

Misura delle proprietà del bosone di Higgs a CMS

Mario Pelliccioni

INFN - Torino

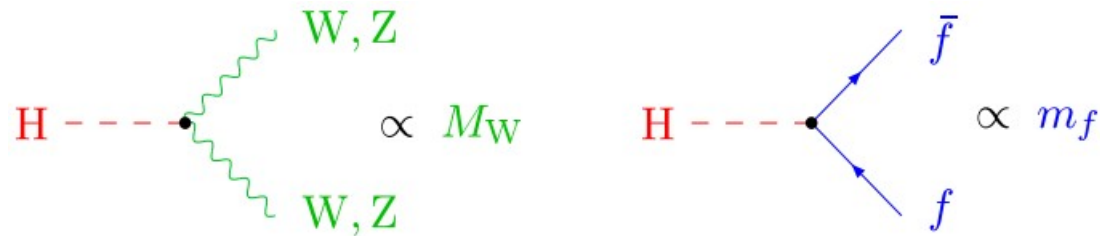
CMS Collaboration

IFAE 2013 - Cagliari

- Introduzione
 - Limiti superiori alla sezione d'urto
 - p-value
 - Proprietà dell'eccesso:
 - Massa
 - Accoppiamenti
 - Spin-parità
-

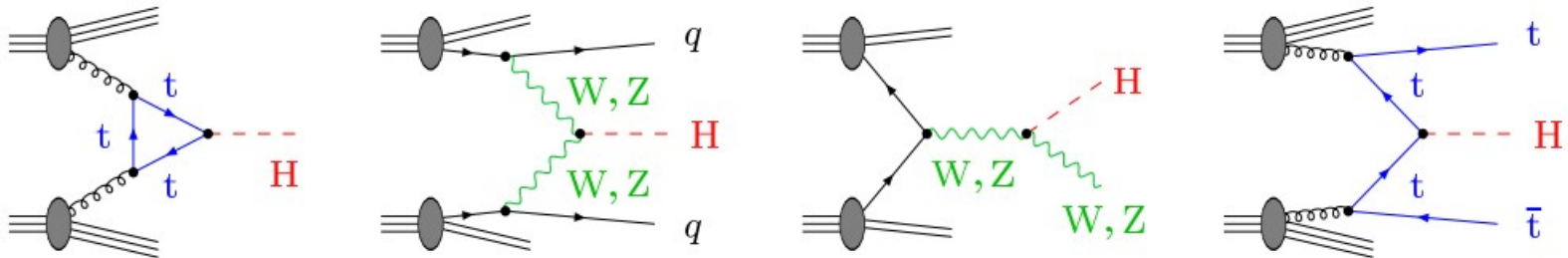
Higgs a LHC

- Accoppiamenti con bosone di Higgs proporzionali alle masse:

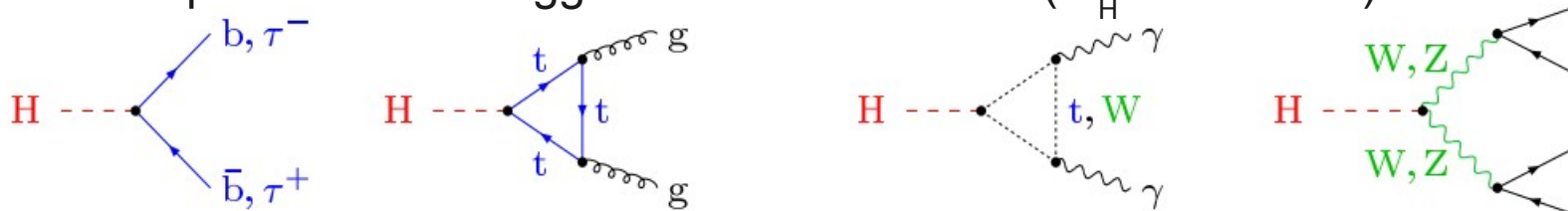


→ Produzione Higgs dagli accoppiamenti con bosoni W/Z o quark top

- Produzione a collider adronici:



- Decadimenti per bosone di Higgs di massa moderata ($m_H < 300$ GeV)



Canali usati nella combinazione

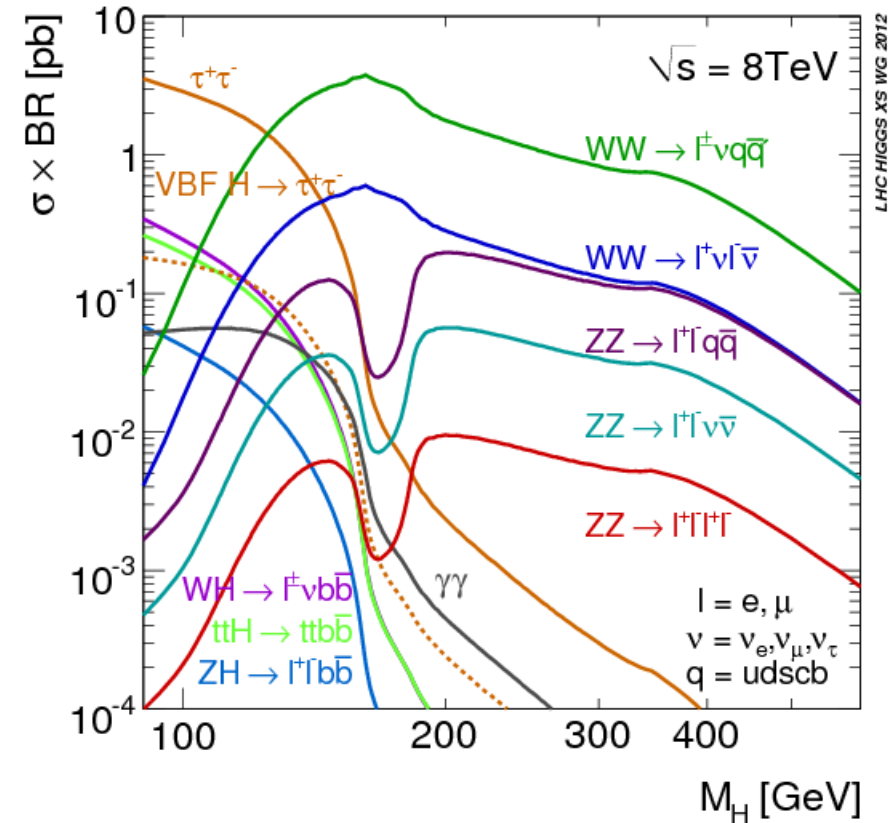
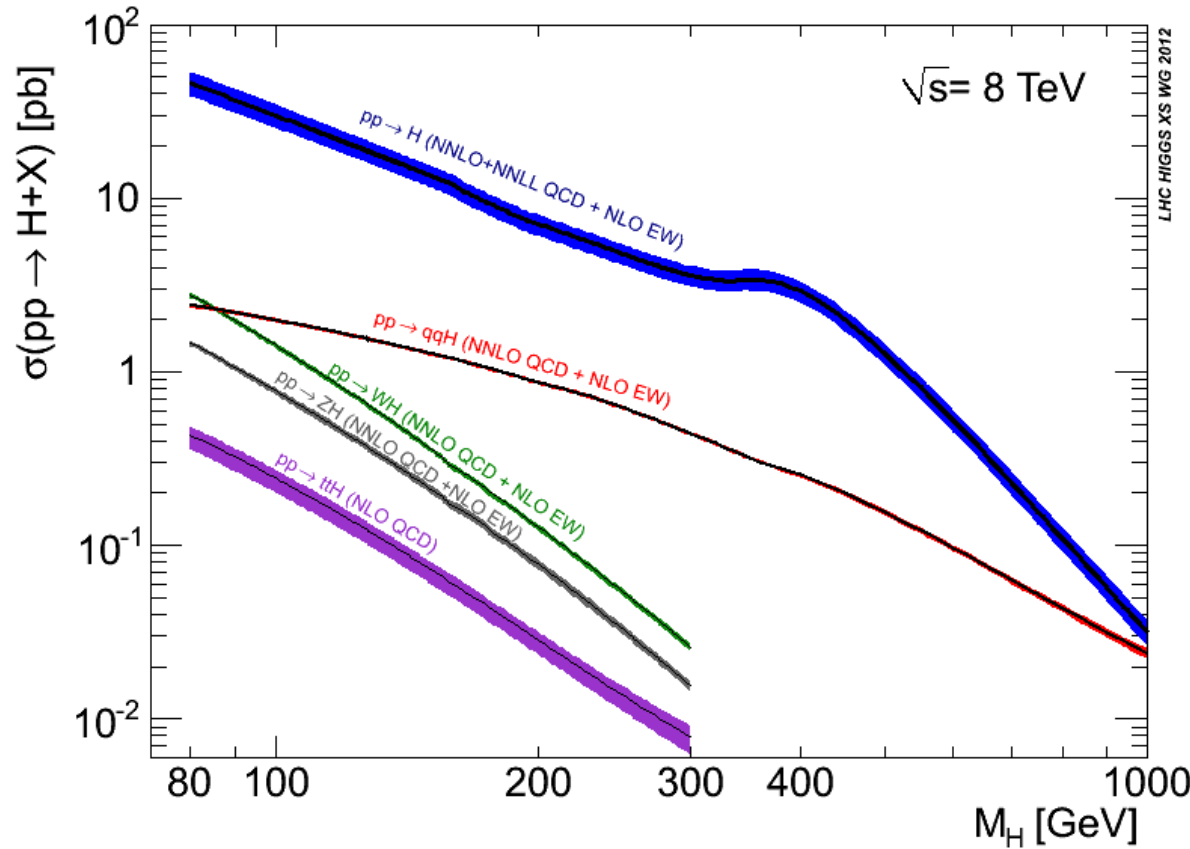


