

# Misura delle proprietà del bosone di Higgs in decadimenti in coppie di bosoni vettori con l'esperimento CMS

IFAE 2018  
4 - 6 Aprile 2018

Lorenzo Viliani  
On behalf of the CMS Collaboration

INFN Firenze (Italia)



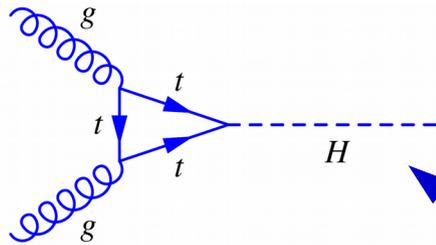
- La misura delle proprietà del bosone di Higgs è uno degli obiettivi principali del Run2 di LHC.
- Rappresentano un ottimo test di compatibilità con lo Standard Model (SM).
- I contributi Beyond the Standard Model (BSM) possono avere effetti sulle proprietà del bosone di Higgs di  $\sim 1-10\%$ .
- Quali proprietà?
  - Accoppiamenti con fermioni e bosoni, sezione d'urto, massa, distribuzioni differenziali, ...

Model	$\kappa_V$	$\kappa_b$	$\kappa_\gamma$
Singlet Mixing	$\sim 6\%$	$\sim 6\%$	$\sim 6\%$
2HDM	$\sim 1\%$	$\sim 10\%$	$\sim 1\%$
Decoupling MSSM	$\sim -0.0013\%$	$\sim 1.6\%$	$\sim -0.4\%$
Composite	$\sim -3\%$	$\sim -(3 - 9)\%$	$\sim -9\%$
Top Partner	$\sim -2\%$	$\sim -2\%$	$\sim +1\%$

Effetti di alcuni modelli BSM sulle costanti di accoppiamento del bosone di Higgs



arXiv:1310.8361 –  $m_{\text{NP}} \sim 1$  TeV

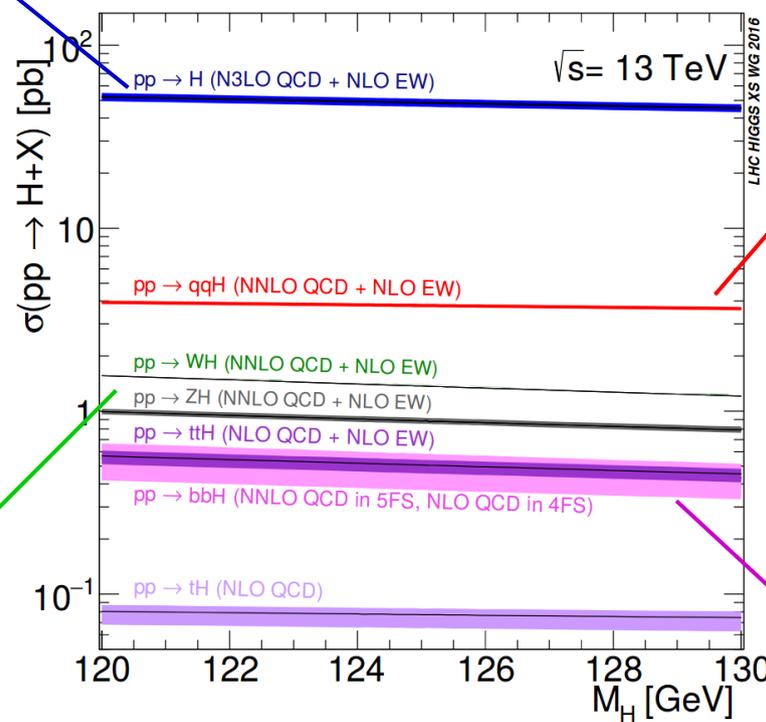
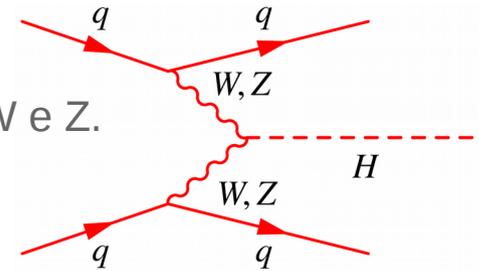


## Gluon fusion (ggH)

- Sensibile all'accoppiamento con i fermioni (quark t,b).

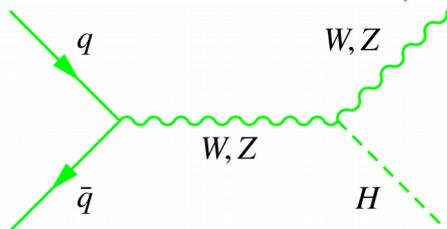
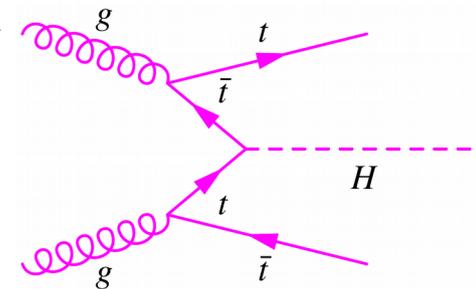
## Vector boson fusion (VBF)

- Sensibile all'accoppiamento con W e Z.



## Top associated production (ttH)

- Sensibile all'accoppiamento diretto con il top.

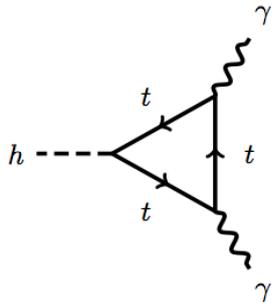


## Vector boson associated prod. (VH)

- Sensibile all'accoppiamento con W e Z.

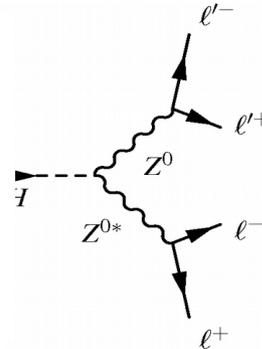
## $H \rightarrow \gamma\gamma$

CMS PAS HIG-16-040



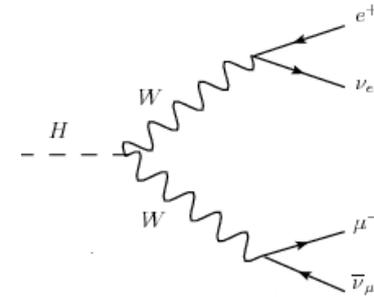
## $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$

10.1007/JHEP11(2017)047



## $H \rightarrow WW \rightarrow 2\ell 2\nu$

CMS PAS HIG-16-042



- Review dei recenti risultati nei canali di decadimento in bosoni vettori.
- I risultati presentati sono ottenuti usando collisioni pp prodotte durante il 2016
  - Luminosità integrata  $\sim 36 \text{ fb}^{-1}$



- Combinazione dei canali di decadimento bosonici e fermionici

- **CMS PAS HIG-17-031**

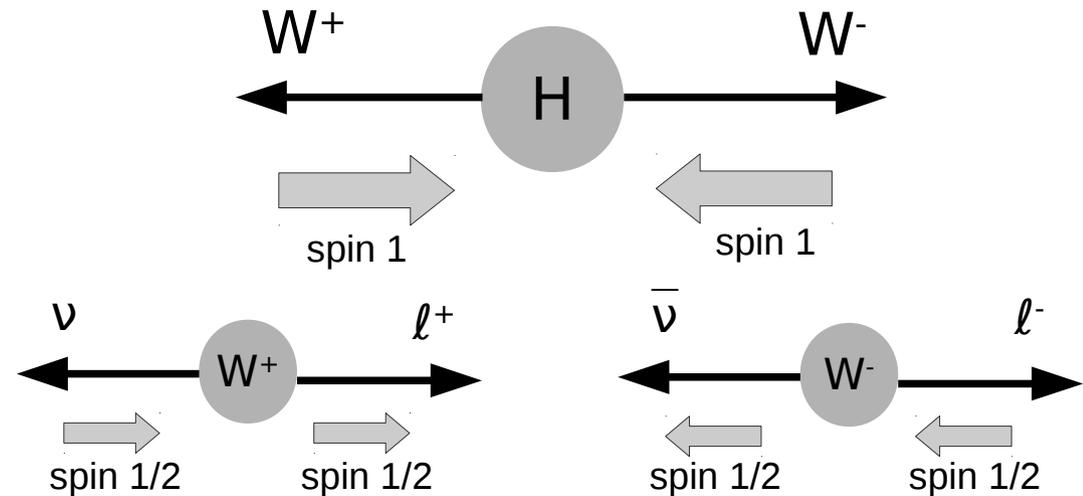


- Elevato branching ratio

- Ottima precisione attesa per misura di sezione d'urto e couplings
- Sensibilità anche a meccanismi di produzione minori

- Stato finale non completamente ricostruibile a causa dei neutrini

- E' necessario sfruttare la cinematica dello stato finale per ridurre i fondi.



- Fondi principali:

- WW, tt e single-top, Drell-Yan → regioni di controllo
- leptoni nonprompt → fully data driven
- Altri processi VV → MC driven

**Il bosone di Higgs ha spin 0 → i leptoni vengono emessi preferenzialmente vicini fra loro**

# H → WW → 2ℓ2u

**NEW**

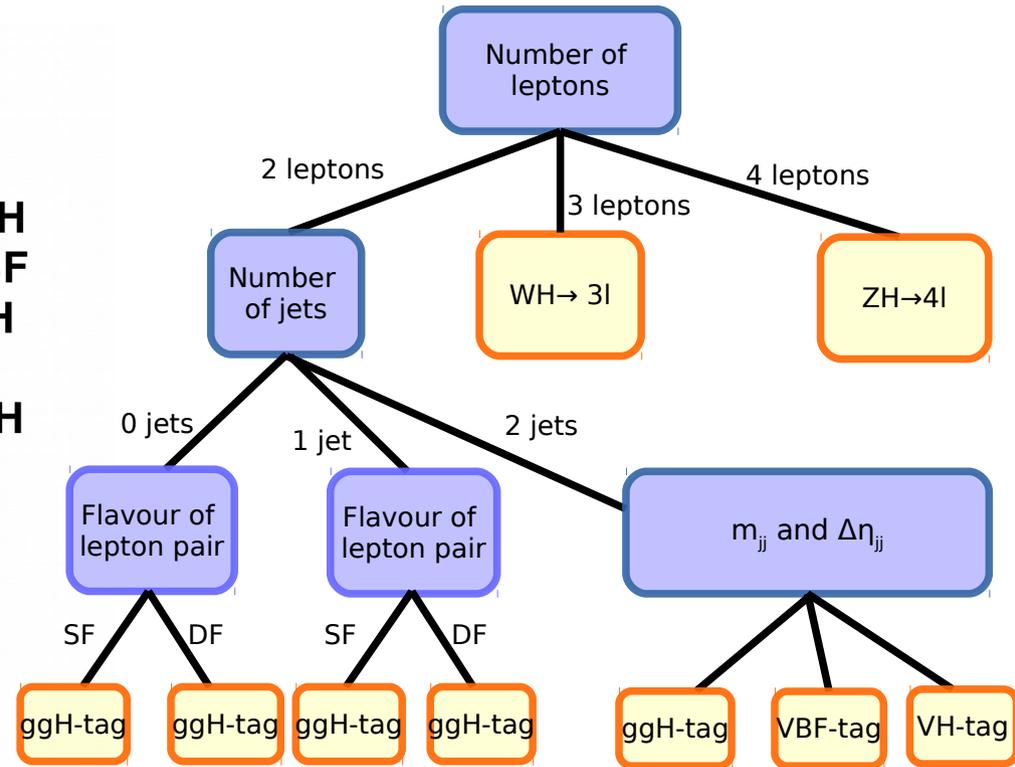
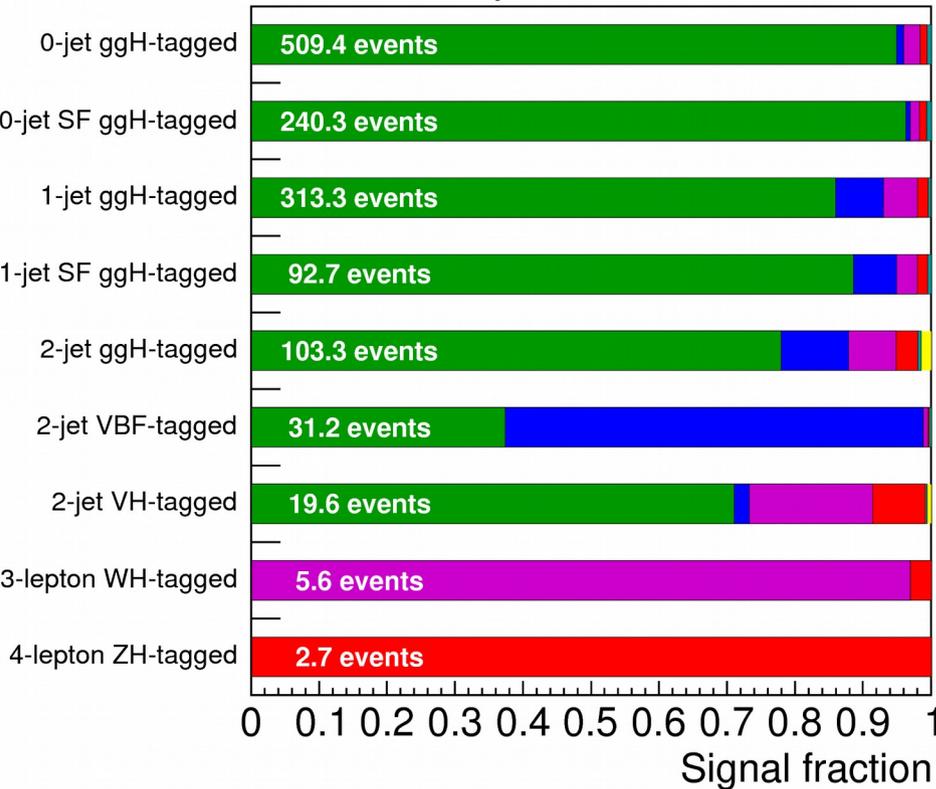


