

Produzione di W/Z e misura delle loro proprietà

Marco Musich¹ Nicola Orlando²

¹ INFN sez. di Torino

² INFN sez. di Lecce, CERN, Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi", Università del Salento

VI Workshop Italiano sulla Fisica p-p a LHC, Genova, 8-10 Maggio 2013



1 *Produzione inclusiva di bosoni W/Z*

2 *W/Z + jets*

3 *W/Z + heavy flavors*

4 *Migliorare "la teoria" usando i dati*

5 *Conclusioni e prospettive*

Sezione d'urto inclusiva di produzione di W/Z

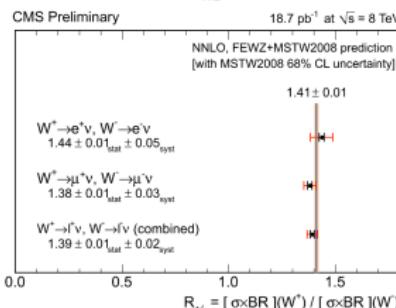
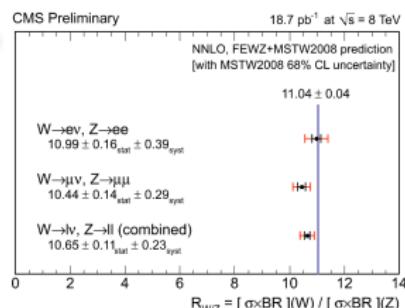
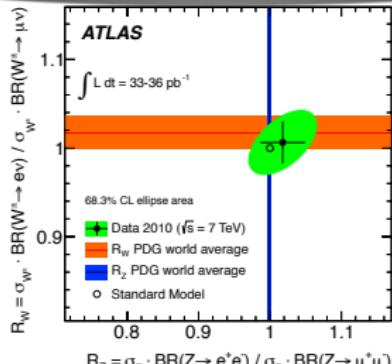
CMS-PAS-SMP-12-011 e Phys. Rev. D 85 (2012) 072004

- Misura di precisione, incertezza sperimentale totale sulle sezioni d'urto $\sim 5\%$,
 - dominata dall'incertezza sulla determinazione della luminosità, $\sim 4\%$.
- Dati ben riprodotti da predizione NNLO QCD (FEWZ).
- Universalità e/μ in decadimenti $W \rightarrow \ell\nu$ testata allo stesso livello di precisione del PDG.

$$R_W = \frac{\sigma_W^e}{\sigma_W^\mu} = \frac{\text{Br}(W \rightarrow e\nu)}{\text{Br}(W \rightarrow \mu\nu)}$$

$$= 1.006 \pm 0.004(\text{sta}) \pm 0.006(\text{unc}) \pm 0.022(\text{cor})$$

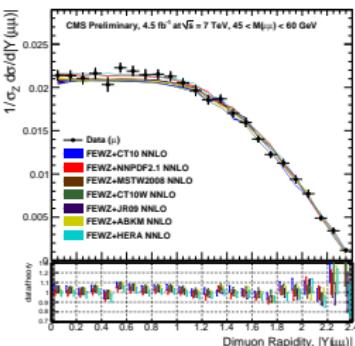
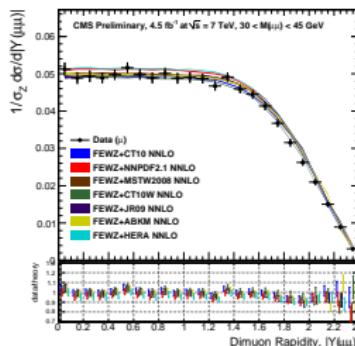
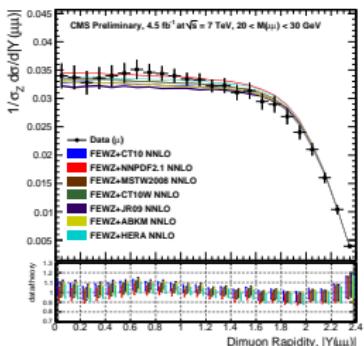
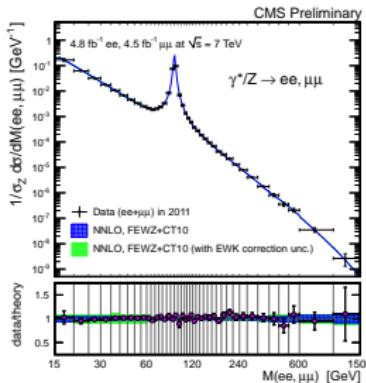
$$= 1.006 \pm 0.024.$$



