

# Ricerca di particelle esotiche di carica $5/3$ a CMS

Matteo Abis  
`matteo.abis@cern.ch`

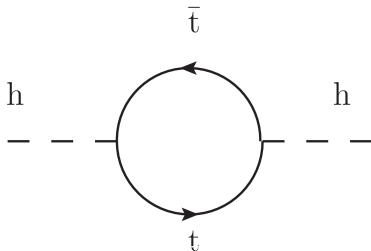
Università di Padova

23 settembre 2012

# Il problema della gerarchia

## Problema di naturalezza

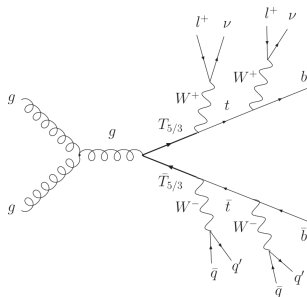
La massa del bosone di Higgs riceve grandi contributi da diagrammi con un *loop*. Per avere una massa piccola è necessaria una incredibile calibrazione fine dei parametri del modello standard.



# Partner del quark top

Una possibile estensione del modello standard

- accoppiamento con quark di terza generazione
- soluzione al problema della gerarchia
  - ▶ *Contino, Servant*, JHEP 0806:026 (2008)
  - ▶ *Mrazek, Wulzer*, Phys. Rev. D81, 075006 (2010)
- produzione di coppie di  $T_{5/3}$  nei dati di CMS del 2011 a  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$
- **firma sperimentale: due elettroni o muoni isolati, di alta energia e stessa carica, insieme a molti *jet*.**



Due leptoni isolati, di alta energia e dello stesso segno possono essere dati da:

- ① processi rari del modello standard con lo stesso stato finale.
- ② errata misura della carica di stati finali con leptoni di segno opposto.
- ③ processi con decadimenti secondari, soprattutto il decadimento semileptonico del quark  $b$  dalla produzione di  $t\bar{t}$ .

# Processi rari del modello standard

Produzione di top insieme a un bosone vettore, o di più bosoni vettori contemporaneamente:  $t\bar{t}Z$ ,  $t\bar{t}W$ ,  $WW$ ,  $WZ$ ,  $ZZ$  e  $WWW$ .

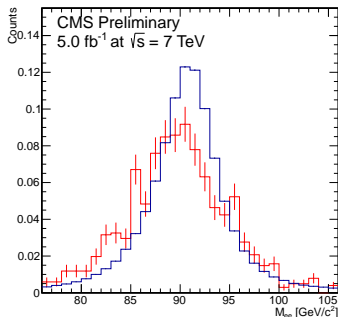
Simulati con tecniche Monte Carlo

# Errata misura della carica elettrica

Contributo stimato dai dati

Selezione di candidati  $Z$ : coppie di leptoni con massa invariante tra 76 GeV e 106 GeV.

Campione dominato al 99% da  $Z$ : le coppie con leptoni dello stesso segno vengono da una misura errata.

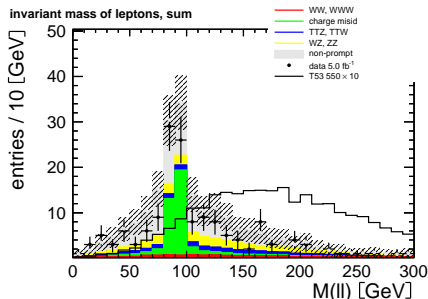


**Figura:** Distribuzione della massa invariante degli elettroni di segno opposto (blu) o dello stesso segno (rosso)

# Leptoni dello stesso segno da decadimenti secondari

Stima dai dati con il metodo *tight-loose*

- si definisce una categoria di leptoni con selezioni più lasche
- si misura la probabilità che un leptone che passa questa selezione passi erroneamente anche quella, più stringente, dell'analisi
- dalla probabilità si stima il numero di eventi che contaminano il campione finale



**Figura:** Distribuzione della massa invariante dei due leptoni dello stesso segno in eventi con almeno due jet.

# Le variabili *razor*

## Versione originale

Due particelle pesanti prodotte in coppia decadono in una particella visibile e una invisibile.

