Tesi di Laurea

Padova, 19 Feb. 2002

Un trigger per la ricerca del bosone di Higgs a CDF-II

Relatore **Prof. Giovanni Busetto**

Correlatore **Dott. Tommaso Dorigo**

Laureando **Giorgio Cortiana**

Contenuti

- Il bosone di Higgs nel Modello Standard
- Limiti alla massa del bosone di Higgs
- L'apparato sperimentale di Fermilab
- Il sistema di trigger di CDF
- Trigger per eventi $W/Z + H \rightarrow$ adroni
- Verifica del trigger sui primi dati sperimentali
- Conclusioni

Il bosone di Higgs nel Modello Standard

La rottura spontanea della simmetria di gauge locale $SU(2)_L \otimes U(1)_Y$ per mezzo di un doppietto di $SU(2)$ con valore di aspettazione nel vuoto diverso da zero.

$$\phi_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v \end{pmatrix}$$

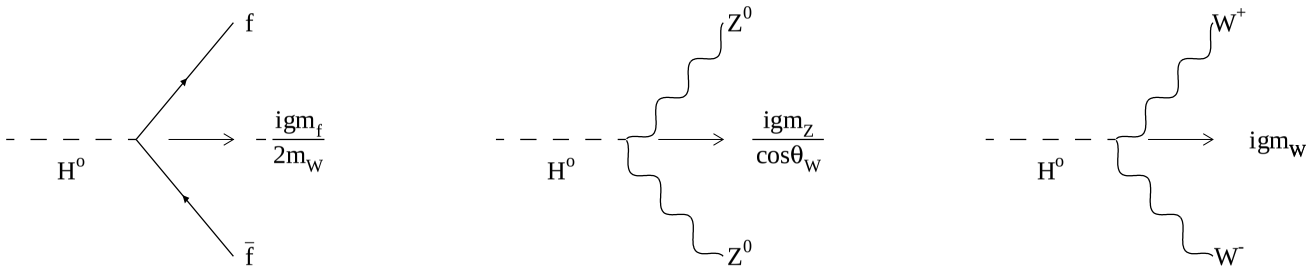
$\Downarrow$

Simmetria Residua $U(1)_{em}$

$$\rightarrow \text{Masse} \begin{cases} M_Z = \frac{v\sqrt{g^2+g'^2}}{2} \\ M_W = \frac{vg}{2} \\ M_f = \frac{y^f v}{\sqrt{2}} \\ M_\gamma = 0 \end{cases}$$

Dopo il meccanismo di rottura spontanea di simmetria rimane lo scalare neutro H^0

Il Modello Standard prevede gli accoppiamenti:

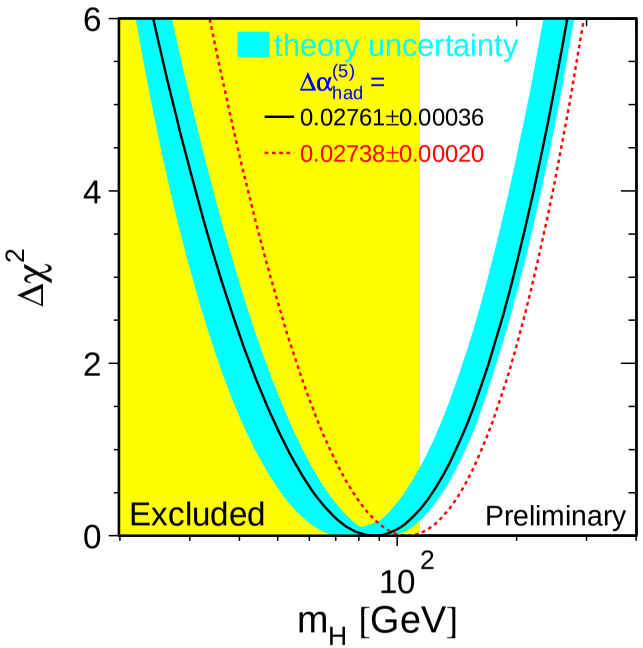


ma non

$$M_H = \sqrt{2\lambda v}$$

Limiti per M_H

Fit globali



(hep-ph 0112130)

- $M_H = 88^{+53}_{-35}\ GeV/c^2$
- $M_H < 196\ GeV/c^2$ @ 95% LC

Limiti di validità della teoria:

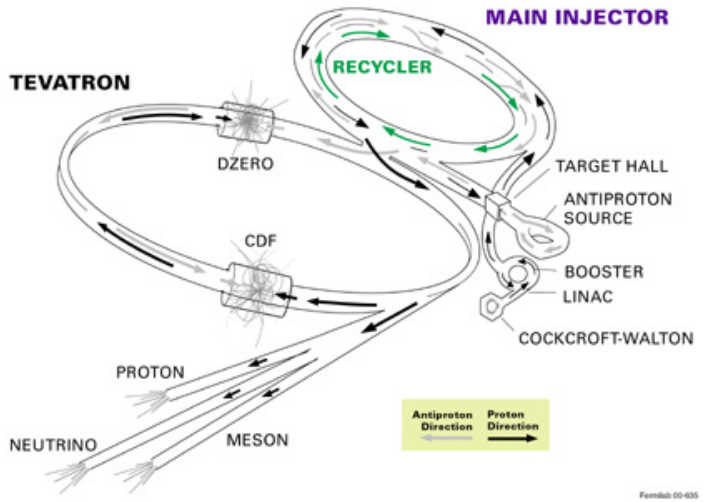
$$55 < M_H < 700\ GeV/c^2 \ @\ \Lambda = 1\ TeV$$
$$130 < M_H < 190\ GeV/c^2 \ @\ \Lambda = 10^{19}\ GeV$$

Risultati combinati di LEP

- $M_H \gtrsim 114.1\ GeV/c^2$ @ 95% LC
- $M_H \simeq 115.6\ GeV/c^2$ @ 2.1σ

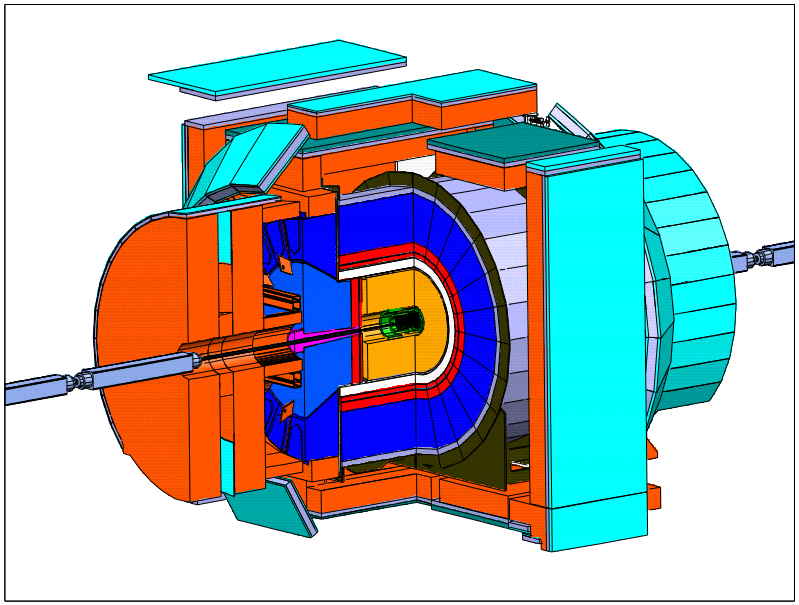
(hep-ex 0201014)

L'apparato sperimentale di Fermilab



← Apparato di accelerazione

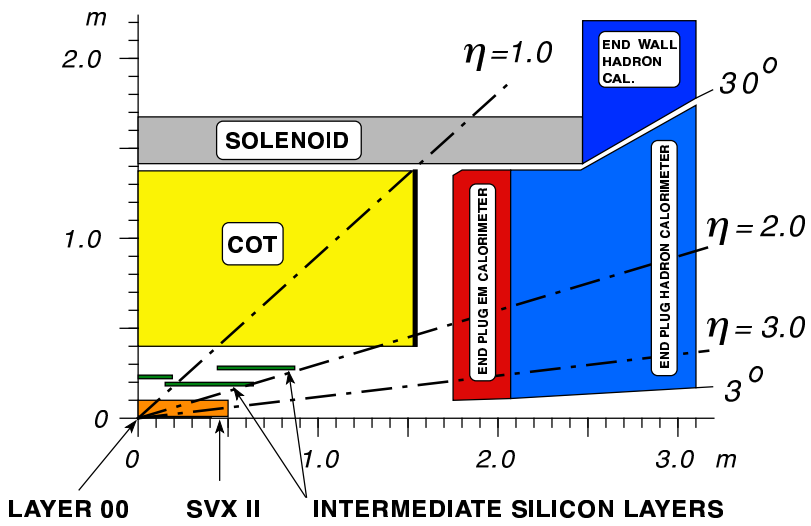
CDF è un rivelatore progettato per lo studio delle interazioni $p\bar{p}$ in grado di misurare le quantità di interesse delle particelle prodotte nelle collisioni dei fasci ↓

