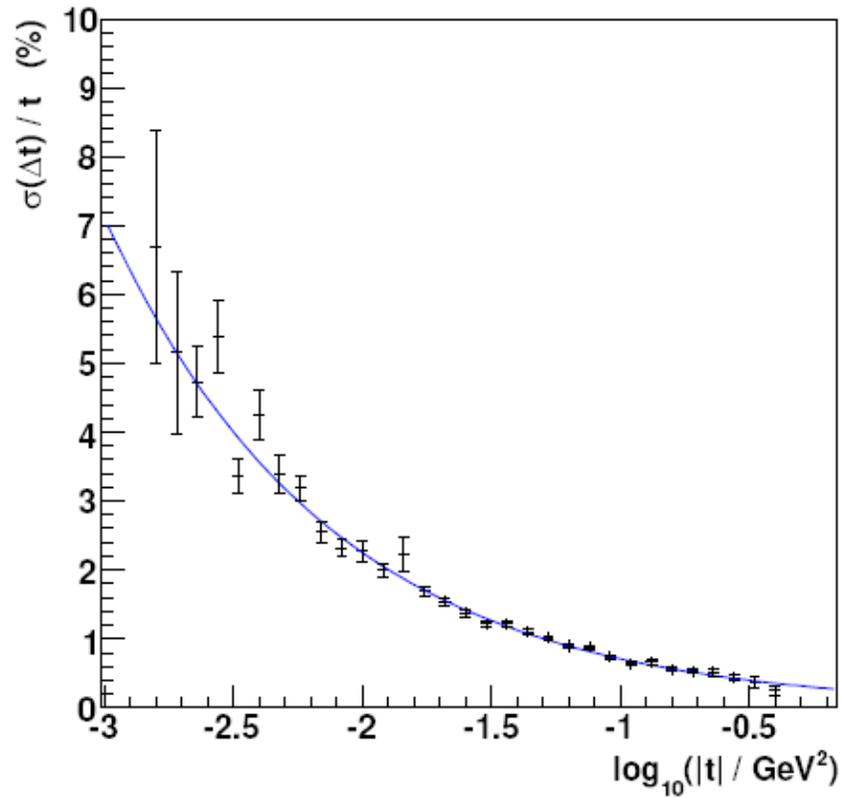
In TOTEM per raggiungere la regione di interferenza:

- muovere i rivelatori piu' vicini al fascio di $10\sigma + 0.5\text{ mm}$ oppure
- runnare a $\sqrt{s} = 2p < 14\text{ TeV}$

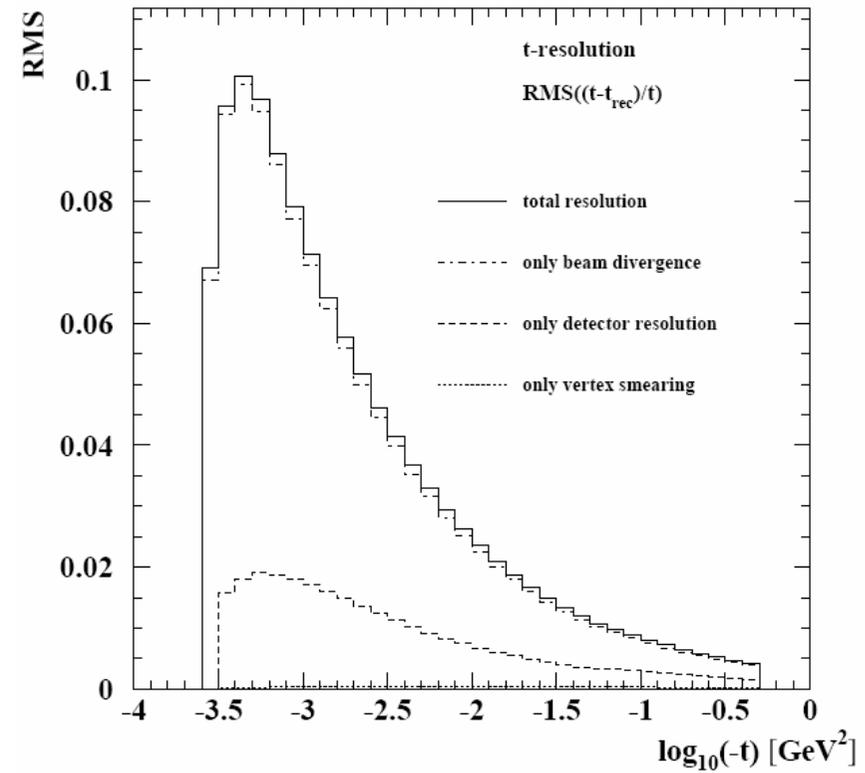
Risoluzione sulla misura di t



TOTEM



ATLAS



Estrapolazione di σ_{tot} a $\sqrt{s} = 14$ TeV per $\beta^* = 11$ m



$\beta^* = 11$ m: Accettanza a basso $|t|$ non buona per lo scattering elastico
 \Rightarrow impossibile una misura diretta di σ_{tot}

Possibile una determinazione approssimata della luminosita' usando un'estrapolazione di σ_{tot} :

Misure al Tevatron in disaccordo (1.8 TeV):

E710: $\sigma_{tot} = 72.8 \pm 3.1$ mb

E811: $\sigma_{tot} = 71.4 \pm 2.4$ mb

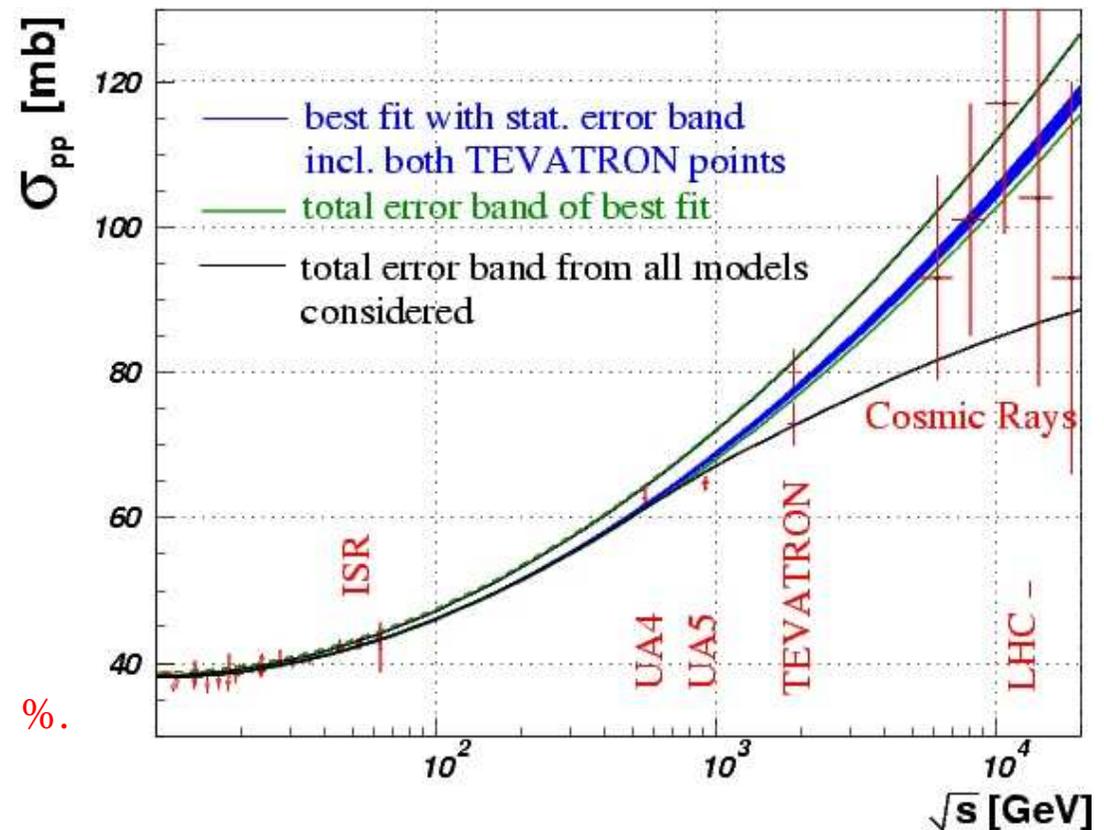
CDF: $\sigma_{tot} = 80.0 \pm 2.2$ mb

Discrepanza E811-CDF: 2.6σ

Miglior fit combinato (COMPETE):

$$\sigma_{tot} = 111.5 \pm 1.2 \begin{matrix} +4.1 \\ -2.1 \end{matrix} \text{ mb}$$

Ma i modelli variano almeno di $\begin{matrix} +10 \\ -20 \end{matrix} \%$.



Estrapolazione di σ_{tot} a $\sqrt{s} = 14$ TeV per $\beta^* = 11$ m



Usare la σ_{tot} prevista nonostante le grosse incertezze e misurare il rate:

- Problema: rate elastico difficile da misurare con precisione a causa della non buona accettazione

→ misura solo di N_{inel} (usando triggers senza protoni → errore $\sim 5\%$)

e $\sigma_{\text{inel}}/\sigma_{\text{tot}} \approx 0.70 \div 0.76$ (errore $\sim 4\%$) dall'estrapolazione dei dati ad energie inferiori:

Incertezza elevata: $\sim 15 \div 20\%$

- Stesso problema con ottiche a basso β^* (2 m, 1 m, 0.55 m, ...)
- **Soluzione:** effettuare prima una misura assoluta di σ_{tot} a 14 TeV con un'ottica appropriata,

TOTEM $\beta^* = 1540$ m (TOTEM runs) $\beta^* = 90$ m (intermedia)

ATLAS $\beta^* = 2600$ m

Misura assoluta



TOTEM

Misura di \mathcal{L} e σ_{tot} attraverso il Teorema Ottico

$\beta^*=1540\text{m}$ (luminosità tipica $\mathcal{L} \sim 10^{28} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

Accettanza in $|t|$ sino a 0.001 GeV^2 ottimale per l'estrapolazione di $d\sigma/dt$ a $t=0$

Errore sull'estrapolazione ben al di sotto dell'1% → **errore finale ~1%**

$\beta^*=90\text{m}$ (luminosità tipica $\mathcal{L} \sim 10^{29} - 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

Accettanza in $|t|$ sino a 0.03 GeV^2 copre abbastanza bene la regione esponenziale di $d\sigma/dt$

Maggiore dimensione del fascio rende l'errore sistematico sulla posizione meno critico ($\delta t/t \propto \delta y/\sigma_b$)

Errore sull'estrapolazione dell'ordine del **5-10%**

$\beta^*=90\text{m}$ più facile da ottenere partendo dall'ottica a 11m → **ideale per i primi runs**

ATLAS

Misura nella regione di interferenza

$\beta^*\sim 2600\text{m}$ (luminosità tipica $\mathcal{L} \sim 10^{27} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

Accettanza in $|t|$ sino a 0.0006 GeV^2 , nella regione di interferenza

Fit di \mathcal{L} , σ_{tot} , b , e ρ

Errore finale ~3% (dal 2009)

Misura relativa



Per condizioni di running in cui la misura con il Teorema Ottico risulta impossibile:
misura relativa **dopo una calibrazione con la misurazione a $\beta^* = 90$ m o 1540 m.**

Per esempio:

- rates inelastici parziali, es. (T2 sx) x (T2 dx): **robusto rispetto al background da beam-gas**
- in caso di pileup:
usando una condizione di veto, es. NOT((T2 left) x (T2 right)):

$$\mathcal{L} = - \frac{1}{\sigma_{tot} A_{T2l \times T2r} \Delta t} \ln P(n=0) \quad \text{es. } P(n=0) = 15 \% \text{ @ } \mathcal{L} = 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}, 2808 \text{ bunches}$$

Frazione di eventi doppio arm

Intervallo tra bx

Probabilità di 0 eventi doppio arm nel bx

Utilizzabile anche per un monitoraggio continuo della luminosita' ?

Sommario 3^a parte



- La luminosità e i metodi di misura
- Misure sui fasci
- Misure assolute integrate
- Misure su canali noti**
 - Misure su canali elettromagnetici
 - Misura su canali elettrodeboli
 - Incertezze sistematiche
- Luminosità istantanea e tecniche sperimentali
- Problemi aperti/Conclusioni

Michele DE GRUTTOLA (*CMS Napoli*)

Metodo → misura della luminosità a partire da una
sezione d'urto nota

$$\sigma(L) = \frac{N_{\text{sig}}^{\text{mis}} - N_{\text{back}}^{\text{mis}}}{\epsilon \times L}$$

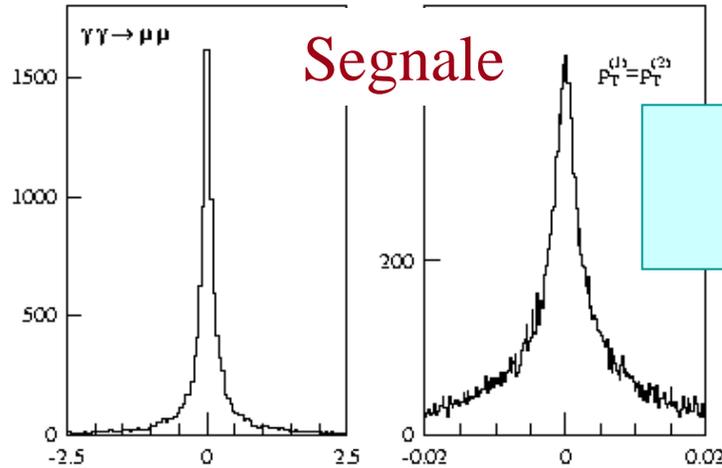
con efficienza = $\epsilon_{\text{geom}} \times \epsilon_{\text{trigger}} \times \epsilon_{\text{sel}} \times \epsilon_{\text{reco}}$

- Interazioni elettromagnetiche → offline
 - $pp \rightarrow (p+\gamma^*)+(p+\gamma^*) \rightarrow p+(l+l^*)+p$
- Interazioni elettrodeboli → offline
 - Z, W
 - Il goal è $\Delta L/L \sim 3\%$ (stat+ sist)
- Interazioni forti → luminosità istantanea
 - QCD, Inelastici,
 - Il goal è $\Delta L/L \sim 1\%$ (sist)

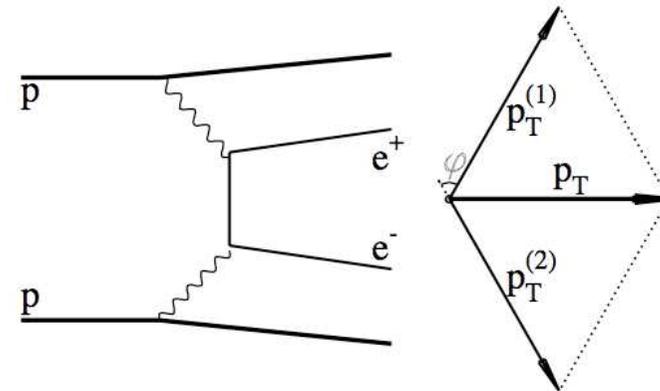
Leptoni da double γ exchange(ATLAS+CMS)



$pp \rightarrow (p+\gamma^*)+(p+\gamma^*) \rightarrow p+(l^-l^+)+p \rightarrow$
 noto teoricamente all' 1%



$\Delta\mathcal{L} \sim 2\%$
 per 10 fb^{-1}



$\sigma(\mu\mu) \sim 1\text{pb}$ ($\sim 0.01 \text{ Hz}$ a $\mathcal{L} = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
 $\rightarrow \mathcal{L} > 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ☹️

- segnale:
 \rightarrow coppia $\mu\mu$ con
 $m^{\mu\mu} \sim \text{GeV}$, $p_T(\mu\mu) \approx 0$
 $p_T(\mu) \gtrsim 5 \text{ GeV}/c$, $|\eta(\mu)| < 2.5$,
- Fondi:
 \rightarrow Drell-Yan
 \rightarrow Decadimenti semileptonici dei quark pesanti

I fondi sono ridotti con tagli offline su ϕ e $(p_{T1}-p_{T2})$ (17%).

