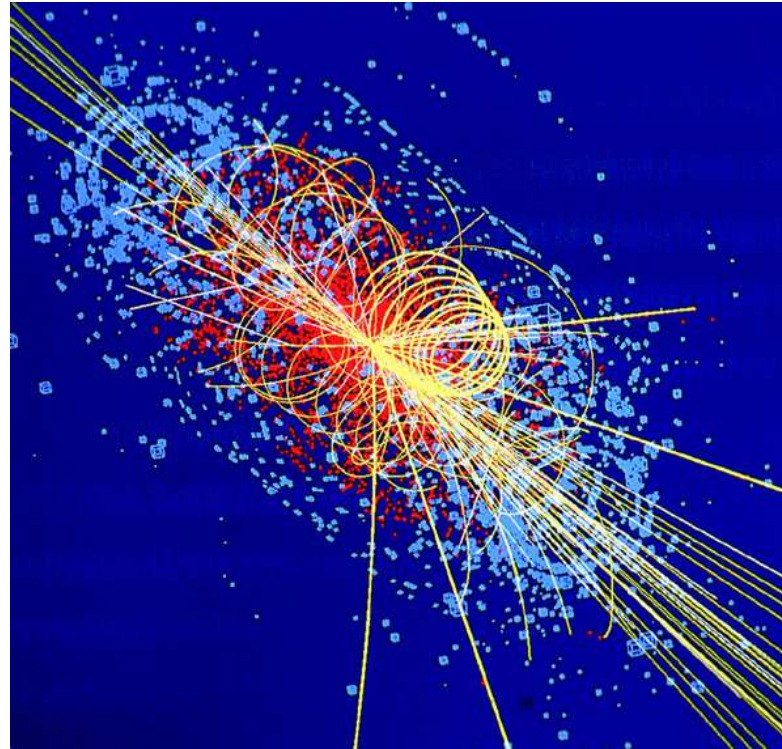




Ricerca dell'Higgs nel canale $H \rightarrow WW^*$ con 2.4 fb^{-1} a CDF II



Presentazione : Valeria Di Biagio

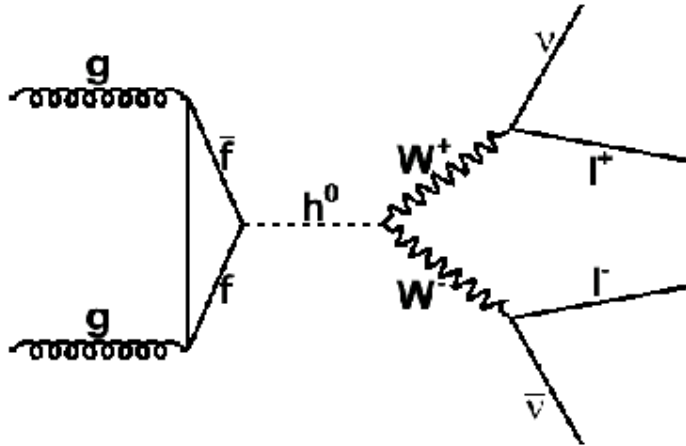
Tutor : Prof. Stefano Giagu

Corso di Fisica Nucleare e Subnucleare II, Prof. Carlo Dionisi (AA 2007-2008)

Indice degli argomenti

- Caratteristiche del canale di decadimento
- Detector : calorimetri in CDF
- Selezione degli eventi
- Analisi dati : $\left\{ \begin{array}{l} \text{Metodo dell'Elemento di Matrice} \\ \rightarrow \text{discriminante S/B} \\ \\ \text{Reti Neurali} \end{array} \right.$
- Risultati per $\sigma(p\bar{p} \rightarrow H \rightarrow WW^*)$

DECADIMENTO $gg \rightarrow H \rightarrow WW^* \rightarrow l^+l^- \nu \bar{\nu}$



- Canale dominante per $m_H > 135 \text{ GeV}/c^2$

$$\sigma_{NNLL}(H \rightarrow WW^*) = 0.388 \text{ pb}$$

a $m_H = 160 \text{ GeV}/c^2$

Tevatron : collisioni $p\bar{p}$ a $\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$
 \mathcal{L} integrata = 2.4 fb^{-1}

SEGNALE

2 leptoni isolati di segno diverso :

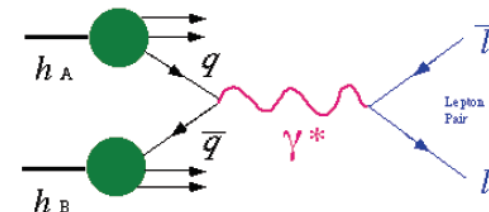
$$e^+e^-, e^\pm\mu^\mp, \mu^+\mu^-$$

⊕

missing energy (neutrini)

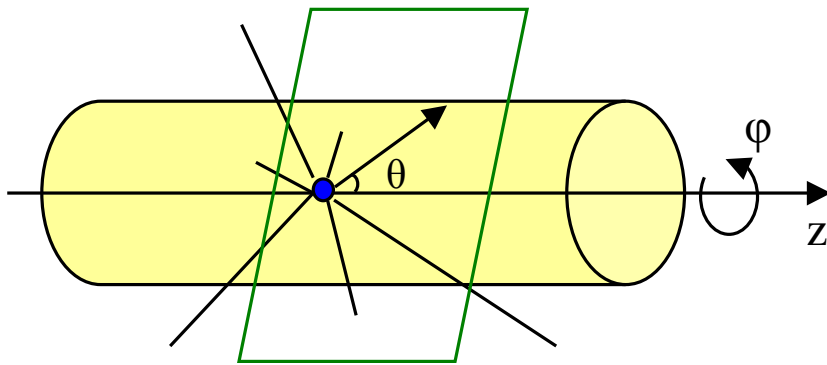
BACKGROUND

- $WZ \rightarrow ll\nu$
- $ZZ \rightarrow ll\nu\nu$
- $WW \rightarrow ll\nu\bar{\nu}$
- $W\gamma, W+\text{jet}$
- $t\bar{t} \rightarrow b\bar{b}ll\nu\bar{\nu}$
- QCD
- Drell-Yan
- raggi cosmici



