

# Ricerca di bosoni di Higgs neutri nel MSSM a CMS

Search for neutral MSSM Higgs bosons at CMS

Alberto Zucchetta<sup>1</sup>

4 Aprile 2013

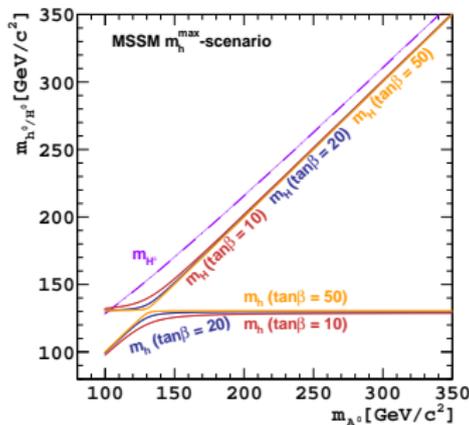
Incontri di Fisica delle Alte Energie  
IFAE 2013



<sup>1</sup>INFN e Università di Padova

# Il settore di Higgs del MSSM

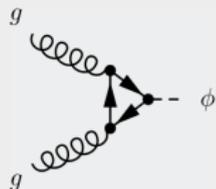
- Il Minimal Supersymmetric Standard Model (MSSM) [1] è la minima estensione del Modello Standard che include la supersimmetria
- L'MSSM è una teoria 2HDM (2 doppietti di Higgs)  $\Rightarrow$  5 stati fisici:
  - 3 neutri:  $h, H$  (CP-pari) e  $A$  (CP-dispari)
  - 2 carichi:  $H^\pm$
- A *tree level*, le masse sono determinate da due parametri:
  - $m_A$  la massa del bosone CP-dispari
  - $\tan\beta$  il rapporto tra le due v.e.v.
- $m_h < m_Z$ , ma con importanti correzioni perturbative  $m_h \lesssim 130 \text{ GeV}$
- Le correzioni dipendono da parametri SUSY, e sono fissati definendo uno scenario di *benchmark* (e.g.:  $m_h$ -max)
- Gli accoppiamenti degli Higgs dipendono da  $\tan\beta$ :
  - incrementati per fermioni *down-type* ( $b, \tau, \mu$ )
  - soppressi per *up-type* ( $t$ )
  - soppressi per  $W, Z$ , (assenti per  $A$ )
  - $h$  è SM-like  $\checkmark$
- Degenerazione in massa di due bosoni all'interno della risoluzione sperimentale



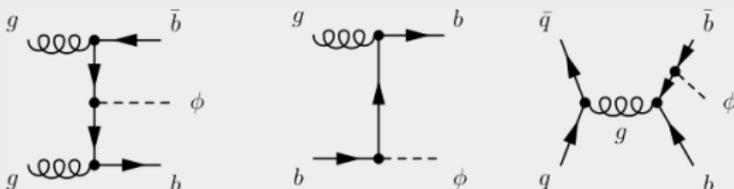
# Produzione e decadimenti

- Processi di produzione ( $\Phi = h, H, A$ ):

## Gluon Fusion



## Associata a *b*-quarks



- Decadimenti principali:

$$\Phi \rightarrow b\bar{b} \quad (Br \approx 90\%)$$

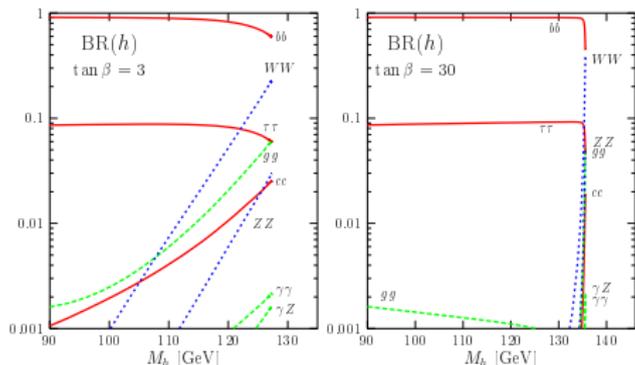
- ✓ alto Branching Ratio
- ✗ QCD dominante