## ● Preselezione:

- 2 leptoni di carica opposta con  $p_{T1} > 25$  GeV e  $p_{T2} > 10(13)$  GeV per  $\mu(e)$
- MET > 20 GeV,  $p_{T\ell\ell} > 30$  GeV
- b-tagged jet veto → riduzione del fondo da quark top

**30 categorie in totale**

**CMS Preliminary** 35.9 fb<sup>-1</sup> (13 TeV)

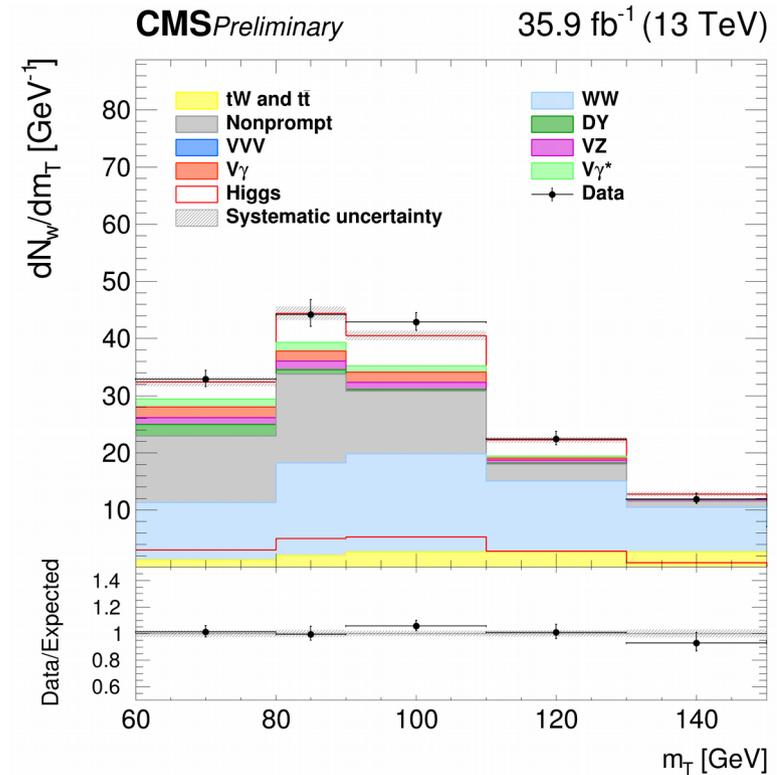
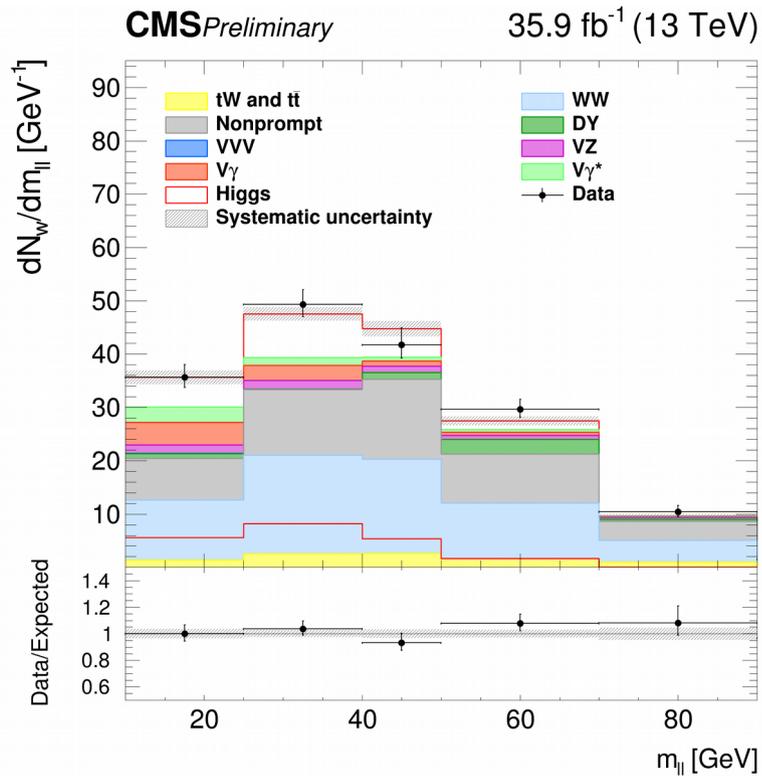


SF: Same Flavour (ee/μμ)  
DF: Different Flavour (eμ)

# H $\rightarrow$ WW $\rightarrow$ 2 $\ell$ 2 $\nu$ - risultati



- Template fit simultaneo in tutte le categorie per estrarre il segnale
- Variabili discriminatorie utilizzate nel fit diverse a seconda della categoria
  - Template 2D ( $m_{\ell\ell}, m_{\tau\tau}$ ) nella maggior parte delle categorie
- Sistematiche principali: efficienze leptoni e stime dei fondi data driven.

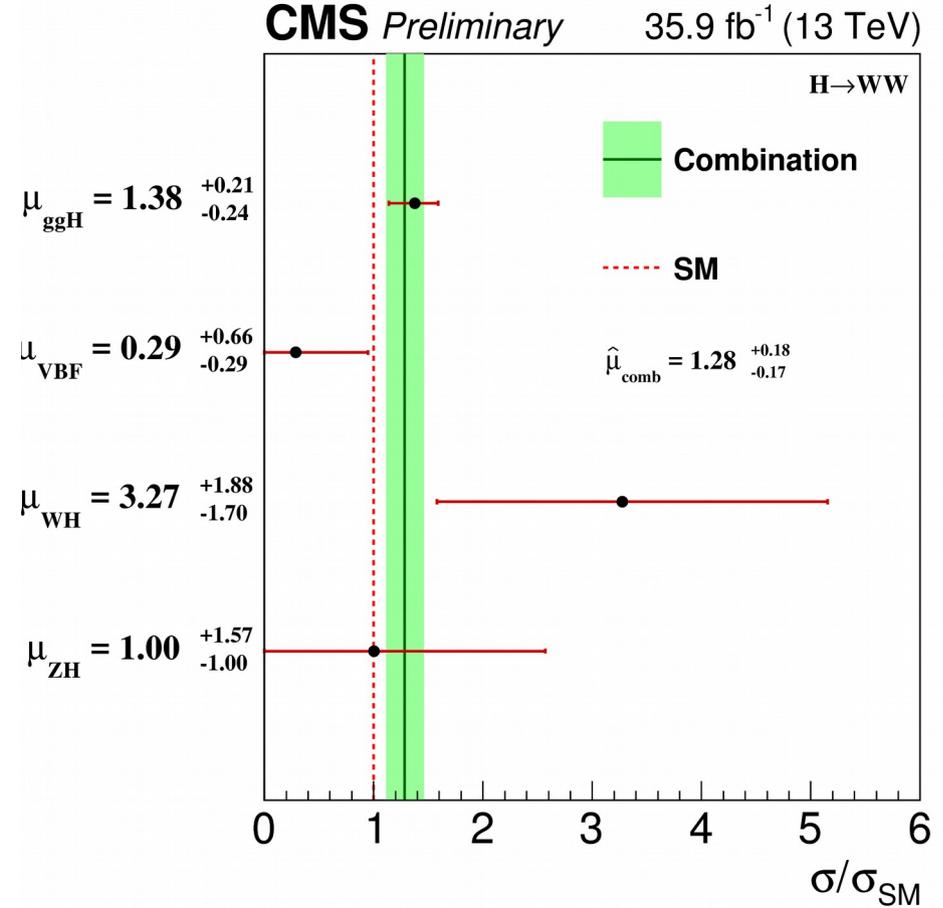
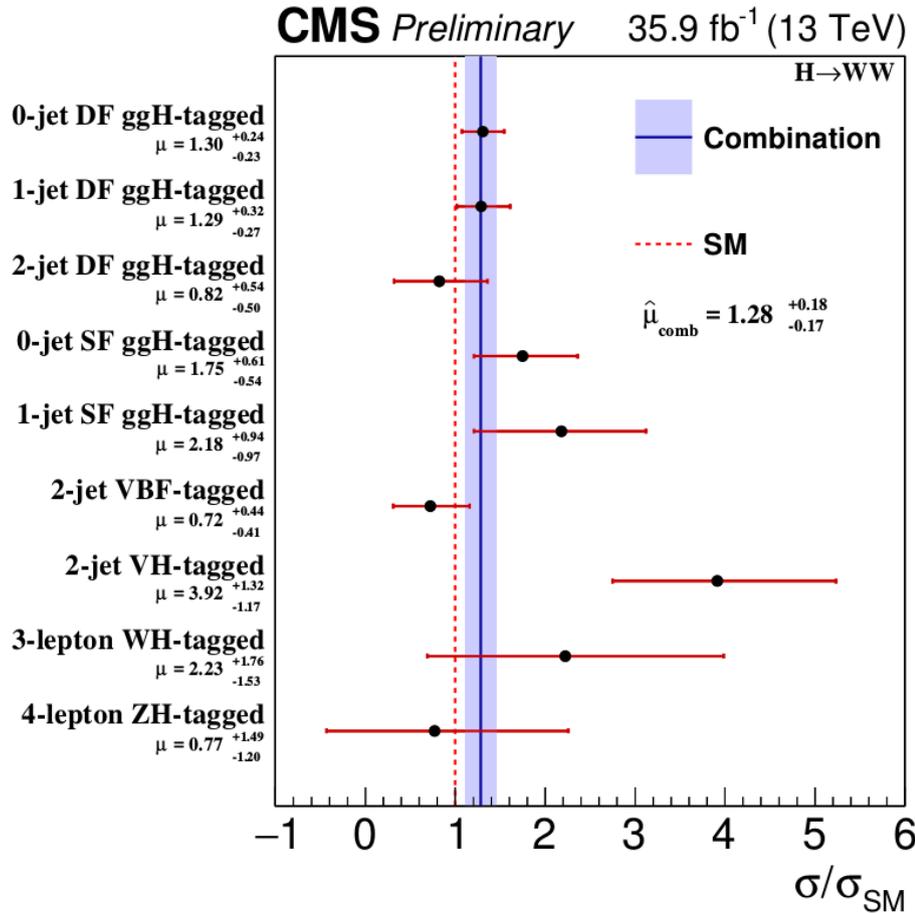


# H → WW → 2ℓ2ν - risultati

**NEW**



- Signal strengths ( $\sigma/\sigma_{SM}$ ) misurate per vari meccanismi di produzione.