## Prima approssimazione

$$M_R = \sqrt{(a^0 - b^0)^2 - (a^z + b^z)^2}$$

$$M_R^T = \sqrt{\frac{|\vec{m}|}{2} (|\vec{a}_T| + |\vec{b}_T|) - \frac{\vec{m}}{2} \cdot (\vec{a} + \vec{b})}$$

$$R = M_R^T / M_R$$

Notazione:

- $a^\mu$  e  $b^\mu$  quadri-vettori delle particelle visibili
- $\vec{m}$  è l'energia mancante nel piano trasverso  $E_T^{\text{miss}}$
- $\vec{v}_T$  è un vettore con le componenti trasverse  $(v_x, v_y, 0)$



# Proprietà delle variabili *razor*

$M_R$  indipendente da *boost* lungo l'asse  $z$ , correlata con la massa dell'oggetto originale

$R$  altra misura indipendente della scala di energia del processo, che utilizza le misure sul piano trasverso

## Correzioni aggiuntive

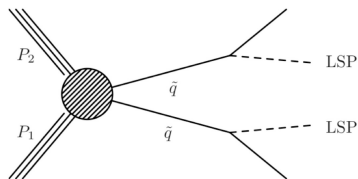
Le formule sono corrette per il *boost* complessivo del sistema applicando una trasformazione di Lorentz con parametro  $\vec{\beta} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{m}$ .

## Il sottosistema *razor*

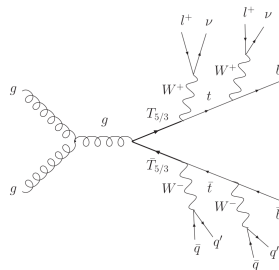
La topologia del decadimento del partner del top è asimmetrica

# Il sottosistema *razor*

La topologia del decadimento del partner del top è asimmetrica



(c) Esempio standard dalla supersimmetria

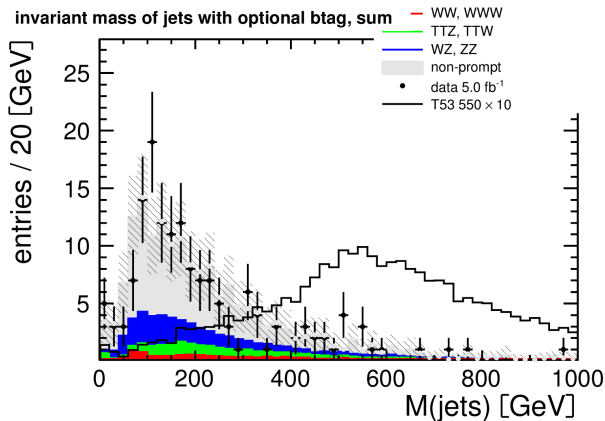


(d) Evento con partner del top

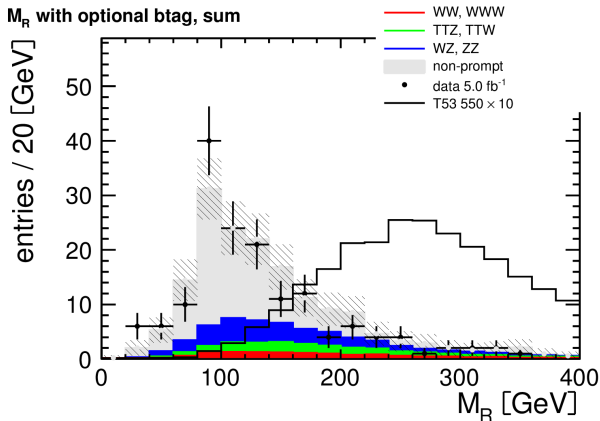
# Massa invariante adronica

La parte più semplice

Massa della somma dei quadrimomenti dei jet



Picco previsto intorno a  $M(T_{5/3})/2$ .