PROBLEMA : separare segnale da background

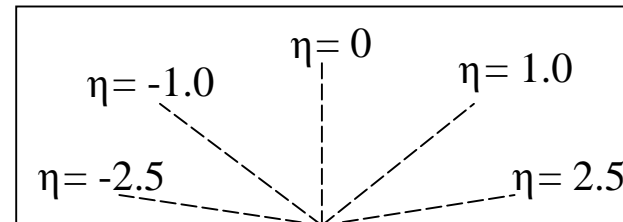
Calorimetro a CDF : sistema di coordinate



φ : angolo azimutale

θ : angolo polare con l'asse del fascio

pseudorapidità : $\eta = -\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)$

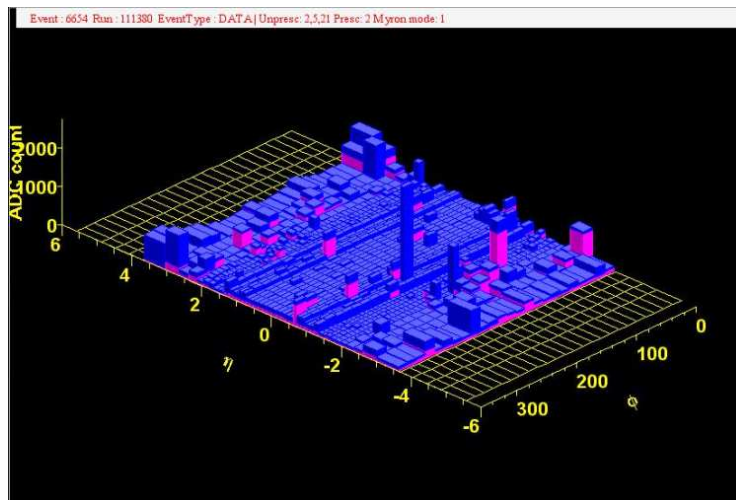


Calorimetri segmentati nel piano η vs φ in celle (o torri) in cui viene rilasciata l'energia E_T dalle particelle, rappresentata sotto forma di “ cluster ”