Leptoni da double γ exchange(LHCb)

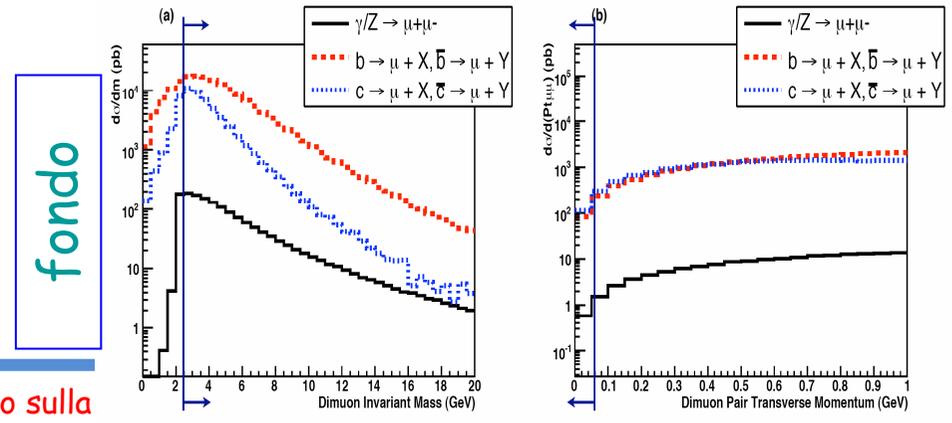
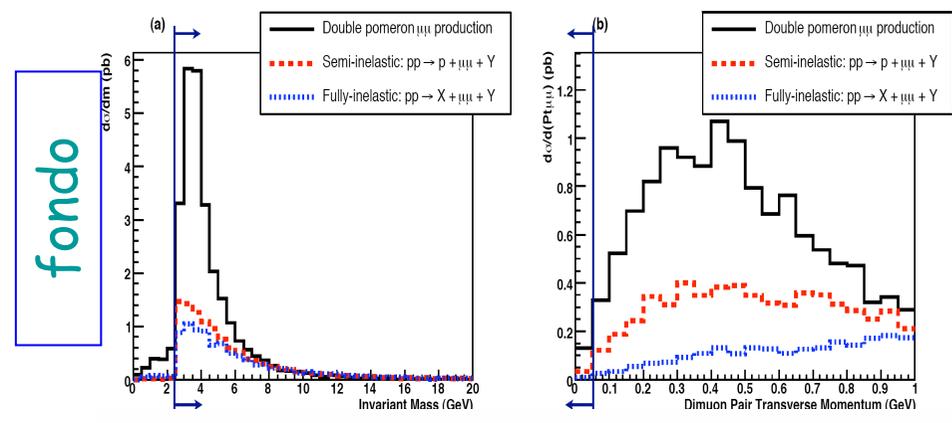
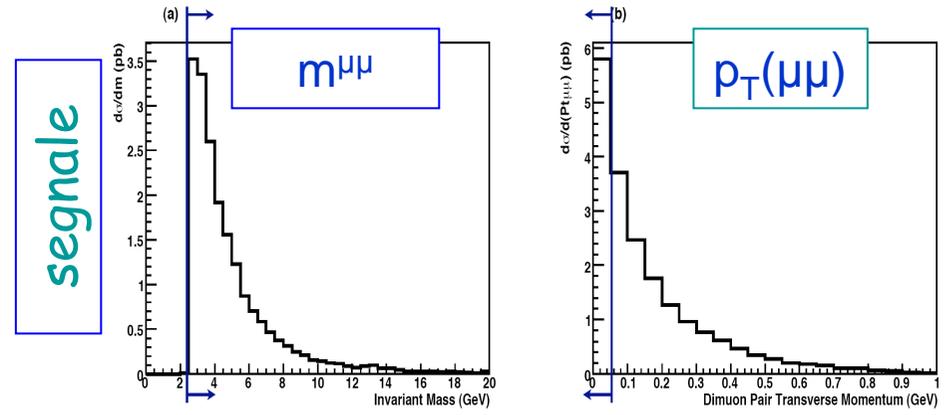


segnale:

- $\sigma(\mu\mu) \sim 88 \text{ pb}$ $m^{\mu\mu} \sim \text{GeV}$
- $p_T(\mu\mu) > 0.9 \text{ GeV}/c$
- $p_T(\mu) \gtrsim 7 \text{ GeV}$,
- $1.6 < |\eta(\mu)| < 5$,

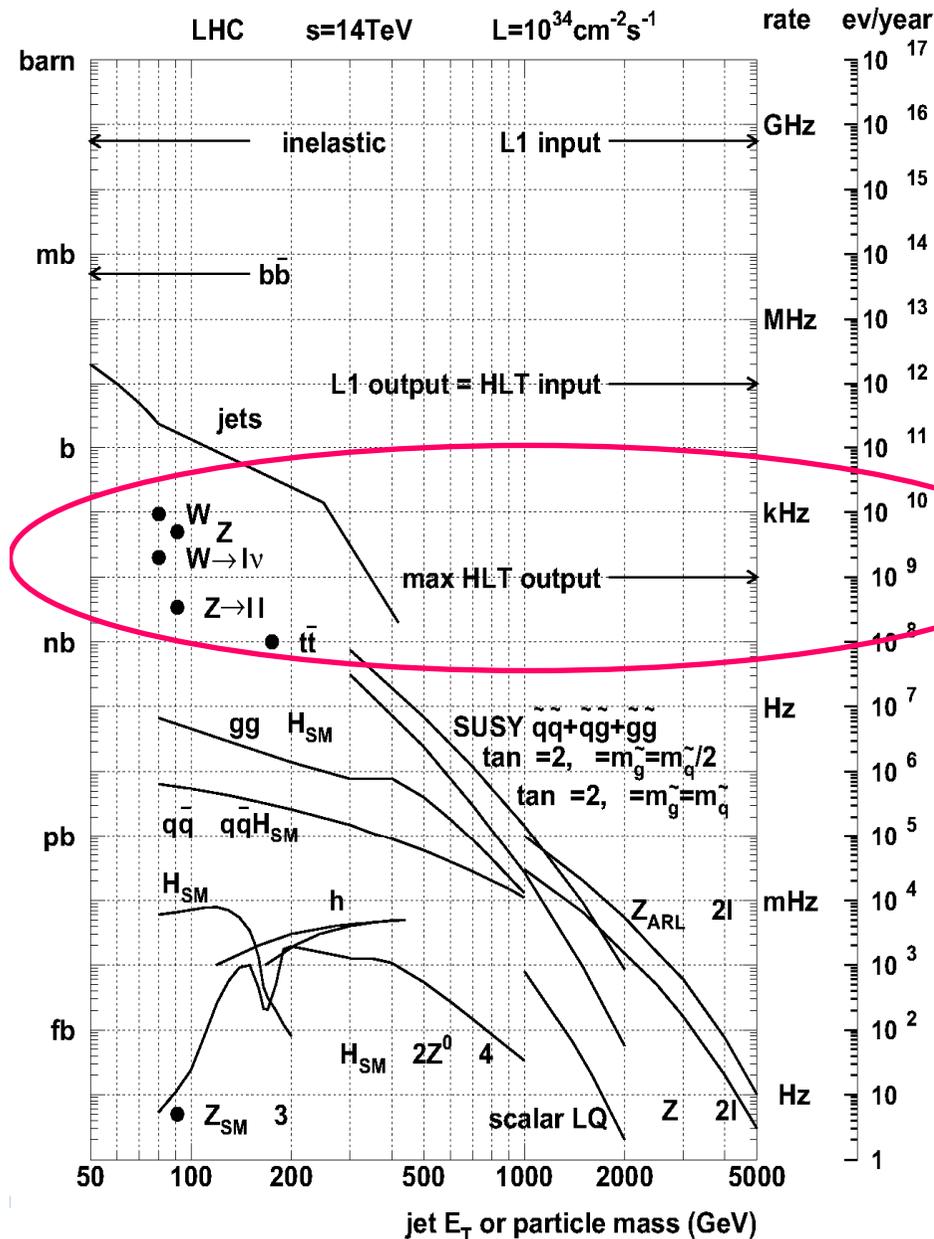
$$\int \mathcal{L} dt = 1 \pm 0.0140(\text{stat.}) \pm 0.0131(\text{syst.}) \text{ fb}^{-1}$$

Process	Events per fb^{-1}	Statistical uncertainty	Systematic uncertainty
$pp \rightarrow pp + \mu^+ \mu^-$ (signal)	5210	± 71	± 17
Inclusive DPE $\mu^+ \mu^-$ production	49	± 15	± 49
$pp \rightarrow p + \mu^+ \mu^- + X$	31	± 7	± 10
$pp \rightarrow Y + \mu^+ \mu^- + X$	8	± 5	± 4
$b\bar{b} \rightarrow \mu^+ + \mu^- + X$	1	± 0.5	± 1
$c\bar{c} \rightarrow \mu^+ + \mu^- + X$	2	± 1	± 2
$J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$	0	+1	+1
$\gamma^*/Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$	2	± 0.3	± 2
Pion/Kaon mis-identification	121	± 19	± 12 (from data)
Total Background	214	± 26	± 52



no sulla

Misure su canali elettrodeboli



Vantaggi:

- Canali molto puliti, basso bkg
- Fisica nota
- LHC è una **Z-factory**, **W-factory**
- Applicabilità già a 10pb^{-1}

Svantaggi:

- **incertezze pdf**
- Efficienze di ricostruzione non note all'inizio

	$L=10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
$Z \rightarrow \mu\mu$	20Hz
$W \rightarrow \mu\nu$	200Hz

Misura del rate di Z

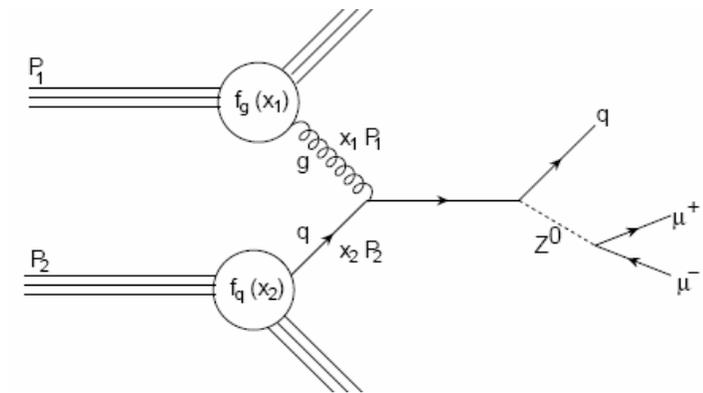
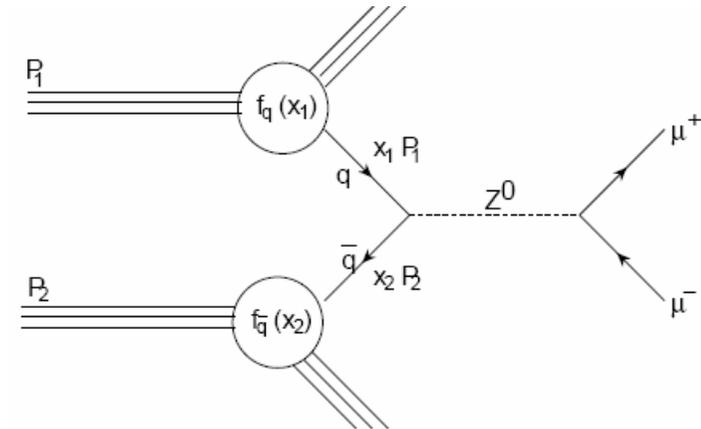


- Calcolo teorico della sezione d'urto disponibile per NNLO

$$\sigma(pp \rightarrow Z / \gamma^* \rightarrow \mu\mu) = 1.972 \pm 0.019 \text{ nb}$$

- Segnale in CMS/ATLAS : $|\eta| < 2.5$
 - 2 μ isolati con $p_T > 20 \text{ GeV}$, con $m^{\mu+\mu-} > 40 \text{ GeV}$,
- Segnale chiaro con fondo $\sim 0.1 \%$

- Segnale in LHCb $\rightarrow 1.9 < |\eta| < 4.9$
 - coppia di μ con $p_{T1} > 20 \text{ GeV}$, $p_{T2} > 15 \text{ GeV}$, $\text{IPS} < 5$
- fondo del $\sim 1\%$



Cross check nei primi anni di vita di LHC?

Misura del rate di Z (CMS)



- Metodo di misura → 3 campioni indipendenti di ricostruzione della $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$ ($\epsilon_\mu = \epsilon_{\text{trk}} \times \epsilon_{\text{sta}}$), così da stimare insieme anche le efficienze di ricostruzione e ridurre l'errore

→ Segnale :

$|\eta| < 2.0$

2 μ isolati con $p_T > 20$ GeV,

$m^{\mu+\mu-} > 40$ GeV,

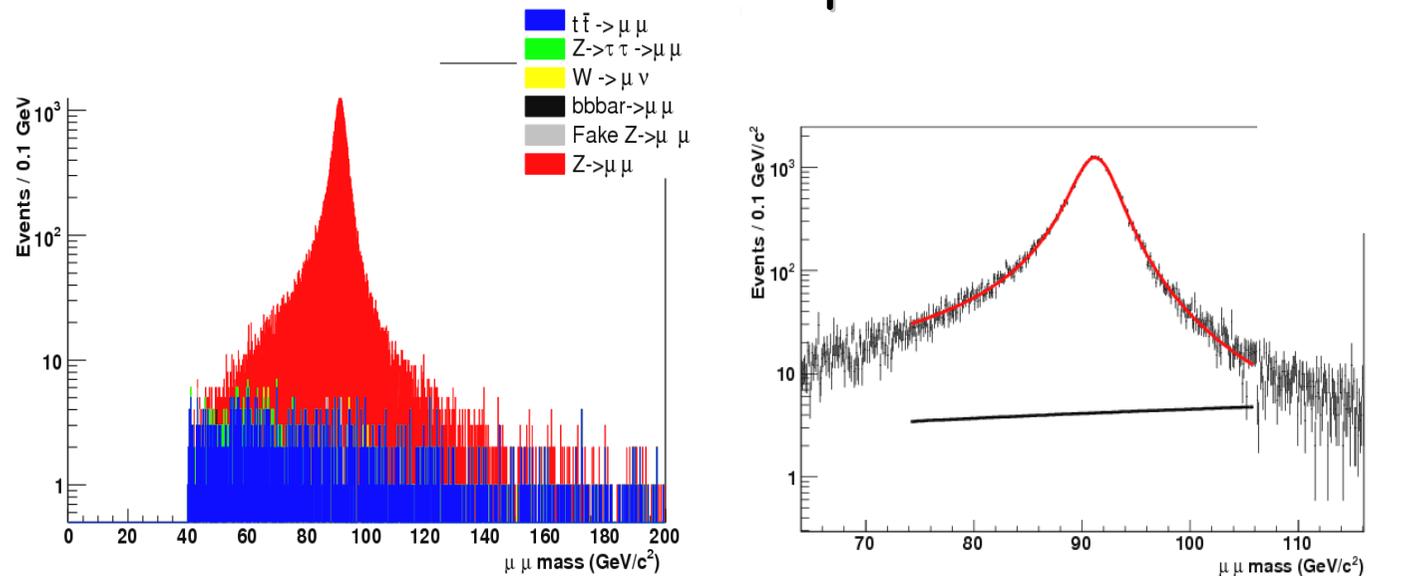
→ Bassa contaminazione dal fondo ($\sim 0.1\%$)

(fondo più importante $t\bar{t} \rightarrow \mu\mu$)

→ Procedura d'analisi:

Fit χ^2 in massa invariante per i vari campioni

$L = 150 \text{ pb}^{-1}$



$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma}(pp \rightarrow Z/\gamma^* + X \rightarrow \mu\mu) \approx 0.005 \text{ (stat)}$$

Rate di Z- ATLAS

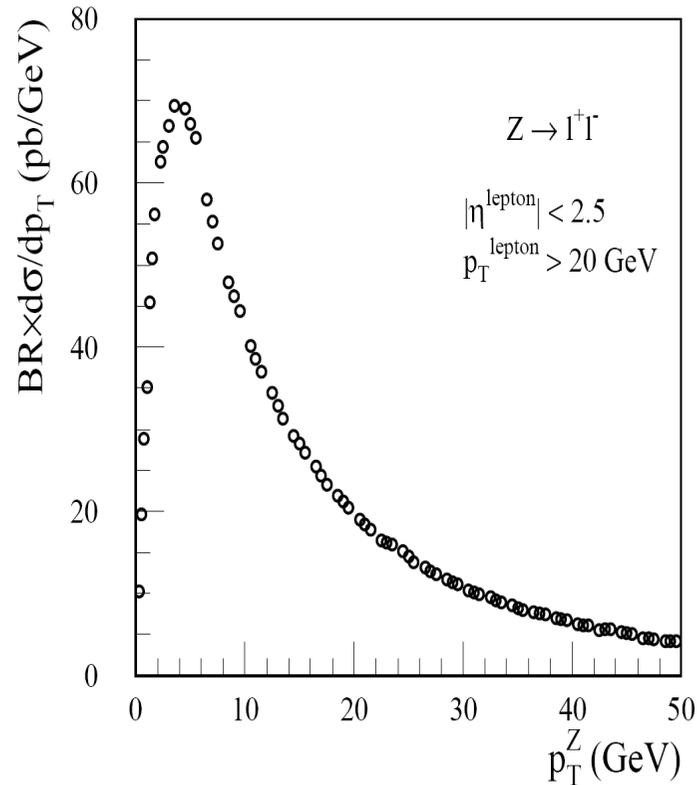


Segnale :