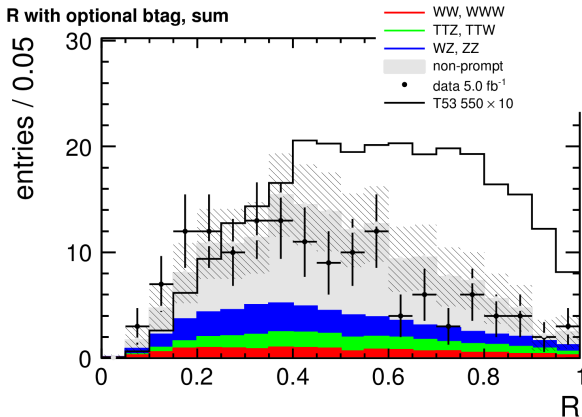


# R

Una variabile dimensionale correlata con la  $E_T^{\text{miss}}$

In teoria:

- picco vicino a  $1/2$  per il segnale
- decade esponenzialmente per i fondi dopo aver raggiunto un massimo



# Un miglior rapporto segnale-rumore

Selezione finale ottimizzata per  $S/(a + \sqrt{B})$ .

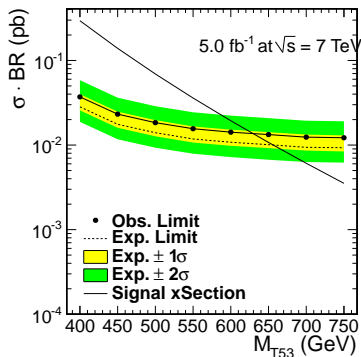
- massa adronica  $> 350 \text{ GeV}$
- $M_R > 200 \text{ GeV}$
- $R > 0.2$

# Limite

Non si osserva un eccesso di eventi rispetto ai fondi del modello standard:

| Monte Carlo     | carica          | secondari       | totale          | osservati |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| $2.12 \pm 0.73$ | $0.15 \pm 0.03$ | $0.76 \pm 0.56$ | $3.03 \pm 0.92$ | 4         |

limite osservato (atteso) 633 (658) GeV





# Backup slides

# Signal MC

Fall11 production

| mass (GeV) | $\sigma \times \text{BR (pb)}$ | events |
|------------|--------------------------------|--------|
| 400        | 0.295                          | 86205  |
| 450        | 0.139                          | 86211  |
| 500        | 0.069                          | 86684  |
| 550        | 0.036                          | 86724  |
| 600        | 0.019                          | 86965  |
| 650        | 0.011                          | 87592  |
| 700        | 0.006                          | 88145  |
| 750        | 0.004                          | 88410  |

**Tabella:** Signal Monte Carlo samples. The branching ratio is 0.21.

# Background MC

Summer11 production

| process        | MC generator | $\sigma$ (pb) | events  |
|----------------|--------------|---------------|---------|
| WZ+Jets        | MADGRAPH     | 0.879         | 1221134 |
| ZZ+Jets        | MADGRAPH     | 0.076         | 1185188 |
| $W^+W^+$ +Jets | MADGRAPH     | 0.165         | 130000  |
| $W^-W^-$ +Jets | MADGRAPH     | 0.055         | 160000  |
| WWW+Jets       | MADGRAPH     | 0.038         | 1201777 |
| $t\bar{t}W$    | MADGRAPH     | 0.169         | 1029608 |
| $t\bar{t}Z$    | MADGRAPH     | 0.139         | 793155  |

Tabella: Details of the background Monte Carlo samples used for the analysis.

