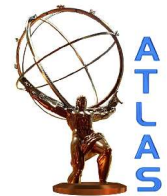


# Fisica elettrodebole a LHC

M. Malberti  
Università & INFN Milano-Bicocca

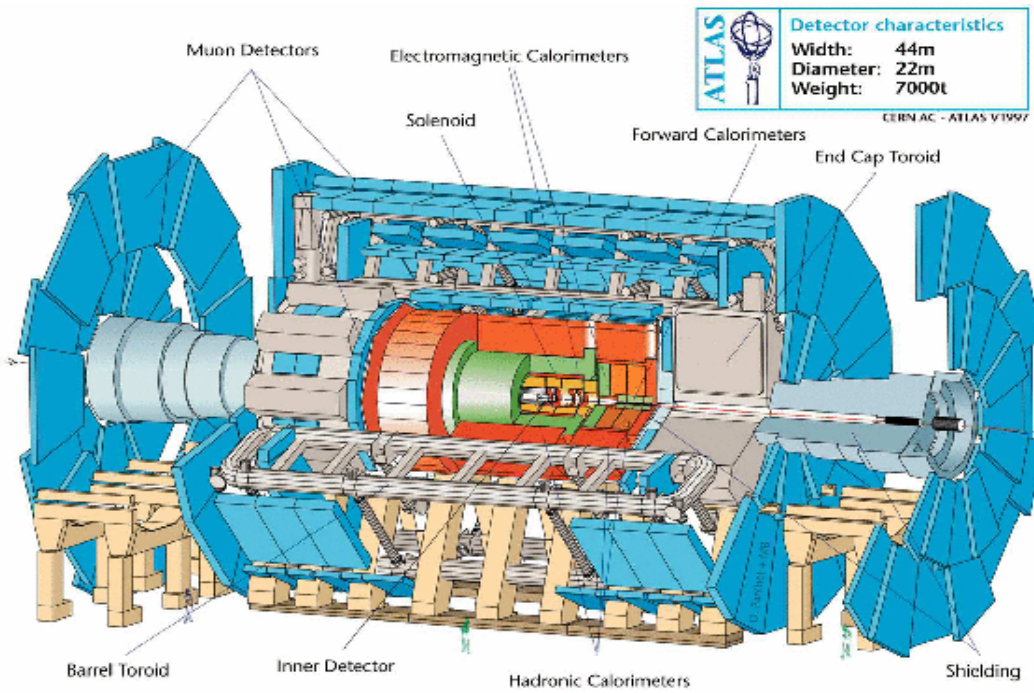


# Outline

---

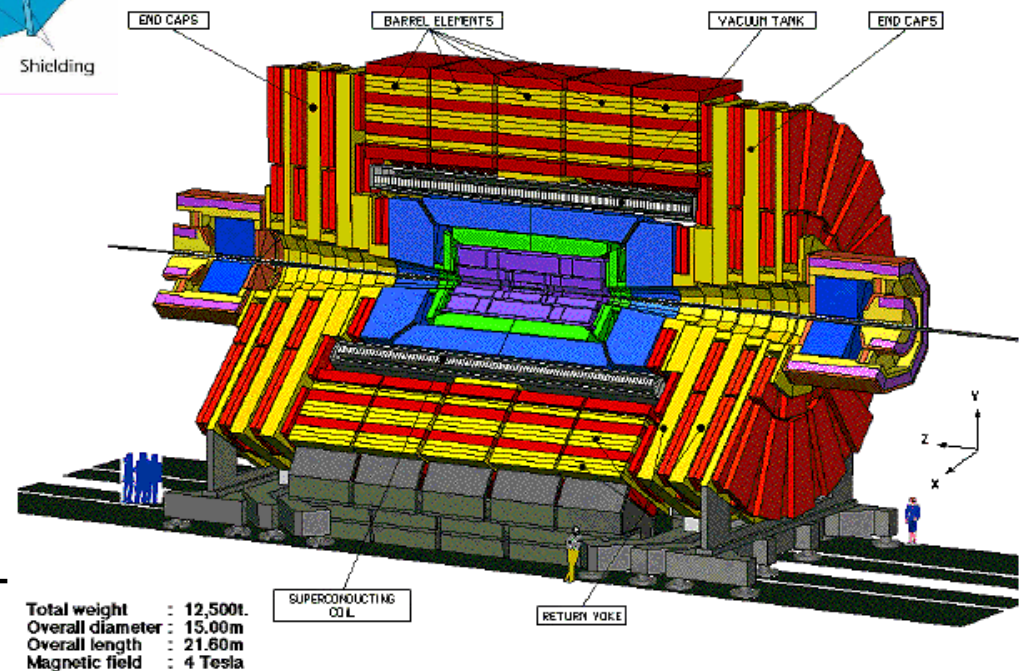
- ATLAS e CMS
- Produzione di W e Z:
  - *Parton Distribution Functions*
  - *Rates* di produzione per W e Z
  - Produzione Drell-Yan
- Misure di precisione: massa del bosone W
- Produzione di coppie di bosoni e TGC

# ATLAS e CMS



## ATLAS

- sistema tracciante  $|\eta| < 2.5$
- calorimetria
  - EM (Lar) ,  $|\eta| < 3.2$
  - adronica ,  $|\eta| < 4.9$
- campo magnetico: solenoide 2T + toroide
- spettrometro per muoni  $|\eta| < 2.7$



## CMS

- sistema tracciante,  $|\eta| < 2.4$
- calorimetria
  - EM ( $\text{PbWO}_4$ ) ,  $|\eta| < 3$
  - adronica ,  $|\eta| < 5$
- solenoide, campo magnetico 4T
- camere per muoni

# Produzione di W e Z a LHC

Energia elevata & alta luminosità

[ 14 TeV ]      [  $10^{33} - 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ]