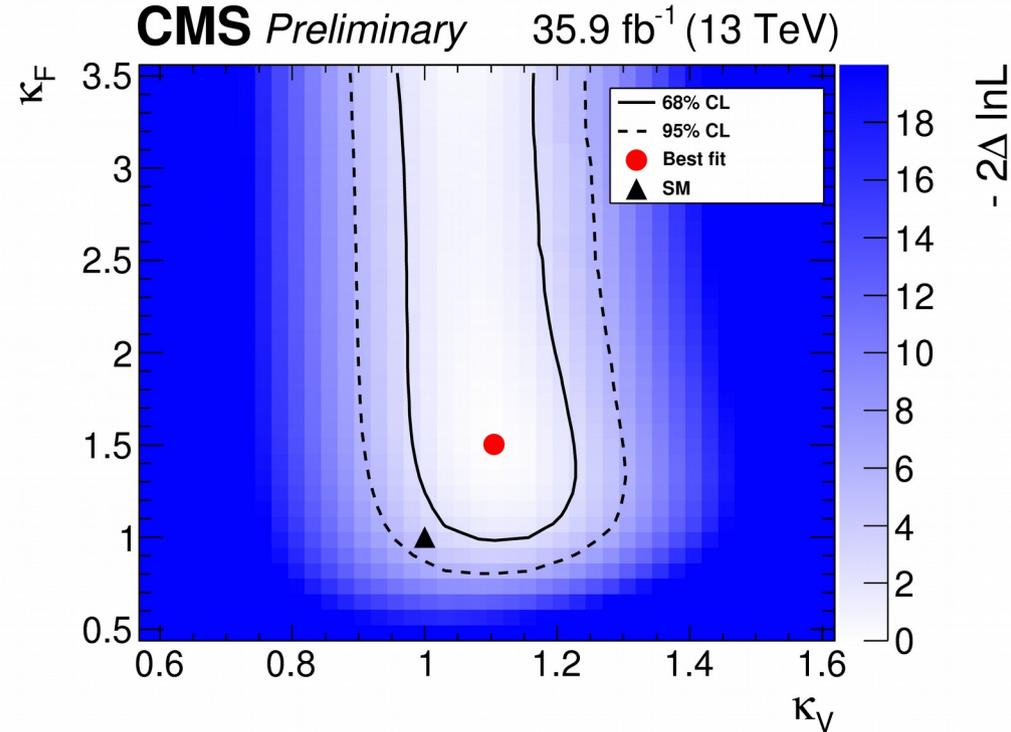
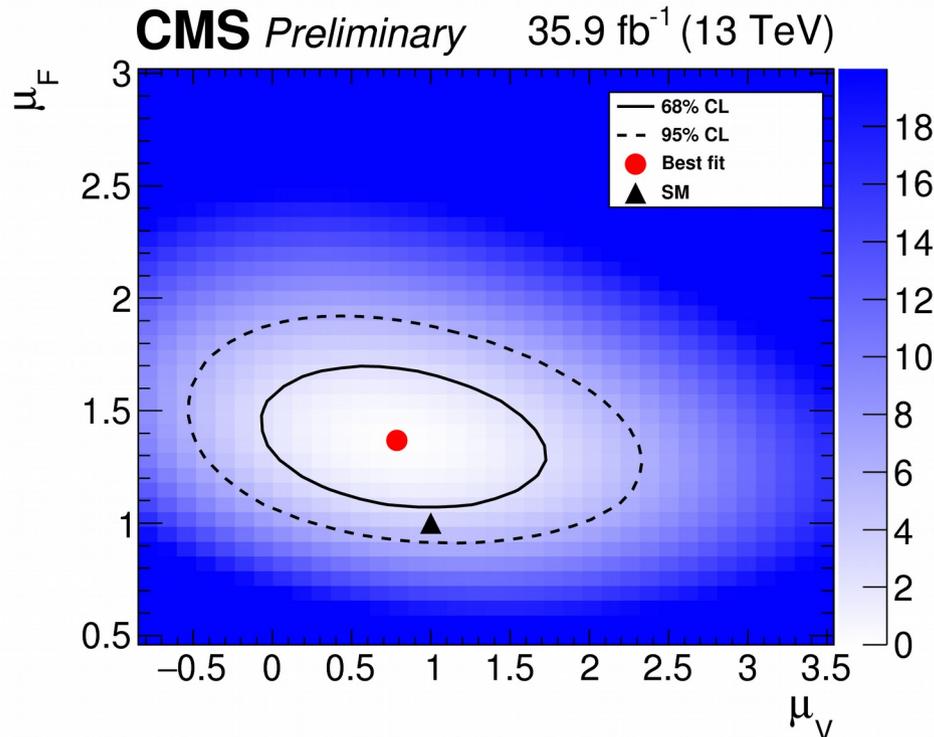


$$\hat{\mu} = 1.28^{+0.18}_{-0.17} = 1.28 \pm 0.10(\text{stat})^{+0.11}_{-0.11}(\text{syst})^{+0.10}_{-0.07}(\text{theo.})$$

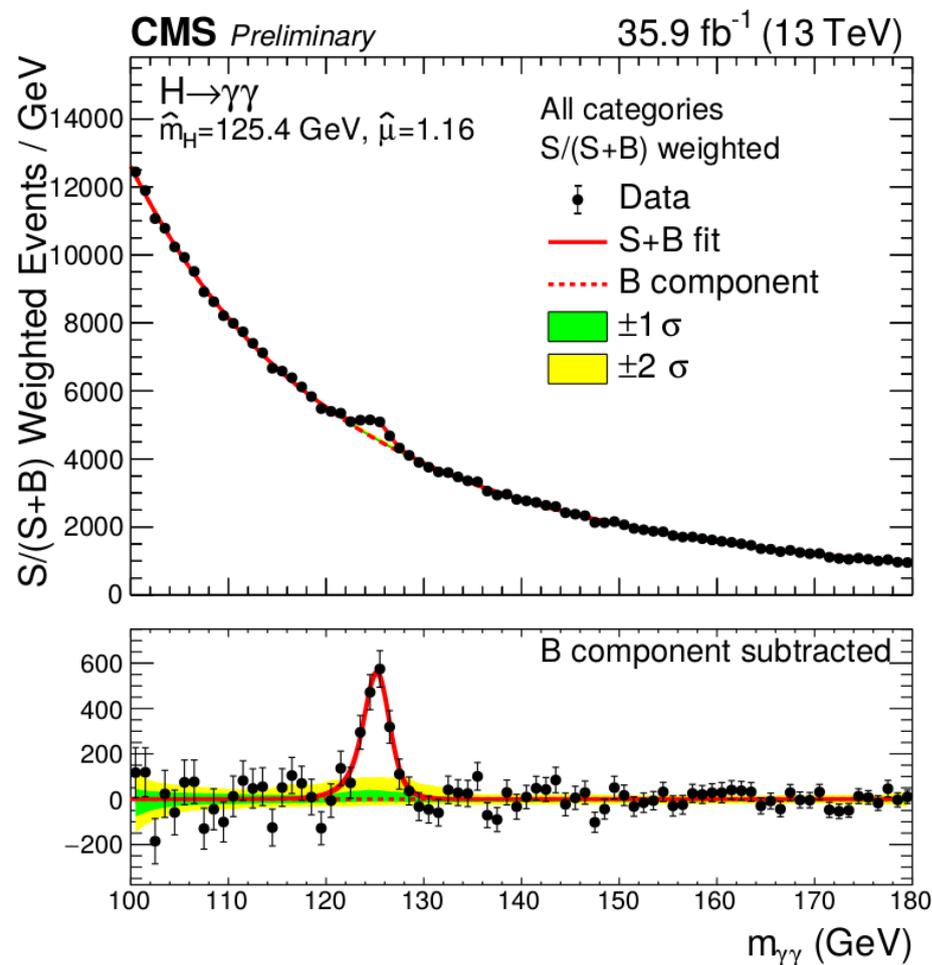
Significanza = 9.1σ (7.1σ atteso)

- Misura degli accoppiamenti del bosone di Higgs a fermioni e bosoni vettori.
  - $\mu_F, \mu_V$ : signal strengths associate a ggH e VBF/VH
  - $\kappa_F, \kappa_V$ : costanti di accoppiamento associate a processi fermionici e bosonici

$$\sigma \times \mathcal{B}(X \rightarrow H \rightarrow WW) = \kappa_i^2 \frac{\kappa_V^2}{\kappa_H^2} \sigma_{\text{SM}} \times \mathcal{B}_{\text{SM}}(X \rightarrow H \rightarrow WW)$$



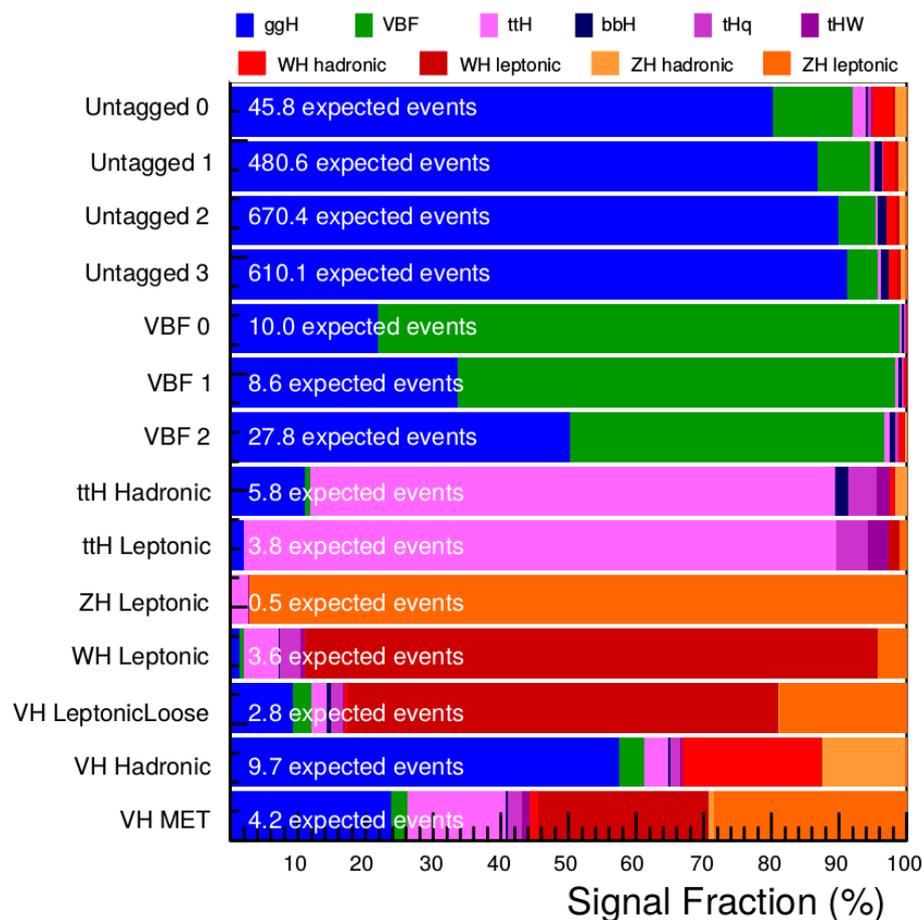
- Piccolo branching ratio ma stato finale pulito.
- Elevata precisione nella ricostruzione della massa invariante dei 2 fotoni.
- Fondi principali:
  - Prompt diphoton production → irriducibile
  - γ+jets e dijet → riducibili
- Preselezione:
  - $p_T^{Y1} > m_{YY}/3$  e  $p_T^{Y2} > m_{YY}/4$
  - $100 \text{ GeV} < m_{YY} < 180 \text{ GeV}$
  - $|\eta_\gamma| < 2.5$
- Sistematiche principali: identificazione fotoni e funzioni usate per il fit del fondo.



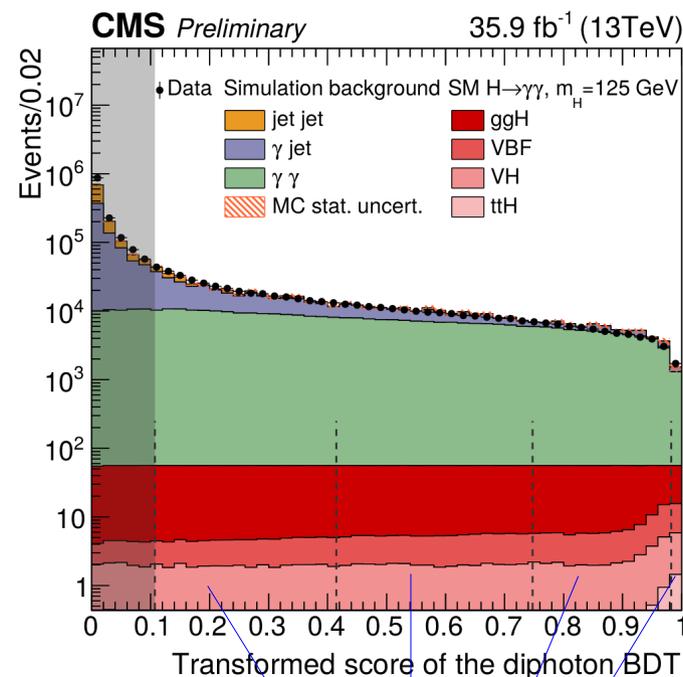
# H→γγ - classificazione degli eventi

- Eventi classificati in base alla risoluzione in  $m_{\gamma\gamma}$  e a S/B atteso.
- Classificazione degli eventi in base al meccanismo di produzione
- Uso intensivo di tecniche multivariate (BDT)