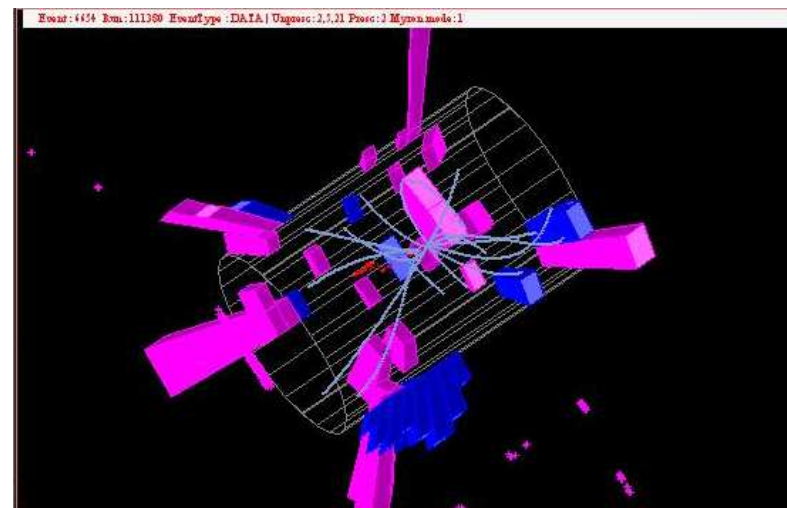
Display di eventi generici : lego plot

- calorimetro EM
- calorimetro HAD

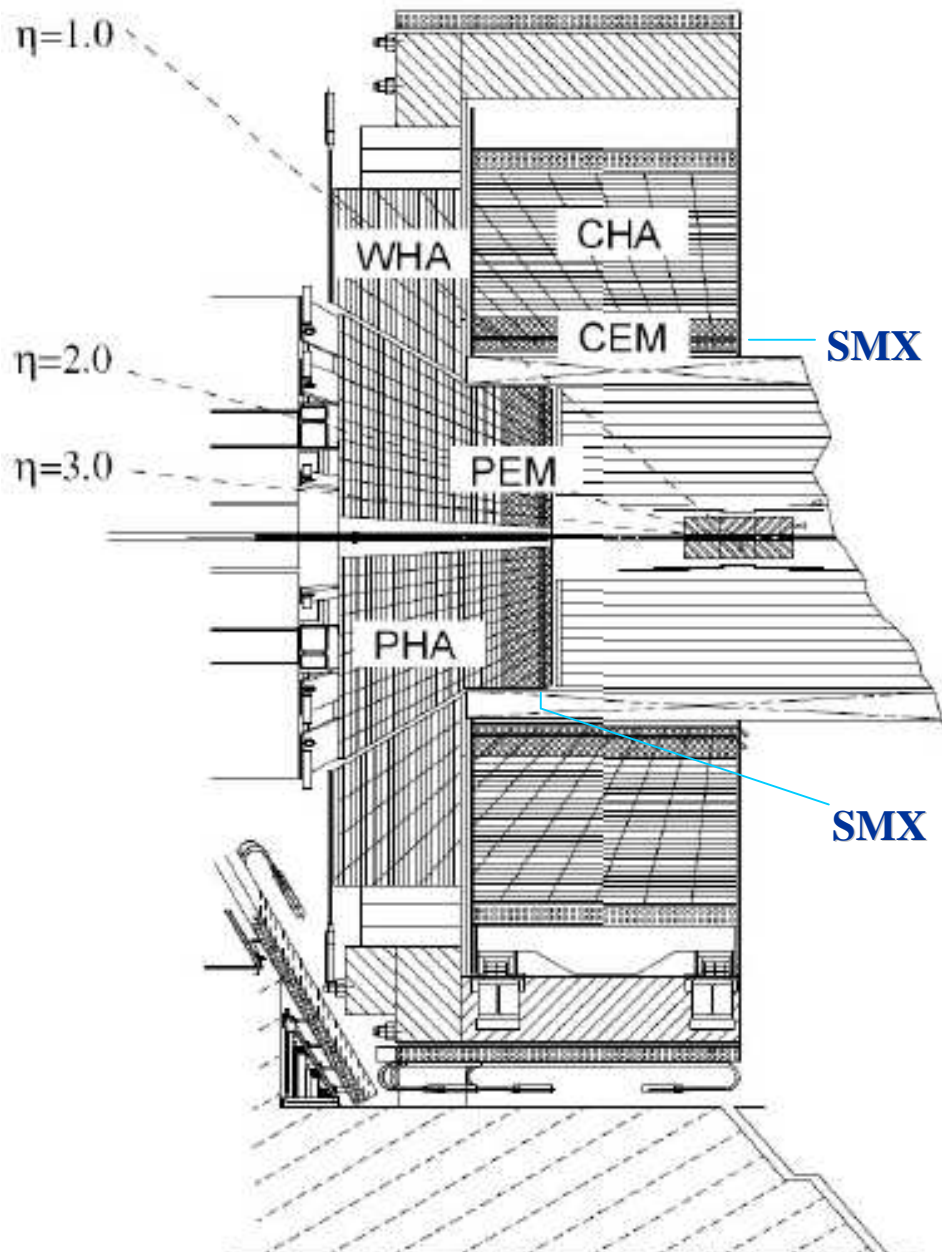
piano η vs φ



visione 3D laterale



Calorimetro a CDF : schema generale



Suddiviso in due serie di calorimetri :

CENTRALI $|\eta| < 1.1$

- **CEM** : Central Electromagnetic Calorimeter
- **CHA** : Central Hadronic Calorimeter
- **WHA** : Wall Hadron Calorimeter

FORWARD $1.1 < |\eta| < 3.64$

- **PEM** : Plug Electromagnetic Calorimeter
- **PHA** : Plug Hadronic Calorimeter

SMX : Shower Maximum Detector

Segmentazione dei calorimetri

$ \eta $ Range	$\Delta\phi$	$\Delta\eta$
0. - 1.1 (1.2 h)	15°	~ 0.1
1.1 (1.2 h) - 1.8	7.5°	~ 0.1
1.8 - 2.1	7.5°	~ 0.16
2.1 - 3.64	15°	0.2 - 0.6

Caratteristiche dei calorimetri

Tipo	Profondità	Risoluzione in en. in risp. a singola pticella	Spessore assorbitore	Spessore scintillatore
CEM	19 X ₀ (1 λ)	$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{13.5\%}{\sqrt{E}} \oplus 1.5\%$	(Pb) 0.6 X ₀	5 mm
PEM	21 X ₀ (1 λ)	$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{16\%}{\sqrt{E}} \oplus 1\%$	(Pb) 0.8 X ₀	4.5 mm
CHA	4.5 λ	$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{50\%}{\sqrt{E}} \oplus 3\%$	(Fe) 4 cm	10 mm
WHA	4.5 λ	$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{75\%}{\sqrt{E}} \oplus 4\%$	/	/
PHA	7 λ	$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{80\%}{\sqrt{E}} \oplus 5\%$	(Fe) 5 cm	6 mm

SMX : Detector posto all'interno dei calorimetri EM a circa 6 X₀ , in corrispondenza del massimo previsto per la cascata elettronica ; migliora le misure di posizione e la risoluzione dei cluster

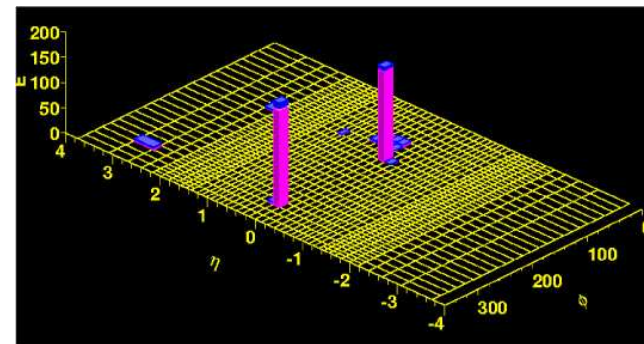
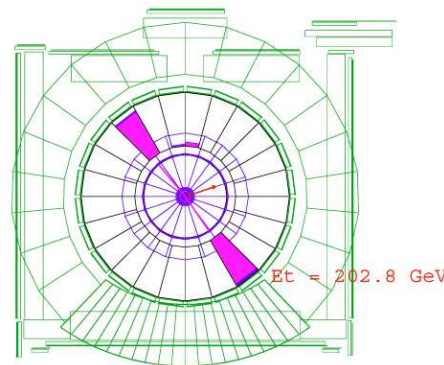
Identificazione dei leptoni da decadimento dei W

ELETTRONI

Rapporto $E_{\text{HAD}}/E_{\text{EM}}$ compatibile con cascata e.m.