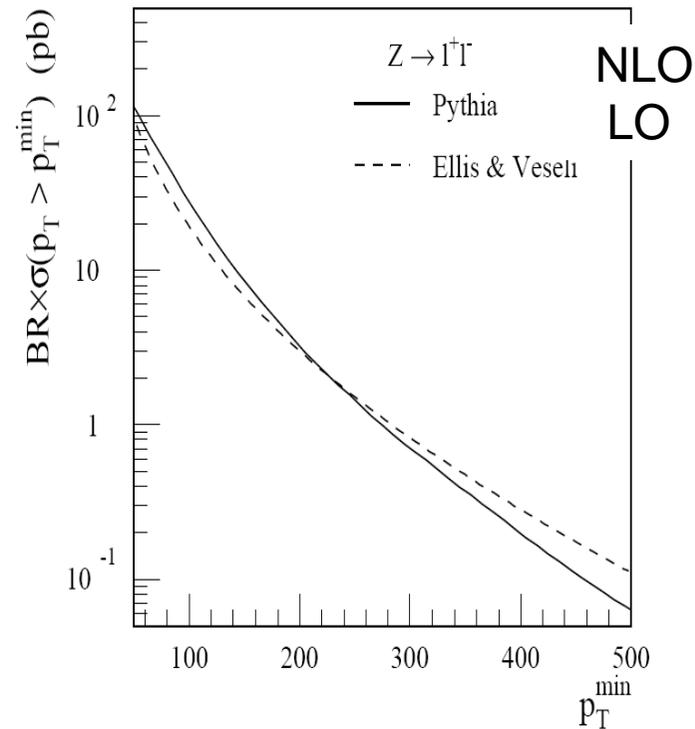
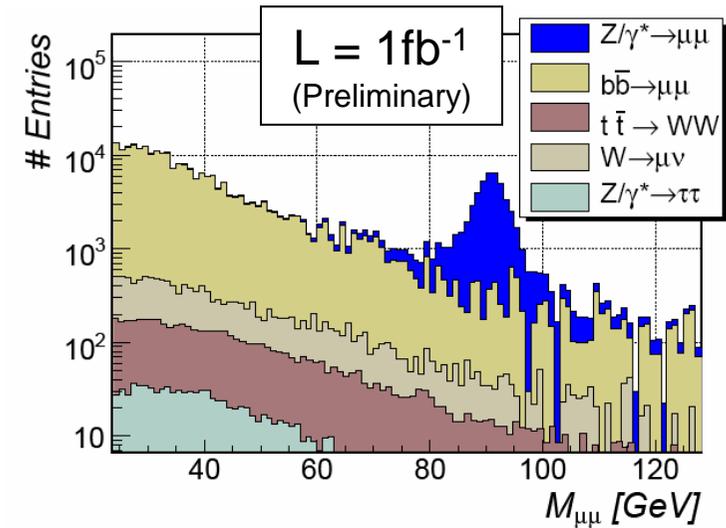
$$|\eta| < 2.5$$

2 μ isolati con $p_T > 20$ GeV, con $m^{\mu+\mu-} > 60$ GeV,

→ Segnale chiaro con fondo ~ 1 % (preliminary)



Sezione d'urto differenziale in funzione del momento trasverso della Z



Rate di Z: Segnale + fondi LHCb



Strategia analoga, ma con un pò più di fondo, dovuto all'accettazione diversa, comunque $\Delta\sigma/\sigma \sim 2\%$

Segnale:

$$1.9 < |\eta| < 4.9$$

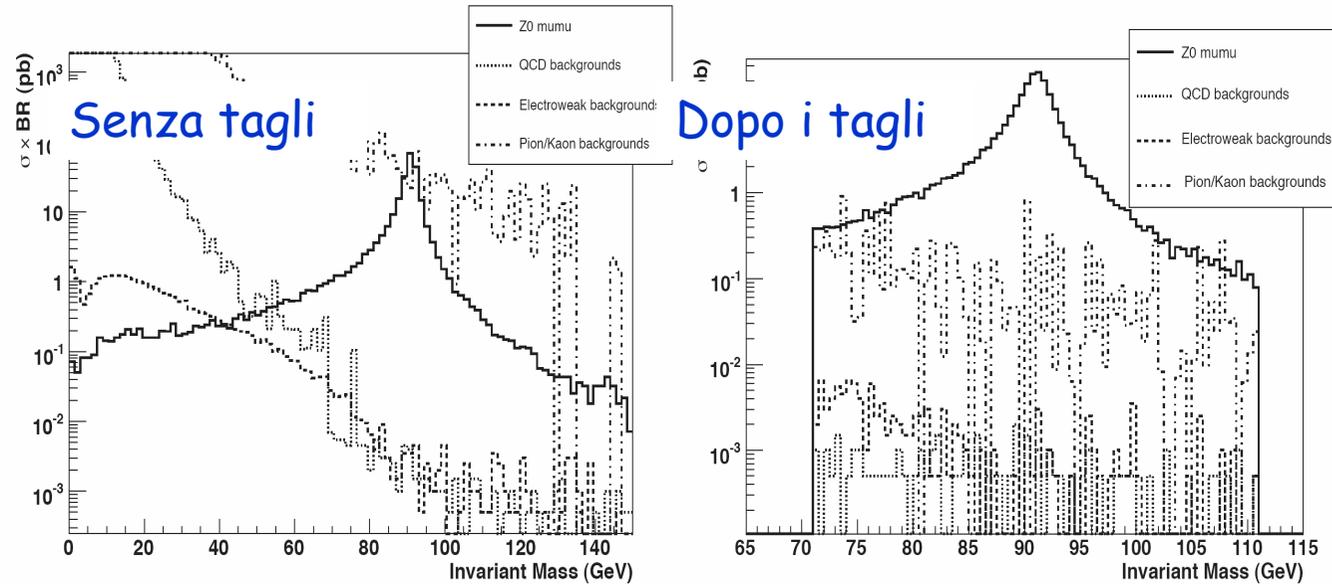
coppia di μ con

$$p_{T1} > 20 \text{ GeV},$$

$$p_{T2} > 15 \text{ GeV},$$

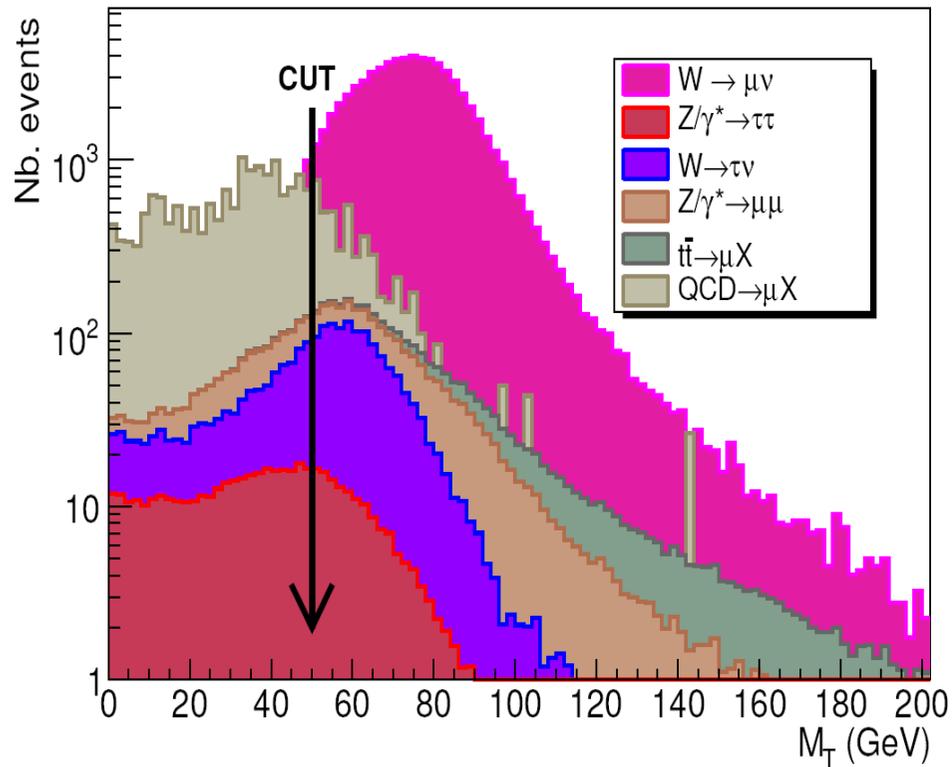
IPS < 5

→ fondo del $\sim 1\%$



Process	Events per fb^{-1}
$Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$ (signal)	212100 ± 509
$Z \rightarrow \tau^+ \tau^- \rightarrow \mu^+ \nu_\mu \bar{\nu}_\tau + \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau$	63.5 ± 5.6
$Z \rightarrow b\bar{b} \rightarrow \mu^+ + \mu^- + X$	$0 + 0.5$
$W^+ W^-$ inclusive	24 ± 3.5
$jet + W^\pm \rightarrow \mu^\pm + X$	35 ± 13.2
$b\bar{b} \rightarrow \mu^+ + \mu^- + X$	$0 + 100$
$c\bar{c} \rightarrow \mu^+ + \mu^- + X$	$0 + 100$
$J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$	$0 + 100$
Single top inclusive	0.5 ± 0.5
$t\bar{t}$ inclusive	37 ± 4.3
Pion/Kaon mis-identification	5000 ± 5000
Total Background	5160 ± 5003

Rate di W- CMS



$$m_T^W = \sqrt{2p_T^l p_T^{\nu} (1 - \cos \Delta\phi)}$$

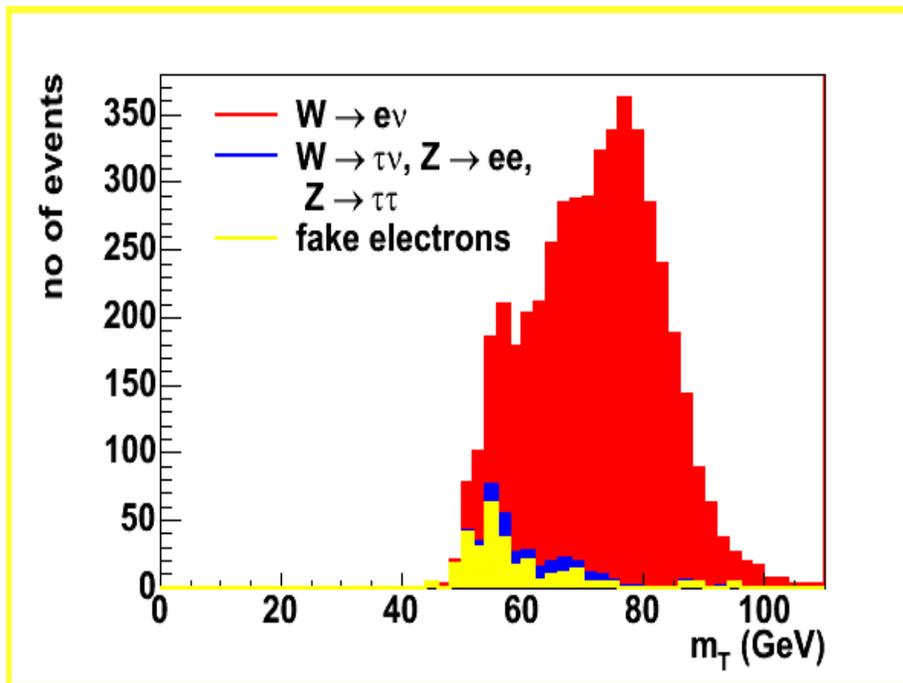
Efficiency type	Differential (MC %)	Differential (Data %)
ϵ_{acc}	56.2	-
ϵ_{rec}	98.3	98.3
ϵ_{iso}	96.8	96.3
ϵ_{trig}	90.4	90.7
ϵ_{MET}	93.1	92.5
ϵ_{rej}	97.5	-

- 1 μ isolato con $p_T > 25 \text{ GeV}$. Eventi con 2 μ con $p_T > 20 \text{ GeV}$ sono rigettati.
- $E_T^{miss} > 50 \text{ GeV}$.
- $\sigma(pp \rightarrow W + X \rightarrow \mu + X) \sim 20 \text{ pb}^{-1}$
- l'efficienza della ricostruzione e dei tagli si calibrano con $Z \rightarrow \mu\mu$

Rate di W- ATLAS



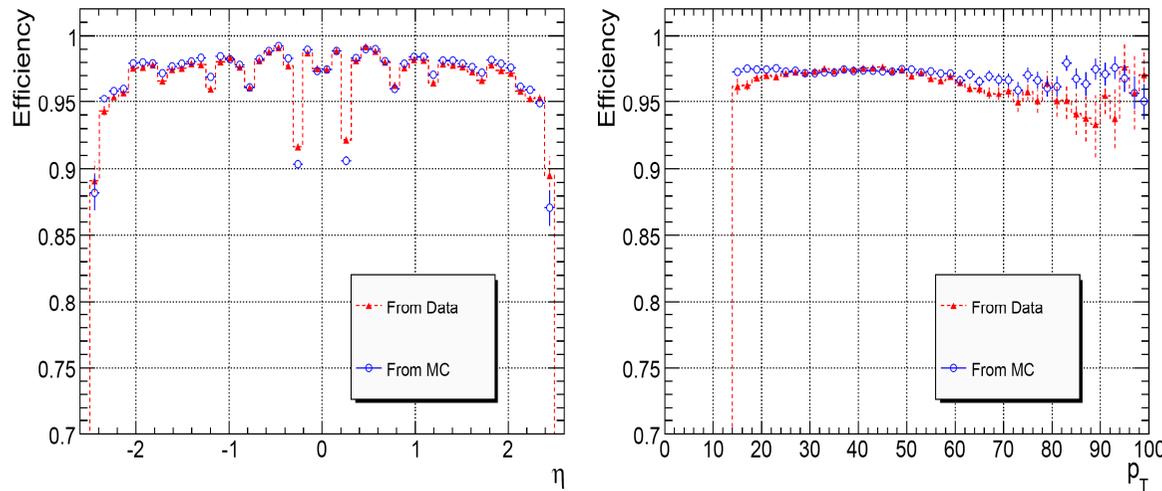
- Un leptone carico isolato (e o μ) con $p_T > 25 \text{ GeV}$ nella regione dedicata alle misure di precisione $|\eta| < 2.4$.
- Missing transverse energy $E_T^{\text{miss}} > 25 \text{ GeV}$.
- Reiezione dei W con alto p_T , perchè deteriora la risoluzione in momento e aumenta il fondo di QCD



$$m_T^W = \sqrt{2p_T^l p_T^{\nu} (1 - \cos \Delta\phi)}$$

$\Delta\phi \equiv$ angolo (l, ν) nel piano trasverso

Incertezze nelle efficienze $\rightarrow O(1\%)$



(da calibrare all'inizio della presa dati)

- $\Delta \epsilon_{\text{Tracking}} \approx 0.2-0.5\%$
- $\Delta \epsilon_{\text{Trigger}} \approx 0.2\%$
- Pochi per mille dalla scala in momento
- $\Delta \text{Missing } E_T \approx 1\%$ (per la W)
- migliorabili dopo i primi anni di presa dati

Determinazione delle efficienze dai dati:

- 1) metodo: Tag and Probe
- 2) fit simultaneo a più categorie di Z/W (implementato per la Z finora!!!)

Limitazioni: correlazioni 'tag' and 'probe', processi di background, inefficienze simmetriche in ϕ

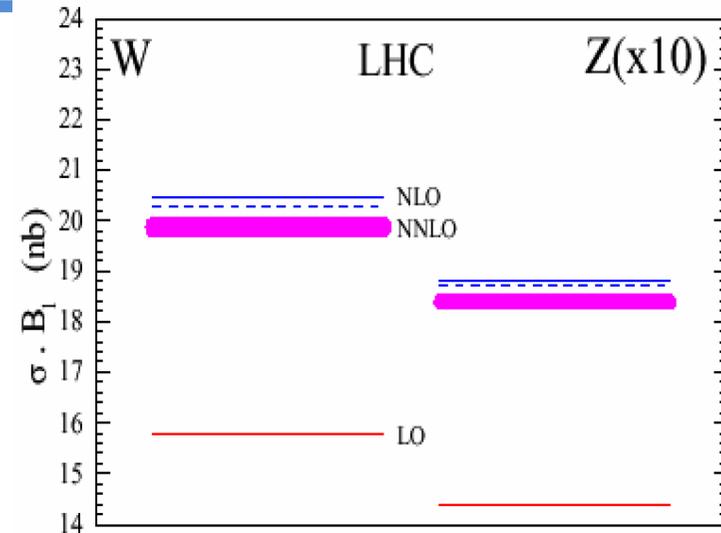
Determinazione delle risoluzioni del detector:

Adattare la risoluzione gaussiana che si aspetta dal MC con funzioni di smearing per riprodurre la risonanza della Z.

