



Misura della massa del quark top

Corso di Fisica Nucleare e
Subnucleare II

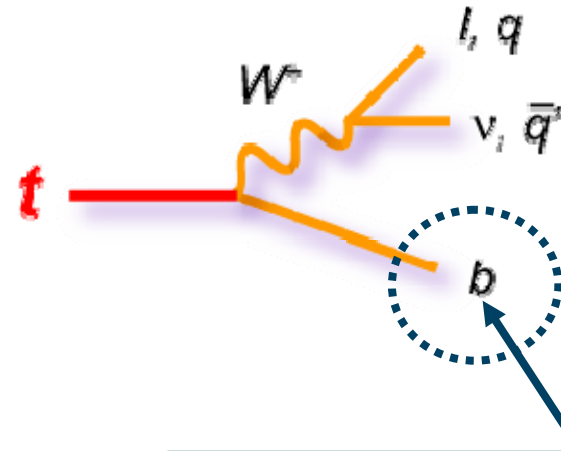
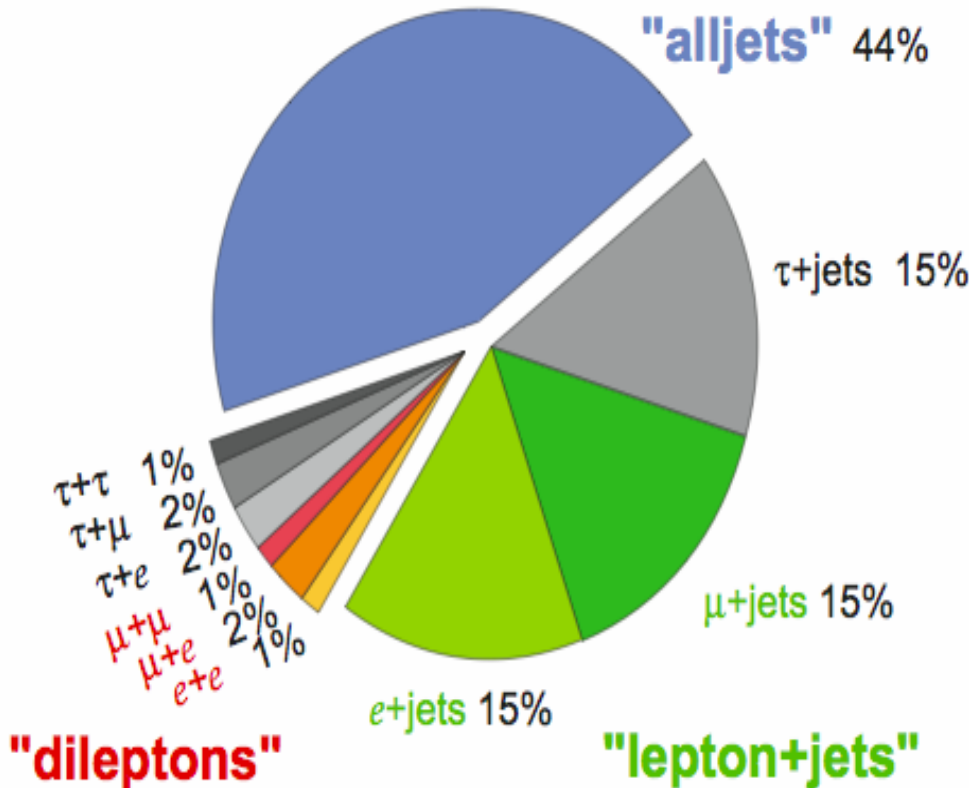
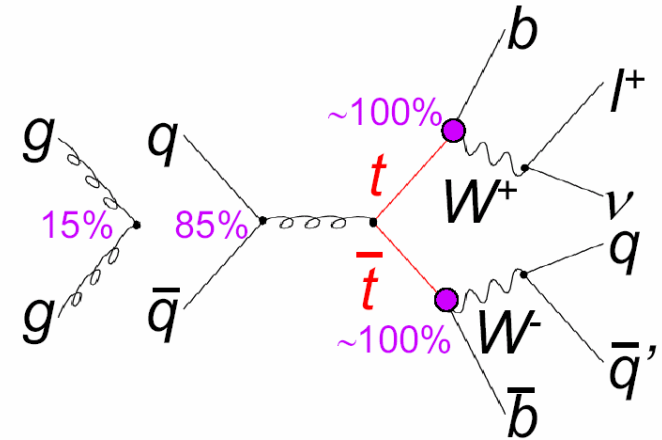
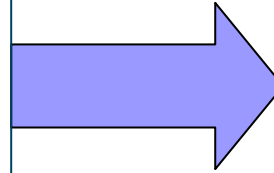
Viviana Cavaliere

Introduzione

- Caratteristiche principali e modi di decadimento del top
- La misura della massa del Top a CDF:
 1. Selezione di eventi provenienti dal decadimento del top
 2. Strumenti per eliminare il background di eventi: il **b-tagging**
 3. Metodi per la misura: **Template Method, Matrix-element method**

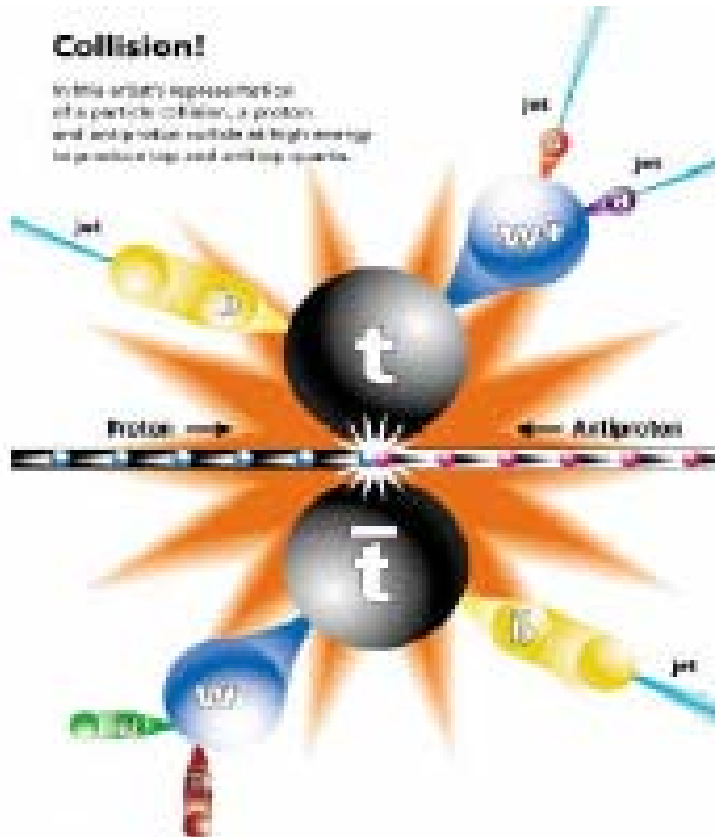
Decadimenti del top

Al Tevatron ($\sqrt{s}=1.96$ TeV)
il top viene prodotto in
coppie $t\bar{t}$.



