



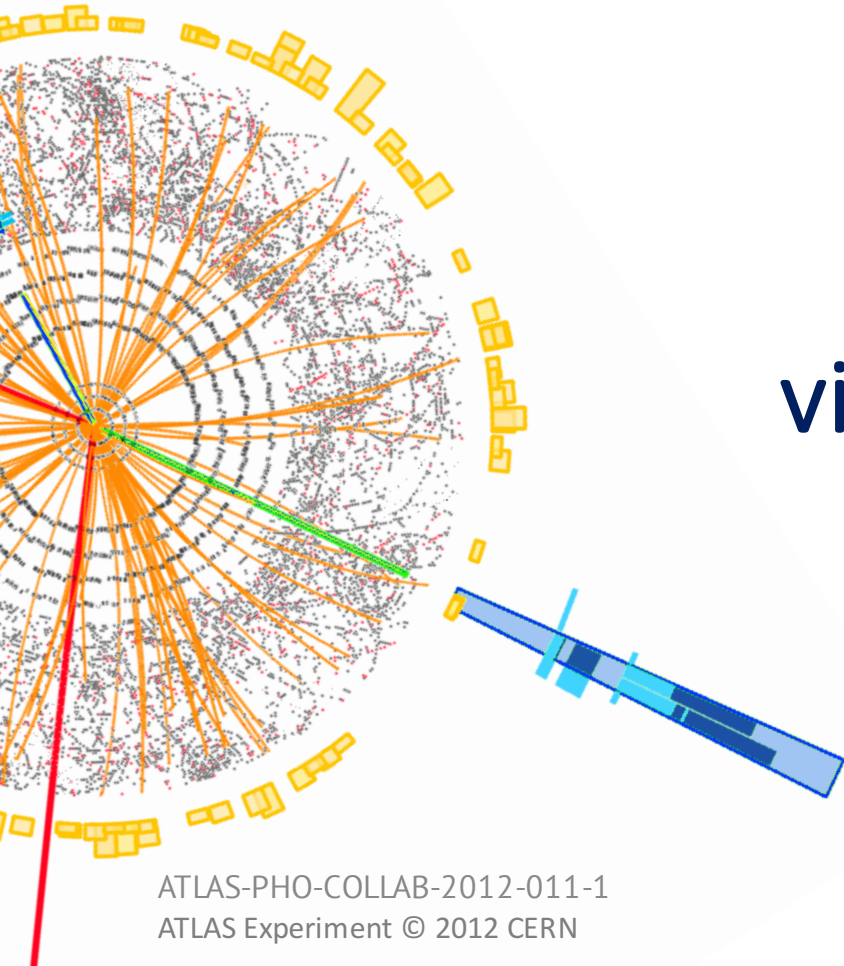
Misure di sezione d'urto di produzione del bosone di Higgs e di violazione di CP nel canale $H \rightarrow \tau\tau$ con il rivelatore ATLAS ad LHC

Alessia Murrone

Università degli Studi di Milano

4 Aprile 2018

XVII edizione degli Incontri di Fisica delle Alte Energie



ATLAS-PHO-COLLAB-2012-011-1
ATLAS Experiment © 2012 CERN

$H \rightarrow \tau\tau$

- Canale promettente per misurare direttamente l'accoppiamento dell'Higgs ai fermioni
- B. R. 6.32%
- Decadimento leptonic (Lep): $\tau \rightarrow e\nu\nu, \tau \rightarrow \mu\nu\nu$
Decadimento adronico (Had): $\tau \rightarrow \text{adroni } \nu$
- 3 sottocanali a seconda che il decadimento del τ sia leptonic o adronico:
 1. **Lep-Lep** $ee/\mu\mu/e\mu$ 12.4%
 2. **Lep-Had** $e/\mu + \tau_{had}$ 45.6%
 3. **Had-Had** $\tau_{had} + \tau_{had}$ 42.0%