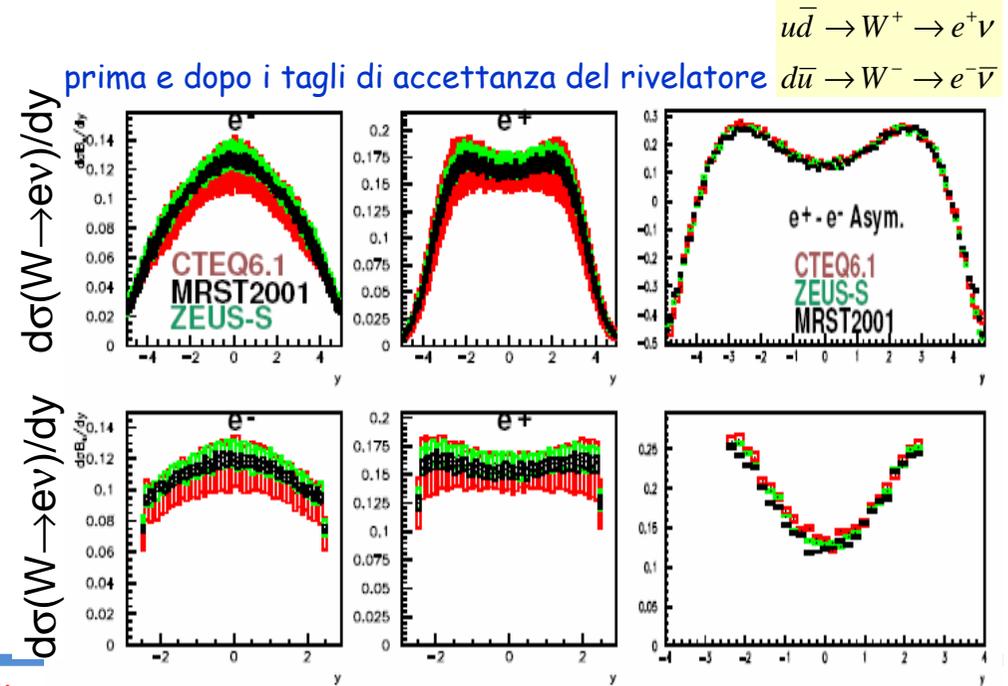
Rate di Z/W (ATLAS+CMS) : sistematiche(2)



- Altre sorgenti di incertezze sistematiche
 - misallineamento
 - Conoscenza del campo magnetico
 - Incertezza sul vertice di collisione
 - pile-up (effetti di)
 - underlying events
 → In totale queste sorgenti di errori danno meno di 0.35% per entrambi i detectors



- Incertezze teoriche
 - Scelta delle PDF : $\approx 0.9\%$
 - Initial state radiation: $\approx 0.2\%$
 - p_T effects (LO to NLO): $\approx 1.8\%$



Misure su canali noti



Misura della luminosità a partire da sezione d'urto note

- $pp \rightarrow (p+\gamma^*)+(p+\gamma^*) \rightarrow p+(l+l^*)+p$
 - $\Delta L/L \sim 2\%$ (syst+ stat) ma solo per $L \sim \text{fb}^{-1}$
 - si può usare anche con interazioni ioni (CASTOR?, ALICE?)
- Canali elettrodeboli ($Z \rightarrow l+l^*$, $W \rightarrow lv$)
 - si può usare già con 10pb^{-1}
 - Maggiori sorgenti di incertezze:
 - incertezze nella ricostruzione (0(1%))
 - incertezze teoriche (pdf, p_T) (0(2%))

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma}(pp \rightarrow Z/\gamma^* + X \rightarrow \mu\mu) = 0.005 \text{ (stat)} \pm 0.011 \text{ (ex.sys)} \pm 0.02 \text{ (th.sys)}$$

Sommario 4^a parte

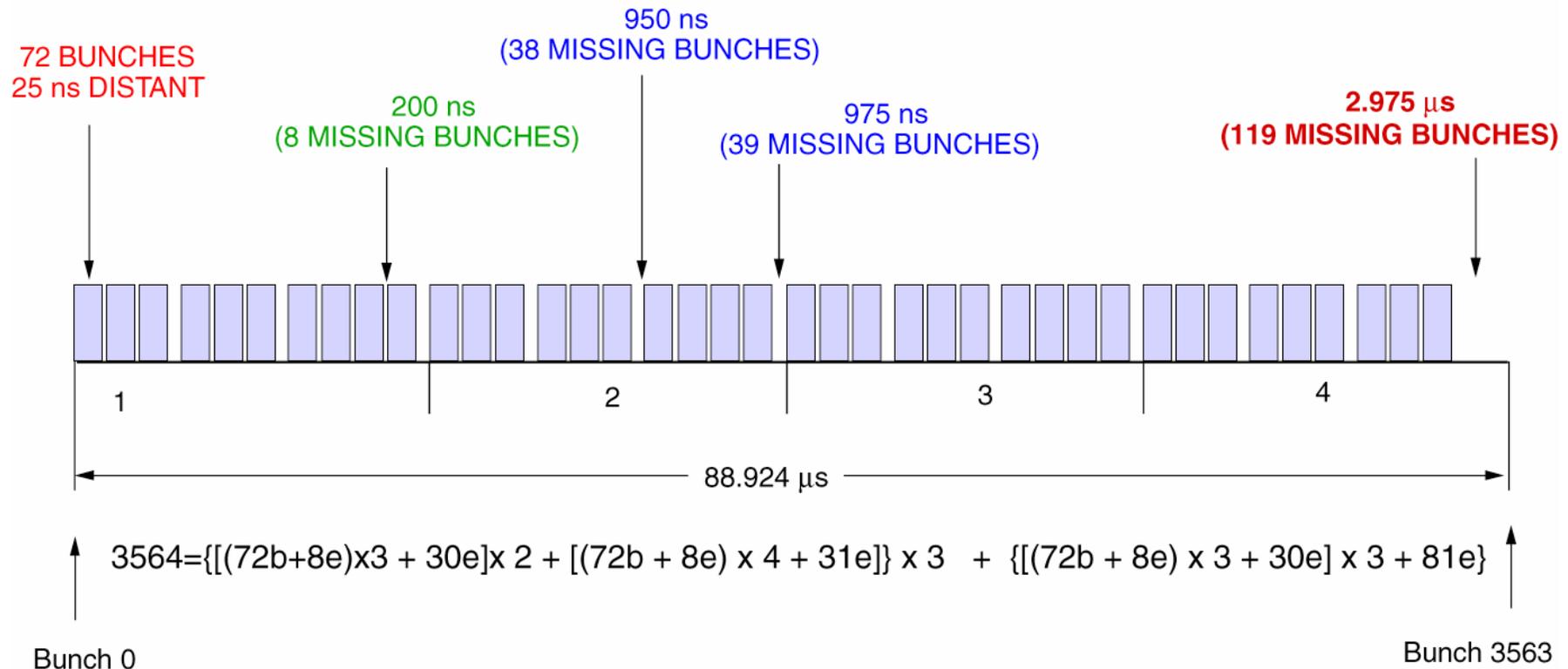


- La luminosità e i metodi di misura
- Misure sui fasci
- Misure assolute integrate
- Misure su canali noti
- Luminosità istantanea e tecniche sperimentali
 - Luminosità istantanea
 - Rivelatori: LUCID, HF, Pixels
 - Tecniche di misura: conteggio diretto, indiretto (zero counting), misure proporzionali
- Problemi aperti/Conclusioni

Mauro VILLA (*ATLAS Bologna*)

- Il controllo della *stabilità del fascio* è un aspetto *fondamentale*. Idealmente vorremmo avere un fascio stabile per tutta una presa dati (decine di ore).
- Diversi effetti di macchina non lo consentono:
 - Il fascio ha una struttura a bunch non banale
 - L'omogeneità di riempimento dei bunch non è garantita
 - Il fascio si deteriora con il tempo
- **Conseguenze**
 - Il numero medio di interazioni (tracce/hits) varia con il tempo e con il BX number
 - Le efficienze di ricostruzione (patter recognition) possono diventare funzione della luminosità istantanea.
 - Vi sono contributi sistematici a tutte le misure di BR, Yield, sezioni d'urto dovuti a come varia la luminosità istantanea.
- ATLAS e CMS fanno *diverse misure indipendenti* di luminosità istantanea.

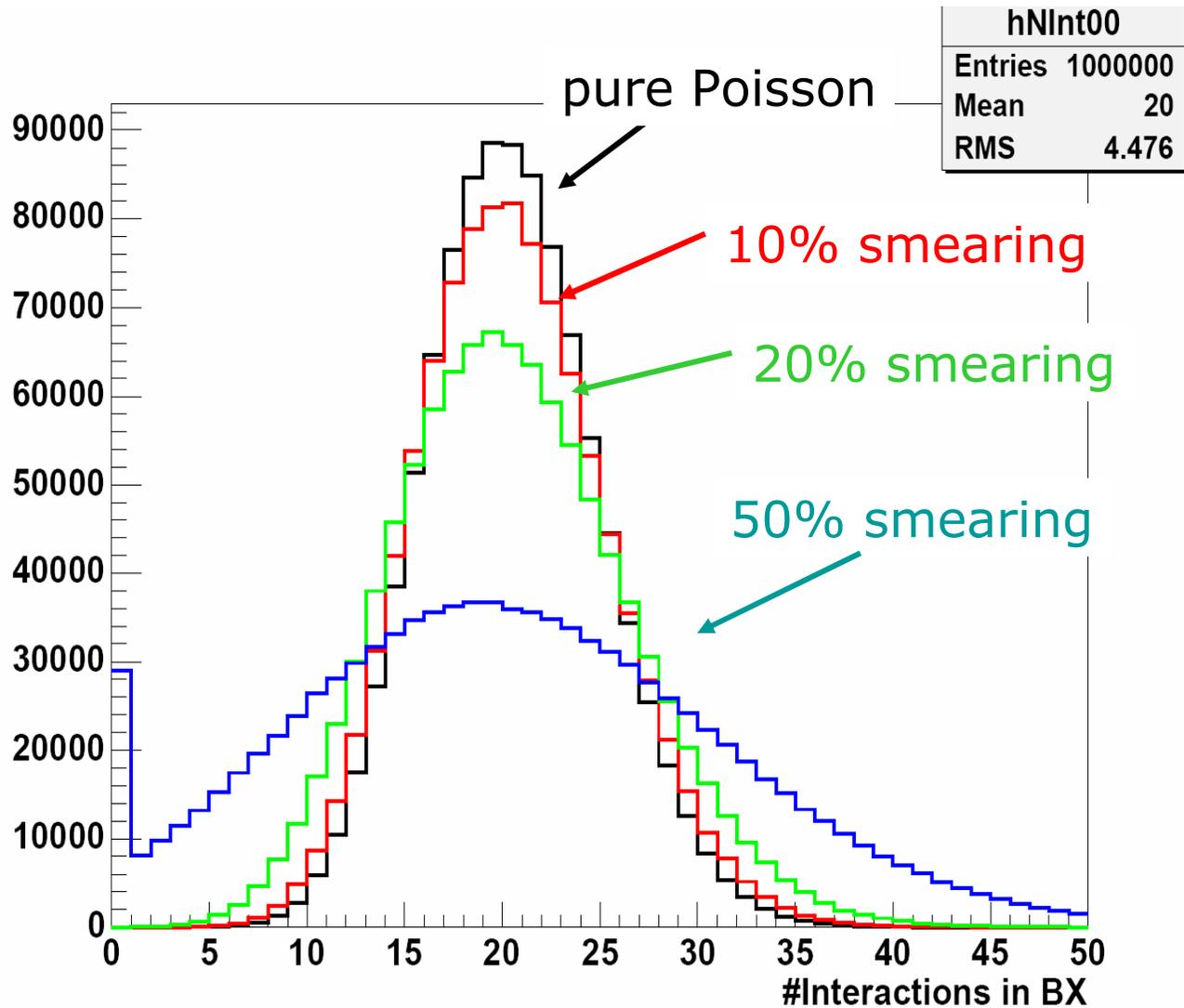
Struttura del fascio di LHC



3564 bunch; 2808 riempiti, 756 vuoti

L'omogeneità di riempimento dei bunch non è garantita

Riempimento non uniforme



Effetto di uno Smearing Gaussiano ad Alta Luminosità

→ Pile-up non Poissoniano

Elevato numero di interazioni per Bunch crossing

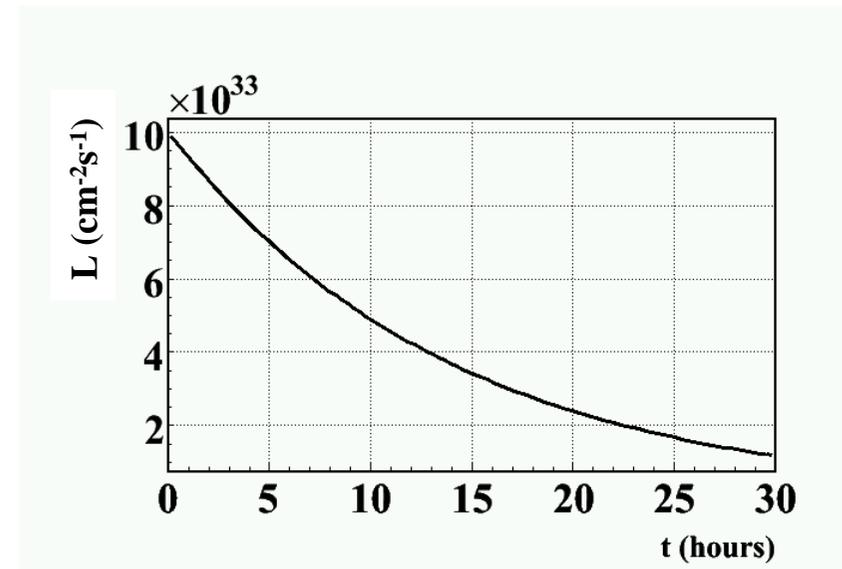
Deterioramento del fascio



- La luminosità istantanea della macchina decresce esponenzialmente come:

$$L = L_0 e^{-t/\tau} \quad \tau \approx 14 \text{ h}$$

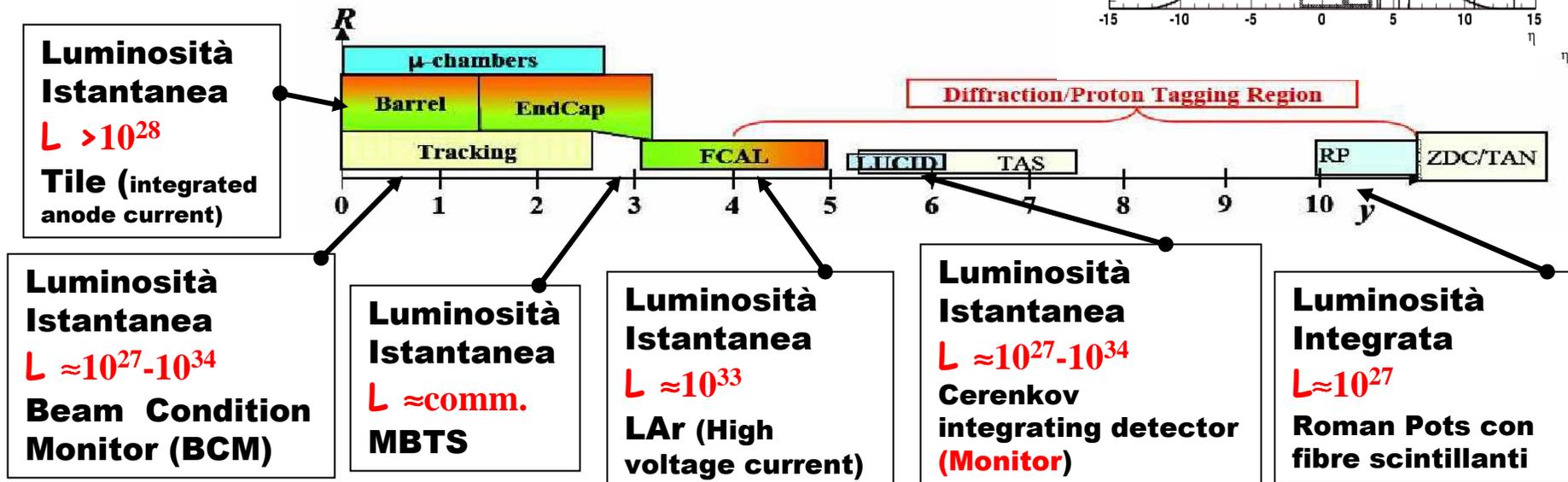
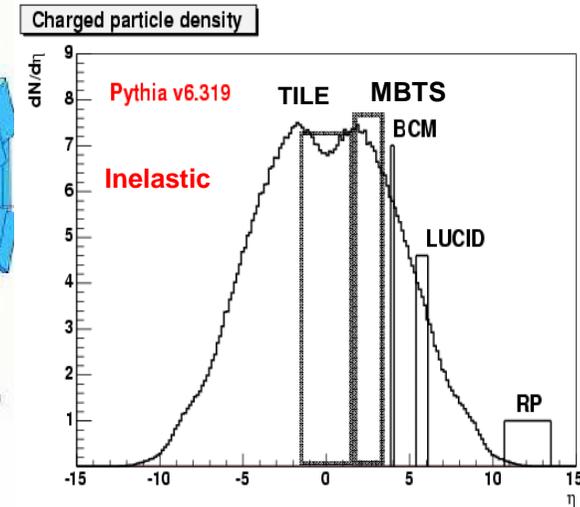
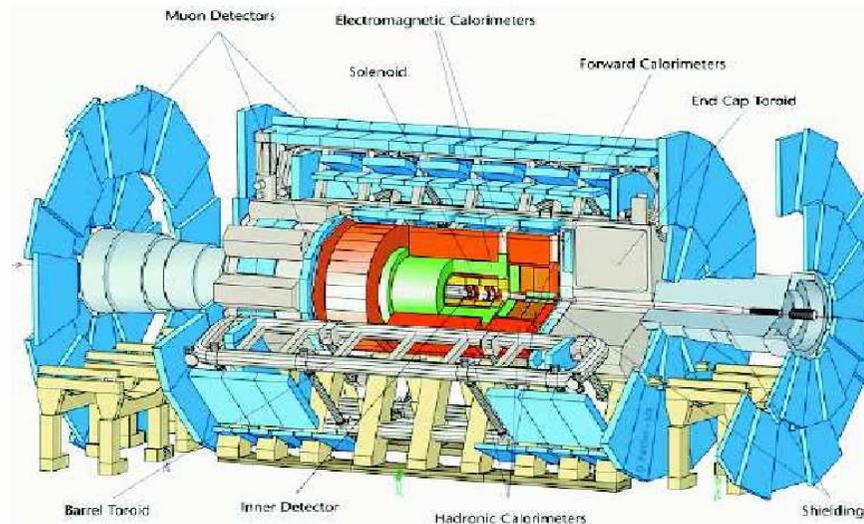
- Dovuto a:
 - Scattering tra i bunch
 - Interazioni tra i fasci
 - Interazioni con il gas residuo
 - Radiazione di sincrotrone