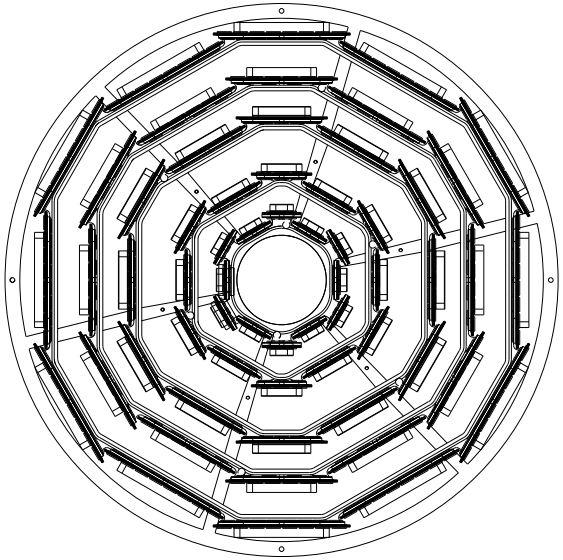


- $\sqrt{s} = 1.8\ TeV$ Run I
- $\mathcal{L}_{ist} \sim 10^{31}\ cm^{-2}s^{-1}$
- $\int \mathcal{L}dt \sim 110\ pb^{-1}$ (fino al 1996)

- $\sqrt{s} = 2.0\ TeV$ Run II
- $\mathcal{L}_{ist} \sim 10^{32}\ cm^{-2}s^{-1}$
- $\int \mathcal{L}dt \sim 15 \div 20\ fb^{-1}$ (2007 2008)

Apparato di tracciatura





▼

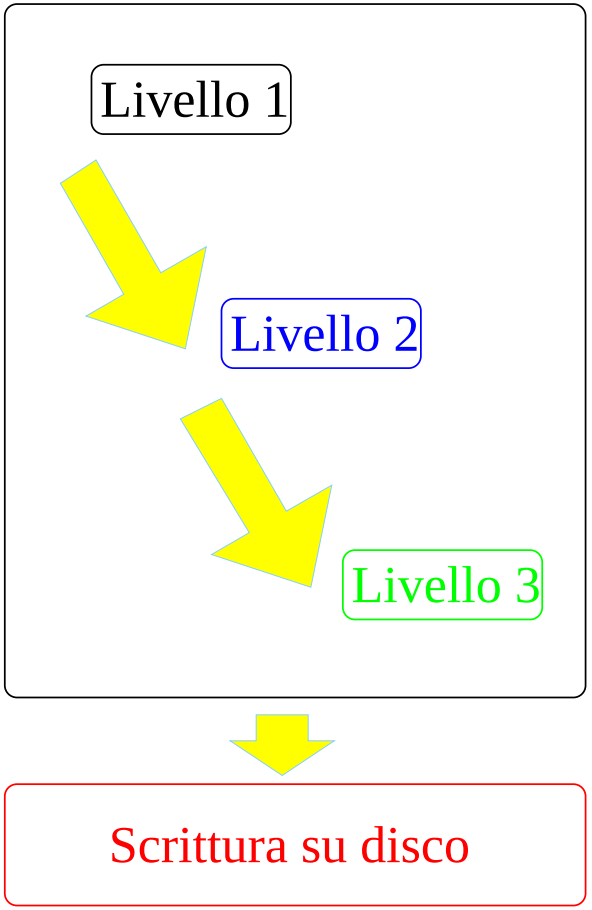
- ▶ COT: camera di tracciatura a deriva
- ▶ SVX-II: sistema di tracciatura a 5 layer di silicio

A livello di trigger:

- Livello 1
  XFT: tracciatore veloce sulla COT
- Livello 2
  SVT: tracciatore veloce su SVX-II

Il sistema di trigger

Sistema a 3 livelli: deve ridurre 5.6 $Meventi/s \rightarrow 75\ eventi/s$



Banda passante:

$\Longrightarrow$ 40 kHz

($\sim$5.5 μs tempo di latenza)

$\Longrightarrow$ 300 Hz

($\sim$20 μs tempo di latenza)

$\Longrightarrow$ 75 Hz

$\Longrightarrow$ Analisi offline

Un trigger multijet per eventi $W/Z\ H \rightarrow adroni$

$HZ(W) \rightarrow b\bar{b}q\bar{q}^{(\prime)}$

Produzione associata del bosone di Higgs a bosoni vettori, in stati finali completamente adronici.

$$M_H \sim 120\ GeV \quad \begin{cases} 2\ TeV \rightarrow \sigma_{pr} \sim 122fb & \\ H \rightarrow b\bar{b} & 67\% \\ W/Z \rightarrow adroni & 70\% \end{cases}$$

▶ canale adronico $BR \sim 47\%$

▶ trigger multijet apposito per eventi $W/Z\ H$

↙ ↘

richieste calorimetriche poco stringenti

stato finale a 4 jet ma:

riduzione del numero di jet o cluster

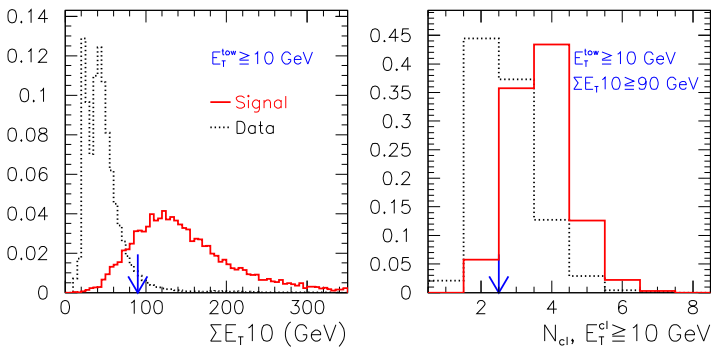
- •: crack; ↘
- •: jet sotto soglia; → $N_{jet}^{oss} \leq 4$
- •: fusione di due jet. ↗

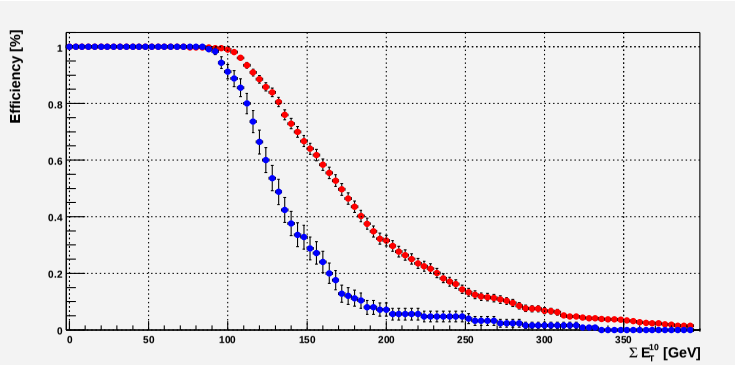
richieste supplementari

- •: identif. di b-jet
- •: reiezione fondo
- •: riduzione frequenza di acquisizione

Trigger: calorimetria

$\mathcal{L} = 10^{32}\ cm^{-2}s^{-1}$





L1 singola torre di trigger con $E_T \geq 10\ GeV$; — $2.7\ kHz$, $\epsilon > 98\%$

↓

L2 $N_{cl}^{10\ GeV} \geq 3$ e $\Sigma E_T^{cl} \geq 90\ GeV$; — $15.8 \pm 0.8\ Hz$, $\epsilon = (77.6 \pm 0.5)\%$