Canale	Lumi	Range	Commenti
$H \rightarrow \gamma\gamma$	$5+5 \text{ fb}^{-1}$	110-150	Buona risoluzione m_H , segnatura chiara
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$	$5+12 \text{ fb}^{-1}$	110-1000	Buona risoluzione m_H , segnatura chiara
$H \rightarrow b\bar{b}$	$5+12 \text{ fb}^{-1}$	110-135	Alto BR, sperimentalmente “impegnativo”
$H \rightarrow \tau\tau$	$5+12 \text{ fb}^{-1}$	110-145	Alto BR, sperimentalmente “impegnativo”
$H \rightarrow WW \rightarrow 2l2\nu$	$5+12 \text{ fb}^{-1}$	110-600	No picco m_H
$H \rightarrow WW \rightarrow lvqq$	$5+12 \text{ fb}^{-1}$	170-600	Risoluzione su m_H
$H \rightarrow ZZ \rightarrow 2l2\tau$	$5+12 \text{ fb}^{-1}$	180-1000	Risoluzione su m_H

Sia ricerche inclusive che con tag per VBF,
produzione associata, tt

	untagged	VBF-tag	VH-tag	ttH-tag
$H \rightarrow \gamma\gamma$	✓	✓		
$H \rightarrow b\bar{b}$			✓	✓
$H \rightarrow \tau\tau$	✓	✓	✓	
$H \rightarrow WW$	✓	✓	✓	
$H \rightarrow ZZ$	✓			

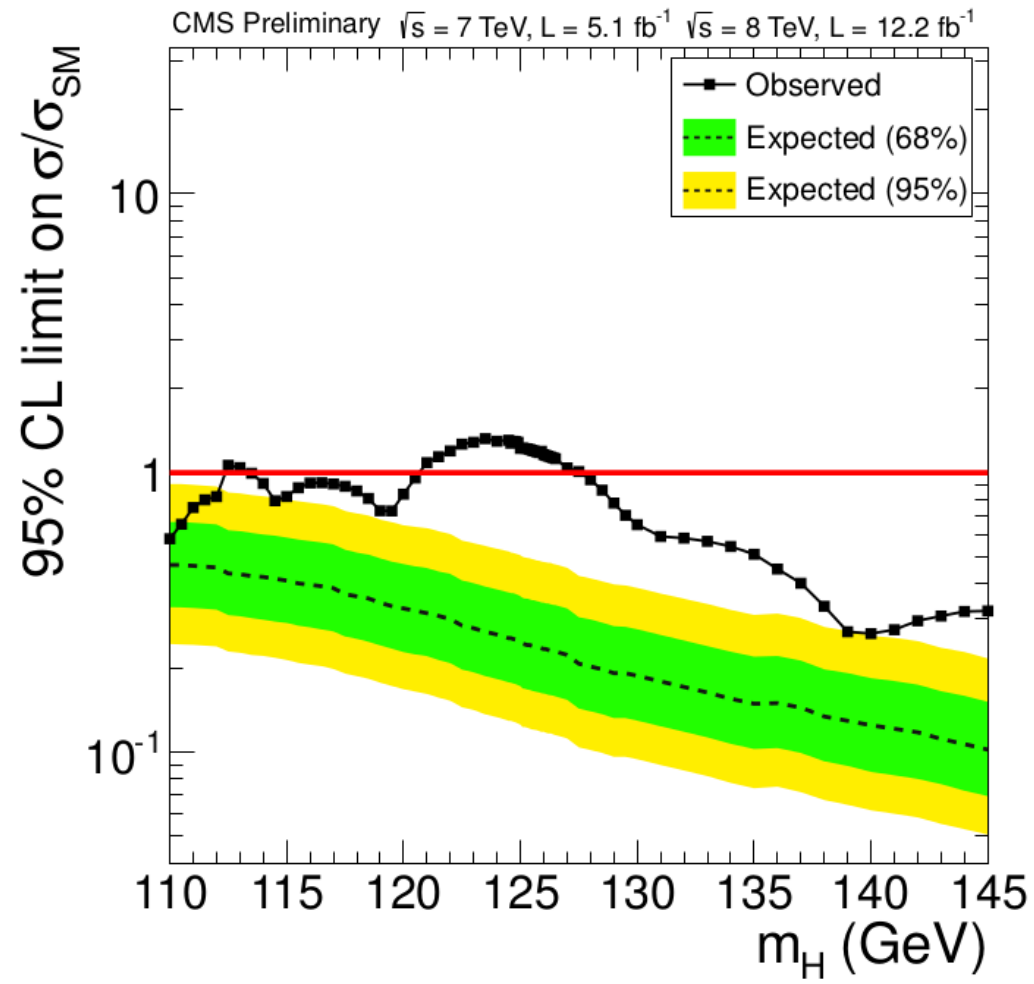
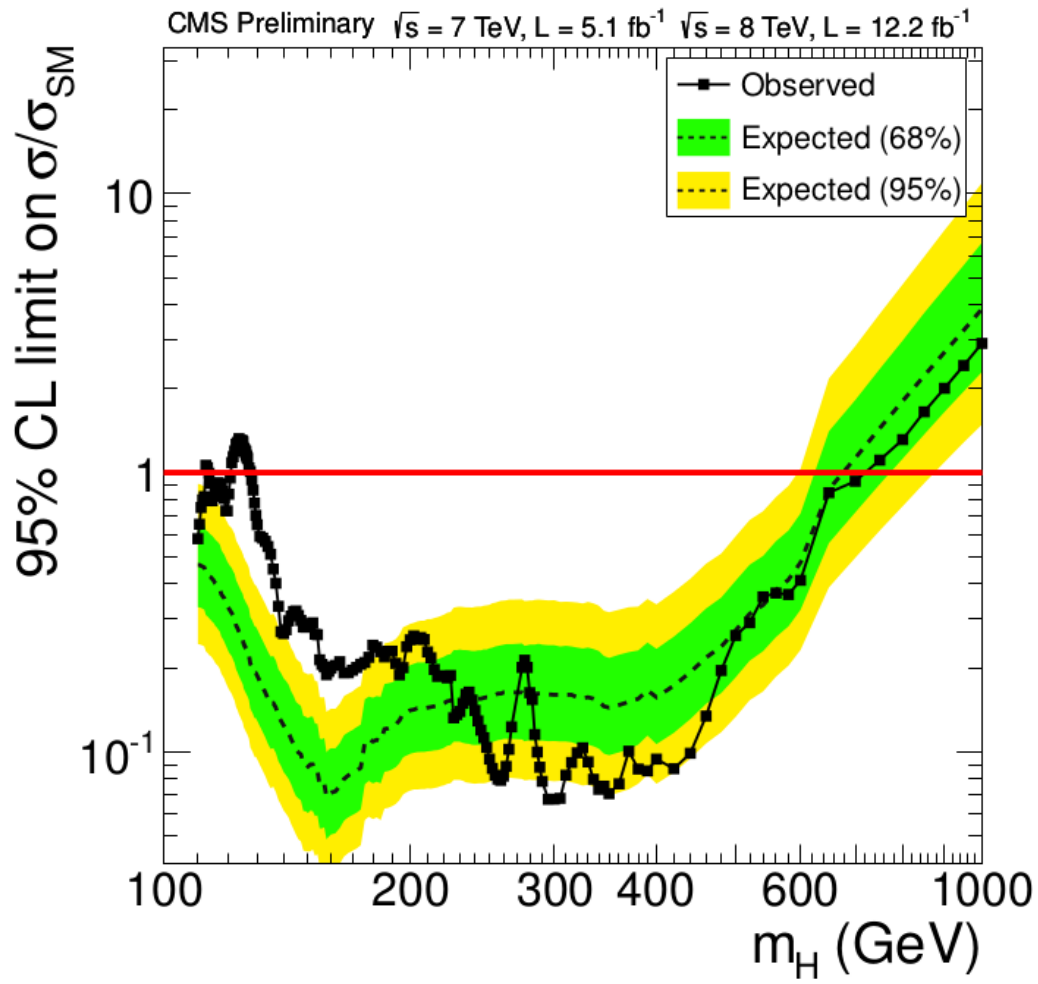
Un punto comune di discussione



