

# Misura dell'asimmetria del bosone W

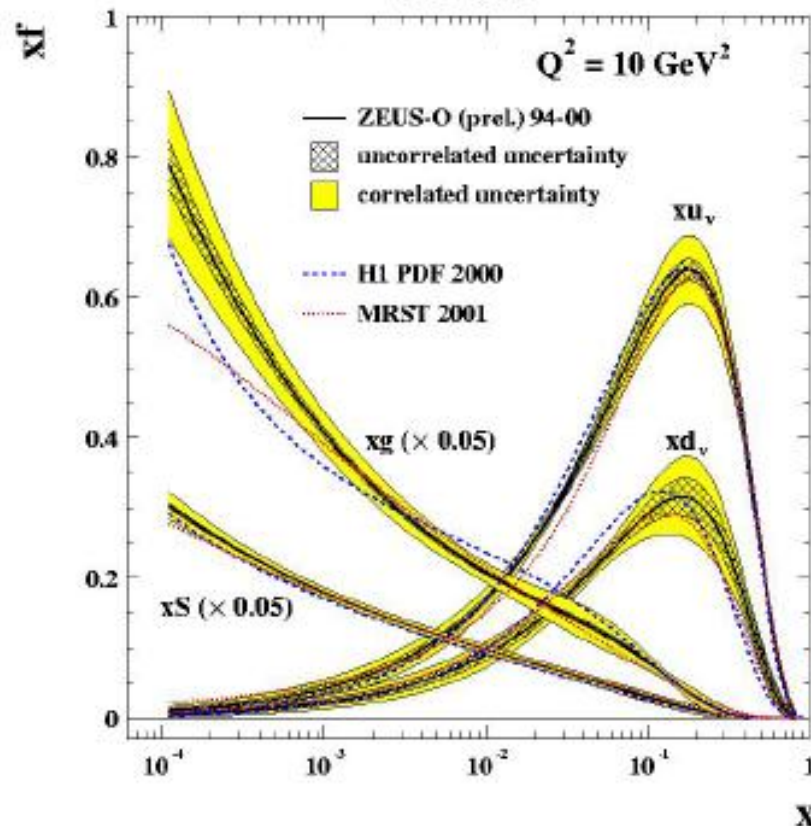
**Marco La Rosa**

**Tutor: prof. Marco Rescigno**

corso di fisica nucleare e  
subnucleare II  
prof. Carlo Dionisi

# Obiettivi

Migliorare la conoscenza della Parton Density Function (P.D.F.) dei quark di tipo  $u$  e  $d$  a rapidità per cui esse non sono ben conosciute.



# L' apparato sperimentale

- Descrizione
- Selezione degli eventi

# La misura dell' asimmetria del W

- Perché
- Accoppiamento V-A
- Correzioni

# Conclusioni

# La misura dell'asimmetria del

## TeVatron

W

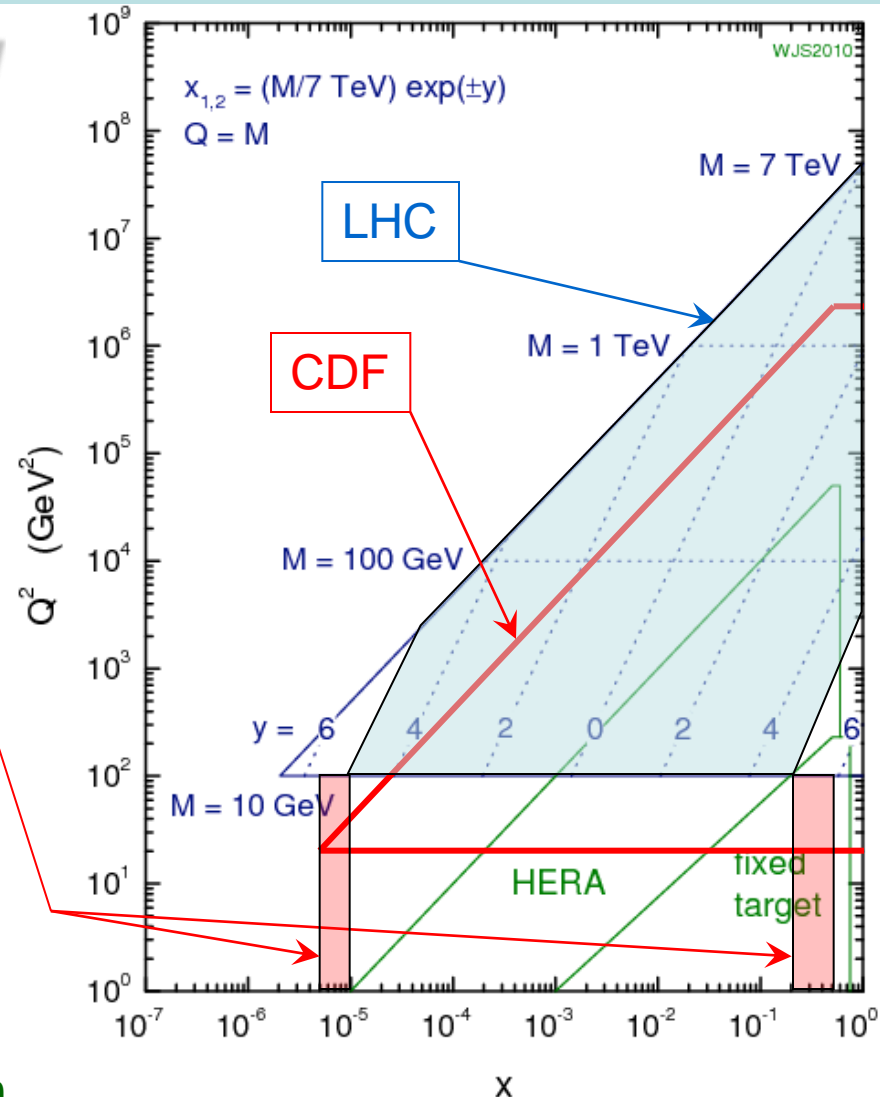
Energia del centro di massa  $\sqrt{s} = 1,96 \text{ TeV}$

Luminosità integrata :  $\int \mathcal{L} = 1 \text{ (fb)}^{-1}$

Pseudorapidità :  $|\eta_e| < 2,8$

Fasci di protoni ed anti-protoni  
ad un tempo di scontro tra bunch 396 ns

- Al TeVatron con il CDF si possono studiare le p.d.f. per pseudorapidità mai misurate, cioè in regioni di  $x$  in cui esse non sono ben conosciute