## CMS Preliminary H→γγ

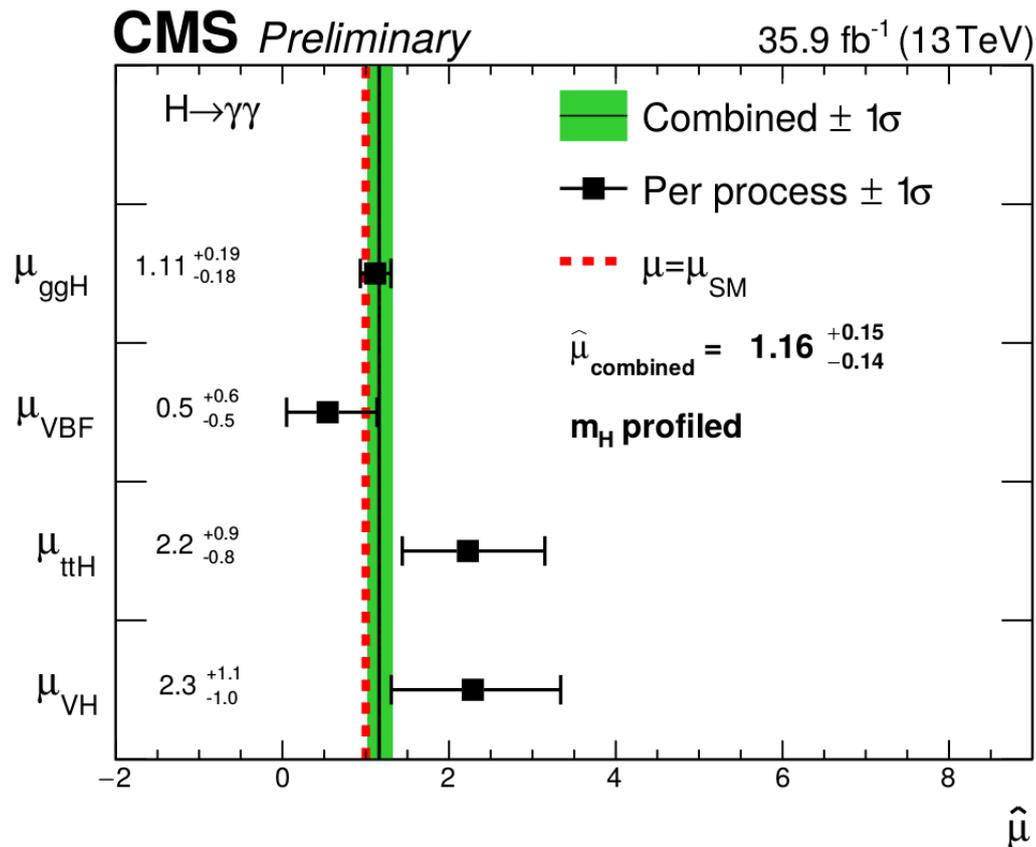


**14 categorie in totale**



Categorie “untagged”, sensibili al meccanismo di produzione ggH

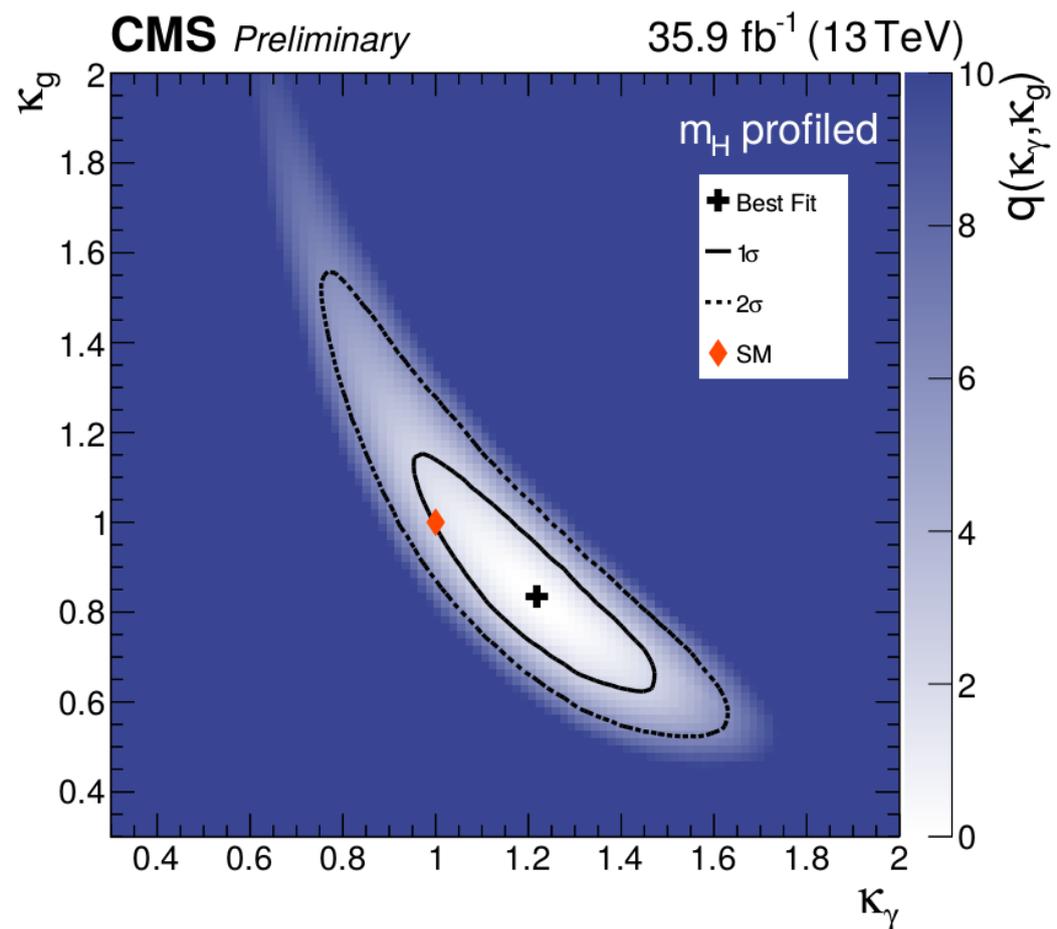
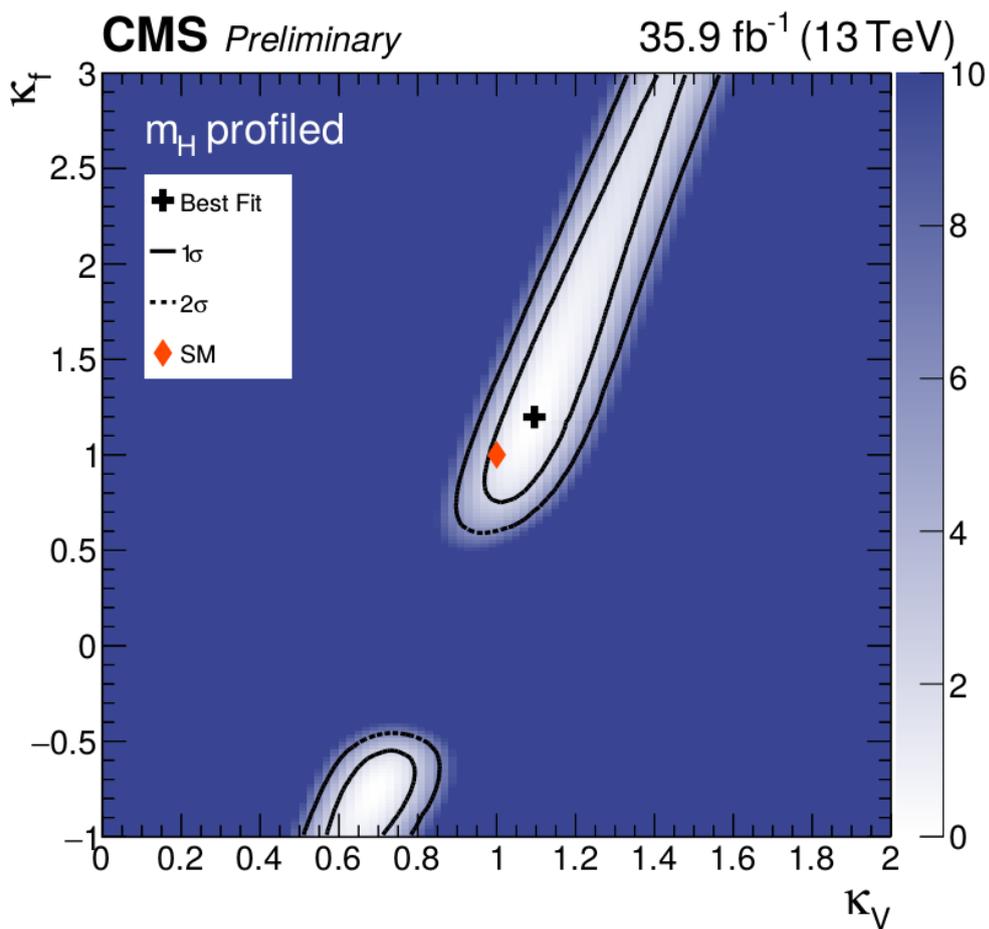
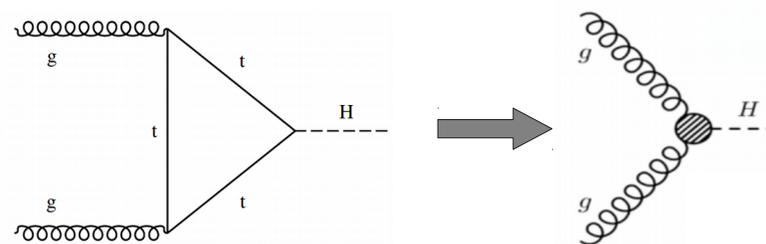
- Signal strengths ( $\sigma/\sigma_{SM}$ ) misurate per vari meccanismi di produzione mediante un fit simultaneo in tutte le categorie.



$$\hat{\mu} = 1.16^{+0.15}_{-0.14} = 1.16^{+0.11}_{-0.10} \text{ (stat.) } ^{+0.09}_{-0.08} \text{ (syst.) } ^{+0.06}_{-0.05} \text{ (theo.)}$$

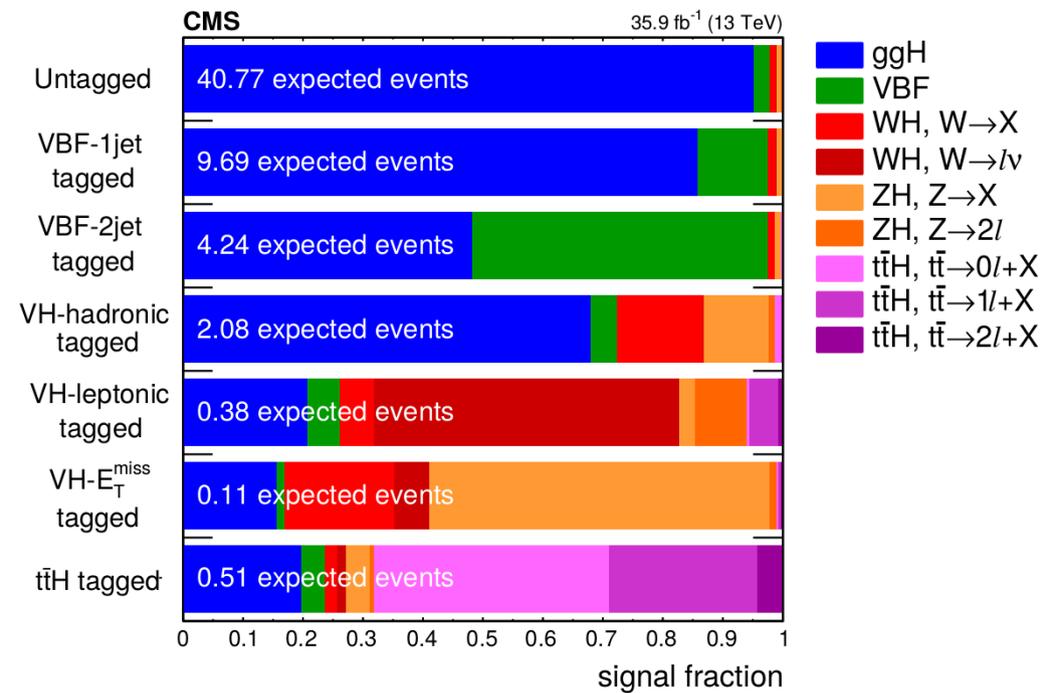
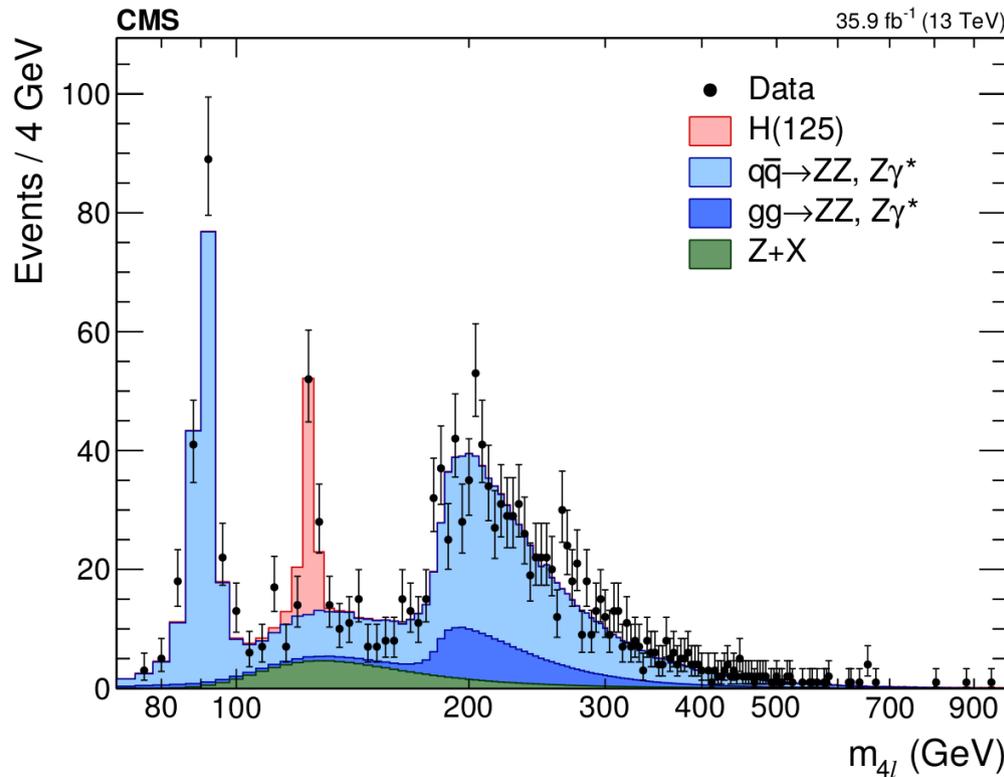
# H $\rightarrow\gamma\gamma$ - risultati