Drell-Yan

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/PhysicsResultsSMP13003>

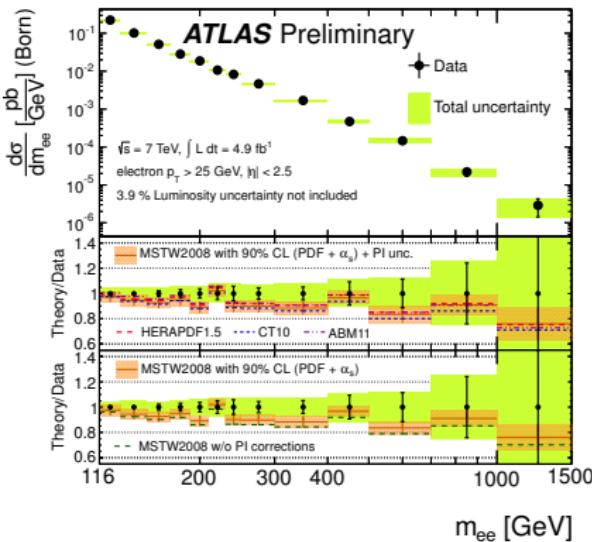
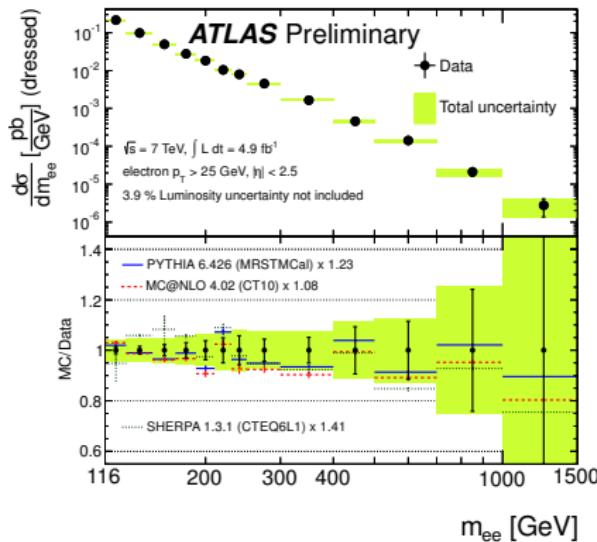
- Misurate distribuzioni differenziali $d\sigma/dM$ e $d\sigma/(dM dY)$ normalizzate alla sezione d'urto nella regione del picco della Z ($60 < M[\text{GeV}] < 120$).
- Dati confrontati su un'ampio intervallo di massa invariante ($[15 \text{ GeV}, 1500 \text{ GeV}]$) alle predizioni QCD al NNLO (FEWz) ed NLO (PowHEG).



Drell-Yan ad alta massa

ATLAS-CONF-2012-159

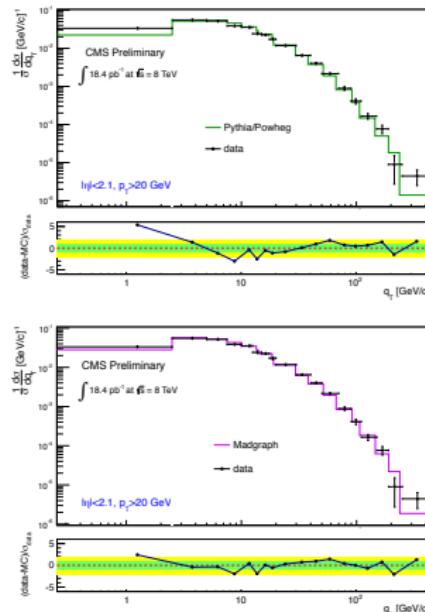
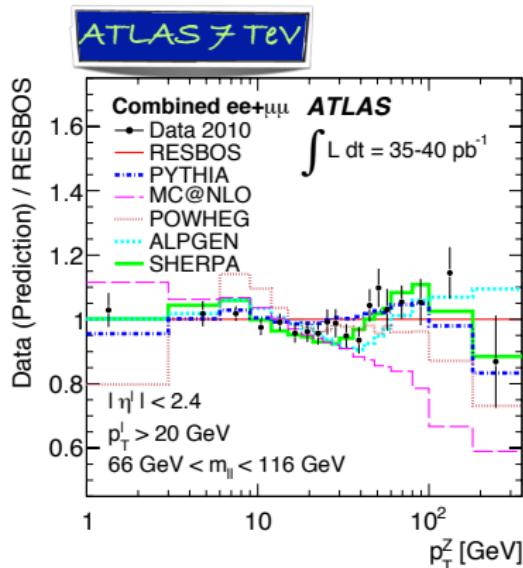
- Drell-Yan ad alta massa invariante, $116 < m_{\ell\ell} [\text{GeV}] < 1500$.
- Sensibile alle funzioni di distribuzione partoniche ad "alto-x"?
 - Necessaria più statistica.
- Dati confrontati con predizioni NNLO QCD (FEWZ) + NLO EW + $\gamma\gamma \rightarrow \ell^+\ell^-$.
 - NLO QCD insufficiente per descrivere in modo accurato i dati.



Impulso trasverso della Z

CMS-PAS-SMP-12-025 e Phys. Lett. B 705 (2011) 415

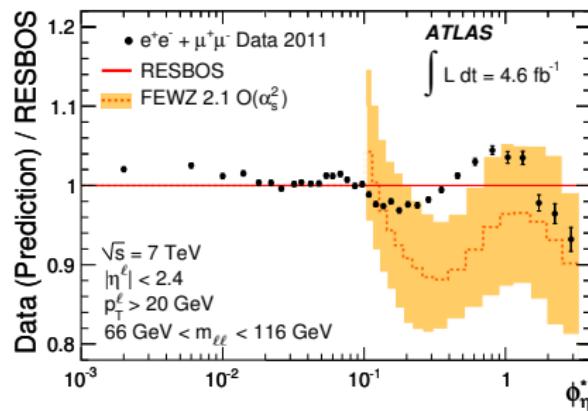
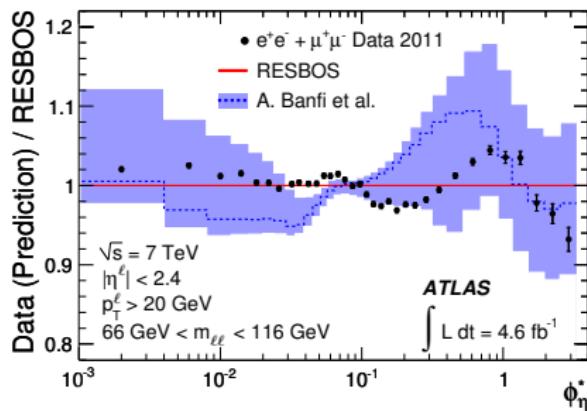
- Misurata la distribuzione dell'impulso trasverso della Z.
- QCD al NLO+NNLL (ResBos) descrive meglio la regione di basso q_T ($\lesssim 10$ GeV); predizioni LO multileg (ALPGEN, MADGRAPH, SHERPA) descrivono bene i dati ad alto q_T ($q_T \gtrsim 20$ GeV).
 - MC@NLO inconsistente con i dati.