*rates di produzione enormi*

• bassa luminosità  $\approx 1 \text{ nb}^{-1} \text{ s}^{-1}$

$\approx 200$  bosoni W/s

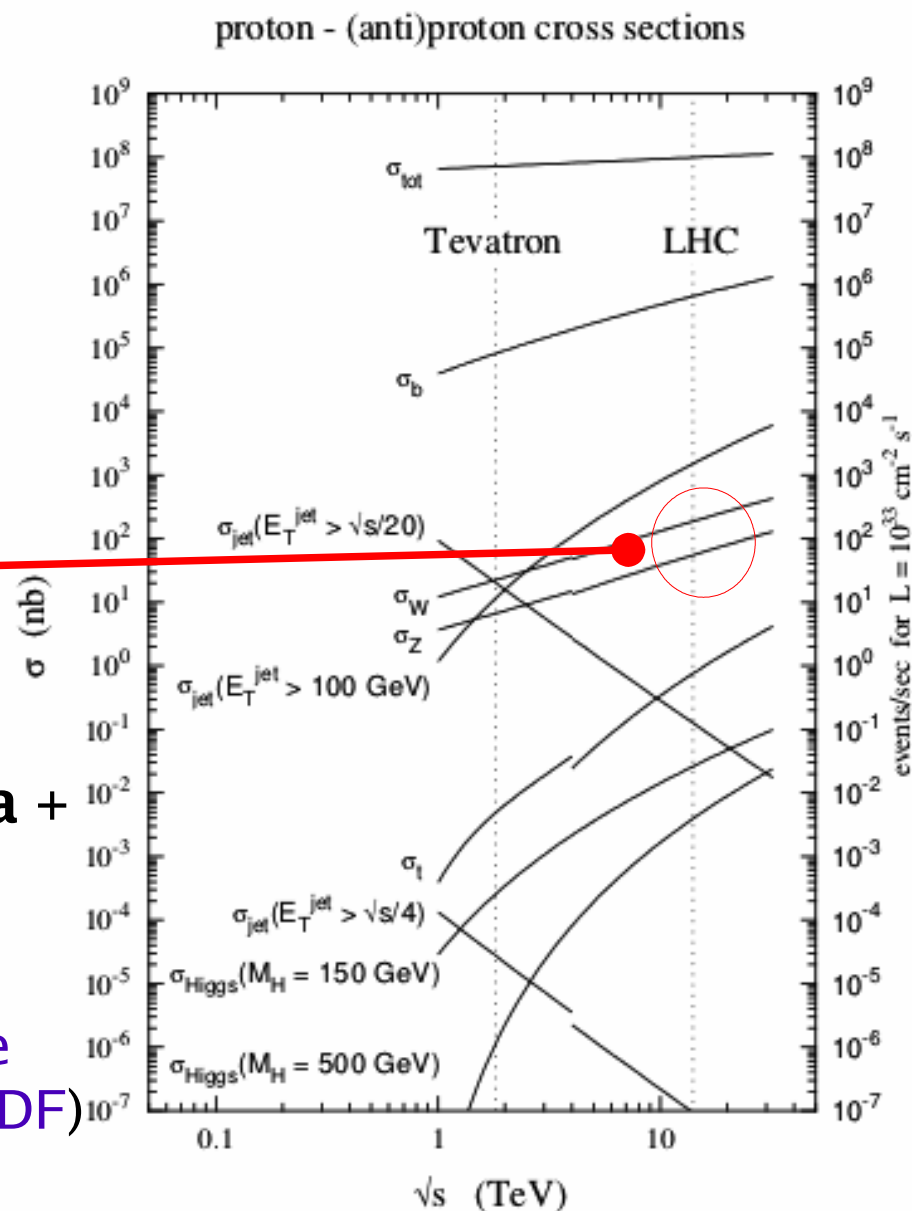
$\approx 50$  bosoni Z/s

•  $W \rightarrow l\nu$ ,  $Z \rightarrow l^+l^-$  ( $l = e, \mu$ ) **elevata statistica + chiara segnatura sperimentale**

→ W, Z essenziali nella fase iniziale:

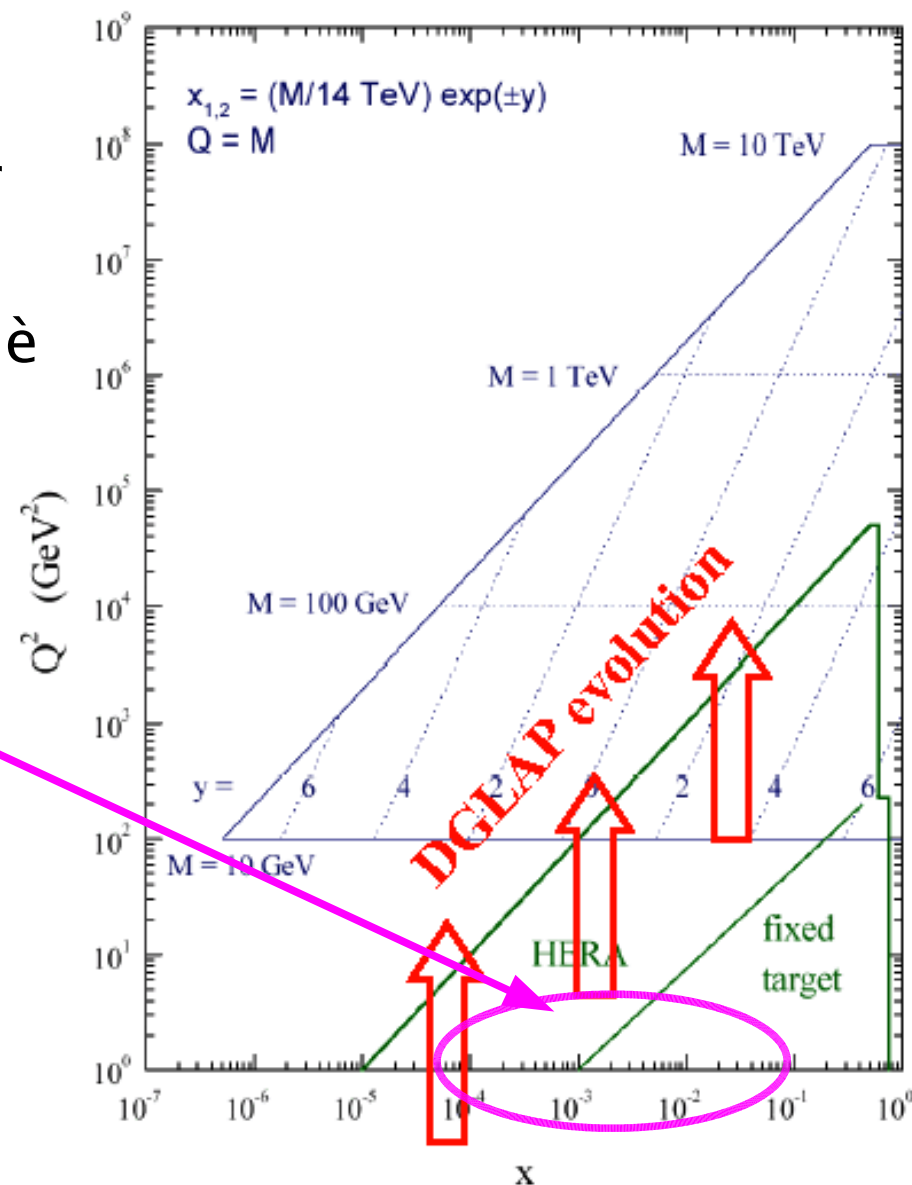
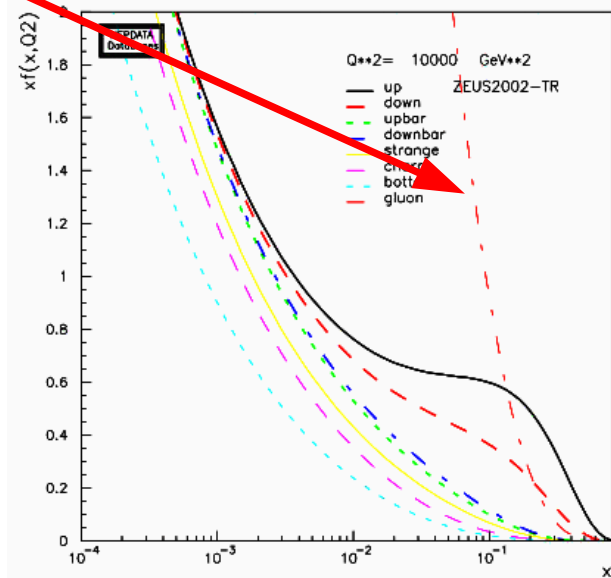
- controllo e calibrazione del rivelatore
- possibilità di adattare i generatori (PDF)