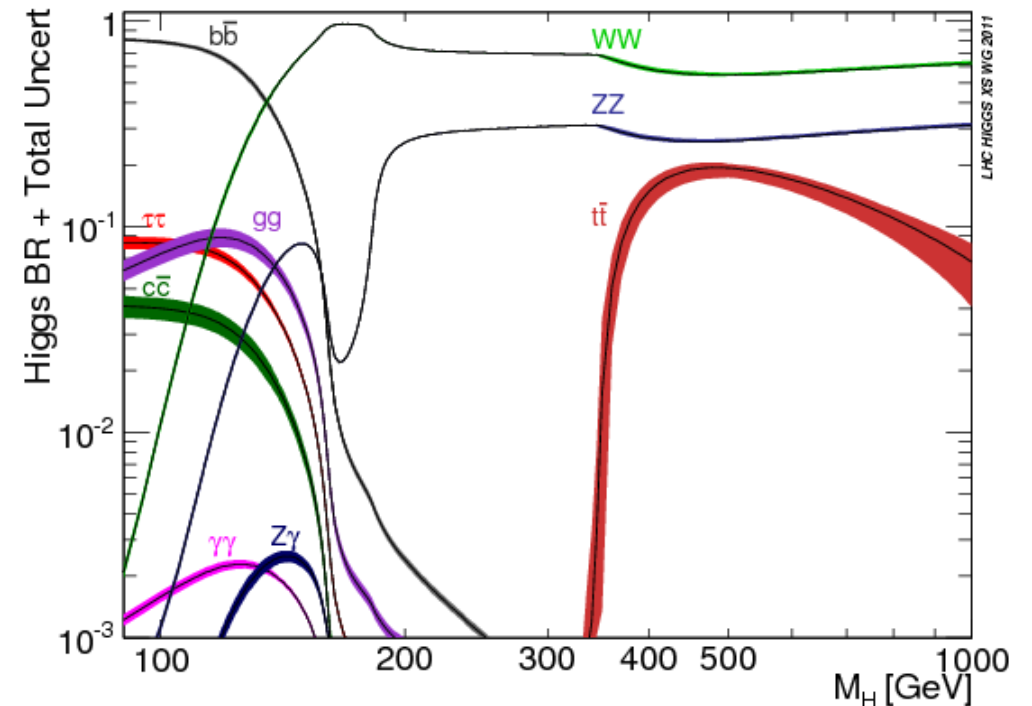
La segnatura del τ è complessa:

→ τ_{had} problema della ricostruzione dei tau decaduti in adroni a partire dai getti

→ problema della ricostruzione della massa invariante.

Missing Mass Calculator (MMC) che tiene conto anche della presenza di neutrini (Momento trasverso mancante)

- Principale fondo: $Z \rightarrow \tau\tau$ irriducibile, tecniche data-driven nel RUN1



$H \rightarrow \tau\tau$ - Misura di sezione d'urto

Risultati: Run 1 e verso il Run 2

ATLAS

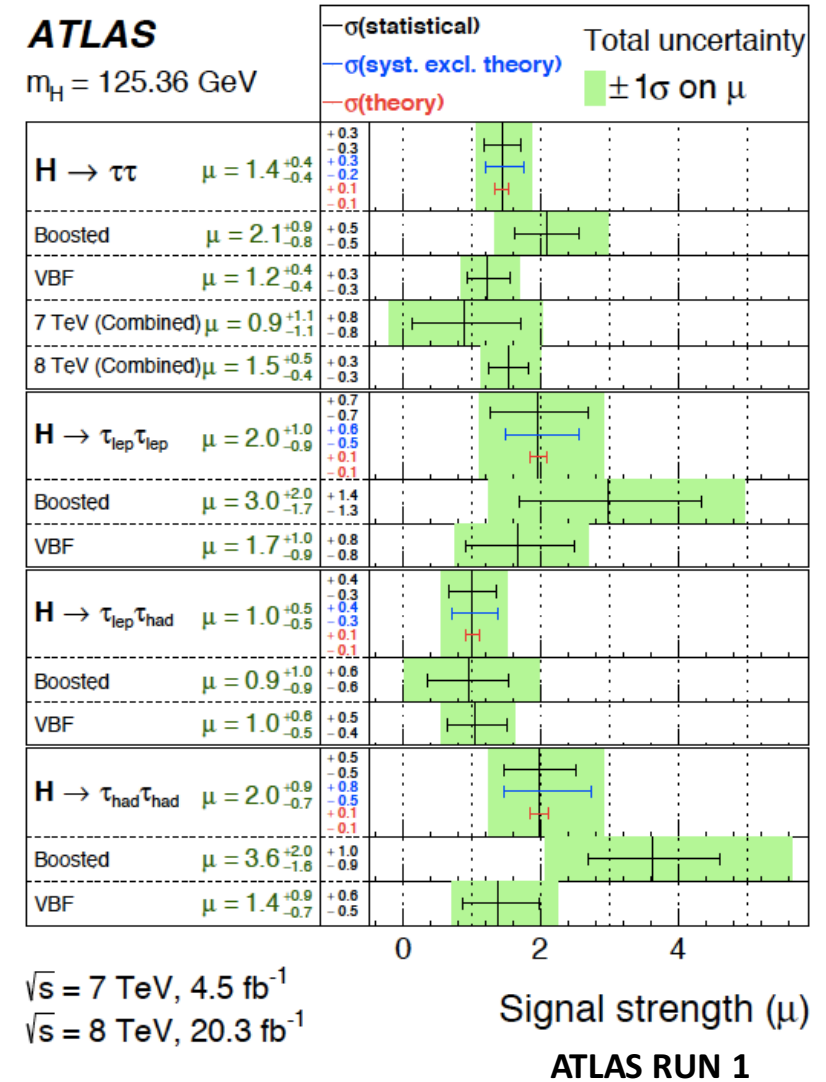
- RUN 1:** Signal strength normalizzato al valore atteso per il Modello Standard: $\mu = 1.43_{-0.37}^{+0.43}$ con significanza osservata(aspettata) di $4.5 \sigma(3.4 \sigma)$ (JHEP 1504 (2015) 117)
- RUN 2:** Analisi in corso (36.1 fb^{-1})

