

# Ricerca di neutrini pesanti composti di Majorana all'esperimento CMS a LHC

Roberto Leonardi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Università di Perugia

April 20, 2017

- Modelli compositi
- Il neutrino pesante di Majorana nei modelli compositi
- Analisi CMS sul neutrino pesante composito di Majorana

# Modelli compositi per quark e leptoni

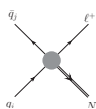
- La composizione di quark e leptoni è un possibile scenario oltre il modello standard
- Se quark e leptoni sono compositi ci si aspetta
  - Stati eccitati di quark e leptoni
  - **Interazione di contatto**: una interazione residua della dinamica interna
- In genere si introducono i parametri:
  - $m^*$ : massa degli stati eccitati
  - $\Lambda$ : scala di energia alla quale la dinamica interna diviene manifesta

Tra i modelli compositi consideriamo il **modello di simmetria di isospin debole**

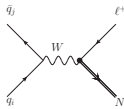
- Indaga la composizione dei fermioni attraverso la simmetria di isospin debole
- Non fa riferimento alla dinamica interna
- analogia con l'isospin forte  $\rightarrow$  predizione degli stati adronici prima della scoperta di quark e gluoni

# Produzione e decadimento del Neutrino composto di Majorana

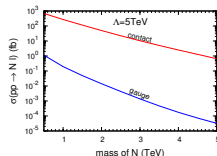
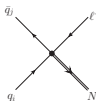
Consideriamo il processo  $pp \rightarrow \ell N \rightarrow \ell \ell q q$



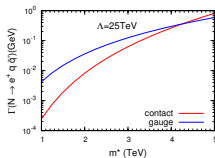
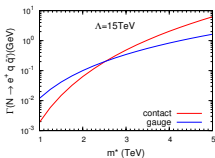
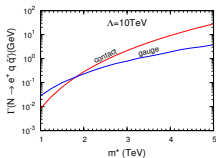
=



+

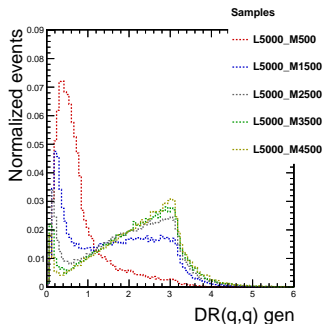
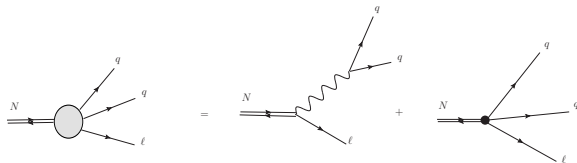


Nella produzione l'interazione di contatto domina



Nel decadimento l'interazione dominante cambia a seconda di massa e  $\Lambda$

# Topologia del decadimento di $N$



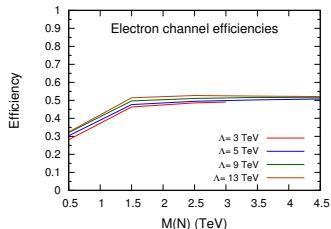
- **Gauge:** I due quark tendono a sovrapporsi  
⇒ producono un “large-radius jet” nello stato finale
- **Contact:** I due quark sono prodotti senza correlazioni spaziali.  
⇒ Si ricostruiscono due jet, che sono ancora “large-radius jet” a causa della sovrapposizione con radiazione di stato finale (vedi backup)

Nella selezione chiediamo 2 leptoni e almeno un large-radius jet

# Selezione della regione di segnale

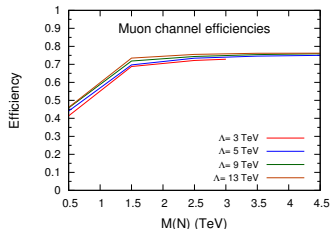
## electron channel

- HLT\_Ele105\_CaloldVT\_GsfTrkIdT
- 2 elettroni (HEEP V6.1)  
 $pT(e1) > 110$ ,  $pT(e2) > 35$  GeV,  
 $|\eta(e)| < 2.4$
- $M(e, e) > 300$  GeV
- $\geq 1$  large-radius Jet (J)  
(Tight slimmedJetsAK8,  $DR(\ell, J) > 0.8$ )  
 $pT > 190$  GeV,  $|\eta| < 2.4$