Correlazione angolare dei leptoni prodotti in $Z/\gamma^* \rightarrow \ell\ell$

Phys. Lett. B 720 (2013) 32-51

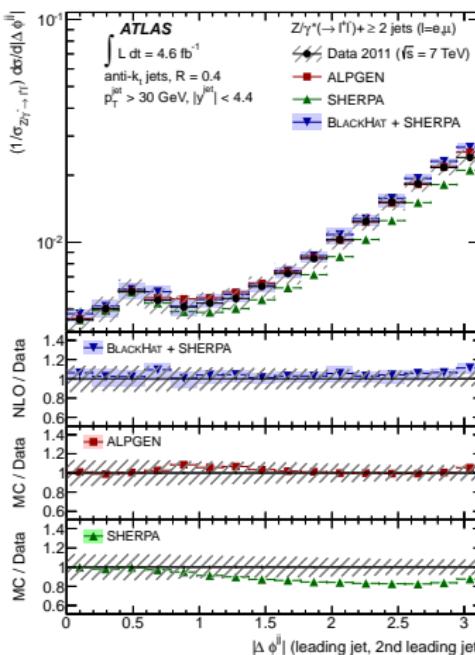
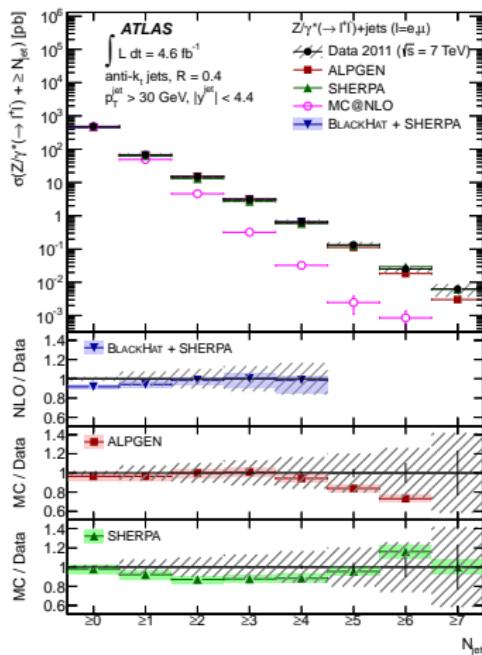
- Correlazione angolare dei leptoni prodotti in $Z/\gamma^* \rightarrow \ell\ell$ è sensibile all'impulso trasverso della Z.
 - Misurare la distribuzione dell'angolo ϕ_η^* :
$$\phi_\eta^* = \tan(\phi_{acop}/2) \sin(\theta_\eta^*)$$
.
 - $\phi_{acop} = \pi - \Delta\phi(\ell^+, \ell^-)$, $\cos(\theta_\eta^*) = \tanh\left[\frac{(\eta(\ell^-) - \eta(\ell^+))}{2}\right]$.
- ϕ_η^* è correlato a p_T^Z ma ha migliore risoluzione a basso impulso trasverso (purità di $\gtrsim 85\%$).
- Dati confrontati alle predizioni NLO+NNLL (ResBos, A. Banfi, et al. Phys. Lett. B 715 (2012) 152), NNLO (FEWZ) e vari generatori MC.
- Incertezze sperimentali (dominate dalla statistica) tipicamente un ordine di grandezza più piccole delle incertezze teoriche.



Produzione associata di jets a bosoni Z/ γ^*

arXiv:1304.7098 [hep-ex]

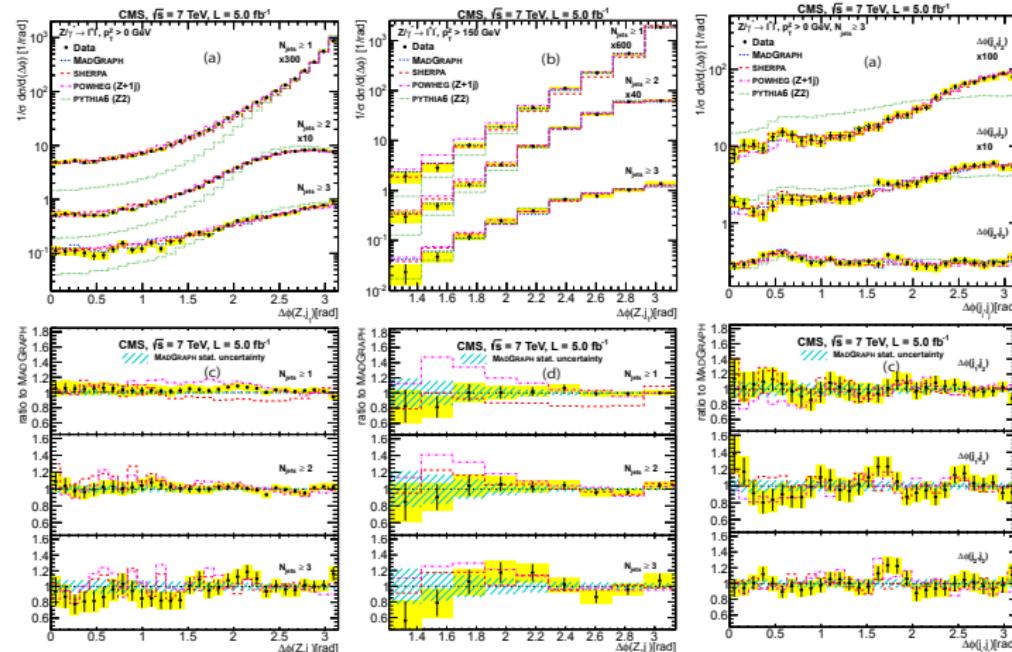
- Dati accuratamente descritti da predizioni LO multileg (ALPGEN, SHERPA) ed NLO multileg (BLACKHAT+SHERPA).
 - Parton shower (HERWIG) in NLO QCD MC (Mc@NLO) insufficiente ad alta molteplicità ($N_{\text{jets}} \geq 3$)



