

# Asimmetria di carica nella produzione di bosoni $W^+ / W^-$ e $\frac{d\sigma}{dy}$ per la produzione di bosoni Z al Tevatron

Giacomo Artoni

Universita' di Roma "La Sapienza"

16-06-2008

Docente Responsabile: M. Rescigno

# Introduzione

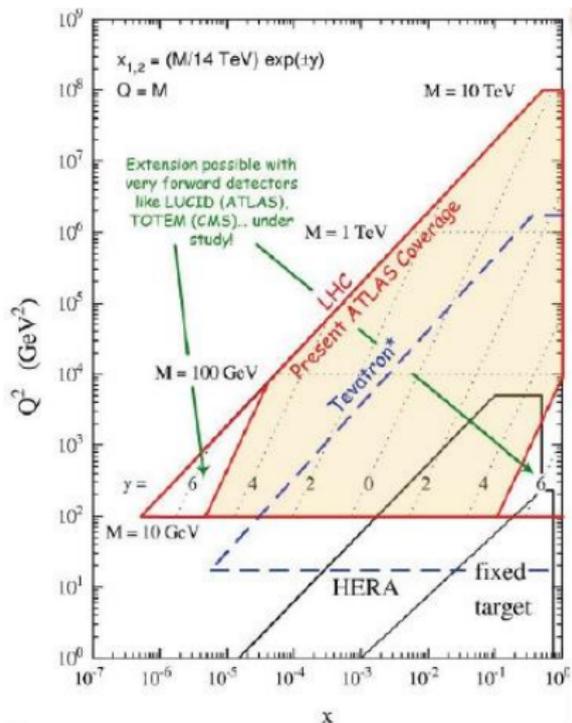
## Misure inclusive

- ▶ Buona conoscenza teorica del problema (stime precise);
- ▶ si puo' studiare l'**integrale** delle pdf;
- ▶ si puo' effettuare un controllo del proprio rivelatore.

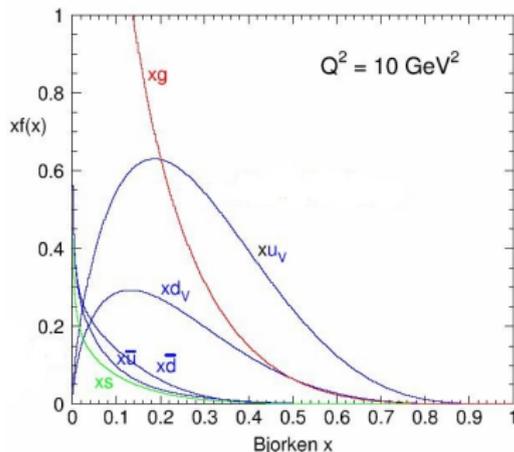
## Misure differenziali

- ▶ Posso studiare la **forma** delle pdf;
- ▶ si e' meno sensibili al rivelatore.

# Che regione possiamo esplorare al Tevatron?



Posso andare ad esplorare zone ad alta rapidita', nelle quali la forma delle pdf non e' perfettamente conosciuta:

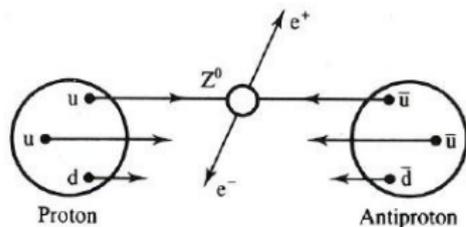


## Un po' di cinematica...

$$q(x_1) + \bar{q}(x_2) \rightarrow Z/\gamma^* \rightarrow e^+ e^-$$

$$x_1 = \frac{M_Z}{\sqrt{s}} e^y \quad x_2 = \frac{M_Z}{\sqrt{s}} e^{-y}$$

$$\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$$



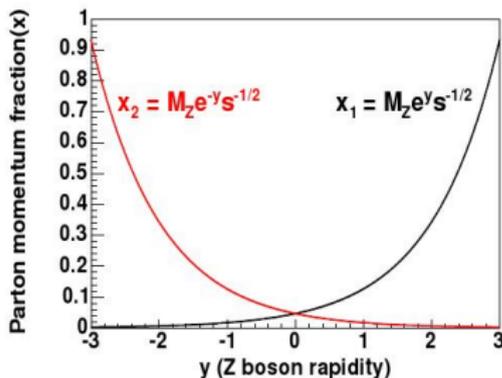
Rapidita':

$$y = \frac{1}{2} \log\left(\frac{E+p_z}{E-p_z}\right)$$

↓ se  $m \simeq 0$

Pseudorapidita':

$$\eta = -\log\left(\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)\right)$$