- ☐ centrale : traccia COT ben misurata $p_T > 10 \text{ GeV}/c$ accoppiata con cluster di energia EM centrale
- ☐ forward : elettroni fiduciali per SMX forward + deposizione della loro energia nel calorimetro e in SMX consistente con forma di cascata elettronica
- Soppressione fondo di γ : traccia in calorimetro accoppiata a traccia SVX

Display evento
2 elettroni centrali



MUONI

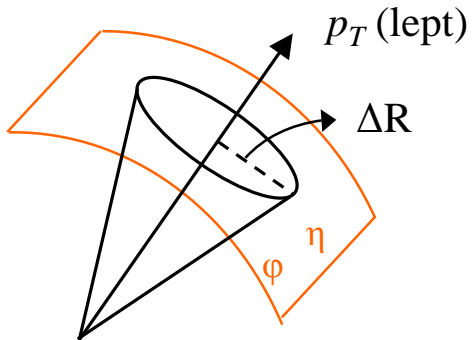
Identificati mediante traccia carica accoppiata a un segmento di traccia (“stub”) ricostruito nelle camere a muoni

Per recuperare accettazione, si considerano anche i μ con traccia carica in COT e con deposito nei calorimetri compatibile con quello di MIP

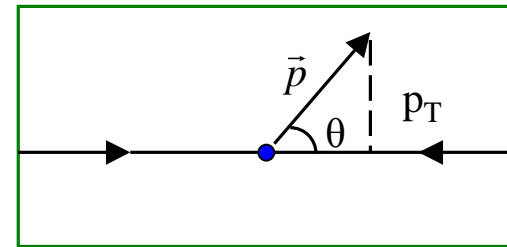
- Soppressione fondo di raggi cosmici : traccia più vicina alla linea di fascio consistente con una traccia proveniente dal vertice primario di interazione
- Per escludere decadimenti in volo di K : richieste su qualità di traccia nella COT

Isolamento dei leptoni

Tutti i leptoni devono essere isolati in modo tale che : $\sum_i E_T^{tower,i}(\Delta R) < 10\% E_T^e$
 (10% p_T^μ)



$$\begin{cases} E_T^{tower} = E \sin \theta \\ p_T = p \sin \theta \end{cases}$$



$$\Delta R = \sqrt{(\Delta\eta)^2 + (\Delta\phi)^2} < 0.4 \quad \text{intorno alla direzione del leptone}$$

Missing Energy

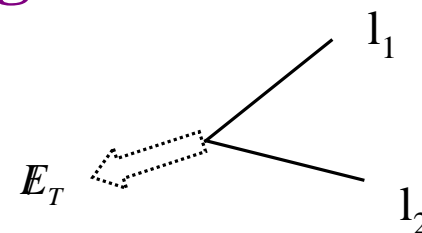
Nel caso in esame è definita come :

$$E_T = \left| \sum_i E_{T,i} \hat{n}_{T,i} \right|$$

dove $\hat{n}_{T,i}$: componente trasversa del versore che va dal punto di interazione alla torre i del calorimetro

Selezione degli eventi di segnale

Candidati Higgs $ll\bar{\nu}\bar{\nu}$ selezionati a partire da due leptoni isolati di segno opposto, $M_{l_1 l_2} > 16 \text{ GeV} / c^2$



- Almeno 1 leptone deve soddisfare il trigger :

TRIGGER

Elettrone centrale : cluster di energia EM con $E_T > 18 \text{ GeV}$
accoppiato a una traccia con $p_T > 8 \text{ GeV}/c$

Elettrone forward : cluster di energia con $E_T > 18 \text{ GeV}$ e
misura online di $E_T > 15 \text{ GeV}$

Muone : informazioni da entrambe le camere a muoni
combinare con una traccia di $p_T > 18 \text{ GeV}/c$

e avere $E_T > 20 \text{ GeV}$ elettrone
 $p_T > 20 \text{ GeV}/c$ muone

- Per aumentare l'accettanza cinematica , la richiesta per il secondo leptone è limitata a :

$E_T > 10 \text{ GeV}$ elettrone
 $p_T > 10 \text{ GeV}/c$ muone

Le posizioni lungo l'asse z dei leptoni in un candidato al punto più vicino della linea di fascio devono essere consistenti con la provenienza dallo stesso vertice



Sono stati osservati 661 candidati , con un valore atteso per il segnale di 9 eventi e per il background di 626 eventi per $m_H = 160 \text{ GeV} / c^2$

Background riducibili : tagli cinematici

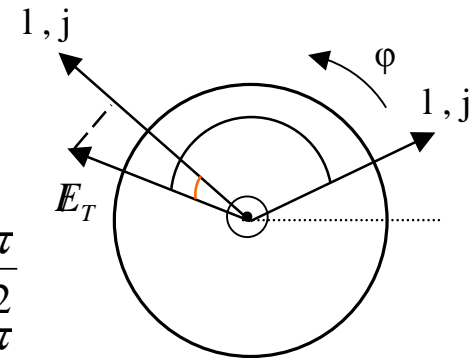
- $t\bar{t} \rightarrow b\bar{b}ll\nu\bar{\nu}$ i candidati devono avere meno di 2 jets con $p_T > 15 \text{ GeV}/c$ e $|\eta| < 2.5$

insieme al caso $\left\{ \begin{array}{l} \text{MA} \\ \text{Drell-Yan} \end{array} \right.$ $t\bar{t}$ con un leptone perso e un b che decade semileptonico
 con grande E_T misurata dovuta a code di risoluzione
 o a parti del leptone mal misurate



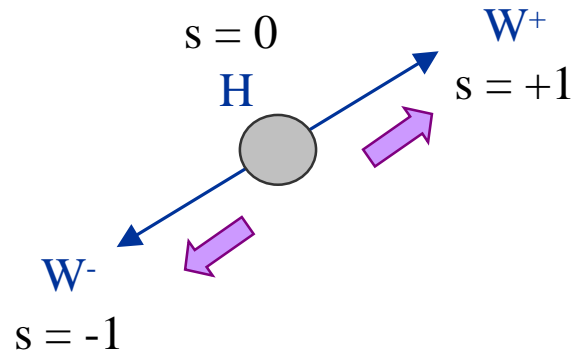
si richiede $E_{T \text{ spec}} > 25 \text{ GeV}$ eventi 2-elettroni o 2-muoni
 $E_{T \text{ spec}} > 15 \text{ GeV}$ eventi elettrone-muone

$$E_{T \text{ spec}} \equiv \begin{cases} E_T & \text{se } \Delta\varphi(E_T, \text{lepton or jet}) > \frac{\pi}{2} \\ E_T \sin(\Delta\varphi(E_T, \text{lepton or jet})) & \text{se } \Delta\varphi(E_T, \text{lepton or jet}) < \frac{\pi}{2} \end{cases}$$