[LHC Design Performance, EDMS
CERN-0000020013]

Deterioramento atteso ~ 1% in 10 min
⇒ Taratura dei pre-scaler

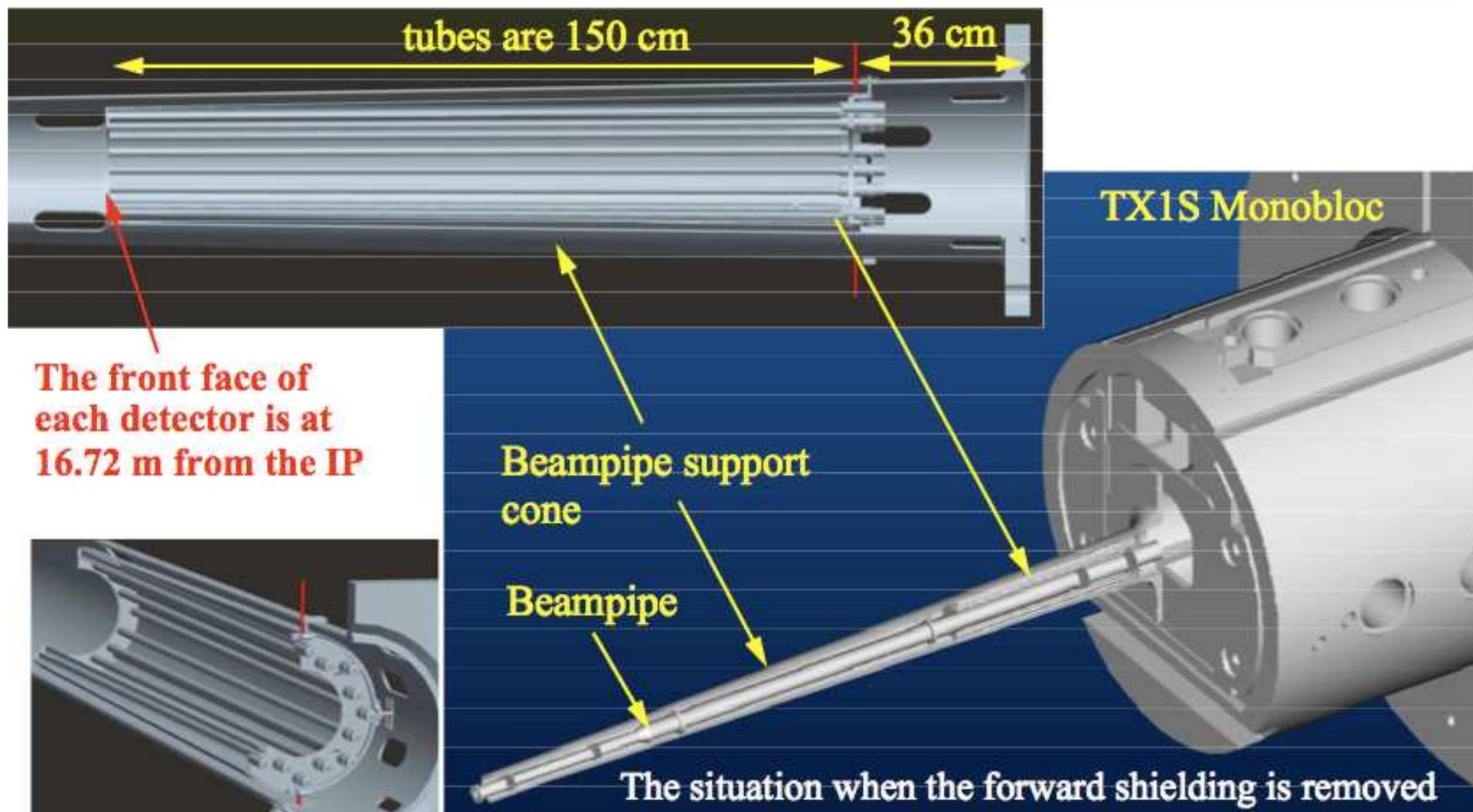
Forward Detectors @ ATLAS



Rivelatore LUCID

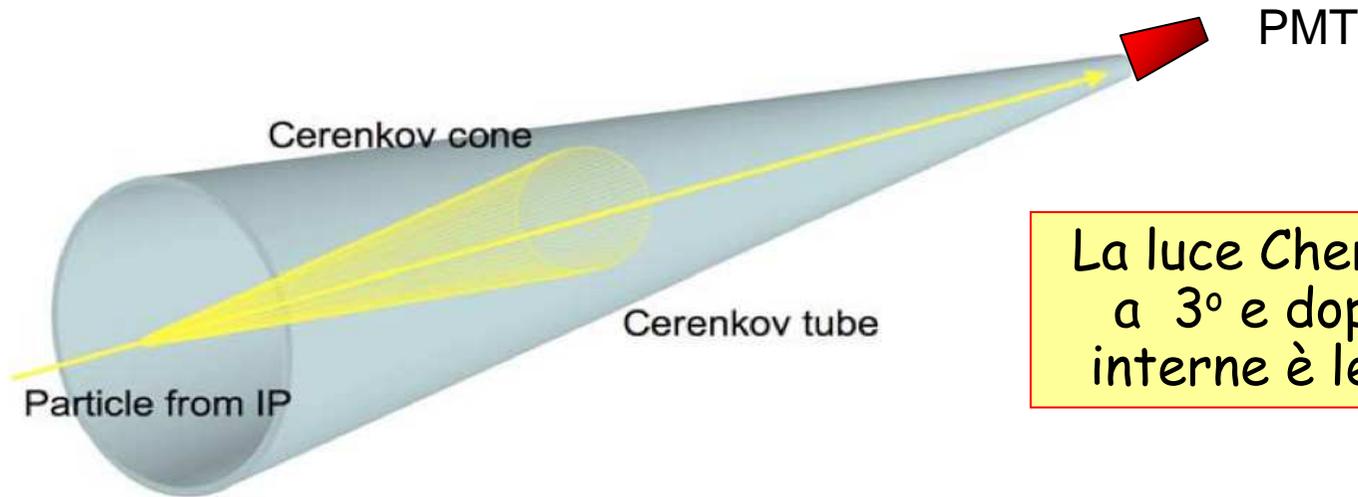


Copertura $|\eta|$: [5.6, 6.0]



2x20 tubi di alluminio riempiti di un gas ad alto indice di rifrazione (C_4F_{10}).
pressione del gas C_4F_{10} mantenuta a 1.25/1.5 bar (Leak <10 mbar/day).

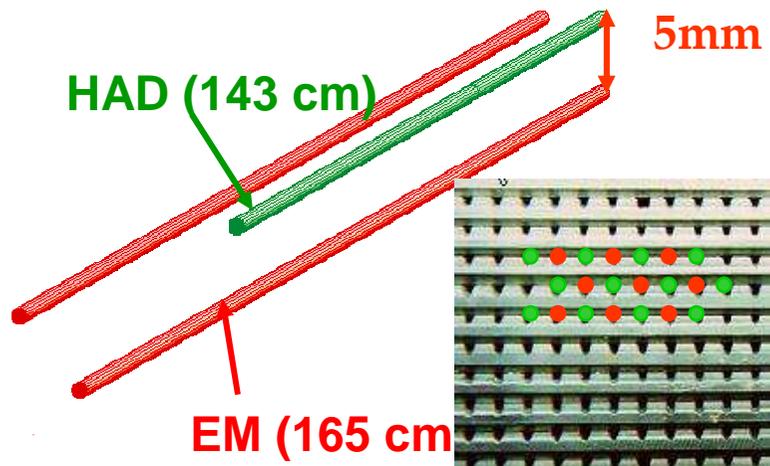
Principio di funzionamento del LUCID



La luce Cherenkov è emessa a 3° e dopo 3 riflessioni interne è letta da un PMT.

- Soppressione dei fondi:
 - Soglia Cherenkov nel gas (10 MeV per e^- e 2.8 GeV per p)
 - I tubi hanno una geometria che punta alla regione di interazione pp .
- La risposta veloce (pochi ns) permette di rivelare le interazioni ad ogni bunch crossing (BX).
- L'ampiezza del segnale e' proporzionale al numero di tracce passate

Forward Hadron calorimeter (HF, CMS)



Rivelatore: fibre di quarzo

(radiation hard : >1 Grad/10 years)

Rivelatori a luce Cherenkov .

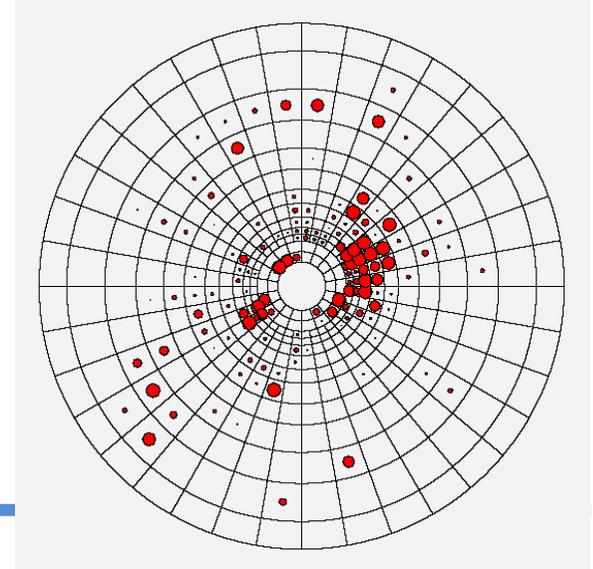
Segmentazione $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.175 \times 0.175$

Copertura $3 < |\eta| < 5$

1728 torri, i.e. 2 x 432 torri per EM e HAD

Evento tipico alla luminosità di progetto (25 pp interactions/BX)

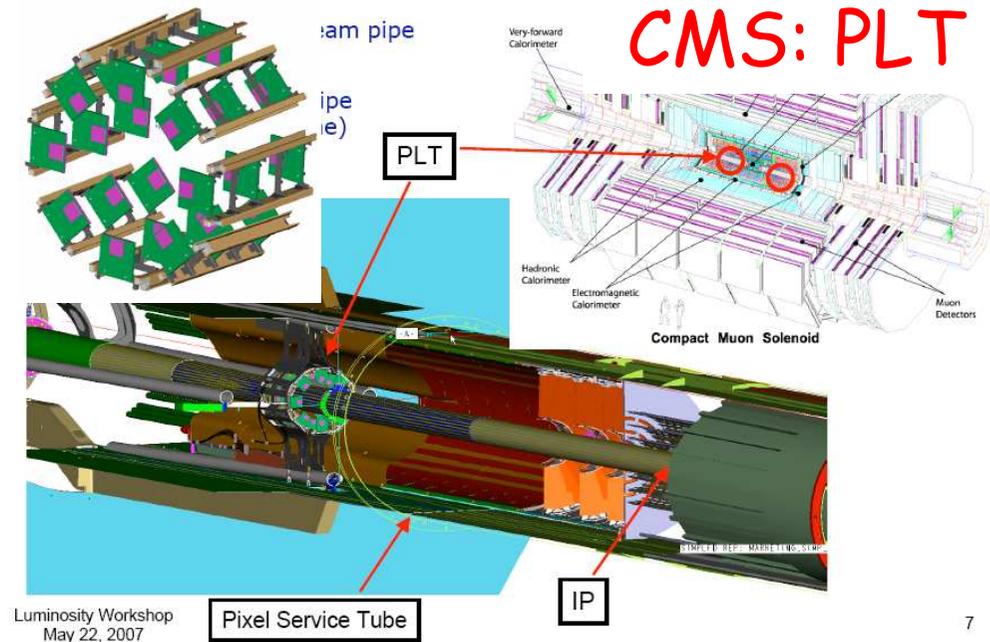
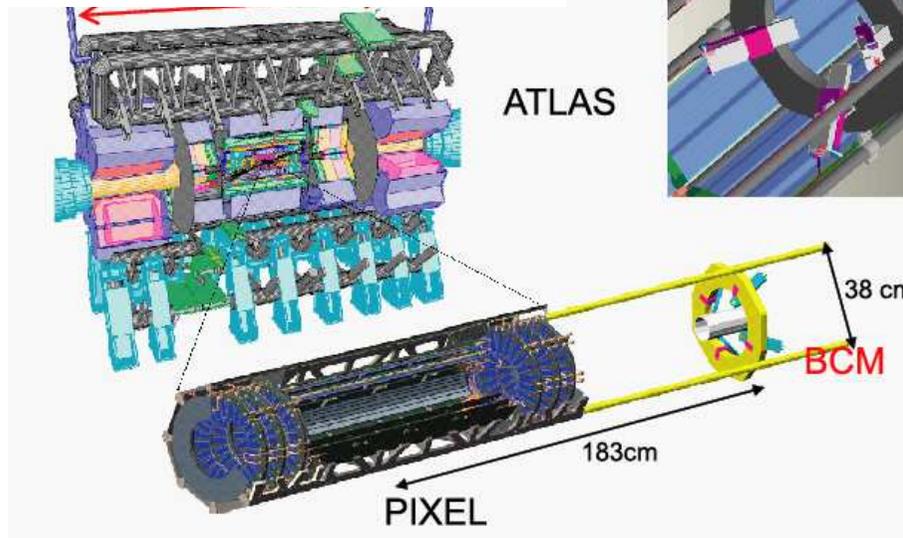
Anche alle più alte luminosità, il rivelatore HF è principalmente vuoto.



Beam Condition Monitors



ATLAS: BCM



- Forward Diamond pixel sensors
- Misura Bunch-per-bunch
- Misura relativa di luminosità
- Incertezze dell' $\sim 1\%$ sulla luminosità $10^{28} - 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Strategia generale di misura



- Si usano rivelatori *veloci* in grado di fornire segnali ad ogni **bunch crossing** (BX, ogni 25 ns). I dati *devono uscire* dal rivelatore.
- Una *elettronica dedicata* fornisce una misura di $L(BX)$ medio in un certo intervallo (Luminosity Block →) - Misura relativa - Online (Bandwidth in ingresso $O(\text{Gbyte/s})$)
- *Offline si effettua una calibrazione fine* della luminosità istantanea e integrata con altri metodi.

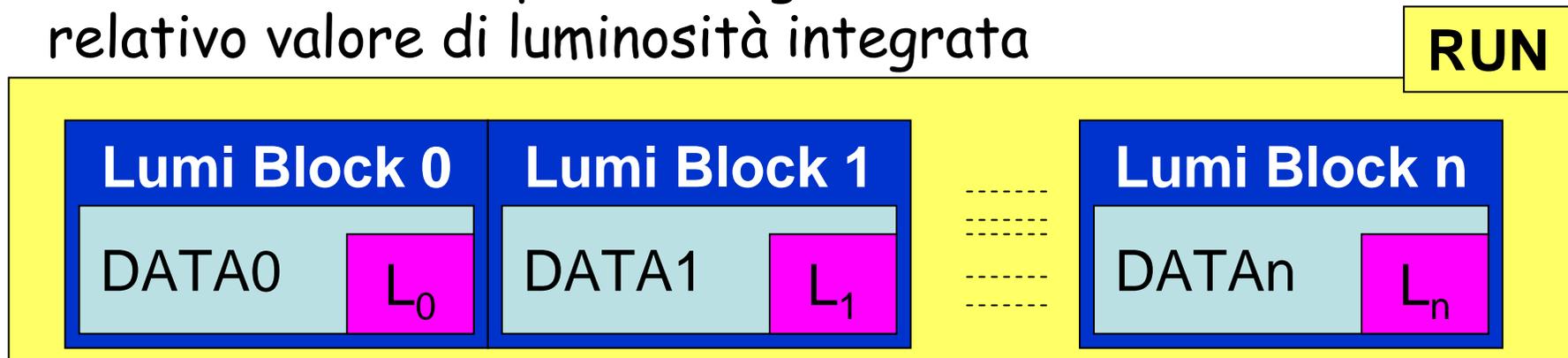
$$L_{LB} = \sum_{BX} \alpha L(BX) (1 + \delta_{BX})$$

Luminosity Block



LB: Intervallo temporale per cui è possibile definire un valore di luminosità istantanea *costante* (\sim min, $\sim 10^6$ cicli LHC)

- Per poter definire tali intervalli temporali è necessario avere un buon controllo della luminosità del fascio istante per istante (L)
- I dati di fisica acquisiti in ogni LB faranno riferimento al relativo valore di luminosità integrata



- Run luminosity:
$$L(RUN) = \sum_{LB} L_{LB}$$

Misure di luminosità da minimum bias



Numero medio
di interazioni:

$$\mu = \frac{\langle N \rangle}{BX} = \frac{\sigma_{mb} L}{f}$$

$$\sigma_{mb} = 110^{+10}_{-20} \text{ mb} \quad \text{QCD}$$

$$f = 40 \text{ MHz}$$

- **Conteggio diretto**
- (per $\mu \ll 1$)

- **Conteggio indiretto, Zero-counting**
- (per $0.01 < \mu < 5$)

$$p(0; \mu) = e^{-\mu}$$

- **Misura del segnale**

Metodo del conteggio diretto



Obiettivo:

Numero medio di interazioni:

$$\mu = \frac{\langle N \rangle}{BX} = \frac{\sigma_{mb} L}{f} \rightarrow 22$$

- **Assunzione: distribuzione poissoniana delle interazioni in un certo BX:**

$$p(N; \mu) = \frac{\mu^N}{N!} e^{-\mu}$$

- Per $\mu \ll 1$: devo distinguere gli eventi vuoti ($N=0$) da quelli pieni ($N=1$). $N \geq 2$ ha una frequenza trascurabile.

$$p(N > 0; \mu) = 1 - e^{-\mu} \xrightarrow{\mu \ll 1} \mu$$

- Ogni definizione **semplice** di evento pieno può andare bene:
 - HF: almeno una torre calorimetrica con $E_T > E_{T0}$
 - LUCID: segnale negli scintillatori/tubi Cerenkov
- Problemi:
 - Occorre considerare una efficienza: $\langle N \rangle = \langle M \rangle / \varepsilon$ con ε grande.
 - Sensibilità al fondo; metodo valido solo per μ piccolo (no eventi sovrapposti).