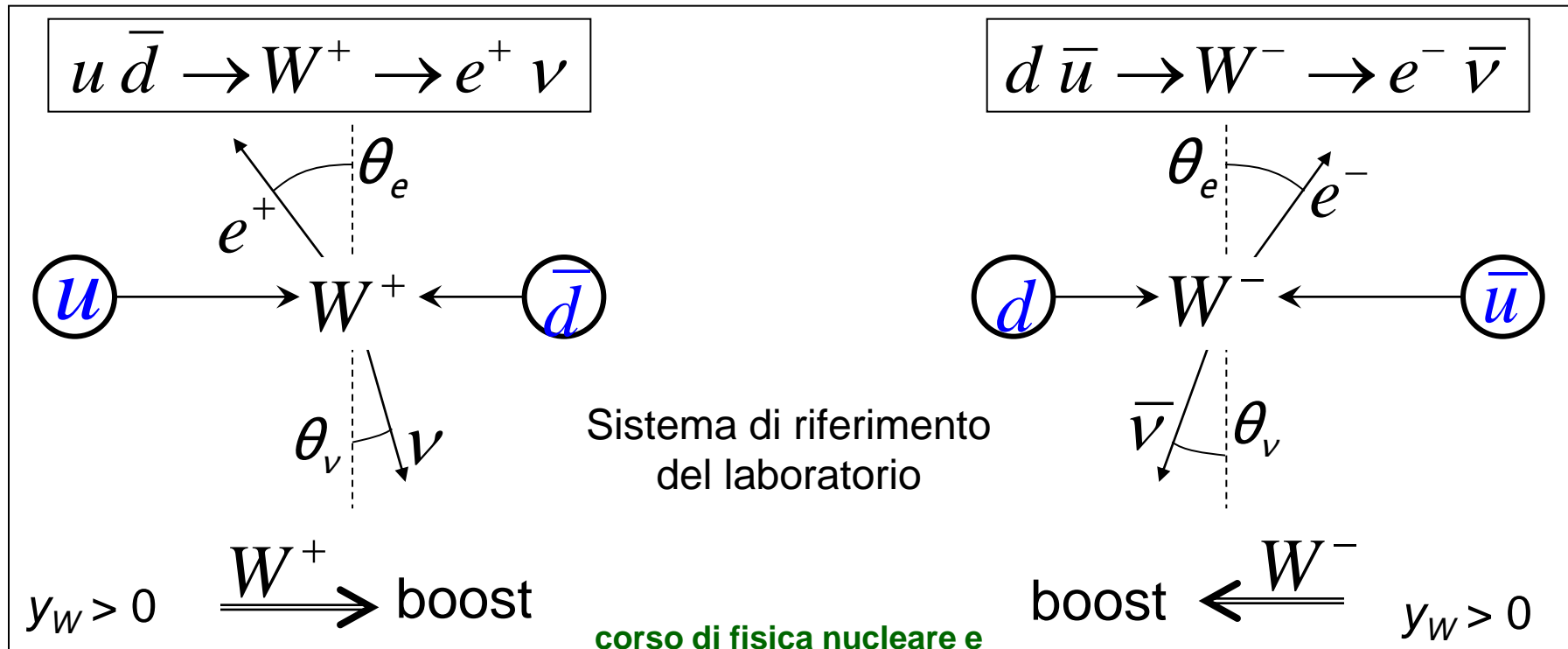
## Misurando l'asimmetria del W

corso di fisica n

# Perché l'asimmetria di carica del

**W?** quark (o gli anti-quark) di tipo  $u$  trasportano una frazione d'impulso maggiore di quelli di tipo  $d$

il  $W$  viene dunque formato con un certo boost e quindi con una certa rapidità  $y_W$ .



# Perché l'asimmetria di carica del

**W?**  
Si definisce asimmetria di carica del W:

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

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

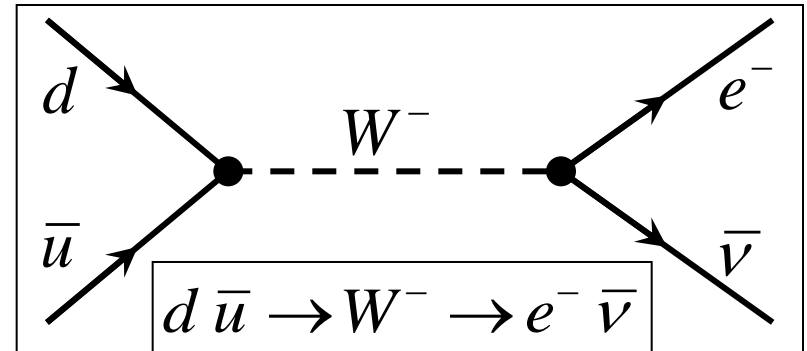
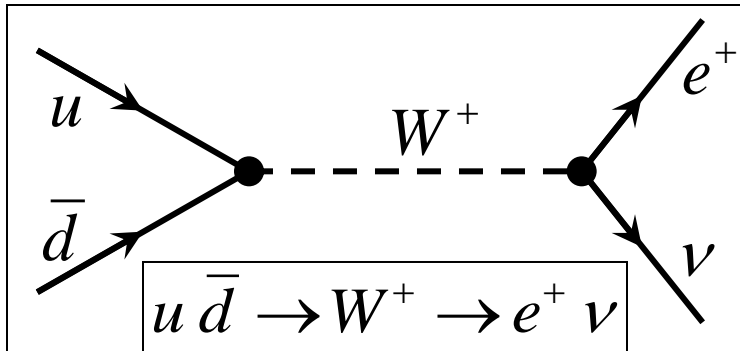
$$A(y_W) = \frac{d\sigma(W^+)/dy - d\sigma(W^-)/dy}{d\sigma(W^+)/dy + d\sigma(W^-)/dy}$$

$$\approx \frac{u(x_1)d(x_2) - u(x_2)d(x_1)}{u(x_1)d(x_2) + u(x_2)d(x_1)}$$

Tale misura è sensibile alle differenze tra le p.d.f. di  $u$  e  $d$  nella regione  $Q^2 \approx M_W^2$  dunque può essere utilizzata per ottenere informazioni sul rapporto  $d(x)/u(x)$  in tale dominio!

# Perché l'asimmetria di carica del

**W?**  
Canale elettronico del decadimento leptonic del bosone W



Il W non può essere osservato direttamente:  
si cercheranno i suoi prodotti di decadimento

**Elettroni**

Perché non muoni?

- I muoni non possono essere selezionati con grande successo con pseudorapidità grandi come quelle che caratterizzano questa misura al CDF ( $|\eta_{det}| > 1$ )

corso di fisica nucleare e

# Perché l'asimmetria di carica del

**W?** Non si può però ancora conoscere la rapidità del W perché non si può misurare la  $p_z$  del neutrino elettronico;

ma

poiché la carica del leptone di decadimento come si è visto è sempre la stessa del W



si può mettere nella definizione dell'asimmetria

e al posto di W:

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

**in quanto l'elettrone ha lo stesso boost del bosone W**

corso di fisica nucleare e



# Perché l'asimmetria di carica del

W?

Ricordando la definizione di pseudorapidità:

$$y = \frac{1}{2} \ln \frac{E + p_z}{E - p_z} \xrightarrow[\beta \rightarrow 1]{m \rightarrow 0} \eta = -\ln \tan \frac{\theta}{2}$$

poiché gli elettroni vanno praticamente alla velocità della luce

la loro pseudorapidità  $\eta_e$ , con cui vengono rilevati nel CDF, e la loro rapidità  $y_e$ , dovuta al boost del W da cui provengono, coincidono:

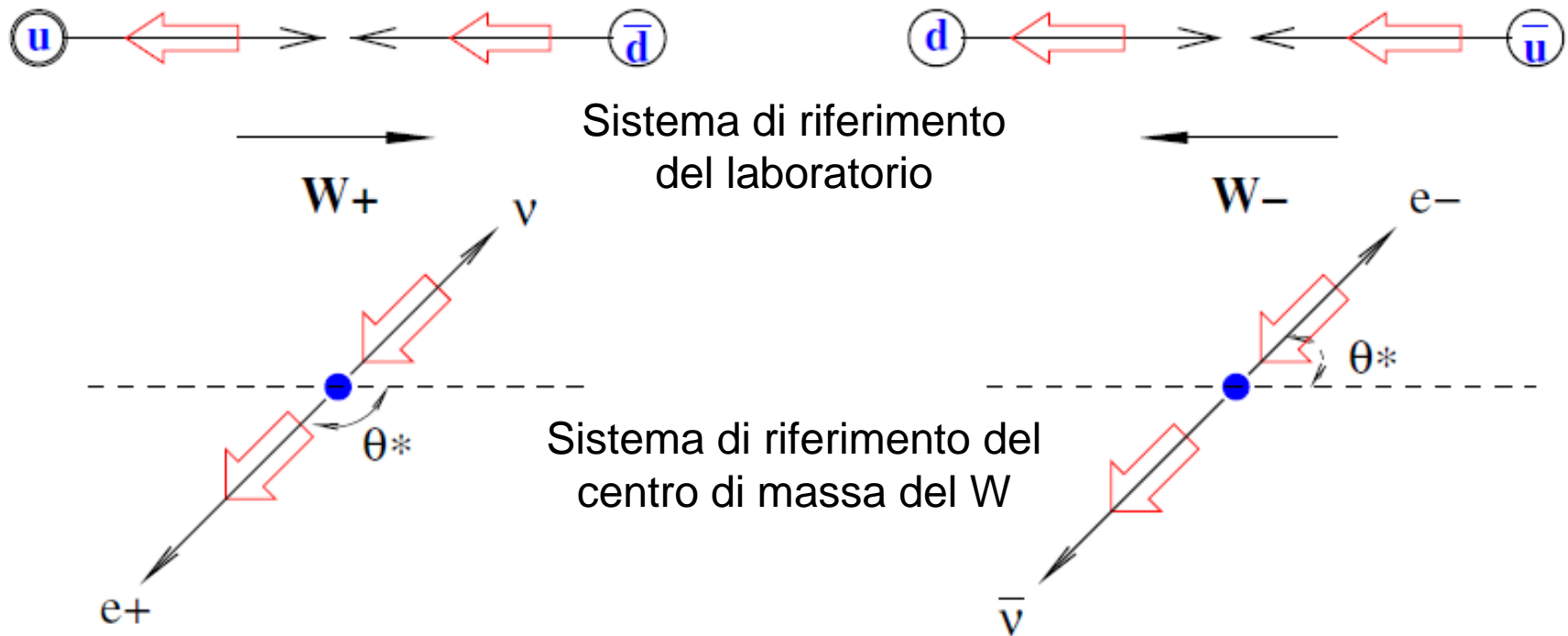
$$y_e \approx \eta_e$$

Si può dunque misurare l'asimmetria de W in funzione della pseudorapidità elettronica:

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

corso di fisica nucleare e

# Effetti dell' accoppiamento V-A



$\theta^*$  è l'angolo d'emissione nel sistema di riferimento del centro di massa

Le distribuzioni elettroniche sono modulate dall' accoppiamento V-A con un fattore

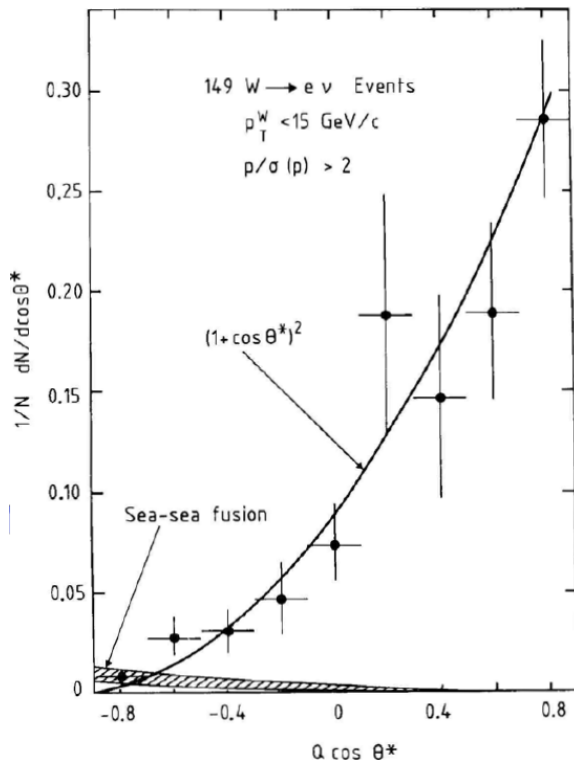
$$\frac{1}{2}(1 - Q \cos\theta^*)^2$$

corso di fisica nucleare e

subnucleare II

prof. Carlo Dionisi

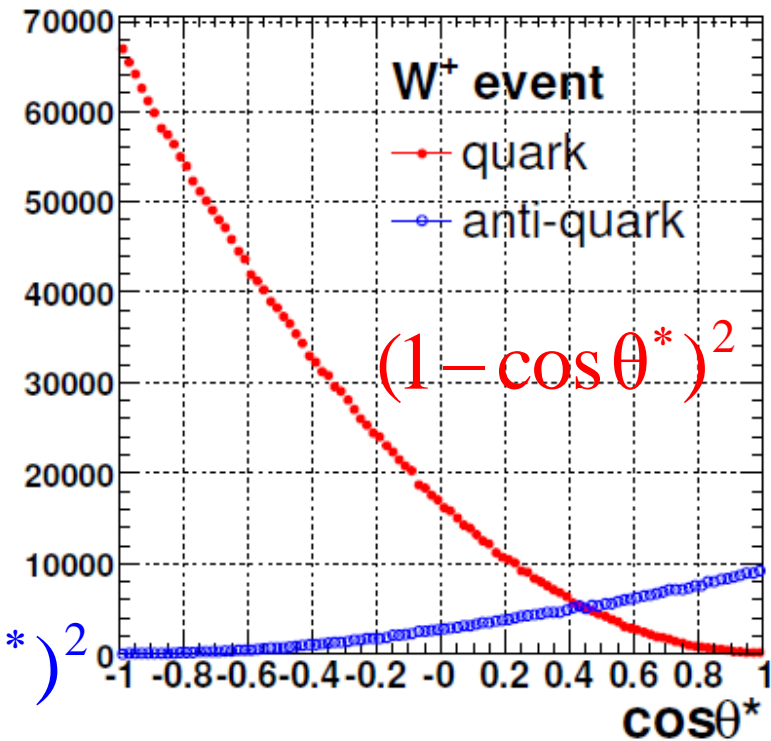
# Effetti dell' accoppiamento V-A



Sistema di riferimento  
del W a riposo

$$(1 - q \cos \theta^*)^2$$

$$(1 + \cos \theta^*)^2$$

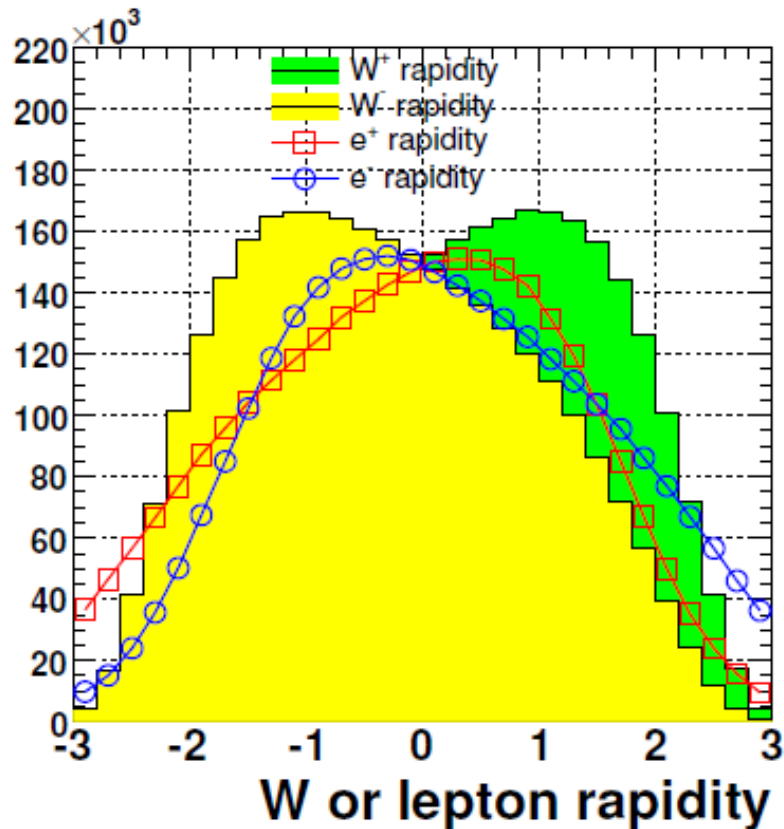


Oltre ai quark del protone ed agli anti-quark dell' anti-protone bisogna considerare il contributo degli anti-quark del mare del protone e dei quark del mare dell' anti-protone.

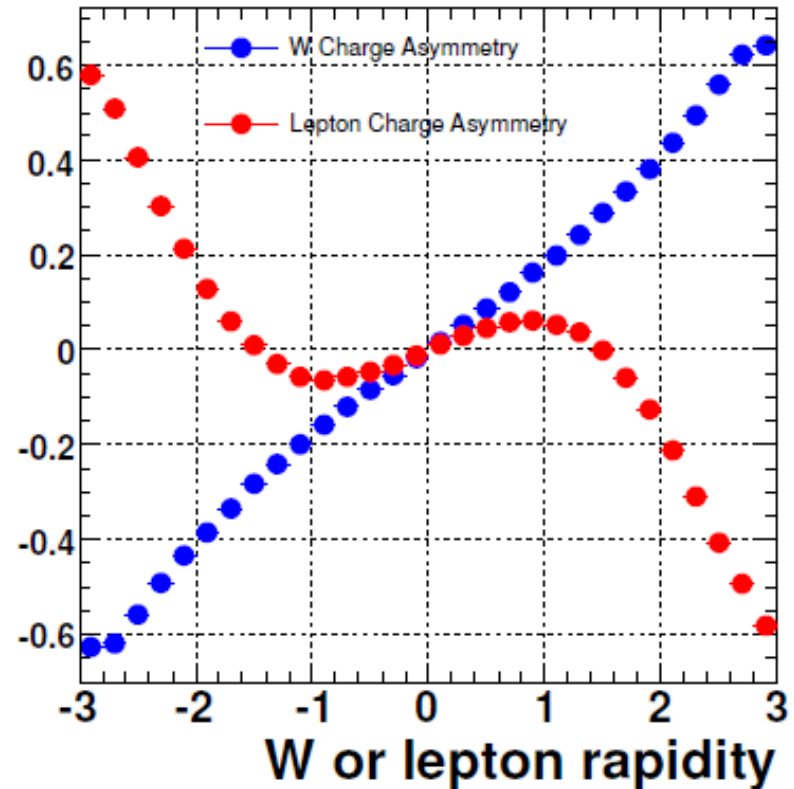
Quest' ultimi prevalgono importanti per alte rapidità di W

corso di fisica nucleare e

# Effetti dell' accoppiamento V-A



L' accoppiamento V-A sposta i massimi delle distribuzioni di rapidità elettroniche rispetto a quelli della distribuzione del W



