

# Misure di precisione dei rapporti di decadimento del bosone $W$ con l'esperimento CMS



Relatore: Paolo Azzurri  
Candidato: Giulio Cordova

2 Dicembre 2021

# Motivazione

Verifica del principio di  
**Universalità Leptonica**



Accoppiamento dei bosoni di  
gauge con i leptoni  
**indipendentemente dal loro  
sapore**

Verifica di altri aspetti dello SM

**Matrice CKM**

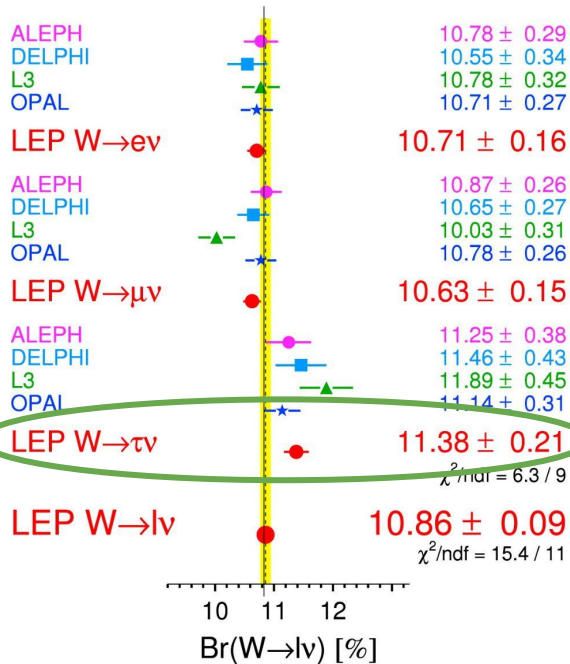
**Costante  $\alpha_s(m_W)$**

- unitarietà delle prime due righe
- elemento  $|V_{cs}|$

accoppiamento forte alla scala di massa del W

# I risultati di LEP

## W Leptonic Branching Ratios

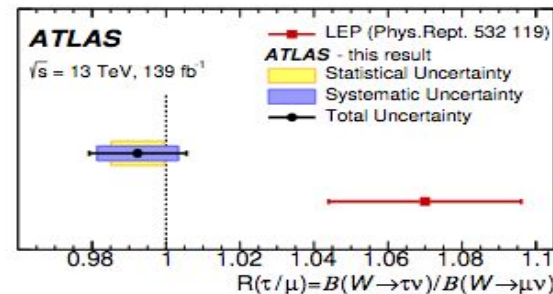


$$R_{\tau/\ell} = \frac{2\mathcal{B}(\tau)}{\mathcal{B}(e) + \mathcal{B}(\mu)} = 1.066 \pm 0.025$$

# Misure a LHC

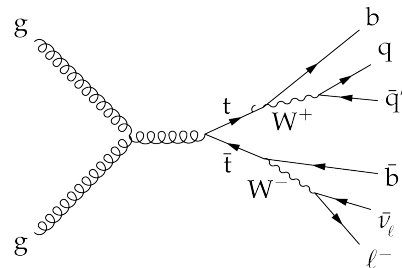
## ATLAS

Distribuzione del parametro d'impatto del muone: misura del rapporto  $R_{\tau/\mu}$

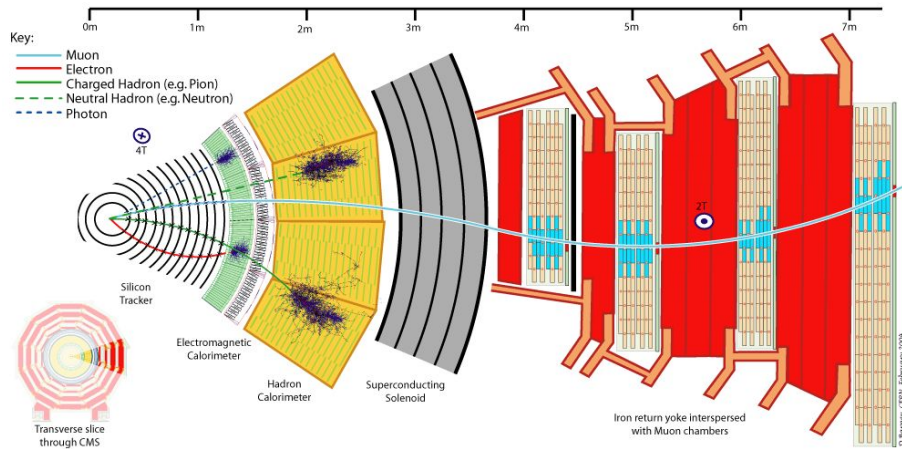


## CMS

Studio completo dei decadimenti di coppie di top con leptoni da collisioni pp a 13 TeV a 35.9 fb<sup>-1</sup> Run 2016