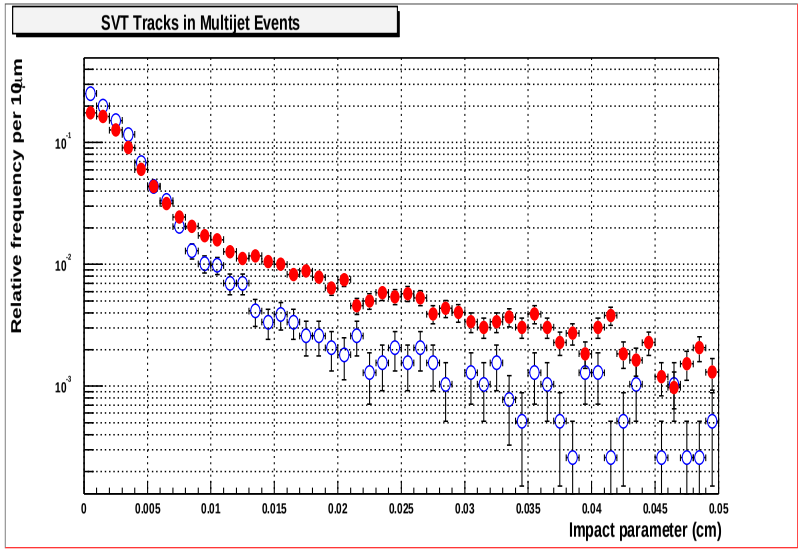
↓

L3 $N_{jet}^{10\ GeV} \geq 3$ e $\Sigma E_T^{jet} \geq 100\ GeV$. — $11.1 \pm 0.6\ Hz$, $\epsilon \sim 75\%$

$11.1\ Hz$ @ L3 sono troppi → necessità di altre selezioni

banda passante assegnata $\leq 2\ Hz$ ($\leq 20\ nb$)

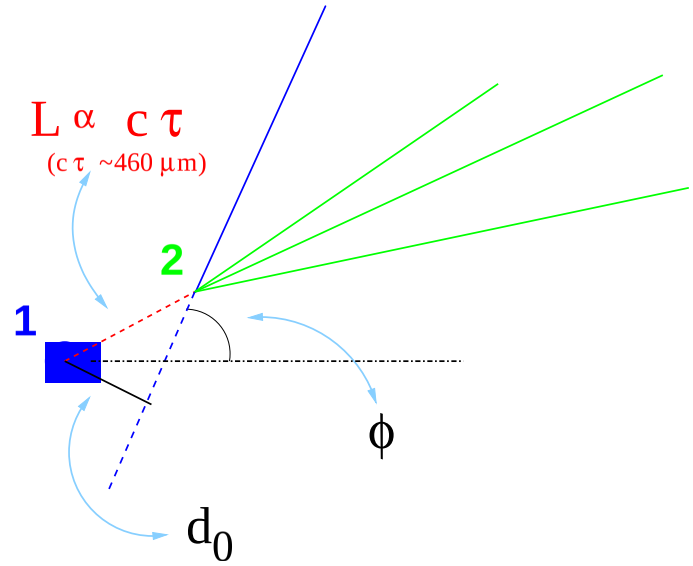
SVT



SVT: Silicon Vertex Tracker

- legge le informazioni SVX-II e XFT
- ricostruisce le tracce: $\rightarrow P_T$, ϕ, d_0

in tempo per una decisione a livello 2 di trigger



definizione del parametro d'impatto d_0

Produzione di quark pesanti

↓

Tracce ad alto parametro d'impatto

↑

Identificazione di b quark

Selezioni SVT @ L2

$$\sigma_{d_0}^{attesa} = \sqrt{\sigma_F^2 + \sigma_{res}^2} \sim 43\ \mu m$$

$$\sigma_F \sim 35\ \mu m$$

$$\sigma_{res} \sim 25\ \mu m$$

- Le tracce vengono selezionate secondo dei criteri di qualità

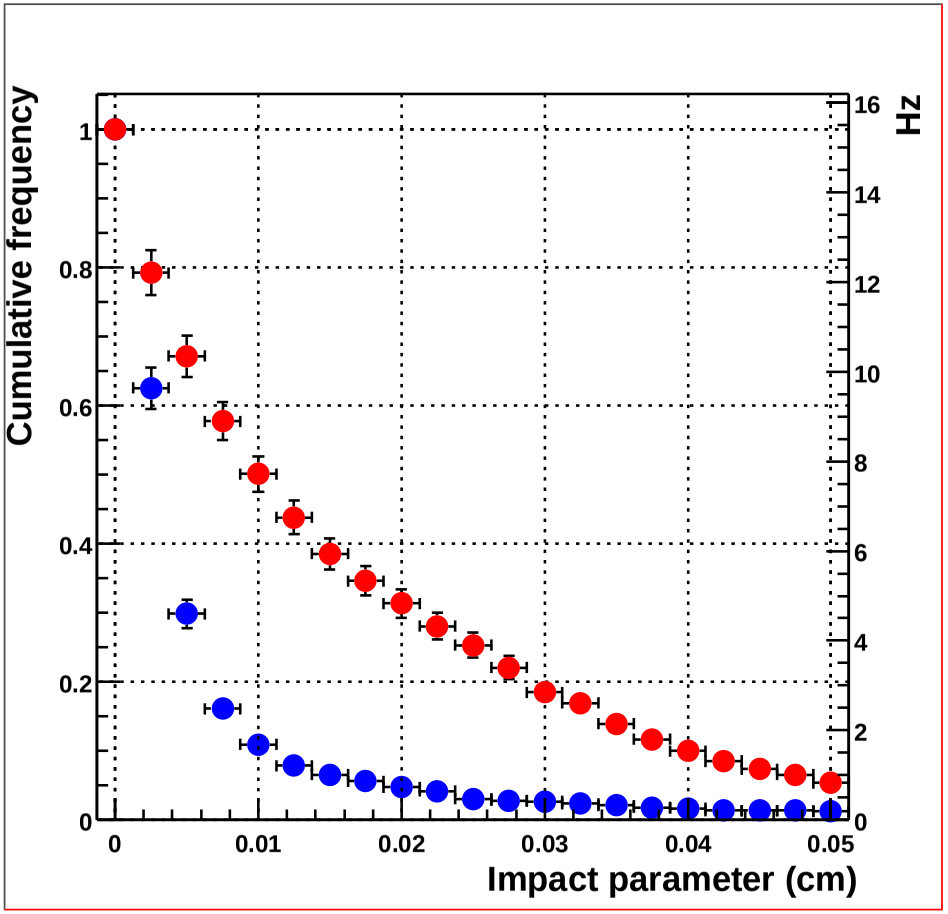
- La richiesta di due tracce SVT

$$d_0 > 100 \mu m$$

$$\downarrow$$

$$R = 1.7 \pm 0.2\ Hz;$$

$$\epsilon_{W/Z\ H} = (50 \pm 2)\%$$



• segnale • eventi di fondo simulati

Studi sui primi dati Run II

- Marzo 2001
  $\rightarrow$ inizio presa dati Run II

- $\mathcal{L} < 10^{32} cm^{-2} s^{-1}$ e $\sim 4pb^{-1}$ di dati raccolti (fino ottobre 2001)