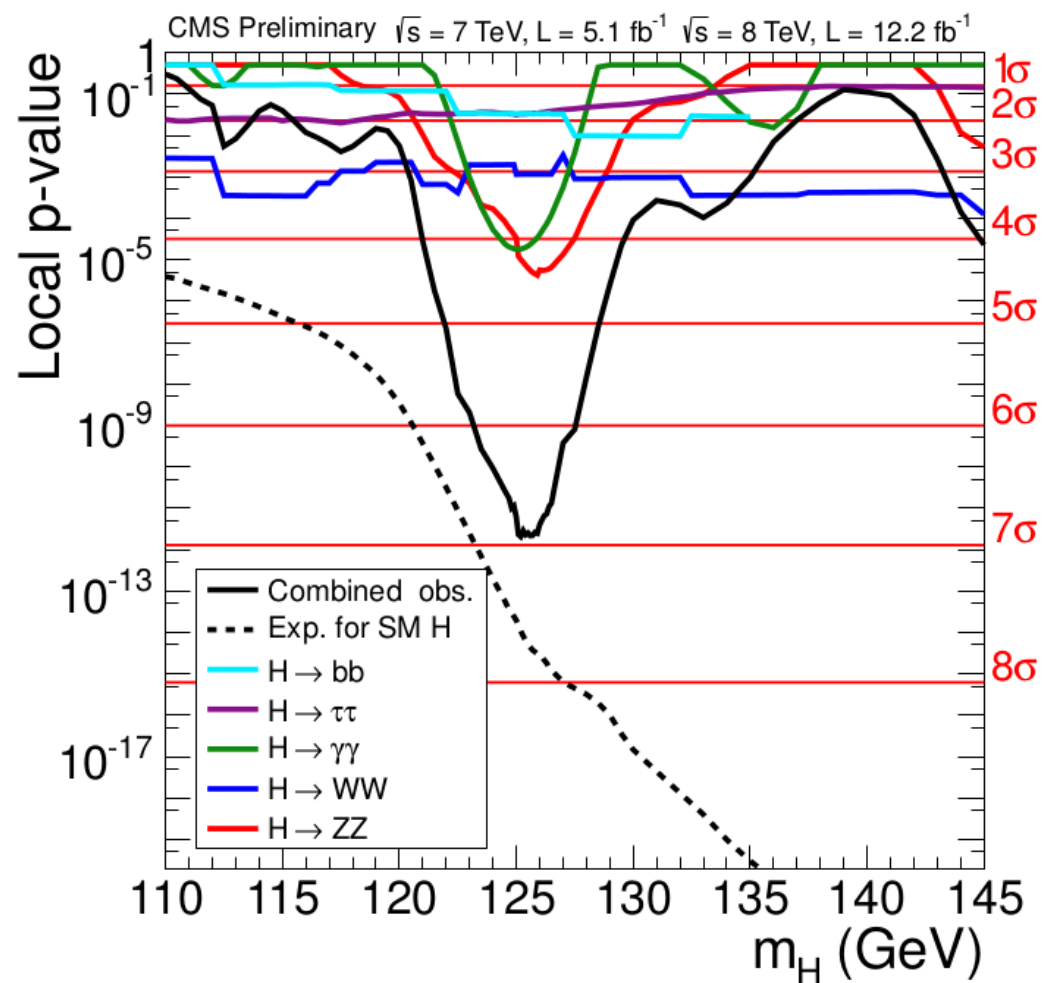
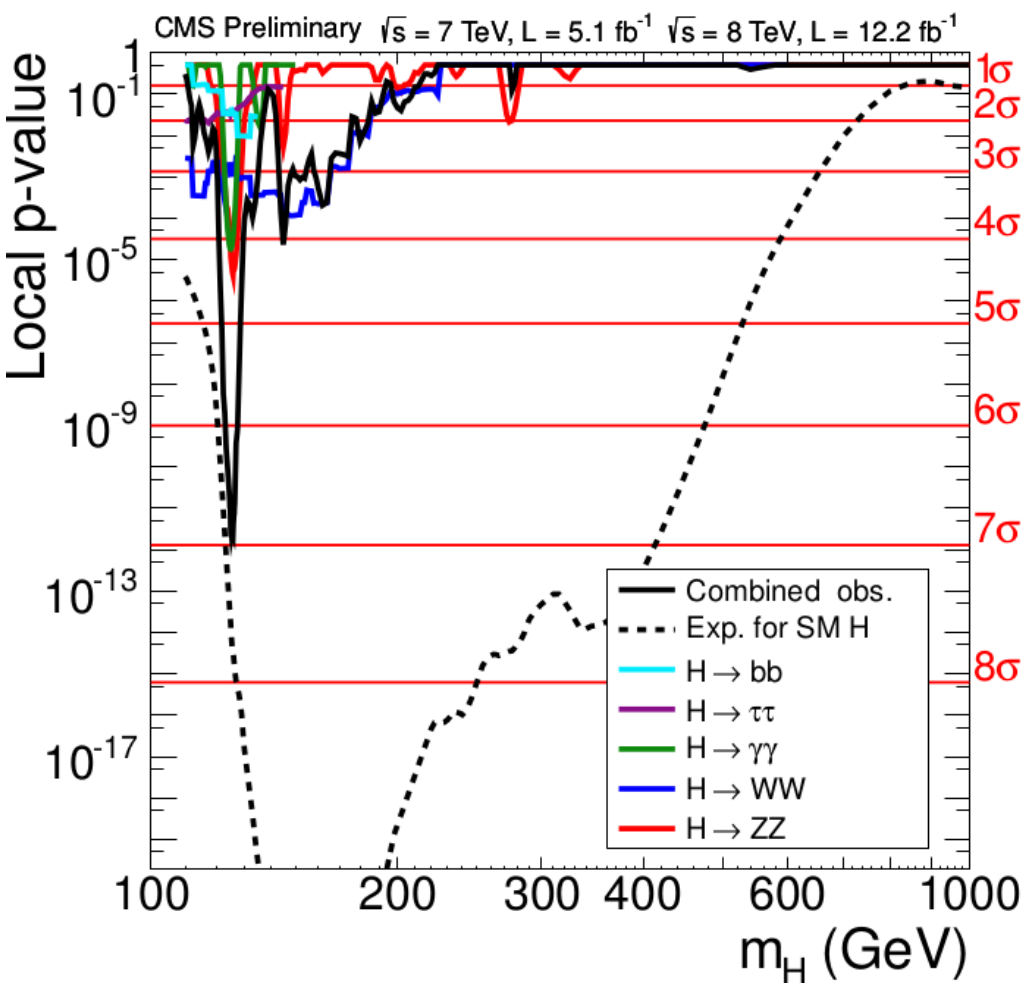
- Ruolo cruciale svolto in questi anni dall'Higgs Cross Section Working Group
- Forum comune di discussione tra comunità teorica e sperimentale

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/LHCPhysics/CrossSections>

Limite superiore a σ/σ_{SM}

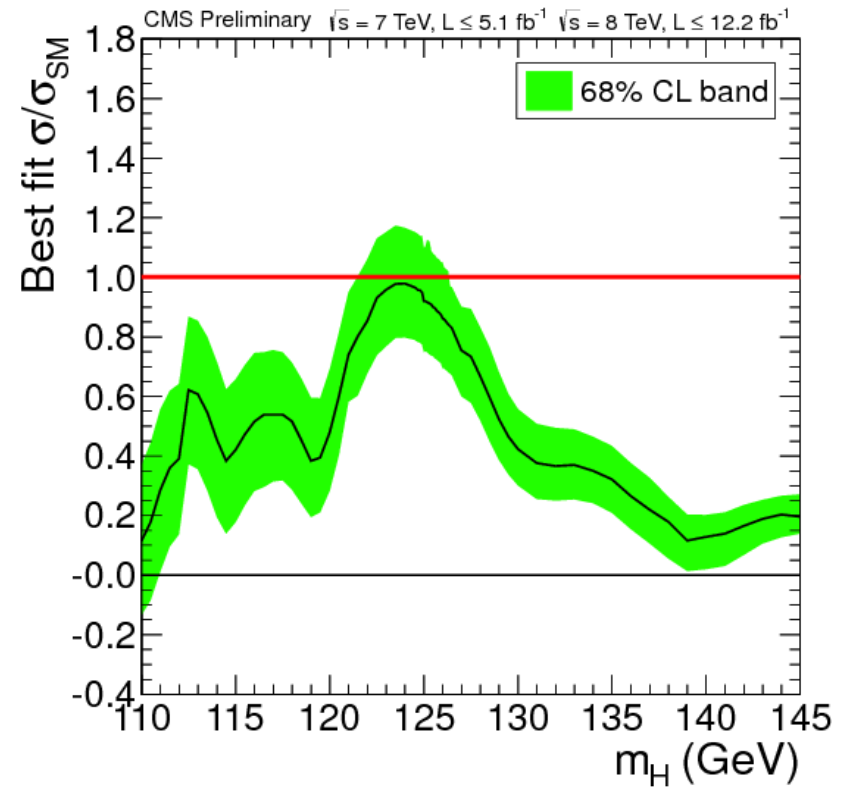
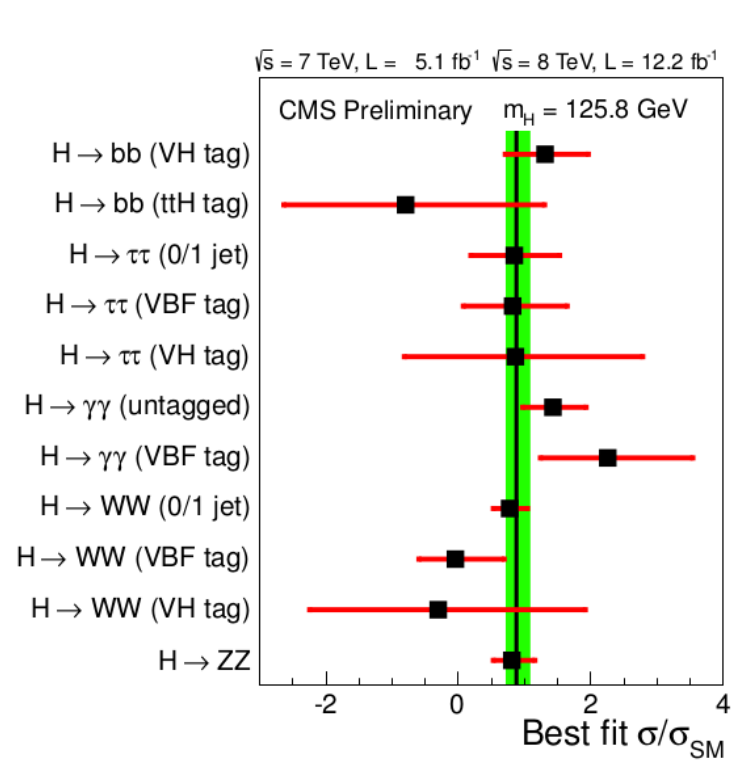