## Cosa vogliamo misurare:

$$\frac{d\sigma(\gamma^*/Z)}{dy} = \frac{N_{sig}(y) - N_{bkg}(y)}{\sum_i (A \times \varepsilon(y) \times \varepsilon_{trig}^i(y) \times \varepsilon_{Zvert} \times \int Ldt)}$$

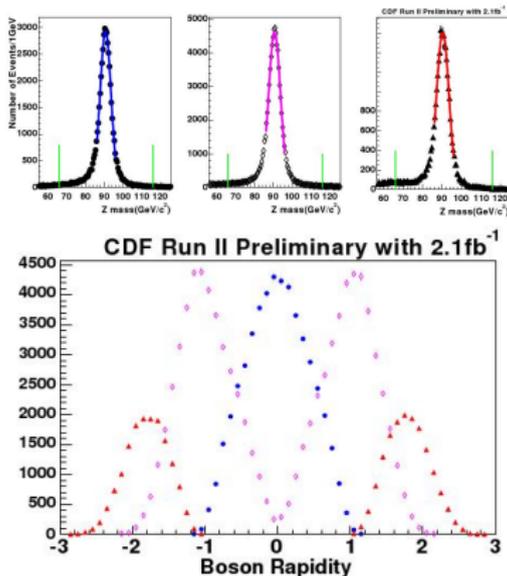
- ▶  $N_{sig}(y) - N_{bkg}(y) \rightarrow$  eventi a cui e' stato sottratto il background;
- ▶  $A \times \varepsilon(y) \rightarrow$  prodotto di accettazione ed efficienza;
- ▶  $\varepsilon_{trig}^i(y) \rightarrow$  efficienza di trigger per ciascuna topologia;
- ▶  $\varepsilon_{Zvert} \in (95.8 \pm 0.2\%, 96.8 \pm 0.2\%) \rightarrow$  accettazione che il vertice della collisione  $p\bar{p}$  avvenga nei 60 cm centrali del rivelatore;
- ▶  $\int Ldt \rightarrow$  luminosita' integrata totale ( $2.1fb^{-1}$ ).

# Come selezioniamo gli eventi?

Le tre tipologie di eventi:

- ▶ **CC**: i due elettroni si vengono a trovare nel calorimetro centrale (entrambi hanno  $|\eta| < 1.1$ );
- ▶ **CP**: un elettrone si trova nel calorimetro centrale ( $|\eta| < 1.1$ ), l'altro nel calorimetro posto a piccolo angolo (*plug*) con  $1.2 < |\eta| < 2.8$ ;
- ▶ **PP**: entrambi gli elettroni sono nei *plug* ( $1.2 < |\eta| < 2.8$  per tutti e due).

Per la topologia PP e' necessario mettere a punto un trigger apposito: due elettroni nel calorimetro ed almeno una traccia nel tracker a silicio.

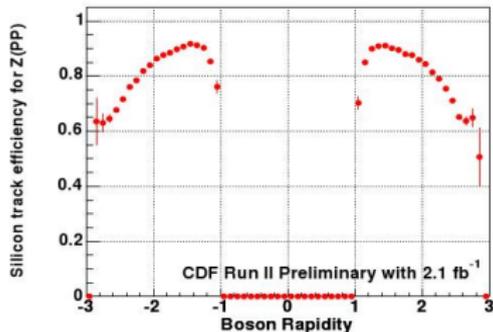
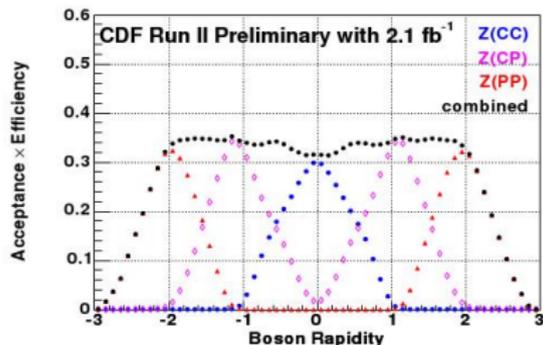