$$\Phi \rightarrow \tau\bar{\tau} \quad (Br \approx 10\%)$$

- ✓ fondi ridotti ed EW
- ✗ stati finali, risoluzione

$$\Phi \rightarrow \mu\bar{\mu} \quad (Br \approx 0.03\%)$$

- ✓ pulito, alta risoluzione
- ✗ basso rate

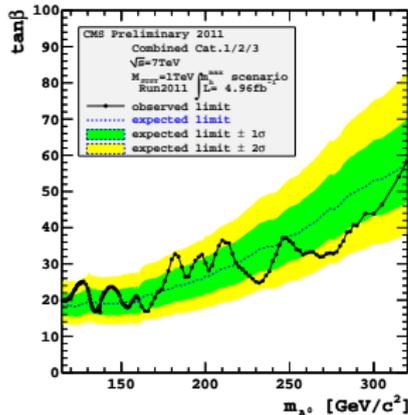
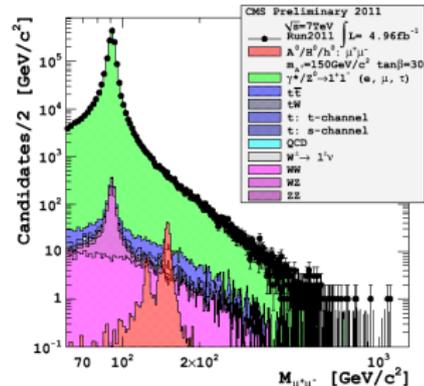


[2]

- È conveniente ricercare l'Higgs prodotto in associazione ad almeno un altro *b*-quark

$$\Phi \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

- Analisi basata su  $L = 5.0 \text{ fb}^{-1}$  di dati raccolti a  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$  nel 2011 da CMS [3]
  - Trigger a muone singolo con  $p_T > 24$  (30) GeV
  - Richiesta di due muoni isolati ad alto  $p_T > 30, 24 \text{ GeV}$
  - $\cancel{E}_T < 30 \text{ GeV}$  per escludere eventi  $t\bar{t}$
- Diverse categorie, in base alla presenza di:
  - Cat 1 almeno un jet con  $p_T > 20 \text{ GeV}$  con  $b$ -tag
  - Cat 2 un terzo muone soffice ( $p_T > 3 \text{ GeV}$ ), da decadimento semileptonico di quark pesanti
  - Cat 3 nessuno dei precedenti ( $gg$ -fusion)



### ■ Fondi principali:

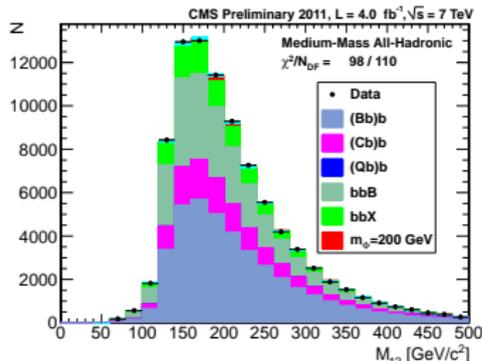
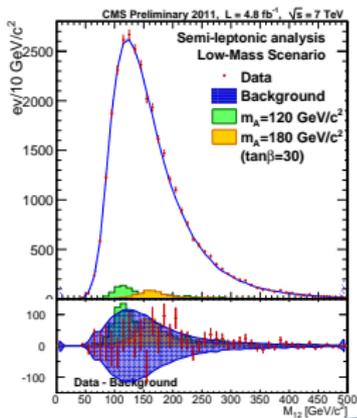
- Drell Yan e  $b\bar{b}Z^0$ , irriducibili
- $t\bar{t}$ , se si richiede anche un  $b$ -jet
- $WW$ ,  $tW$ , single- $t$