p-value

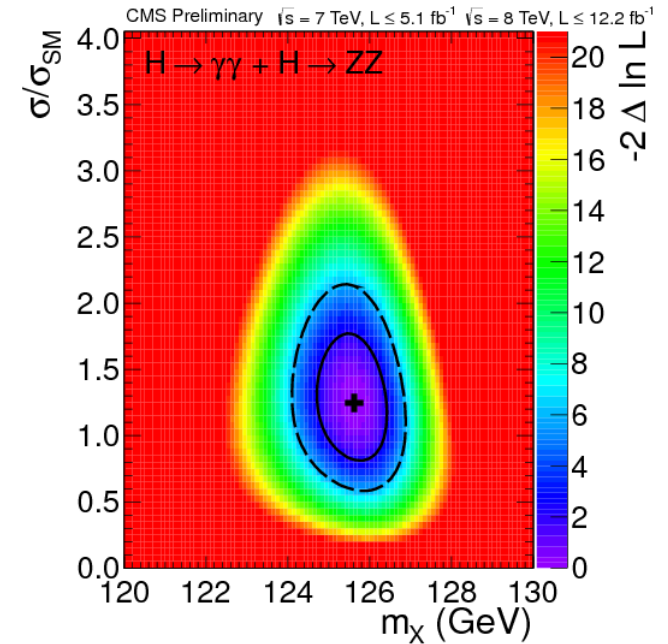
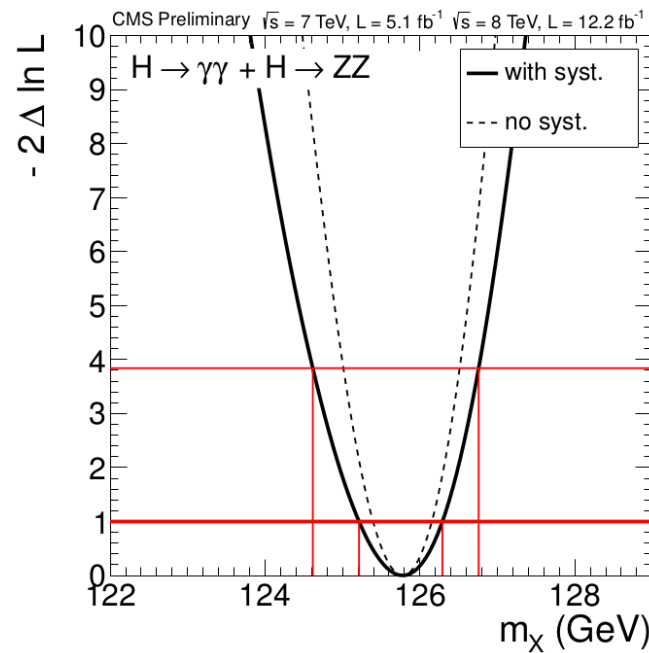
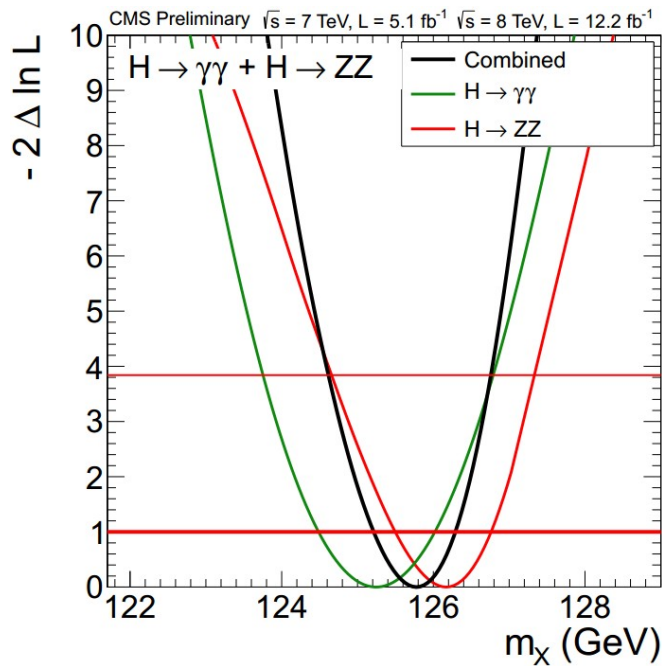


Signal strength

- Si estrae $\mu = \sigma/\sigma_{SM}$
- Tutti i canali compatibili con SM negli errori
- Combinazione @ 125.8 GeV $\rightarrow \mu = 0.88 \pm 0.21$



- Si utilizzano $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ e $H \rightarrow \gamma\gamma$
- 1D: Si assume che i processi siano indipendenti
- 2D: dipendenza SM \rightarrow signal strength vs m_H



$$m_H = 125.8 \pm 0.4 (\text{stat.}) \pm 0.4 (\text{syst.}) \text{ GeV}$$

Misura degli accoppiamenti

- Numero di eventi legato a larghezze parziale e totale

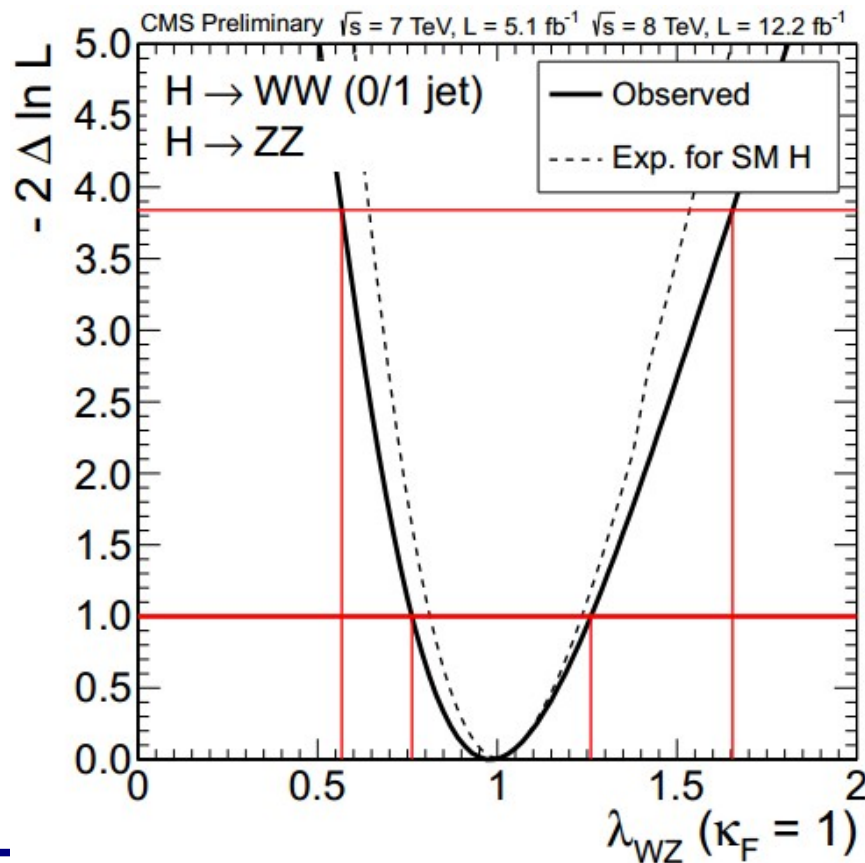
$$N(xx \rightarrow H \rightarrow yy) \sim \sigma(xx \rightarrow H) \cdot \mathcal{B}(H \rightarrow yy) \sim \frac{\Gamma_{xx} \Gamma_{yy}}{\Gamma_{\text{tot}}}$$

- Determinazione di $\Gamma_{WW}, \Gamma_{ZZ}, \Gamma_{tt}, \Gamma_{bb}, \Gamma_{\tau\tau}, \Gamma_{gg}$ e $\Gamma_{\gamma\gamma}$
- Si considera Γ_{tot} indipendente (possibile contributo di nuova fisica)
- Si considerano i fattori di scala κ degli accoppiamenti
 - Variazione di κ rispetto a unità indice di nuova fisica
- Bassa statistica non permette di determinare tutti i parametri nella combinazione
 - Alcuni parametri sono fissati allo SM o integrati nella likelihood

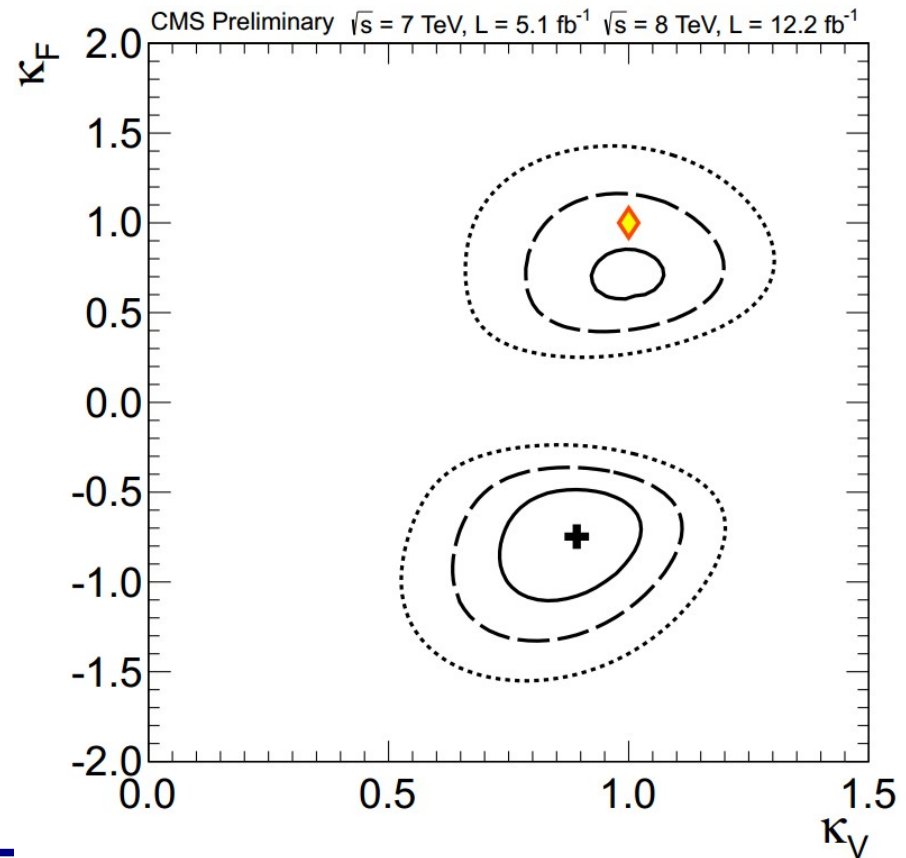
Misura degli accoppiamenti: V e fermioni