L' accoppiamento V-A diventa importante ad alte rapidità invertendo il segno dell' asimmetria

corso di fisica nucleare e

# Effetti dell' accoppiamento V-A

Essendo l' asimmetria elettronica una convoluzione tra la distribuzione di rapidità del W e la modulazione del decadimento del W da parte dell' accoppiamento V-A

Per ricostruire la distribuzione di rapidità del W si può imporre che la massa invariante del sistema elettrone-neutrino sia pari alla massa del W

L' equazione quadratica da due soluzioni.

La scelta viene fatta pesando ogni soluzione, considerando, a basse rapidità, il contributo di V-A dei quark di valenza e, ad alte rapidità, la scarsa produzione di W ed il contributo di V-A dei quark del mare

corso di fisica nucleare e

# CDF (Collider Detector at Fermilab)

## Beam Pipe

## Tracciatori in Si

- Livello 00
- SVX-II
- ISL

## Camera a drift centrale tracciante (COT)

Magnete - solenoide superconduttore

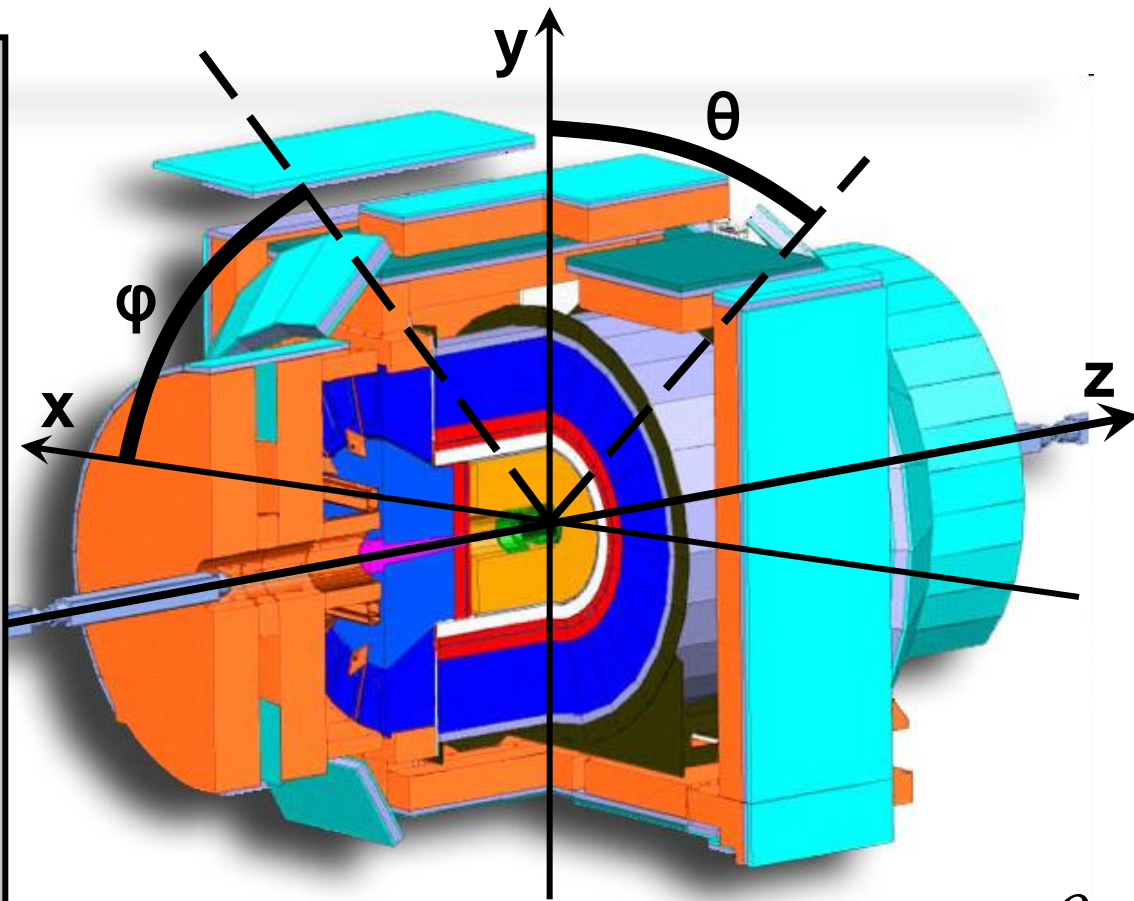
## Calorimetro EM

## Calorimetro Adronico (HAD)

## Assorbitore d' acciaio

## Camere dei Muoni

- Camera a drift muonica
- Scintillatori



pseudorapidità  $\eta_{\text{det}} = -\ln \tan \frac{\theta}{2}$

# Tracciatori al Silicio

**Layer 00:** livello a contatto con il beam pipe

**SVX-II:** rilevatore dei vertici (Run II)

**ISL:** livello intermedio

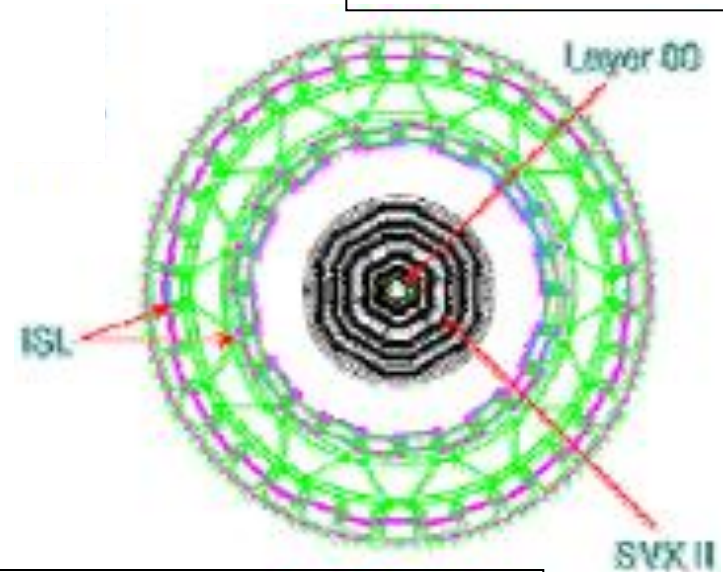
- Risoluzione sul punto:  $\sim 10 \mu\text{m}$
- N.° punti: 7

$$p_T = 0.3 q B r_c$$

L'elevata precisione permette di individuare vertici molto vicini tra loro congiungendo i punti: **b-tagging**

$$\text{• Risoluzione: } \frac{\Delta p}{p^2} = \frac{\varepsilon}{0,3BL^2} \sqrt{\frac{720}{N+4}} \sim 0,01 \text{ GeV}^{-1}$$

$$\begin{aligned} |\eta_{\text{det}}| &< 3 \\ \Delta z &\sim 90 \text{ cm} \\ L &\sim 20 \text{ cm} \\ B &= 1,4 \text{ T} \end{aligned}$$





