Misure delle sezioni d'urto inclusive di W e Z nelle collisioni p p-bar ad una $\sqrt{S} = 1.96$ TeV

Di : Gustavo Maccioni

Tutor

Marco Rescigno

Scopo e Introduzione

La misura delle sezioni d'urto di produzione di W e Z rappresenta un importate test per l' SM . Inoltre ai collider adronici può risultare piuttosto semplice identificare i due bosoni osservando i loro decadimenti leptonici.

Di queste sezioni d'urto si conosce il calcolo teorico assai preciso :

$$\sigma_W \, Br(W \to l\nu) = 2.687 \pm 0.054 \text{ nb}$$

e

$$\sigma_Z \, Br(Z \to ll) = 251.3 \pm 5.0 \text{ pb}$$

e dal rapporto di queste sezioni d'urto si ricava una misura indiretta, della larghezza totale di decadimento di W, $\Gamma(W)$.

Scopo e Introduzione

Nei collisionatori adronici gli eventi ad alto p_T sono dominati dai processi di **QCD** che producono q e g ad alto p_T.

Un **q e un anti-q** possono **annichilare** dando luogo a particelle pesanti come i bosoni **W e Z**.

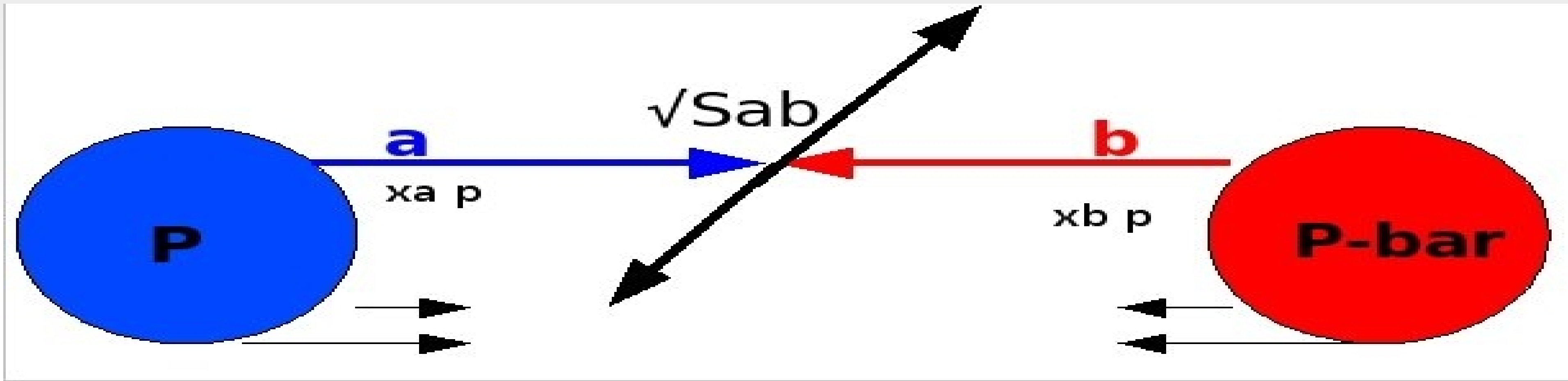
W e Z spesso decadono in q e q-bar non distinguibili da quelli prodotti nelle collisioni p p-bar.

Di conseguenza per identificare **W e Z** ($\tau \sim 3\ 10^{-25}$ s) poniamo l'attenzione su i loro decadimenti leptonici identificabili dal resto.

Sezione d'urto ai collider adronici

La sezione d'urto p p-bar, è possibile descriverla anche in termini di partoni.

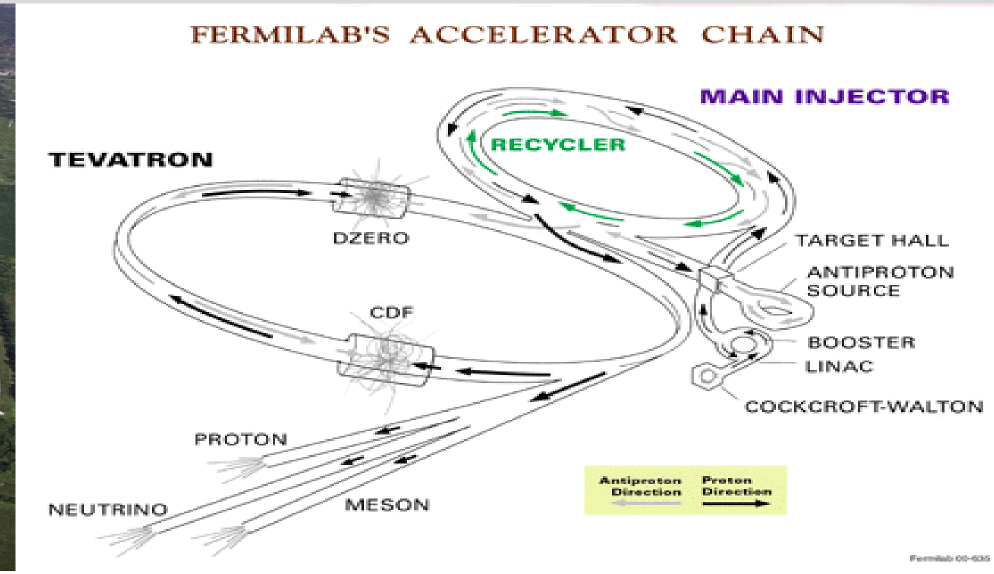
$\sqrt{S_{ab}} = \sqrt{x_a x_b\, S_{p\text{-}p\ bar}}$



$$\sigma = \sum_{ab} \int dx_a dx_b f(x_a) f(x_b) \sigma_{ab}(\sqrt{S_{ab}})$$

Dove la somma è fatta su tutti i sapori e le f(x) sono le pdf di trovare un partone che trasporta una frazione x di momento

Tevatron



POTENZIAMENTI

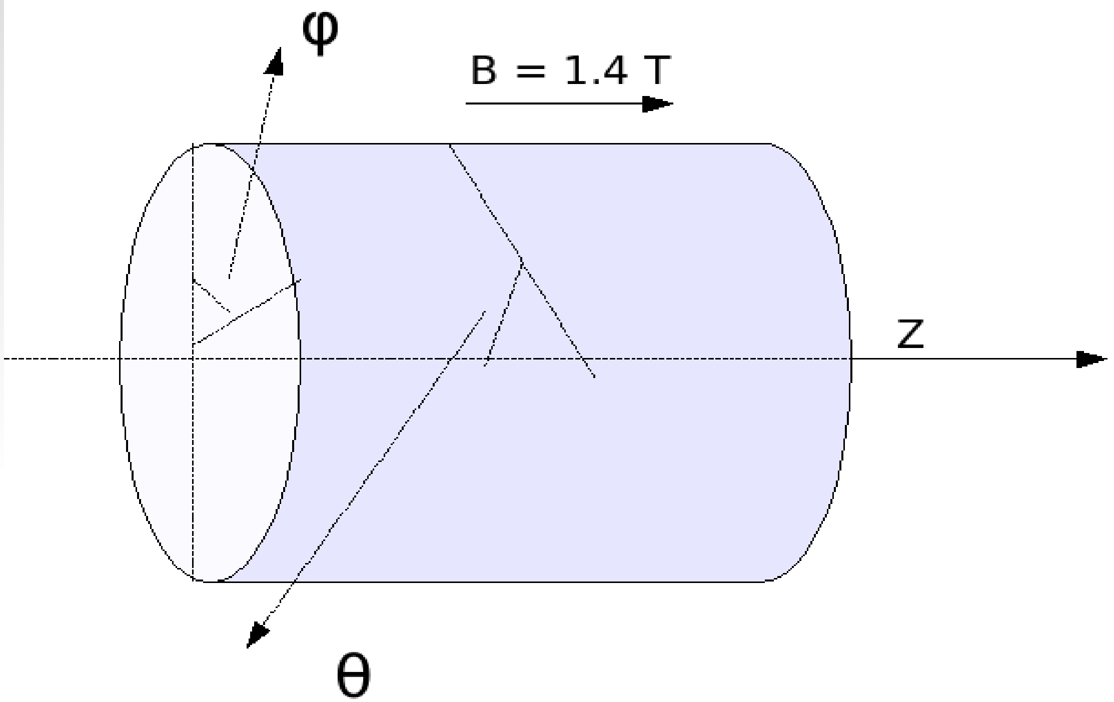
RUN I ⟶ RUN II

- Aumento del numero dei buch da 6 a 36 ⟶ riduzione del tempo di collisione da 3564 ns a 396 ns
- Aumento della luminosita da 8.6 $10^{31}cm^{-2}\ s^{-1}$ a 30 $10^{31}cm^{-2}\ s^{-1}$
- Aumento dell' E.C.o.M da $\sqrt{S}$ = 1.80 TeV a $\sqrt{S}$ = 1.96 TeV