Test della custodial symmetry

Si misura $\lambda_{WZ} = \kappa_W / \kappa_Z$



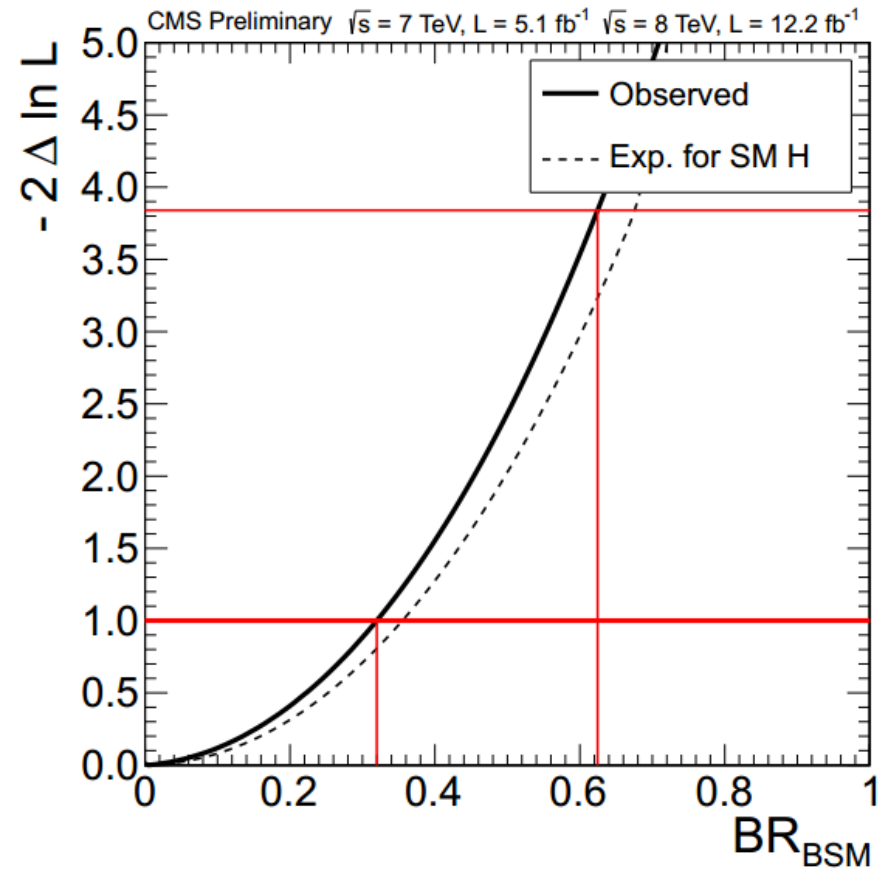
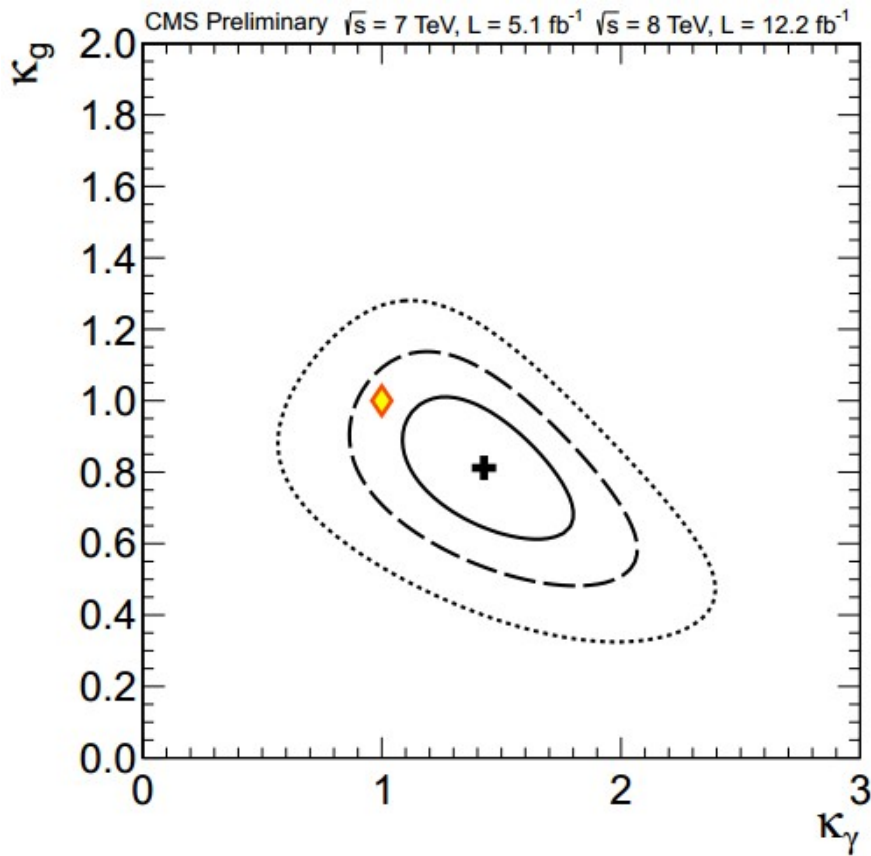
Accoppiamenti con vettori e fermioni
 Tutti i canali sensibili solo a κ^2
 $\gamma\gamma$ (loop con W e t) sensibile al segno e preferisce(+, -)



Test presenza di particelle BSM

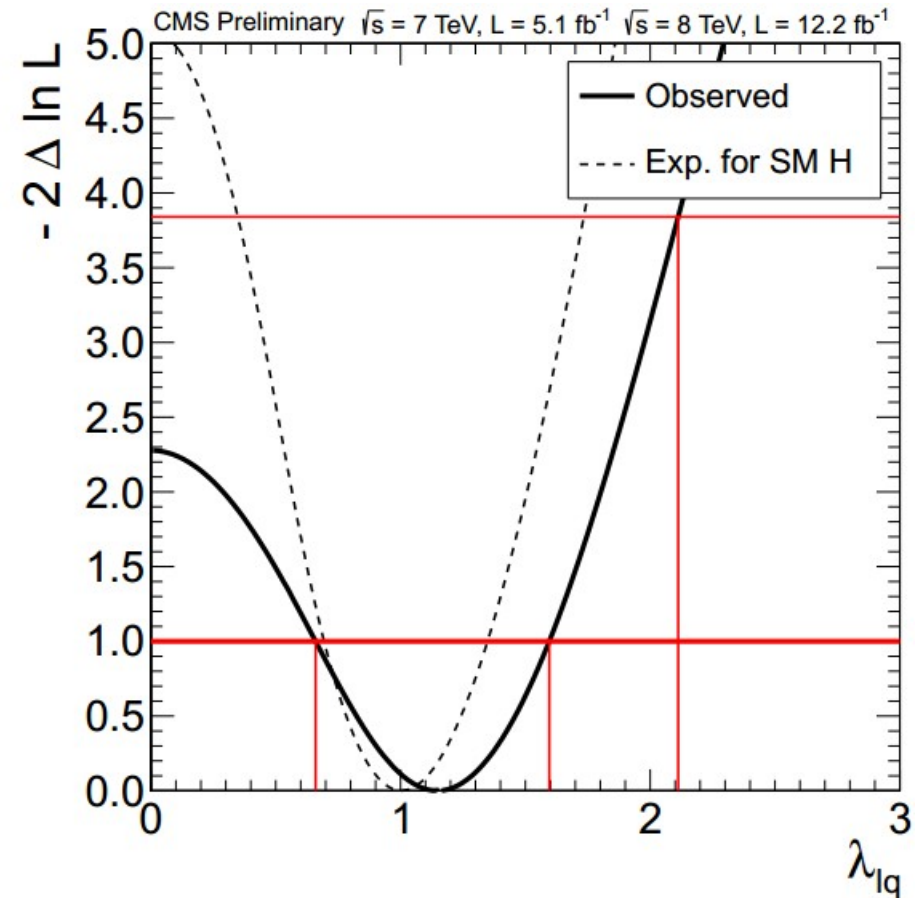
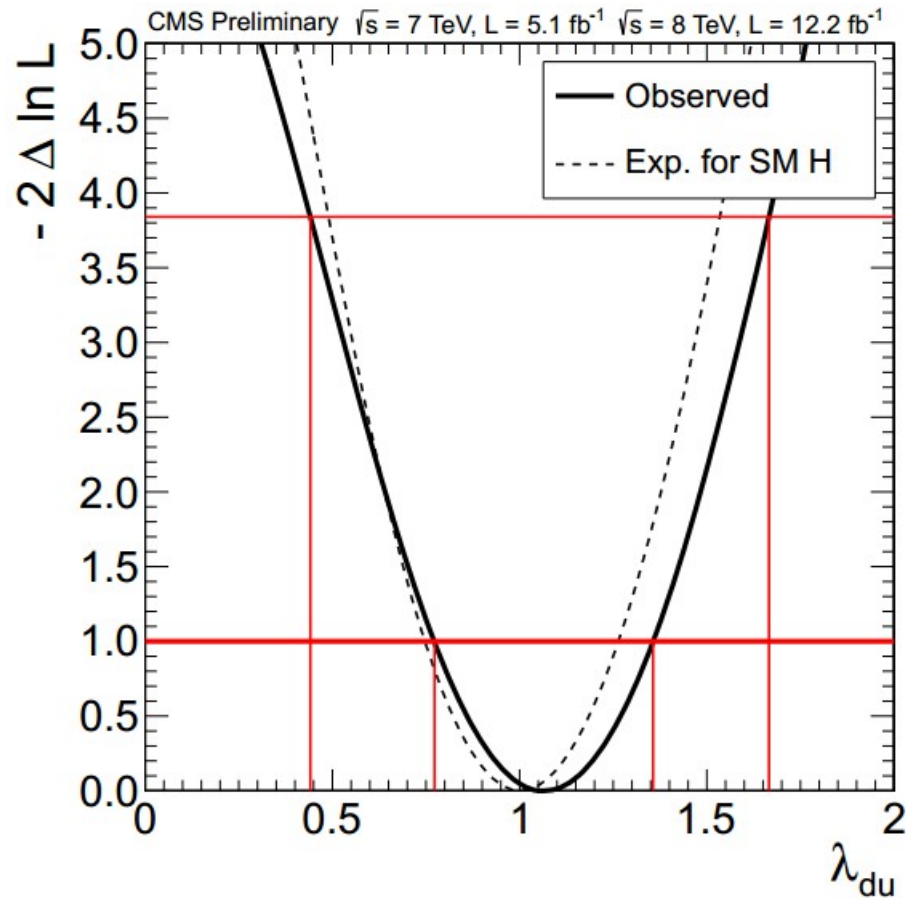
NP attesa nei loop
(come in $H \rightarrow \gamma\gamma$ e $gg \rightarrow H$)