# Efficienze ed accettanze

Topologia	Accettanza	Efficienza
CC	$0.107 \pm 0.001$	$0.904 \pm 0.008$
CP	$0.231 \pm 0.001$	$0.701 \pm 0.003$
PP	$0.095 \pm 0.001$	$0.752 \pm 0.037$

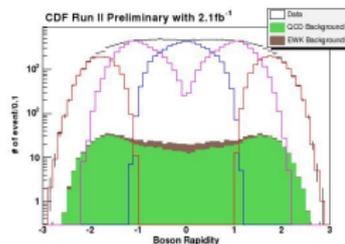
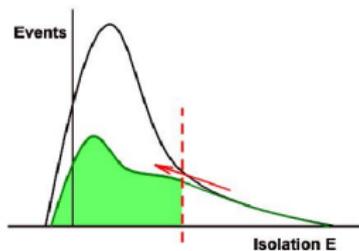
Per ricavare l'efficienza del tracker a silicio, si utilizza una simulazione Montecarlo (a cui pero' e' necessario applicare un fattore di scala ricavato dai dati):

Nota: l'efficienza media e'  $0.864 \pm 0.001$



# Background

- ▶ jet di fondo QCD (energia d'isolamento  $E_{iso} \leq 4\text{GeV}$ );
- ▶ fondi elettrodeboli ( $WW$ ,  $WZ$ ,  $t\bar{t}$  inclusiva,  $W$  inclusiva);

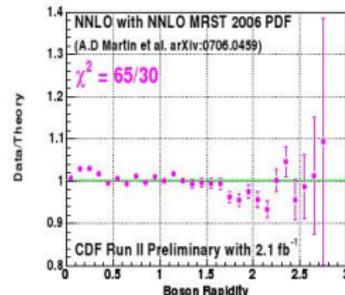
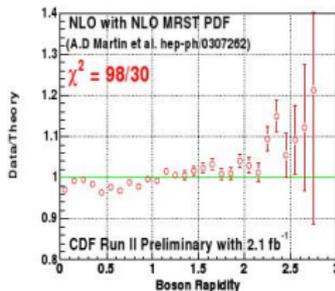
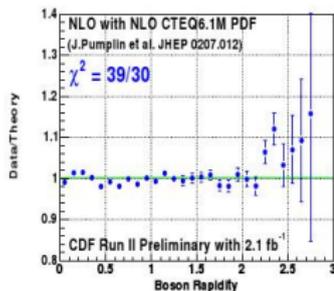


Ed infine, riportate in percentuale, ecco le frazioni di background:

Topologia	Frazione di background (in %)
CC	$0.21 \pm 0.06(stat.) \pm 0.06(sys.)$
CP	$0.48 \pm 0.06(stat.) \pm 0.14(sys.)$
PP	$1.28 \pm 0.28(stat.) \pm 0.38(sys.)$

# Risultati:

Confronto con vari insiemi di pdf:



Come si puo' notare in tutti e tre i casi, non abbiamo una grande conoscenza delle pdf ad alta rapidita'; questo perche' non si sono mai effettuate misure in questa regione. La misura di  $\frac{d\sigma}{dy}$  ci permette di avere sensibilita' in una nuova zona di  $y$  e cio' sara' di utilita' per esperimenti futuri (ad esempio LHC, dove si potra' avere anche  $|y| > 3$ ).