Correlazioni angolari azimutali in eventi con produzione di Z/γ^*+jets

arXiv:1301.1646 [hep-ex]

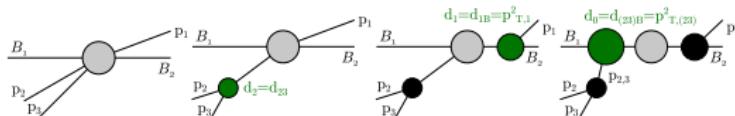
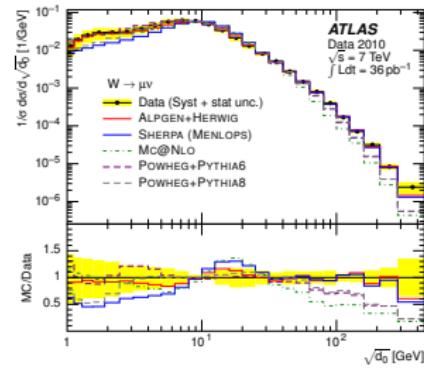
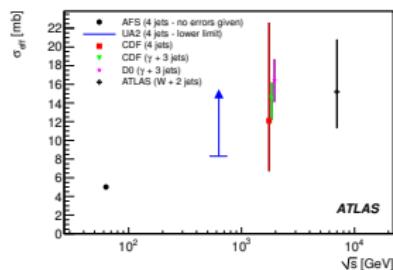
- Distribuzioni angolari azimutali presentate in bin inclusivi di molteplicità di jets.
- Dati confrontati alle predizioni QCD LO multi-leg (MADGRAPH e SHERPA), NLO (POWHEG) ed LO (PYTHIA).



DPI e scale di splitting k_t in $W(\rightarrow \ell\nu) + jets$

[ArXiv:1301.6872](#) and [ArXiv:1302.1415](#)

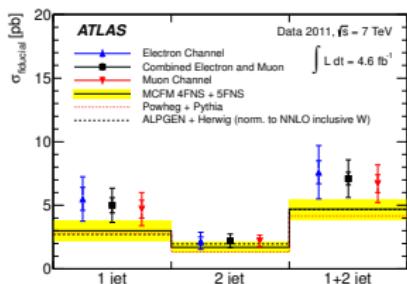
- Misurata la rate di interazioni-partoniche-doppie, DPI, in eventi di $W+2jets$.
- Risultato presentato in termini di parametro d'area efficace (σ_{eff}).
- I dati non evidenziano dipendenza dall'energia del centro di massa della rate di DPI.
- Scale di splitting dell'algoritmo k_t definite rispetto ai costituenti i, j e l'asse del fascio B :
 - $d_{ij} = \min(p_{Ti}^2, p_{Tj}^2) \Delta R_{ij}^2 / R^2$, $d_{iB} = p_{Ti}^2$.
- Limitata sensibilità nella regione soffice delle scale; misurare osservabili definite solo con angoli?



Sezione d'urto di produzione di bosoni W in associazione a b-jets

ArXiv:1302.2929 and CMS-PAS-SMP-12-026

- Sezione d'urto in bin di molteplicità di jets.
 - DPI importante ingrediente della sezione d'urto (35%-20%, in base al numero di b-jets).
- Misura consistente con le predizioni NLO QCD (MCFM) ed LO multi-leg (ALPGEN).

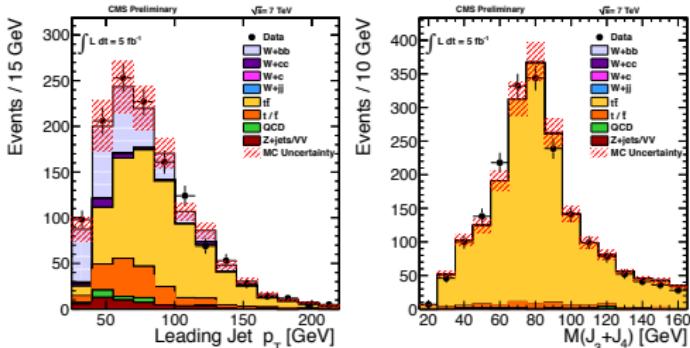


Sezione d'urto misurata

$$\sigma(pp \rightarrow W + b\bar{b}) \times BR(W \rightarrow \mu\nu) = 0.53 \pm 0.05 \text{ (stat.)} \pm 0.09 \text{ (sist.)} \pm 0.06 \text{ (teo.)} \pm 0.01 \text{ (lumi.) pb}$$

Sezione d'urto al NLO QCD (MCFM)