# Il rivelatore CMS e la ricostruzione delle particelle con Particle Flow (PF)



**Trigger online:** singolo elettrone  $p_T^e > 27 \text{ GeV}$   
 singolo muone  $p_T^\mu > 30 \text{ GeV}$

I  $\tau$  sono solo quelli che decadono adronicamente  
 (es.  $\tau \rightarrow \pi^- \nu_\tau$ ,  $\tau \rightarrow \pi^- \pi^0 \nu_\tau$ ...)

## Categorizzazione offline degli eventi

a seconda del numero di jet, jet b-tagati e leptoni

**Getto (Jet):**

Candidati PF clusterati in un cono di raggio  $\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2} = 0.4$

pseudorapidità:

$\eta = -\log(\tan(\theta/2))$   $\theta$  angolo polare

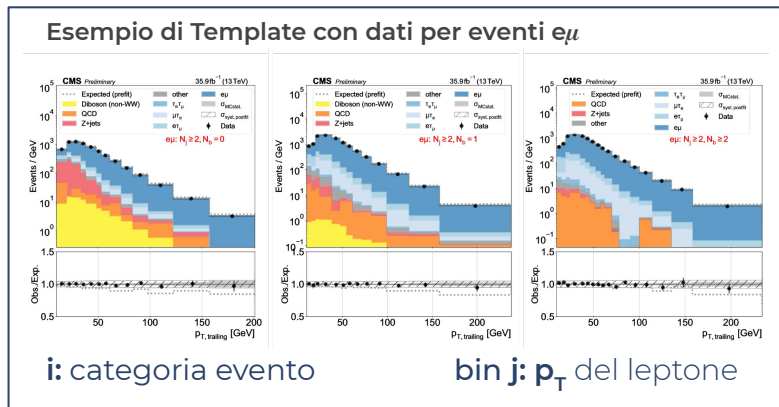
**b-tagging:**

Con l'individuazione di un vertice secondario si tagga il getto come proveniente da quark b

	$N_j = 0$	$N_j = 1$	$N_j = 2$	$N_j = 3$	$N_j \geq 4$
$N_b = 0$	$e\tau, \mu\tau, e\mu$	$e\tau, \mu\tau, e\mu$	$e\tau, \mu\tau, ee, \mu\mu, e\mu$		
$N_b = 1$		$e\tau, \mu\tau, e\mu$	$e\tau, \mu\tau$	$e\tau, \mu\tau$	
			$ee, \mu\mu, e\mu$		
				$eh, \mu h$	
$N_b \geq 2$			$e\tau, \mu\tau$	$e\tau, \mu\tau$	
			$ee, \mu\mu, e\mu$		
				$eh, \mu h$	