- $WZ \rightarrow lll\nu$ con un leptone perso \Rightarrow richiesta di 2 leptoni esatti
- $W\gamma, W + \text{jets}$ dove un γ o un jet è scambiato per un leptone
 \Rightarrow isolamento dei leptoni all'interno del cono $\Delta R < 0.4$

Background irriducibile : correlazioni di spin

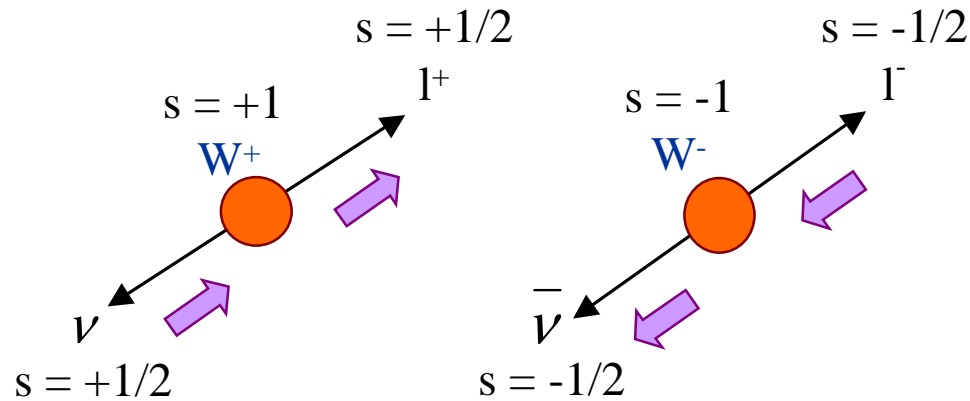


L'Higgs è una particella scalare

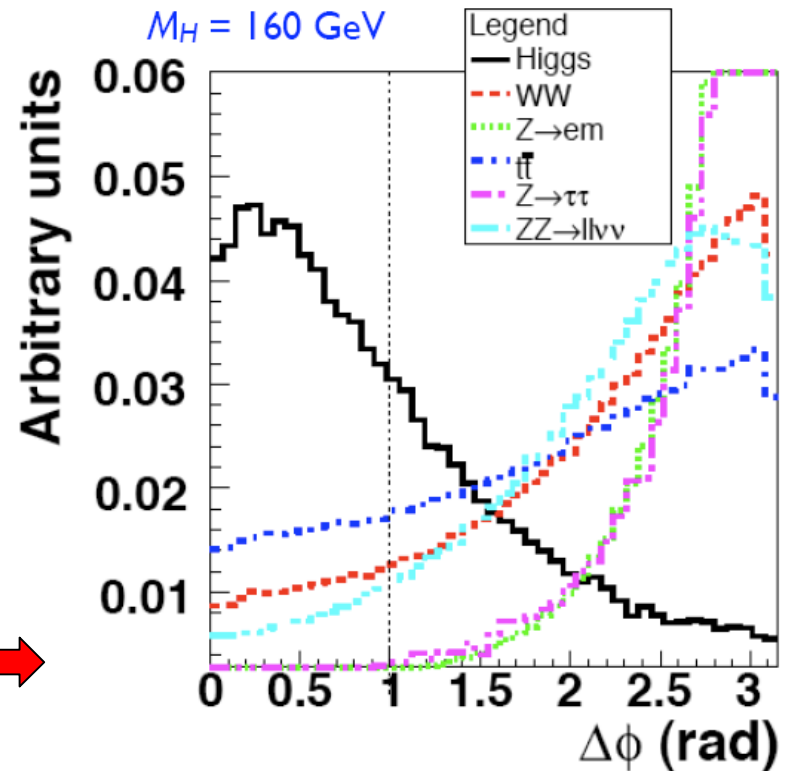


i W avranno spin opposto

I leptoni carichi a causa della loro elicità opposta tendono ad avere la stessa direzione :



Uso del piccolo angolo di apertura tra i leptoni per distinguerli da quelli del fondo



Modello di S , B

(Data modeling)

L'accettazione geometrica e cinematica degli eventi è basata su

SIMULAZIONI

- collisione : calcolo MC
- pdf dei partoni : CTEQ5L
- risposta del detector : simulazione GEANT3-based
- WW (sia S che B) : generatore MC@NLO
WZ , ZZ , $t\bar{t}$, $W\gamma$: PHYTIA



La verifica di tali modelli è affidata a

CROSS-CHECKS (basati sui dati)

Sono previste 4 regioni di controllo per testare :

- efficienza di identificazione dei leptoni
- efficienza di trigger
- contributi di γ e jet scambiati per leptoni
- modellizzazione di E_T
- ecc .

Analisi dati

$$LR(x_{obs}) = \frac{P_H(x_{obs})}{P_H(x_{obs}) + \sum_i k_i P_i(x_{obs})}$$

Classificatore ottimale per discriminare S/B :
Rapporto di verosimiglianza (Likelihood Ratio)

$$0 < LR(x) < 1$$

$P_\alpha(x)$: α parametro legato al modo di decadimento (H \rightarrow segnale , i \rightarrow fondo)

H legato a ciascuna delle ipotesi di massa dell'Higgs (M_H)

k_i frazione aspettata per ogni background t.c. $\sum_i k_i = 1$

↓ calcolo della prob. dell'evento x per S e per B

Metodo dell'elemento
 di matrice (ME) :

$$P_\alpha(x_{obs}) = \frac{1}{\langle \sigma(\alpha) \rangle} \int \frac{d\sigma_{LO}(y; \alpha)}{dy} \mathcal{E}(y) G(x_{obs}, y) dy$$

x_{obs} informazioni cinematiche : $\vec{l}^+, \vec{l}^-, \mathbf{E}_{Tx}, \mathbf{E}_{Ty}$