→ potenziale per misure di precisione



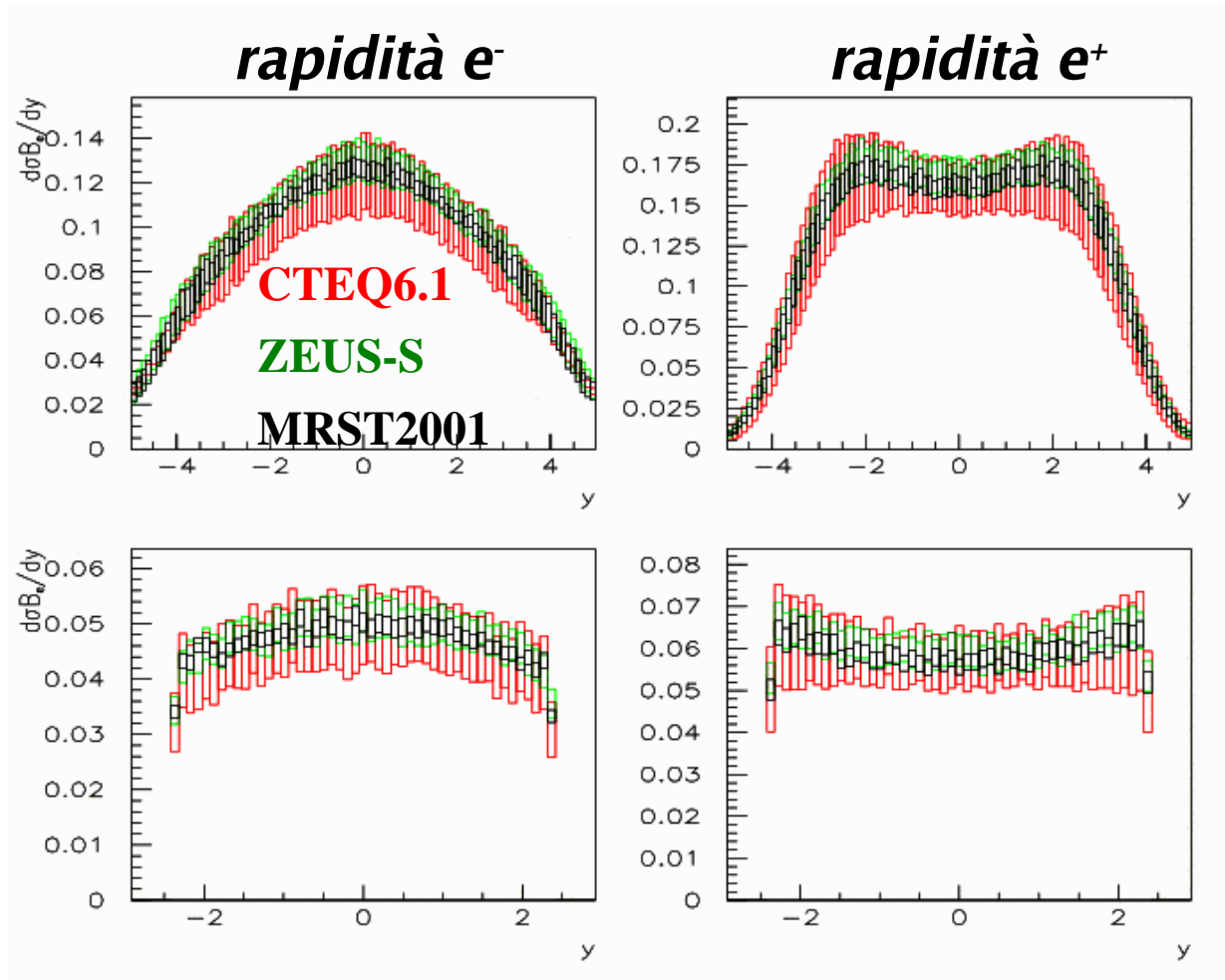
# Parton Distribution Functions (PDF)

- processi fondamentali coinvolgono scattering partone-partone
- necessaria conoscenza delle PDF per studiare segnali e fondi
- a LHC il range cinematico accessibile è più ampio  
es:  $Q^2 \sim 10^4$ ,  $|\eta| < 2.5$  (produzione W,Z)  
 $\Rightarrow 10^{-4} < x < 10^{-1}$
- il gluone è dominante



# Vincoli alle PDF da eventi di W

Distribuzioni in rapidità di leptoni da W e Z (o rapporti di distribuzioni) sono strumento sensibile alle incertezze delle PDF



Livello generatore

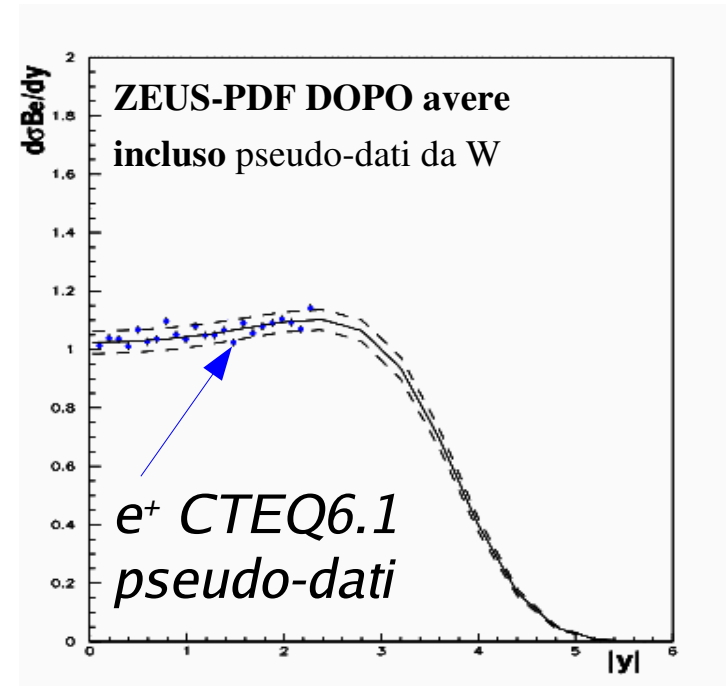
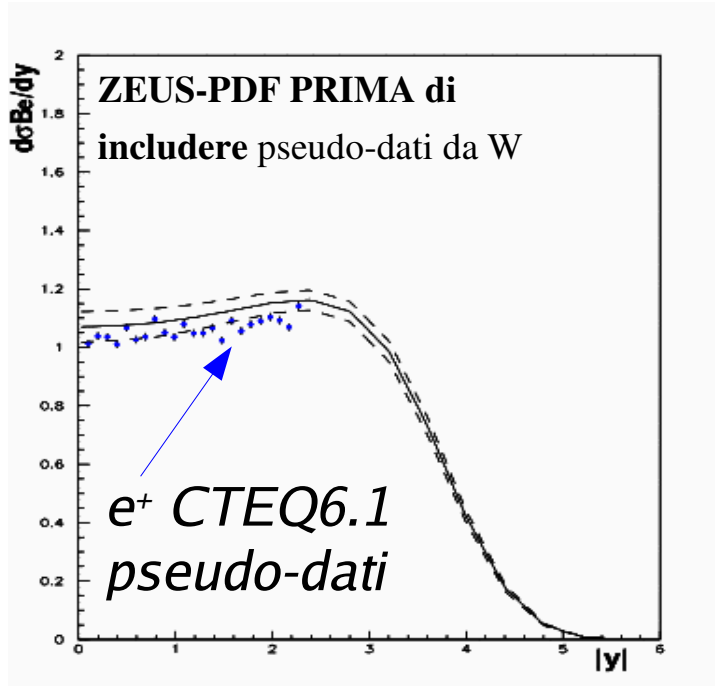
Con simulazione del rivelatore (ATLAS) + selezioni