# Camera a drift tracciante centrale

## Central Outer Tracker (COT)

- Risoluzione sul punto:  $\sim 180 \mu\text{m}$
- N.° punti: 96

$$p_T = 0.3 q B r_c$$

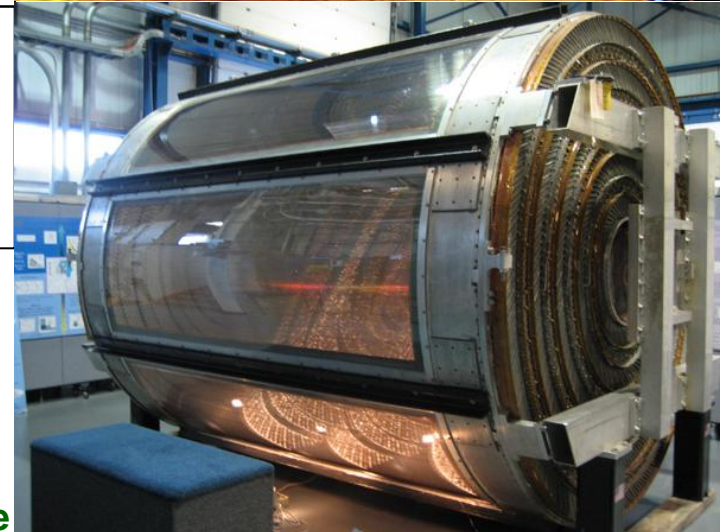
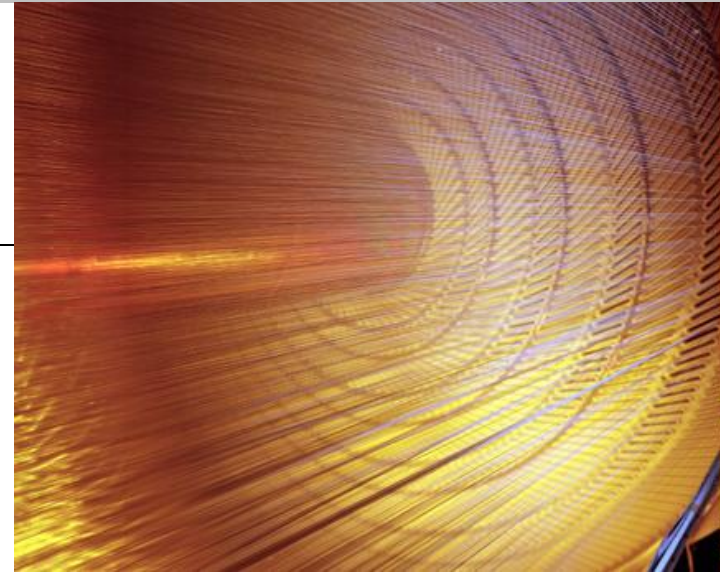
$$\begin{aligned} |\eta_{\text{det}}| &< 2 \\ \Delta z &\sim 150 \text{ cm} \\ L &\sim 92 \text{ cm} \\ B &= 1,4 \text{ T} \end{aligned}$$

Risoluzione:

$$\frac{\Delta p}{p^2} = \frac{\varepsilon}{0,3BL^2} \sqrt{\frac{720}{N+4}} \sim 0,002 \text{ GeV}^{-1}$$

L' errore peggiora al crescere dell' impulso:

$$\sigma(p) = \frac{\Delta p}{p^2} p \quad \sigma(25 \text{ GeV}) \sim 5\%$$



corso di fisica nucleare e

subnucleare II

prof. Carlo Dionisi



# Calorimetro EM calorimetro HAD

Strati di scintillatori di polistirene connessi a fotomoltiplicatori alternati a strati di assorbitore di **piombo** per **EM** ed **acciaio** per **HAD**

**Central barrel:** calorimetro centrale

- $|\eta_{\text{det}}| < 1$        $\Delta\eta_{\text{det}} = 0,1$        $\Delta\phi = 15^\circ$

• **CEM:** calorimetro EM centrale

- Risoluzione:  $14 \% / \sqrt{E_T \text{ GeV}^{-1/2}}$   
 $6 X_0$

**CES:**  $r \sim$

• **CHA:** calorimetro adronico centrale

- Risoluzione:  $75 \% / \sqrt{E_T \text{ GeV}^{-1/2}}$

**forward end Plug:** calorimetro laterale

- $1,1 < |\eta_{\text{det}}| < 3,64$ ;  $\Delta\eta_{\text{det}} = 0,1 \div 0,5$ ;  $\Delta\phi = 7,5 \div 15^\circ$

• **PEM:** calorimetro EM laterale

- Risoluzione:  $16 \% / \sqrt{E_T \text{ GeV}^{-1/2}} + 1 \%$   
 $6 X_0$

**PES:**  $r \sim$

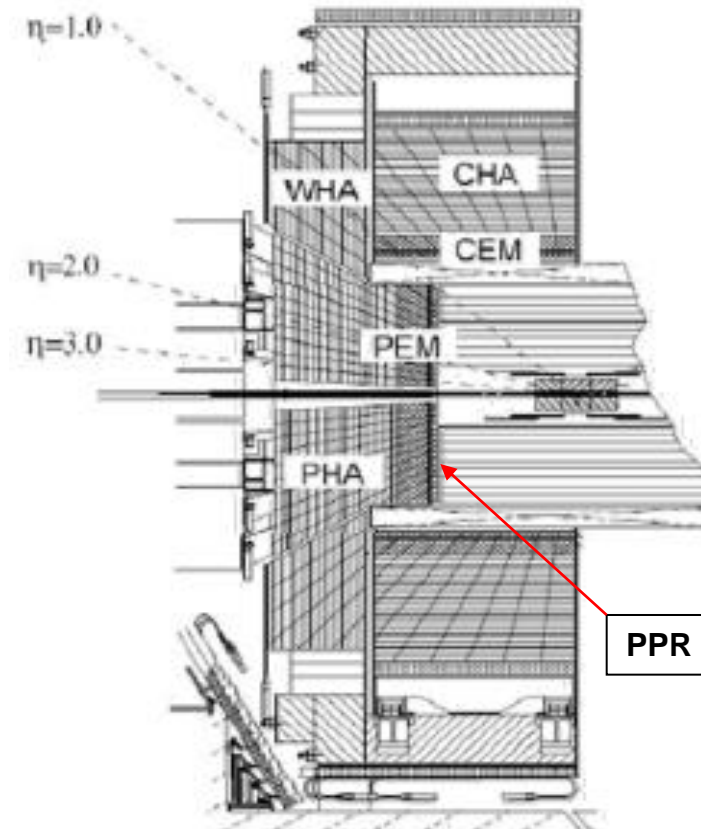
• **PPR:** rilevatore pre-cascata EM laterale

• **PHA:** calorimetro adronico laterale

- Risoluzione:  $80 \% / \sqrt{E_T \text{ GeV}^{-1/2}} + 5 \%$

• **WHA:** calorimetro adronico di chiusura

- Risoluzione:  $80 \% / \sqrt{E_T \text{ GeV}^{-1/2}}$



Misura l'energia trasversa:  $E_T$

# Selezione degli eventi

## Electroni centrali: $|\eta_e| < 1$

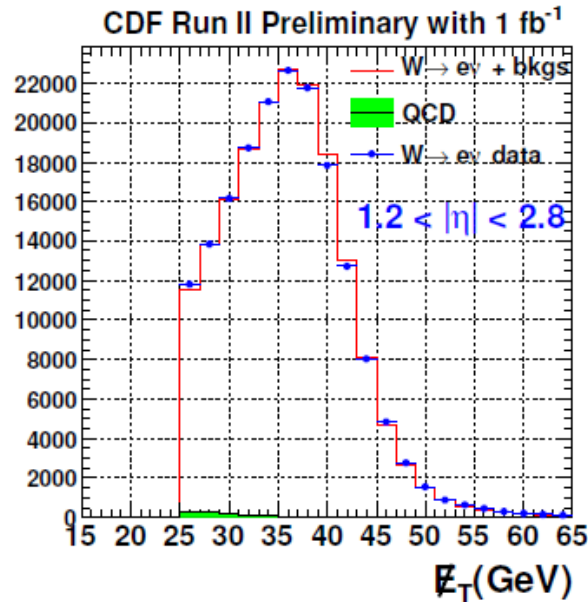
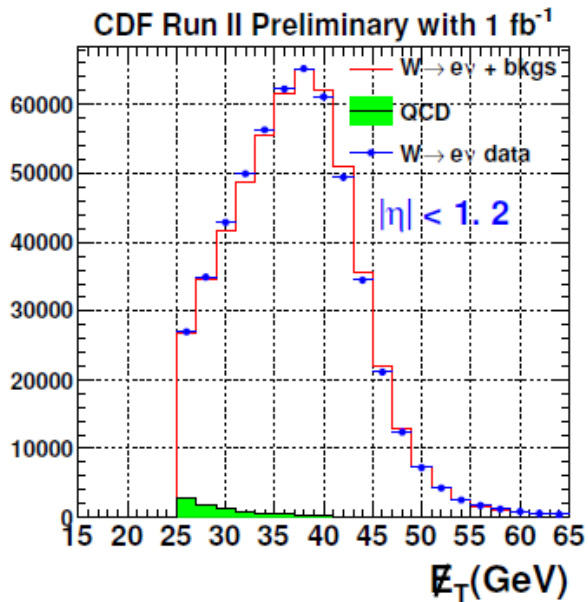
- Calorimetro elettromagnetico:  $E_T > 25 \text{ GeV}$
- Energia del cono d'isolamento:  $E_{\text{Iso}} > 4 \text{ GeV}$  con raggio  $R = \sqrt{(\Delta\phi)^2 + (\Delta\eta)^2} < 0,4$
- Energia adronica: piccola rispetto a quella elettromagnetica
- COT: consistenza tra traccia e posizione nel calorimetro

