

Higgs Di-Boson Searches (HDBS)

Motivazione:

Nonostante l'incredibile successo del modello di rottura spontanea della simmetria elettro-debole, alcuni termini del **potenziale di Higgs** non sono ancora stati confermati sperimentalmente.

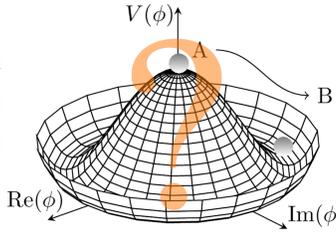
...la strada è ancora lunga...

$$V(\phi^\dagger\phi) = \mu^2\phi^\dagger\phi + \lambda(\phi^\dagger\phi)^2 + \frac{1}{2}m_H^2 H^2 + \lambda_3 H^3 + \frac{\lambda_4}{4} H^4$$

...ci stiamo avvicinando

Approccio sperimentale:

Il metodo più diretto per ottenere una stima del **termine cubico** del potenziale è lo studio della **produzione di coppie di bosoni di Higgs** (ancora mai osservata).



Predizione SM

$$\lambda_3 = \lambda_4 = \frac{m_H^2}{2v^2} \approx 0.13$$

Misure

$$m_H \approx 125 \text{ GeV}$$

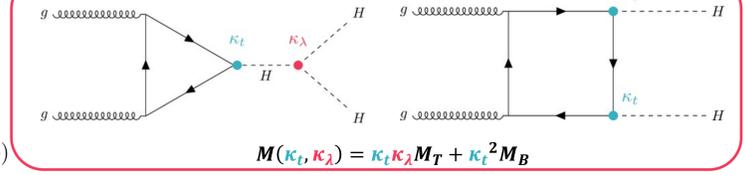
$$v \approx 246 \text{ GeV}$$

Osservabile

$$\kappa_\lambda = \lambda/\lambda_{SM}$$

Gluon-gluon fusion (ggF)

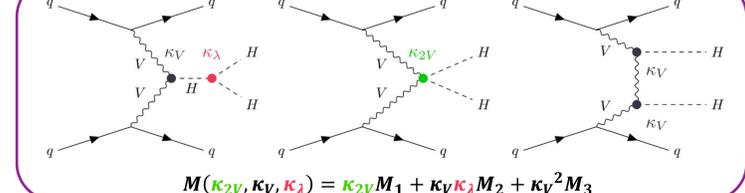
$$\sigma_{ggF} \sim 31.02 \text{ fb @ } 13 \text{ TeV}^{[1]}$$



$$M(\kappa_t, \kappa_\lambda) = \kappa_t \kappa_\lambda M_T + \kappa_t^2 M_B$$

Vector boson fusion (VBF)

$$\sigma_{VBF} \sim 1.72 \text{ fb @ } 13 \text{ TeV}^{[1]}$$



$$M(\kappa_{2V}, \kappa_V, \kappa_\lambda) = \kappa_{2V} M_1 + \kappa_V \kappa_\lambda M_2 + \kappa_V^2 M_3$$

Reference: $\sigma(pp \rightarrow H) \sim 56 \text{ pb}^{[2]}$

Lo stato finale $b\bar{b}\gamma\gamma$

Non esiste il cosiddetto "golden-channel" ma una serie di possibili scelte e compromessi.

Perché scegliere $b\bar{b}\gamma\gamma$?

Branching ratio (BR) più alta per bosoni di Higgs (59%), ma importanti fondi di QCD.

Bassa BR per bosoni di Higgs (0.2%), ma:
 • Eccellenti efficienze di trigger e ricostruzione di fotoni ad ATLAS.
 • Eccellente risoluzione (1-2 GeV) sulla massa invariante dei fotoni ($m_{\gamma\gamma}$).