CDF II

Le parti rilevanti per le nostre misure sono essenzialmente 3 :

- Sistema tracciante
- Calorimetri
- Camere a Drift (muoni)



Sistema tracciante :

Camera a drift COT

- Riempita da Argon-Etano (50% ogni uno)
- Alta velocita di deriva~ 50μm/ns compatibile con i brevi intervalli di collisione dei bunch
- distanza max di deriva 0.88 cm → tempo di deriva 200 ns
- Grandi raggi , 96 punti di misura → risoluzione in momento $\sigma_{p_T}/p_T^2 \simeq 1.7 \; 10^{-3} \; [\mathrm{GeV}/c]^{-1}$

CDF II

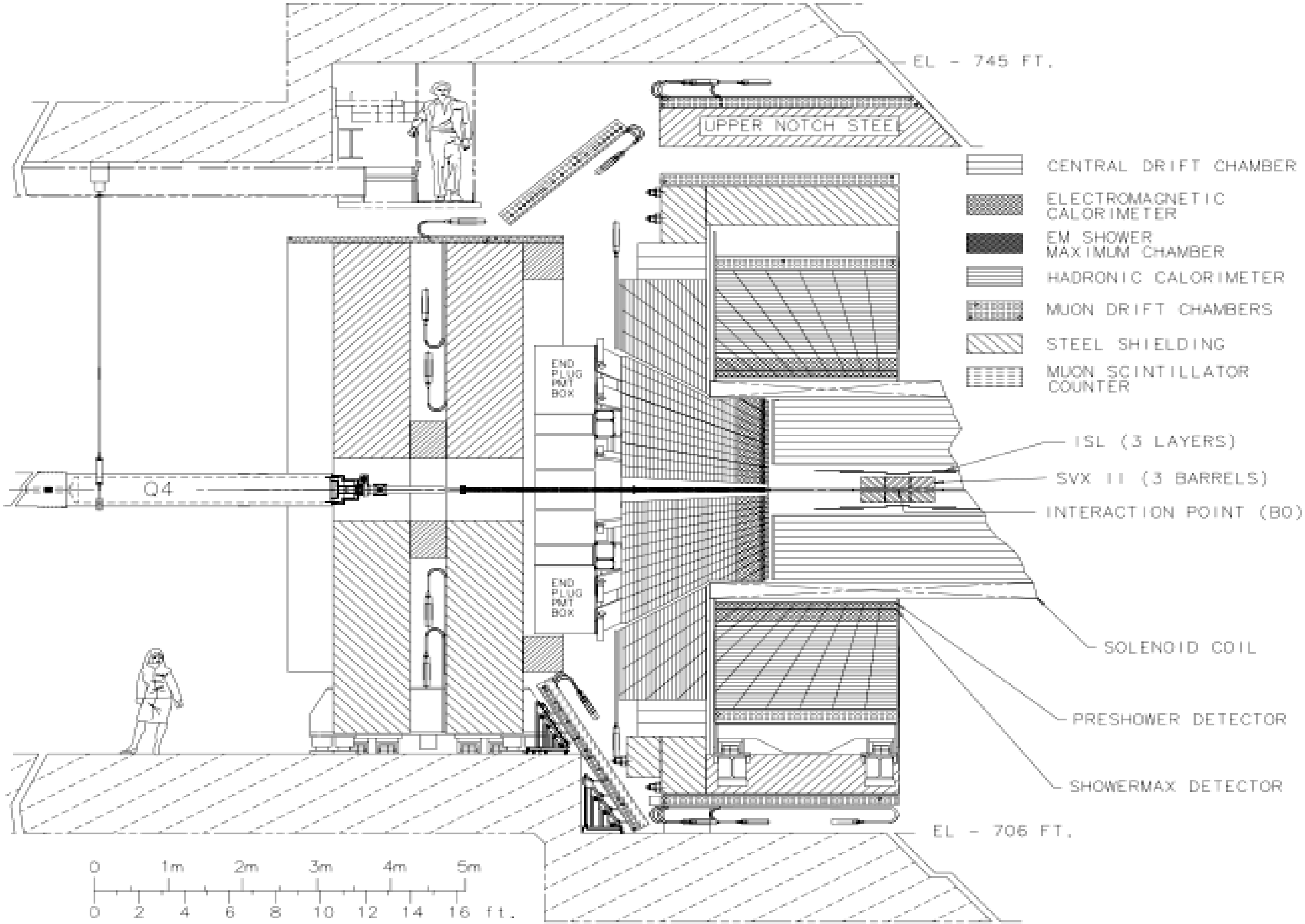


Figura 1: Vista longitudinale del detector CDF Run II

CDF II

Calorimetri:

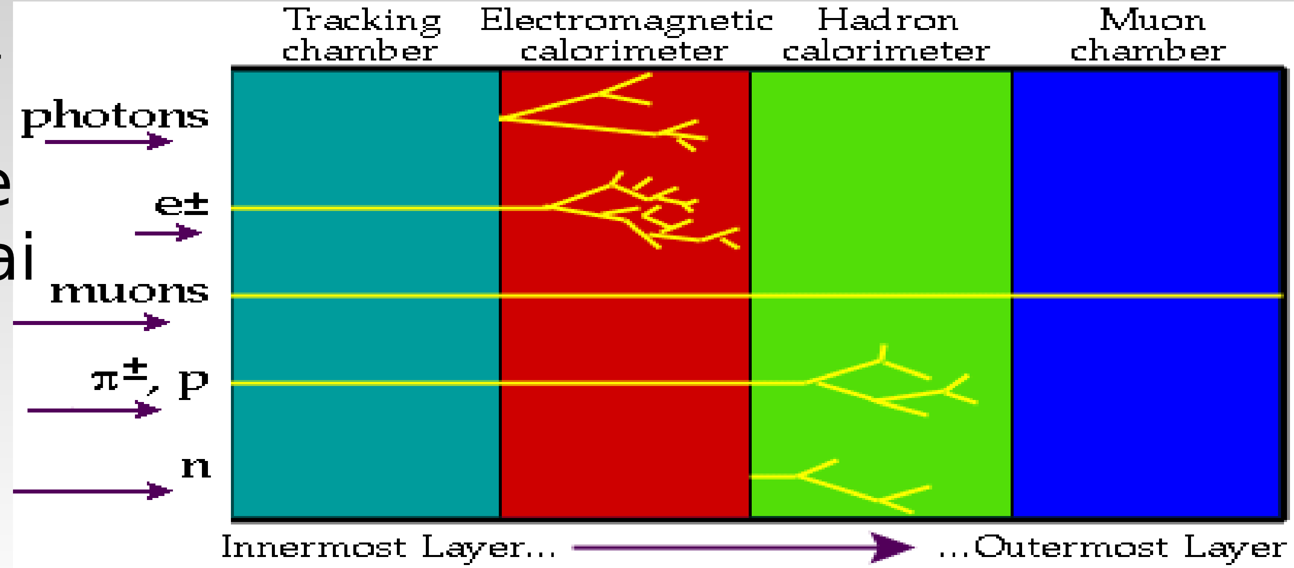
Elettromagnetico – E' il calorimetro più interno ed è costituito da sandwich di fogli di piombo e scintillatori. Sono sfuttatti principalmente nell'identificazione degli elettroni.