L'identificazione dei B-quark
viene usata per ridurre il
background.

Topologia del canale lepton+jets



Segnatura:

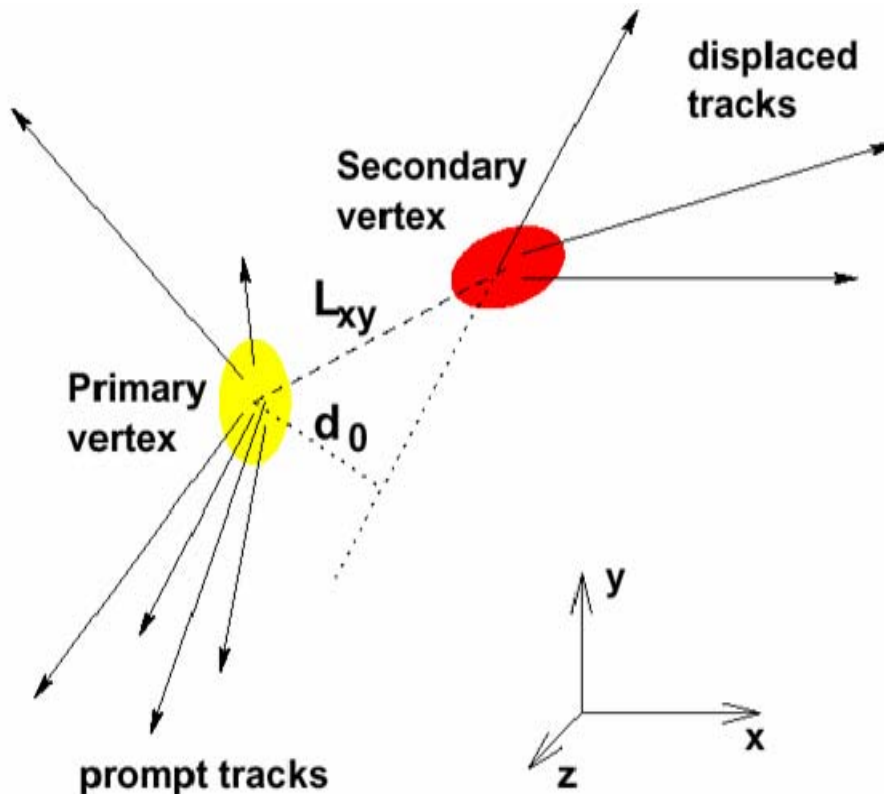
- ❖ Un leptone isolato con $P_t > 20 \text{ GeV}$
- ❖ Grande energia mancante E_t dovuta al neutrino non rivelato

- ❖ 2 b-jet
- ❖ 2 jet dal W

Background:

- ❖ W^+ heavy flavour
- ❖ W^+ jet mistag
- ❖ QCD

Secondary vertex b-tagging



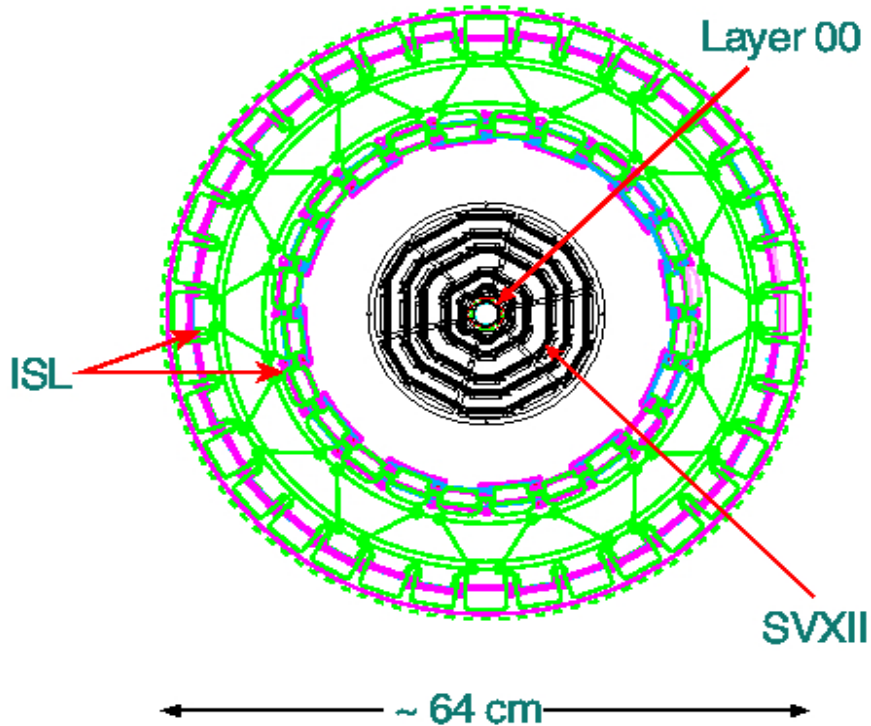
- Lunga vita media 1.67 ps
- Per jet=50 GeV percorre una distanza di qualche mm

Variabili discriminanti:

- Parametro di impatto: distanza di minimo approccio al vertice dell'interazione primaria.
- Lunghezza di decadimento L_{xy}
- Massa invariante costruita con le tracce che escono dal secondario
- Numero di tracce associate al vertice secondario
- Numero di leptoni prodotti e loro impulso.