✓ *incertezza PDF ~ 8% @  $y=0$*



# Potenziale di ATLAS per vincoli alle PDF

- $10^6$  eventi  $W \rightarrow e\nu$  generati con set PDF CTEQ6.1 + simulazione completa del rivelatore ATLAS
- fit globale di pdf (ZEUS) includendo le distribuzioni di rapidità dei leptoni ottenute da questi “pseudo-dati”



- $\lambda_g$ , parametro che controlla la pdf del gluone a basso x:  $xg(x) \sim x^{\lambda_g}$ 
    - ✓ prima :  $\lambda_g = -0.199 \pm 0.046$
    - ✓ dopo :  $\lambda_g = -0.196 \pm 0.029$
- riduzione dell'errore ~35%**  
(in qualche giorno di presa dati a bassa luminosità)

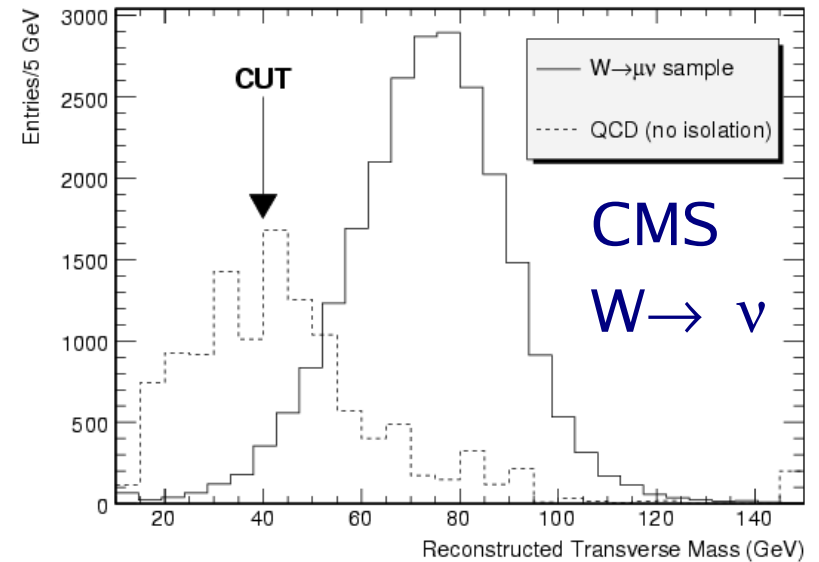
# Misura di *rates* di W e Z

CMS NOTE 2006/082

- una tra le prime misure
- precisione su  $\sigma$  con  $L = 1 \text{ fb}^{-1}$

$$\Delta\sigma/\sigma(pp \rightarrow Z+X \rightarrow \mu\mu+X) = 0.13(\text{stat.}) \pm 2.3(\text{sist.}) \pm 10(\text{lum.}) (\%)$$

$$\Delta\sigma/\sigma(pp \rightarrow W+X \rightarrow \mu\nu+X) = 0.04(\text{stat.}) \pm 3.3(\text{sist.}) \pm 10(\text{lum.}) (\%)$$



Source	Uncertainty (%)
Tracker efficiency	0.5
Muon efficiency	1
Magnetic field knowledge	0.05
Tracker alignment	0.84
Trigger efficiency	1.0
Transverse missing energy	1.33
Pile-up effects	0.32
Underlying event	0.24
Total exp.	2.2
PDF choice (CTEQ61 sets)	0.9
ISR treatment	0.24
$p_T$ effects (LO to NLO)	2.29
Total PDF/ISR/NLO	2.5
Total	3.3

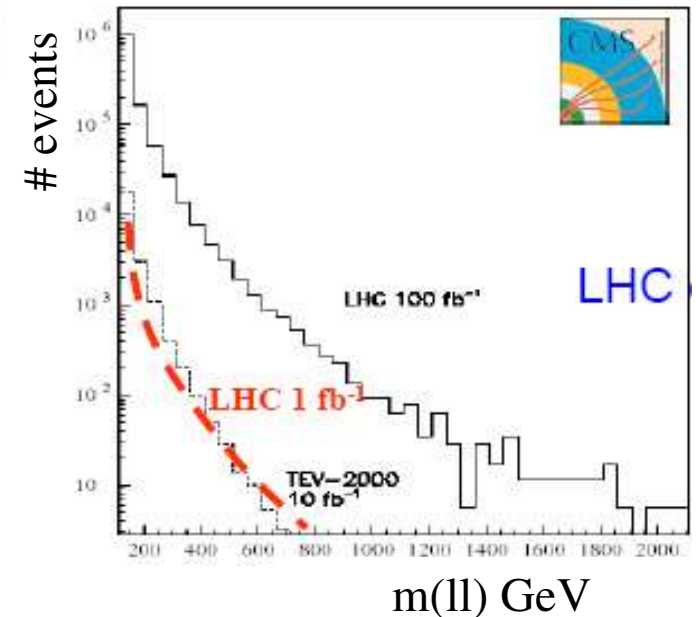
$$\frac{N_s - N_{bkg}}{\epsilon} = \sigma_{ab \rightarrow X} \otimes PDF(x_1, x_2, Q^2) \times L_{pp}$$

- misura di *rates* può essere reinterpretata come monitor di luminosità, a un livello del 6-7%

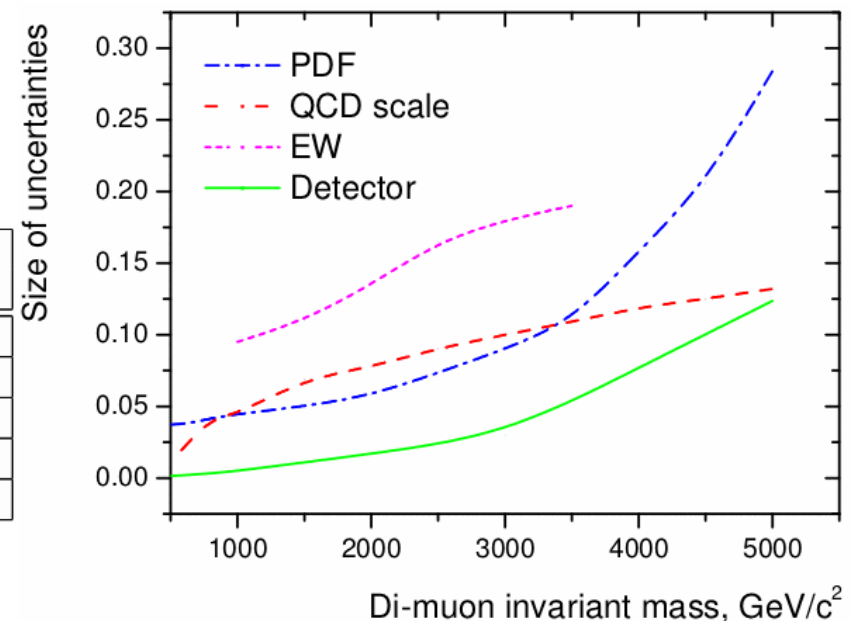


# Produzione di coppie di leptoni(Drell-Yan)

- studio della produzione di coppie di leptoni fino a masse invarianti molto elevate
- possibilità di trovare effetti di nuova fisica come risonanze sul continuo Drell-Yan
- incertezze sistematiche dominanti nella stima della sezione d'urto sono teoriche
- per  $M(l^+l^-) > 2 \text{ TeV}$  domina l'errore statistico anche per  $100 \text{ fb}^{-1}$