## Electroni laterali: $|\eta_e| < 2,8$

- Calorimetro elettromagnetico:  $E_T > 20 \text{ GeV}$
- Energia del cono d'isolamento:  $E_{\text{Iso}} > 4 \text{ GeV}$  con raggio  $R = \sqrt{(\Delta\phi)^2 + (\Delta\eta)^2} < 0,4$
- Energia adronica: piccola rispetto a quella elettromagnetica
- COT: consistenza tra traccia e posizione nel calorimetro per  $1 < |\eta_e| < 1,6$
- SVX: consistenza tra tracce al vertice e posizione nel calorimetro per  $|\eta_e| < 2,8$

**CES:** traccia la forma dello sciame elettromagnetico; si effettua un test del  $\chi^2$  sulla forma degli sciame candidati per distinguere gli elettroni

# Selezione degli eventi



Picco  
Jacobiano:

$$\sqrt{\frac{M_W^2}{4} - p_T^2}^{-1}$$

Fondo di QCD piccolo, fondi di  $Z \rightarrow e^+e^-$ ,  $\tau^+\tau^-$  piccolissimi

| samples                      | central  |  | plug    |  |
|------------------------------|----------|--|---------|--|
|                              | events   | fraction (%)                               | events  | fraction (%)                               |
| DATA                         | 537858   |  | 176941  |  |
| $Z \rightarrow e^+e^-$       | 3173.36  | $0.59 \pm 0.02$ (stat.)                    | 955.48  | $0.54 \pm 0.03$ (stat.)                    |
| $Z \rightarrow \tau^+\tau^-$ | 487.21   | $0.09 \pm 0.00$ (stat.)                    | 179.81  | $0.10 \pm 0.01$ (stat.)                    |
| QCD                          | 6508.08  | $1.21 \pm 0.14$ (stat.) $\pm 0.15$ (syst.) | 1185.50 | $0.67 \pm 0.12$ (stat.) $\pm 0.14$ (syst.) |
| $W \rightarrow \tau\nu$      | 12370.73 | $2.30 \pm 0.04$ (stat.)                    | 3609.60 | $2.04 \pm 0.05$ (stat.)                    |

# Correzioni

È cruciale per la misura il miglior riconoscimento possibile del segno della carica dell' elettrone di decadimento rilevato

Si definisce l' errore di riconoscimento del segno della carica:

$$f_{err}(\eta) = \frac{N_{segno-errato}(\eta)}{N_{segno-errato}(\eta) + N_{segno-correcto}(\eta)}$$

con cui si possono costruire i pesi per da aggiungere alla distribuzione del W in funzione della sua rapidità

# Correzioni

Per conoscere la funzione d'errore si fanno dei conteggi di eventi  $Z \rightarrow e^+e^-$

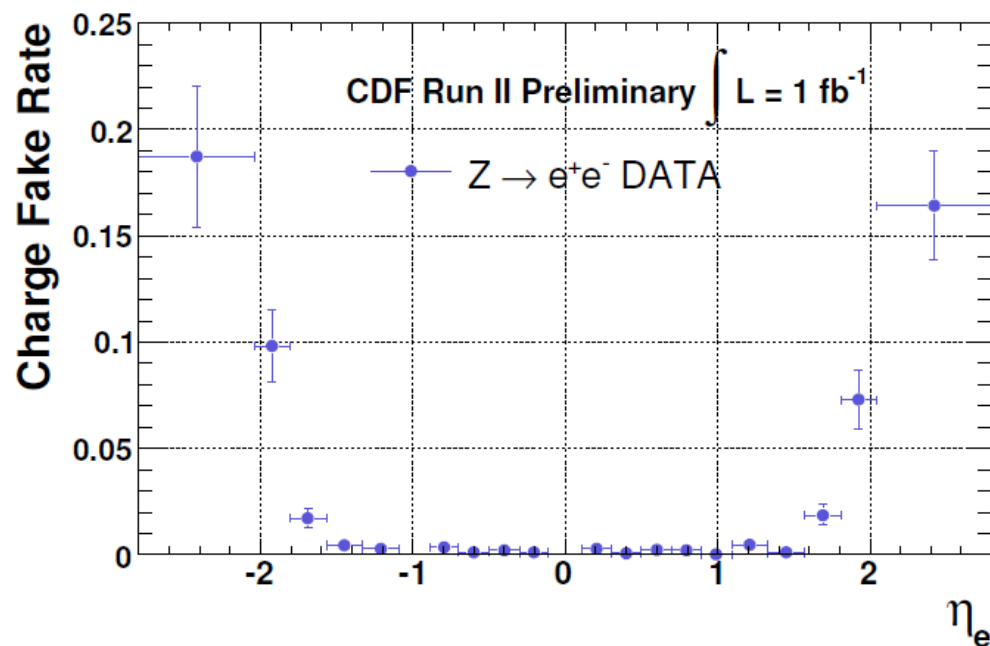
I due elettroni provenienti dallo  $Z$  devono avere segno opposto

Vengono contati in  $N_{\text{segno-errato}}$  tutti gli eventi in cui i due elettroni hanno lo stesso segno di carica

## Masse invarianti imposte

**CC:**  $76 \div 106$  GeV

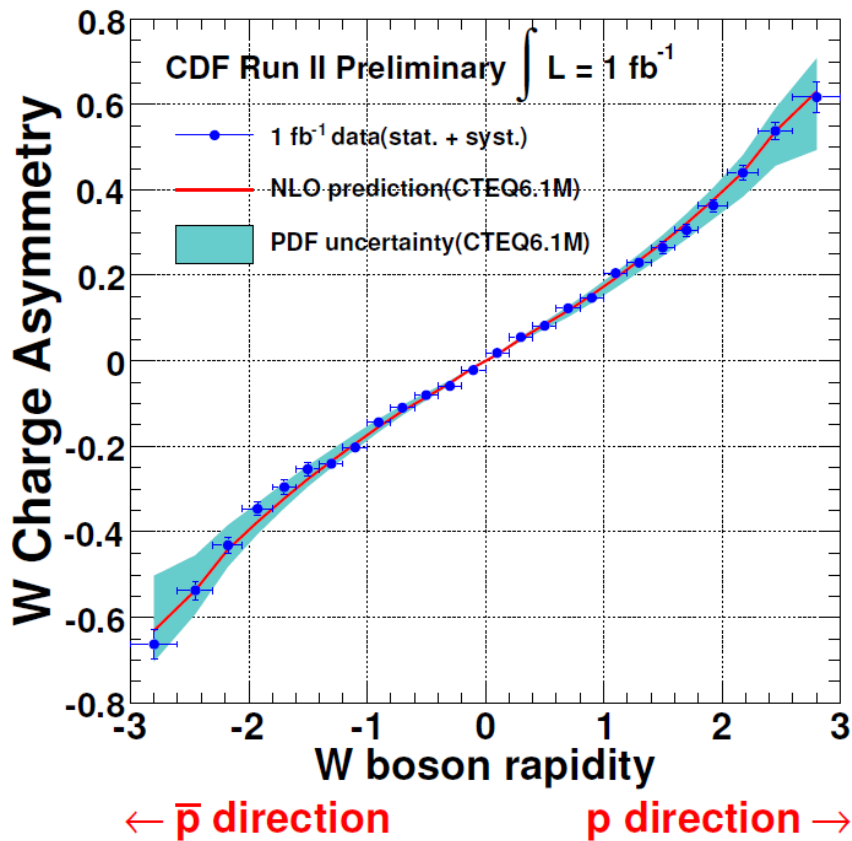
**CP:**  $81 \div 101$  GeV



L'errore cresce con il modulo della pseudorapidità ed è importante solo per alti valori