Adronico – E' il calorimetro più esterno ed è composto da sandwich di scintillatori “farciti” con un foglio di acciao.

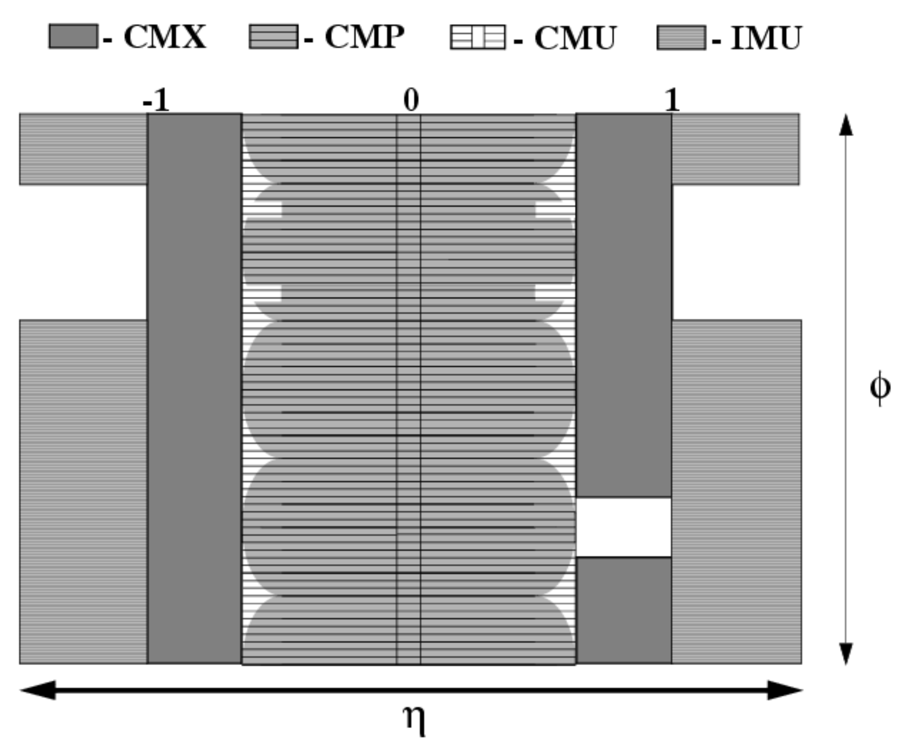
La risoluzione in energia di ambedue i calorimetri è stata misurata con opportuni test-beam. I rusultati ottenuti sono: $15\%/\sqrt{E}$ (em) ; $80\%/\sqrt{E}$ (hd)

CDF II

Camere a Drift (muoni) :



- Il rilevatore di muoni è posto esternamente ai calorimetri
- Costituito da un sistema di 4 detector indipendenti



- Ciascuno equipaggiato di camere a drift a singolo filo disposte a strati
- Difetto – tempo di drift > tempo che intercorre tra la collisione di un bunch e l 'altro

Trigger

- Potenziamento Tevatron → riprogettazione del trigger
- 3 Livelli che riducono da 2.5 MHz → 75 Hz
- Memorizzazione degli eventi selezionati

Livello 1 :

- Selezione eventi basata su info provenienti da calorimetri, sistema tracciante , muon detector.
- Rate massima di eventi accettati ~ 20 kHz .

Livello 2 :

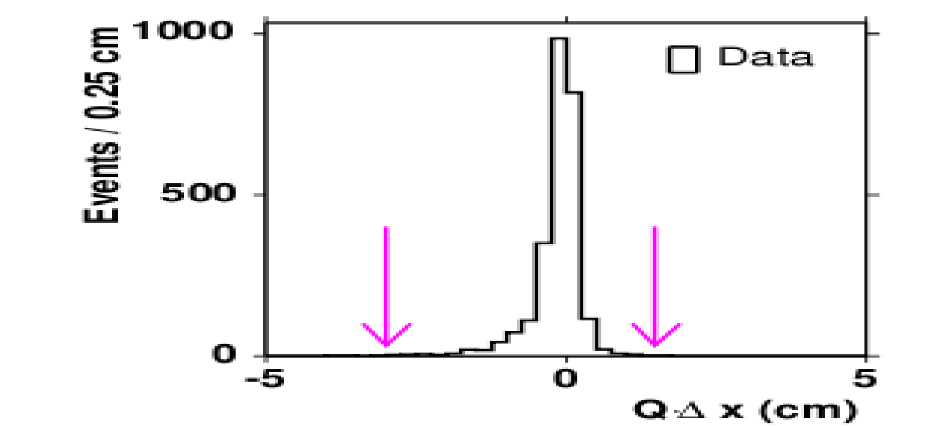
- hw dedicato per la ricostruzione on-line dei cluster em e delle traccie.
- Rate massima di eventi accettati 300 Hz

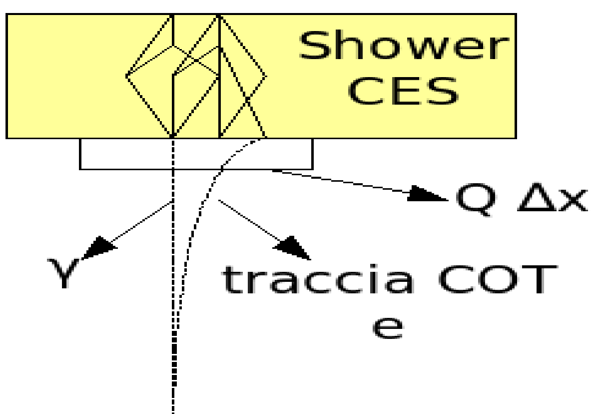
Livello 3 :

- Procesori con algoritmi di ricostruzione di traccia offline veloci e ottimizzati.
- riduce a 75 Hz la rate per memorizzare gli eventi.
- track matching → Cluster e stub in muon detector, migliorando l'identificazione dei leptoni

Indentificazione elettroni

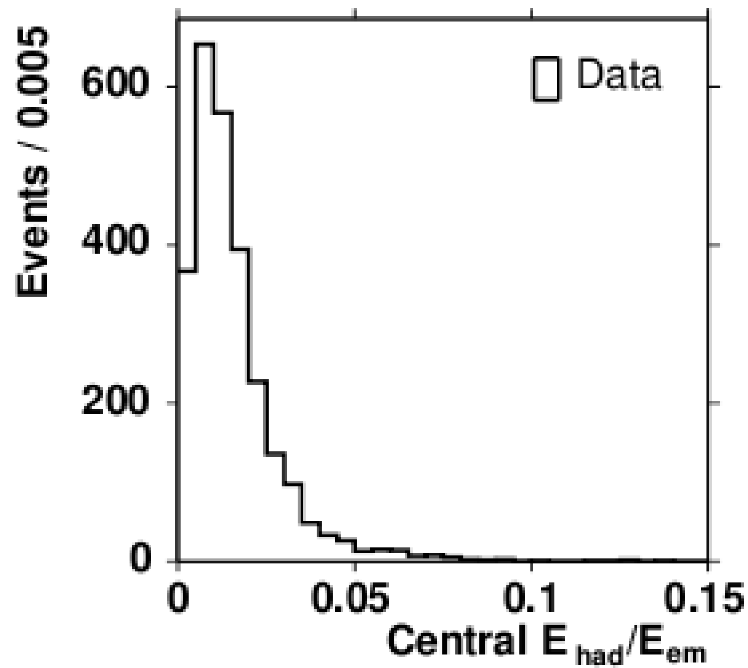
- Particelle cariche+deflessione da cmp magnetico+traccia
- Interazione con la materia + Bremmstrhallung = shower em
- Energia tutta depositata nel calorimetro em
- Camere proporzionali CES (~$6X_0$) = forma shower em
- Q Δx + corrispondenza con la shower em localizzata = elettrone