- Misura delle costanti di accoppiamento
  - K-framework
  - Interpretazione con loop ed effective couplings



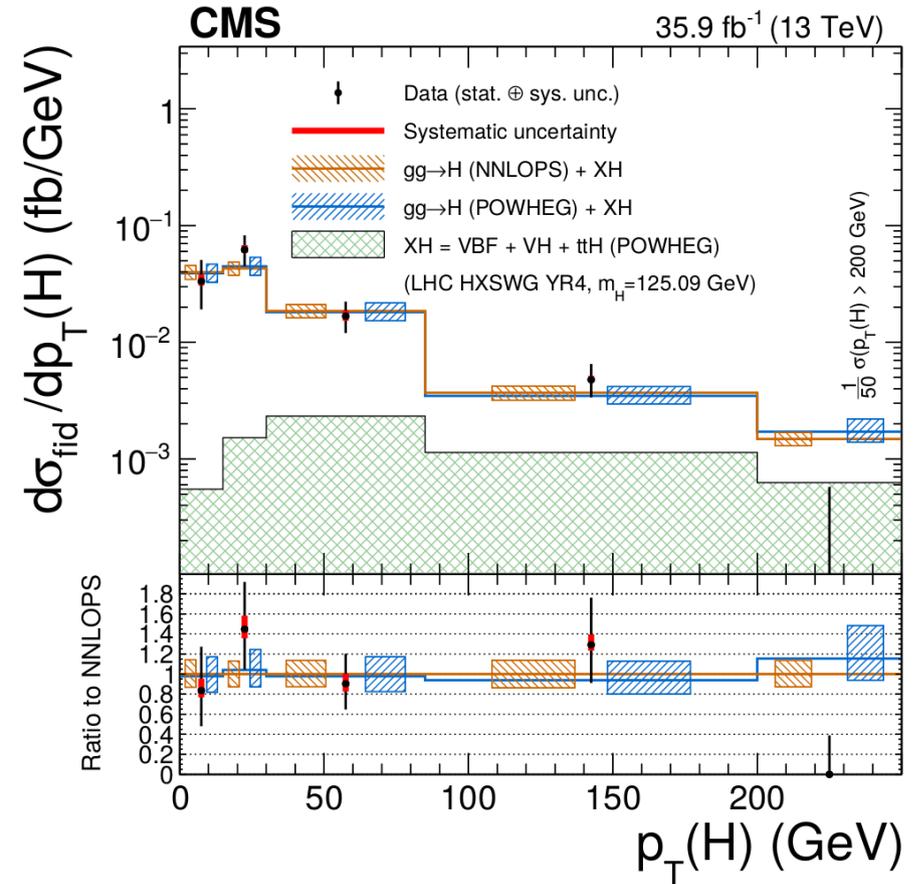
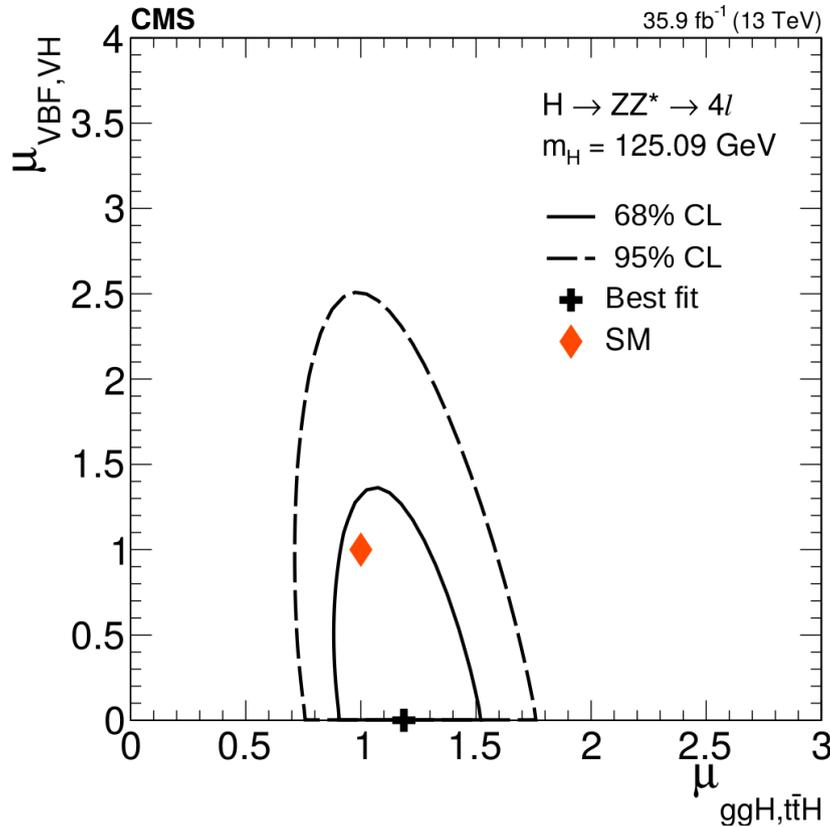
- Branching ratio più piccolo fra i canali bosonici considerati.
- Contaminazione da eventi di fondo molto bassa.
- Buona risoluzione sulla misura di  $m_{H^*}$ .
- Sistematiche principali: efficienze dei leptoni e stima fondo Z+jets

## 21 categorie in totale



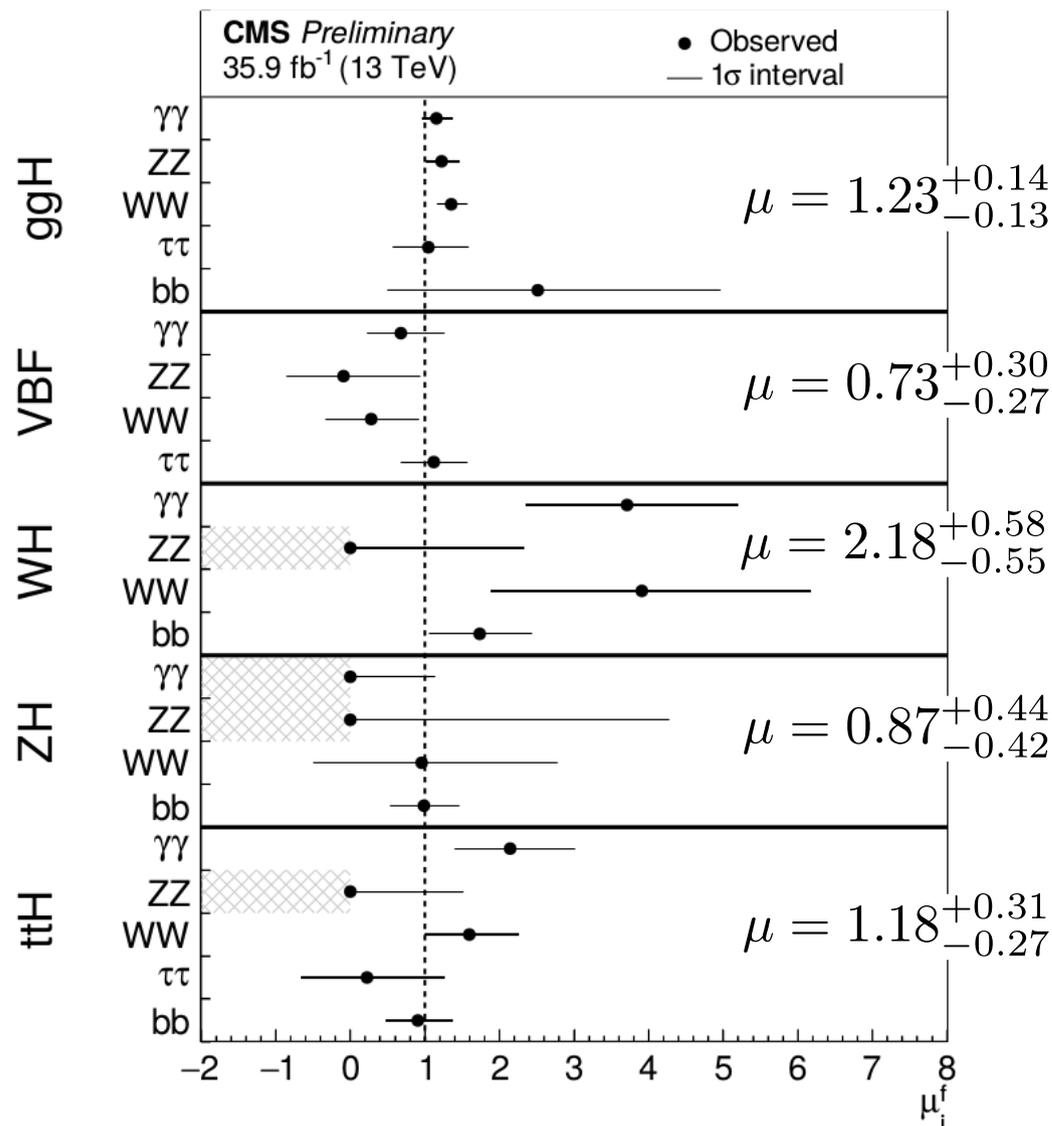
$$\mu = 1.05^{+0.15}_{-0.14} (\text{stat})^{+0.11}_{-0.09} (\text{syst})$$

- Misura di signal strength associate a processi fermionici e bosonici.



- Misure differenziali molto importanti per studiare le proprietà del bosone di Higgs in funzione delle distribuzioni cinematiche.
- Misure effettuate anche in  $H \rightarrow \gamma\gamma$  (solo con parte dei dati 2016 a 13 TeV) e  $H \rightarrow WW$  (solo 8 TeV).

- Combinazione di tutti i canali di decadimento con i dati 2016.
- $H \rightarrow \gamma\gamma$ ,  $H \rightarrow WW$ ,  $H \rightarrow ZZ$ ,  $H \rightarrow \tau\tau$ ,  $H \rightarrow bb$ ,  $H \rightarrow \mu\mu$ ,  $H \rightarrow$  invisible