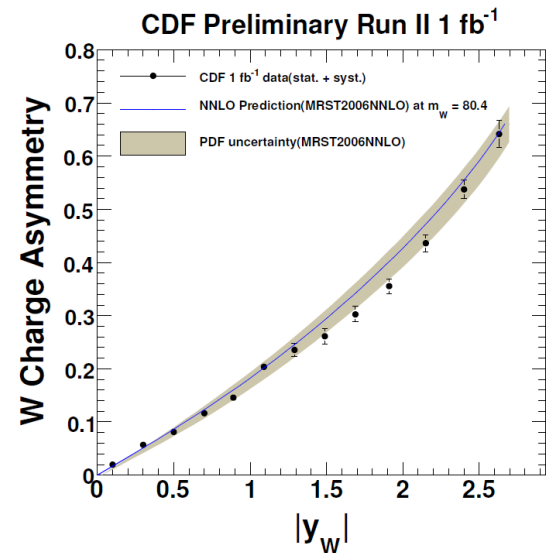
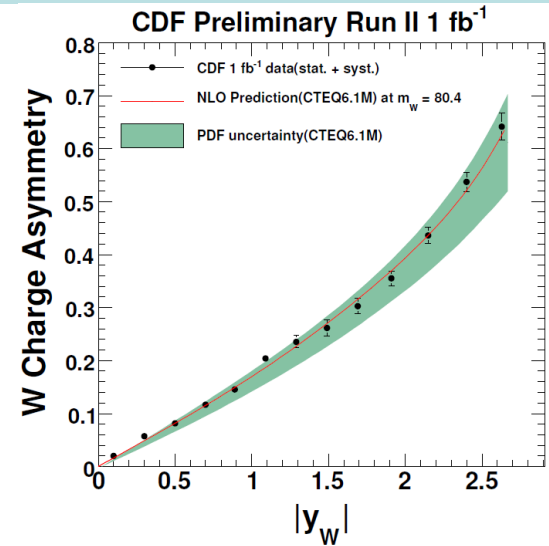
corso di fisica nucleare e

# Risultati

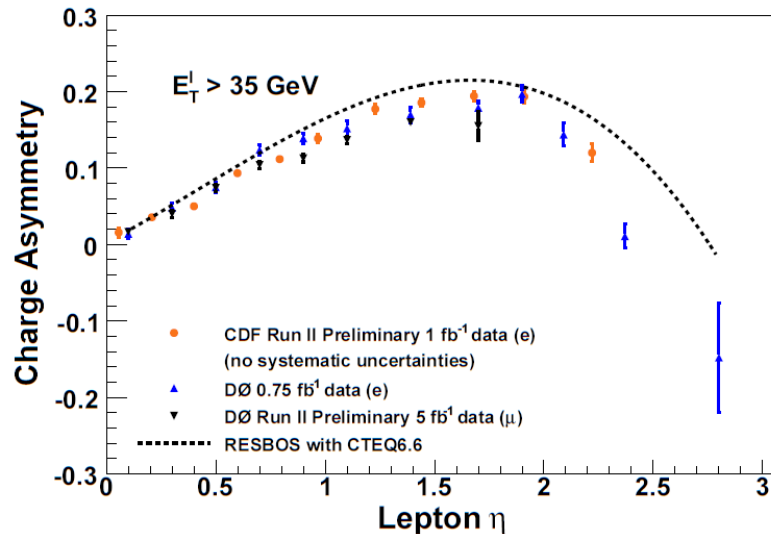
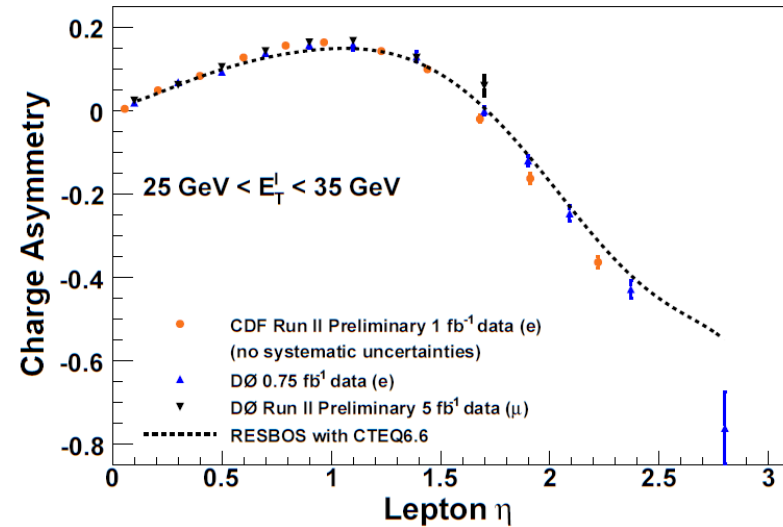
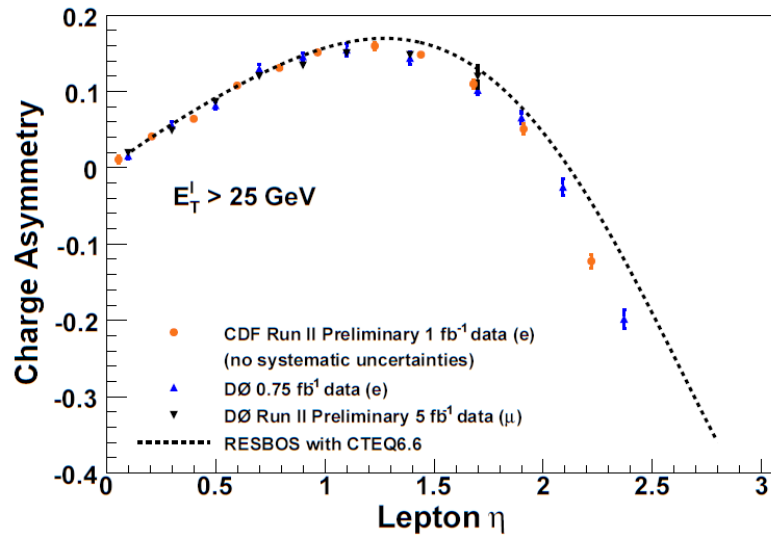


Gli errori sono molto piccoli rispetto a quelli teorici dovuti alla poca conoscenza delle p.d.f. e le misure sono in perfetto accordo!