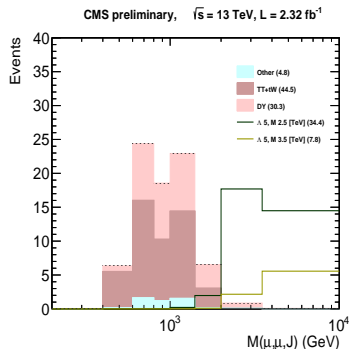
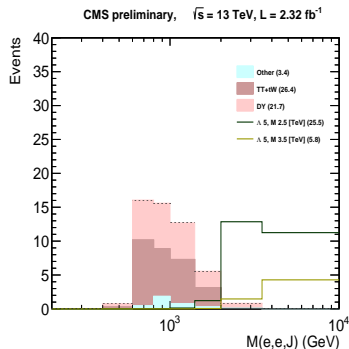
## muon channel

- HLT\_Mu50
- 2 muoni (High-pt and Loose TrkIso)  
 $pT(\mu1) > 53$ ,  $pT(\mu2) > 30$  GeV,  
 $|\eta(\mu)| < 2.4$
- $M(\mu, \mu) > 300$  GeV
- $\geq 1$  large-radius Jet (J)  
(Tight slimmedJetsAK8,  $DR(\ell, J) > 0.8$ )  
 $pT > 190$  GeV,  $|\eta| < 2.4$



# Variabile per l'estrazione del segnale

Per l'estrazione del segnale è usata  $M(\ell, \ell, J)$



- La variabile può separare efficacemente segnale e fondo
- $DY$ ,  $t\bar{t}$  e  $tW$  sono i fondi più rilevanti,  $QCD$ ,  $W + Jets$ ,  $WW$ ,  $WZ$ ,  $ZZ$  contribuiscono in misura minore

## Stima dei fondi

- $DY$ : Il MC nella regione di segnale è stato pesato per un fattore dati/MC misurato intorno al picco della  $Z$  ( $M_{\ell\ell} \in [80, 100] \text{ GeV}$ )
- $QCD$ : Stimato da leptoni poveramente identificati e moltiplicati per un peso legato alla probabilità di identificare un jet come un leptone
- $t\bar{t} + tW$ : Si prende  $M(\ell, \ell, J)$  da una regione di controllo  $e\mu$  e si normalizza alla regione di segnale con un fattore  $N_{SR}/N_{CR}$  valutato dal MC
- $W + Jets, WW, WZ, ZZ$  presi dal MC

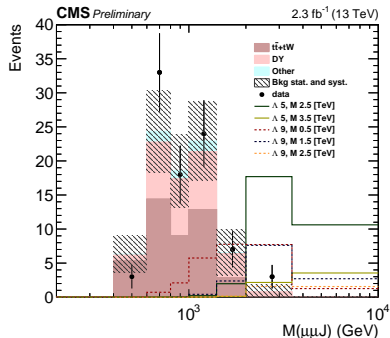
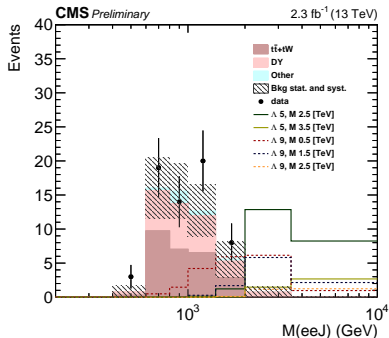


# Incertezze sistematiche

Le incertezze sistematiche sono state calcolate per ogni bin, qui sono mostrati solo valori medi