$M_{\mu^+\mu^-}$	Cross section fb	Detector smearing	Statistical $1 \text{ fb}^{-1}$	Statistical $10 \text{ fb}^{-1}$	Statistical $100 \text{ fb}^{-1}$
$\geq 200 \text{ GeV}/c^2$	$2.76 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^{-4}$	0.025	0.008	0.0026
$\geq 500 \text{ GeV}/c^2$	$1.07 \cdot 10^2$	0.0014	0.11	0.035	0.011
$\geq 1000 \text{ GeV}/c^2$	6.61	0.0049	0.37	0.11	0.037
$\geq 2000 \text{ GeV}/c^2$	$2.4 \cdot 10^{-1}$	0.017		0.56	0.18
$\geq 3000 \text{ GeV}/c^2$	$1.9 \cdot 10^{-2}$	0.029			0.64



# Misura di $A_{FB}$ e $\sin^2\theta_W$

- $A_{FB} = b (a - \sin^2\theta_{\text{lep}}^{\text{eff}})$  con  $A_{FB} = \frac{\sigma_F - \sigma_B}{\sigma_F + \sigma_B}$

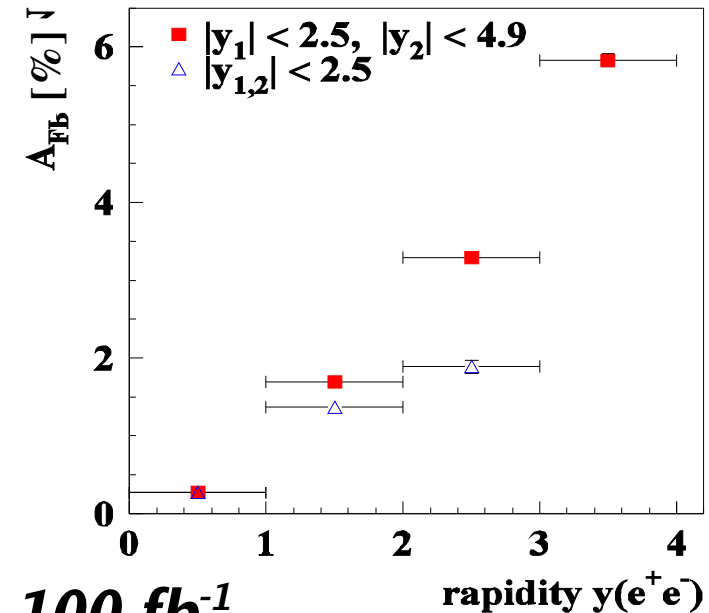
$$\sigma_{F \pm B} = \left[ \int_0^1 \pm \int_{-1}^0 \cdot \right] \sigma_{ll} d\cos(\theta)$$

- **collisioni pp sono simmetriche**

→ asimmetria rispetto alla direzione del quark dedotta dalla direzione del sistema  $ll$

(assumendo  $x(q) > x(\bar{q})$ )

→ misura più sensibile ad alte rapidità,  $|y(ll)| > 1$



$L = 100 \text{ fb}^{-1}$

- **cruciale il controllo degli errori sistemati !!!**

- **PDFs**
- accettazione e efficienza di ricostruzione dei leptoni
- correzioni QCD e elettrodeboli a ordini più alti

selezione rapidità leptoni	errore statistico $A_{FB}$	errore statistico $\sin^2\theta_{\text{lep}}^{\text{eff}}$
$ y(e^\pm)  < 2.5$	$3.0 \times 10^{-4}$	$4 \times 10^{-4}$
$ y(e_1)  < 2.5,  y(e_2)  < 4.9$	$2.3 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-4}$

*precisione attuale:  $\delta(\sin^2\theta_{\text{lep}}^{\text{eff}}) = 1.6 \times 10^{-4}$*

# Misura di $M_W$ : motivazioni

$$M_W = \sqrt{\frac{\pi\alpha}{G_F\sqrt{2}}} \cdot \frac{1}{\sin\theta_W\sqrt{1-\Delta r}} \rightarrow f(m_{top}^2, \log(M_H))$$

- test del Modello Standard combinata con la misura di precisione di  $m_{top}$  e con una misura diretta della massa dell'Higgs

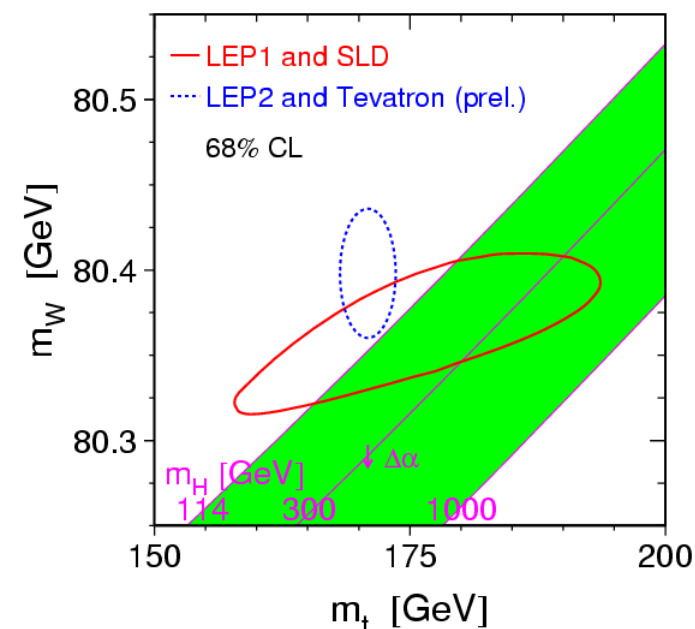
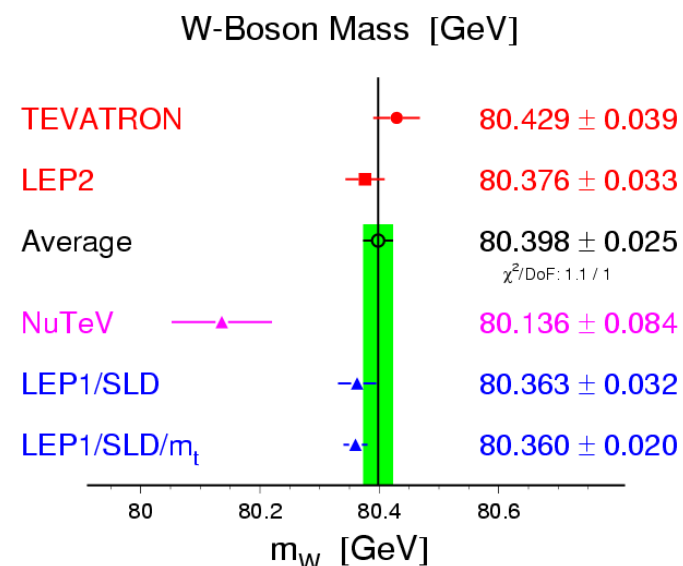
- uguali contributi all'incertezza su  $M_H$  se