CMS

- RUN 1:** Evidenza di $H \rightarrow \tau\tau$ con significanza osservata(aspettata) di $3.2 \sigma(3.7 \sigma)$ (JHEP 1405 (2014) 104)
- RUN 2:** Signal strenght
 $\mu = 1.09_{-0.15}^{+0.15}(\text{stat}) + {}_{-0.15}^{+0.16}(\text{syst}) + {}_{-0.08}^{+0.10}(\text{theo}) + {}_{-0.12}^{+0.13}(\text{bin by bin})$
 con significanza osservata(aspettata) di $4.9 \sigma(4.7 \sigma)$ (Phys.Lett. B779 (2018) 283-316)

ATLAS+CMS:

- RUN 1:** Scoperta di $H \rightarrow \tau\tau$ con significanza osservata(aspettata) di $5.5\sigma(5.0) \sigma$ (JHEP 1608 (2016) 045)



$H \rightarrow \tau\tau$ - RUN 1: Analisi Sperimentale

JHEP 1504 (2015) 117

- 3 canali di decadimento
- **2 regioni di segnale** per ogni canale di decadimento, mutuamente esclusive
- Dedicate **regioni di controllo** per la modellizzazione del fondo (Top, $Z \rightarrow \tau\tau$, W-enriched, ..)
- Analisi multivariata: nel RUN1 è stata utilizzata una **Boosted Decision Tree (BDT)** nelle regioni di segnale per separare eventi di segnale da eventi di fondo.

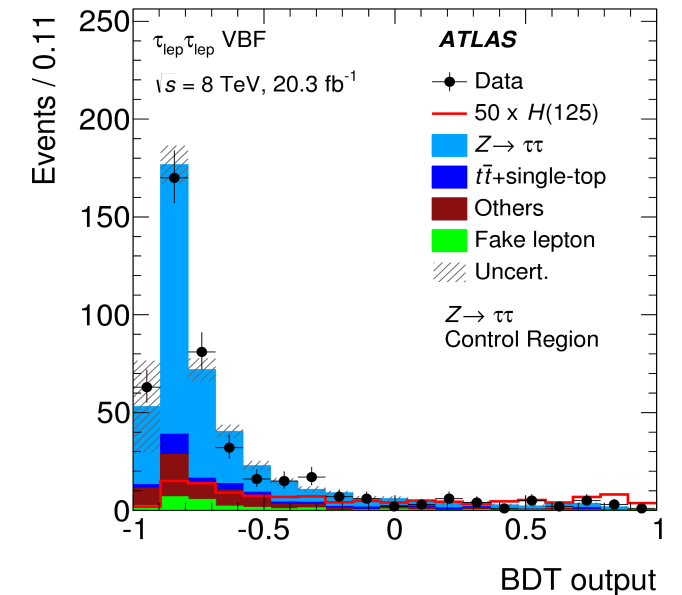
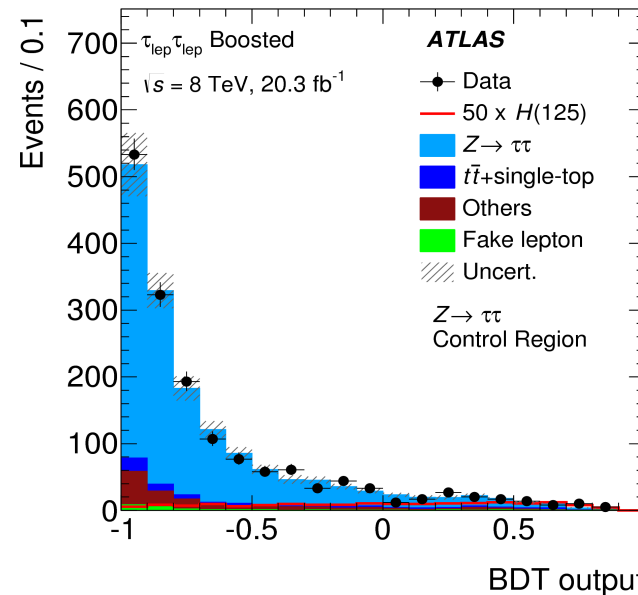
Per eventi di segnale l'output della BDT è vicino a 1 mentre al contrario per eventi di fondo è prossimo a -1