Systematic	Method	$eejj$		$\mu\mu jj$	
		Bkg	Sig	Bkg	Sig
Luminosity	Value for 2015 data ( <a href="#">Click here</a> )	2.7	2.7	2.7	2.7
Pileup	Varying the value 69000 $\mu b$ of miniBiasXsec of 5%	4	2	4	1
Trigger & Electron ID	Scale factors are varied by the uncertainties measured <a href="#">here</a>	1	2	1	-
Trigger & Muon ID	Scale factors are varied by the uncertainties measured <a href="#">here</a>	2	-	6	10
Electron energy scale/resolution	energy is varied as in other RunII EXO analysis <a href="#">CMS-PAS-EXO-15-002</a>	3	2	2	-
Muon pT scale/resolution	pT is varied according to the indications <a href="#">here</a>	2	-	4	3
JER	JER are varied by the uncertainties measured <a href="#">here</a>	2	0.4	2	0.4
JEC	JEC are varied by the uncertainties measured <a href="#">here</a>	3	1	4	1
Background	From Control Regions and scale factors	15	-	15	-
Theoric	Calculated relying on the <a href="#">PDF4LHC prescription</a>	8	-	8	-

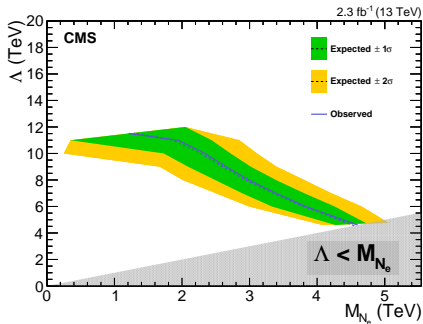
# Confronto fra dati e attese



Non è stata trovata alcuna evidenza di nuova fisica

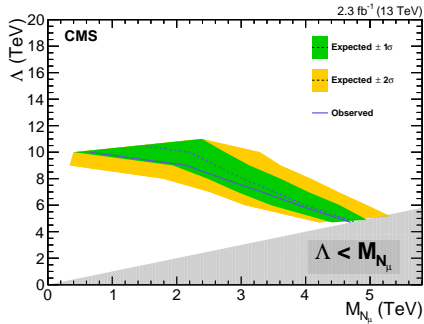
# Limiti nello spazio dei parametri

## Limite per il canale elettronico



$$\Lambda = M_{N_e}: 4.60 \text{ TeV}$$

## Limite per il canale muonico



$$\Lambda = M_{N_\mu}: 4.70 \text{ TeV}$$

# Conclusioni

- È stato introdotto un modello composito con neutrini pesanti di Majorana, con interazioni di gauge e di contatto.
- È stata fatta una analisi su dati CMS nei canali  $eeqq$  e  $\mu\mu qq$ , ma la topologia del decadimento ci fa preferire la selezione con due leptoni e almeno un large-radius jet, invece che due jet.
- Non c'è evidenza di nuova fisica. Sono state tracciate le curve di esclusione nello spazio dei parametri  $(m^*, \Lambda)$ . Nel caso  $\Lambda = m^*$  si hanno limiti sulla massa pari a 4.60 TeV nel canale elettronico e 4.70 TeV nel canale muonico.
- Questa è la prima analisi che considera neutrini pesanti di Majorana da modelli compositi.

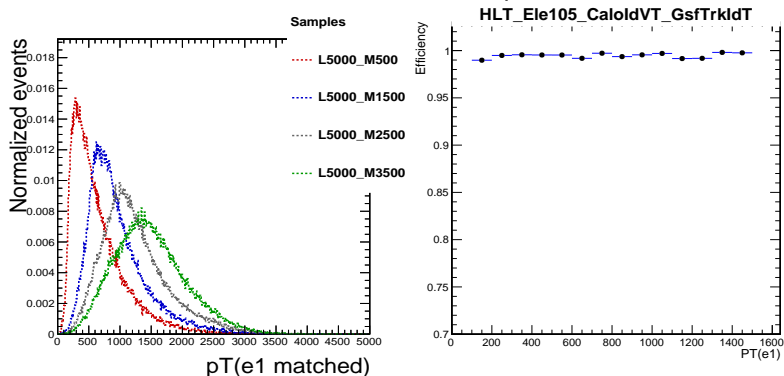
# Backup slides

## Eccesso nel canale $eejj$ nel nostro modello

- Nel nostro modello è possibile avere l'eccesso nel canale  $eejj$  e non nel canale  $\mu\mu jj$  assumendo che lo stato muonico sia eccitato più pesante dello stato elettronico eccitato
- È anche possibile considerare la predominanza di coppie leptoniche di segno opposto su quelle di stesso segno. Due possibili spiegazioni:
  - processi che danno solo segni opposti:  $pp \rightarrow e^+ L^{--} \rightarrow e^+ e^- jj$ ,  
 $pp \rightarrow e^- L^{++} \rightarrow e^- e^+ jj$
  - esistenza di un neutrino addizionale con una massa un po' differente, l'interferenza tra i due stati può diminuire le coppie con lo stesso segno. ([arXiv:1508.02277 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/1508.02277) , [arXiv:1509.05387 \[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/1509.05387) )