- Condizione: *si contano gli eventi vuoti*
 - Probabilità BX privi di interazione: $p(0;\mu) = e^{-\mu}$
 - HF: tutte le torri con $E_T < E_{T0}$
 - LUCID: nessun segnale negli scintillatori/tubi Cherenkov

- Vantaggi:

- Minore sensibilità al fondo;
- Estensione del range $0.01 < \mu < 5$
- Per $\mu > 5$ si può segmentare i rivelatori
 - Ogni torre HF ed ogni tubo Cherenkov è un misuratore indipendente di luminosità
 - Riduzione dell'efficienza sul singolo rivelatore;
 - Obiettivo: $0.01 < \mu < 5$ per il singolo rivelatore

Per $\mu > 4.6$
 $p(0;\mu) < 1\%$

- Utilizzo segnali proporzionali a L:
 - HF, ATLAS, CMS: ΣE_T
 - Lucid: Numero di scintillatori/tubi colpiti
 - TileCal e LAr: monitoraggio della corrente anodica
-> non sul singolo BX
 - $N(Z^0)$, $N(W)$ -> misura integrata
- Problemi
 - Eventuali problemi di non linearità dovuta alla sovrapposizione degli eventi

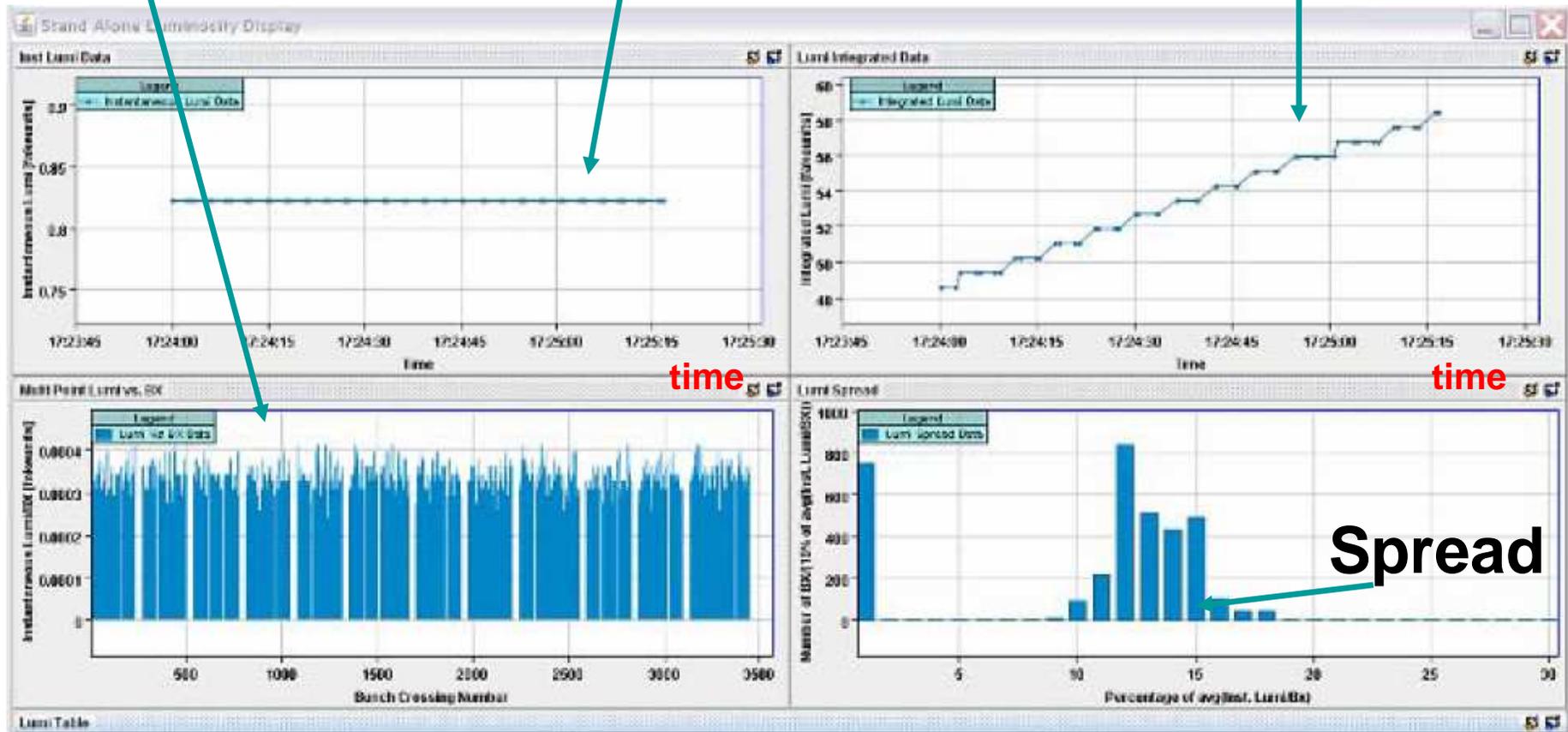
Usi della luminosità istantanea



$\mathcal{L}(t)$ medio: stabilità del fascio

$\mathcal{L}(BX)$ per-bunch

$$L(T) = \int_0^T \mathcal{L}(t) dt$$



BX

Conclusioni / Problemi aperti



- Il controllo della luminosità è un aspetto fondamentale della presa dati
- La luminosità è misurata indipendentemente da diversi sottorivelatori in ogni esperimento e monitorata in modo real-time da tutti gli esperimenti.
- Vi sarà una evoluzione nella precisione delle misure di L : da 10% (iniziale) \rightarrow 3-5%
- La precisione finale dipenderà da diversi fattori: dal controllo della macchina fino alla precisione sulle pdf, passando per una conoscenza accurata dei rivelatori

Bibliografia (1)



- [1] W. Hrr and B. Muratori, Concept of Luminosity, *Zeuthen 2003, Intermediate accelerator physics*, 361.
- [2] E. Bravin, proceedings from *LHC Project Workshop – ‘Chamonix XV’*
- [3] J. Bosser et al., *Nucl. Instr. and Meth. A* **235** (1985) 475.
- [4] ATLAS TDR.
- [5] S. van der Meer, Calibration of the effective beam height in the ISR, CERN-ISR-PO/68-31, 1968.
- [6] W.C. Turner et al., Development of a detector for bunch by bunch measurement and optimisation of Luminosity in the LHC, *Nucl. Instr. and Meth. A* **461** (2001) 107.
- [7] E. Rossa et al., CERN-SL-2002-001-BI, Jan 2002.
- [8] M. Ferro-Luzzi, Proposal for an absolute luminosity determination in colliding beam experiments using vertex detection of beam-gas interactions , *Nucl. Instr. and Meth. A* **553** (2005) 388.
- [9] Velo TDR

Bibliografia (2)



- [10] R. Cahn, *Zeit. Phys.* **C15** (1982) 253
- [11] V. Kundrat and M. Lokajicek, *Z. Phys.* **C63** (1994) 619–630
- [12] M. M. Islam, R. J. Luddy and A. V. Prokudin, *Int. J. Mod. Phys.* **A21** (2006) 1–42
- [13] V. A. Petrov, E. Predazzi and A. Prokudin, *Eur. Phys. J.* **C28** (2003) 525-533
- [14] Claude Bourrely, Jacques Soffer, and Tai TsunWu, *Eur. Phys. J.* **C28** (2003) 97-105
- [15] M. M. Block, E. M. Gregores, F. Halzen and G. Pancheri, *Phys. Rev.* **D60** (1999) 054024
- [16] TOTEM collaboration, Technical design report, *CERN/LHCC 2004-02* and addendum *CERN/LHCC 2004-020*
- [17] CMS/TOTEM diffractive and forward physics working group, Prospects for Diffractive and Forward Physics at the LHC, *CERN/LHCC 2006-039/G-124*
- [18] ATLAS forward detectors for luminosity measurement and monitor, Letter of intent, *CERN/LHCC 2004-010*
- [19] S. Ask, ATL-LUM-PUB-2006-001

Bibliografia (3)



- [20] CMS/EWK collaboration, Towards a measurement of the inclusive $W \rightarrow \mu\nu$ and $Z \rightarrow \mu\mu$ cross sections in pp collisions at $s = 14$ TeV, *CMS Note AN2007_031*
- [21] N.Adam et al., Measurement of the Inelastic Cross Section using the Luminosity system, *CMS note IN2007_046*
- [22] CMS Luminosity twiki page:
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMS/LumiWikiHome>
- [23] CMS PTDR: cap. 8 Volume 1
- [24] ATLAS PDR: cap. 13 Volume 1
- [25] ATLAS PDR: cap.15-16 Volume 2
- [26] A.Tricoli, STRUCTURE FUNCTION MEASUREMENTS AT LHC, *ATLAS PACS numbers 13.85*
- [26] J.Anderson et al., Measuring of $Z \cdot Br(Z \rightarrow \mu+\mu-)$ at LHCb, *LHCb note: 2007_114*
- [27] J.Anderson et al., Luminosity measurements at LHCb using dimuon pairs produced via elastic two photon fusion, *LHCb note : 2008_001*

Spunti di discussione (stefano)



-e' possibile che anche gli altri esperimenti lhc usino il metodo beam-gas?

-Problema metodo beam-gas e' tutto nella normalizzazione della carica dei fasci.

- si puo' trovare un canale "interesperimento" per confronti diretti di luminosita'?

Spunti di discussione (fabrizio)



- Monte Carlo (generatori dedicati, generatori di processi esclusivi, merge della parte soft con quella hard)
- Incertezze sulle estrapolazioni
- Ottiche dedicate
 - quali? quando?
- Allineamento Roman Pots
- Fondi della macchina
- Modelli teorici (scattering elastico e diffrattivo):
 - diversi approcci
 - Pommerone e QCD

Spunti di discussione (michele)



Misura della luminosità a partire da sezione d'urto note

- $pp \rightarrow (p+\gamma^*)+(p+\gamma^*) \rightarrow p+(l-l^+)+p$
 - $\Delta L/L \sim 2\%$ (syst+ stat) ma solo per $L \sim \text{fb}^{-1}$
 - si può usare anche con interazioni ioni (TOTEM, ALICE????)
- Canali elettrodeboli ($Z \rightarrow l^+l^-$, $W \rightarrow lv$)
 - si può usare già con 10pb^{-1}

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma} (pp \rightarrow Z/\gamma^* + X \rightarrow \mu\mu) = 0.005 \quad (\text{stat}) \pm 0.011 \quad (\text{ex.sys}) \pm 0.02 \quad (\text{th.sys})$$

Back up slides

Monitor di luminosità (in fase di studio)



Idea: monitorare le variazioni di luminosità durante i run usando semplici combinazioni di trigger (utilizzando per es. degli scaler)

Tutti i rivelatori di TOTEM hanno anche funzionalità di trigger.

Esempio: monitoraggio del rate delle coincidenze a 2-arm delle Roman-Pot @ $\beta^* = 2$ m :
(indipendente dalla configurazione dei rivelatori T1, T2 e CMS)

I contributi provengono da eventi a doppio Pomerone e da pileup di Singolo Diffrattivi



Rate di coincidenza dato da $R = \mathcal{L} \sigma_{\text{DPE}} + \mathcal{L}^2 \sigma_{\text{SD}}^2 \Delta t_{\text{bunch}} + \text{background}$

$\beta^* = 2$ m: (nell'accettanza) $\sigma_{\text{DPE}} \sim 35 \mu\text{b}$, $\sigma_{\text{SD}} \sim 1.6 \text{ mb}$

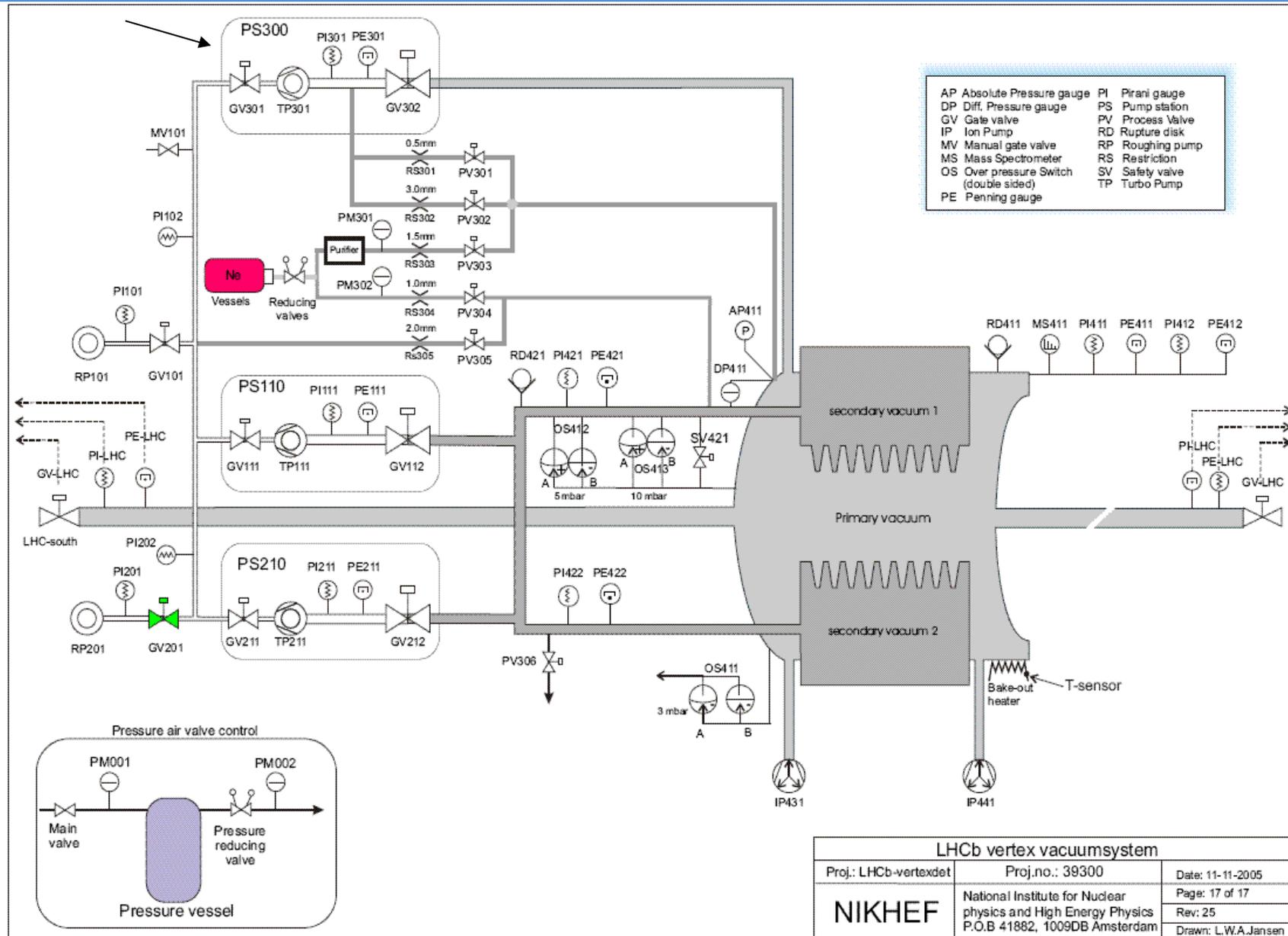
$\mathcal{L} = 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$: $R = 35 \text{ kHz (DPE)} + 65 \text{ kHz (SD)} = 100 \text{ kHz}$

Calibrazione di σ_{DPE} e σ_{SD} @ $\beta^* = 90$ m: termini lineari e quadratici possono essere separati