$$\Delta M_W \sim 0.7 \times 10^2 \Delta m_{top}$$

- LHC:  $\Delta m_{top} < 2 \text{ GeV} \Rightarrow \Delta M_W < 15 \text{ MeV}$

→ *constrain* su  $M_H \sim 30\%$

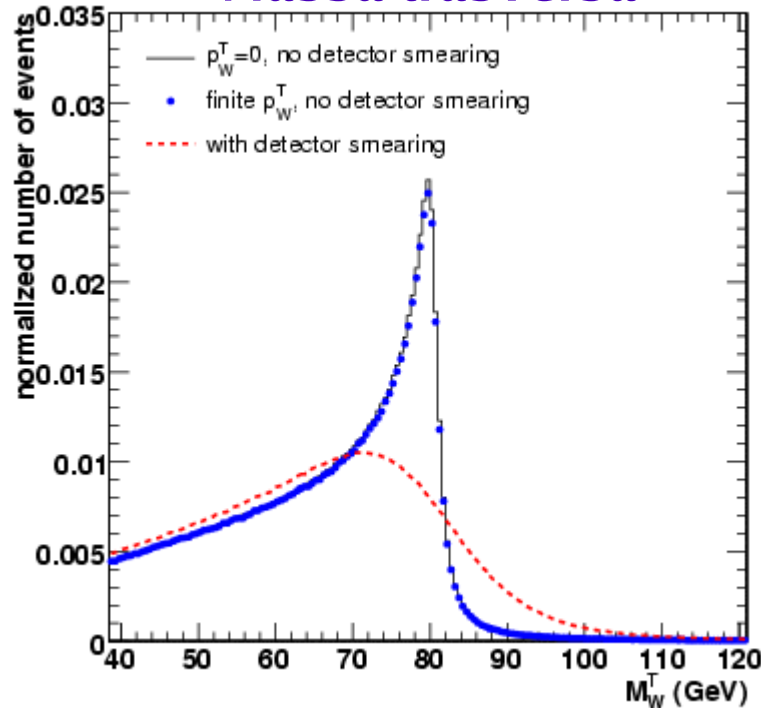
- Tevatron + LEP2 :  $\Delta M_W = 25 \text{ MeV}$   
Tevatron Run 2: attesi  $\Delta M_W \sim 25\text{-}30\text{ MeV}$   
con  $2 \text{ fb}^{-1}$



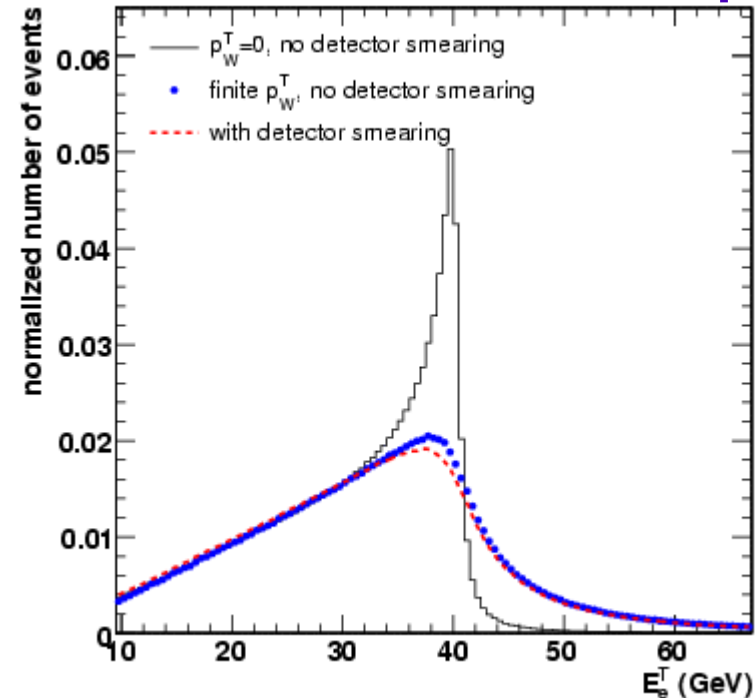
# Osservabili sensibili a $M_W$

Studio di decadimenti leptonici  $W \rightarrow lv$ , con  $l = e, \mu$

## Massa trasversa



## Momento trasverso del leptone

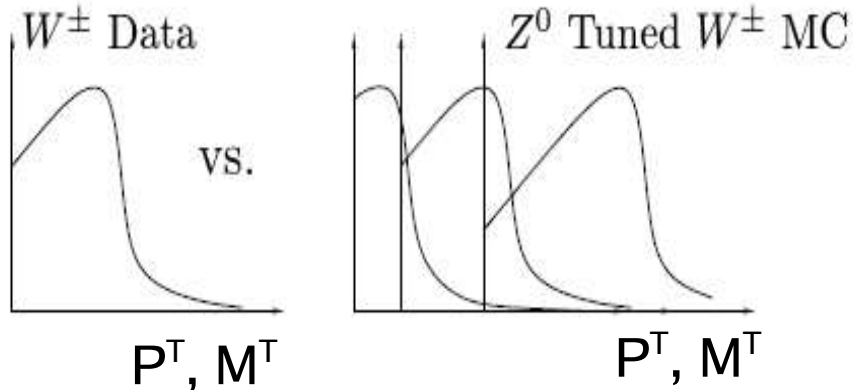


- $M^T = \sqrt{2 p_l^T p_\nu^T (1 - \cos \theta_{lv})}$
- poco sensibile a  $p^T(W)$
- sensibile a effetti di rivelatore (*missing  $E^T$* )

- minore impatto da effetti di rivelatore
- sensibile a  $p^T(W)$

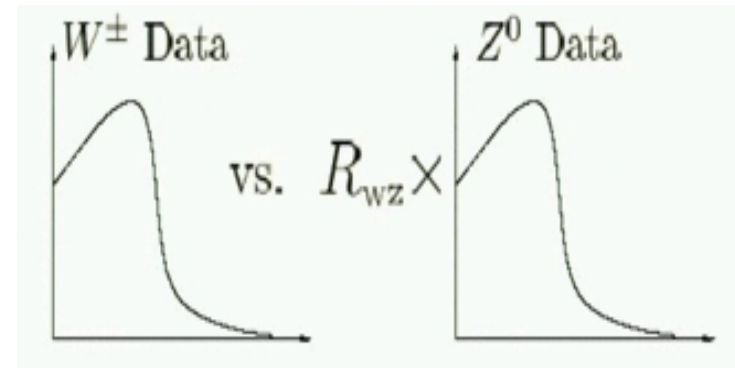
# Misura di $M_W$ : due diversi approcci

## Metodo tradizionale (vedi Tevatron)



- fit dei dati da W data con **campioni MC** generati per diversi valori di  $M_W$
- richiede una eccellente modellizzazione di
  - fisica
  - rivelatore

## Metodo del rapporto W/Z

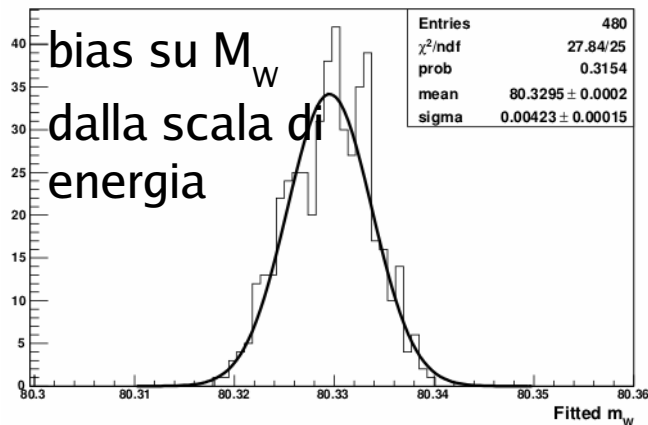


- uso di **eventi di Z** scalati con  $M_W/M_Z$  come riferimenti
- a Tevatron limitato dalla statistica di Z disponibile, applicabile a LHC!
- le incertezze comuni si cancellano nel rapporto