## Asimmetria $W^+ / W^-$

Passiamo ora alla misura dell'asimmetria nella produzione di  $W^+$  e  $W^-$ :

$$u + \bar{d} \longrightarrow W^+ \longrightarrow e^+ + \nu_e, \mu^+ + \nu_\mu$$

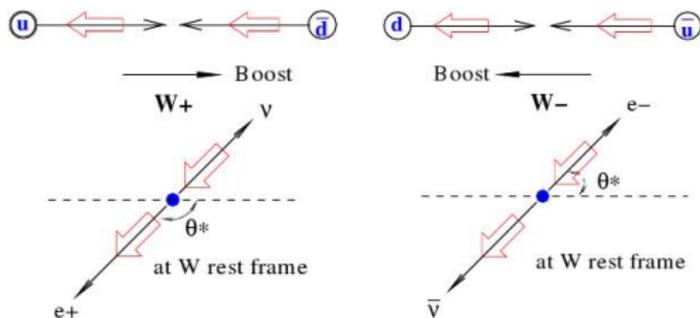
$$\bar{u} + d \longrightarrow W^- \longrightarrow e^- + \bar{\nu}_e, \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$



$$A(y) = \frac{d\sigma(W^+)/dy - d\sigma(W^-)/dy}{d\sigma(W^+)/dy + d\sigma(W^-)/dy} \simeq \frac{u(x_1)d(x_2) - d(x_1)u(x_2)}{u(x_1)d(x_2) + d(x_1)u(x_2)}$$

Una misura di quest' asimmetria e' molto sensibile alle differenze fra le pdf  $u$  e  $d$  nella regione  $Q^2 \simeq M_W^2$ ; possiamo perciò sfruttarla per ottenere informazioni sull'andamento del loro rapporto  $\frac{u}{d}$  in funzione di  $x$ .

# Cinematica di $p\bar{p} \rightarrow W \rightarrow e\nu$

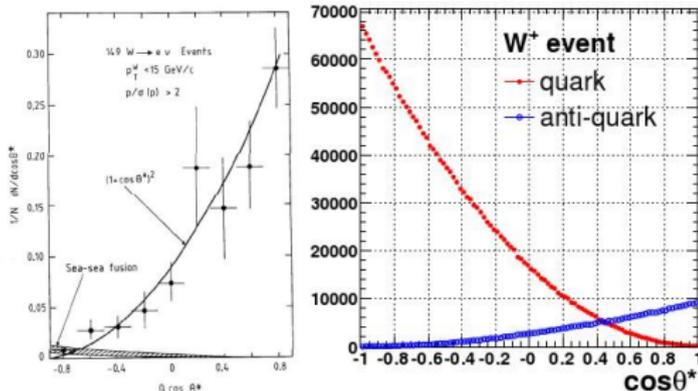


Analogamente a prima:

$$x_1 = \frac{M_W}{\sqrt{s}} e^{y_W}$$

$$x_2 = \frac{M_W}{\sqrt{s}} e^{-y_W}$$

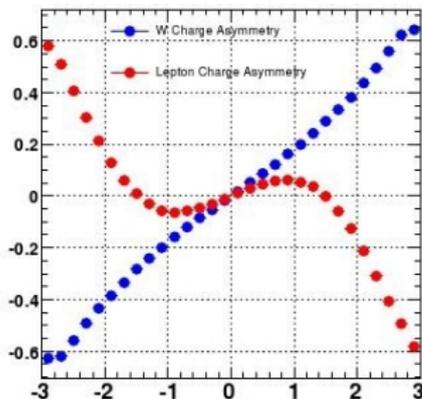
Se ci limitiamo a vedere il bosone  $W^+$ ,  
l'accoppiamento  $V - A$  fa si' che il numero  
degli eventi in funzione dell'angolo di  
decadimento sia  $(1 - \cos\theta^*)^2$ ; se, pero',  
teniamo conto del contributo dei quark del  
mare, ci sara' anche una componente con  
l'andamento  $(1 + \cos\theta^*)^2$ :



# Asimmetria $e^+/e^-$

Nell'effettuare la misura possiamo servirci solo delle particelle che osserviamo; definiamo perciò l'asimmetria elettrone-positrone in funzione della loro pseudorapidità':

$$A(\eta_e) = \frac{d\sigma(e^+)/d\eta_e - d\sigma(e^-)/d\eta_e}{d\sigma(e^+)/d\eta_e + d\sigma(e^-)/d\eta_e}$$