### ■ Limiti di esclusione:

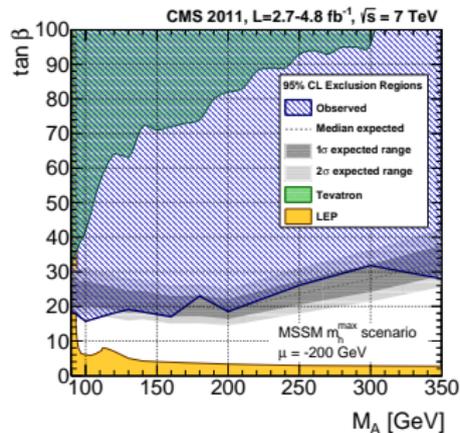
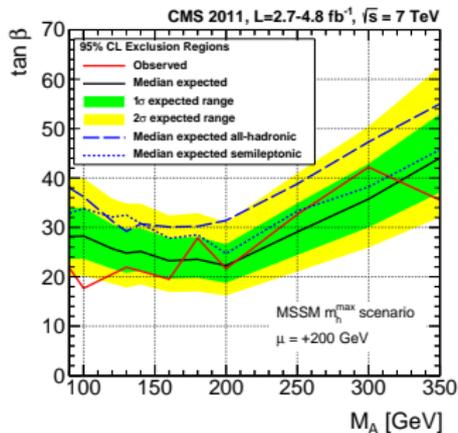
- fit allo spettro  $M_{\mu\mu}$
- il limite (al 95% C.L.) sul rate di produzione è trasferibile a un limite su  $\sigma \times Br$
- interpretabile sul piano  $(m_A, \tan \beta)$  del MSSM
- combinazione delle 3 categorie
- esclusione  $\tan \beta \approx 20$  per  $m_A$  fino a 180 GeV

$$\Phi \rightarrow b\bar{b}$$

- Due analisi parallele, basate su due differenti trigger e strategie [4] [5]
    - All-hadronic trigger 3 jet (di cui 2 con  $b$ -tag online); richiesta di tre jet  $p_T > 46, 38, 20$  GeV per basse masse ( $2.7 \text{ fb}^{-1}$ ), o  $p_T > 60, 53, 20$  GeV per masse alte ( $4.0 \text{ fb}^{-1}$ )
    - Semi-leptonic trigger con muone  $p_T > 12$  GeV con 2 jet con  $b$ -tag; richiede un muone non isolato con  $p_T > 15$  GeV, tre jet  $p_T > 30, 30, 20$  GeV ( $4.9 \text{ fb}^{-1}$ )
  - Entrambe le analisi richiedono uno stato finale con almeno 3 jets con  $b$ -tag off-line con un algoritmo *Combined Secondary Vertex*
  - Piccola sovrapposizione statistica dei due campioni ( $\sim 2\%$ )
- 
- Analisi basate su due metodi *data-driven* indipendenti
    - All-hadronic costruzione di *templates* in base alle diverse combinazioni di *flavour* dei tre jet, e successivo fit ai dati per ottenere la frazione di segnale
    - Semi-leptonic estrazione di matrici della probabilità di  $b$ -tagging per il 3<sup>o</sup> jet per ripesamento del fondo; sviluppato anche un secondo metodo basato su un algoritmo kNN



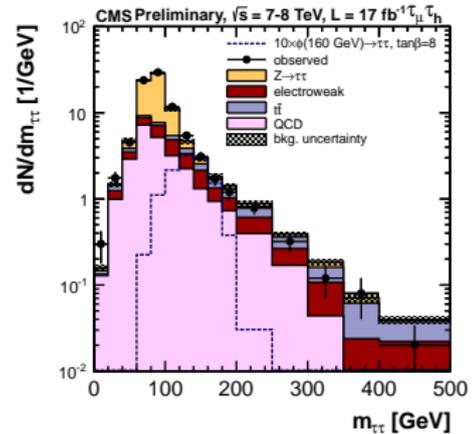
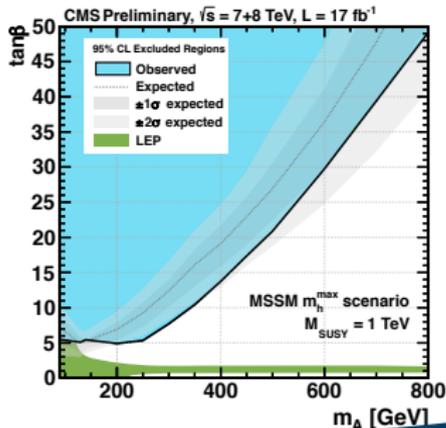
- Le analisi *All-hadronic* e *Semileptonic* hanno sensibilità comparabile, segue combinazione dei risultati [6]
- Esclusione da  $\tan\beta \approx 20$  per  $m_A \approx 120$  GeV a  $\tan\beta \approx 40$  per  $m_A \approx 350$  GeV