-3.0 < Q Δx <1.5 cm

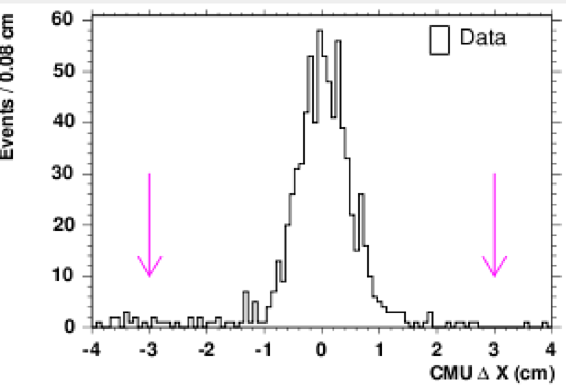
E_{had}/E_{em} < 0.055+0.00045 E

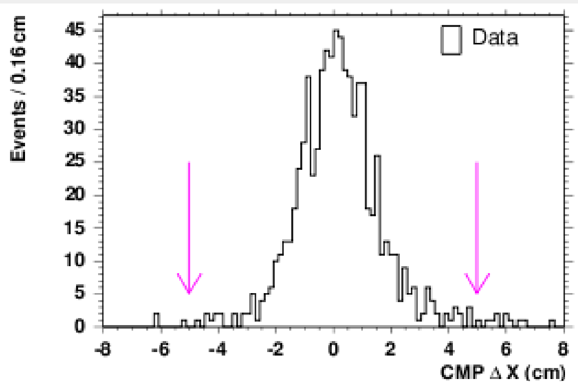


Indentificazione Muoni

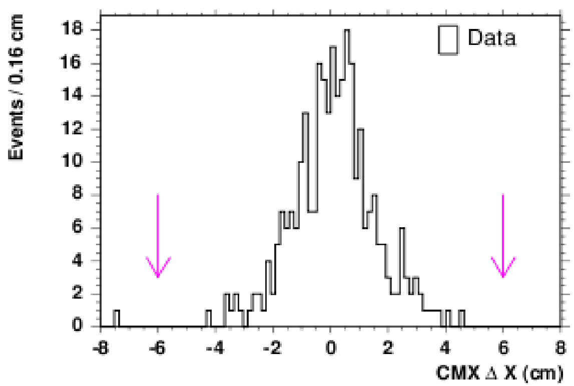
- Particelle cariche + deflessione da cmp magnetico + traccia + stub .
- Deposito minimo medio di energia nel calorimetro em e hd ~ 2 GeV ÷ 3 GeV

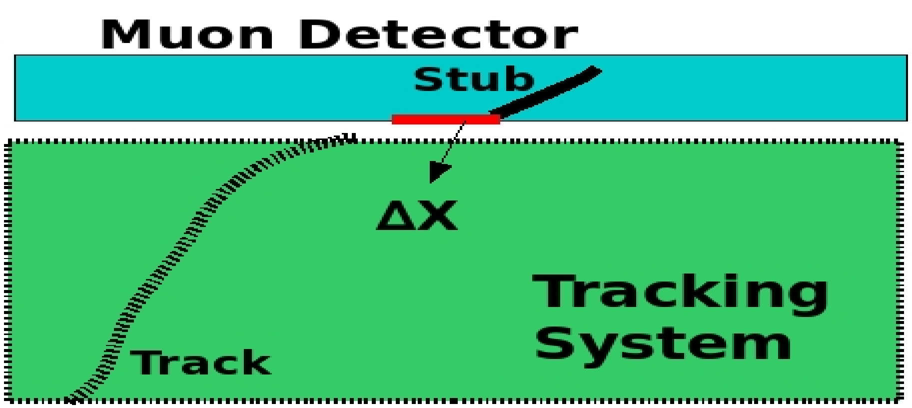
ΔX e la variabile entro cui il match tra traccia e stub viene considerato riconducibile ad un muone.





Attraversano, se sono abbastanza energetici, tre camere CMU,CMP,CMX





L'aumento di ΔX in CMP e CMX e legato a lo scattering multiplo
(fanno uno sapzio maggiore)

Strategia

- Selezione dei W e Z .
- Metodi con cui stimare alcune componenti dei parametri sperimentali che intervengono nel calcolo della sezione d'urto secondo la seguente formula.

$$\boxed{\sigma_{W/Z} = \left(N_{segnale} - N_{background}\right) \Big/ \left(A_{W/Z}\,\epsilon_{W/Z} \int L(t)\,dt\right)}$$

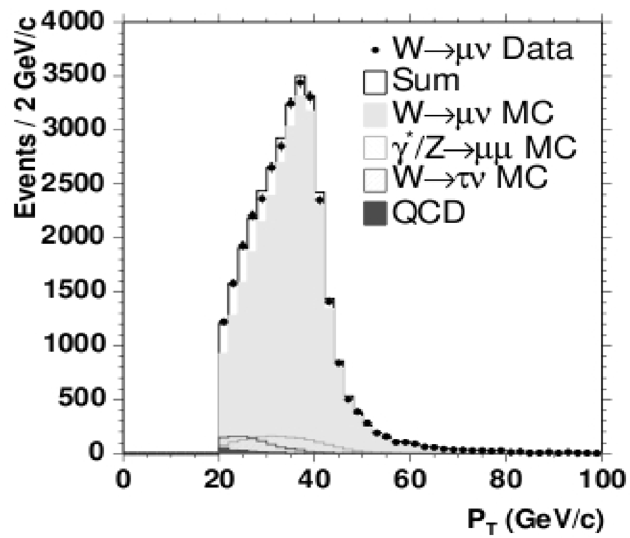
Dove $N_{segnale}$ e $N_{background}$ rappresentano rispettivamente il numero di eventi candidati e il numero di fondo aspettato.
$A_{W/Z}$ sono le accettanze dei decadimenti in leptoni di W e Z, $\varepsilon_{W/Z}$ le efficienze combinate e $\int L(t)\,dt$ è la luminosità integrata del nostro campione di eventi.

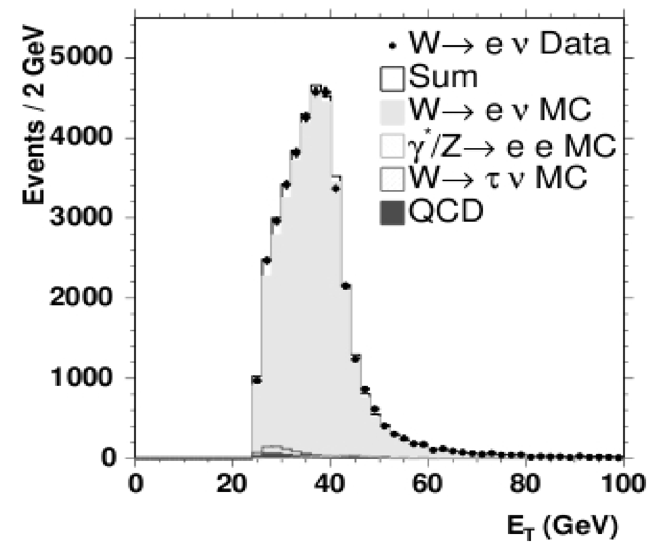
Selezione di W

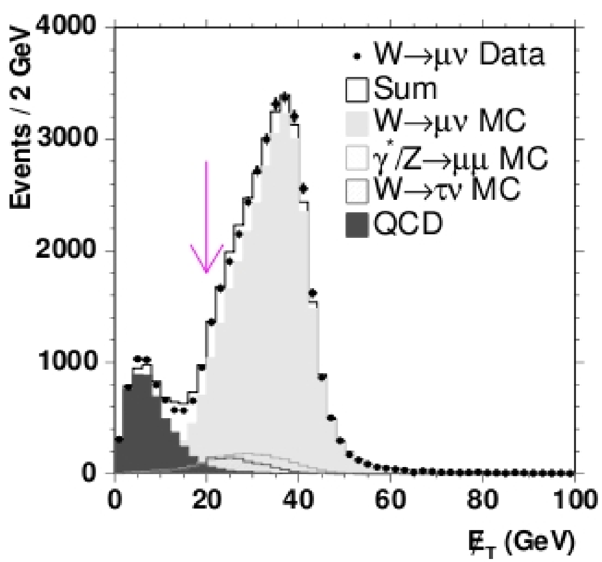
W ⟶ lν richiediamo :