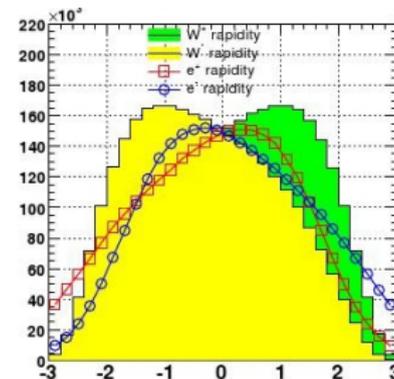


Come si puo' notare dalla figura gli andamenti delle due asimmetrie sono differenti; in particolare e' da notare il cambiamento di segno nell'asimmetria elettrone-positrone.

## Distribuzioni *bosone – leptone*

Se andiamo ad osservare le distribuzioni dei  $W^\pm$  e dei corrispettivi leptoni di decadimento, notiamo quale sia il motivo del cambio di segno:

In base ad alcune considerazioni di spin possiamo capire il perche' le distribuzioni abbiano questa forma:



Il caso dell'altro bosone carico e' del tutto analogo e quello che si nota e' che, in entrambi i casi, il leptone di decadimento tende ad andare nella direzione opposta rispetto a quella del  $W$ ; questo fa si' che le distribuzioni per  $e^+ - e^-$  risultino leggermente spostate verso rapidita' minori in modulo.

## Come risolvere il problema?

Quello che possiamo fare e' imporre il valore della massa del bosone  $W$ ; a questo punto l'impulso del neutrino (o dell'antineutrino), puo' essere dedotto a meno del segno, informazione che pero' possiamo ricostruire parzialmente dalla conoscenza della distribuzione angolare del decadimento prevista dall'accoppiamento  $V - A$ .

Parametizziamo la distribuzione in questo modo:

$$P_{\pm}(\cos\theta^*, y_W, P_T^W) = (1 \mp \cos\theta^*)^2 + Q(y_W, P_T^W)(1 \pm \cos\theta^*)^2$$

Notiamo che  $Q(y_W, P_T^W)$  e' il termine che deve tenere in conto del contributo alla produzione dei  $W$  dei quark del mare; inoltre, in generale, dobbiamo utilizzare quanto trovato per pesare opportunamente le varie soluzioni:

$$wt_{1,2}^{\pm} = \frac{P_{\pm}(\cos\theta_{1,2}^*, y_{1,2}, P_T^W)\sigma_{\pm}(y_{1,2})}{P_{\pm}(\cos\theta_1^*, y_1, P_T^W)\sigma_{\pm}(y_1) + P_{\pm}(\cos\theta_2^*, y_2, P_T^W)\sigma_{\pm}(y_2)}$$

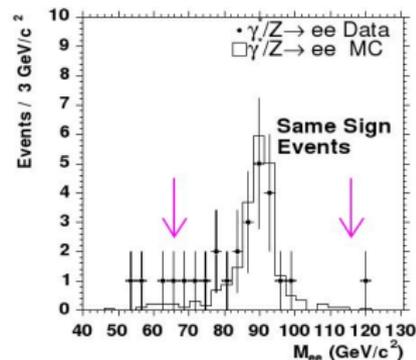
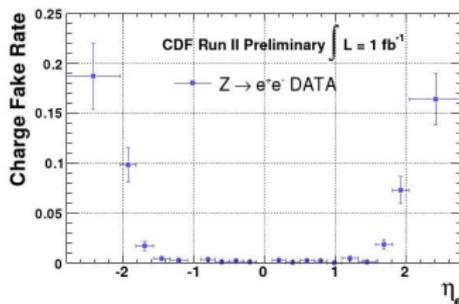
Come si puo' vedere, questo e' un processo iterativo, in quanto i pesi sono funzioni delle sezioni d'urto che intendiamo misurare.