corso di fisica nucleare e



# Risultati



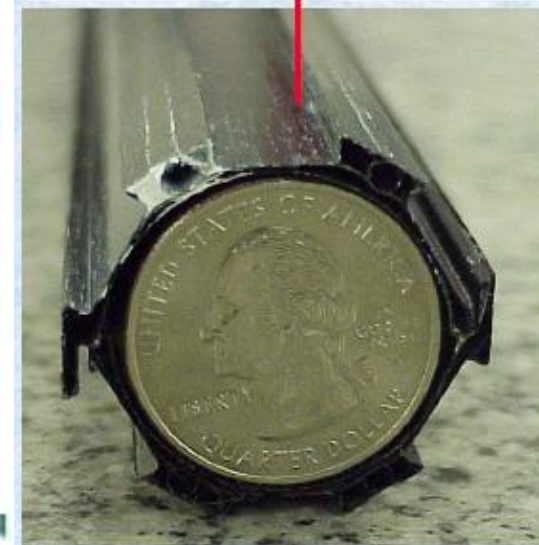
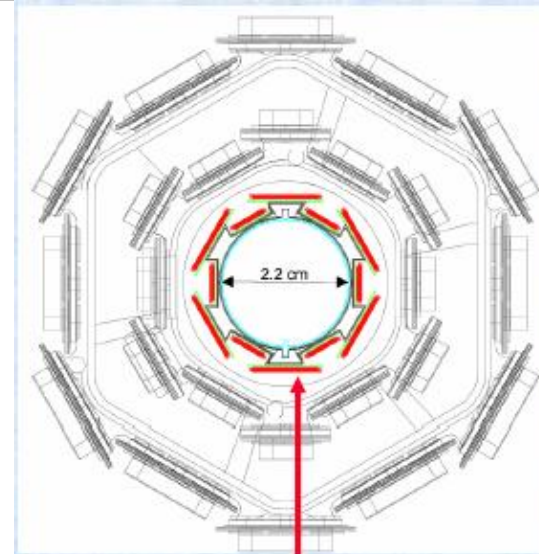
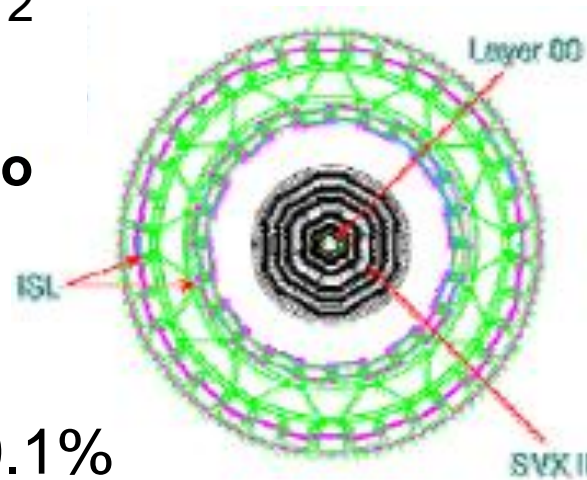
L'asimmetria elettronica misurata è anche in perfetto accordo con i dati teorici!

ca nucleare e



# Tracciatori in Si

- **Layer 00: Livello a contatto con il fascio**
  - Risoluzione:  $16\ \mu\text{m}$
- **SVX-II: Rilevatore dei vertici in Silicio (Run II)**
  - Tre barili concentrici in Si altamente drogato "n" hanno delle micro-strisce di Si "p" su entrambe le facce connesse individualmente a dei conduttori in Al
  - Copertura: circa 45 cm di lunghezza
  - Diviso in 12 spicchi radialmente
  - Molto sottile:  $2,4 \div 10,7\ \text{cm}$
  - Copertura angolare:  $|\eta_{\text{det}}| < 2$
  - Risoluzione:  $12\ \mu\text{m}$
- **ISL: Tracciatore intermedio in Silicio**
  - Raggio:  $20,2 \div 10,7\ \text{cm}$
  - Risoluzione:  $16\ \mu\text{m}$



$B = 1.4\ \text{T}$  uniforme allo  $0.1\%$



# Camera a drift tracciante centrale

## **Central Outer Tracker (COT)**

•  $B = 1,4 \text{ T}$  uniforme allo  
0,1%  
per  $z, r < 150 \text{ cm}$

- 8 super-strati con celle lunghe 310 cm
  - Raggio:  $40 \div 132 \text{ cm}$
  - 4 paralleli al fascio
  - 4 a  $\pm 2^\circ$  con il fascio
  - ognuno con 12 strati di fili "di senso" alternati a fili "di campo"

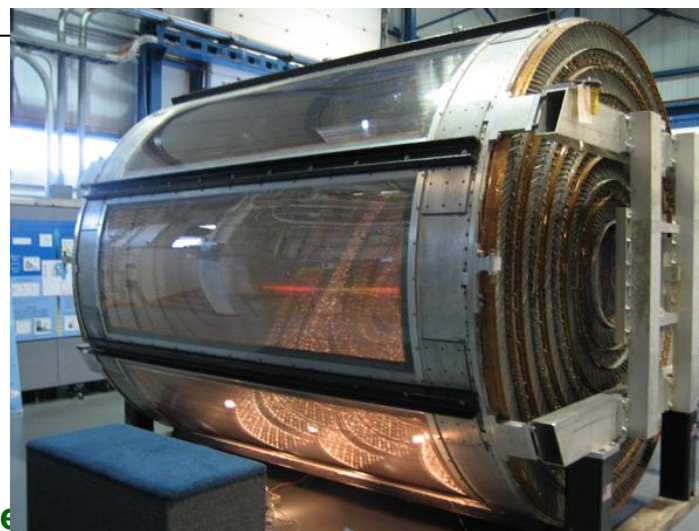
- Riempita con: 50% etano 50% Ar
  - velocità di deriva:  $\langle v \rangle \sim 50 \mu\text{m/ns}$
  - distanze massime di deriva: 0,88 cm
  - Tempi massimi di deriva:  $\sim 200 \text{ ns}$

$$\sigma_{p_T}/p_T^2 \simeq 1,7 \times 10^{-3} [\text{GeV}/c]^{-1}$$

• Risoluzione: 180  $\mu\text{m}$

corso di fisica nucleare  
subnucleare I

$$p_T = 0,5 \text{ g/B T}$$



# Camere dei muoni

## **CMU:** rivelatore di muoni centrale

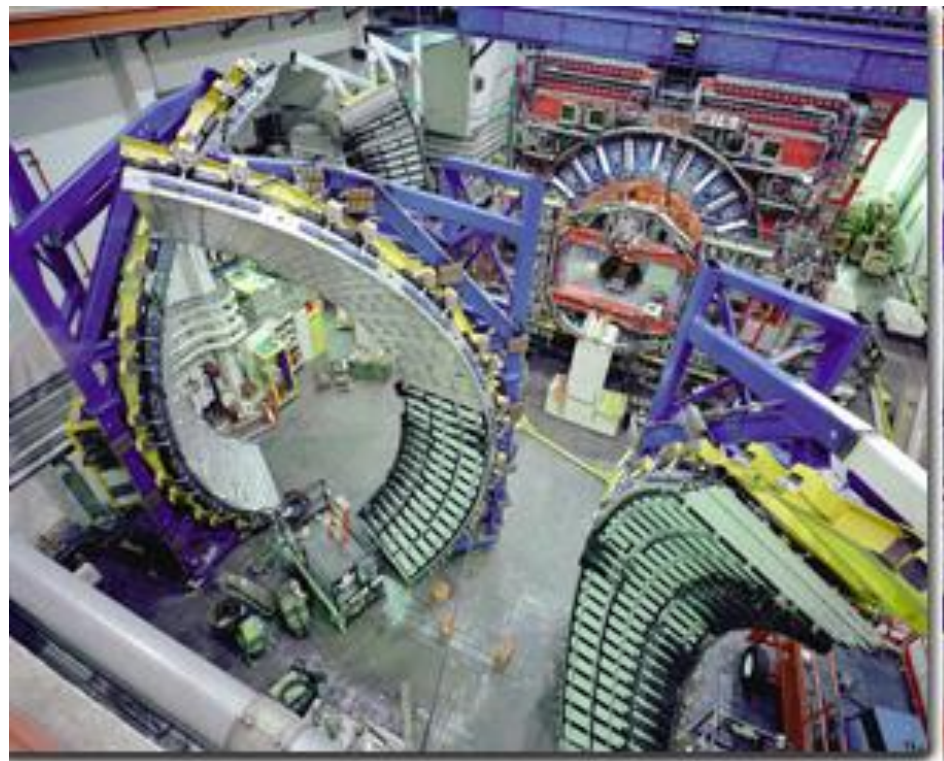
- 2.304 camere con filo singolo disposte su 4 cilindri concentrici
- $|\eta_{\text{det}}| \leq 0,6$
- Tempo di deriva: 800 ns

## **CMP:** rivelatore di muoni centrale potenziato

- 1,076 camere con filo singolo
- $|\eta_{\text{det}}| < 0,6$
- Tempo di deriva: 1,8  $\mu\text{m}$

## **CMX:** rivelatore di muoni esteso

- 1,536 camere con filo singolo
- $|\eta_{\text{det}}| < 1$
- Tempo di deriva 1,8  $\mu\text{m}$



# Correzioni

Distribuzione di  $W$  in funzione della rapidità e della V-A:

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

La \* indica il sistema di riferimento del  $W$  a riposo

Si ottiene la distribuzione del peso di ogni soluzione modulata per la sezione d'urto del  $W$  in funzione della sua rapidità  $y_W$ :

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

La dipendenza della grandezza dalle distribuzioni delle sezioni d'urto comporta l'iterazione del processo di calcolo