VBF

- Sensibile alla produzione per Vector Boson Fusion
- Due getti ad alto momento trasverso e con grande separazione in pseudorapidità

Boosted

- Ricca di eventi di Gluon Fusion
- Eventi che falliscono VBF e caratterizzati da un Higgs ad alto momento trasverso



$H \rightarrow \tau\tau$ - RUN2

- Analisi in corso (36.1 fb^{-1})
- $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$, $\int \mathcal{L} dt = 100 \text{ fb}^{-1}$ prevista alla fine del RUN 2 \rightarrow statistica più alta di un fattore ~ 10 per ggF e VBF

Con la diminuzione dell'errore statistico diventa sempre più importante tenere sotto controllo gli **errori sistematici**

Dall'articolo di CMS per il RUN 2 (Phys.Lett. B779 (2018) 283-316):

- Signal strength misurato $\mu = 1.09^{+0.15}_{-0.15}(\text{stat}) + {}^{+0.16}_{-0.15}(\text{syst}) + {}^{+0.10}_{-0.08}(\text{theo}) + {}^{+0.13}_{-0.12}(\text{bin by bin})$

Contributo delle incertezze teoriche: $\sim 10\%$ ($\sim 60\%$ del contributo totale dei sistematici)

Ho contribuito all'analisi con lo studio delle **incertezze teoriche** valutate nelle categorie dell'analisi $H \rightarrow \tau\tau$

$H \rightarrow \tau\tau$ - RUN 2: Incertezze teoriche

Valutate su una misura di **accettanza**

→ legate alla produzione dell'Higgs (ggF e VBF principali processi di produzione a LHC)

❑ Incertezze di scala (QCD)

Legate al troncamento della serie perturbativa

VBF: variazione scale di rinormalizzazione e fattorizzazione. Viene presa come incertezza la massima variazione.

ggF: Jet Bin Migration, non trascurabili, dovute alla presenza di tagli nell'analisi sperimentale, non si può utilizzare una semplice variazione di scale. 9 incertezze sistematiche trattate come indipendenti

❑ Parton Shower

Modellizzazione del processo dall'hard scattering fino alle basse energie ~ 1 GeV dove non vale più la QCD perturbativa

VBF, ggF: differenza tra i 2 maggiori software di parton shower, PYTHIA e HERWIG (differenti algoritmi di showering, differenti algoritmi di adronizzazione)

❑ PDF

Input dai dati sperimentali

VBF, ggF: raccomandazioni di PDF4LHC. I sets più recenti (CT14, MMHT14, NNPDF3.0) sono stati combinati in unico set con relative incertezze sistematiche

$H \rightarrow \tau\tau$ - RUN 2: Incertezze teoriche

Valutate in tutte le regioni di segnale relative all'analisi $H \rightarrow \tau\tau$ (categorie VBF e Boosted)

Incertezze di scala (QCD)