# Scelta del trigger per il canale elettronico

Abbiamo a che fare con elettroni ad alto  $p_T$

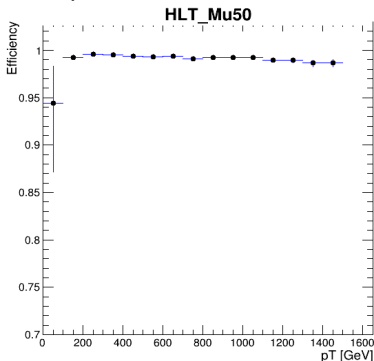
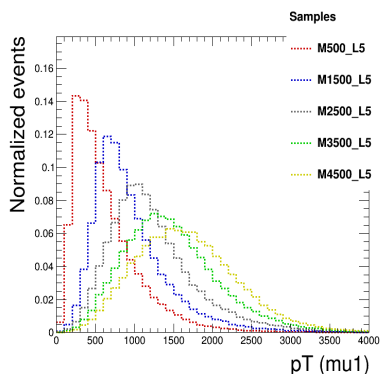


Usiamo

- HLT\_Ele105\_CalIdVT\_GsfTrkIdT
- 2 elettroni (HEEP V6.0)  
 $p_T(e1) > 110$ ,  $p_T(e2) > 35$  GeV,  $|\eta(e)| < 2.4$

# Scelta del trigger per il canale muonico

Abbiamo a che fare con muoni ad alto  $p_T$



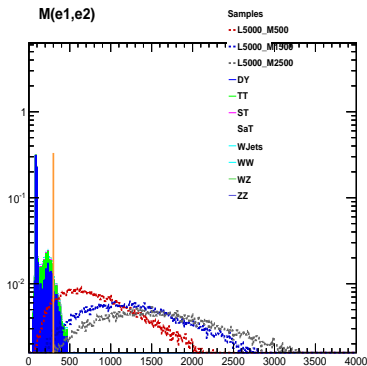
Usiamo

- HLT\_Mu50
- 2 muoni (High-pt e Loose TrkIso)  
 $p_T(\mu_1) > 53$ ,  $p_T(\mu_2) > 30$  GeV,  $|\eta(\mu)| < 2.4$



## Eventi di segnale nella regione ad alta massa

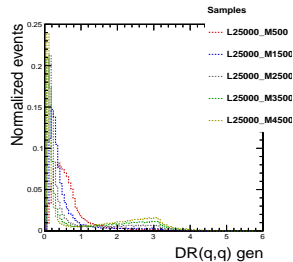
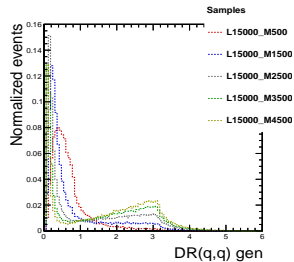
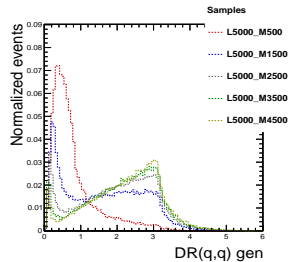
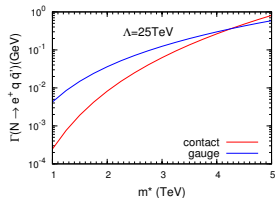
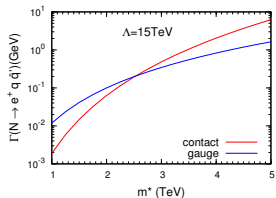
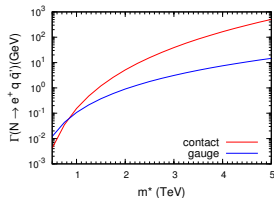
Ci aspettiamo che il segnale competa con il fondo nella regione ad “alta massa” → guardiamo alla distribuzione della massa dei due leptoni