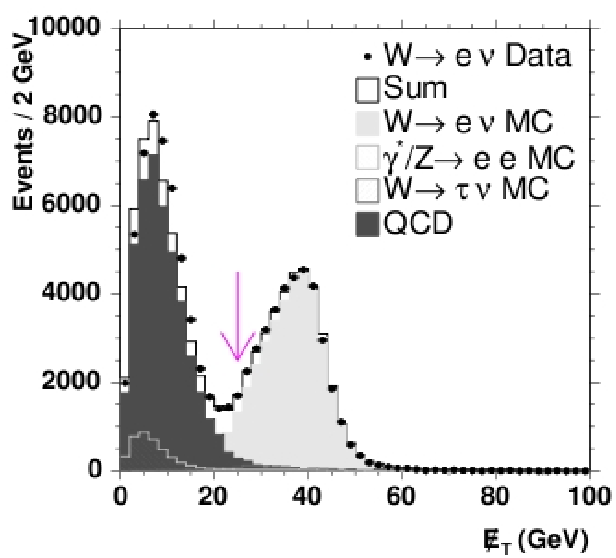
- Alto p_T per il leptone carico e che si trovi nella zona centrale del detector.

- L'evidenza del neutrino è la missing energy







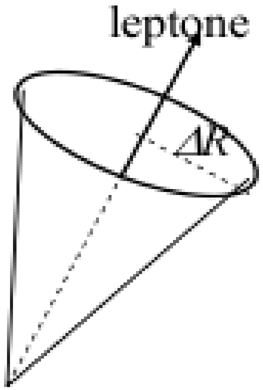


Selezione di Z

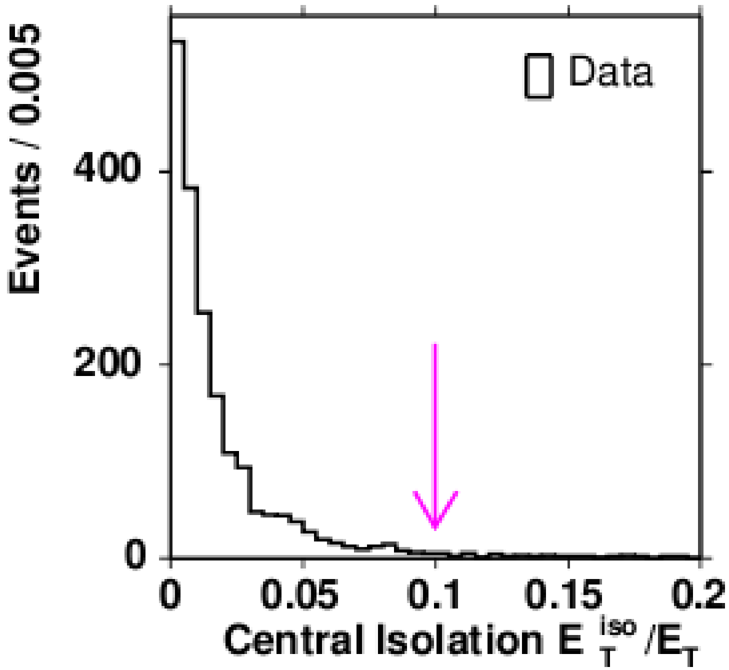
Z ⟶ ll richiediamo :

- e o μ che soddisfi le condizioni appena citate per il bosone W.
- 2° leptone applico criteri meno ristrittivi per l'dentificazione.
- 66 GeV/^{2} < M_{ll} < 116 GeV/c^2
- Identificato il 1° leptone si richiede la presenza di un altro leptone isolato (caso del muone, e di carica opposta)

- $\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\varphi^2}$ $^2 \leq 0.4$ il raggio del cono in cui l'energia depositata, E_T^{ISO}, è minore del 10% rispetto all' energia totale depositata dal leptone (E_T per l'elettrone e p_T per l muone).



Z-> ee



Efficienza di trigger

Ci sono essenzialmente due modi per determinare l'efficienza di trigger

- Il primo, usato per gli elettroni, sfrutta due trigger indipendenti. Con il primo seleziono eventi facendo richieste meno restrittive rispetto ad un trigger standard metre il secondo è un trigger standard

*“ esempio : (efficienza di trigger tracking per **e**)*
il primo trigger è basato sul calolrimetro em + missing energy, e selezione N_{trg1}, dopo di che misuro quanti di essi passano anche il trigger standard e saranno $N_{trg1\&trg\_std.}$. Dal rapporto $N_{trg1\&trg\_std}/N_{trg1}$ ricavo l'efficienza di trigger.”

Trigger Level	Track Requirement	Measured Efficiency
Level 1	Fast Tracker ($p_T > 8$ GeV/c)	0.974 ± 0.002
Level 2	Fast Tracker ($p_T > 8$ GeV/c)	1.000 ± 0.000
Level 3	Full Reconstruction ($p_T > 9$ GeV/c)	0.992 ± 0.001
Combined	Level 1 $\rightarrow$ Level 3	0.966 ± 0.002

Alta efficienza

e

errori < del %

Efficienza di trigger

- nel 2° usiamo campioni Z $\rightarrow$ μμ che soddisfano tutti i criteri di isolazione e identificazione.
- Per evitare fondo richediamo 76 GeV $< M_{\mu\mu} <$ 106 GeV.

Se definiamo ε_{trg} come la singola efficienza di trigger allora ε_{trg}^2 è la frazione di eventi in cui ambedue i muoni sono triggerati, $2\varepsilon_{trg}(1-\varepsilon_{trg})$ e quella in cui solo un muone viene triggerato .Allora:

$$F = N_{2trg} / N_{TOT} = \epsilon_{trg}^2 / (\epsilon_{trg}^2 + 2\epsilon_{trg}(1-\epsilon_{trg})) \longrightarrow \epsilon_{trg} = (2*F) / (1+F)$$

Trigger Level	Number of $Z \rightarrow \mu\mu$ Candidate Events	Number of Events with 2 Muon Triggers	Efficiency
Level 1	338	293	0.929 ± 0.011
Level 3	138	137	0.996 ± 0.004
Combined	-	-	0.925 ± 0.011

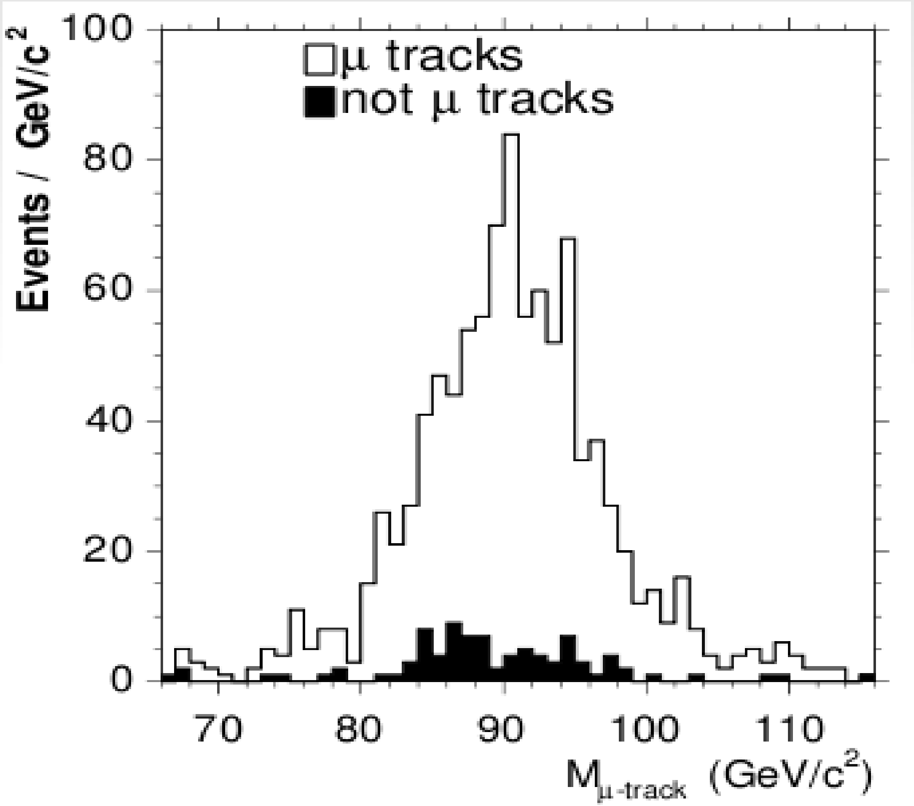
$\longrightarrow$ **Alta efficienza e errori < del %**

Efficienza di ricostruzione

L'efficienza di ricostruzione è definita come la frazione di leptoni presenti nostra accettanza geometrica per i quali abbiamo corrispondenza tra COT track e la offline track.