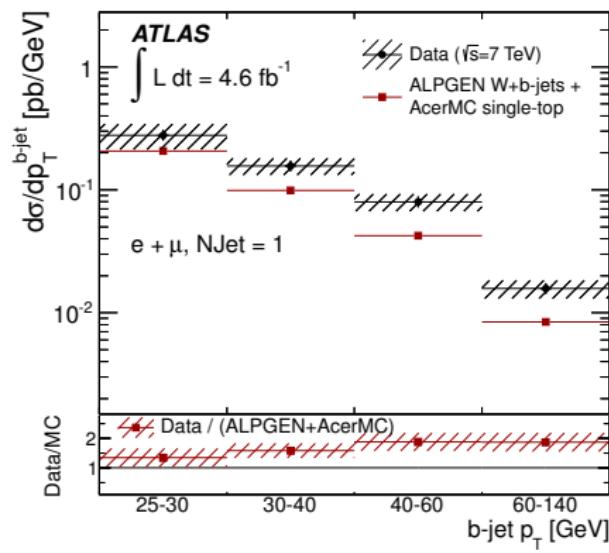
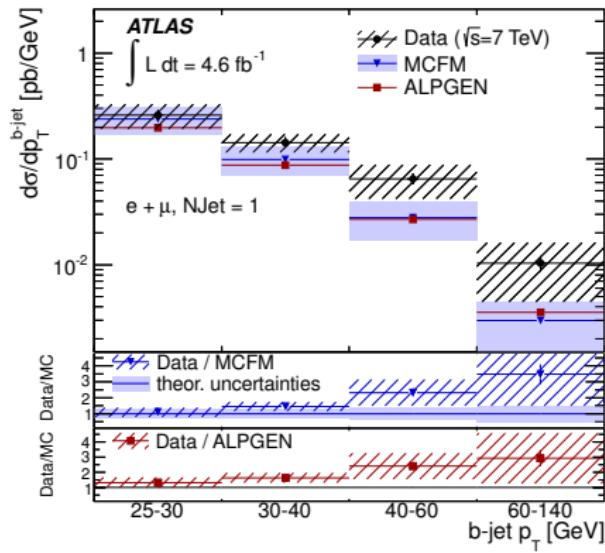
$$\sigma(pp \rightarrow W + b\bar{b}) \times BR(W \rightarrow \mu\nu) = 0.52 \pm 0.03 \text{ pb}$$



Sezione d'urto di produzione di bosoni W in associazione a b-jets

ArXiv:1302.2929 [hep-ex]

- Misura differenziale di sezione d'urto di produzione di b-jets in associazione a bosoni W in bin di p_T del b-jet.
- Segnale "W+b" definito sottraendo (non sottraendo) il contributo di top-singolo, plot a sinistra (destra).

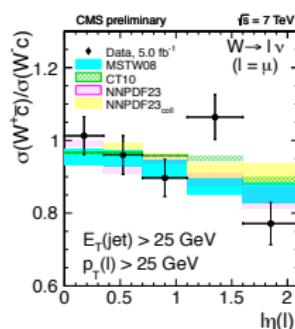
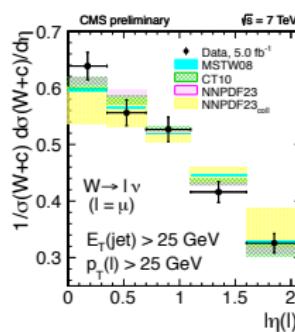
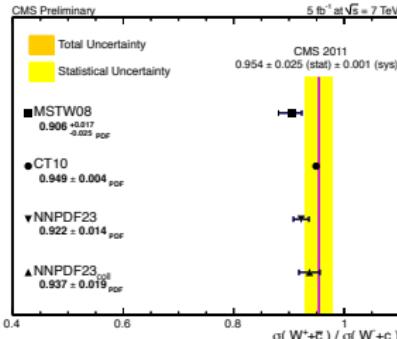


W+charm

CMS-PAS-SMP-12-002

- Misura di sezione d'urto inclusiva di $W^\pm(\rightarrow \ell\nu) + c$ e distribuzione della pseudorapidità dei leptoni carichi prodotti nei decadimenti del W .
 - Jets con adroni charmati identificati attraverso decadimenti adronici esclusivi dei mesoni D^\pm e $D^{*\pm}$ (2010), e decadimenti semileptonici inclusivi.
- Dati confrontati alle predizioni al NLO in QCD (McFM) ottenute con vari sets di PDFs.

$W \rightarrow \mu\nu, p_T^\mu > 25 \text{ GeV}$					
Final state	$(S + B)_{\text{data}}$	S_{data}	$\mathcal{A} \epsilon [\%]$	$\sigma(W + c) [\text{pb}]$	
D^\pm	1502 ± 62	1203 ± 91	11.1 ± 0.3	103.6 ± 7.8 (stat.) ± 8.1 (syst.)	
$D^{*\pm}(2010)$	318 ± 21	309 ± 23	8.5 ± 0.4	116.9 ± 8.7 (stat.) ± 10.0 (syst.)	
$c \rightarrow \mu$	14215 ± 196	9867 ± 237	20.4 ± 0.2	106.5 ± 2.6 (stat.) ± 9.6 (syst.)	
Average				107.7 ± 3.3 (stat.) ± 6.9 (syst.)	