Determinazione $BR_{BSM} = \Gamma_{BSM} / \Gamma_{tot}$
(κ_g e κ_γ integrati)



Accoppiamenti fermioni e 2HDM

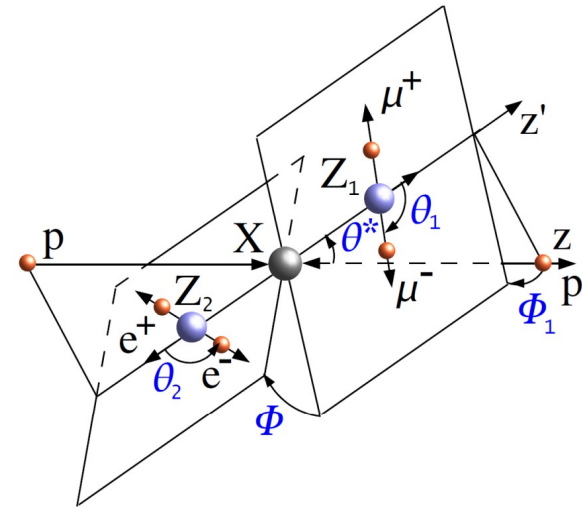
In 2HDM, accoppiamenti fermionici diversi tra quark up e down (più *SUSY-like*)
o tra leptoni e quark (2HDM più generali)



Determinazione di spin e parità ($H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$)

- Cinematica evento descritta con 5 variabili
- Si costruisce discriminante cinematico per separare SM e ipotesi spin-parità

$$D_{JP} = \frac{\mathcal{P}_{SM}}{\mathcal{P}_{SM} + \mathcal{P}_{JP}} = \left[1 + \frac{\mathcal{P}_{JP}(m_{Z_1}, m_{Z_2}, \vec{\Omega} | m_{4l})}{\mathcal{P}_{SM}(m_{Z_1}, m_{Z_2}, \vec{\Omega} | m_{4l})} \right]^{-1}$$



- Per $J = 0$ si considera l'ampiezza di decadimento

$$A = v^{-1} \epsilon_1^{*\mu} \epsilon_2^{*\nu} \left(a_1 g_{\mu\nu} m_H^2 + a_2 q_\mu q_\nu + a_3 \epsilon_{\mu\nu\alpha\beta} q_1^\alpha q_2^\beta \right) = A_1 + A_2 + A_3$$

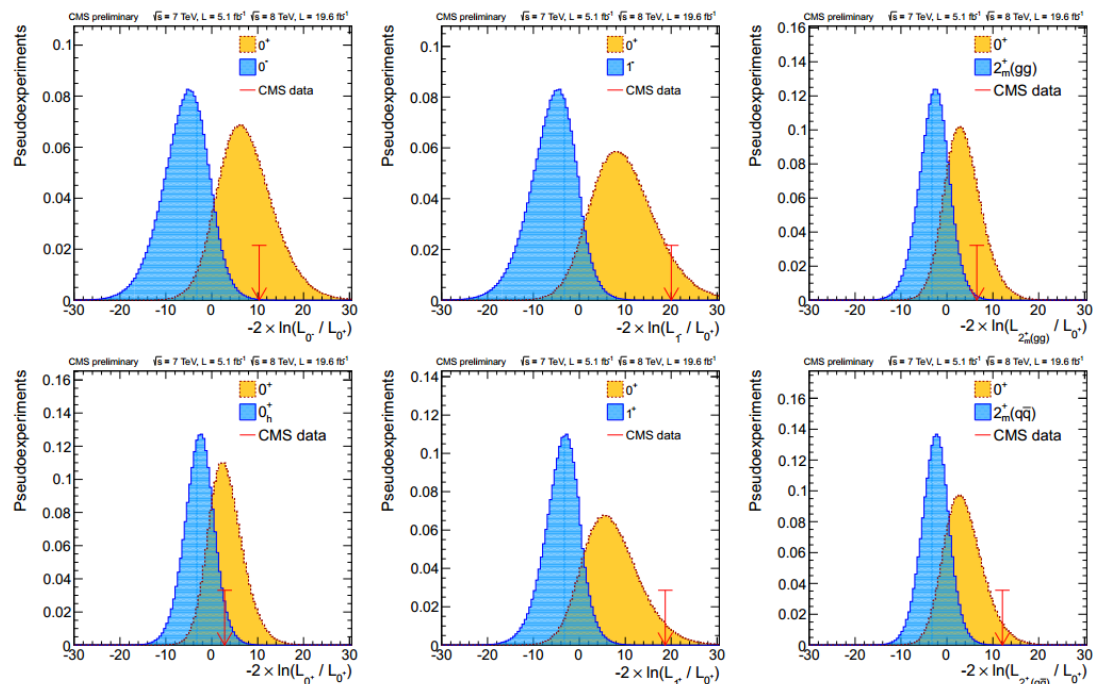
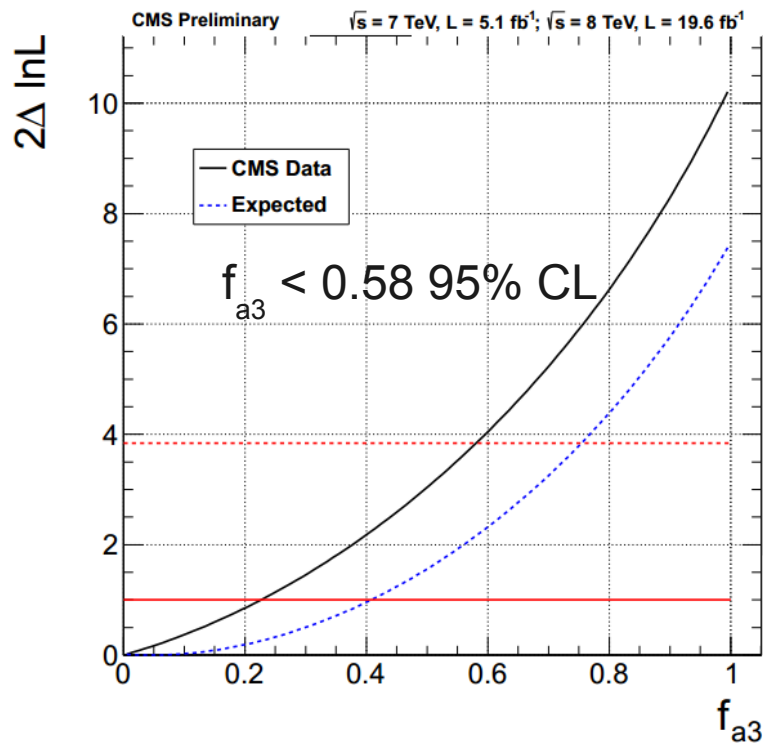
e si considera la variabile $f_{a3} = |A_3|^2 / (|A_1|^2 + |A_3|^2)$

- N.B. $f_{a3} \neq 0$ implica violazione di CP

Determinazione di spin e parità ($H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$)