# Errato riconoscimento della carica

Un eventuale errore nel riconoscere la carica dell'elettrone puo' portare ad un valore dell'asimmetria non corretto in quanto il segno della carica determina le funzioni peso introdotte. Per poter ovviare a questo problema e' necessario conoscere opportunamente la frazione di eventi in cui si verifichi un tale errore:

$$f_{fake}(\eta) = \frac{N_{wrong-sign}(\eta)}{N_{right-sign}(\eta) + N_{wrong-sign}(\eta)}$$

Per farlo  
utilizziamo un  
campione pulito  
di decadimenti  
 $Z \rightarrow e^+e^-$ :



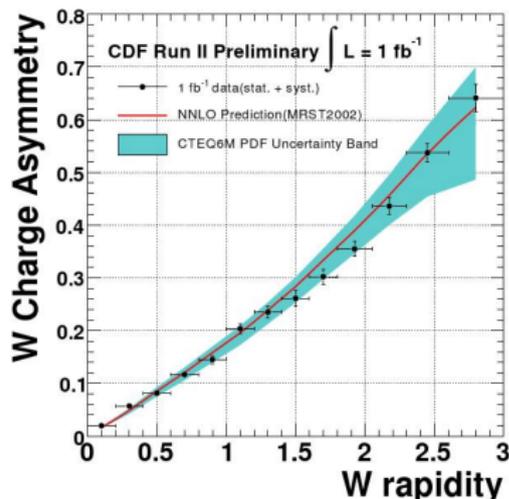
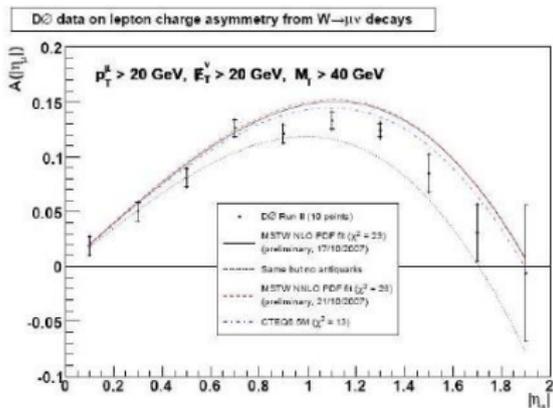
## Background

- ▶  $Z \rightarrow e^+e^- \implies$  per stimare questo fondo ci si affida al Montecarlo;
- ▶ QCD  $\implies$  in questo caso, invece, si effettua un fit sulla distribuzione dell'energia di isolamento degli elettroni.

Riporto in tabella i risultati ottenuti:

electron region	central		plug	
$E_T$ region (GeV)	$25 < E_T < 35$	$35 < E_T < 200$	$25 < E_T < 35$	$35 < E_T < 200$
# of QCD	3216	3294	582	600
# of DATA	210592	327266	81528	95413
QCD fraction (%)	$1.527 \pm 0.117$	$1.007 \pm 0.084$	$0.713 \pm 0.087$	$0.628 \pm 0.794$
<b>total fraction (%)</b>	<b><math>1.210 \pm 0.144</math> (stat.) <math>\pm 0.146</math>(syst.)</b>		<b><math>0.668 \pm 0.117</math> (stat.) <math>\pm 0.143</math>(syst.)</b>	

# Risultati

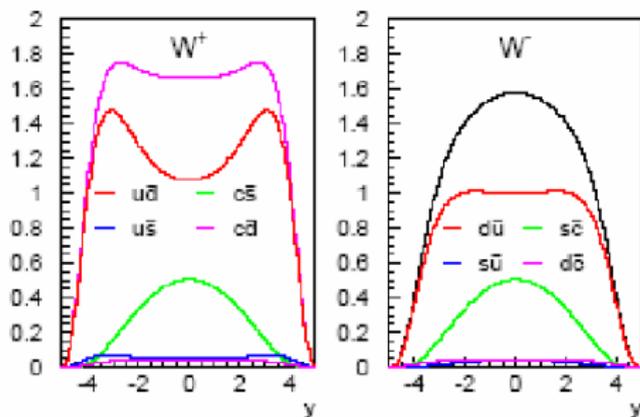


Come si puo' vedere nella prima figura, il Run I e' riuscito ad arrivare ad  $|\eta| = 2$  mentre con il Run II e l'esperimento presentato, il cui risultato e' presentato nella seconda figura, si e' potuti arrivare ad  $|\eta| = 2.8$ , riuscendo percio' a ricavare informazione in una regione in cui le pdf non sono mai state misurate.