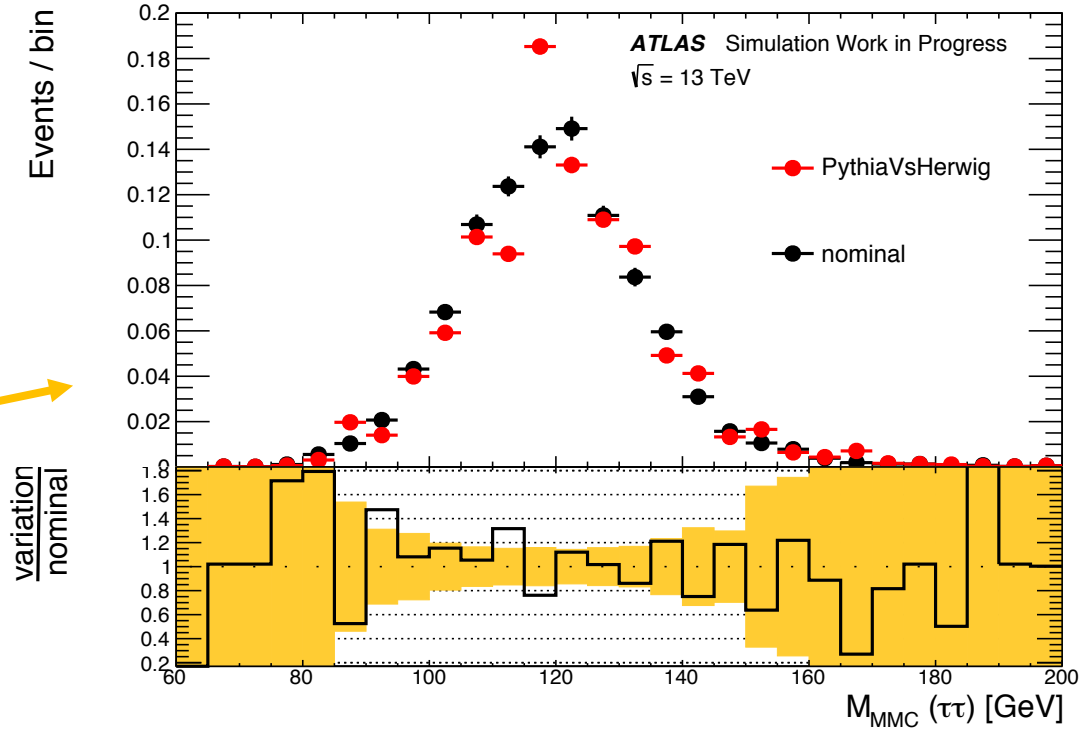
Campioni VBF: $\sim 1\%$
Campioni ggF: $\sim 10\%$

Parton Shower

Campioni VBF: $\sim 10\%$
Campioni ggF: $\sim 20\%$

PDF

Campioni VBF: $\sim 1\%$
Campioni ggF: $\sim 3\%$



Nominal

(Powheg+Pythia8) \rightarrow campione MonteCarlo nominale utilizzato per il segnale ggF

PythiaVsHerwig \rightarrow variazione del campione nominale dovuta all'incertezza Pythia/Herwig (derivata dal confronto Powheg+Pythia8 vs Powheg+Herwig7)

Impatto dell'incertezza di parton shower sulla massa invariante dei due τ , variabile utilizzata nel fit per la misura del signal strength

$H \rightarrow \tau\tau$ - Violazione di CP

Introduzione

Eur.Phys.J. C76 (2016) no.12, 658

- Analisi con i dati del RUN1 nel canale $H \rightarrow \tau\tau$
- Misura di proprietà di CP del bosone di Higgs

- **Violazione di CP**

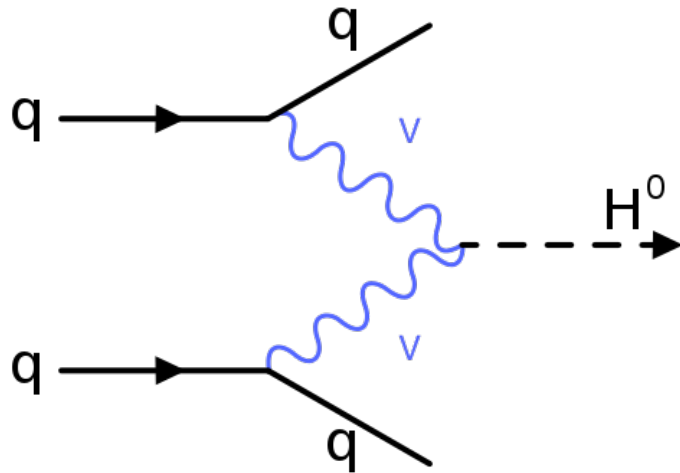
Il settore di Higgs è stato recentemente scoperto, è interessante cercare violazione di CP in questo nuovo settore

Una delle 3 condizioni di Sakharov per spiegare l'asimmetria barionica nell'universo

- Lo scopo dell'analisi è quello di studiare il vertice dove l'Higgs si accoppia a bosoni vettori (HVV) tramite **Vector Boson Fusion**. Il canale $H \rightarrow \tau\tau$ permette di selezionare un numero ragionevole di eventi VBF

Quadro teorico

$V = W, Z, \gamma$



Espressione generale Lorentz-invariante per il tensore che descrive il vertice HVV:

$$T^{\mu\nu}(q_1, q_2) = a_1(q_1, q_2)g^{\mu\nu} \quad \text{SM: CP PARI}$$

$$+ a_2(q_1, q_2)[q_1 \cdot q_2 g^{\mu\nu} - q_2^\mu q_1^\nu] \quad \text{CP PARI}$$

$$+ a_3(q_1, q_2)\epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} q_{\rho,1} q_{\sigma,2} \quad \text{CP DISPARI}$$