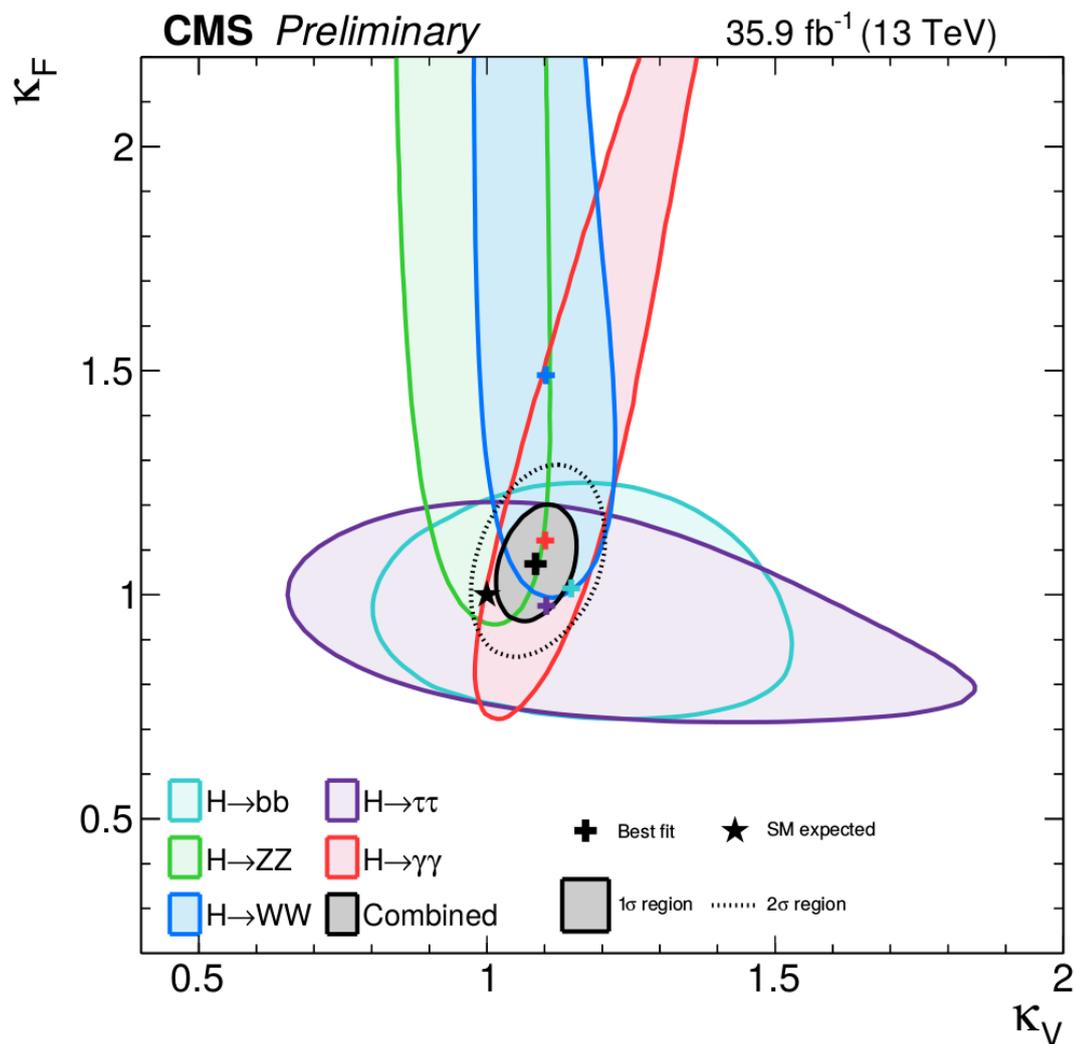
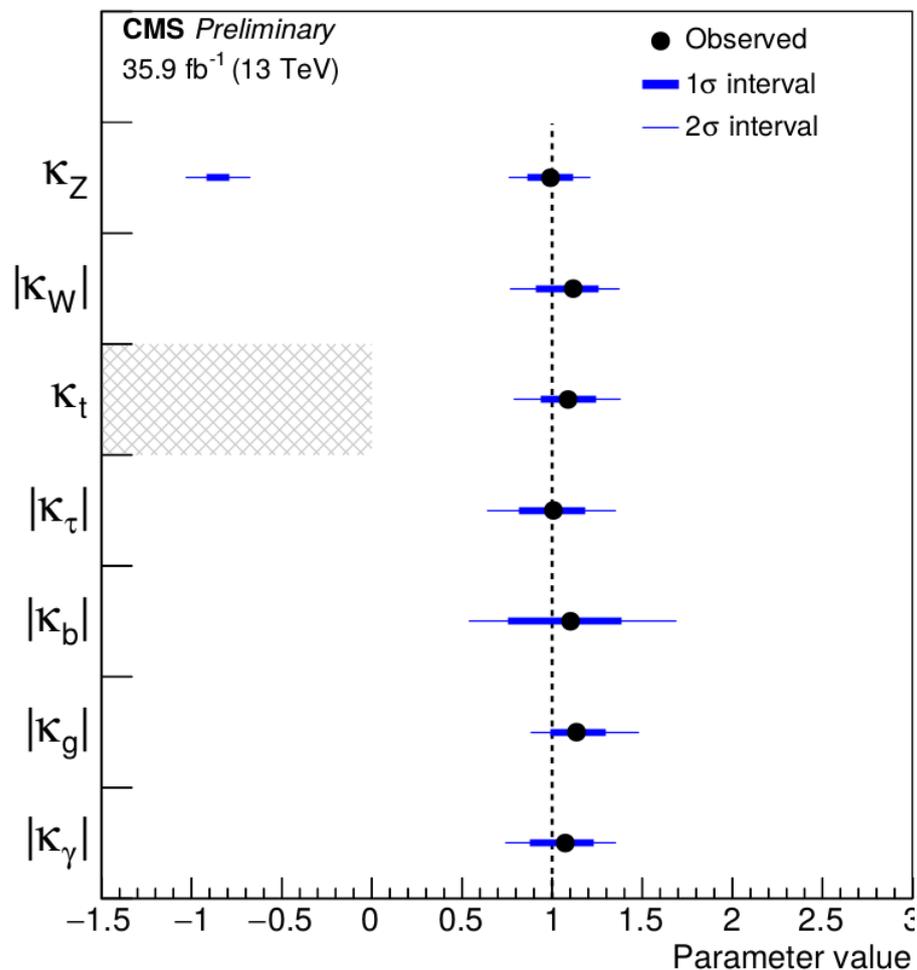
**Incerteza su ggH ridotta del 33% rispetto alla combinazione ATLAS+CMS del Run1**

**Incerteza su ttH ridotta del 50% rispetto alla combinazione ATLAS+CMS del Run1**

**Incerteza su VBF e VH ridotta del 20% rispetto alla combinazione CMS del Run1**

$$\mu_{\text{comb}} = 1.17^{+0.10}_{-0.10}$$

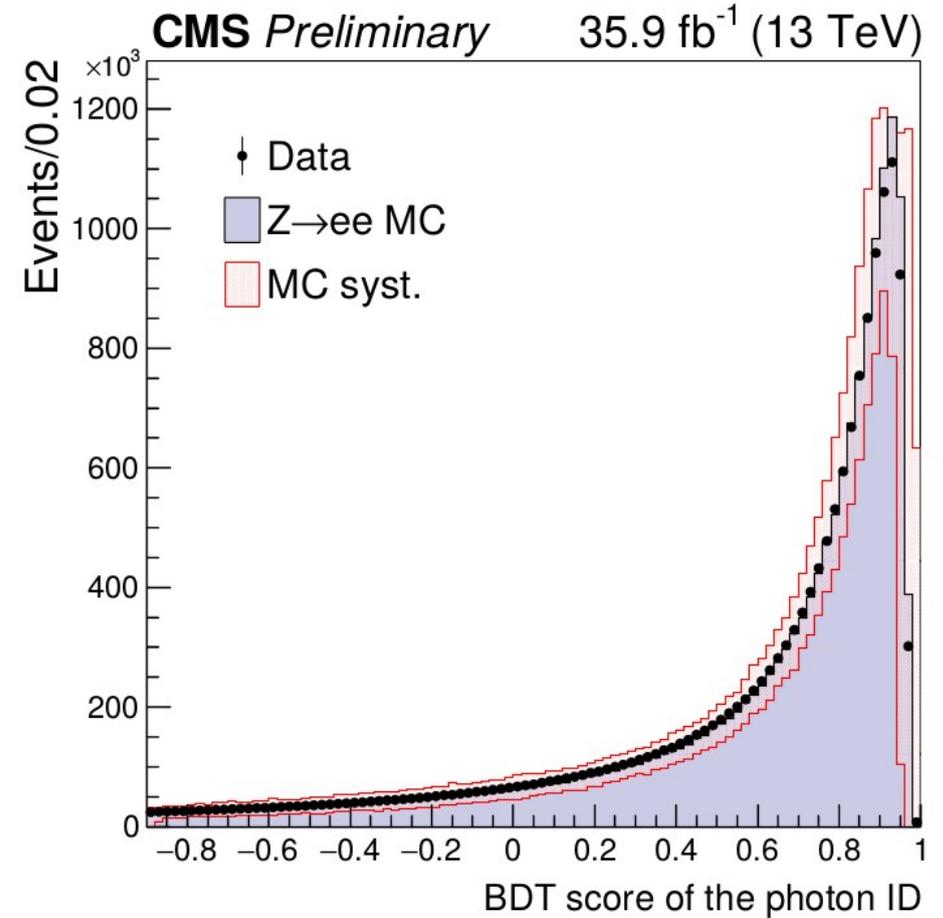
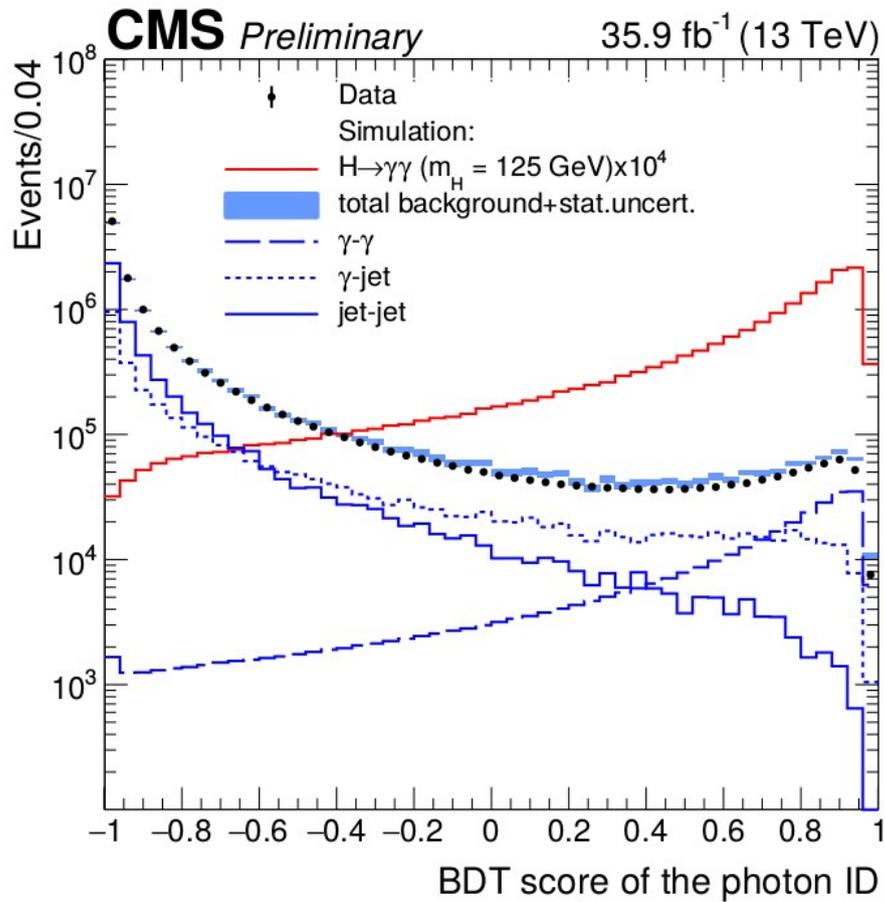
- Accoppiamenti in accordo con quanto atteso dallo SM entro  $2\sigma$ .