$\frac{d\sigma_{LO}(y; \alpha)}{dy}$ sezione d'urto differenziale a livello dei partoni (1° ordine)

$\mathcal{E}(y)$ funzione di accettazione e di efficienza del detector

$G(x_{obs}, y)$ funzione di trasferimento che rappresenta la risoluzione del detector

$\frac{1}{\langle \sigma(\alpha) \rangle}$ fattore di normalizzazione

Metodo dell'Elemento di Matrice (ME)

Calcolo della sezione d'urto

$$\sigma = \sum_{a,b} \int dx_a dx_b f_a(x_a, Q^2) f_b(x_b, Q^2) \hat{\sigma}_{ab}(x_a, x_b)$$

in cui :

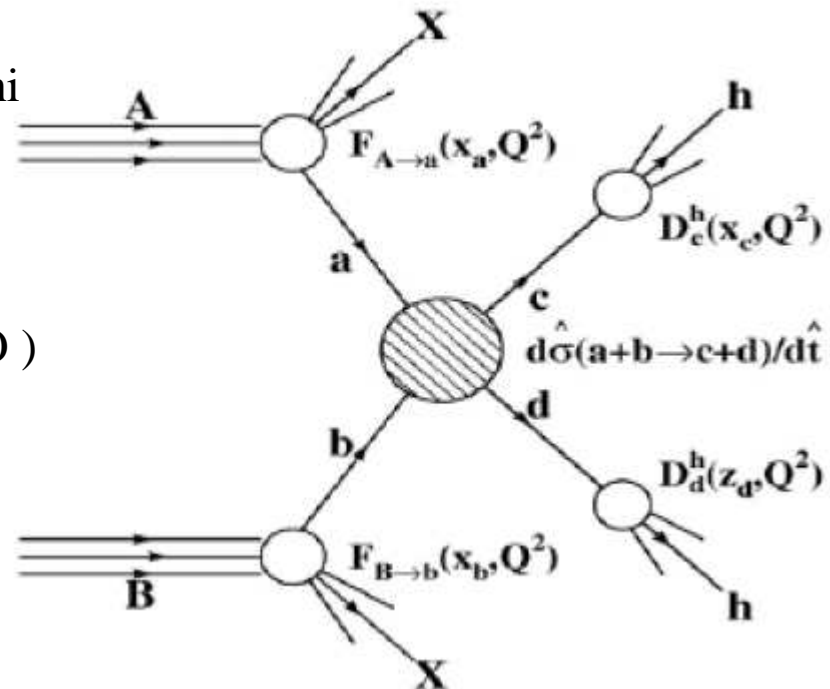
\sum_{ab} somma su tutti gli stati iniziali dei partoni a, b

$f_i(x, Q^2)$ funzione di distribuzione di probabilità dei partoni

$\hat{\sigma}_{ab}$ sezione d'urto hard scattering tra partoni



Nel nostro caso : $\hat{\sigma}_{ab}$ ottenuta con MC (LO)

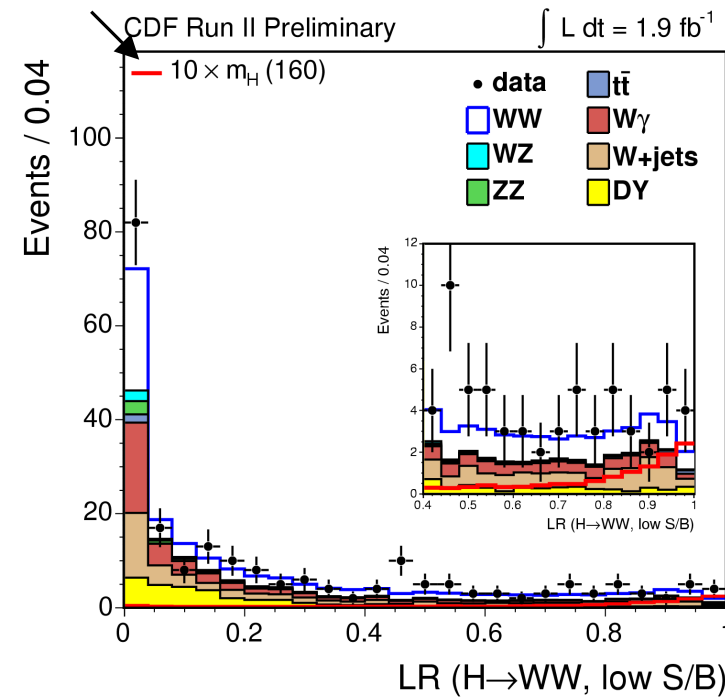
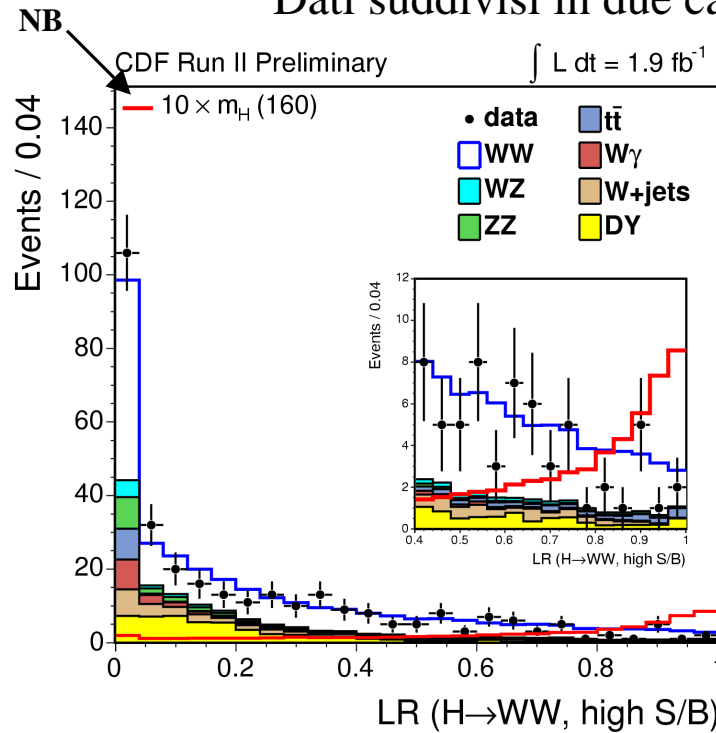