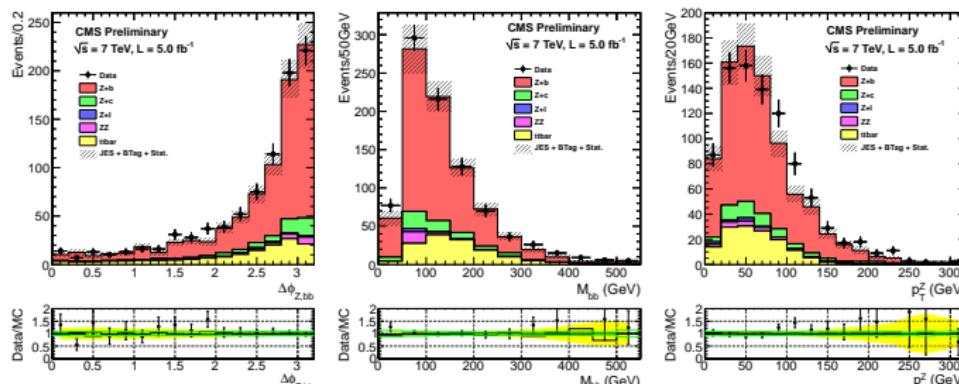


Produzione di bosoni Z in associazione a b-jets

CMS-PAS-SMP-13-004

- Misure di sezioni d'urto inclusive di $Z+b$ e $Z+bb$ confrontate alle predizioni QCD LO multileg nello schema a 4 e 5 flavors (MADGRAPH).
 - I dati "privilegiano" lo schema a 5 flavors.

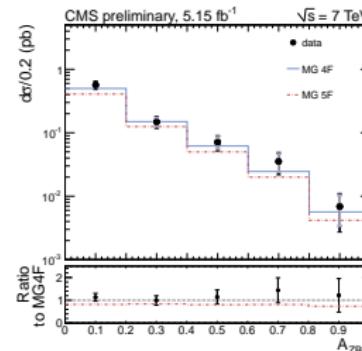
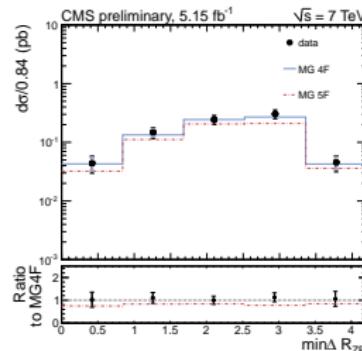
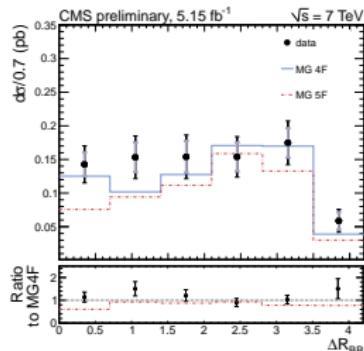
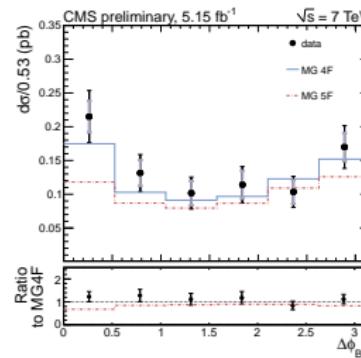
Multiplicity bin	Measured	MadGraph 5F	MadGraph 4F
$\sigma(Z(\ell\ell)+1b)$ (pb)	$3.52 \pm 0.02 \pm 0.20$	3.66 ± 0.02	3.11 ± 0.03
$\sigma(Z(\ell\ell)+2b)$ (pb)	$0.36 \pm 0.01 \pm 0.07$	0.37 ± 0.01	0.38 ± 0.01
$\sigma(Z(\ell\ell)+b)$ (pb)	$3.88 \pm 0.02 \pm 0.22$	4.03 ± 0.02	3.49 ± 0.03
$\sigma(Z(\ell\ell)+b)/\sigma(Z(\ell\ell)+j)$ (%)	$5.15 \pm 0.03 \pm 0.25$	5.35 ± 0.02	4.60 ± 0.03



Produzione di Z e due adroni B: correlazioni angolari

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/PhysicsResultsEWK11015>

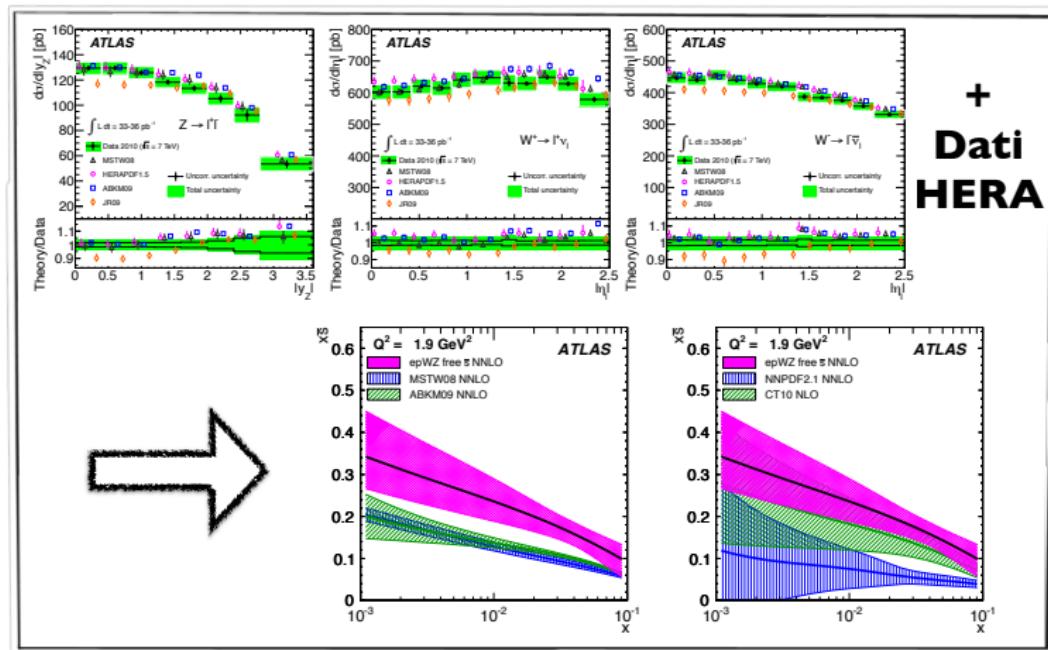
- Correlazioni angolari in eventi con produzione di $Z(\rightarrow \ell\ell)$ e due adroni B.
 - Misura degli adroni B basata sull'identificazione di vertici secondari.
- Predizione QCD LO multileg nello schema a 4 flavors (MADGRAPH) descrive bene i dati.