# Data

2011 golden JSON, 5.0  $fb^{-1}$

| Dataset                                     | Run range                        |
|---|----------------------------------|
| /DoubleMuon/Run2011A-May10ReReco-v1/AOD     | 160329-163869                    |
| /DoubleMuon/Run2011A-PromptReco-v4/AOD      | 165071-168437                    |
| /DoubleMuon/Run2011A-05AugReReco-v1/AOD     | 170053-172619                    |
| /DoubleMuon/Run2011A-PromptReco-v6/AOD      | 172620-175770                    |
| /DoubleMuon/Run2011B-PromptReco-v1/AOD      | 175832-180296                    |
| /DoubleElectron/Run2011A-May10ReReco-v1/AOD | 160329-163869                    |
| /DoubleElectron/Run2011A-PromptReco-v4/AOD  | 165071-168437                    |
| /DoubleElectron/Run2011A-05AugReReco-v1/AOD | 170053-172619                    |
| /DoubleElectron/Run2011A-PromptReco-v6/AOD  | 172620-175770                    |
| /DoubleElectron/Run2011B-PromptReco-v1/AOD  | 175832-180296                    |
| /MuEG/Run2011A-May10ReReco-v1/AOD           | 160329-163869                    |
| /MuEG/Run2011A-PromptReco-v4/AOD            | 165071-168437                    |
| /MuEG/Run2011A-05AugReReco-v1/AOD           | 170053-172619                    |
| /MuEG/Run2011A-PromptReco-v6/AOD            | 172620-175770                    |
| /MuEG/Run2011B-PromptReco-v1/AOD            | 175832-180296 <sup>19 / 24</sup> |

# Triggers

---

HLT\_DoubleMu7\_v1,2 or  
HLT\_Mu13\_Mu8\_v2,3,4,6,7 or  
HLT\_Mu17\_Mu8\_v10,11

---

HLT\_Ele17\_CaloIdL\_CaloIsoVL\_Ele8\_CaloIdL\_CaloIsoVL\_v1,2,3,4,5,6 or  
HLT\_Ele17\_CCTT\_Ele8\_CCTT\_v6,7,8,9,10

---

HLT\_Mu10\_Ele10\_CaloIdVL\_v2,3,4,or  
HLT\_Mu17\_Ele8\_CaloIdVL\_v1,2,3,4,5,6,8 or  
HLT\_Mu17\_Ele8\_CaloIdT\_CaloIsoVL\_v4,7,8 or  
HLT\_Mu8\_Ele17\_CaloIdL\_v1,2,3,4,5,6 or  
HLT\_Mu8\_Ele17\_CaloIdT\_CaloIsoVL\_v3,4,7,8

---

**Tabella:** List of triggers used in the analysis for the three decay channels:  $\mu\mu$ ,  $ee$ ,  $e\mu$ . CCTT is short for CaloIdL\_CaloIsoVL\_TrkIdVL\_TrkIsoVL.

# Event cleanup

Standard from TLBSM recipes

## scrapping

- at least 25% of the tracks must be high-purity for events with at least ten tracks

## good primary vertex

- at least 4 degrees of freedom
- less than 25 cm from interaction point in  $z$
- less than 2 cm radially

## HBHE noise filter

# Electrons

Standard top selection, plus charge consistency

- $p_T > 30 \text{ GeV}$
- $|\eta| < 2.4$ , except EBEE gap
- HyperTight1MC electron identification
- relative isolation  $< 0.15$
- conversion rejection
- transverse impact parameter  $< 0.02 \text{ cm}$
- GSF, CFT, ScPix charge consistency

# Muons

## Standard top selection

- $p_T > 30 \text{ GeV}$
- $|\eta| < 2.4$
- Global and Tracker muon
- relative isolation  $< 0.20$
- $\chi^2/\text{NDF} < 10$
- at least one muon hit
- at least one pixel hit
- at least eleven silicon hits
- at least two chambers with matching segments



# Jets

## Standard top selection

- anti- $k_T$  particle flow jets
- $p_T > 30 \text{ GeV}$
- $|\eta| < 2.4$
- Charged hadron subtractions, L1FastJets corrections, L2L3 jet energy scale corrections
- loose particle flow identification
- $\Delta R(\text{lepton}, \text{jet}) > 0.3$