# Metodo tradizionale (ATLAS)

- analisi dello spettro di massa trasversa, decadimenti  $W \rightarrow e\nu$
- maggiore sorgente di incertezza strumentale: **scala di energia/momento dei leptoni**
- **controllo di scala e risoluzione con eventi di  $Z \rightarrow ee$**

→ precisione sulla scala **assoluta** di massa  **$5 \times 10^{-5}$**  (con  $10 \text{ fb}^{-1}$ )



source of uncertainty	$\Delta M_W$ for $10 \text{ fb}^{-1}$ e-channel, $M^T$ (MeV)
<b>Statistics</b>	< 2
Background	5
E-p scale	15 (4*)
E-p resolution	5 (<1*)
Recoil model	5
<b>Total instrumental</b>	<b>&lt;20 (&lt;10)</b>
PDF	< 10
W width	7
Radiative decays	< 10
pT(W)	5
<b>Total</b>	<b>&lt;25</b>

hep-ph/0003275

\*ATLAS-PUB-2006-007

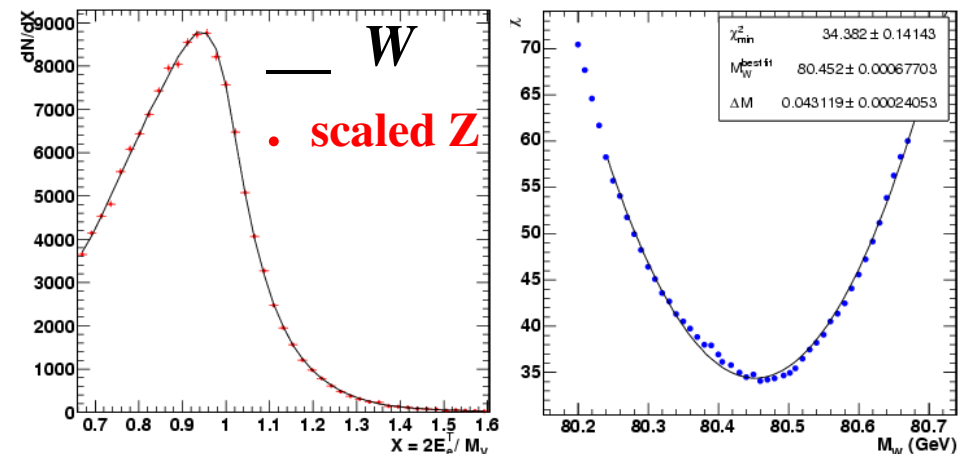
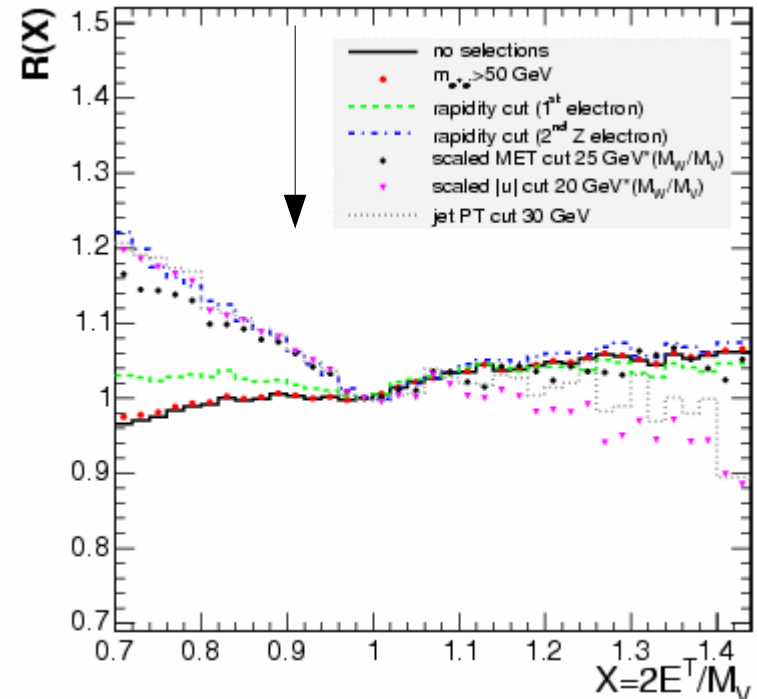
# Il metodo delle “osservabili scalate” (I)

CMS NOTE 2006/061

- l'idea: T. Giele, S. Keller, PR D57 (1998)
- trattare Z come W (ignorando un leptone) e fit di W con eventi di Z scalati con

$$R(X) = \frac{d\sigma^W/dX_W}{d\sigma^Z/dX_Z} \quad X = \frac{M_V^T}{M_V}, \frac{p_{lept}^T}{M_V}$$

- R(X) dalla teoria + correzioni aggiuntive per selezioni e effetti di rivelatore
- incertezze comuni *sperimentali e teoriche* ridotte
  - cancellazione delle incertezze dovute all'emissione di gluoni soffici  $\Rightarrow$  il metodo diventa rilevante per una analisi con lo spettro in momento trasverso del leptone





# Il metodo delle “osservabili scalate” (II)

CMS NOTE 2006/061

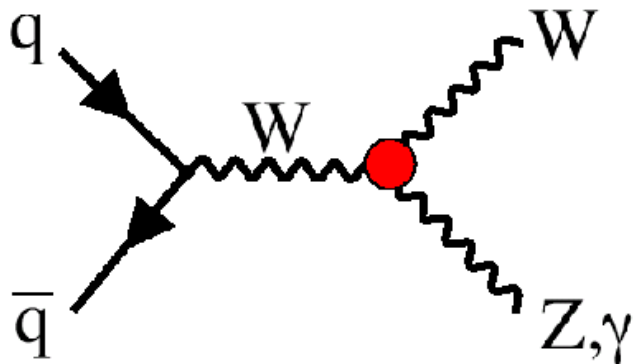
- precisione statistica:
  - limitata dal numero di Z
- **errore sperimentale ridotto**
  - richieste di precisione meno stringenti:  
es.: **0.25%** sulla scala di energia  
sufficiente per  $\Delta M_W < 10 \text{ MeV}$
- *incertezza da  $p^T(W)$  ridotta, ma ancora il fattore limitante per  $10 \text{ fb}^{-1}$* 
  - *stima preliminare con DYRAD + studi in corso con MC@NLO*
  - *$R(X)$  calcolato per diverse scale di fattorizz./rinorm.  $\Rightarrow \Delta M_W < 30 \text{ MeV}$*
  - *può essere ridotto dai calcoli NNLO*
- prospettive per  $1 \text{ fb}^{-1}$   
40 MeV (stat.) + 40 MeV (det. sist.) +  
20 MeV (PDFs) + errore teorico da  $p^T(W)$