Uso eventi Z ->ll e richiedo :

- una gamba soddisfa i miei criteri di indentificazione.
- Allora ho anche l'altra gamba con carica opposta e p_T alto
- 80 GeV/c^2<M_{ll}<100 GeV/c^2
- Uso ambedue le gambe per valutare l'efficienza.
- Estrapolo ogni traccia e vedo se punta in una zona attiva del detector
- la frazione di queste ricostruite come leptoni forniscono la misura della mia efficienza.



Lepton	Data Efficiency	Simulation Efficiency	Net Efficiency
Central Electons	0.990 ± 0.004	0.992 ± 0.001	0.998 ± 0.004
Plug Electrons	1.000	1.000	1.000
Muons	0.935 ± 0.007	0.980 ± 0.001	0.954 ± 0.007

→ **Alte efficienze e errori del <%**

Stima del fondo del W

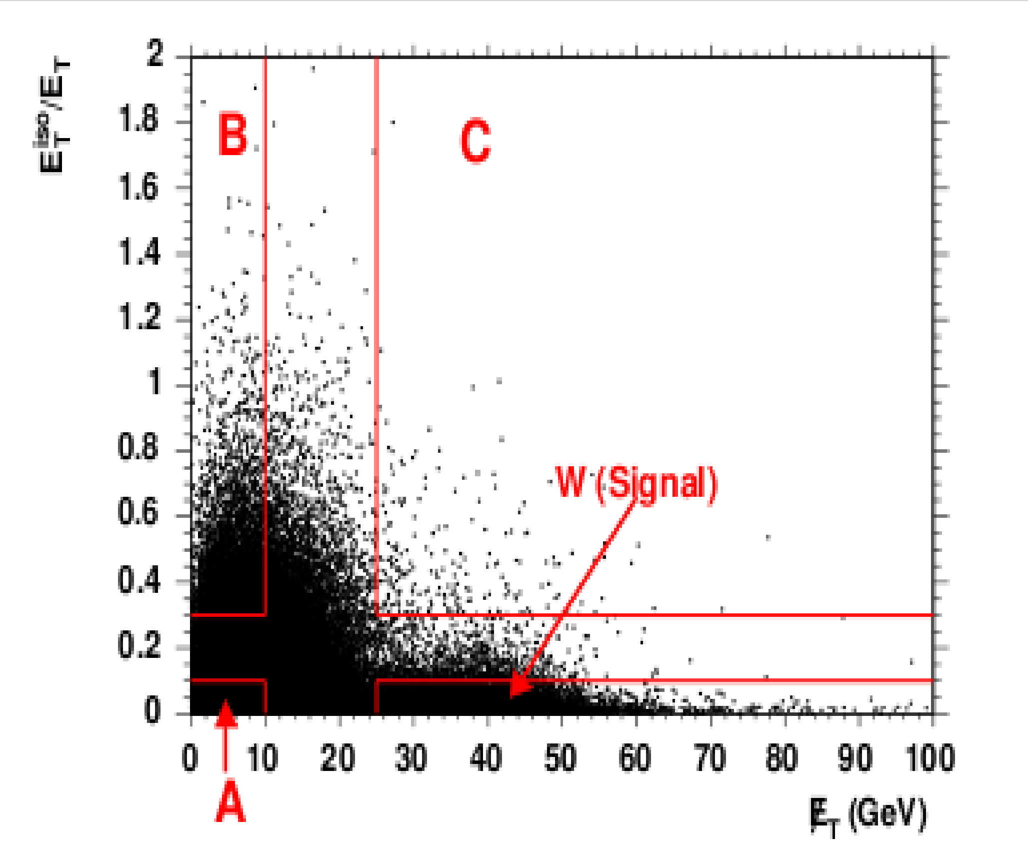
Uso due variabili che assumiamo siano indipendenti per i leptoni da jet adronici (iosolazione e missing energy) .

Le regioni A ,B e C sono tutte di fondo mentre W è segnale.

- per estrapolare il fondo di C su W assumo (var scorelate) che sia lo stesso di B su A .

Il numero di eventi di fondo lo stimiamo come :

$$\left(\frac{N_W^{bck}}{N_C}\right)=\left(\frac{N_A}{N_B}\right)$$



	Uncorrected $W\to e\nu$	Corrected $W\to e\nu$	Uncorrected $W\to\mu\nu$	Corrected $W\to\mu\nu$
Region A	30023	26655	3926	3575
Region B	5974	5972	5618	5615
Region C	228	131	496	345
Region W	37584	37584	31722	31722
Hadronic Background	1146	587	346	220
Statistical Error	78	52	17	13
Systematic Error	-	294	-	110
Background Fraction	$3.0\pm0.2\%$	$1.6\pm0.8\%$	$1.1\pm0.1\%$	$0.7\pm0.4\%$