Uso dei dati di LHC: PDFs fit

Phys. Rev. D 85 (2012) 072004 e *Phys. Rev. Lett. 109 (2012) 012001*

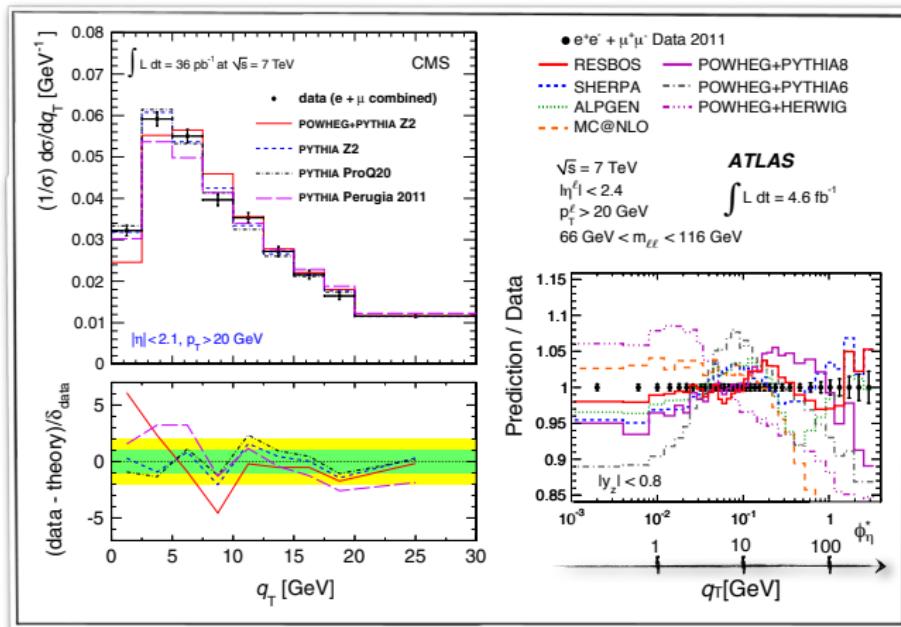
- Misure di sezioni d'urto di produzione di W^\pm/Z usate in combinazione ai dati di HERA per fissare la PDF del quark strane.
- Risultato confrontato alle predizioni di ABKM09, Ct10, MSTW08 ed NNPDF2.1.



Uso dei dati di LHC: MC tuning?

Phys. Lett. B 720 (2013) 32-51 | CMS-PAS-SMP-12-025

- Sensibilità dei dati alla modellizzazione del p_T della Z?
- Usare l'osservabile ϕ^* per tuning di MC?
 - Discussione avviata nel meeting di Les Houches 2011 (si guardi slides [Tuning WG report](#))



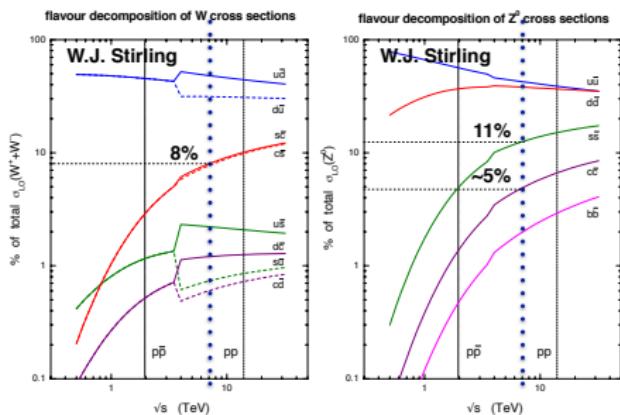
Conclusioni e prospettive

- ATLAS e CMS hanno studiato in dettaglio la produzione di bosoni di gauge W^\pm/Z misurando una grande varietà di osservabili in molteplici topologie.
- "Ottimizzare" le misure per derivare informazioni sulle PDF o per tuning di MC:
 - misure doppio-differenziali per fit di PDF?
 - fissare simultaneamente le PDF dei quark charm e strange alle sezioni d'urto inclusive W^\pm/Z ?
 - usare ϕ^* per tuning di generatori (nella regione di basso q_T dei bosoni vettori)?
 - misurare distribuzioni angolari.
- Prospettive a breve/lungo termine?
 - Investire più lavoro sull'interpretazione dei dati pubblicati o in fase di pubblicazione: W^\pm/Z inclusivo, Z+b, W+c.
 - Misure più esclusive e misure di precisione.