# Cosa si puo' fare ad LHC?

Tevatron  $\rightarrow p - \bar{p}$  (l'asimmetria di produzione dipende dalla forma delle pdf)

LHC  $\rightarrow p - p$  (l'asimmetria dipende dall'integrale di quark ed antiquark)

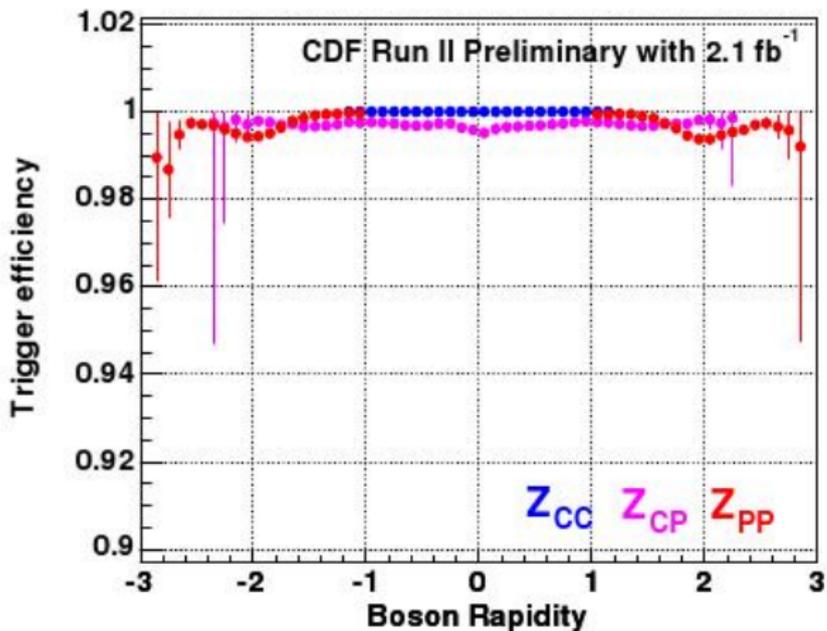


In un collider protone-protone non sarebbe possibile, tramite una misura di questo tipo, stabilire la forma del rapporto  $\frac{u}{d}$ ; se non altro perche' la produzione di  $W^+$  sarebbe sicuramente maggiore di quella dei  $W^-$  data la presenza di due quark  $u$  nel protone (contro un solo quark  $u$ ).