Silicon Vertex Detector (CDF)

CDF II Silicon

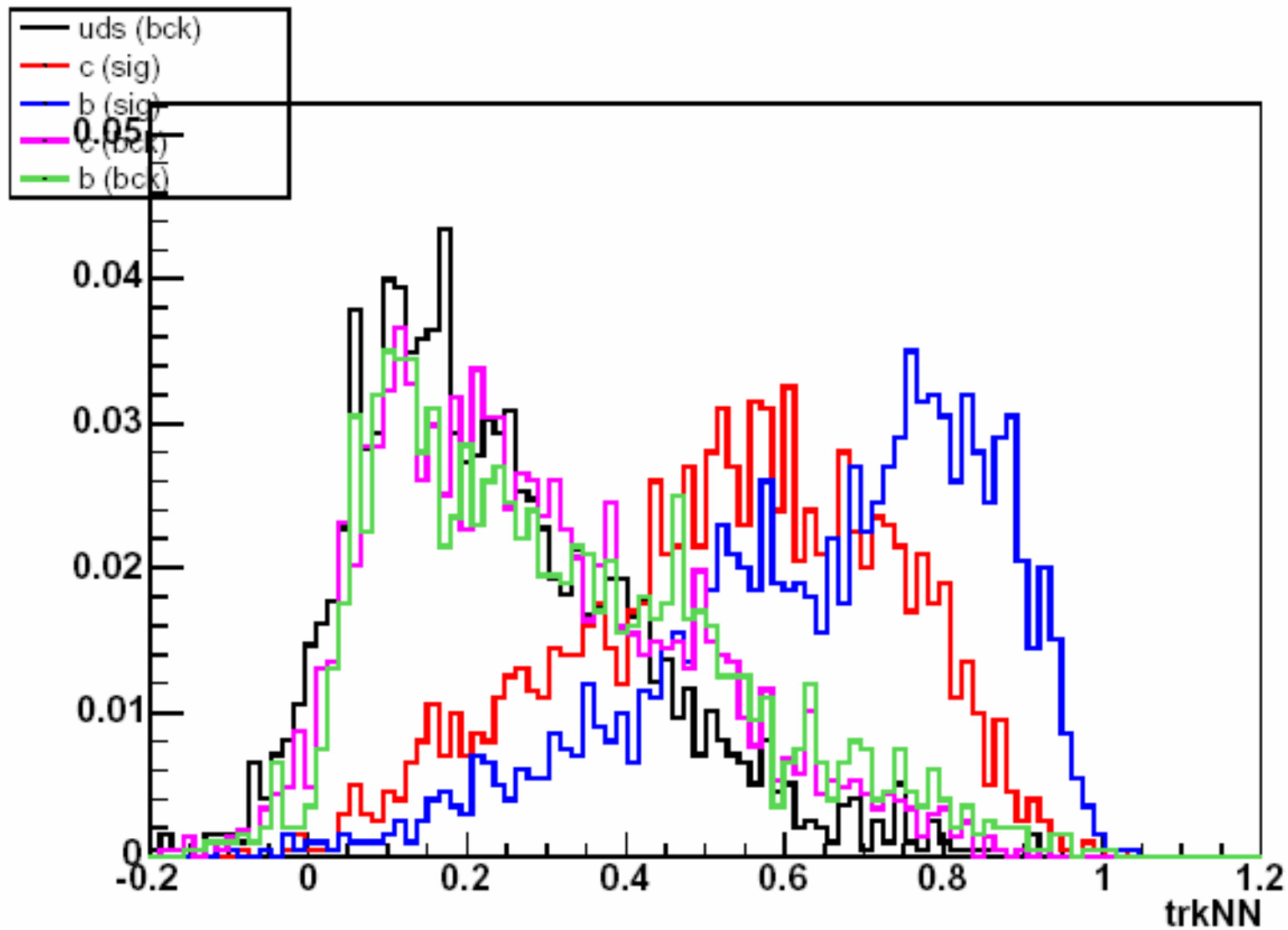


J. Incandela

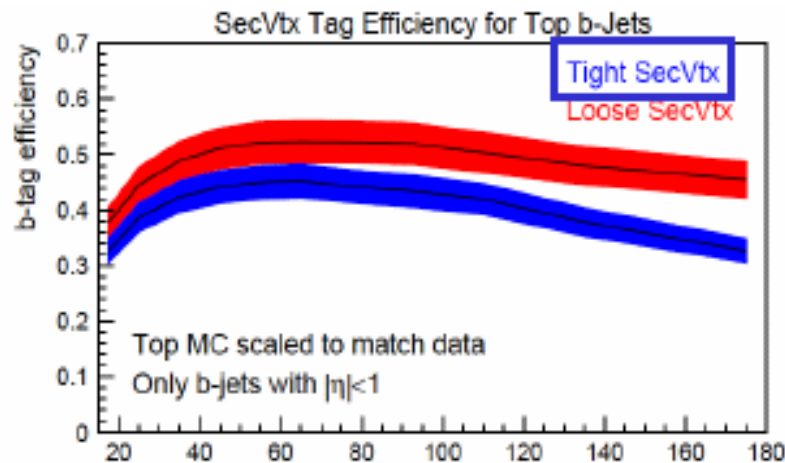
■ Rivelatore al silicio:

- 1) **SVX**: Risoluzione singolo punto $12\mu\text{m}$. Risoluzione sul parametro di impatto $40\mu\text{m}$.
- 2) **ISL e LAYER 00**: risoluzione sul singolo punto $16\mu\text{m}$.
- 3) **Layer 00**: risoluzione sul parametro di impatto $\approx 25\mu\text{m}$, non ha problemi legati allo scattering multiplo

B-tagging a CDF



Efficienza del b-tagging

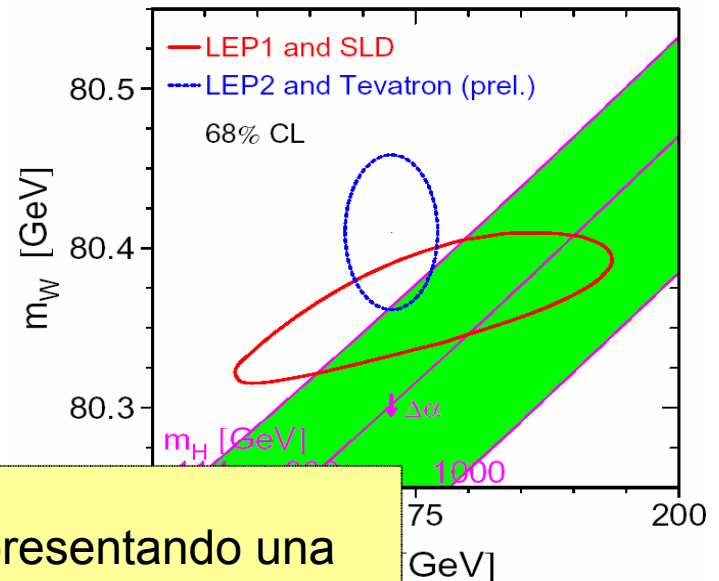
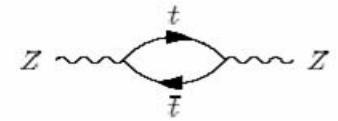
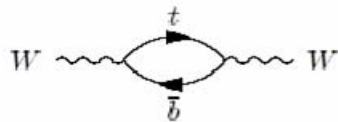


| jetEt (GeV) | <i>uds</i> -eff | <i>b</i> -eff (NN) | <i>b</i> -eff (SecVtx) | <i>b</i> -eff (JetProb) |
|-------------|-----------------|--------------------|------------------------|-------------------------|
| 15-200 | 1.6% | 56.5% | 46.4% | 50.6% |
| 15-45 | 0.39% | 51.6% | 48.0% | 31.3% |
| 45-75 | 1.1% | 56.6% | 53.7% | 46.1% |
| 75-105 | 1.8% | 59.1% | 49.0% | 49.0% |
| 105-200 | 2.3% | 53.7% | 41.9% | 46.7% |

Tabella 7.6: Campione $t\bar{t}$ (training effettuato su $t\bar{t}$): efficienze di selezione dei quark b per i tre tagger considerati (reti neurali NN, SecVtx e Jet Probability) per diversi intervalli di energia.