- Miglioramento sostanziale dei limiti del Tevatron
- Eccesso di  $2\sigma$  osservato da CDF [8] per  $m_A \approx 140 \div 160$  GeV non confermato

$$\Phi \rightarrow \tau^+ \tau^-$$

- Analisi su  $4.9 \text{ fb}^{-1}$  di dati 2011 a  $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$  e  $12.1 \text{ fb}^{-1}$  di dati 2012 a  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  [7]
- 4 stati finali:  $e\tau_h$ ,  $\mu\tau_h$ ,  $e\mu$ ,  $\mu\mu$
- 2 categorie in base alla presenza o meno di uno o più jets  $p_T > 20 \text{ GeV}$  con  $b$ -tag
- Selezione degli eventi:
  - un leptone ( $e$ ,  $\mu$ ) isolato  $p_T > 20 \text{ GeV}$ ,
  - un  $\tau_h$  ricostruito con l'algoritmo Particle Flow, oppure un secondo leptone  $p_T > 10 \text{ GeV}$
  - veto per ulteriori leptoni  $p_T > 15 \text{ GeV}$



- Fondi principali:  $Z \rightarrow \tau\tau$ , QCD,  $W + jets$ ,  $t\bar{t}$ 
  - $M_T < 40 \text{ GeV}$  per discriminare eventi  $W + jets$
  - L'algoritmo di ricostruzione di  $M_{\tau\tau}$  sfruttando i vincoli cinematici del neutrino permette una risoluzione del  $15 \div 20\%$
- Limite di esclusione fino a  $\tan \beta \approx 5$  nell'intervallo  $m_A \approx 90 \div 250 \text{ GeV}$



## Risultati

- Nessun eccesso osservato nei dati 2011 e 2012 da CMS nei canali  $b\bar{b}$ ,  $\tau\tau$ ,  $\mu\mu$
- Esclusione di una buona parte dello spazio dei parametri
  - In particolare, difficoltà per modelli che prevedono alto  $\tan\beta$
- A masse medie e basse ( $m_A \lesssim 500 \text{ GeV}$ ) prevale il canale  $\tau\tau$
- Canale  $b\bar{b}$  interessante per masse elevate, fino a  $m_A = 1 \text{ TeV}$

## Cosa ci riserva il futuro?

- Il bosone osservato da ATLAS e CMS può essere interpretato come  $h$ , ma:
  - la massa intorno a  $125 \text{ GeV}$  è accettabile, ma piuttosto elevata per il MSSM
    - occorre scegliere apposta i parametri MSSM per massimizzare il contributo perturbativo
  - necessità di adattare lo scenario di benchmark includendo anche i risultati SUSY?
  - considerare altri modelli: nMSSM, ...

-  **Stephen P. Martin**, “*A Supersymmetry Primer*”, arXiv:hep-ph/9709356, 1997
-  **A. Djouadi**, “*The Anatomy of Electro-Weak Symmetry Breaking. II: The Higgs bosons in the Minimal Supersymmetric Model*”, arXiv:hep-ph/0503173, 2005
-  **CMS Collaboration**, “*Search for Neutral MSSM Higgs Bosons in the  $\mu^+ \mu^-$  final state with the CMS experiment in pp Collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV*”, **CMS-PAS-HIG-12-011**, CERN, 2012
-  **CMS Collaboration**, “*Search for a Higgs boson produced in association with b quarks and decaying into a b-quark pair*”, **CMS-PAS-HIG-12-026**, CERN, 2012
-  **CMS Collaboration**, “*Search for SuperSymmetric Higgs boson states decaying into  $b\bar{b}$  and produced in association with b-quarks in events collected by semi-leptonic triggers in pp collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV*”, **CMS-PAS-HIG-12-027**, CERN, 2012
-  **CMS Collaboration**, “*Search for a Higgs boson decaying into a b-quark pair and produced in association with b quarks in proton-proton collisions at 7 TeV*”, **CMS-PAS-HIG-12-033**, CERN, 2012 [Submitted to Physics Letter B]
-  **CMS Collaboration**, “*Search for MSSM Neutral Higgs Bosons Decaying to Tau Pairs in pp Collisions*”, **CMS-PAS-HIG-12-050**, CERN, 2012
-  **CDF Collaboration**, “*Search for Higgs Bosons Produced in Association with b-Quarks*”, CDF Note 8954, FNAL, 2007