- eventi in 1 s : 10^5 events

Background necessita ancora di essere separato

Sistema d'iniezione del gas



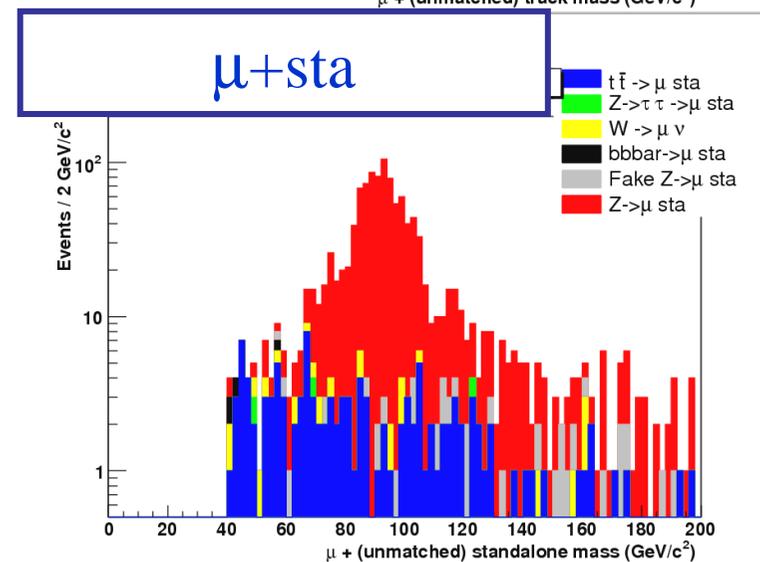
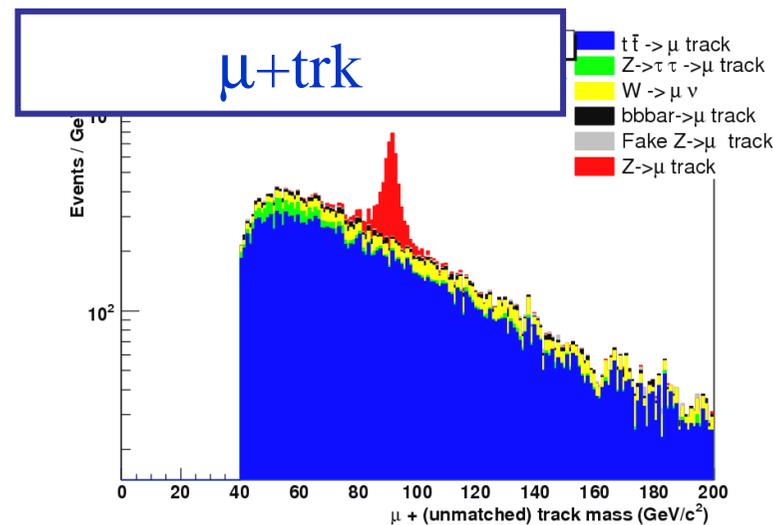
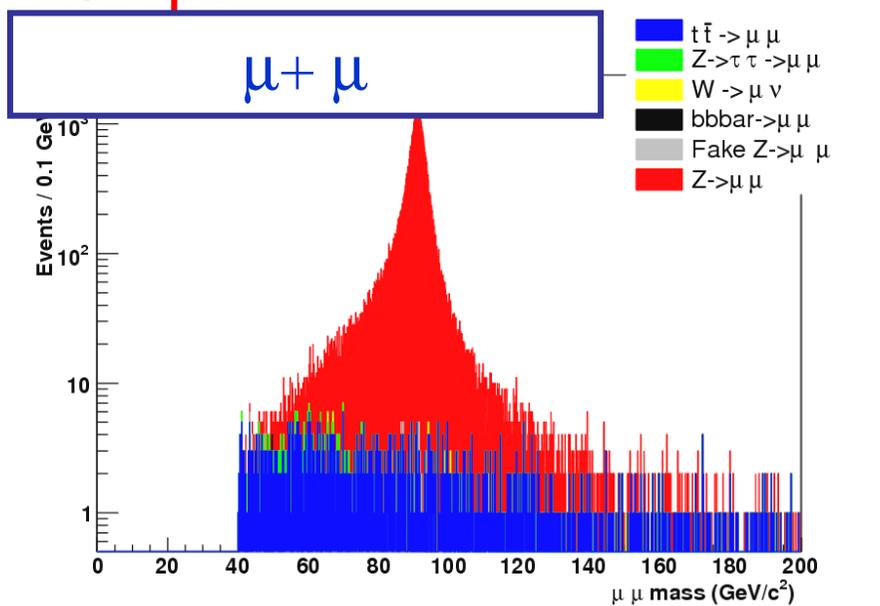
Rate di Z: Segnale + fondi



- Metodo di misura → 3 casi indipendenti di ricostruzione della $Z \rightarrow \mu^+\mu^-$

- $\epsilon_\mu = \epsilon_{\text{trk}} \times \epsilon_{\text{sta}}$

- $L=154 \text{ pb}^{-1}$



parametro	valore MC	stima dal fit
N_0	79912	80000 ± 500

Rate di Z sistematiche(2)



- L'incertezza sulla sez. d'urto di produzione della Z è dominata dall'incertezza sulla PDF
- $g g \rightarrow b b \rightarrow Z \sim 5\%$ intera produzione di Z a LHC

L'incertezza sulla PDF del b deriva da quella sulla PDF del g



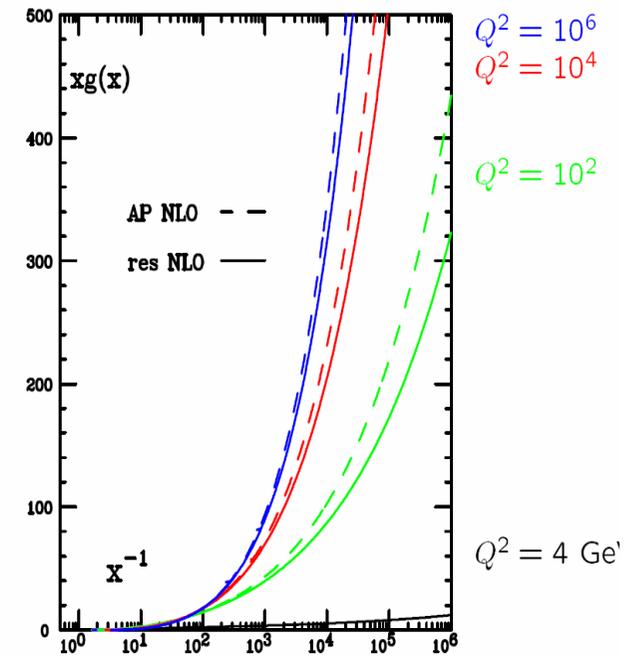
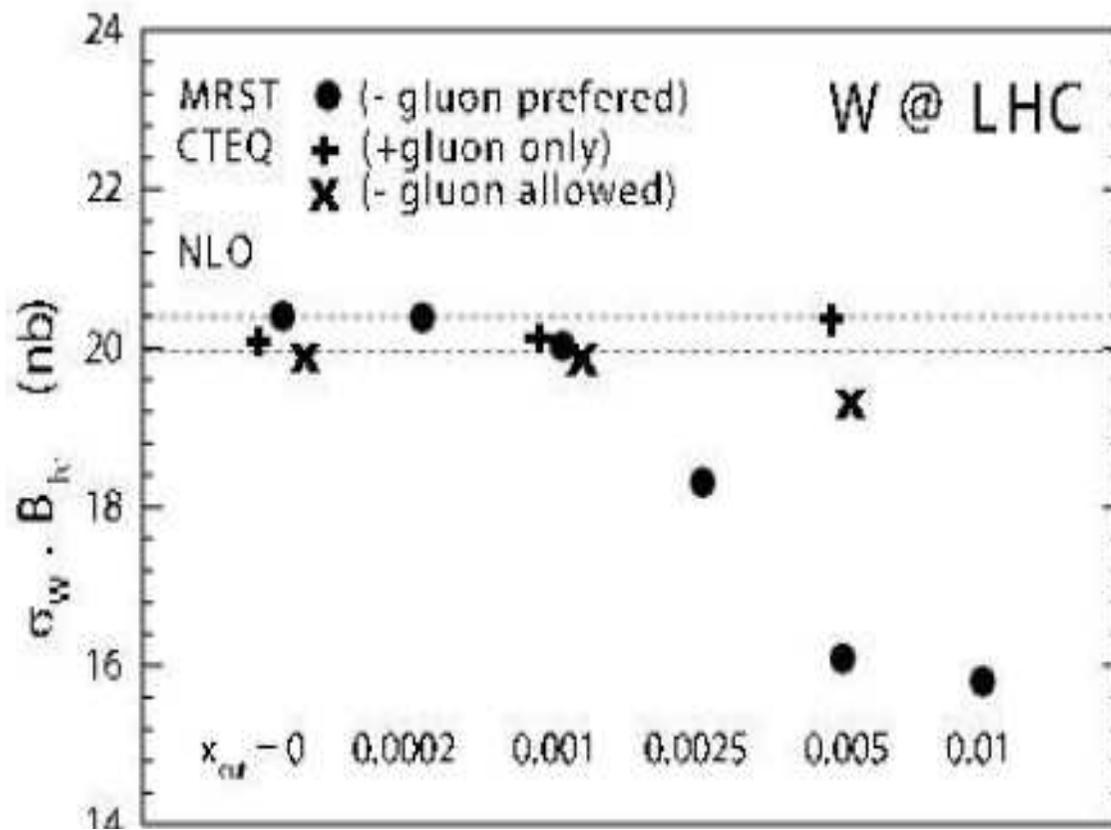
Necessità della misura della PDF del b

Possibili metodi: studio di Z+ b jet

Rate di W: sistematiche



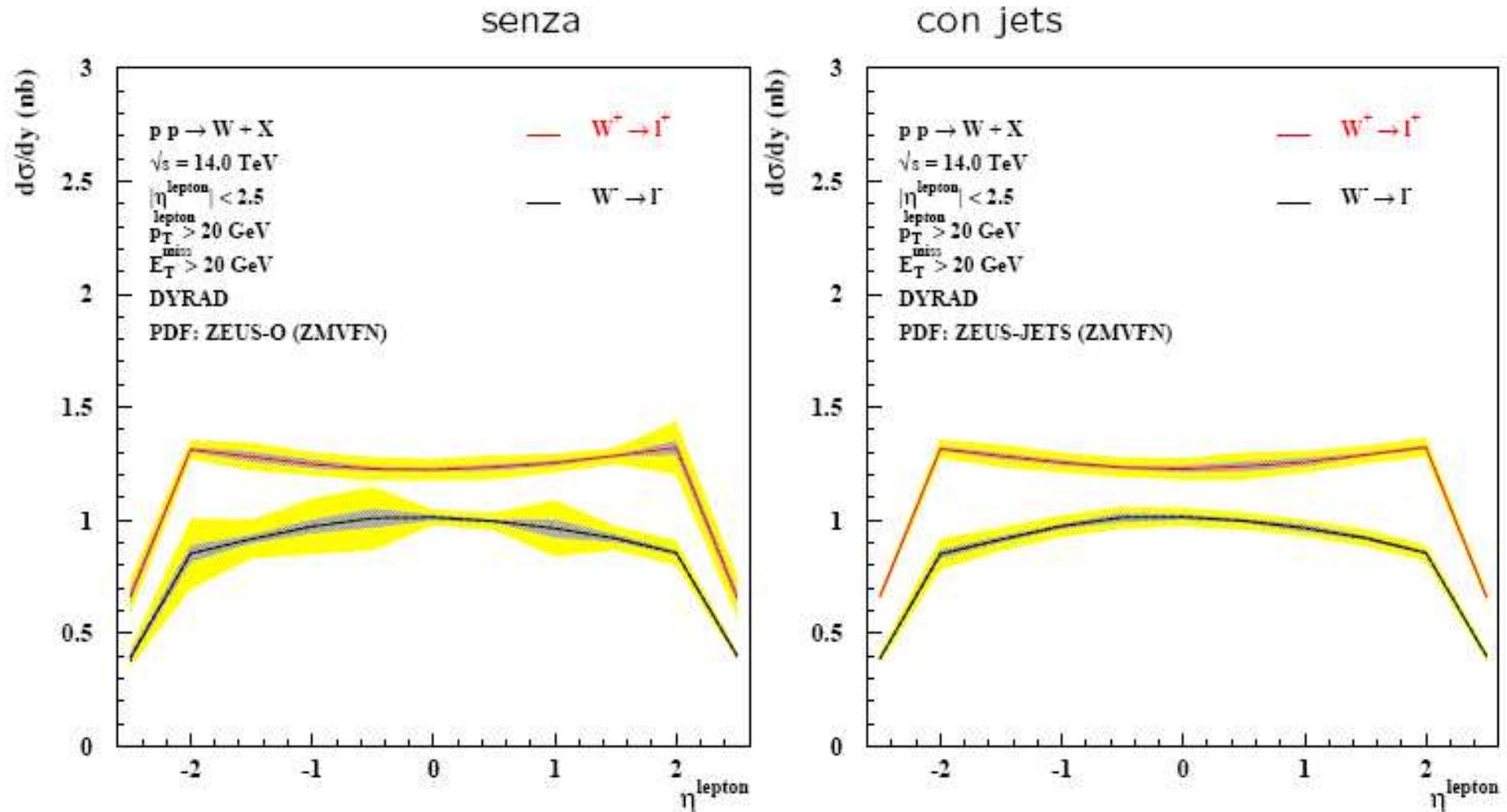
Sensibilità di $\sigma(W)$ da x_{\min} e assunzioni su $g(x, Q^2)$ a basso x



Rate di W: sistematiche (2)



Rapidità dei leptoni con tagli realistici, l'incertezza si riduce utilizzando I dati dei jet

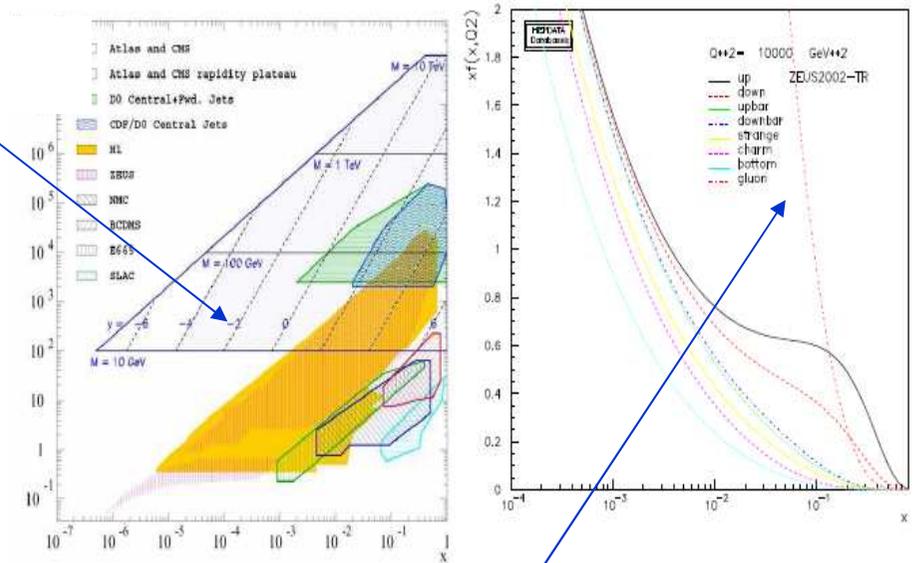


Rate di W: sistematiche(3)

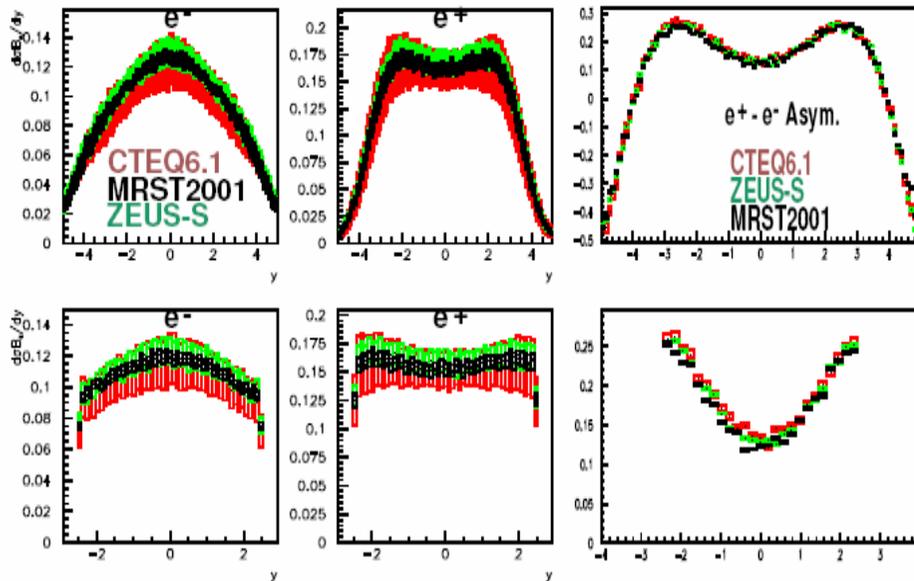


LHC

Incertezze sulla rapidità dei leptoni dai W,
Prima e dopo i tagli del rivelatore (ATLAS)



Le incertezze sono dovute ai gluoni di basso x



Can LHC measure PDFs ?



$$N_{events}(pp \rightarrow X) = L_{p-p} \times pdf(x_1, x_2, Q^2) \times \sigma_{theory}(q, \bar{q}, g \rightarrow X)$$

Uncertainties in **p-p luminosity** ($\pm 5\%$) and **p.d.f.'s** ($\pm 5\%$) will limit measurement **uncertainties to $\pm 5\%$** (at best).