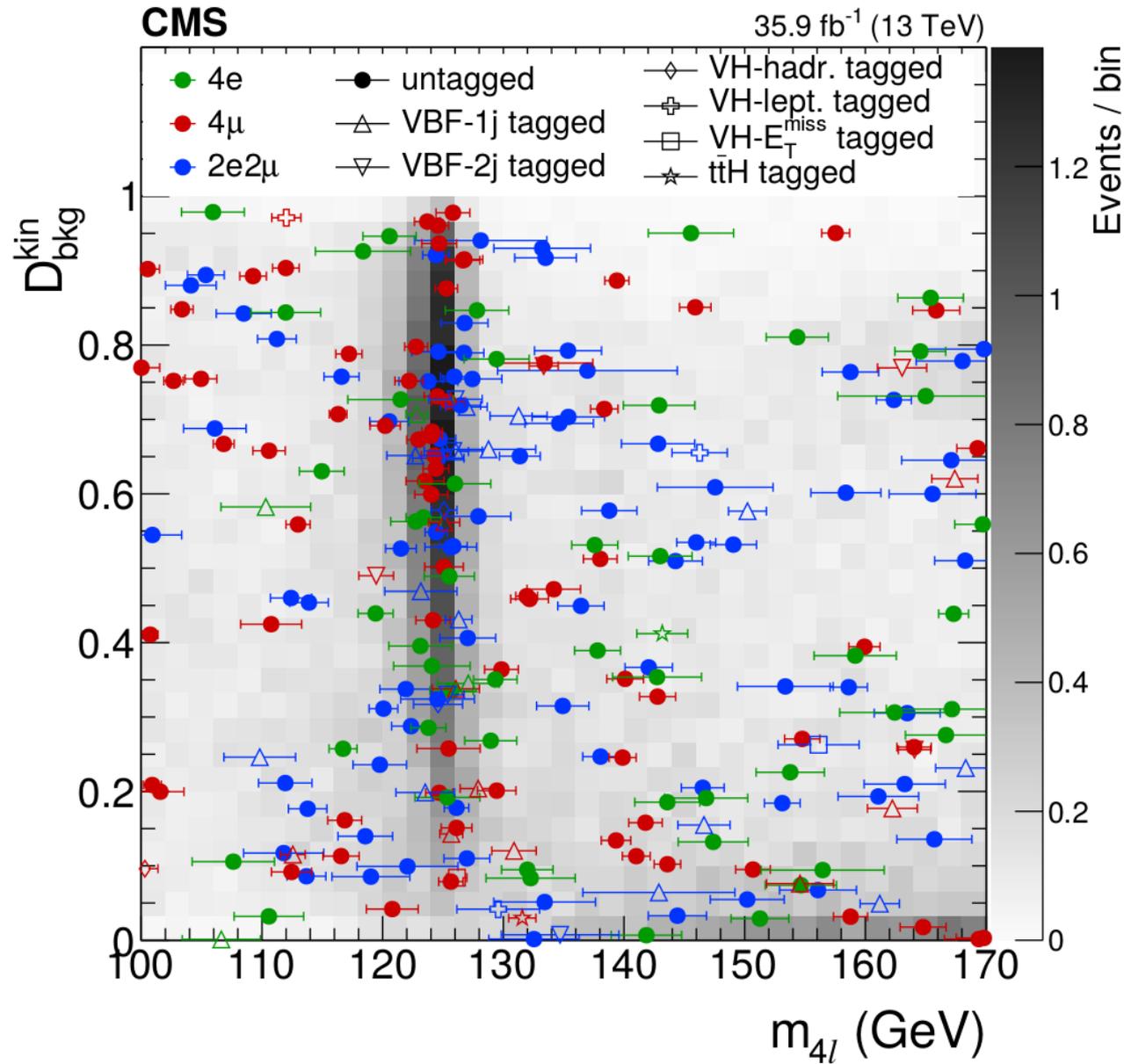


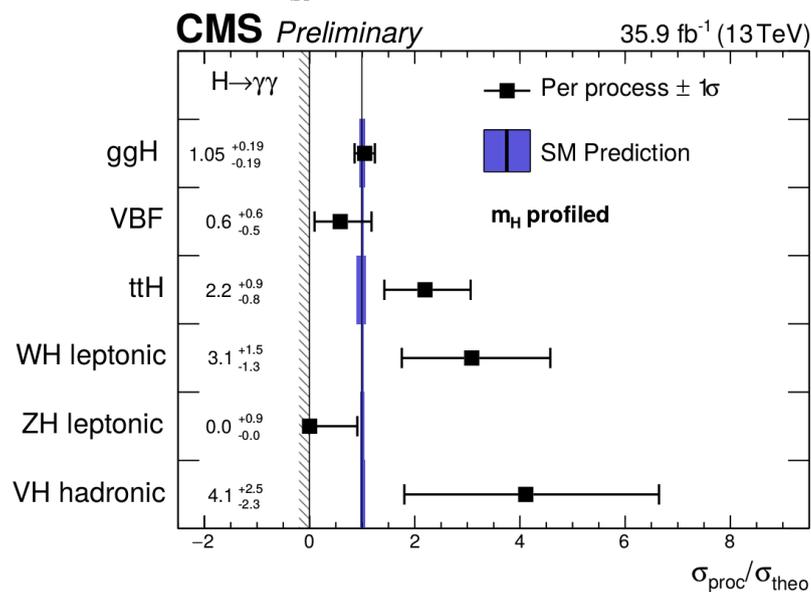
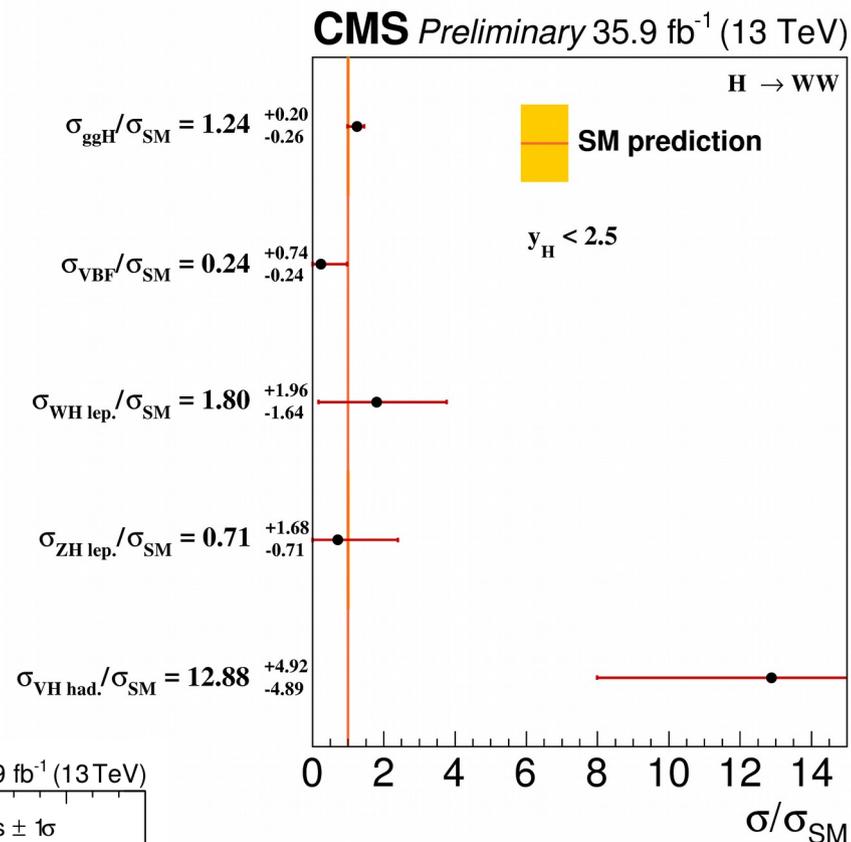
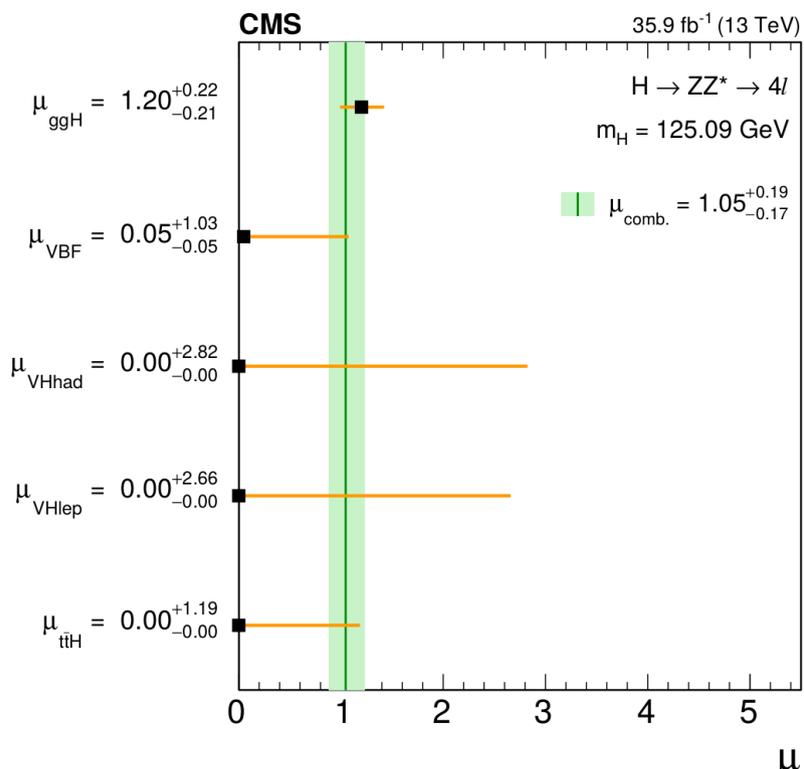
- I canali di decadimento  $H \rightarrow VV$  sono ottimi strumenti per effettuare misure di precisione delle proprietà del bosone di Higgs.
- I dati raccolti da CMS durante il 2016 hanno permesso un ampio spettro di misure e nuovi interessanti risultati
- La combinazione dei canali di decadimento ha permesso di migliorare la precisione su varie misure.
- Non ci sono evidenze di deviazioni dallo SM, ma alcune “tensioni” da tenere d’occhio.
- Fondamentale analizzare nuovi dati!

**BACKUP**

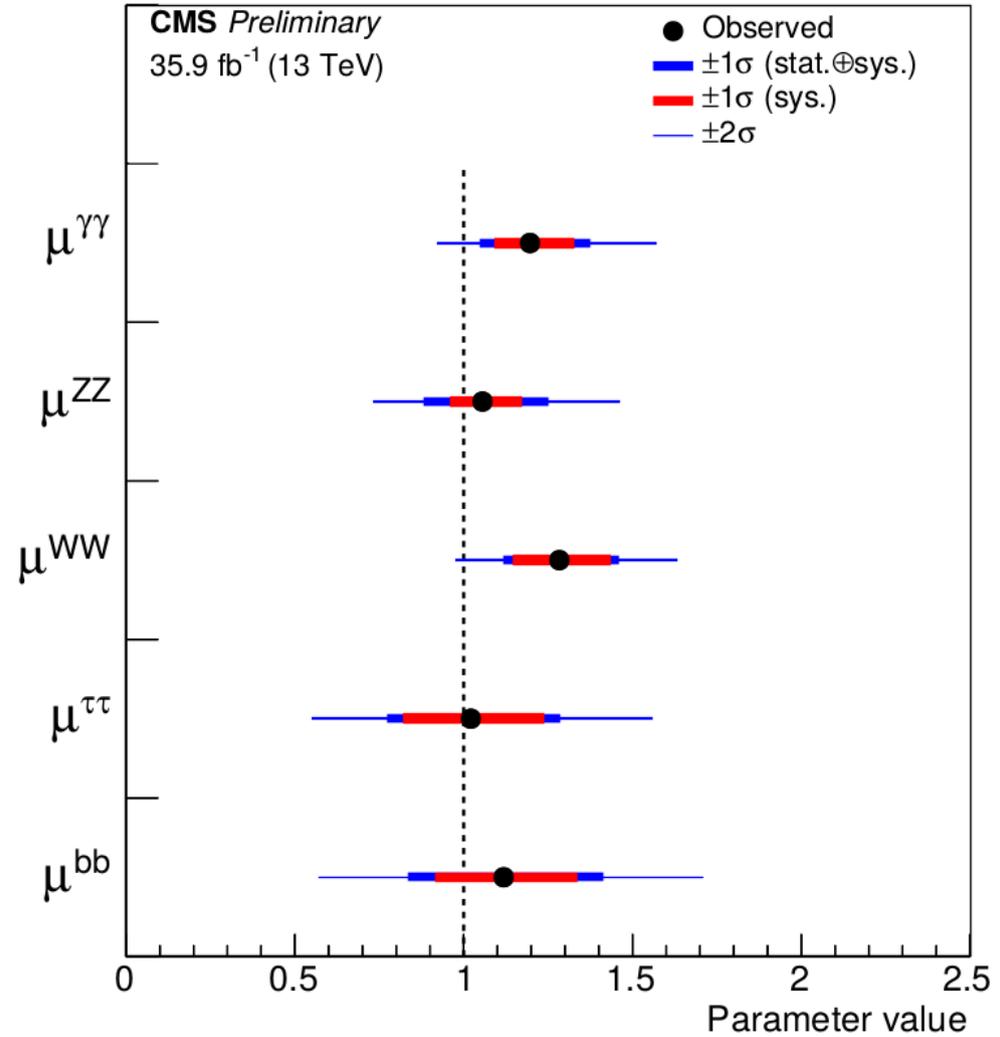
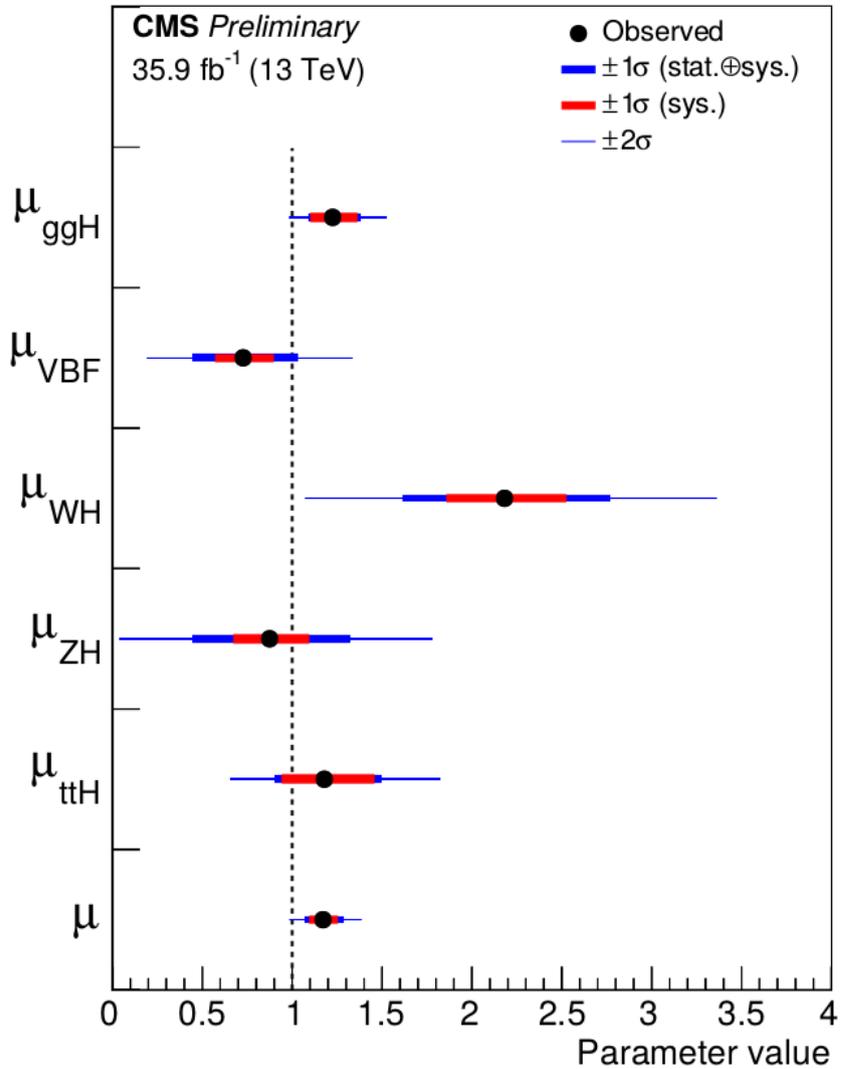
# H $\rightarrow\gamma\gamma$ - photon ID