Perché misurare la massa del top

- La massa del quark top è un parametro fondamentale del Modello Standard: è l'unico fermione con la massa nella scala elettro-debole.
- Contribuisce agli altri parametri dell'interazione debole tramite correzioni radiative:



Sembra tu stia presentando una misura della massa del top

Forse prima devi mostrare le tecniche più utilizzate

yes

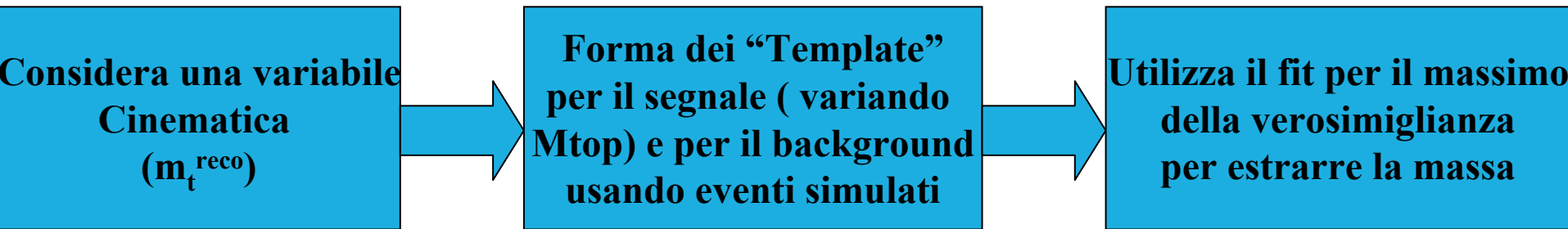
cancel

- Fornisce di vincoli per la massa del bosone di Higgs.
- Il suo accoppiamento di Yukawa è ≈ 1 , che è un segno che la massa del top è legata al meccanismo di origine della massa.



Misura della massa

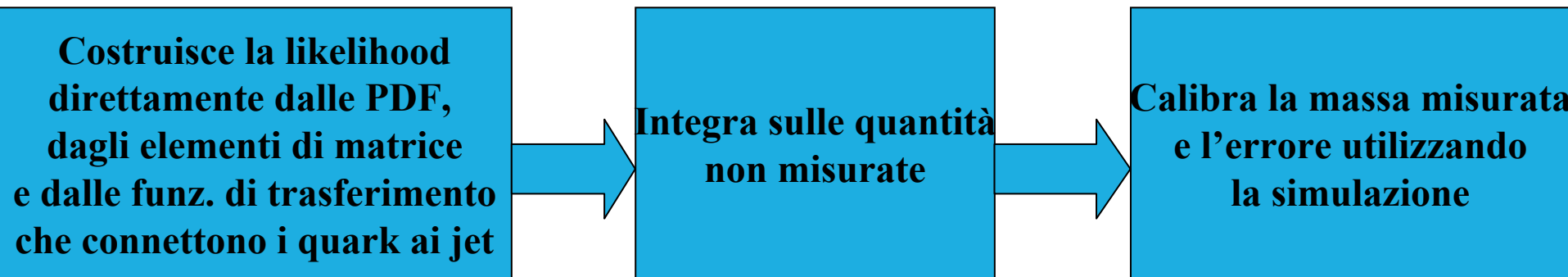
■ Template Method



Vantaggi: considera tutti i difetti del detector, calcolo al computer semplice

Svantaggi: tutti gli eventi hanno lo stesso peso

■ Matrix-element Method



Vantaggi: Più potere statistico, gli eventi sono pesati naturalmente

Svantaggi: Integrazione numerica complessa, la simulazione non considera tutti i difetti del detector

Template Method

Costringe l'impulso trasverso fittato del leptone e dei jet a quello misurato con la risoluzione sperimentale

Costringe le componenti dell'energia "unclustered" fittate a quelle misurate

$$\chi^2 = \sum_{i=l, jets} \frac{(P_T^{i, fit} - P_T^{i, meas.})^2}{\sigma_i^2} + \sum_{i=x, y} \frac{(UE_j^{i, fit} - UE_j^{i, meas.})^2}{\sigma_j^2}$$

M_{top} come param. libero

$$+ \frac{(M_{qq'} - M_W)^2}{\Gamma_W} + \frac{(M_{lv} - M_W)^2}{\Gamma_W} + \frac{(M_{lvb} - M_{top})^2}{\Gamma_{top}} + \frac{(M_{qq'b} - M_{top})^2}{\Gamma_{top}}$$