Modello Standard:

$$a_1 = \frac{2m_V^2}{v}, \quad a_2 = 0, \quad a_3 = 0$$

Perturbazione CP-dispari al modello standard:

$$a_1 = \frac{2m_V^2}{v}, \quad a_2 = 0, \quad a_3 \neq 0$$

$$a_3^{HZZ} = \frac{2e}{M_W \sin\theta_W} (\tilde{d} \cos^2\theta_W + \tilde{d}_B \sin^2\theta_W)$$

$$a_3^{HWW} = \frac{2e}{M_W \sin\theta_W} \tilde{d}$$

$$a_3^{HZ\gamma} = \frac{2e}{M_W} (\cos\theta_W (\tilde{d} - \tilde{d}_B))$$

$$a_3^{H\gamma\gamma} = \frac{2e}{M_W \sin\theta_W} (\tilde{d} \sin^2\theta_W + \tilde{d}_B \cos^2\theta_W)$$

I parametri \tilde{d} e \tilde{d}_B possono essere misurati

Optimal Observable

Eur.Phys.J. C76 (2016) no.12, 658

Per misurare la violazione di CP bisogna utilizzare una variabile discriminante che sia sensibile alla presenza di contributo CP-dispari \longrightarrow **Optimal Observable**

$$M_{non-SM} = M_{SM} + \tilde{d} \cdot M_{CP-dispari}$$

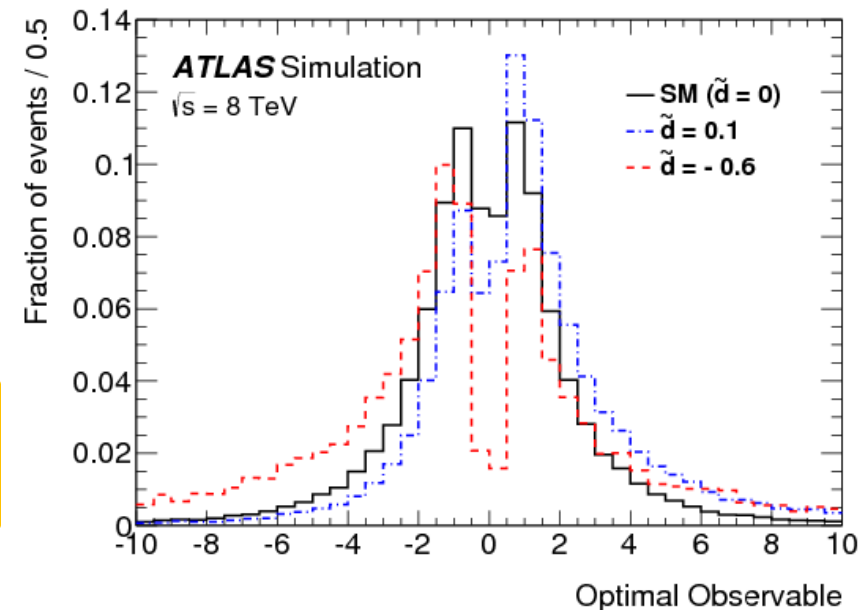
$$|M_{non-SM}^2| = |M_{SM}^2| + \tilde{d} \cdot 2 \operatorname{Re}(M_{SM}^* M_{CP-dispari}) + \tilde{d}^2 |M_{CP-dispari}^2|$$

Nell'analisi viene assunto $\tilde{d} = \tilde{d}_B$, preserva la simmetria custodiale

Optimal Observable del primo ordine

$$O_1 := \frac{2 \operatorname{Re}(M_{SM}^* M_{CP-dispari})}{|M_{SM}^2|}$$

SM: $\langle O \rangle = 0$ ($\tilde{d} = 0$)
 Contributo CP-dispari $\langle O \rangle \neq 0$ ($\tilde{d} \neq 0$)



Ricostruita utilizzando il quadrimomento dei jets nello stato finale, il p_T dell'Higgs e l' x di Bjorken

Analisi sperimentale

Regioni di segnale → BDT viene utilizzata nella regione VBF per separare eventi di Higgs prodotto tramite VBF da tutti gli altri fondi, compresi altri modi di produzione dell'Higgs

Optimal Observable (OO) → usata in ogni regione di segnale per misurare \tilde{d}