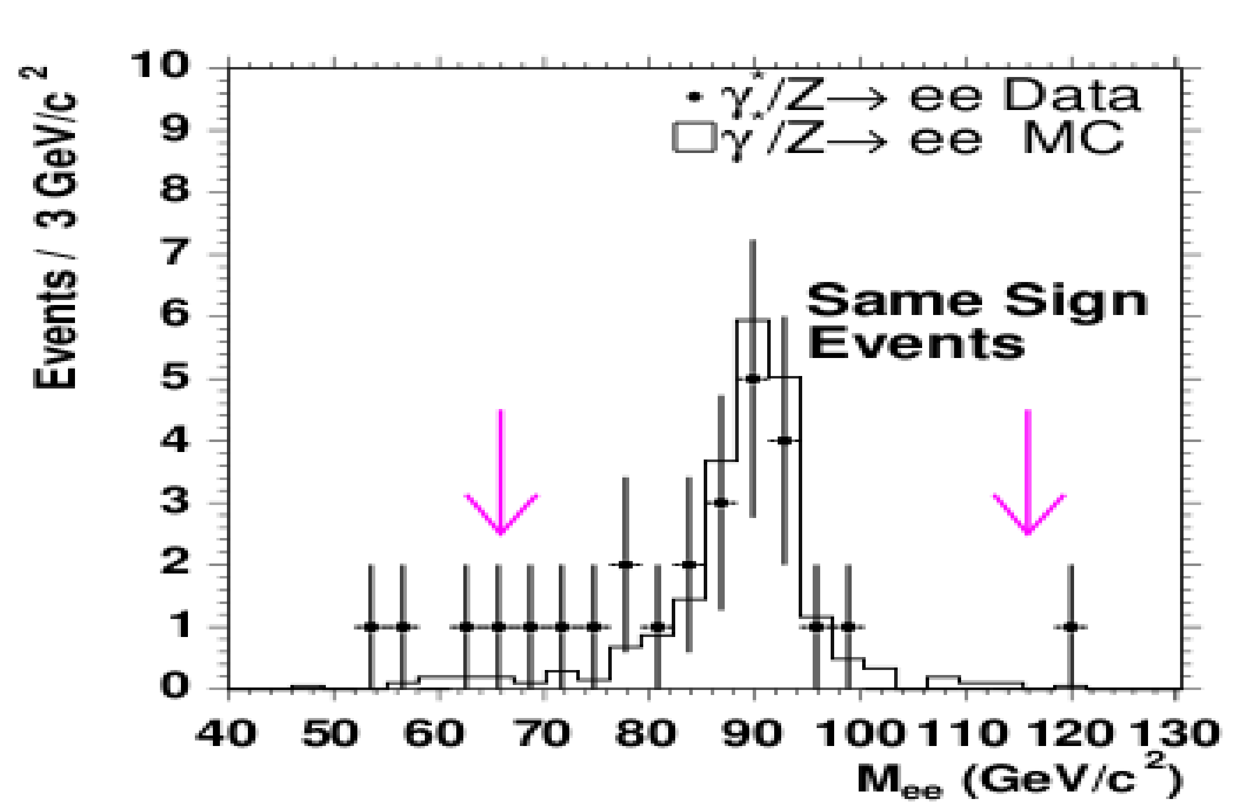
Contributo del fondo

→ **3.0 %** per W->eν

→ **1.1 %** per W->μν

Stima del fondo dello Z

- Leptoni da jet adronici $\longrightarrow$ nessuna correlazione di carica $\longrightarrow$ stesso numero di coppie con carica uguale e opposta.
- Approccio che va bene solo nel caso di due leptoni centrali e la carica è estratta dalla traccia.
- $Z \longrightarrow \mu\mu$ contributo al fondo da jet adronico $0.0^{+1.1}_{-0.0}$
- Per $Z \longrightarrow ee$ abbiamo : 22 eventi con carica uguale
- Dalla M_{ee} capisco che parte di essi viene da Z -> ee , pari a 20.4 eventi
- Ricavo il contributo al fondo: 22 – 20.4 $\longrightarrow$ $1.6^{+4.7}_{-1.6}$



Accettanza e principali incertezze

Definita come la frazione di eventi prodotti nelle collisioni p p-bar tali da soddisfare i vincoli geometrici e cinematici fatti su nostro campione di eventi.

L'accettanza è abbastanza sensibile all'incertezza derivante dalle PDF

$$\overline{A} = \frac{\int \frac{d\sigma}{dy} \cdot A(y) \cdot dy}{\int \frac{d\sigma}{dy} \cdot dy}.$$

Nel calcolo interviene la σ che dipende dalle PDF.

Esistono diversi modelli per le PDF attraverso i quali si può calcolare la dσ/dy e quindi dare una stima dell'incertezza sull'accettanza, confrontando tali risultati con altri, prodotti da altri metodi di calcolo.

Contributo dell'incertezza delle PDF sull'accettanza

Per il canale W -> lν siamo nell'ordine 1%

Per il canale Z -> ll siamo nell'ordine 0.7% - 2.3%

Misura della luminosità integrata

$$L = \frac{R_{p-\bar{p}}}{(\epsilon_{CLC} * \sigma_{ine})}$$

Dove $R_{pp\text{-}bar}$ è la rate di scattering inelastico , ε_{CLC} è l'accettaza del contatore CLC e σ_{ine} è la sezione d'urto inelastica p p-bar ad una √S = 1.96 TeV.

$$\epsilon_{CLC} = \left(\frac{N_{EW}}{N_{CLC+PLUG}}\right) * \left(\frac{N_{CLC+PLUG}}{N_{inelastic}}\right)$$

Ricavato dai dati

Ricavato da simulazioni

$N_{CLC+PLUG}$ è il #eventi inelastici etichettati dal CLC e dal calorimetro plug, N_{EW} è un sotto insieme di essi (numero di coincidenze east-west) $N_{inelastic}$ è #totale di scattering inelastici p p-bar.

ε_{CLC} = 60.2 ± 2.6%

σ_{ine} = 60.7 ± 2.4 mb

$\rightarrow$

L = 72.0 ± 4.3 pb^{-1}

Risultati

	$\gamma^*/Z \to ee$	$\gamma^*/Z \to \mu\mu$
N_Z^{obs}	4242	1785
N_Z^{bck}	62 ± 18	13 ± 13
A_Z	$0.3182\ ^{+0.0039}_{-0.0041}$	$0.1392\ ^{+0.0027}_{-0.0033}$
ϵ_Z	0.713 ± 0.012	0.713 ± 0.015
$\int \mathcal{L}dt$ (pb^{-1})	72.0 ± 4.3	72.0 ± 4.3

	$W \to e\nu$	$W \to \mu\nu$
N_W^{obs}	37584	31722
N_W^{bck}	1762 ± 300	3469 ± 151
A_W	$0.2397\ ^{+0.0035}_{-0.0042}$	$0.1970\ ^{+0.0024}_{-0.0031}$
ϵ_W	0.749 ± 0.009	0.732 ± 0.013
$\int \mathcal{L}dt$ (pb^{-1})	72.0 ± 4.3	72.0 ± 4.3

$$\sigma_W \cdot Br(W \to e\nu) = 2.771 \pm 0.014(stat.) \pm {}^{0.062}_{0.056}(syst.) \pm 0.166(lum.)\ \text{nb}$$

$$\sigma_{\gamma^*/Z} \cdot Br(\gamma^*/Z \to ee) = 255.8 \pm 3.9(stat.) \pm {}^{5.5}_{5.4}(syst.) \pm 15.3(lum.)\ \text{pb}$$

$$\sigma_W \cdot Br(W \to \mu\nu) = 2.722 \pm 0.015(stat.) \pm {}^{0.066}_{0.061}(syst.) \pm 0.163(lum.)\ \text{nb}\ .$$

$$\sigma_{\gamma^*/Z} \cdot Br(\gamma^*/Z \to \mu\mu) = 248.0 \pm 5.9(stat.) \pm {}^{8.0}_{7.2}(syst.) \pm 14.8(lum.)\ \text{pb}\ .$$

$$\sigma_W \cdot Br(W \to \ell\nu) = 2.749 \pm 0.010(stat.) \pm 0.053(syst.) \pm 0.165(lum.)\ \text{nb},$$

$$\sigma_{\gamma^*/Z} \cdot Br(\gamma^*/Z \to \ell\ell) = 254.9 \pm 3.3(stat.) \pm 4.6(syst.) \pm 15.2(lum.)\ \text{pb},$$