CMS PAS HIG-13-002

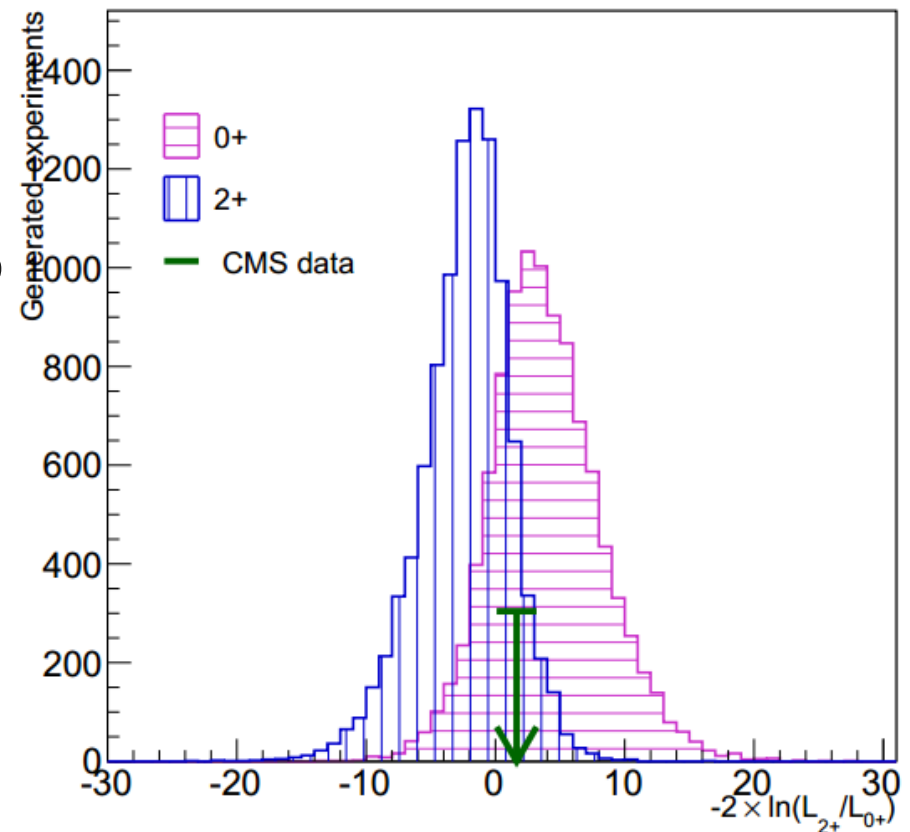
J^P	production	comment	expect ($\mu=1$)	obs. 0^+	obs. J^P	CL_s
0^-	$gg \rightarrow X$	pseudoscalar	2.6σ (2.8σ)	0.5σ	3.3σ	0.16%
0_h^+	$gg \rightarrow X$	higher dim operators	1.7σ (1.8σ)	0.0σ	1.7σ	8.1%
$2_{m\text{gg}}^+$	$gg \rightarrow X$	minimal couplings	1.8σ (1.9σ)	0.8σ	2.7σ	1.5%
$2_{mq\bar{q}}^+$	$q\bar{q} \rightarrow X$	minimal couplings	1.7σ (1.9σ)	1.8σ	4.0σ	<0.1%
1^-	$q\bar{q} \rightarrow X$	exotic vector	2.8σ (3.1σ)	1.4σ	$>4.0\sigma$	<0.1%
1^+	$q\bar{q} \rightarrow X$	exotic pseudovector	2.3σ (2.6σ)	1.7σ	$>4.0\sigma$	<0.1%



Determinazione di spin e parità ($H \rightarrow WW \rightarrow 2l2\nu$)

- Buona separazione tra SM e 2^+
- Utilizza angolo di apertura tra leptoni, massa invariante e trasversa
- Costruiamo template 2D $\{m_T, m_{ll}\}$ e ripetiamo analisi della shape nelle due ipotesi (solo $e\mu$)
- Si stima la consistenza dei dati nelle due ipotesi da $q = -2 \ln(L_{2^+} / L_{0^+})$
 - Sia fissando $\sigma/\sigma_{SM} = 1$ che come parametro libero

CMS Preliminary $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}, L = 4.9 \text{ fb}^{-1}; \sqrt{s} = 8 \text{ TeV}, L = 19.5 \text{ fb}^{-1}$



Dati sfavoriscono ipotesi 2^+ con CLs = 12-14%

- Sembra l'Higgs...
 - ✓ Sezione d'urto
 - ✓ Accoppiamenti
 - ✓ Spin & parità
- E sembra l'Higgs SM...
 - Necessario aggiornamento a statistica completa (soprattutto) per accoppiamenti e sezione d'urto
 - Soprattutto per poter stimare stati finali più esclusivi e/o model independent possibile
 - Risultati pubblici *presto*
 - Alta massa sta diventando la nuova “frontiera”

Backup

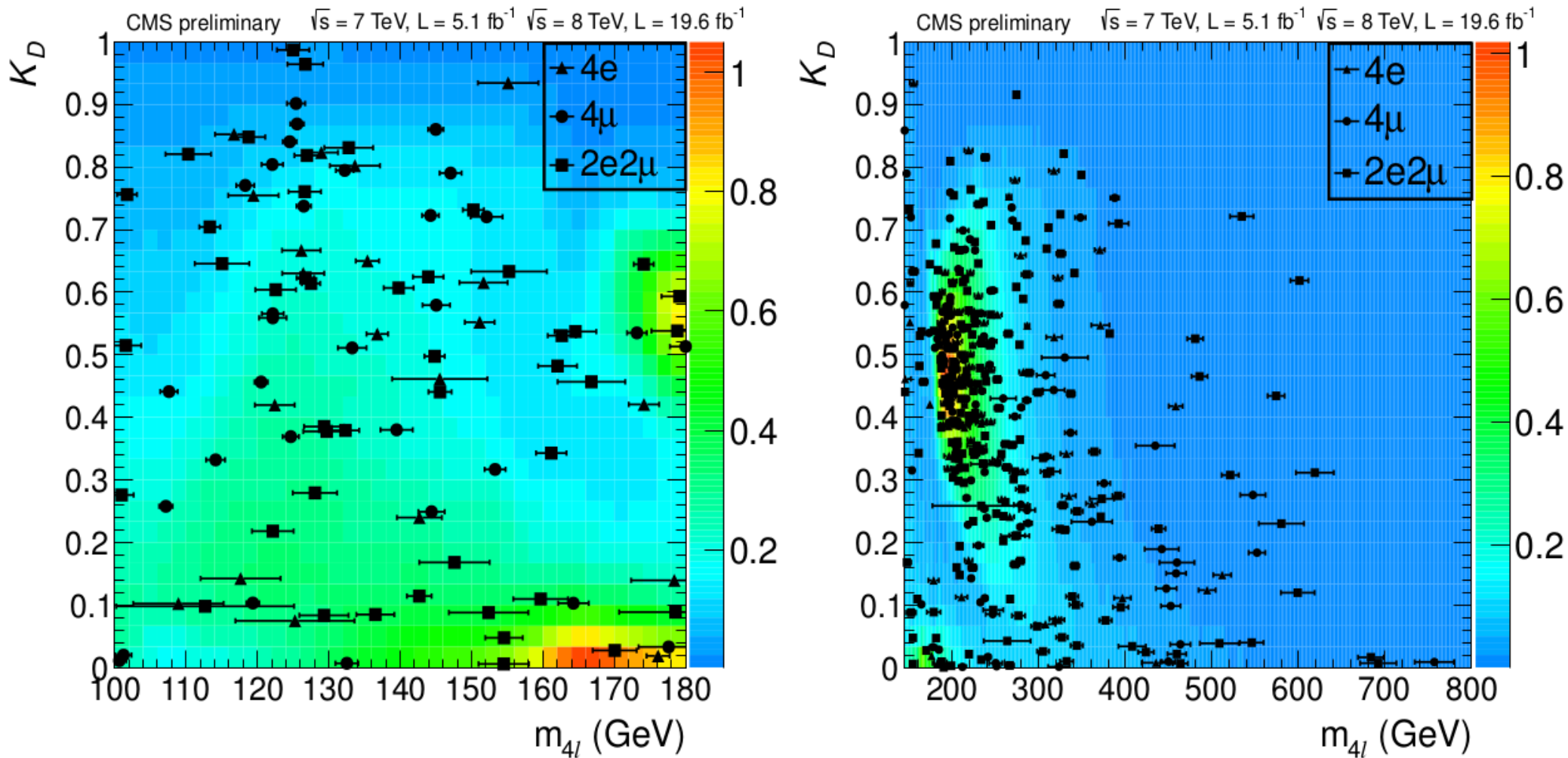


Figure 4: Distribution of the kinematic discriminant K_D versus the four-lepton reconstructed mass $m_{4\ell}$ in the low-mass (left) and high-mass (right) regions. The contours represent the expected relative density of signal events. The points show the data and the measured invariant mass uncertainties as horizontal bars. No event is observed for $m_{4\ell} > 800 \text{ GeV}$.