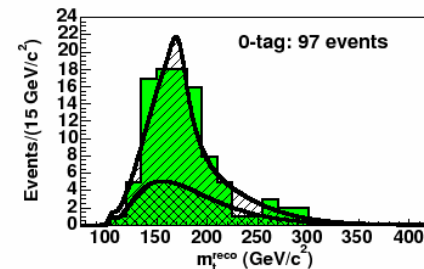
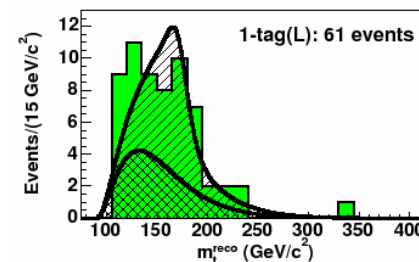
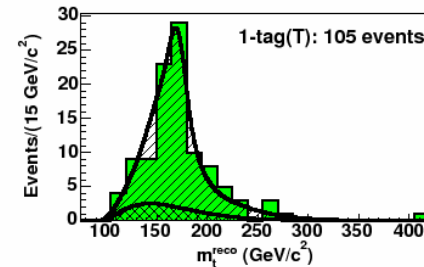
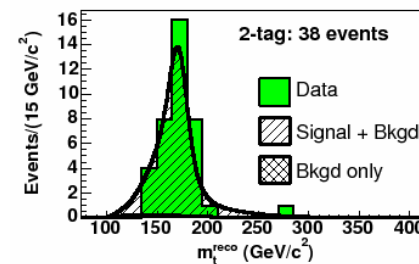
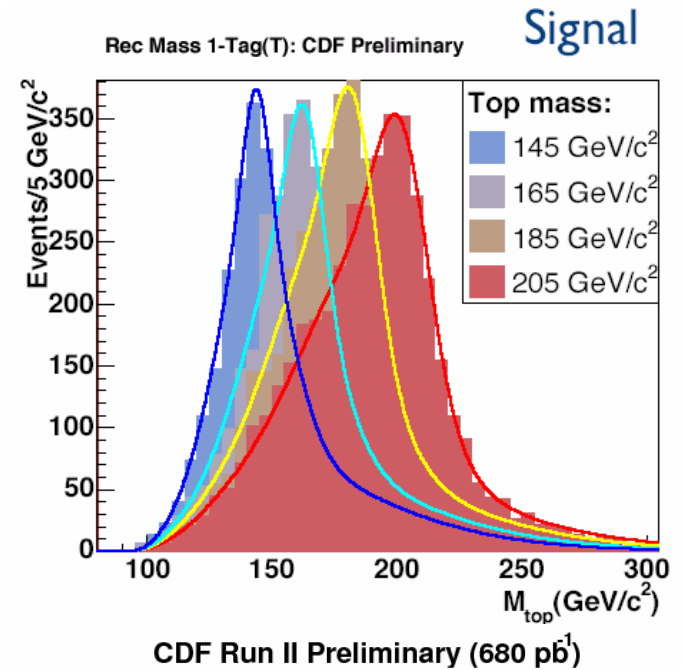
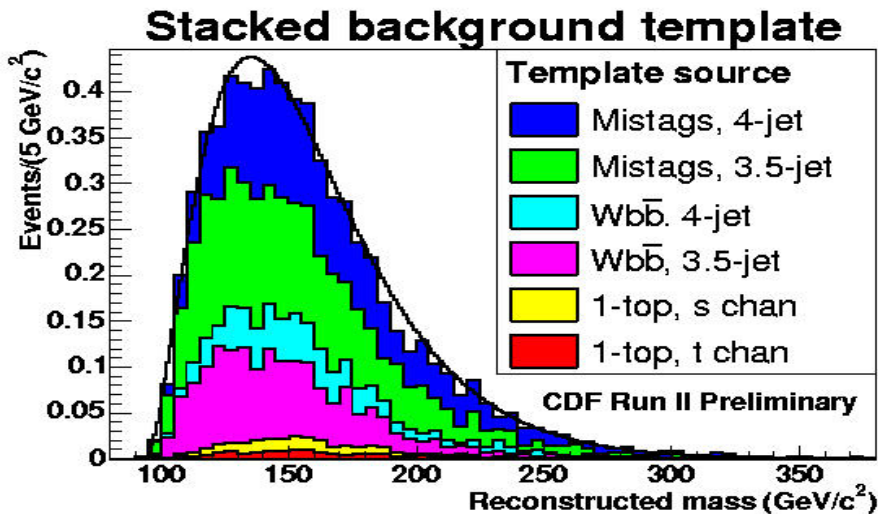
Costringe le masse dei 2 W al valore della media mondiale 80.42 GeV/c²

t e tbar hanno la stessa massa.

- Solo eventi con $\chi^2 < 9$

Template Method (2)

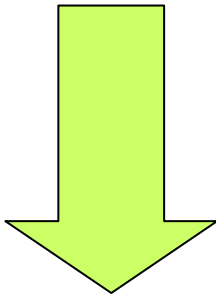
- Dal fit cinematico otteniamo la variabile m_t^{reco} , la cui distribuzione viene paragonata ai template MC per varie ipotesi di massa del top
- Si ottengono i template anche per il background



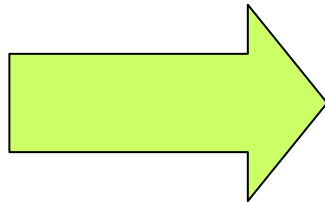
Template Method(3)

- Per ogni insieme forma la likelihood combinata e la minimizza:

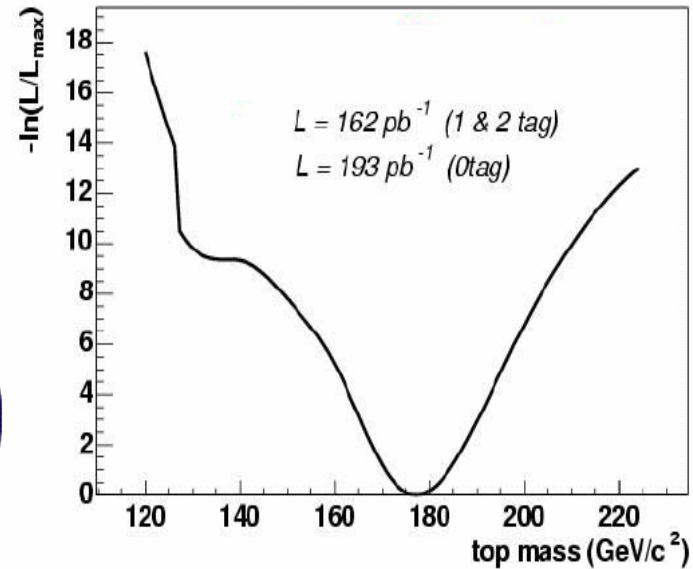
$$L_{\text{sub-sample}} = L_{\text{shape}} \times L_{\text{bkg}}$$



M_{top}



Sistematiche



| Systematic Source | ΔM_{top} |
|-------------------------------|-------------------------|
| b-jet energy scale | 0.6 |
| Residual JES | 0.7 |
| Background JES | 0.4 |
| ISR | 0.5 |
| FSR | 0.2 |
| Parton Distribution Functions | 0.3 |
| Generators | 0.2 |
| Background Shape | 0.5 |
| b-tagging | 0.1 |
| Monte Carlo statistics | 0.3 |
| TOTAL | 1.3 |

Matrix-Element Method(1)

- Calcola la funzione di verosimiglianza in funzione di m_{top} con l'elemento di matrice per ogni evento

Somma su tutti gli stati possibili

$$d\sigma = |\mathcal{M}|^2 d\Phi$$

Funzioni di struttura
(q_i = frazione di impulso)

$$P(x; M_{top}) = \frac{1}{\sigma} \int d^n \sigma(y; M_{top}) dq_1 dq_2 f(q_1) f(q_2) W(x, y)$$