Risultati

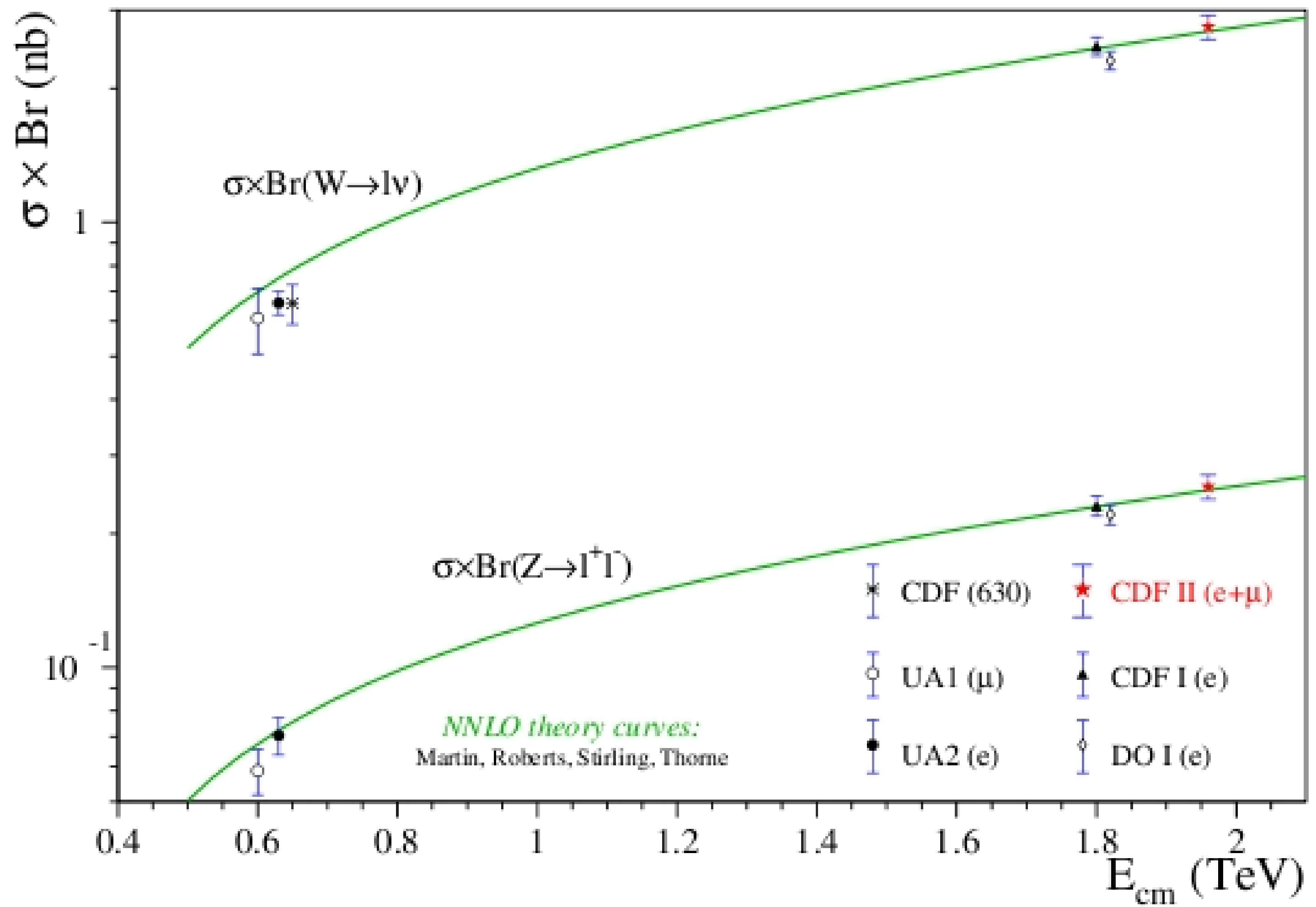


FIG. 35: $W \to \ell\nu$ and $Z \to \ell\ell$ cross section measurements as a function of the $p\bar{p}$ center-of-mass energy, E_{CM}. The solid lines correspond to the theoretical NNLO Standard Model calculations from [12, 13, 14, 15, 16].

Risultati

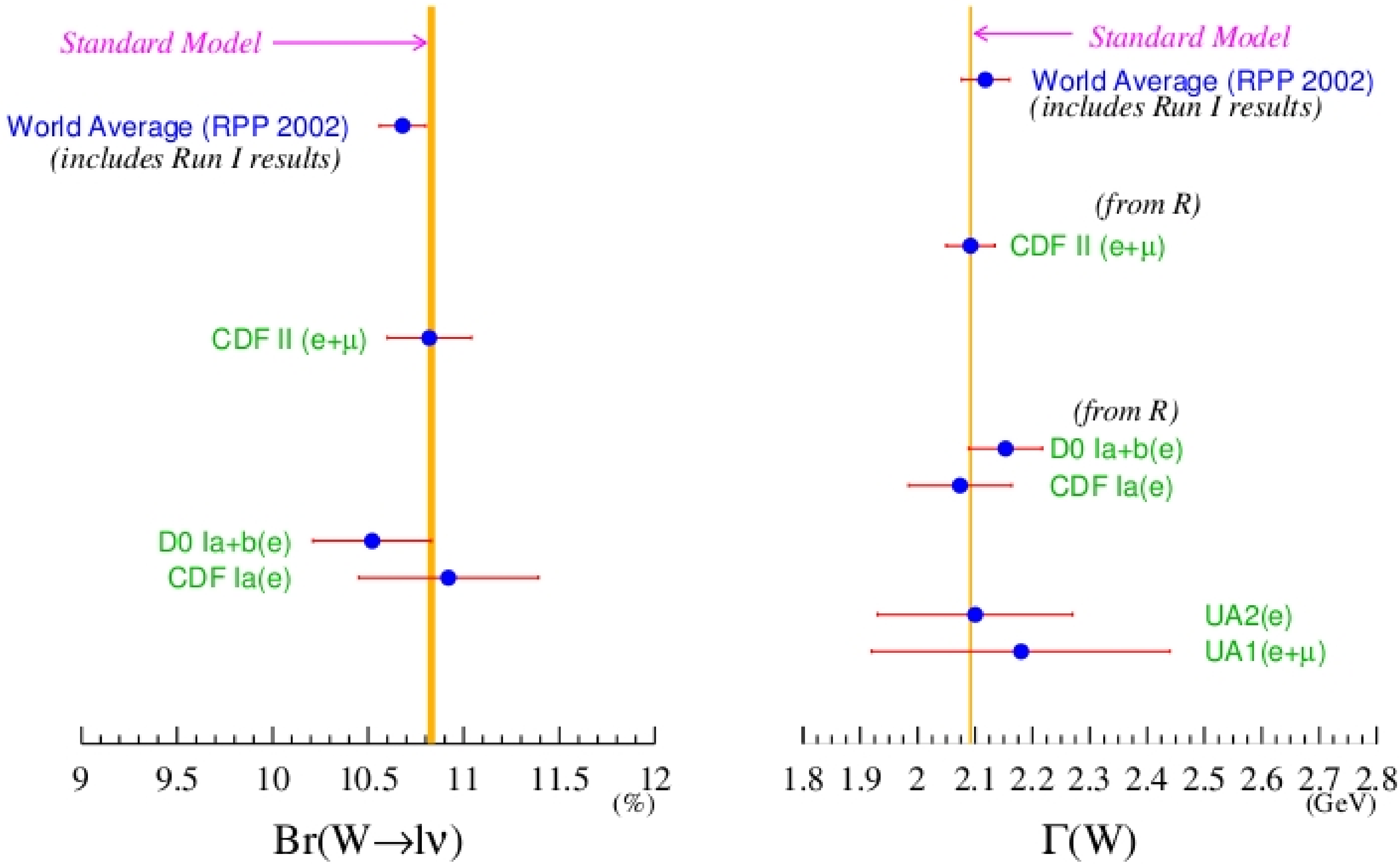
$$Br(W \to \ell\nu) = \frac{N_W^{\mathrm{obs}} - N_W^{\mathrm{bck}}}{N_Z^{\mathrm{obs}} - N_Z^{\mathrm{bck}}} \frac{\epsilon_Z}{\epsilon_W} \times \left(\frac{A_Z \sigma_Z}{A_W \sigma_W}\right) Br(Z \to \ell\ell) .$$

$Br(Z \to \ell\ell) = 0.033658 \pm 0.000023$ Calcolato a LEP

Γ(W->lν)= 226.4 ± 0.4 MeV Valore teorico

$\Gamma(W) = 2092 \pm 42$ MeV $\Gamma(W)_{teo} = 2092 \pm 3$ MeV

Risultati



Standard Model
World Average (RPP 2002)
(includes Run I results)
CDF II (e+μ)
D0 Ia+b(e)
CDF Ia(e)
9 9.5 10 10.5 11 11.5 12
(%)
Br(W→lν)
Standard Model
World Average (RPP 2002)
(includes Run I results)
(from R)
CDF II (e+μ)
(from R)
D0 Ia+b(e)
CDF Ia(e)
UA2(e)
UA1(e+μ)
1.8 1.9 2 2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6 2.7 2.8
(GeV)
Γ(W)

Conclusioni

- Possiamo ritenerci soddisfatti per i risultati ottenuti per quanto riguarda le sezioni d'urto misurate in buon accordo con quelle predette dallo Standard Model (Test superato).
- Ulteriore conferma delle predizioni dello SM ci è stata data dalla misura indiretta della larghezza totale di decadimento del W consistente con il valore aspettato della teoria.