Rapporto di verosimiglianza (Likelihood Ratio)

$$LR(x_{obs}) = \frac{P_H(x_{obs})}{P_H(x_{obs}) + \sum_i k_i P_i(x_{obs})}$$

Ipotesi m_H : da 110 a 200 GeV/c²
 $\sum_i k_i = 1$

Dati suddivisi in due categorie : high S/B e low S/B



Risultati analoghi anche per le altre ipotesi di m_H

➔ Ulteriore operazione di discriminazione S/B : reti neurali con LR tra gli input

† NOTA : grafici relativi a misure precedenti (2007) → inseriti perché più leggibili (stessi andamenti)

Reti neurali (Neural Networks)

- Per ogni hp di massa dell'Higgs è addestrata indipendentemente una NN NeuroBayes[®] con una combinazione pesata di S ed eventi B da MC
- Struttura della NN : 3 layers → 11 nodi input, 12 nodi nascosti, 1 output
- Variabili di input :

Variable	Meaning
LRHWW	Likelihood ratio - $H \rightarrow WW$
LRWW	LR - WW production
LRZZ	LR - ZZ production
LRWg	LR - $W\gamma$
LRWj	LR - W+jets
dimass	Dilepton invariant mass
Met	Missing Transverse Energy
dPhiLeptons	$\Delta\phi$ between the leptons
dRLeptons	ΔR between the leptons
MetDelPhi	$\Delta\phi$ between the \vec{E}_T and nearest lepton or jet
MetSpec	$\vec{E}_{Tspec} = \vec{E}_T \text{ if } \Delta\phi (\vec{E}_T, l \text{ or } j) > \frac{\pi}{2}$ $\vec{E}_{Tspec} = \vec{E}_T \sin(\Delta\phi (\vec{E}_T, l \text{ or } j)) \text{ if } \Delta\phi (\vec{E}_T, l \text{ or } j) < \frac{\pi}{2}$

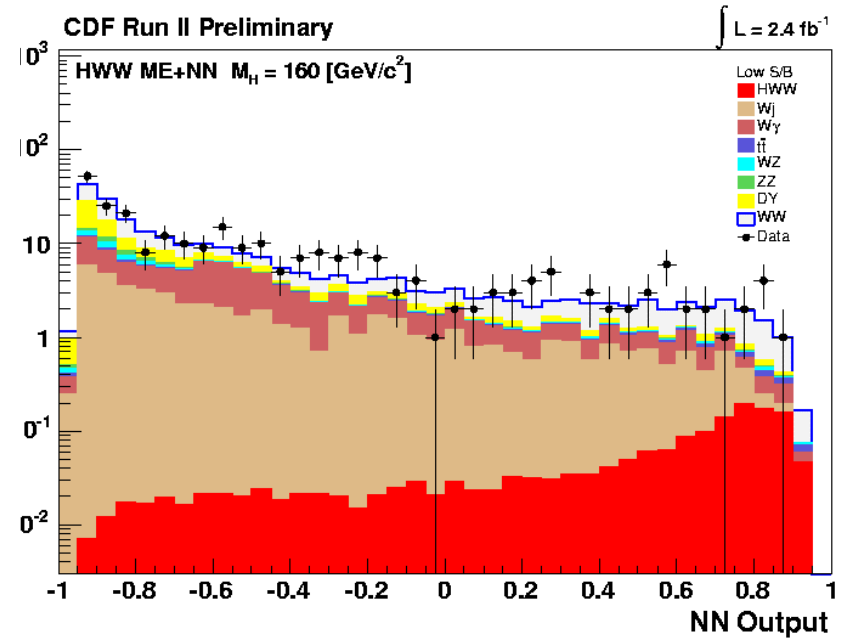
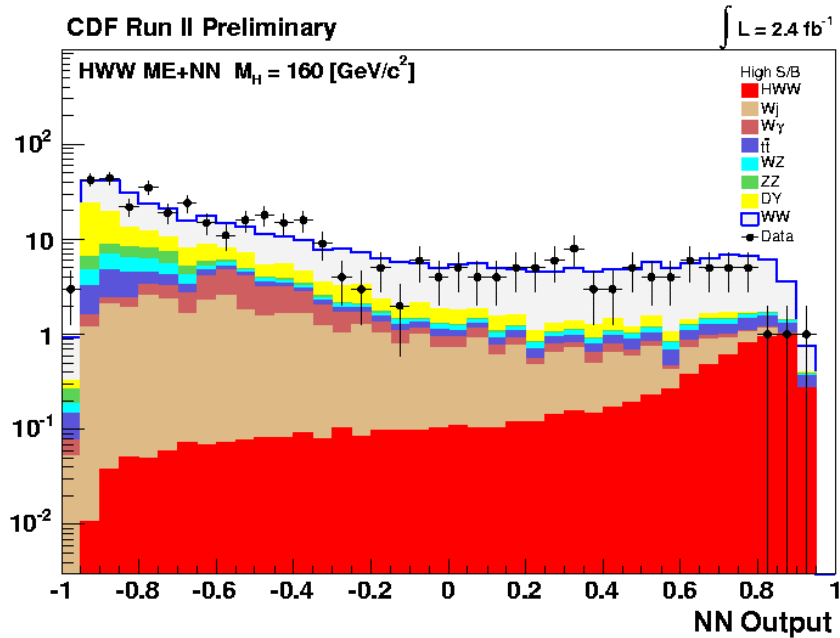
- Una volta addestrata la NN , vengono creati dei templates per S e B che saranno usati come discriminanti finali per il calcolo del 95% C.L. sulla $\sigma(pp \rightarrow H \rightarrow WW^*)$