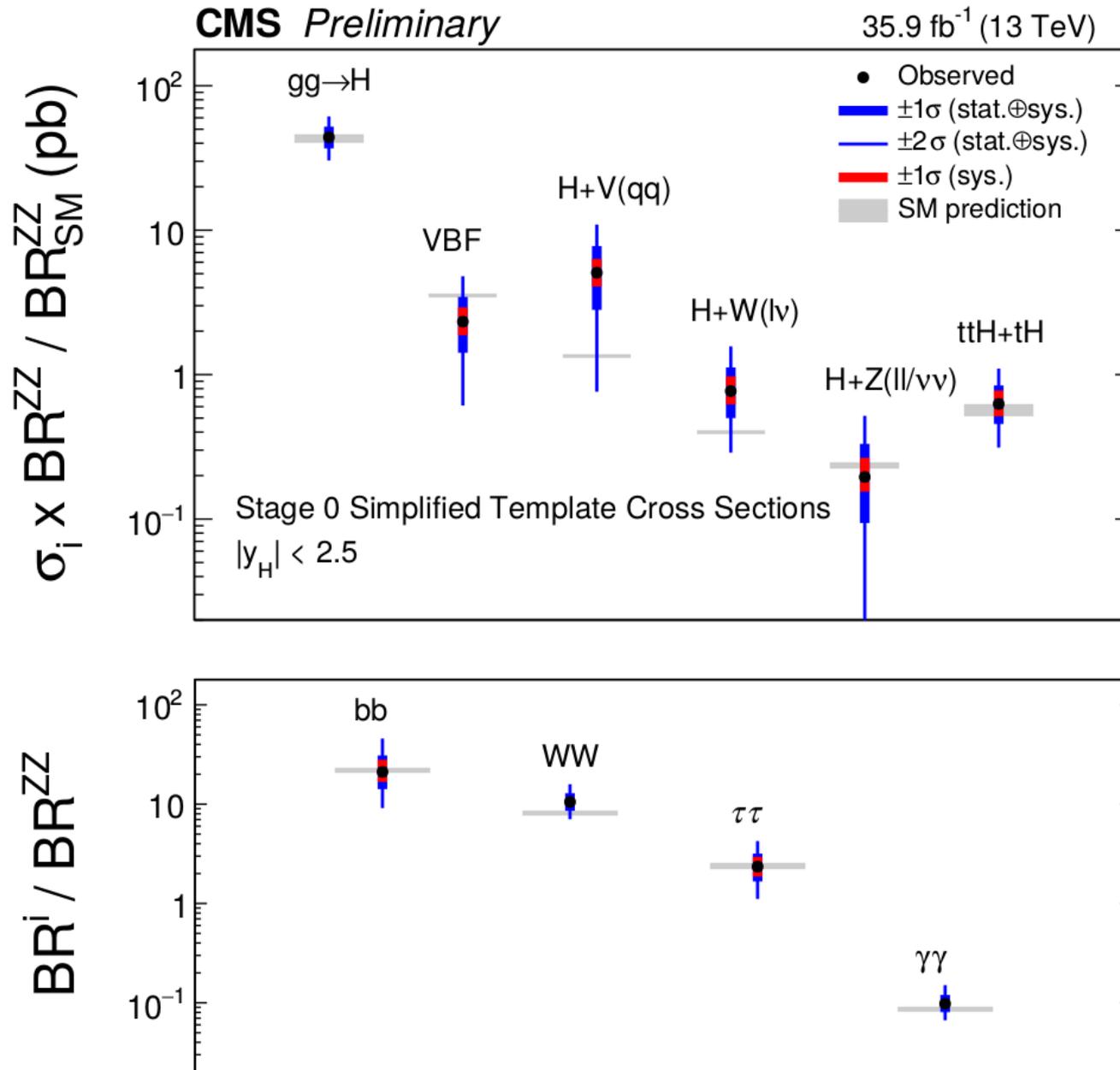




# Combination - results



# Combination - results

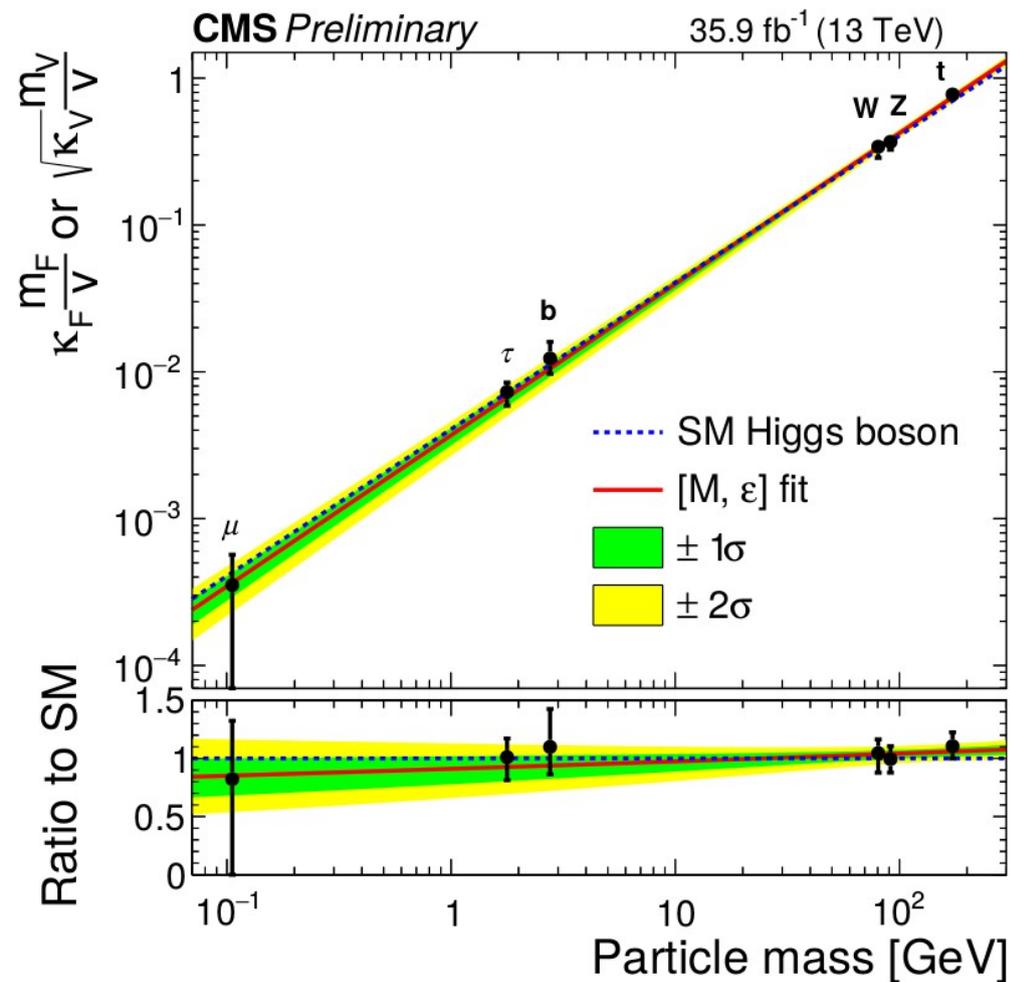
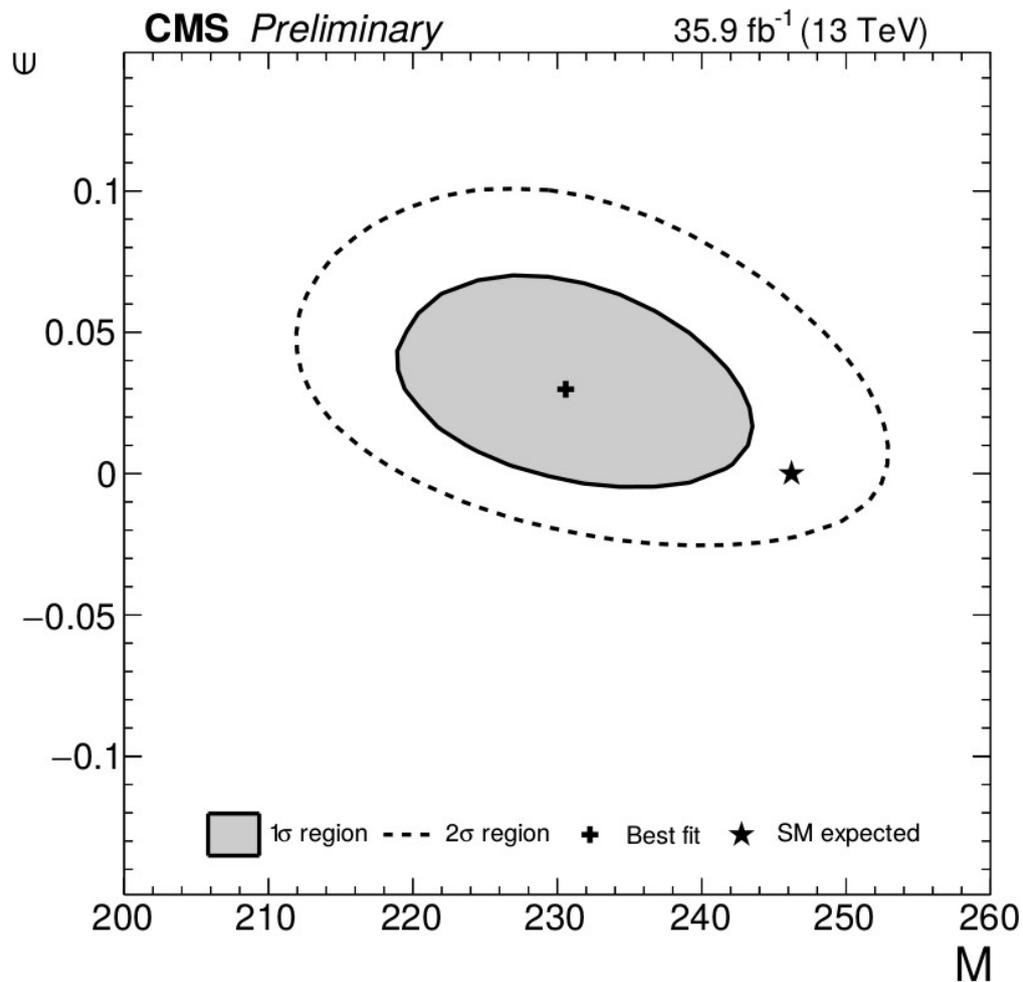


# Combination - couplings



Production	Loops	Interference	Effective	
			scaling factor	Resolved scaling factor
$\sigma(\text{ggH})$	✓	b - t	$\kappa_g^2$	$1.04 \cdot \kappa_t^2 + 0.002 \cdot \kappa_b^2 - 0.038 \cdot \kappa_t \kappa_b$
$\sigma(\text{VBF})$	-	-		$0.73 \cdot \kappa_W^2 + 0.27 \cdot \kappa_Z^2$
$\sigma(\text{WH})$	-	-		$\kappa_W^2$
$\sigma(\text{qq/qg} \rightarrow \text{ZH})$	-	-		$\kappa_Z^2$
$\sigma(\text{gg} \rightarrow \text{ZH})$	✓	Z - t		$2.46 \cdot \kappa_Z^2 + 0.47 \cdot \kappa_t^2 - 1.94 \cdot \kappa_Z \kappa_t$
$\sigma(\text{ttH})$	-	-		$\kappa_t^2$
$\sigma(\text{gb} \rightarrow \text{WtH})$	-	W - t		$2.91 \cdot \kappa_t^2 + 2.40 \cdot \kappa_W^2 - 4.22 \cdot \kappa_t \kappa_W$
$\sigma(\text{qb} \rightarrow \text{tHq})$	-	W - t		$2.63 \cdot \kappa_t^2 + 3.58 \cdot \kappa_W^2 - 5.21 \cdot \kappa_t \kappa_W$
$\sigma(\text{bbH})$	-	-		$\kappa_b^2$
Partial decay width				
$\Gamma^{ZZ}$	-	-		$\kappa_Z^2$
$\Gamma^{WW}$	-	-		$\kappa_W^2$
$\Gamma^{\gamma\gamma}$	✓	W - t	$\kappa_\gamma^2$	$1.59 \cdot \kappa_W^2 + 0.07 \cdot \kappa_t^2 - 0.67 \cdot \kappa_W \kappa_t$
$\Gamma^{\tau\tau}$	-	-		$\kappa_\tau^2$
$\Gamma^{bb}$	-	-		$\kappa_b^2$
$\Gamma^{\mu\mu}$	-	-		$\kappa_\mu^2$
Total width for $\text{BR}_{\text{BSM}} = 0$				
$\Gamma_{\text{H}}$	✓	-	$\kappa_{\text{H}}^2$	$0.58 \cdot \kappa_b^2 + 0.22 \cdot \kappa_W^2 + 0.08 \cdot \kappa_g^2 +$ $+ 0.06 \cdot \kappa_\tau^2 + 0.026 \cdot \kappa_Z^2 + 0.029 \cdot \kappa_c^2 +$ $+ 0.0023 \cdot \kappa_\gamma^2 + 0.0015 \cdot \kappa_{Z\gamma}^2 +$ $+ 0.00025 \cdot \kappa_s^2 + 0.00022 \cdot \kappa_\mu^2$

# Combination - couplings



$$\kappa_F = v m_f^\epsilon / M^{1+\epsilon}$$

$$\kappa_V = v m_V^{2\epsilon} / M^{1+2\epsilon}$$

$$v = 246.22 \text{ GeV}$$