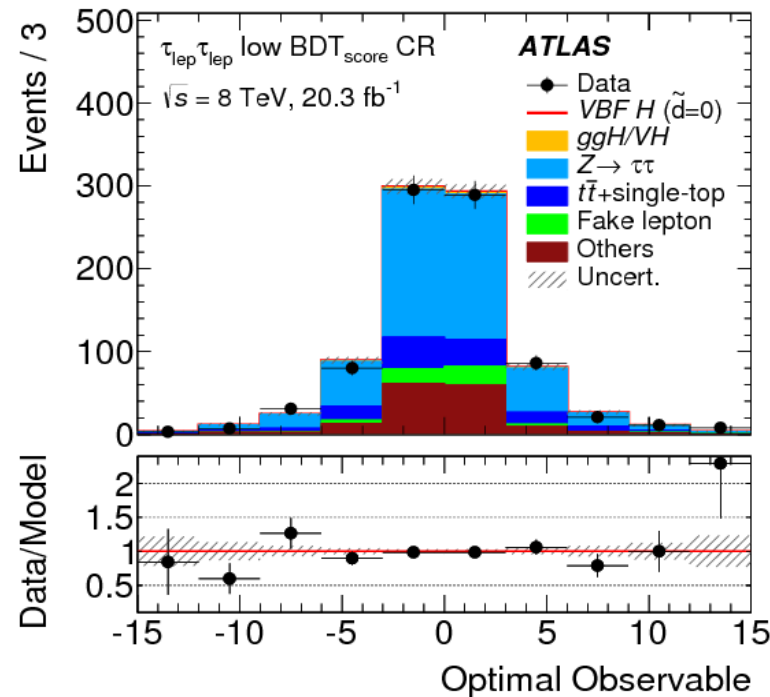
Regioni di controllo → l'OO viene modellizzata per differenti processi di fondo utilizzando dedicate regioni di controllo: Top, Low BDT e $Z \rightarrow ll$ nel canale lep-lep

(vedi [Slide 5](#))

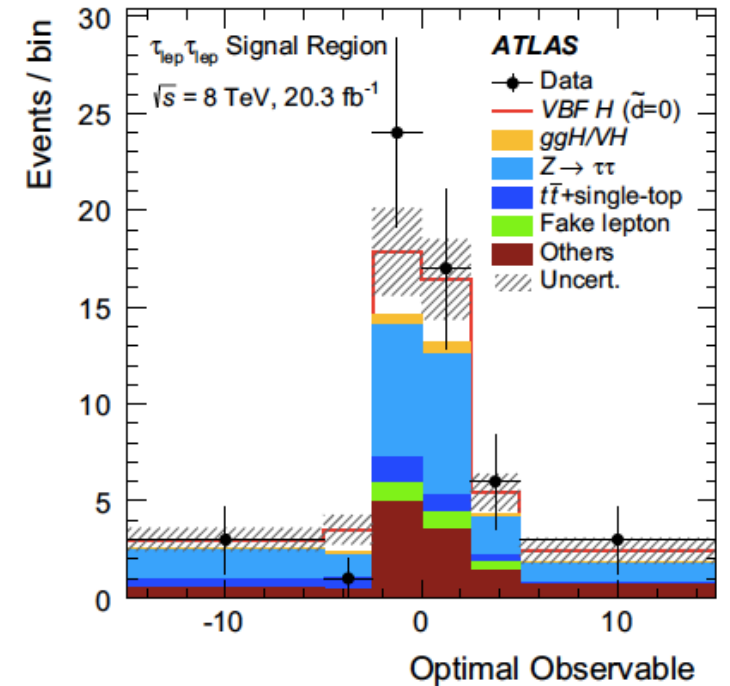
Tagli VBF:
 $p_{j1}^T > 40 \text{ GeV}$
 $p_{j2}^T > 30 \text{ GeV}$
 $\Delta\eta_{jj} > 2.2$

- Fit di **maximum likelihood** all'OO per misurare \tilde{d} utilizzando anche le informazioni dalle regioni di controllo
- La maximum likelihood è stata valutata per diversi valori di \tilde{d}