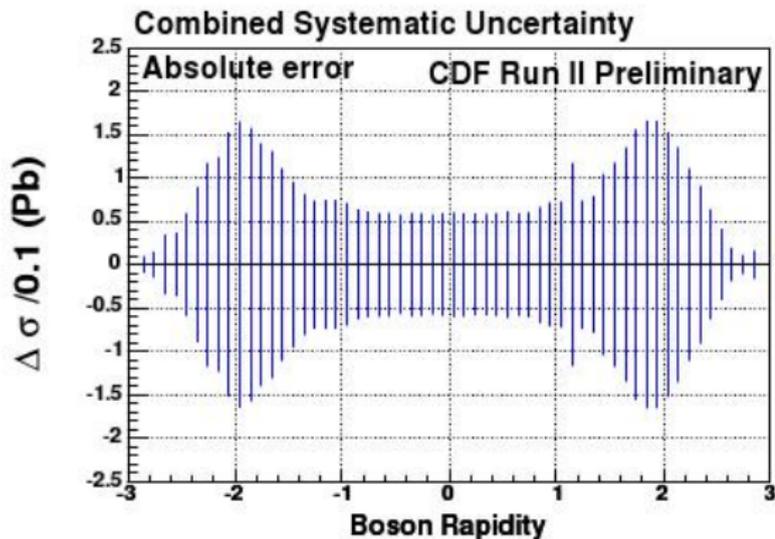
# Bibliografia

1. J. Han, A. Bodek, W. Sakumoto, Y. Chung,  
 $\frac{d\sigma}{dy}$  distribution of Drell-Yan dielectron pairs,  
<http://www-cdf.fnal.gov/physics/ewk/2008/dszdy/>;
2. B. Han, A. Bodek, Y. Chung, K. McFarland, E. Halkiadakis,  
Direct measurement of  $W$  boson charge asymmetry with  $1\text{fb}^{-1}$  of Run II  
Data, <http://www-cdf.fnal.gov/physics/ewk/2007/WChargeAsym/>;
3. J. Han, A. Bodek, W. Sakumoto, Y. Chung,  
 $\frac{d\sigma}{dy}$  distribution of  $Z/\gamma^* \rightarrow ee$  decay mode;
4. CDF Collaboration,  
Measurements of Inclusive  $W$  and  $Z$  Cross Sections in  $p\bar{p}$  Collisions at  
 $\sqrt{s} = 1.96\text{TeV}$ ;
5. Dispense del corso "Fisica Nucleare e Subnucleare II" del prof. C. Dionisi,  
capitolo 8.

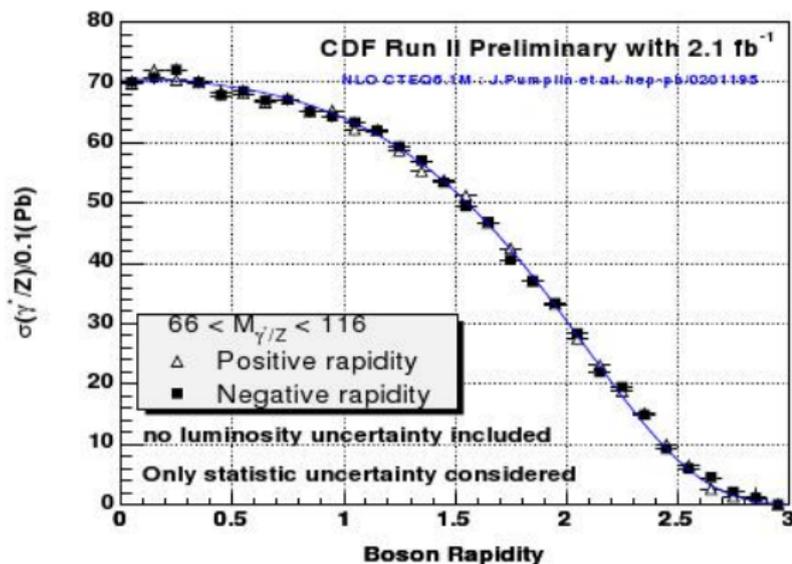
# $Z \rightarrow e^+e^-$ : efficienze di trigger



$Z \rightarrow e^+ e^-$ : errore sistematico



# $Z \rightarrow e^+e^-$ : risultato finale



## Asimmetria $W^+ - W^-$ : parametrizzazione della distribuzione di decadimento

$$Q(y_W, P_T^W) = f(P_T^W) e^{-\{g(P_T^W)y_W^2 + 0.05|y_W^3|\}}$$

$$f(P_T^W) = 0.2811 \cdot \mathcal{L}(P_T^W, 21.7, 9.458) + 0.2185 e^{-0.04433 \cdot P_T^W}$$

$$g(P_T^W) = 0.2085 + 0.0074 \cdot P_T^W - 5.051 e^{-5} \cdot P_T^{W^2} + 1.180 e^{-7} \cdot P_T^{W^3}$$

## Decadimento a due corpi (*pro memoria*):

Fissata la massa della particella che decade e quelle delle particelle figlie, nel sistema di riferimento del centro di massa il loro impulso e' fissato:

$$p^* = \sqrt{\frac{M^4 + (m_1^2 - m_2^2)^2 - 2M^2(m_1^2 + m_2^2)}{4M^2}}$$

L'angolo di emissione fra le due particelle e' ricavabile da questa relazione:

$$\operatorname{tg}(\theta_{1-2}) = \frac{\sin\theta^*}{\gamma\left(\beta\frac{E_{1-2}^*}{p^*} \pm \cos\theta^*\right)}$$

dove:

$$\beta = \frac{|\vec{p}|}{E} \quad \gamma = \frac{E}{M}$$