Selezioniamo eventi per i quali  $M(\ell_1, \ell_2) > 300$  GeV

# Topologia del decadimento di $N$

Sono comparate le ampiezze di decadimento per diversi  $\Lambda$  con i  $DR(q, q)$



## Radiazione vicino ai quark

Mass (GeV)	Fraction of events with gluons close to q1	Fraction of events with gluons close to q2
500	0.79111	0.60450
1500	0.80210	0.66219
2500	0.81904	0.68287
3500	0.83536	0.70578
4500	0.84492	0.72287

- Nella maggior parte dei casi si ha radiazione vicino ai quark
- L'insieme quark + radiazione può essere ricostruito come un "fat jet"

# Ottimizzazione della regione di segnale

Consideriamo la possibilità che i due quark siano sovrapposti  
Facciamo un'ottimizzazione ( $s/\sqrt{(s+b)}$ ) nella regione ad alta massa su:

# Fat Jet (*slimmedJetsAK8*) (**FJ**)

# Jet (*slimmedJets*) (**j**)

# b-jet

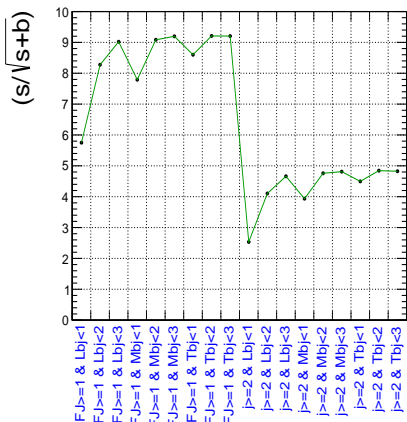
(*pfCombinedInclusiveSecondaryVertexV2BJetTags*)

(Loose b-jet: **Lbj**)

Medium b-jet: **Mbj**)

Tight b-jet: **Tbj**)

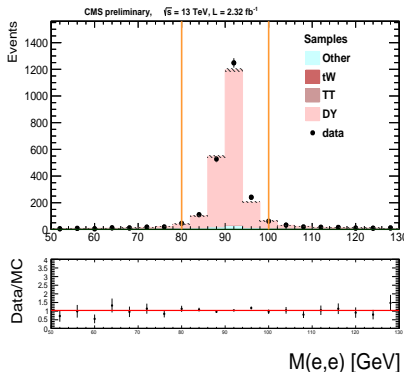
e channel  $\Lambda=5$  TeV,  $M=1500$  GeV



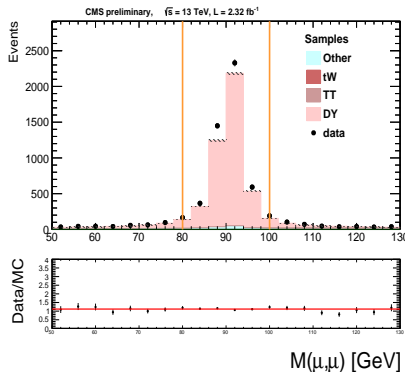
- Troviamo che # fat Jet  $\geq 1$  da la significanza più alta
- Questo è vero per tutte le masse

# Stima del DY

È stata pesata l'attesa dal MC per un fattore misurato intorno al picco della Z ([80-100] GeV)



Fattore per il canale elettronico:  
 $1.04 \pm 0.02$



Fattore per il canale muonico:  
 $1.12 \pm 0.02$

# Stima della QCD nel canale elettronico

- la QCD è stata stimata da candidati leptoni poveramente identificati e non isolati
- è stato usato un metodo simile a quello usato da  $Z' \rightarrow \ell\ell$  ([see here](#))
- $QCD_{SR} = QCD_{CR} \times W_{SR/CR}^{(e1)} \times W_{SR/CR}^{(e2)}$ ,  $W_{SR/CR} = FR/(1 - FR)$