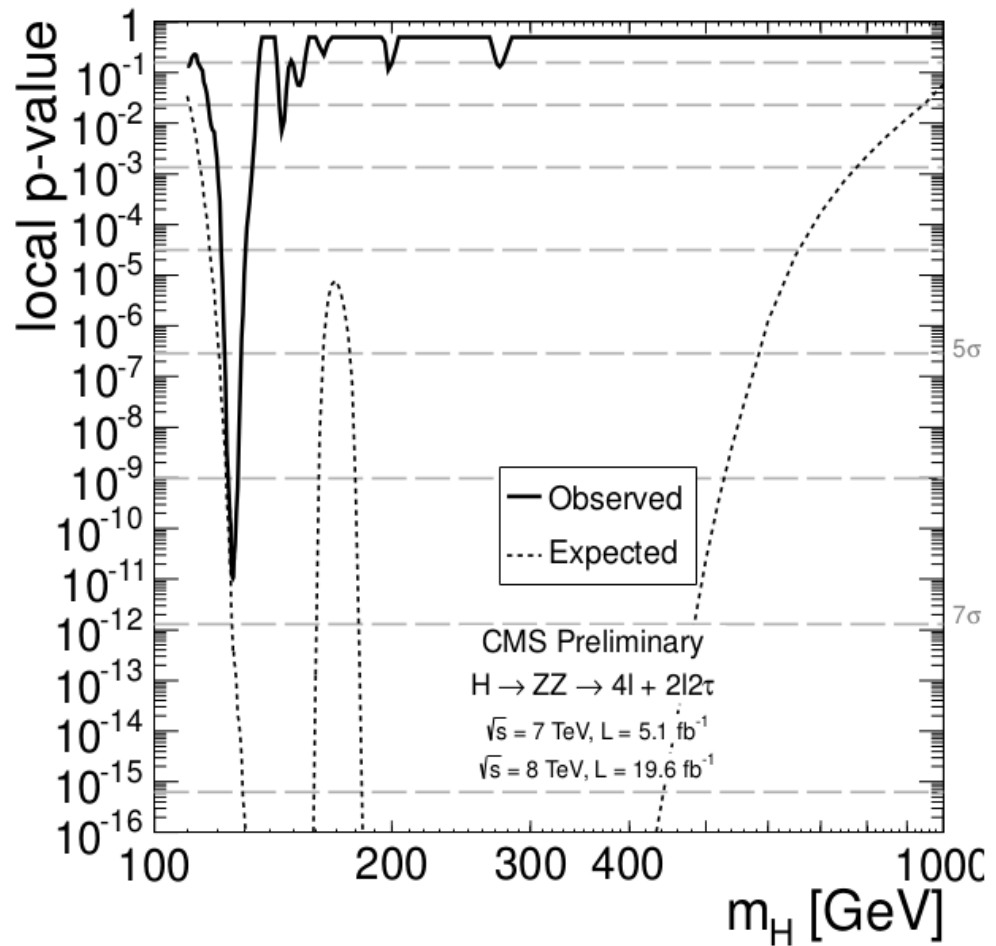
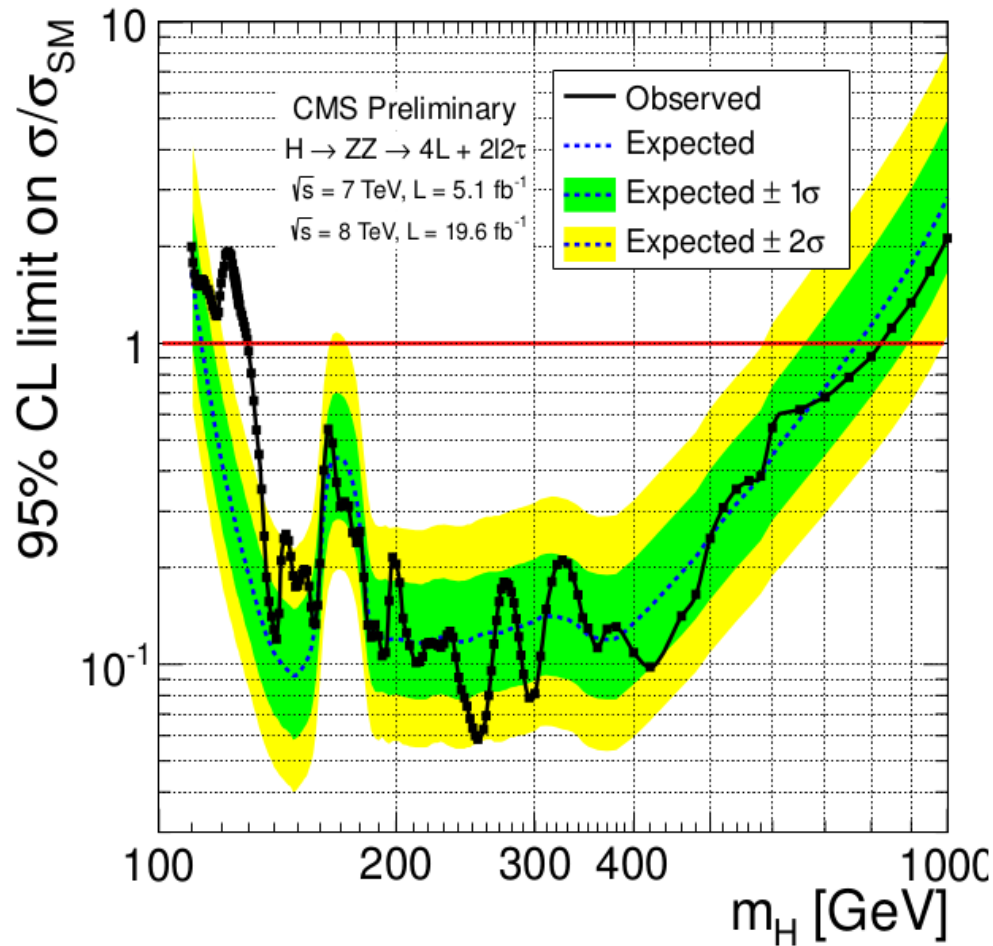


Figure 5: Observed and expected 95% CL upper limit (left) on the ratio of the production cross section to the SM expectation. The expected 68% and 95% CL ranges of expectation for the background-only model are also shown with green and yellow bands, respectively. Significance of the local excess (right) with respect to the SM background expectation as a function of the Higgs boson mass in the full interpretation mass range 110-1000 GeV.

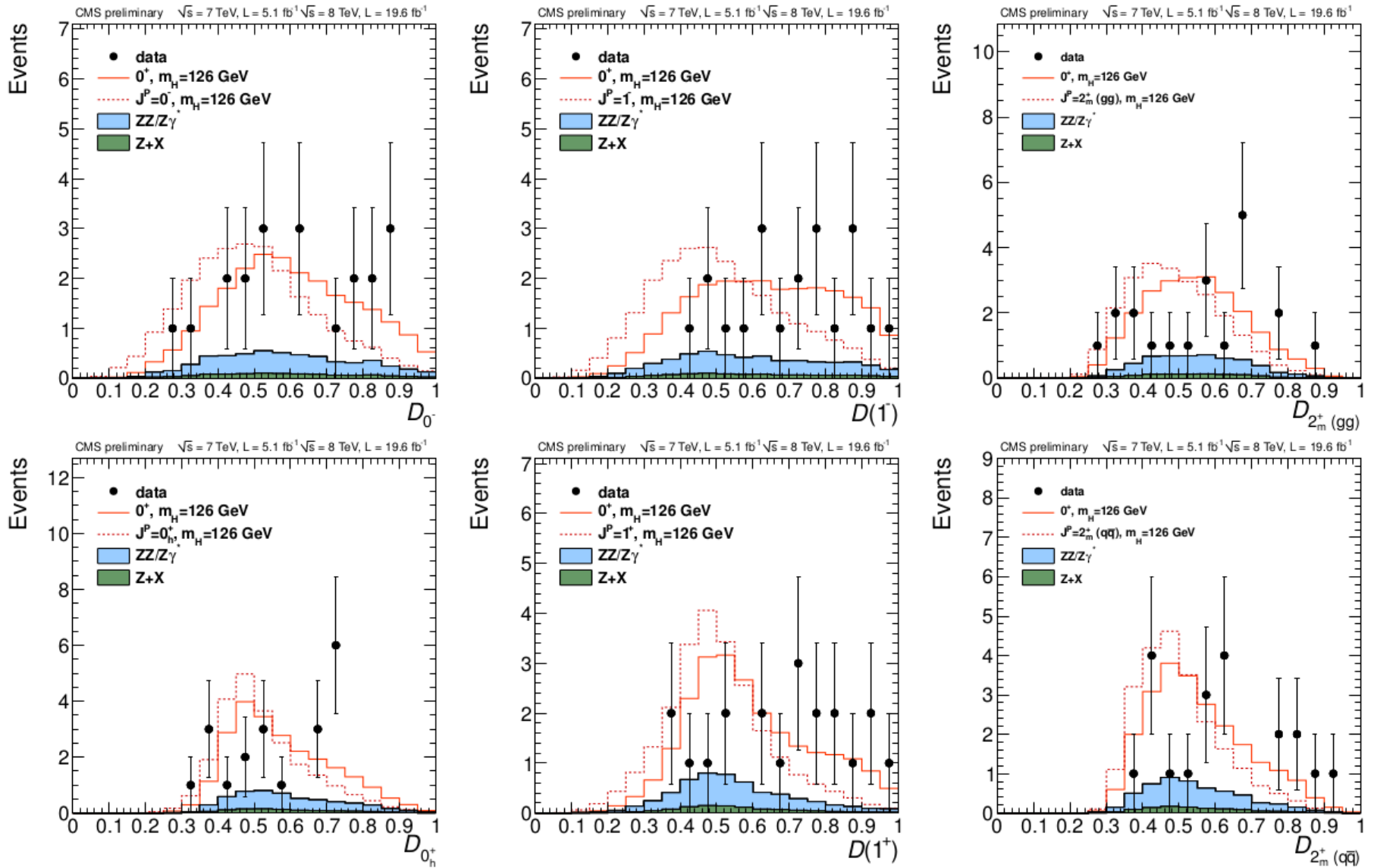


Figure 13: Distributions of \mathcal{D}_{JP} with a requirement $\mathcal{D}_{\text{bkg}} > 0.5$. Distributions in data (points with error bars) and expectations for background and signal are shown. Six alternative hypotheses are tested from top to bottom and left to right: $J^P = 0^-, 0_h^+, 1^-, 1^+, 2_m^+(gg), 2_m^+(q\bar{q})$.