# Estrazione delle Branching Fraction

## Fit MLE dei dati su Template Monte Carlo



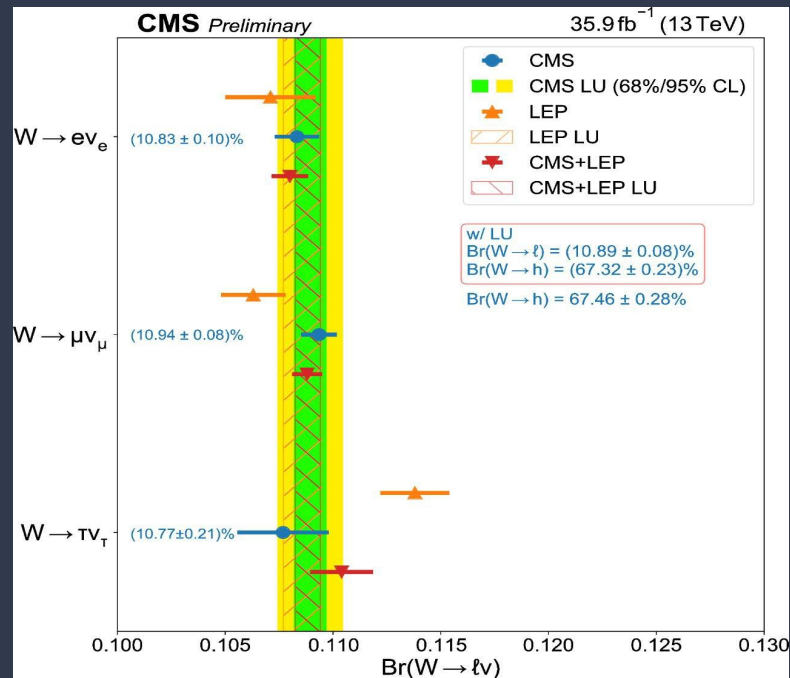
**Segnale:**  $t\bar{t}b\bar{b}$ ,  $tW$ ,  $WW$ ,  $W$  + jets

**Background:**  $Z$  + jets e altri multibosoni  
multijet QCD (dai dati)

Variando le BF  $\beta$  e i Nuisance Parameters  $\theta$  si minimizza la **Negative Log Likelihood**

$$L(\beta, \theta) = \sum_{i \in \text{channel}} \sum_{j \in \text{bins}} \left[ -y_{ij} \ln f_{ij}(\beta, \theta) + f_{ij}(\beta, \theta) \right] + \sum_{\theta \in \theta} \pi(\theta)$$

## Risultati e confronto con LEP



$Br(W \rightarrow e \nu_e)$   $Br(W \rightarrow \mu \nu_\mu)$  più precise rispetto a LEP  
 $Br(W \rightarrow \tau \nu_\tau)$  ha incertezza simile

Le misure di CMS sono statisticamente più precise

# Valori numerici e risultati di CMS

Rapporto  
fra le  
**Branching  
Fraction**

	CMS	LEP	ATLAS
$R_{\mu/e} = \mathcal{B}(W \rightarrow \mu \bar{\nu}_\mu) / \mathcal{B}(W \rightarrow e \bar{\nu}_e)$	$1.009 \pm 0.009$	$0.993 \pm 0.019$	–
$R_{\tau/e} = \mathcal{B}(W \rightarrow \tau \bar{\nu}_\tau) / \mathcal{B}(W \rightarrow e \bar{\nu}_e)$	$0.994 \pm 0.021$	$1.063 \pm 0.027$	–
$R_{\tau/\mu} = \mathcal{B}(W \rightarrow \tau \bar{\nu}_\tau) / \mathcal{B}(W \rightarrow \mu \bar{\nu}_\mu)$	$0.985 \pm 0.020$	$1.070 \pm 0.026$	$0.992 \pm 0.013$
$R_{\tau/\ell}$	$1.002 \pm 0.019$	$1.066 \pm 0.025$	–

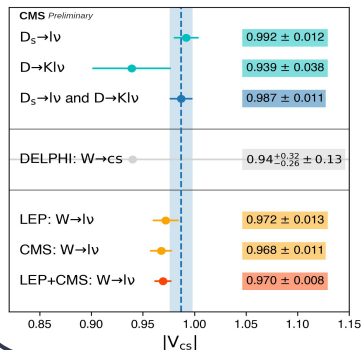
**Universalità Leptonica**  
verificata con buona  
precisione

Con le **BF adroniche** si possono calcolare  
altre costanti del Modello Standard

$$\frac{\mathcal{B}(W \rightarrow h)}{1 - \mathcal{B}(W \rightarrow h)} = \left(1 + \frac{\alpha_S(m_W^2)}{\pi}\right) \sum_{\substack{i=(u,c), \\ j=(d,s,b)}} |V_{ij}|^2 = 2.060 \pm 0.021$$