Risultati

Templates della NN per $m_H = 160 \text{ GeV}/c^2$

high S/B

low S/B



✦ : dati sperimentali per $S + B$: compatibili con previsione per B
no eccesso nella regione di S

(Risultati analoghi per le altre ipotesi di m_H)

⇒ Possiamo solo stimare un limite superiore per la σ del processo considerato ,
assumendo i dati consistenti con le predizioni del fondo

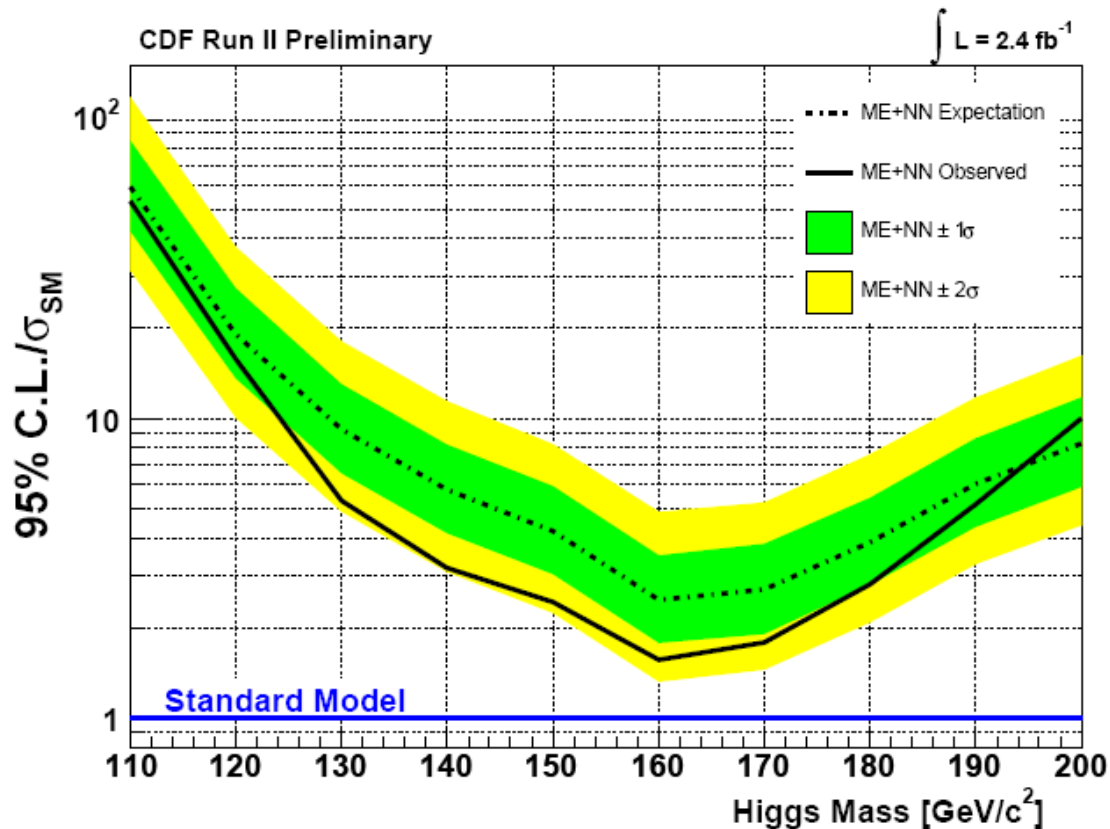
Risultati

CDF Run II Preliminary

$\int \mathcal{L} = 2.4 \text{ fb}^{-1}$

Higgs Mass (GeV/c^2)	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
$-2\sigma/\sigma_{SM}$	31.2	10.1	4.9	3.1	2.2	1.3	1.5	2.1	3.3	4.4
$-1\sigma/\sigma_{SM}$	42.2	13.6	6.6	4.1	3.0	1.8	1.9	2.8	4.3	5.9
Median/σ_{SM}	59.6	19.1	9.2	5.8	4.2	2.5	2.7	3.9	6.1	8.3
$+1\sigma/\sigma_{SM}$	84.9	27.3	13.0	8.2	6.0	3.5	3.8	5.5	8.6	11.8
$+2\sigma/\sigma_{SM}$	118.7	37.6	18.2	11.4	8.2	4.9	5.3	7.6	11.8	16.3
Observed/σ_{SM}	53.4	15.8	5.3	3.2	2.4	1.6	1.8	2.8	5.2	10.0

HWW ME+NN



LIMITI :

$$\frac{\sigma_{\text{exp}}(\overline{pp} \rightarrow H \rightarrow WW^*)}{\sigma_{SM}} < 2.5$$

$$\frac{\sigma_{\text{obs}}(\overline{pp} \rightarrow H \rightarrow WW^*)}{\sigma_{SM}} < 1.6$$

(per $m_H = 160 \text{ GeV}/c^2$)

BIBLIOGRAFIA

- CDF note 9236 : “ *Search for $H \rightarrow WW^*$ Production with a Combined Matrix Element Method and Neural Network Technique at Tevatron Using 2.4 fb^{-1} of Data* ” , dated : March 13, 2008
- CDF note 9195 : “ *Search for $H \rightarrow WW$ Production Using 2.4 fb^{-1} ” , dated : February 29, 2008*
- CDF note 8719 : “ *Search for hww production with matrix element methods using 1.1 fb^{-1} ” (2007)*
- S. Giagu : “Discriminazione segnale-fondo in HEP”, FNSN2, Roma 26-28 maggio 2008
- Burcham and Jobes : “Nuclear and Particle Physics”, ed. Prentice Hall
- Dispense del Corso di Fisica nucleare e subnucleare II, Prof.Dionisi (2007-2008)
- Sito CDF : www-cdf.fnal.gov

Grazie a tutti per l'attenzione