$\downarrow$

test di verifica delle selezioni studiate

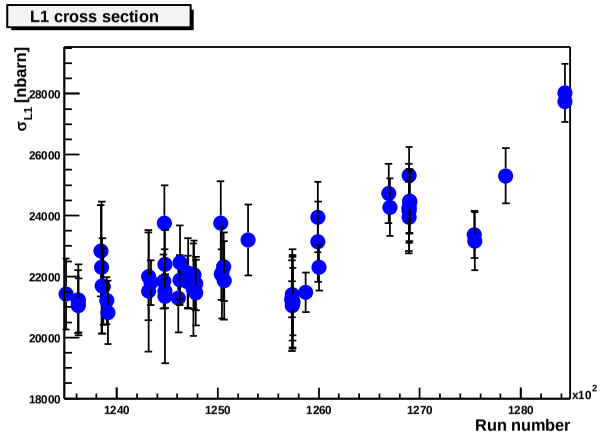
$\boxed{@\ 10^{32} cm^{-2} s^{-1}}$

- ▶ $2.46 \pm 0.43\ kHz$
- ▶ $17.2 \pm 0.8\ Hz$

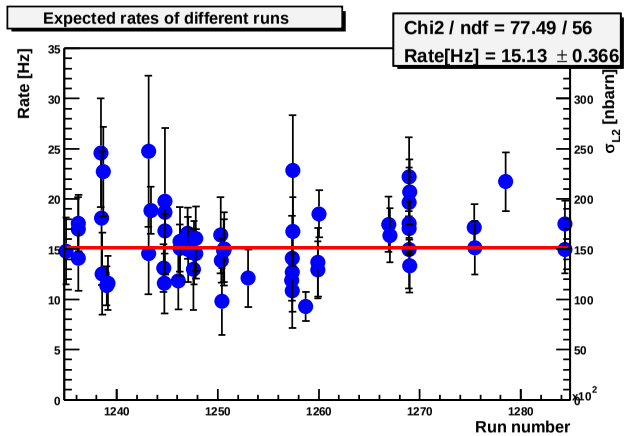
da confrontare con

- $2.7\ kHz$
- $15.4 \pm 0.8\ Hz$

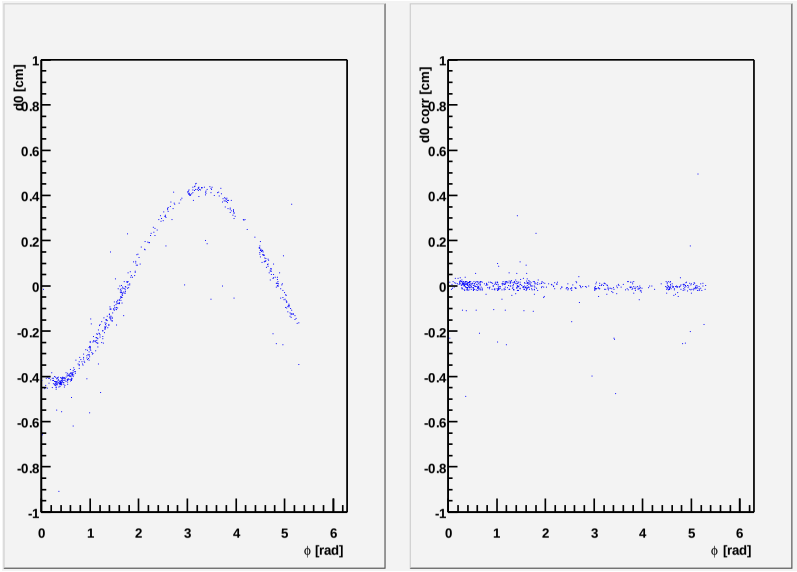
Livello 1



Livello 2

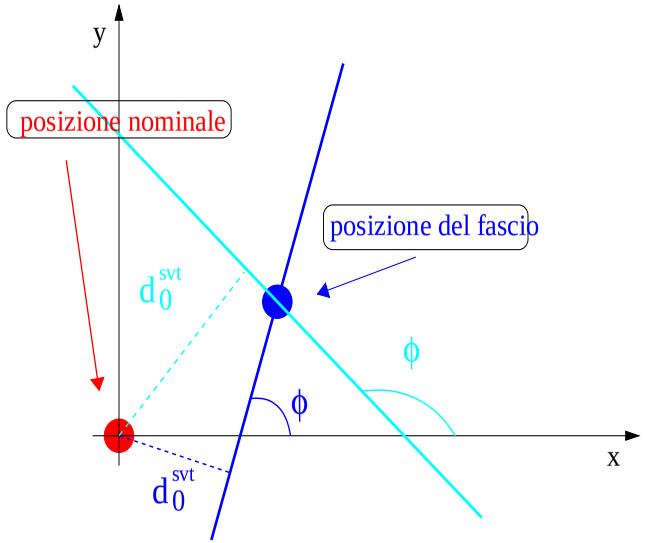


Studi sui primi dati Run II, SVT



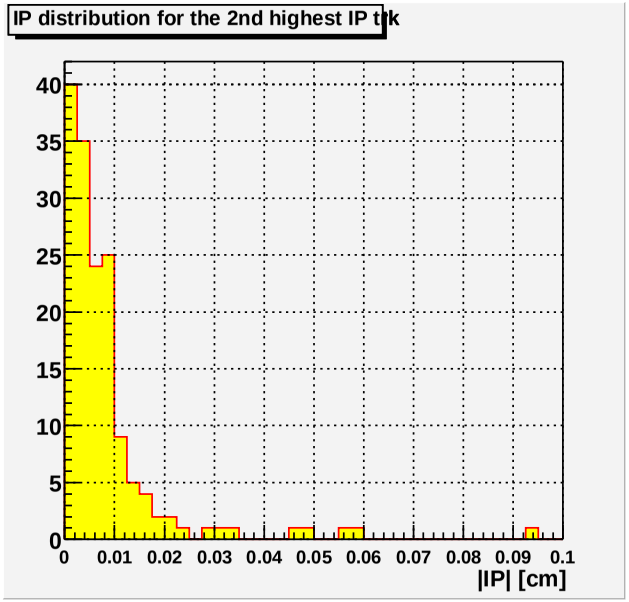
- Il fascio non era nella sua posizione nominale.
- SVT misura i parametri delle tracce rispetto all'asse nominale dei fasci.
- Necessità di una correzione.

$$d_0^{corr} = d_0^{SVT} + x_B sin(\phi) - y_B cos(\phi)$$



- Layer di Si operativi $\sim 75\%$ in SVX-II
- Nessuna correzione sull'allineamento dei piani di Si
- Non ancora ottimizzata ϵ_{SVT} di ricostruzione

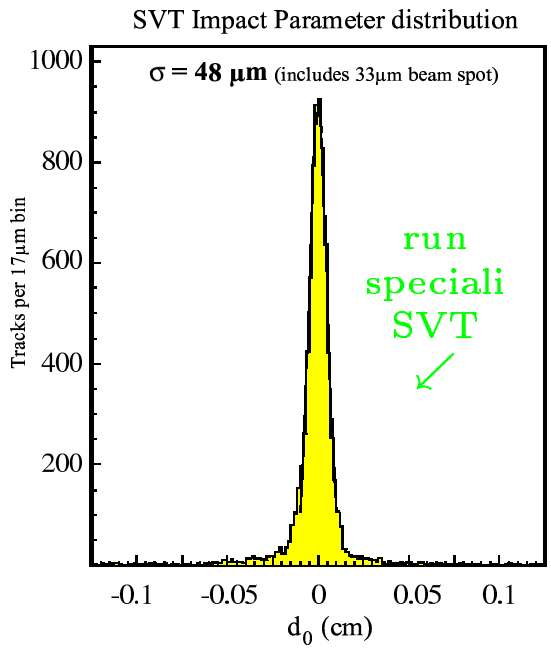
Risultati combinati preliminari



2 tracce
SVT fiduciali con
$d_0 > 100\ \mu m$

▶ $0.4 \div 2\ Hz$ @ $10^{32}\ cm^{-2}s^{-1}$

- al variare del tipo di estrapolazione
  - con σ_d non ancora ottimizzata



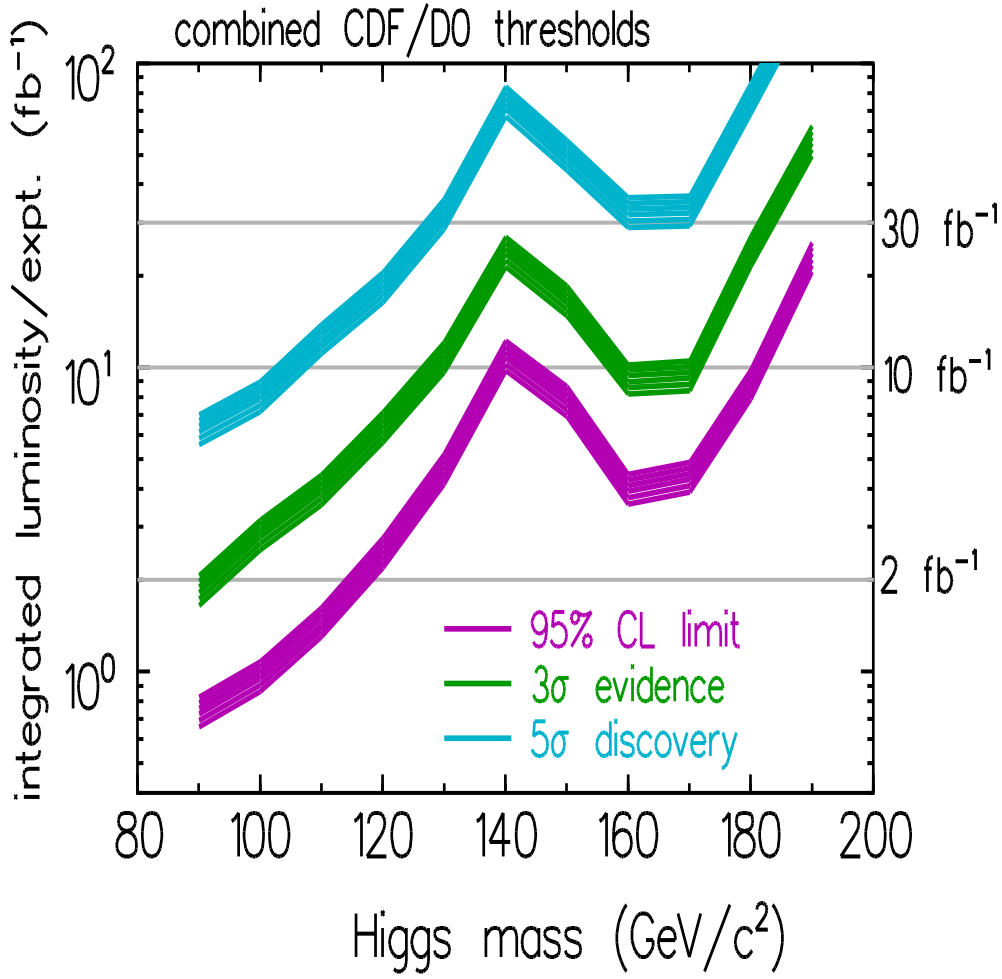
Tuttavia:

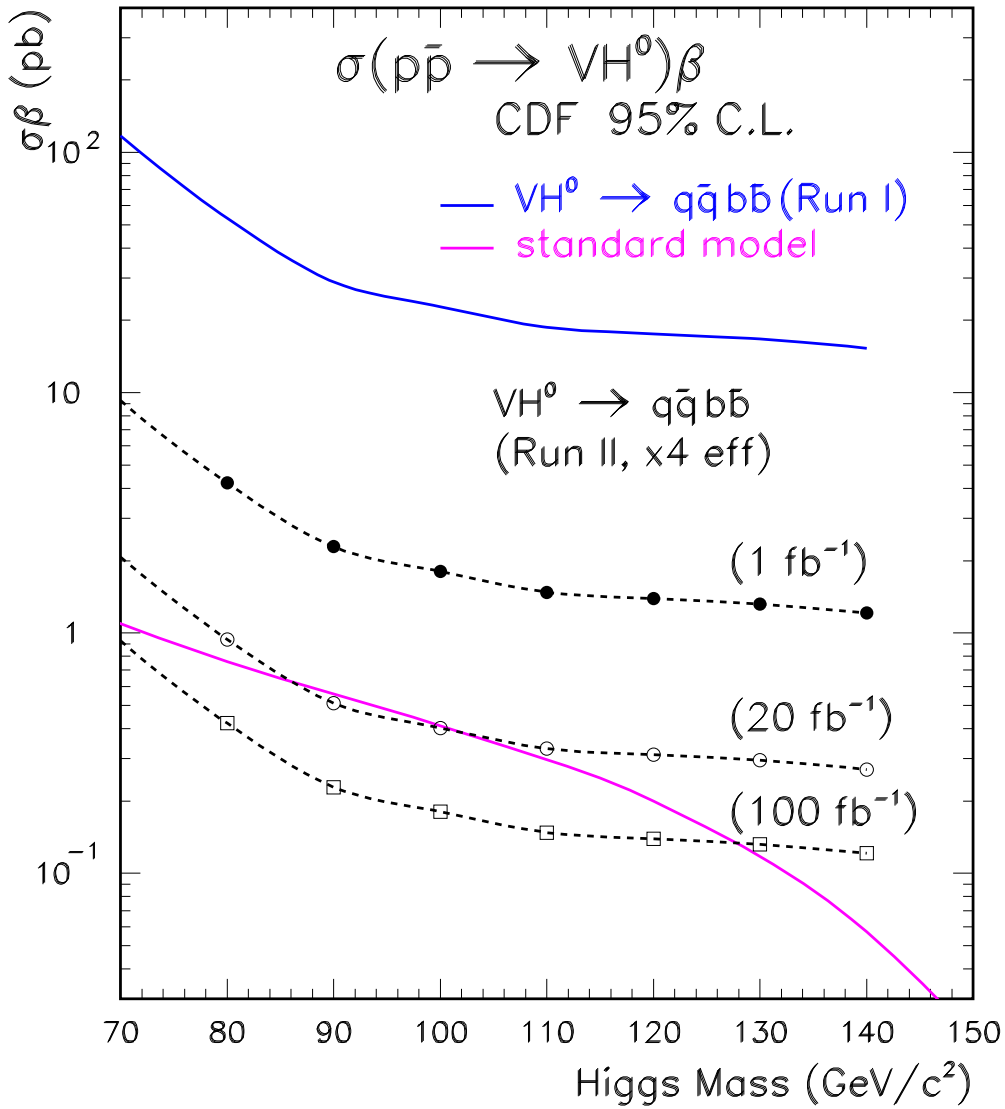
▶ σ_d migliore ← correzione allineamento layer, ed ottimizzazione delle correzione per la posizione del fascio → run speciali SVT.

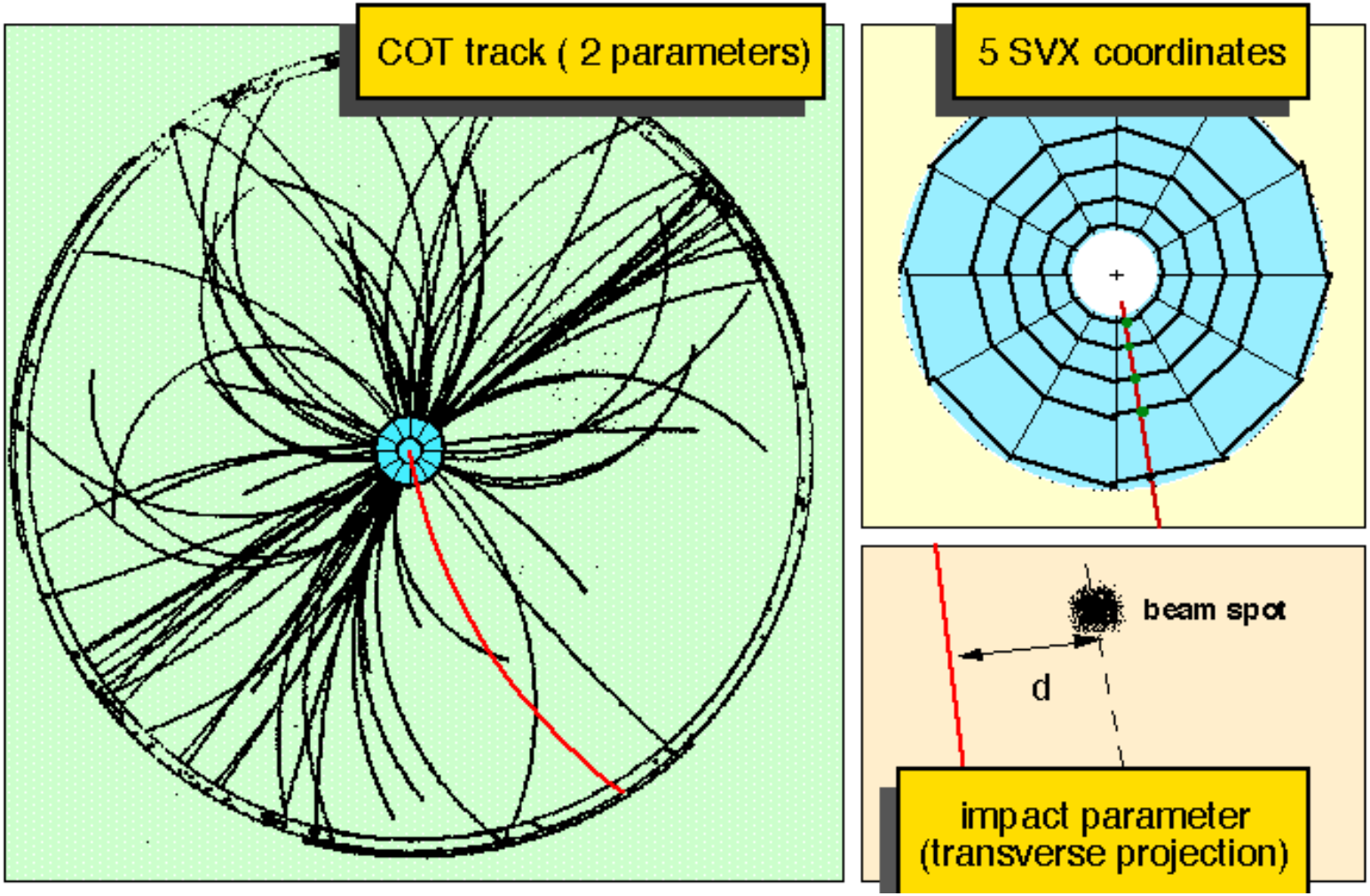
Conclusioni

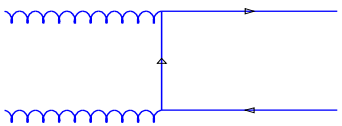
- Il trigger *Higgs_Multijet* è attivo da gennaio 2002.
  → Nuovi dati per ulteriori verifiche