Matrice  
CKM

Elemento  $|V_{cs}|$



**CMS**

$$|V_{cs}| = 0.969 \pm 0.011$$

**D or  $D_s$  decays**

$$|V_{cs}| = 0.987 \pm 0.011$$

**stessa precisione delle  
misure dirette**

Costante  
coupling  
forte

**Unitarietà CKMII**

$$\sum_{ij} |V_{ij}|^2 = 1.989 \pm 0.021$$

**ottima  
precisione**

**Costante coupling forte**

**CMS**

$$\alpha_S(m_W^2) = 0.094 \pm 0.033$$

**world average**

$$\alpha_S(m_W^2) = 0.1202 \pm 0.0010$$

in linea con  
misure  
precedenti  
ma con  
**precisione  
minore**

# Studi con Monte Carlo ttbar di CMS

## per la classificazione di leptoni prompt

### Spettro dell'impulso trasverso



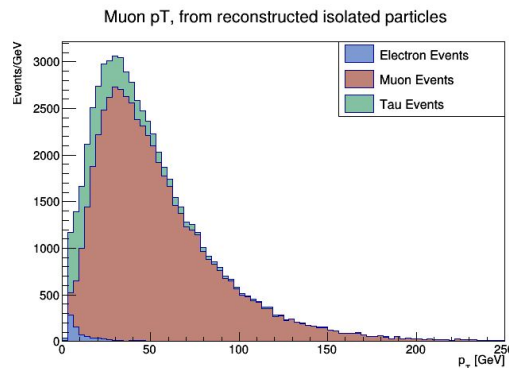
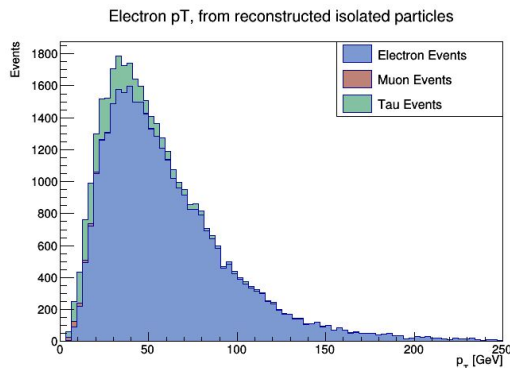
fondamentale per la misura di rate di Tau

### Distribuzione del parametro di impatto



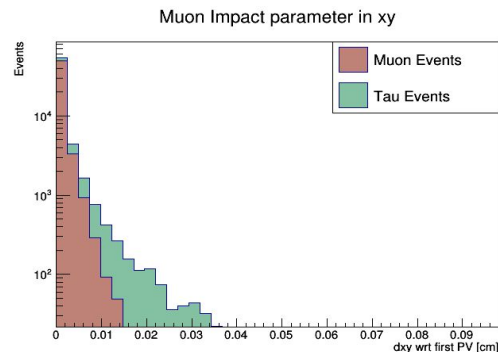
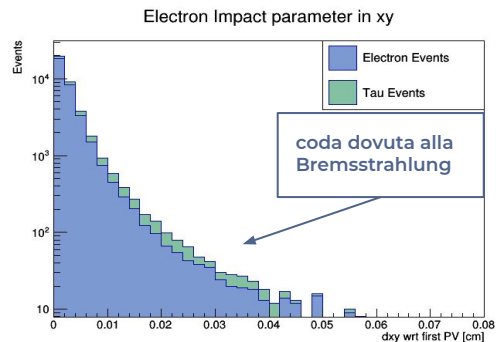
non usato nell'esperimento CMS

### Sommario



### spettro dell'impulso $p_T$

Elettroni e Muoni decaduti da Tau hanno  $p_T$  minore rispetto a quelli decaduti direttamente dal bosone W



### parametro d'impatto $d$ invariante relativistico

Elettroni e Muoni da Tau hanno  $d$  maggiore a causa della vita media dei Tau

I decadimenti del bosone W forniscono un **ottimo test** per alcuni aspetti dello SM, in particolare l'ipotesi **LU**. Con Monte Carlo ho riprodotto template per lo **spettro dell'impulso** e del **parametro d'impatto**, non analizzato da CMS.

# Grazie a tutti per l'attenzione

CMS Collaboration, “A *precision measurement of the W boson decay branching fractions in pp collisions at  $\sqrt{s}=13$  TeV*”, CMS-PAS-SMP-18-011

ATLAS Collaboration, “*Test of the universality of  $\tau$  and  $\mu$  lepton couplings in W-boson decays from  $t\bar{t}$  events with the ATLAS detector*”, (7, 2020).