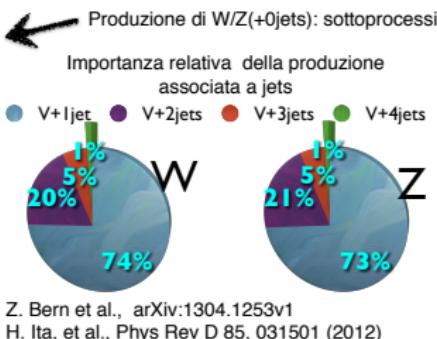
Backup



Produzione di W/Z ad LHC



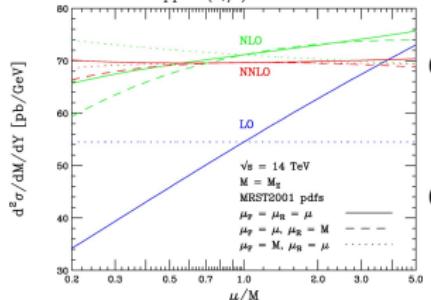
Produzione di bosoni W/Z al LO



Dipendenza dalle scale di fattorizzazione/rinormalizzazione

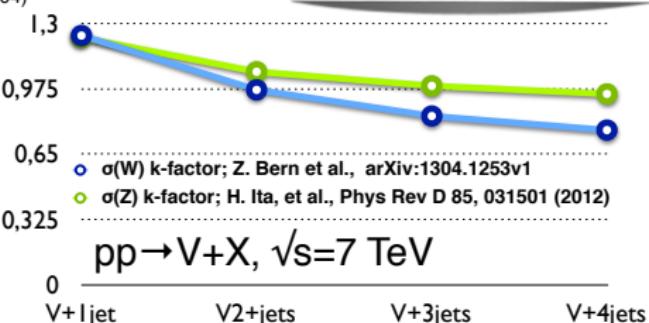
C. Anastasiou et al., Phys Rev D 69, 094008 (2004)

$pp \rightarrow (Z, \gamma^*) + X$ at $Y=0$



... e k-factors

Oltre l'approssimazione LO



Sistematiche, due esempi

CMS-PAS-SMP-12-011

e ArXiv:1302.2929 [hep-ex]

W/Z

canale elettronico

Source	W^+	W^-	W	W^+/W^-	Z	W/Z
Lepton reconstruction & identification	2.8%	2.5%	2.5%	3.8%	2.8%	3.8%
Momentum scale & resolution	0.4%	0.7%	0.5%	0.3%	-	0.5%
E_T^{miss} scale & resolution	0.8%	0.7%	0.8%	0.3%	-	0.8%
Background subtraction / modeling	0.2%	0.3%	0.3%	0.1%	0.4%	0.5%
Total experimental	3.0%	2.7%	2.7%	3.8%	2.8%	3.9%
Theoretical uncertainty	2.1%	2.6%	2.7%	1.5%	2.6%	2.0%
Lumi	4.4%	4.4%	4.4%	-	4.4%	-
Total	5.7%	5.8%	5.8%	4.1%	5.8%	4.4%

W+b

Fiducial cross-section [pb]

1 jet 2 jet 1+2 jet

σ_{fid}	5.0	2.2	7.1
Statistical uncertainty	0.5	0.2	0.5
Systematic uncertainty	1.2	0.5	1.4

Breakdown of systematic uncertainty [%]

Jet energy scale	15	15	15
Jet energy resolution	14	4	8
b-jet efficiency	6	4	5
c-jet efficiency	1	1	0
light-jet efficiency	1	3	2
ISR/FSR	4	8	3
MC modelling	8	4	6
Lepton resolution	1	1	0
Trigger efficiency	1	2	2
Lepton efficiency	1	2	1
E_T^{miss} scale	3	6	2
E_T^{miss} pile-up	2	2	2
b-jet template	3	5	4
c-jet template	4	2	3
light-jet template	0	0	0
Multijet template	2	2	2
Total syst. uncertainty	24	23	20

canale muonico

Source	W^+	W^-	W	W^+/W^-	Z	W/Z
Lepton reconstruction & identification	1.0%	0.9%	1.0%	1.2%	1.1%	1.5%
Momentum scale & resolution	0.3%	0.3%	0.3%	0.1%	-	0.3%
E_T^{miss} scale & resolution	0.5%	0.5%	0.5%	0.1%	-	0.5%
Background subtraction / modeling	0.2%	0.1%	0.1%	0.2%	0.4%	0.4%
Total experimental	1.2%	1.1%	1.2%	1.2%	1.2%	1.7%
Theoretical uncertainty	2.0%	2.5%	2.2%	1.4%	1.9%	2.5%
Lumi	4.4%	4.4%	4.4%	-	4.4%	-
Total	5.0%	5.2%	5.1%	1.8%	4.9%	3.0%

Hard double-parton interactions in $W \rightarrow \ell\nu + 2\text{jets}$ events

ArXiv:1301.6872

- Testing double-parton-interactions, DPI, in $W+2\text{jets}$ measuring the fraction of DPI ($f_{DPI}^{(D)}$) and the effective parameter area (σ_{eff}).
 - The measurement procedure exploit the assumption of factorization of DPI dynamic.

$$f_{DPI}^{(D)} = \frac{N_{W(0j) + 2j(DPI)}}{N_{W+2j}} \quad \sigma_{eff} = \frac{N_{W(0j)}}{f_{DPI}^{(D)} N_{W+2j}} \cdot \frac{N_{2j}}{\mathcal{L}_{2j} \epsilon_{2j}}$$

- Extract from data $f_{DPI}^{(D)}$ by a fit to the distribution $\Delta_{jets}^n = \frac{\vec{p}_T^{j1} + \vec{p}_T^{j2}}{|\vec{p}_T^{j1}| + |\vec{p}_T^{j2}|}$.
 - Δ_{jets}^n proved to be robust against jet-related systematics.
- No dependence on the CM energy has been observed for DPI.