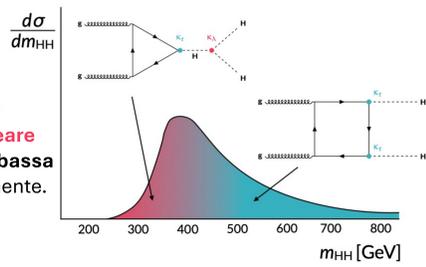
BONUS

Il canale $b\bar{b}\gamma\gamma$ è il più sensibile all'accoppiamento tri-lineare (κ_λ) grazie alla sua alta sensibilità nelle regioni di segnale a bassa m_{HH} dove il diagramma a triangolo contribuisce maggiormente.

Fondi principali

- $ggFH\gamma\gamma$
- $ggZH\gamma\gamma$
- $W^+H\gamma\gamma$
- $ttH\gamma\gamma$
- $\gamma\gamma + jets$
- $VBFH\gamma\gamma$
- $qqZH\gamma\gamma$
- $W^-H\gamma\gamma$
- $tHj\bar{b}$

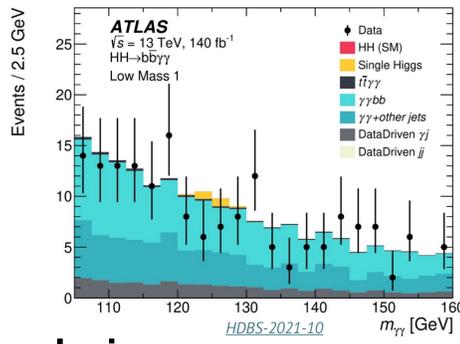
	bb	WW	ττ	ZZ	γγ
bb	34%				
WW	25%	4.6%			
ττ	7.3%	2.7%	0.39%		
ZZ	3.1%	1.1%	0.33%	0.069%	
γγ	0.26%	0.10%	0.028%	0.012%	0.0005%



Strategia d'analisi

Obiettivi:

- Stimare la 'signal strength' (μ) della sezione d'urto di produzione di coppie.
- Stimare valori di best fit e intervalli di confidenza sui valori di κ_λ e κ_{2V} .



$$\sigma(HH) \approx 32.8 \text{ fb @ } 13 \text{ TeV}$$

Segnale

- Produzione HH attraverso ggF e VBF

$$\sigma(H) \approx 55.6 \text{ pb @ } 13 \text{ TeV}$$

Fondo risonante

- Produzione di singolo Higgs con $H \rightarrow \gamma\gamma$
- Stessa forma del segnale
- Ridotto analizzando la cinematica dei b-jets

Fondo non-risonante (continuo)

- Produzione $\gamma\gamma + jets$

$$\text{Rate}(\gamma\gamma) \approx 10^3 \times \text{Rate}(H \rightarrow \gamma\gamma)$$

$$\approx 10^6 \times \text{Rate}(HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma)$$

Pre-selezione:

$H \rightarrow \gamma\gamma$

- 2 fotoni 'tight' e isolati
- $\frac{p_T}{m_{\gamma\gamma}} > 0.35(0.25)$ per fotoni (sub)leading
- $105 < m_{\gamma\gamma} < 160 \text{ GeV}$

$H \rightarrow b\bar{b}$

- $N_{b-jets} \geq 2$ @ GN2 85% WP
- μ -in-jet + PtReco calibration (BCal)
- Fit Cinematico

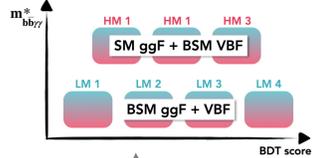
Riduzione $t\bar{t}H$

- Meno di 6 jet centrali ($|\eta| < 2.5$)
- Nessun leptone

Categorizzazione:

I dati vengono divisi in 2 categorie sulla base del valore della variabile $m_{bb\gamma\gamma}^*$:

- High Mass (HM)** $m_{bb\gamma\gamma}^* > 350 \text{ GeV}$
- Low Mass (LM)** $m_{bb\gamma\gamma}^* \leq 350 \text{ GeV}$



Un BDT viene allenato indipendentemente per le 2 regioni per rigettare ancor più fondo e suddividere ulteriormente le categorie.