FR:

CR: SR con elettroni selezionati secondo la preselezione di “fake rate”

variable	barrel	endcap
$\sigma_{i\eta j\eta}$	< 0.13	< 0.34
H/E	< 0.15	< 0.10
nr. missing hits	$\leq 1$	$\leq 1$
$ dxy $	< 0.02	< 0.05

region	$E_T$ range (GeV)	functional form
barrel	$35 \leq E_T \leq 76.1$	$0.0524 - 0.000589 \times E_T$
	$76.1 \leq E_T \leq 145.6$	$0.0124 - 6.38 \times 10^{-5} \times E_T$
	$E_T \geq 145.6$	0.00315
endcap $ \eta  \leq 2.0$	$35 \leq E_T \leq 75.8$	$0.0953 - 0.000815 \times E_T$
	$75.8 \leq E_T \leq 186.9$	$0.0377 - 0.000558 \times E_T$
	$E_T \geq 186.9$	0.0273
endcap $ \eta  \geq 2.0$	$35 \leq E_T \leq 88.6$	$0.0824 - 0.000492 \times E_T$
	$88.6 \leq E_T \leq 145.7$	$0.0321 + 7.52 \times 10^{-5} \times E_T$
	$E_T \geq 245.7$	0.0506

- $QCD_{CR} \approx 1244$ ,  $QCD_{SR} \approx 0.3$
- QCD sarà trascurata nell'analisi

# Stima della QCD nel canale muonico

- la QCD è stata stimata da candidati leptoni poveramente identificati e non isolati
- è stato usato un metodo simile a quello usato da  $Z' \rightarrow \ell\ell$  ([see here](#))
- $QCD_{SR} = QCD_{CR} \times W_{SR/CR}^{(\mu1)} \times W_{SR/CR}^{(\mu2)}$ ,  $W_{SR/CR} = FR/(1 - FR)$

CR: SR con muoni selezionati secondo la preselezione di “fake rate”

FR:

variable	cut value
$ dz $	$< 1.0$
Nb. of Tracker Layers with Measurement	$> 5$
Nb. of Valid Pixel Hits	$> 0$

Eta region	$p_T$ range (GeV)	functional form
Barrel	$p_T > 50$	$2.22 \times 10^{-2} + \exp(-3.16 + 2.80 \times 10^{-2} \times p_T)$
Endcap	$p_T < 110$	$8.83 \times 10^{-3} + \exp(5.93 - 1.33 \times 10^1 \times p_T)$
Endcap	$p_T > 110$	$-2.91 + \exp(1.08 + 1.32 \times 10^{-4} \times p_T)$

- $QCD_{CR} \approx 39.3$ ,  $QCD_{SR} \approx 1.5$
- QCD sarà aggiunta nei fondi chiamati “Other”

## Stima di $t\bar{t}$ e $tW$

Usiamo un metodo “alfa-ratio”:

- Distribuzione di  $M(\ell, \ell, J)$  dai dati in una regione di controllo  $e\mu$
  - Normalizzazione  $N_{SR}/N_{CR}$  dal MC
- 1 Confrontiamo i casi di tagli simmetrici e asimmetrici sul pT dei due leptoni
  - 2 Misuriamo il fattore  $N_{SR}/N_{CR}$  in ogni bin
  - 3 Mostriamo i risultati per i due canali



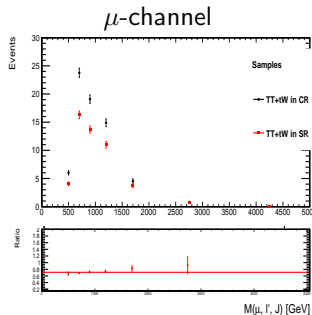
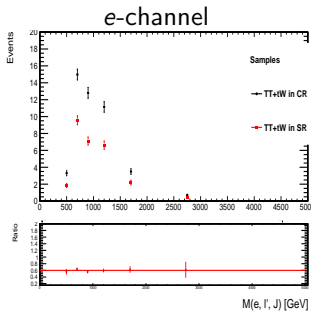
# Confronto dei tagli simmetrici e asimmetrici sui pT dei leptoni