• For **high Q^2** processes LHC should be considered as a **parton-parton collider** instead of a p-p collider.

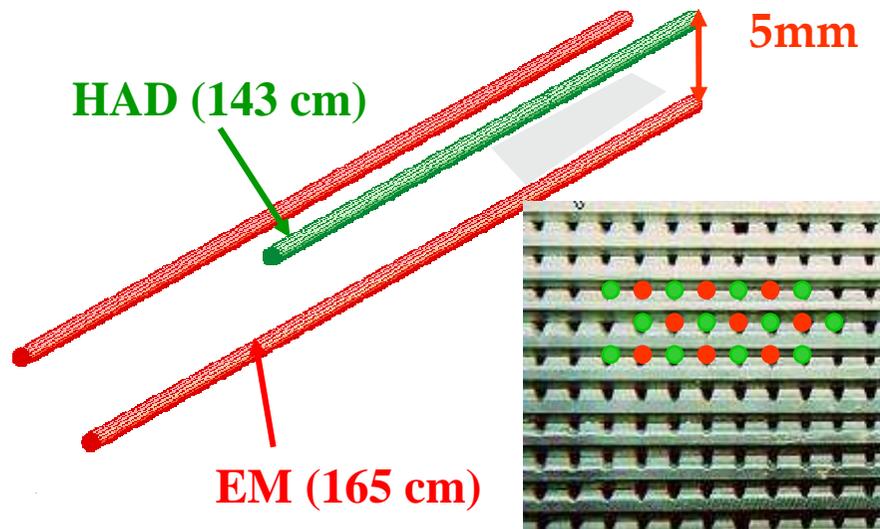
• Using only **relative cross section measurements**, might lead eventually to **accuracies of $\pm 1\%$** .

$q\bar{q}$ (u,d) (high-mass DY lepton pairs and other processes dominated by $q\bar{q}$)	W^\pm and Z leptonic decays <ul style="list-style-type: none"> • precise measurements of mass and couplings; • huge cross-sections ($\sim nb$); • small background. • x-range: 0.0003 – 0.1 • $\pm 1\%$
g (high- Q^2 reactions involving gluons)	γ-jet, Z-jet, W^\pm-jet <ul style="list-style-type: none"> • γ-jet studies: $\gamma p_T > 40$ GeV • x-range: 0.0005 – 0.2 • γ-jet events: $\gamma p_T \sim 10$-20 GeV • low-x: ~ 0.0001 • $\pm 1\%$
s, c, b	$\gamma c, \gamma b, sg \rightarrow Wc$ <ul style="list-style-type: none"> • quark flavour tagged γ-jet final states; • use inclusive high-p_T μ and b-jet identification (lifetime tagging) for c and b; • use μ to tag c-jets; • 5-10% uncertainty for x-range: 0.0005 – 0.2

Luminosità istantanea (3)



- HF → **Risposta veloce**



Parte attiva in fibra al quarzo per tollerare gli alti livelli di radiazione (>1 Grad accumulati in 10 anni)

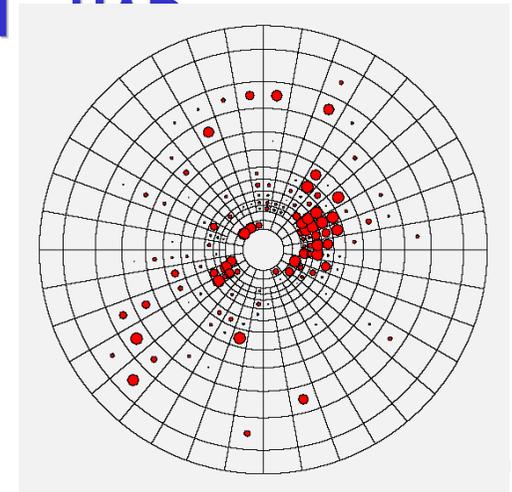
Sensibile alla Luce Cherenkov (45°)

Segmentazione: $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.175 \times 0.175$. 1728 torri, 864 torri per EM

2 metodi di misura

zero counting...

$E_T = f(\# N)$, monitorando l'energia nel calorimetro



HF: Zero counting



- Il numero di interazioni per BX:

, per $L = 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

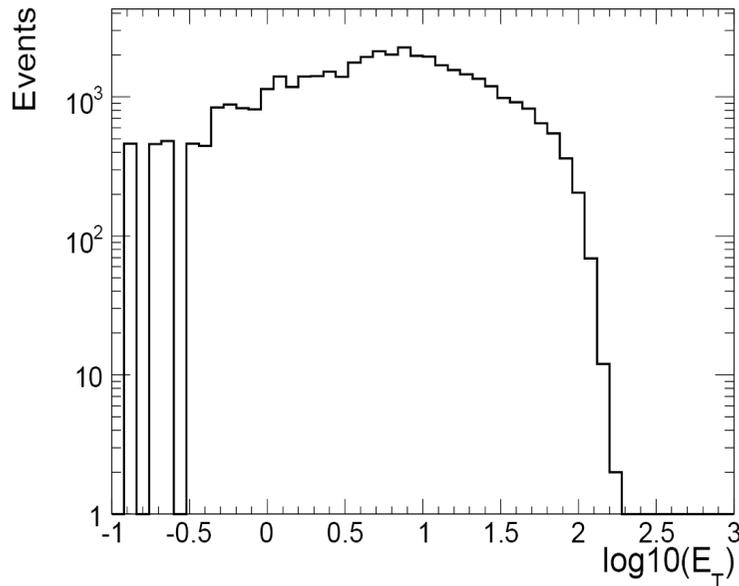
$$\mu = \frac{\sigma L}{f_{BX}} \approx 25$$

- Il numero di interazione per in BX:

- A bassa luminosità ($\mu \ll 1$) il numero di interazioni si determina da:

$$p(n; \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^n}{n!}$$

$$\mu = -\ln p_0$$



Richiedendo almeno una torre calorimetrica con $E_T > E_{T0}$

Per $\mu > 4.6$
 $p(0; \mu) < 1\%$

Ad alta luminosità si fa lo stesso usando ogni singola torre

→ 864 metodi indipendenti di misura della luminosità!!!!!!

Superfornitura calorimetrica per precisione

Luminosità istantanea (2)

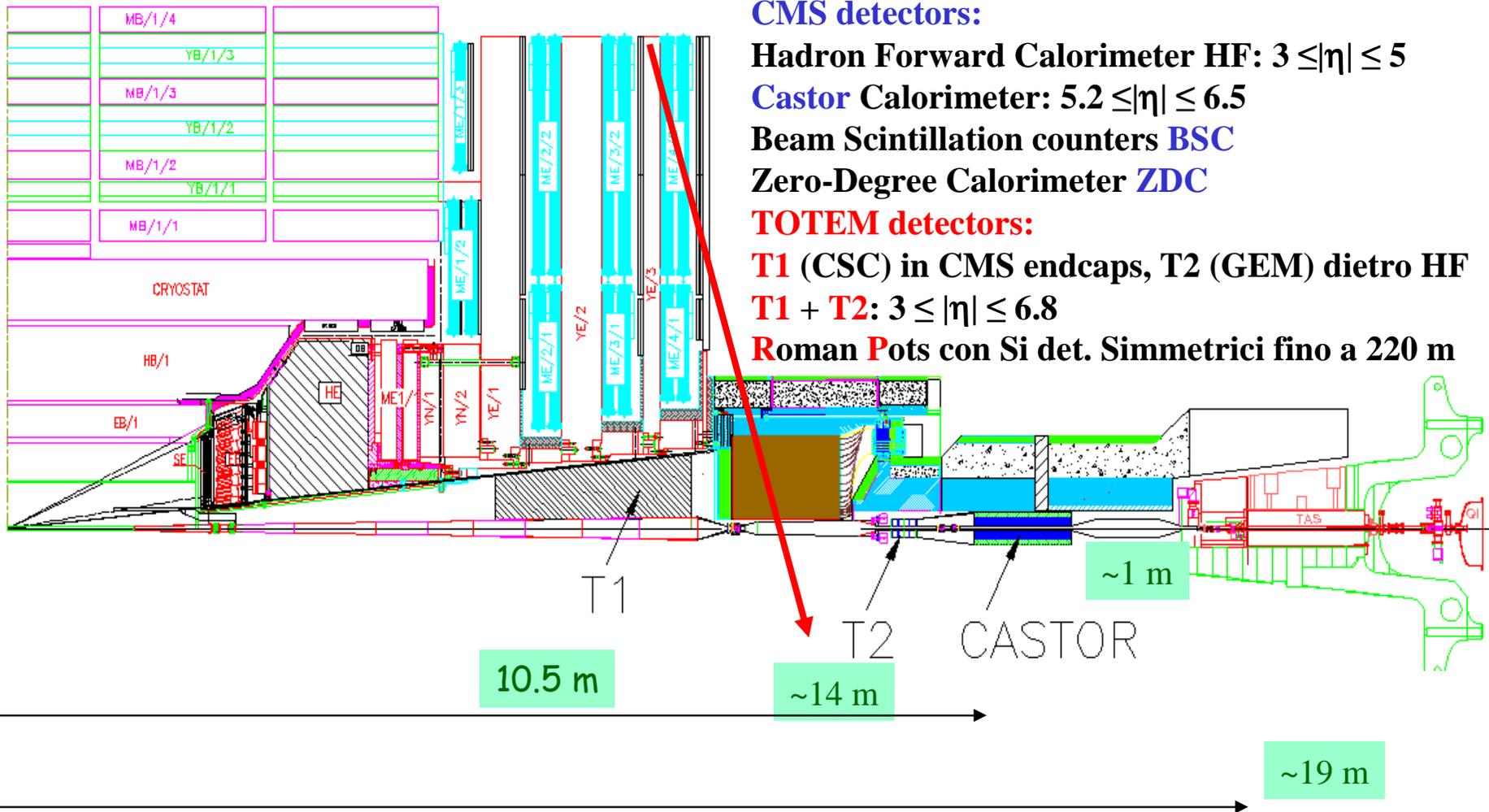


	LHCb	ATLAS/CMS
Detector configuration	Single-arm forward	Central detector
Running luminosity [$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]	2×10^{32}	3×10^{34}
pseudo-rapidity range (η)	$1.9 \div 4.9$	$-2.5 \div 2.5$
< interactions/crossing >	~ 0.4 ($\sim 30\%$ single int.)	~ 23
$b\bar{b}$ pairs/years(integrated in the η range)	10^{12}	5×10^{13}

Luminosità istantanea (1)



La misura è basata sul forward hadronic calorimeter (HF)



CMS detectors:

Hadron Forward Calorimeter HF: $3 \leq |\eta| \leq 5$

Castor Calorimeter: $5.2 \leq |\eta| \leq 6.5$

Beam Scintillation counters BSC

Zero-Degree Calorimeter ZDC

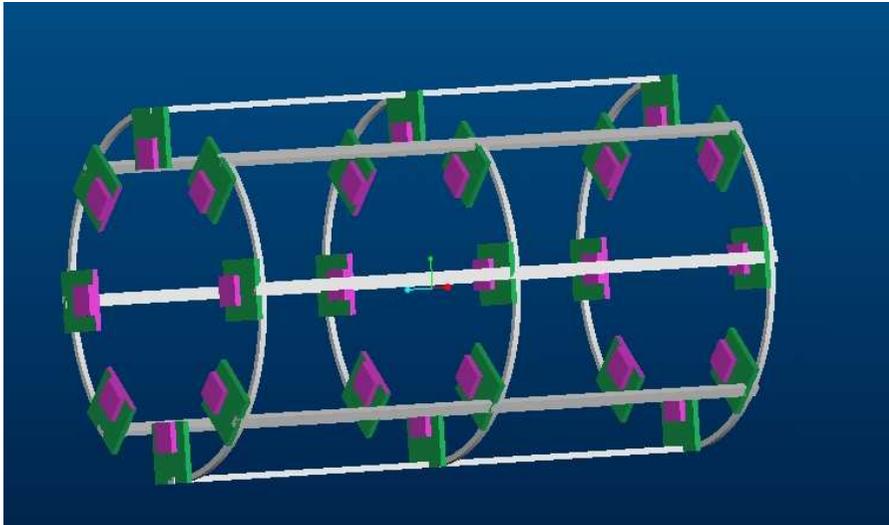
TOTEM detectors:

T1 (CSC) in CMS endcaps, T2 (GEM) dietro HF

T1 + T2: $3 \leq |\eta| \leq 6.8$

Roman Pots con Si det. Simmetrici fino a 220 m

Pixel Luminosity Telescope (PLT, CMS)



Three planes of 8 diamond sensors ($8 \times 8 \text{mm}^2$) bump-bonded to read-out pixels (radiation hard)

Length: 20 cm, $z: \pm 175$ cm, $r: 4.5$ cm

Small angle pointing telescope (1°)

Signals are 3-fold coincidences, on a bunch by bunch basis

Fast read-out	Full read-out
0, 1, 2, 3, >4 counting	Pulse height
Pixel threshold adjustable	Determination of track origin
Pixel maskable	Determination of IP

The PLT is a beam condition monitor

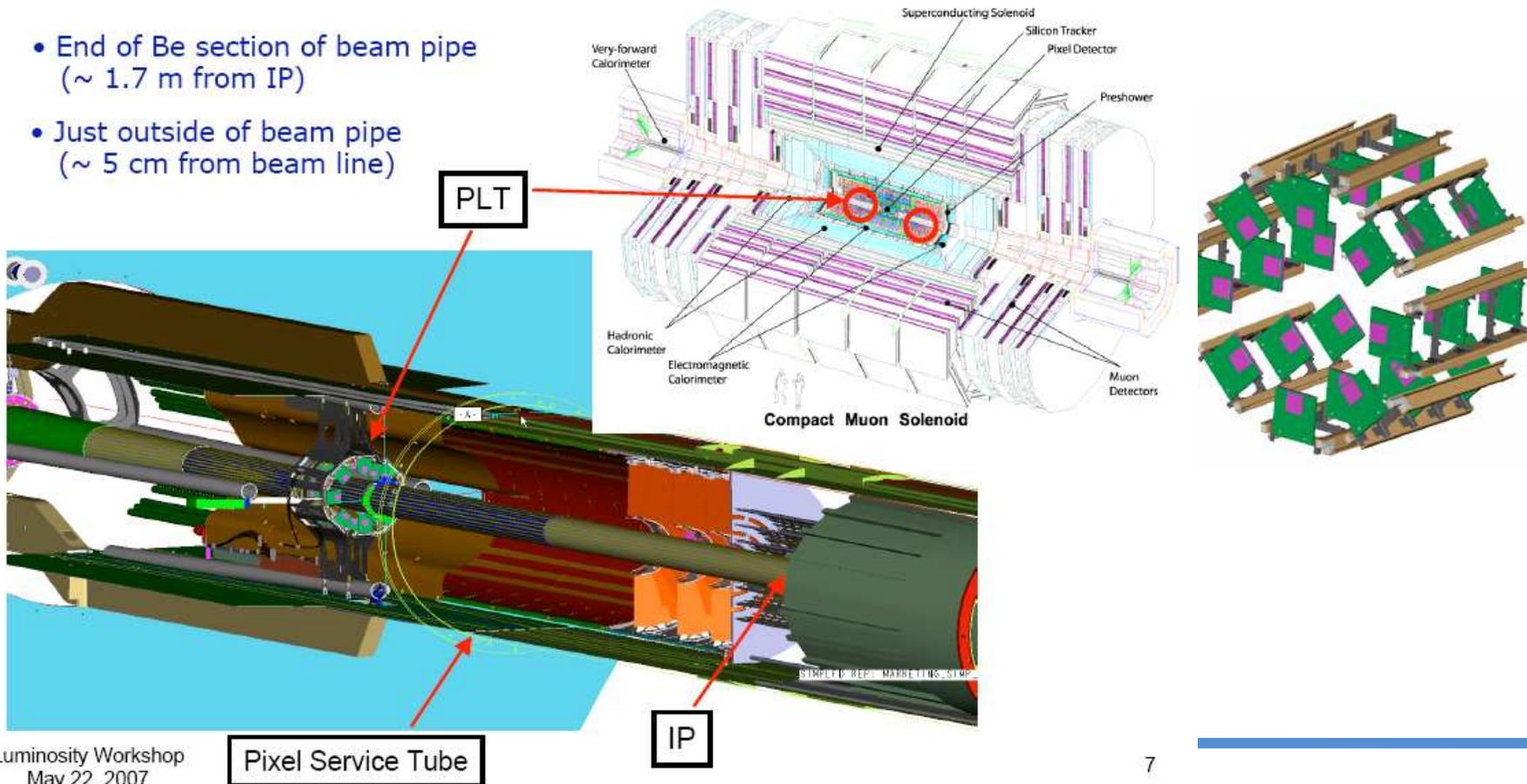
(not yet approved ??).

Pixel Luminosity Telescope (PLT, CMS)



- Relative luminosity measurement (as with HF)
- ~1% error for luminosity for $10^{28} - 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

- End of Be section of beam pipe (~ 1.7 m from IP)
- Just outside of beam pipe (~ 5 cm from beam line)



Beam Condition Monitor (BCM, ATLAS)

Realisation