Analisi statistica

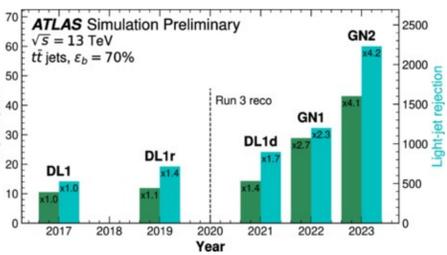
L'analisi statistica finale viene eseguita con un fit 'unbinned' simultaneo della variabile $m_{\gamma\gamma}$ su tutte le 7 categorie.

Nuovi metodi di analisi

Le HDBS sono limitate principalmente dalla ridotta statistica accumulata fin'ora.

Tuttavia, considerevoli miglioramenti in sensibilità si stanno recentemente ottenendo attraverso lo sviluppo e implementazione di tecniche di analisi avanzate.

GN2 (Graph Neural Network)

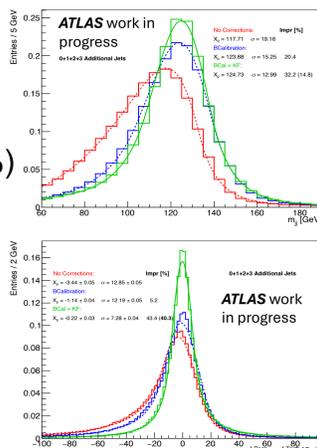


Nuovo sistema di **b-tagging**. Sostituisce il precedente DL1r portando a una maggiore purezza nel campione e permettendo una migliore ottimizzazione del WP della selezione dei b-jet.

Fit Cinematico

Aggiunte 2 iterazioni di fit cinematico con diversi obiettivi:

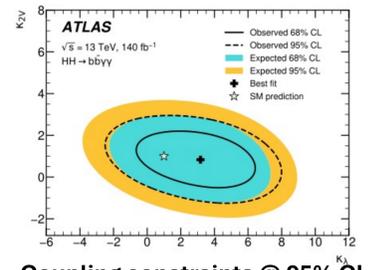
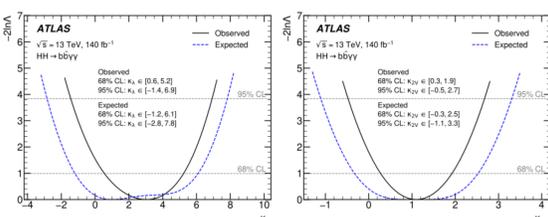
- 1ª iterazione**
Miglioramento della risoluzione m_{bb} (~15%) attraverso il bilanciamento per evento dell'impulso trasverso (p_T).
- 2ª iterazione**
Miglioramento della ricostruzione della variabile $m_{bb\gamma\gamma}^*$ (~40%) ottenuto vincolando m_{bb} alla massa dell'Higgs.



Ultimi risultati^[3]

Risultati della precedente analisi (legacy) svolta sui dati del Run2 (140 fb⁻¹).
 $\sigma(HH) @ 95\% \text{ UL}$

	Observed	Expected
Stat. only	$3.7 \times \sigma_{SM}$	$4.7 \times \sigma_{SM}$
Syst.	$4.0 \times \sigma_{SM}$	$5.0 \times \sigma_{SM}$



Coupling constraints @ 95% CL

	Observed	Expected
κ_λ	[-1.4, 6.9]	[-2.8, 7.8]
κ_{2V}	[-0.5, 2.7]	[-1.1, 3.3]

Obiettivi futuri: implementazione delle nuove tecniche di analisi e inclusione dei nuovi dati del Run3...

Referenze:

- [1] PhysRevD.106.052001
- [2] arXiv:2207.08615
- [3] arXiv:2310.12301v2