- Sebbene il canale adronico da solo non permetta di ottenere un'evidenza sperimentale sui processi $W/Z+H$ nella regione di massa esplorabile al Tevatron,
- combinando canali ed esperimenti →
  - $\sim 4\ fb^{-1}$ di dati CDF+D0
    → conferma aspettative di LEP sull'Higgs a 115 GeV/c^2
  - $\sim 20\ fb^{-1}$ di dati CDF+D0
    esplorazione della regione di massa $[90 \div 180]\ GeV/c^2$ a 3σ

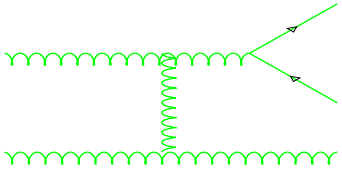



σβ (pb)
σ(pp̄ → VH⁰)β
CDF 95% C.L.
VH⁰ → qq̄bb̄ (Run I)
standard model
VH⁰ → qq̄bb̄
(Run II, x4 eff)
(1 fb⁻¹)
(20 fb⁻¹)
(100 fb⁻¹)
10²
10
1
10⁻¹
70
80
90
100
110
120
130
140
150
Higgs Mass (GeV/c²)

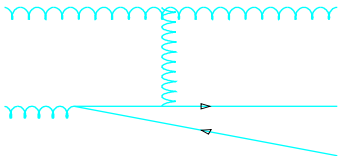

COT track (2 parameters)
5 SVX coordinates
beam spot
d
impact parameter
(transverse projection)