$\Delta M_W$  with  $10 \text{ fb}^{-1}$

source of uncertainty	scaled $E^T$ e-channel $M_W$ (MeV)
Statistics	15
Background	2
Lepton E-p scale	< 10
E-p resolution	2
Recoil	< 10
<b>Total instrumental</b>	<b>&lt; 20</b>
PDF	< 10
W width	< 10
$p^T(W)$	< 30

# Produzione di coppie di bosoni e TGC (I)

## Vertici $WW\gamma$ e $WWZ$

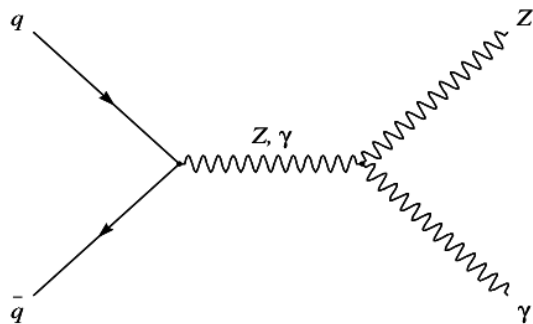


- accoppiamenti carichi
- 5 parametri (tutti = 0 nel SM):

$$\underbrace{\Delta g^1_z, \Delta \kappa_z, \Delta \kappa_\gamma}_{\sim \sqrt{s}}, \quad \underbrace{\lambda_z, \lambda_\gamma}_{\sim s}$$

effetto amplificato  
all'energia di LHC

## Vertici $ZZ\gamma$ e $Z\gamma\gamma$



- accoppiamenti neutri
- non esistono nello SM al *tree level*
- effetto di questi accoppiamenti  $\sim s^{3/2} \text{ o } s^{5/2}$

Deviazioni dal Modello Standard sono signature di nuova fisica

# Produzione di coppie di bosoni e TGC (II)

- potenzialità di osservare produzione di coppie di bosoni già nelle prime fasi ( $L = 1 \text{ fb}^{-1}$ )

es: produzione di WZ:

97 evt. di segnale, 31 evt. di fondo

- con luminosità più elevate: miglioramento dei limiti sugli accoppiamenti anomali

95% C.L.  $30 \text{ fb}^{-1}$

ATL-PHYS-2002-022  
ATL-PHYS-2002-023

$$-0.0035 < \lambda_\gamma < +0.0035$$

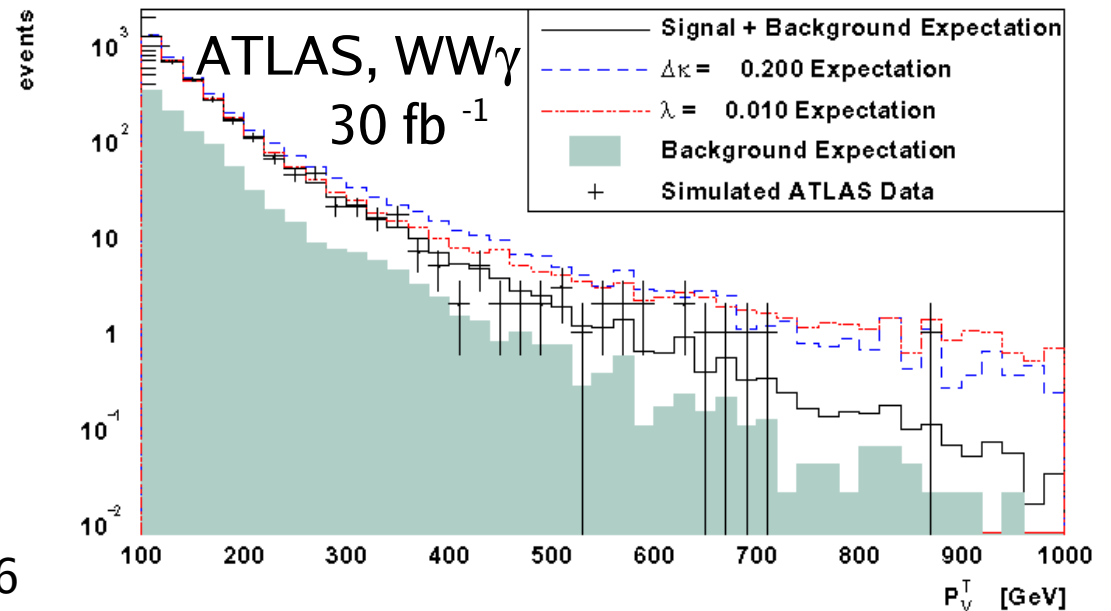
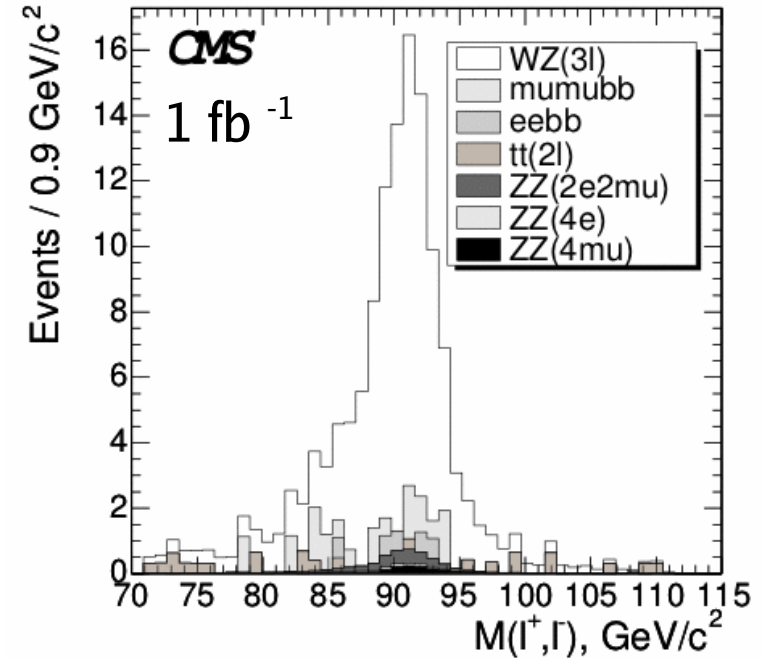
$$-0.0073 < \lambda_Z < +0.0073$$

$$-0.075 < \Delta\kappa_\gamma < +0.076$$

$$-0.11 < \Delta\kappa_Z < +0.12$$

$$-0.0086 < \Delta g^1_\gamma < +0.011$$

LEP:  $\Delta\kappa_\gamma$  -0.105,+0.069;  $\lambda_\gamma$  -0.059,+0.026



# Conclusioni

---

- alta statistica di W e Z disponibile a LHC
- eventi di W e Z essenziali nella fase iniziale per
  - comprendere e calibrare i rivelatori
  - adattare i MonteCarlo (v. PDFs)
- misure con W, Z
  - *rates* e sezioni d'urto (totali e differenziali)
  - misure di precisione:  $M_W$ 
    - sfruttare diversi metodi, diversi canali, diverse osservabili per raggiungere il *goal* di 15 MeV ( $10 \text{ fb}^{-1}$ )
  - con luminosità integrate maggiori:
    - ♦  $A_{\text{FB}}$ ,  $\sin^2\theta_{\text{eff}}^{\text{lep}}$  ( $100 \text{ fb}^{-1}$ )
    - ♦ possibilità di migliorare limiti su TGCs ( $30 \text{ fb}^{-1}$ )