Impulso del leptone, angoli dei jet etc...

funz. di trasferimento: probabilità per una variabile misurata x di provenire da una variabile del partone (parton $E_T \rightarrow$ jet E_T)

- Ipotesi:

1. Impulso e^- e μ misurati con precisione;
2. i 4 jet provengono dai quark b ;
3. gli angoli dei jet sono misurati con precisione ;
4. impulso trasverso del sistema ~ 0

Matrix-Element Method (2)

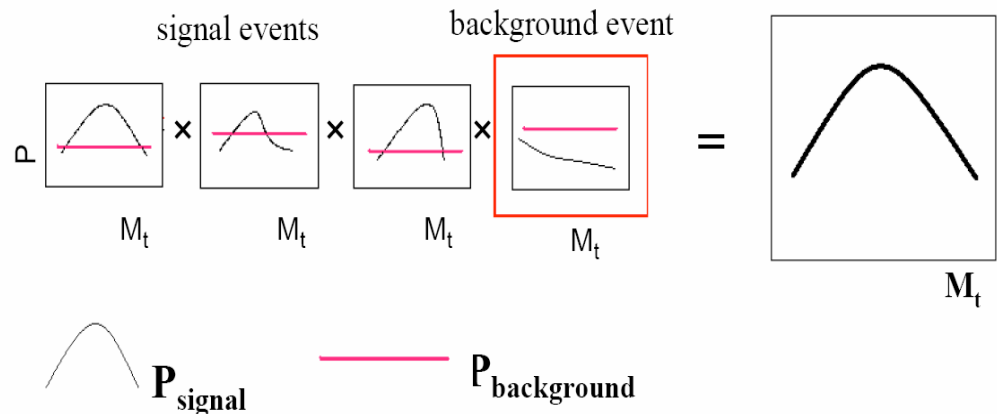
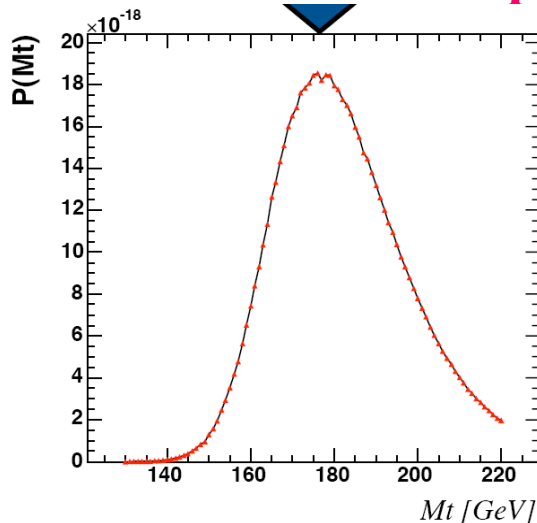
Background

- La probabilità dell'evento è la somma pesata delle probabilità del segnale e del background

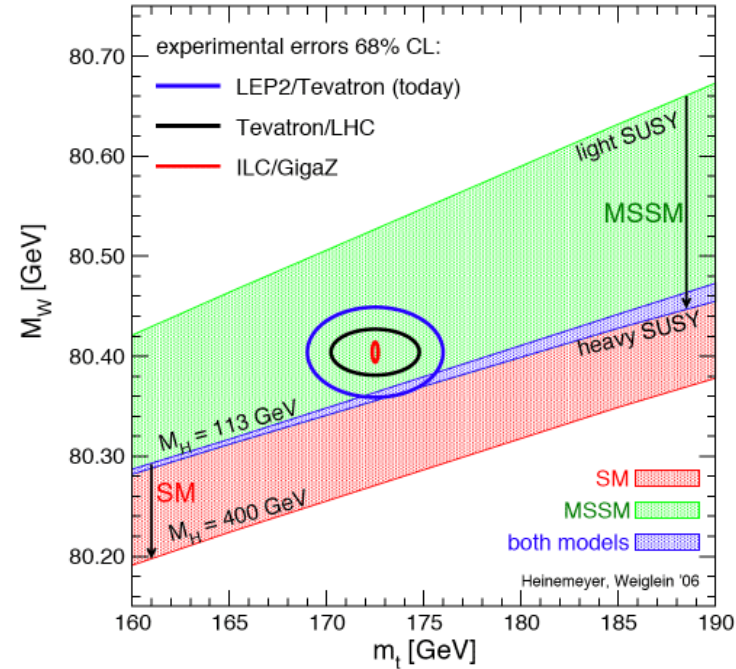
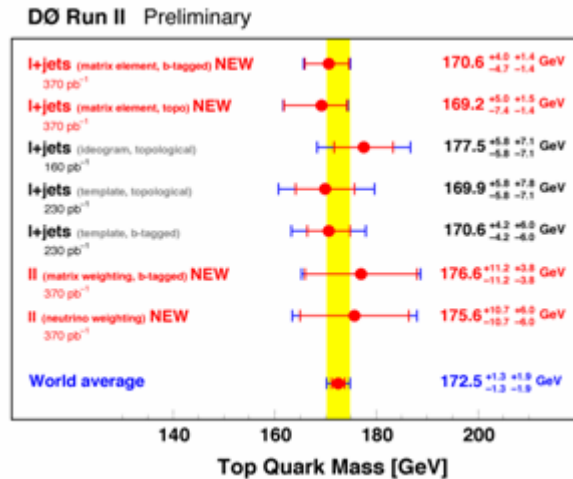
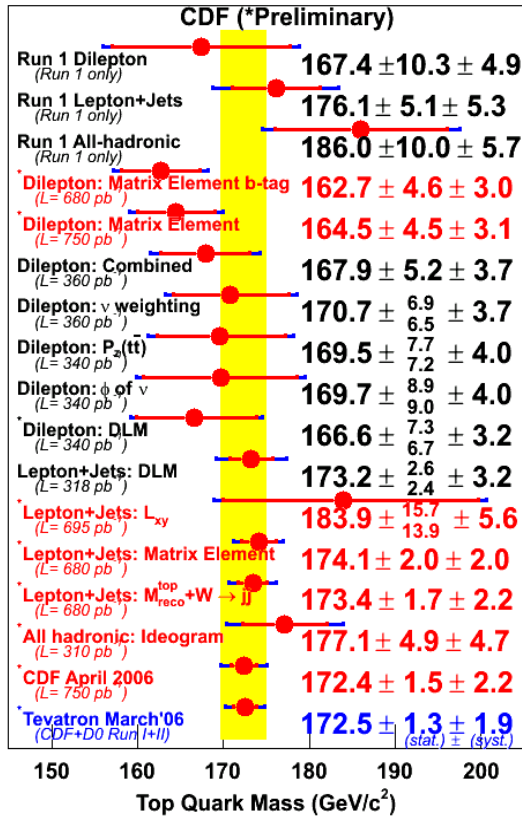
$$P(\mathbf{x}|M_t) = P_s(\mathbf{x}|M_t)p_s + P_{bg_1}(\mathbf{x})p_{bg_1} + P_{bg_2}(\mathbf{x})p_{bg_2} + \dots$$