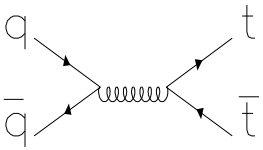
DIRECT PRODUCTION

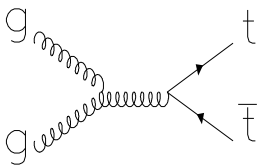


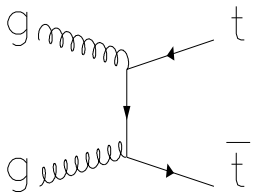
GLUON SPLITTING

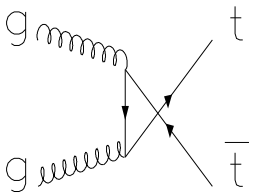


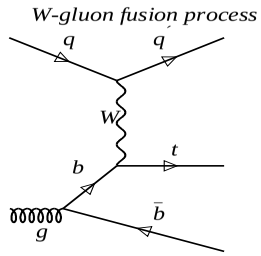
FLAVOR EXCITATION



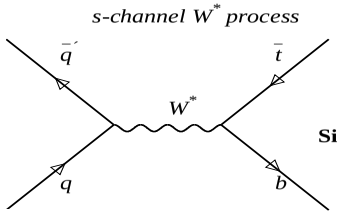




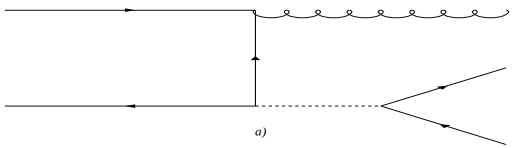


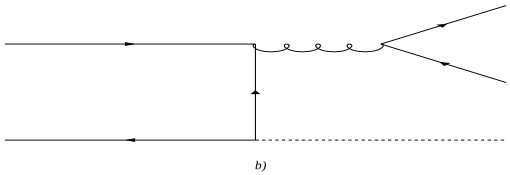


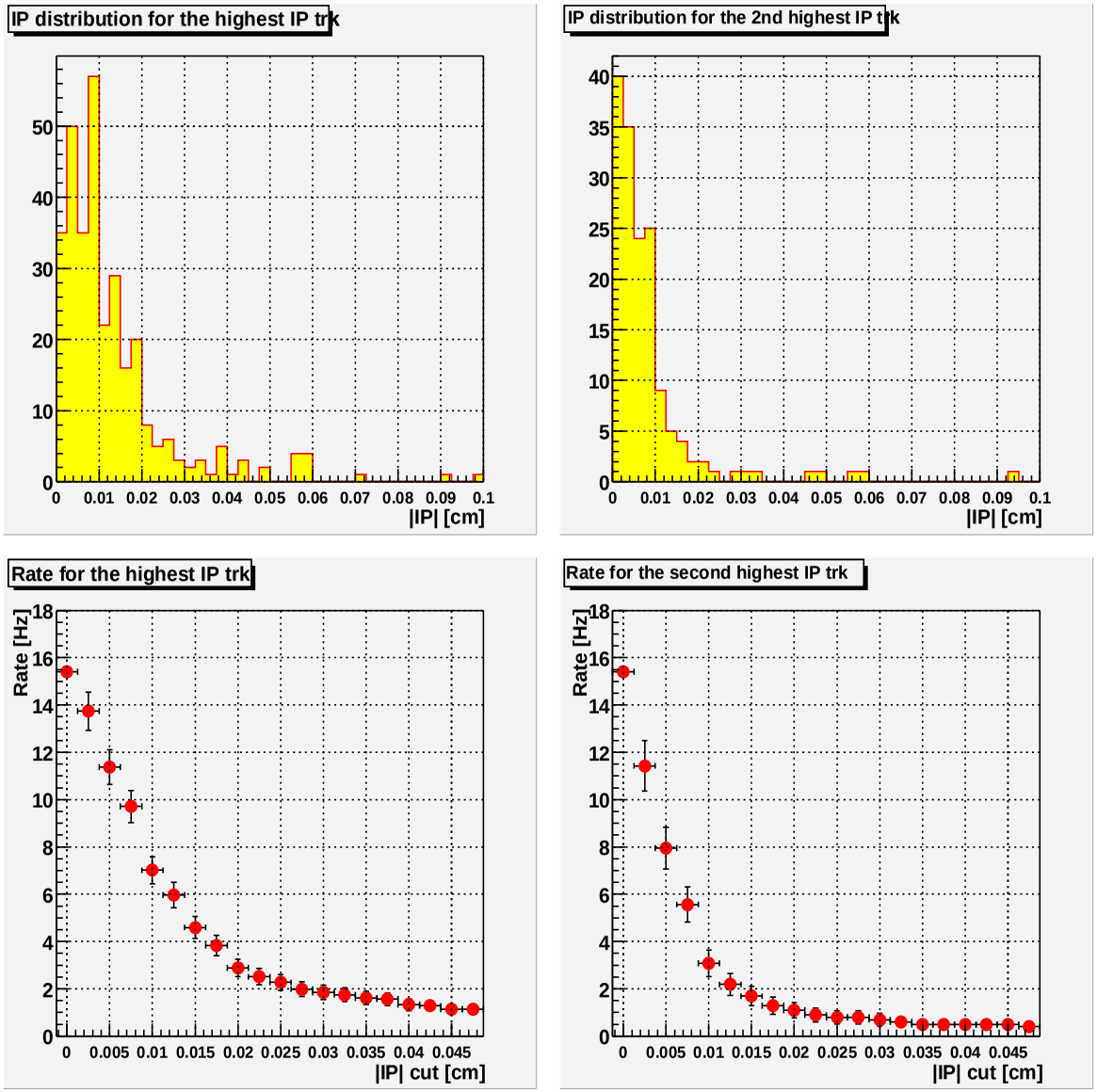
Signal is W+b+q



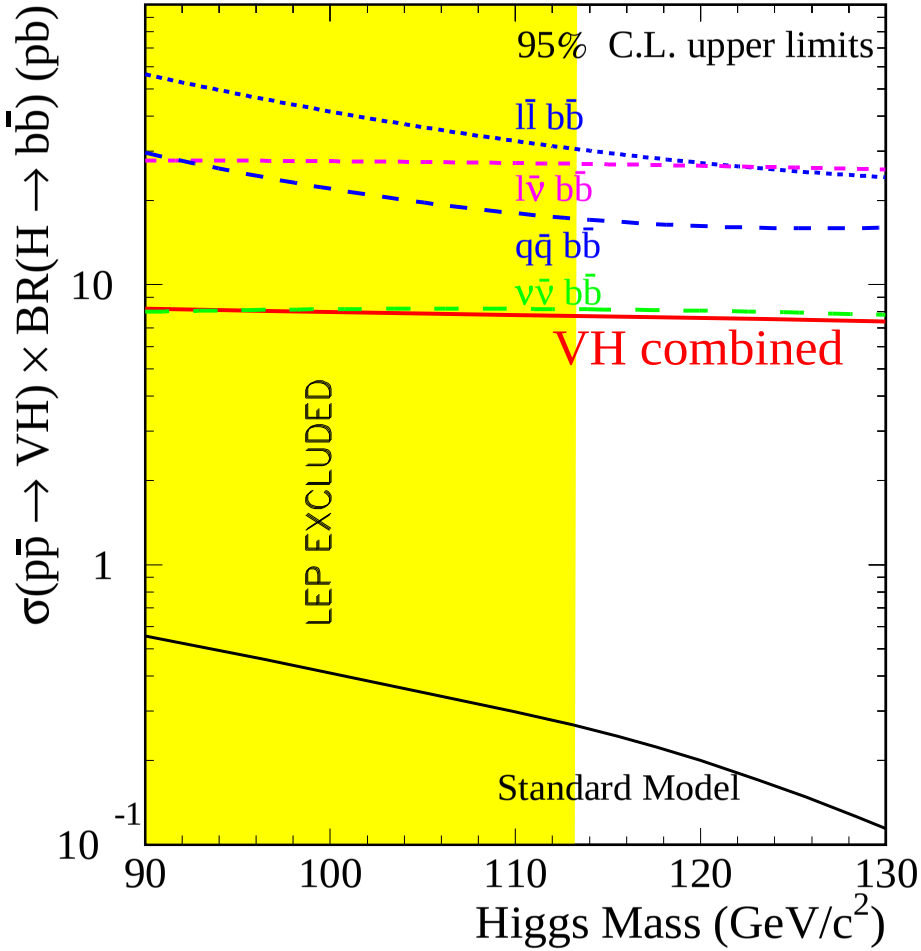
Signal is W+b+$\bar{b}$






IP distribution for the highest IP trk
|IP| [cm]
IP distribution for the 2nd highest IP trk
|IP| [cm]
Rate for the highest IP trk
Rate [Hz]
|IP| cut [cm]
Rate for the second highest IP trk
Rate [Hz]
|IP| cut [cm]

Ricerche passate a CDF

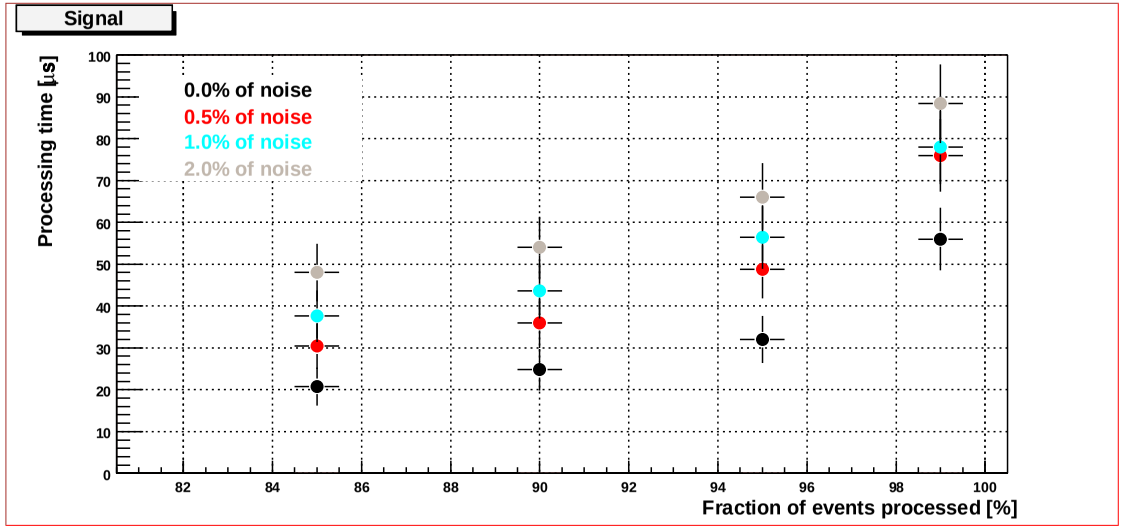


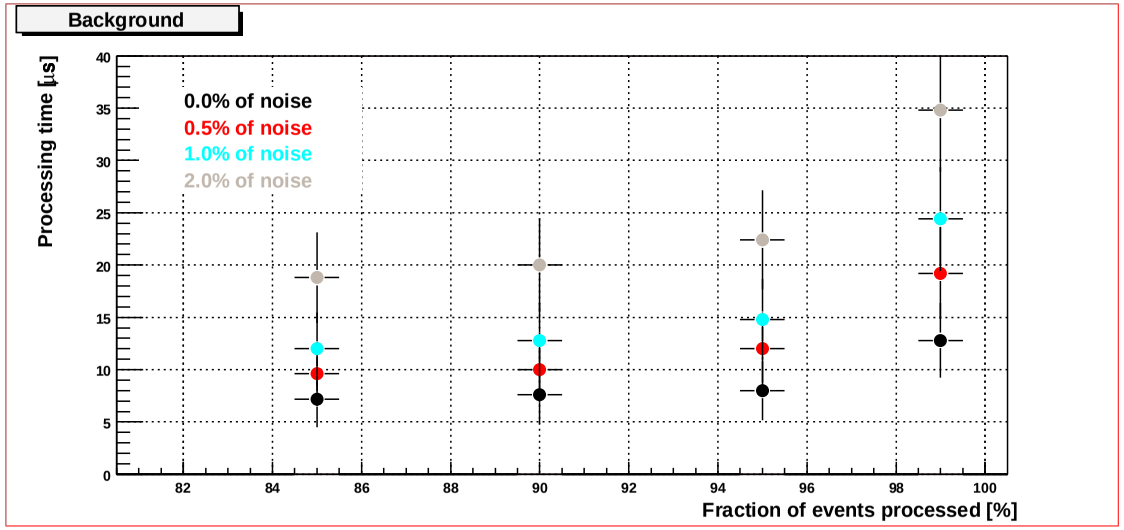
$\leftarrow$

Nel Run I $(106 \pm 4pb^{-1})$

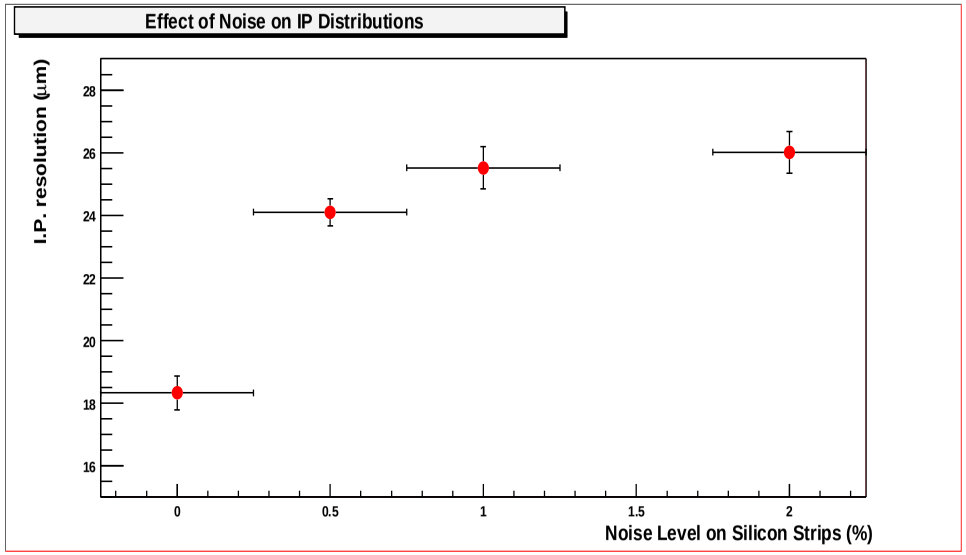
Limite superiore

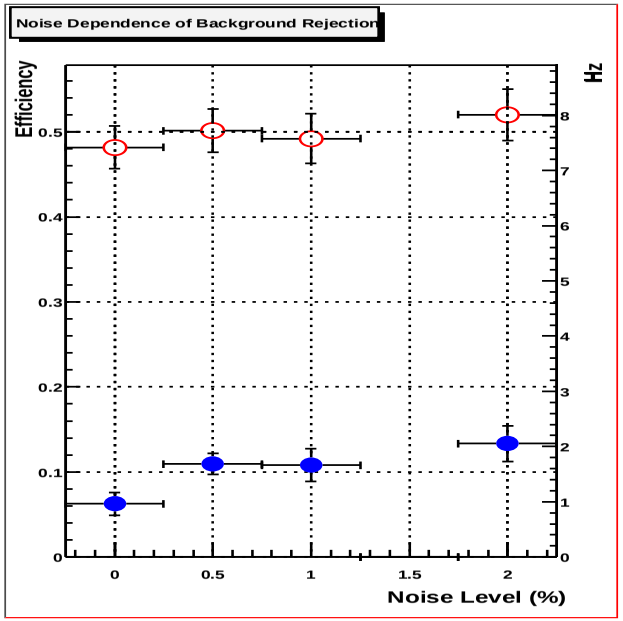
$\sigma \times BR \sim 8pb$ di produzione