- Metodo ben conosciuto usato in diverse analisi (Es. LQ2)
- Solitamente i tagli sui pT dei leptoni sono simmetrici, nel nostro caso sono asimmetrici
- Osserviamo come il rapporto  $N_{SR}/N_{CR}$  cambia in una regione in cui chiediamo 2 leptoni (no tagli su  $M(\ell, \ell)$ , num. di fat Jet)

	Symmetric pT lepton cuts	SR pT lepton cuts
$R_{ee}/R_{e\mu}$	$0.421 \pm 0.005$	$0.758 \pm 0.015$
$R_{\mu\mu}/R_{e\mu}$	$0.593 \pm 0.009$	$0.784 \pm 0.011$

- La asimmetria nei tagli sui pT dei leptoni fa sì che  $N_{SR}/N_{CR}$  non è intorno a 0.5

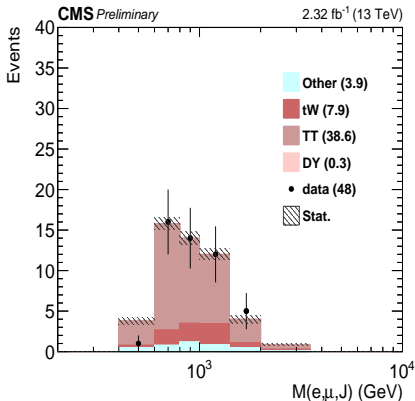
# Misura dei fattori $N_{SR}/N_{CR}$



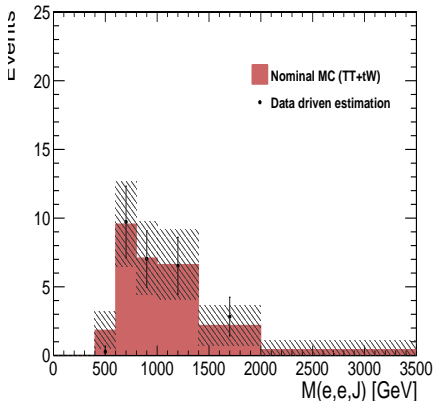
bin	400-600	600-800	800-1000	1000-1400	1400-2000	2000-3500
TT+tW (e-chan.)	$0.56 \pm 0.09$	$0.64 \pm 0.05$	$0.55 \pm 0.05$	$0.59 \pm 0.06$	$0.63 \pm 0.10$	$0.62 \pm 0.24$
TT+tW ( $\mu$ -chan.)	$0.67 \pm 0.07$	$0.69 \pm 0.04$	$0.72 \pm 0.04$	$0.74 \pm 0.05$	$0.83 \pm 0.10$	$0.92 \pm 0.28$

# Confronto dati/MC nel canale elettronico

## Risultati nella regione di controllo



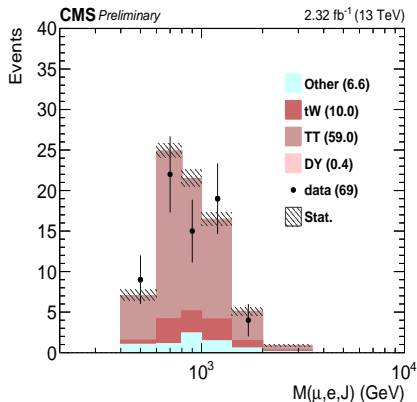
## Risultati nella regione di segnale



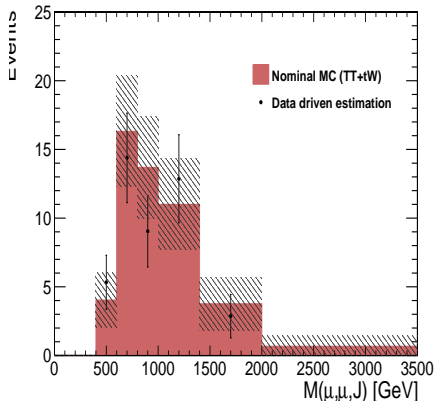
La nostra stima e il MC sono in accordo

# Confronto dati/MC nel canale muonico

## Risultati nella regione di controllo



## Risultati nella regione di segnale



La nostra stima e il MC sono in accordo