- La likelihood si ottiene come prodotto delle densità di probabilità per ogni evento:

$$L = \prod_i P(\mathbf{x}^i; M_{top})$$



Risultati finali



■ $M_{top} = 172.5 \pm 1.3(\text{stat}) \pm 1.9 (\text{syst}) \text{ GeV}/c^2$

Bibliografia

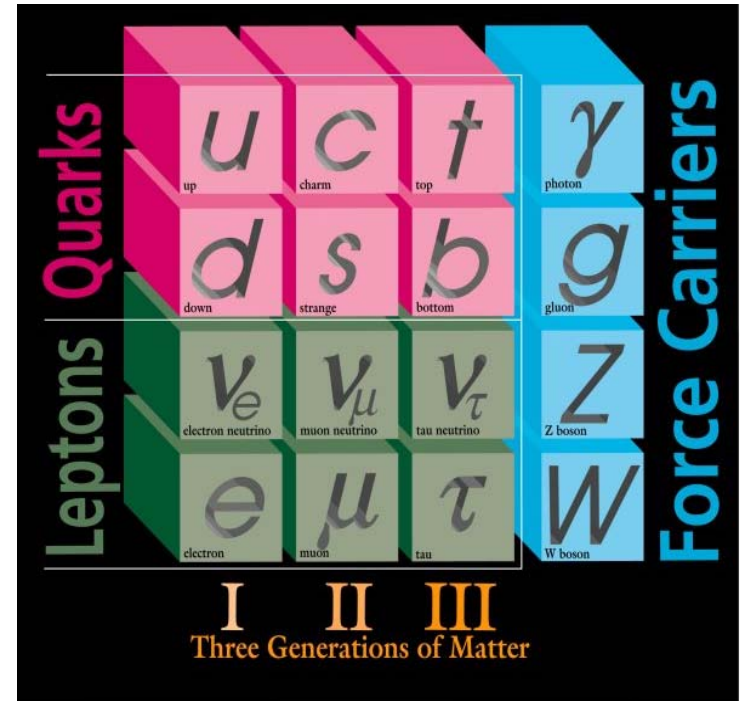
- [1] cdf7624_brubakee_thesis, Nota interna
- [2] cdf7632_SecVtxXsecThesis, Nota interna
- [3] cdf7631_TopMass_LJ_dlm, Nota interna
- [3] NNBtag_ChiaraFerrazza, Nota interna



Back-up slides

Quark top

- Il quark top è il partner debole del quark b
- A causa della sua grande massa (circa $172\text{GeV}/c^2$) il suo studio è attualmente possibile solo al Tevatron, dove è stato scoperto nel 1995.
- Al Tevatron il top viene prodotto nelle collisioni protone-antiprotone in coppie $t\bar{t}$, nell'85% dei casi dall'annichilazione $q\bar{q}$ e nel 15% dei casi dalla fusione di due gluoni.
- Decade in $\tau=10^{-25}$ s e non riesce ad adronizzare.
- Esistono tre possibili stati finali
 1. $t \longrightarrow Wb$
 2. $t \longrightarrow Wc$
 3. $t \longrightarrow Ws$
- Ma $\text{BR}(t \longrightarrow Wb) > 99.8\%$



$$\text{Spin} = 1/2$$

Color triplet

$$\Gamma_t \approx 1.4 \text{ GeV (decay as a free quark)}$$

$$\text{Charge} = 2/3e$$

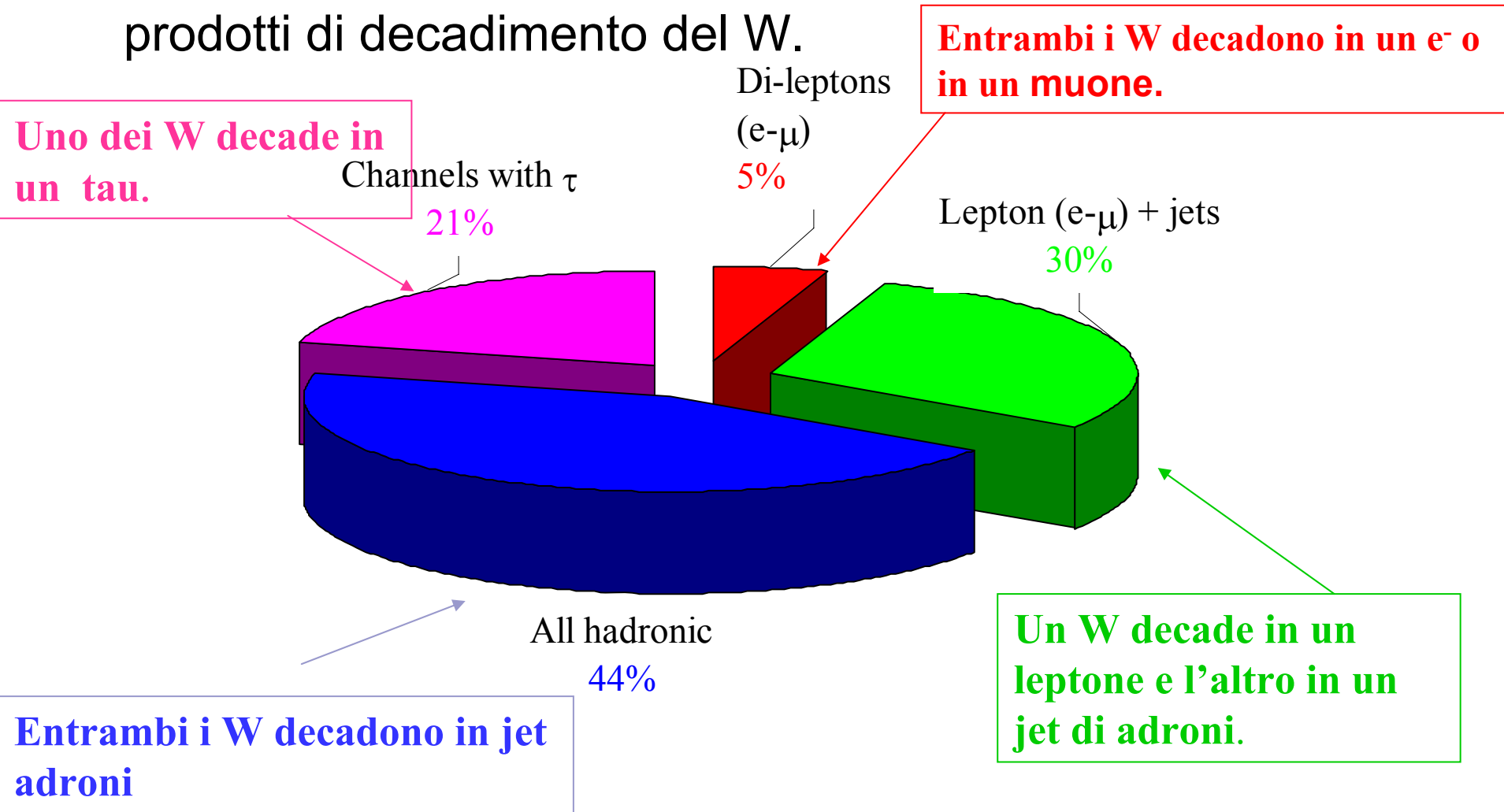
Yukawa coupling ($m_t/v \approx 1$)