Signal
Processing time [μs]
0.0% of noise
0.5% of noise
1.0% of noise
2.0% of noise
Fraction of events processed [%]


Background
Processing time [μs]
0.0% of noise
0.5% of noise
1.0% of noise
2.0% of noise
Fraction of events processed [%]

Stabilità delle selezioni





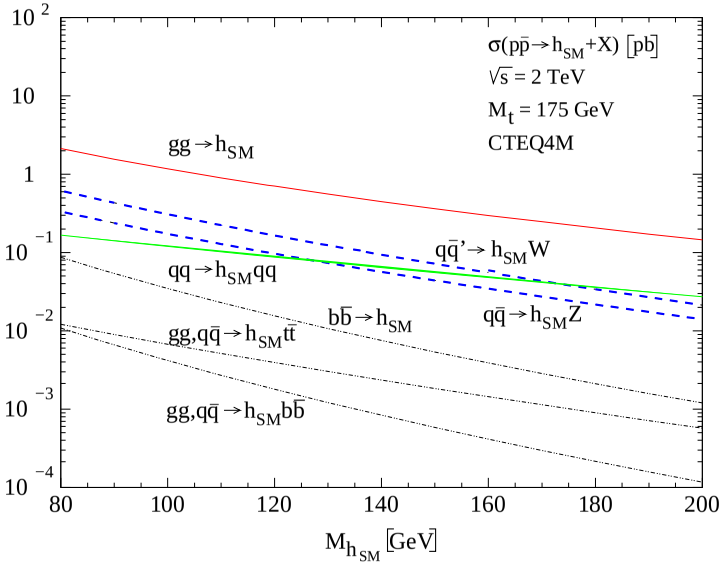
No σ_F (dimensioni fisiche del fascio)

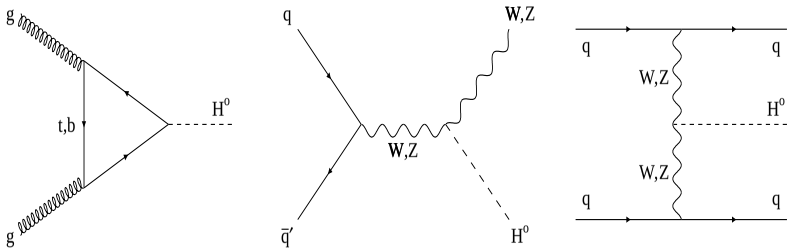
Variazioni con il livello di rumore (% di segnali spuri in SVX-II)

- efficienza sul segnale $\sim$ costante
- aumento significativo della frazione di fondo raccolta e degradazione della σ_d all'aumentare del rumore $0.0 \div 2.0\%$

Produzione di Higgs al collisore Tevatron

Sezioni d'urto di produzione @ 2 *TeV*





fusione di gluoni

Higgs*strahlung*

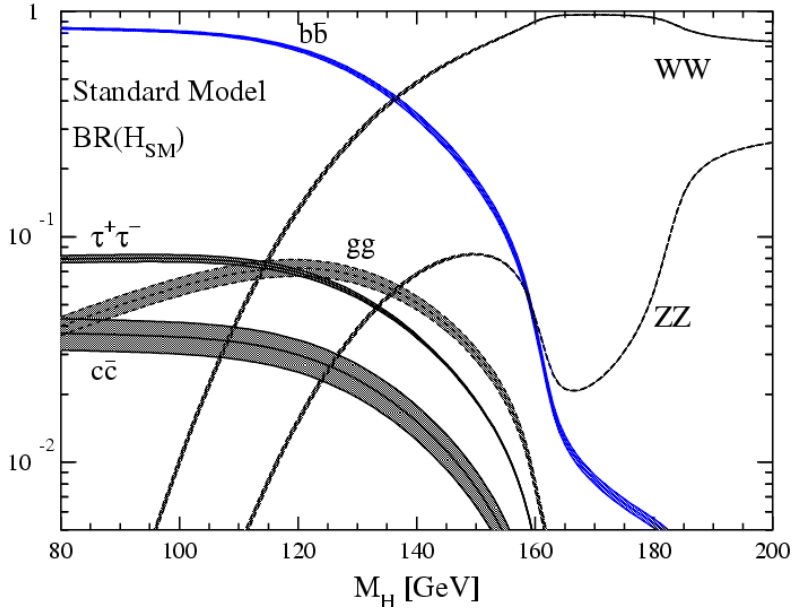
Fusione di bosoni vettori

Processi principali di produzione:

M_H $[GeV/c^2]$	σ_H[fb]	σ_{HW}[fb]	σ_{HZ}[fb]	σ_{Hqq}[fb]
110	900	224	128	100
120	704	165	96.5	85.4
130	558	124	73.5	73.2

Rapporti di decadimento

Rapporti di decadimento (BR)



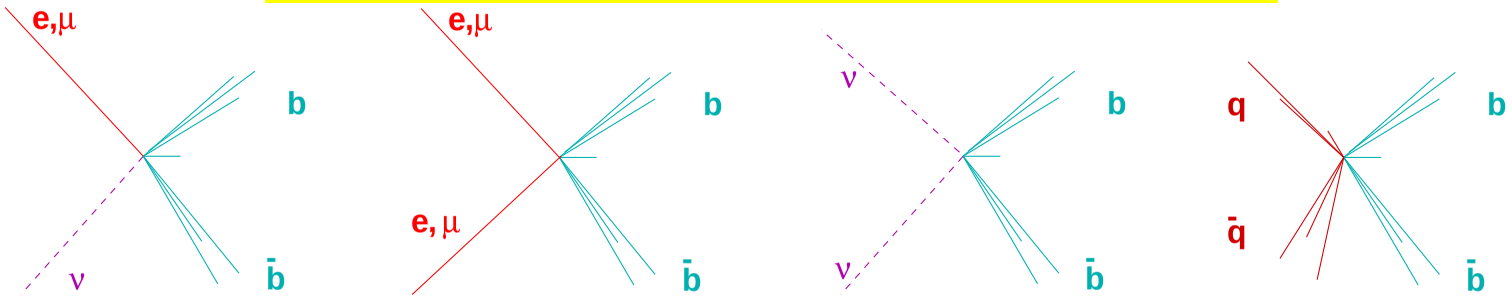
M_H GeV/c^2	BR(H_{SM}) $b\bar{b}$	$\tau^+\tau^-$	gg	W^+W^-
110	76.9%	7.73%	6.89%	4.41%
120	67.7%	6.93%	7.27%	13.2%
130	52.3%	5.46%	6.67%	28.7%

Canali di ricerca al Tevatron

fusione di gluoni	produzione associata a V
⇓	⇓
	speciali topologie
difficile reiezione del fondo	⇓
	reiezione del fondo
⇓	⇓

Produzione associata dell'Higgs risulta il canale più promettente

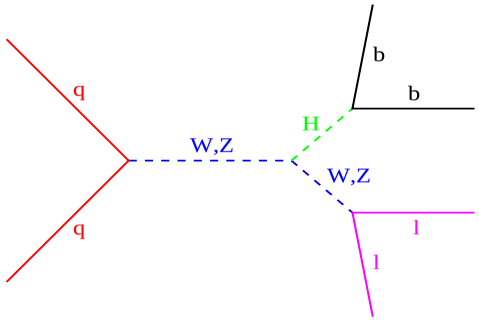
Stati finali per eventi $W/Z\ H$



$HW \to b\bar{b}l\nu$ $\quad$ $HZ \to b\bar{b}l^+l^-$ $\quad$ $HZ \to b\bar{b}\nu\bar{\nu}$ $\quad$ $HZ(W) \to b\bar{b}q\bar{q}^{(\prime)}$

Stati finali leptonici

Stati finali completamente adronici



- Un segnatura chiara:
  leptoni ad alto P_T ed E_T
- Basso rapporto di decadimento:
  $\sim 5 \div 15\%$

- $\geqslant 2$ b-jets
- $M_{jj} \simeq M_V$

M_H $[GeV/c^2]$	BR[%]	σ $[fb]$
110	53	186
120	47	122
130	36	72

difficile reiezione del fondo