$$V_{tb} = 0.99$$

70% of W bosons from top decay longitudinally polarized

Quark top

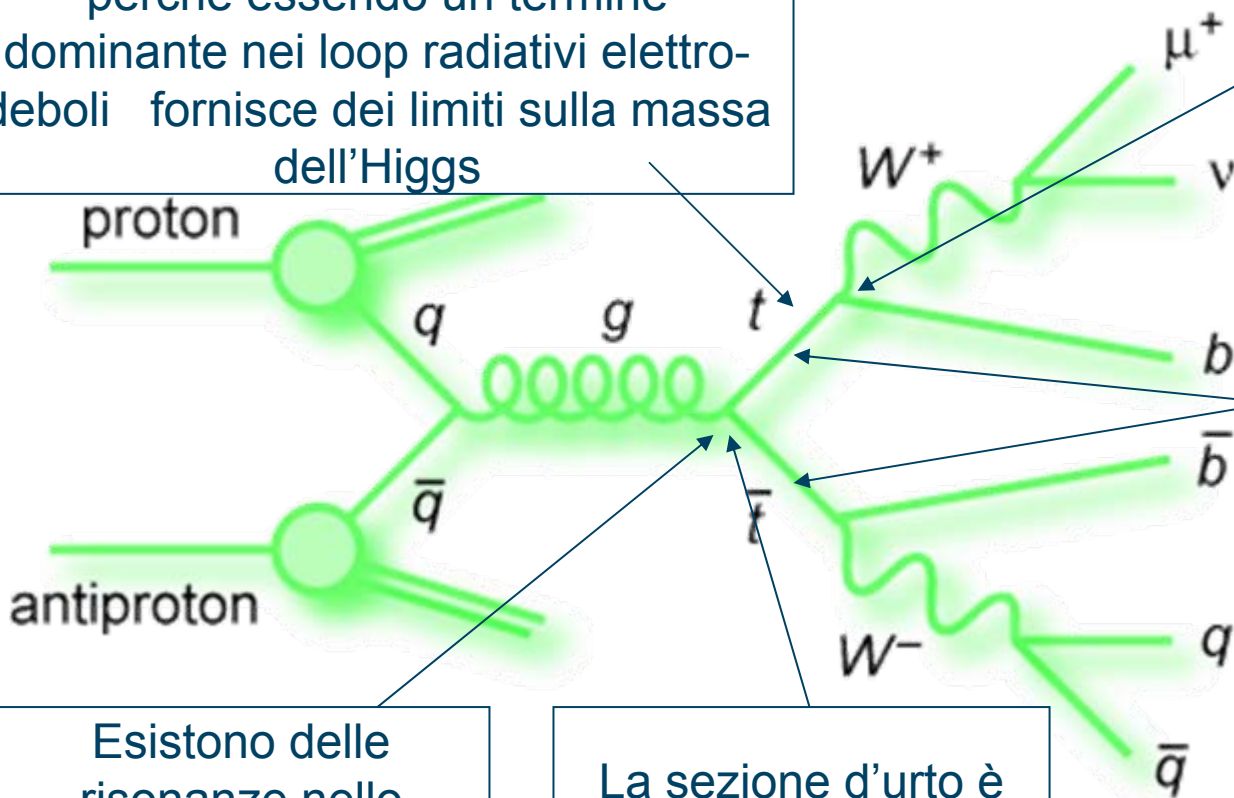
- I canali di decadimento si dividono in funzione dei prodotti di decadimento del W.



Perchè è interessante la fisica del

La misura della massa è importante perchè essendo un termine dominante nei loop radiativi elettrodeboli fornisce dei limiti sulla massa dell'Higgs

$BR(t \rightarrow Wb) \approx 1$ in SM. Misure di V_{tb} è un test del modello standard



Lo Spin del W è la prova diretta dello spin del top e l'unica maniera di misurare le correlazioni nello spin dei quark non legati

Esistono delle risonanze nello spettro del quark top?

La sezione d'urto è accuratamente predetta dai calcoli di QCD

SECVTX

1. Nel primo stadio sono richieste almeno tre tracce con $p_t > 0.5 \text{ GeV}$ ed una significanza del parametro di impatto $|D_0/\sigma_{D_0}| > 2.5$ dove σ_{D_0} include l'incertezza sulla traccia e sulla posizione del fascio. Almeno una delle tracce deve avere $p_t > 1 \text{ GeV}$.
2. Nel secondo stadio sono richieste almeno due tracce con $p_t > 1 \text{ GeV}$ e $|D_0/\sigma_{D_0}| > 3$ ed almeno una con $p_t > 1.5 \text{ GeV}$.

Jet probability

- Viene trovato il vertice primario da PrimeVtx
- Viene create una lista di tracce che devono avere hit nel silicio
- Si scartano le tracce prodotte dal decadimento delle particelle strane
- Viene creata una lista di jet partendo dai jet ricostruiti con JETCLU con cono di apertura $R=0,4$ e operando dei tagli di selezione:
 $E_T > 7\text{GeV}$ e $|\eta| < 2.5$
- Si assegnano le tracce ai jet cui appartengono, se ne determina il segno del parametro di impatto e si calcola la probabilità per una traccia di essere originata dall'interazione primaria

Soft Lepton Tagger

- Si vede se la traccia è “taggabile”, ovvero se è una traccia che può essere stata lasciata da un muone. $P_t > 2.8 \text{ GeV}/c$
- Si “tagga” il muone introducendo dei tagli opportuni