Esempio di regione di controllo nel canale lep-lep



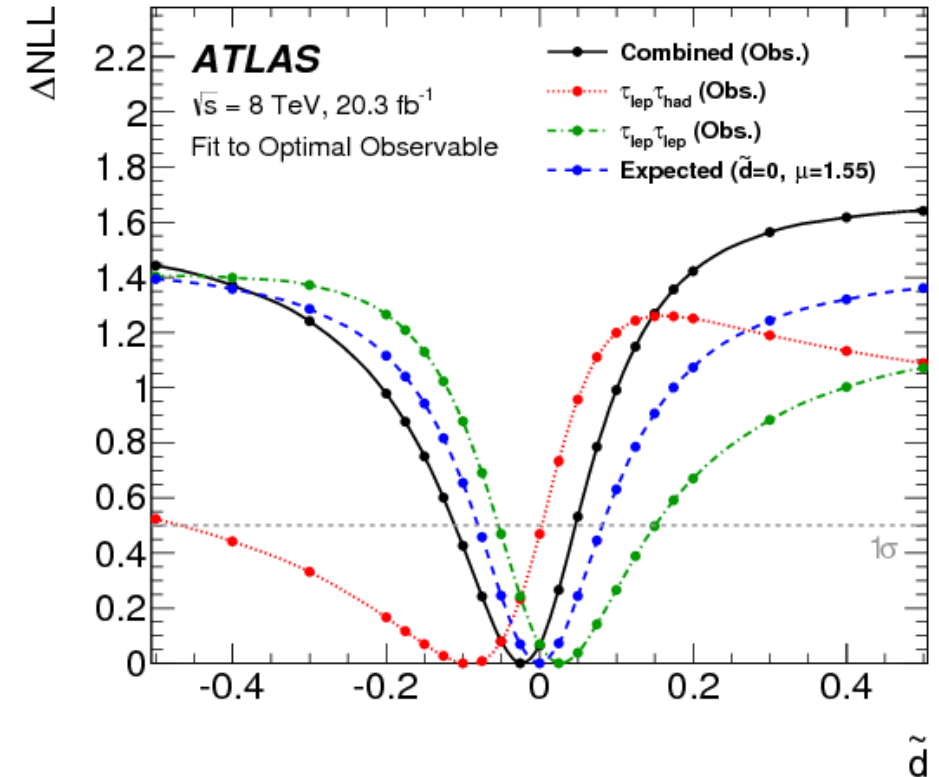
Regione di segnale nel canale lep-lep



Risultati

Eur.Phys.J. C76 (2016) no.12, 658

- $\tilde{d} < -0.11$ e $\tilde{d} > 0.05$ escluso al 68% C.L.
- Questa tecnica è interessante perché può migliorare significativamente la precisione rispetto ad una simile analisi di ATLAS del vertice di decadimento $H \rightarrow ZZ/WW$ (Eur.Phys.J. C75 (2015) no.10, 476)
- La statistica del RUN 1 è limitata e non permette di raggiungere alta significanza ma con la **statistica del RUN2** (100 fb⁻¹ aspettati alla fine del run) e combinando con altri canali di decadimento dell'Higgs, il metodo diventerà altamente competitivo. Inoltre anche l'Optimal Observable del secondo ordine potrà essere utilizzata nel fit per aumentare la sensibilità.



Conclusioni

- $H \rightarrow \tau\tau$ canale promettente per misurare l'accoppiamento dell'Higgs ai fermioni ed effettuare misure di proprietà del bosone di Higgs
- **Sezione d'urto SM**
 - Run 1: Signal strength $\mu = 1.43_{-0.37}^{+0.43}$ con significanza 4.5σ
 - Run 2: alta statistica, da tenere sotto controllo gli errori sistematici. Incertezze teoriche: $\sim 10 - 20\%$
- **Violazione di CP**
 - Misura del parametro di violazione di CP: $\tilde{d} < -0.11$ e $\tilde{d} > 0.05$ escluso al 68% C.L.
 - Run 2: tecnica innovativa che utilizza le Optimal Observable, grande potenzialità, indipendenza dal canale di decadimento dell'Higgs utilizzato che permette di effettuare una misura combinata

GRAZIE

BACKUP

$H \rightarrow \tau\tau$ - RUN1 - Selezione eventi

Channel	Preselection cuts
$\tau_{\text{lep}}\tau_{\text{lep}}$	Exactly two isolated opposite-sign leptons Events with τ_{had} candidates are rejected $30 \text{ GeV} < m_{\tau\tau}^{\text{vis}} < 100$ (75) GeV for DF (SF) events $\Delta\phi_{\ell\ell} < 2.5$ $E_{\text{T}}^{\text{miss}} > 20$ (40) GeV for DF (SF) events $E_{\text{T}}^{\text{miss,HP TO}} > 40$ GeV for SF events $p_{\text{T}}^{\ell_1} + p_{\text{T}}^{\ell_2} > 35$ GeV Events with a b -tagged jet with $p_{\text{T}} > 25$ GeV are rejected $0.1 < x_{\tau_1}, x_{\tau_2} < 1$ $m_{\tau\tau}^{\text{coll}} > m_Z - 25$ GeV
$\tau_{\text{lep}}\tau_{\text{had}}$	Exactly one isolated lepton and one medium τ_{had} candidate with opposite charges $m_{\text{T}} < 70$ GeV Events with a b -tagged jet with $p_{\text{T}} > 30$ GeV are rejected
$\tau_{\text{had}}\tau_{\text{had}}$	One isolated medium and one isolated tight opposite-sign τ_{had} -candidate Events with leptons are vetoed $E_{\text{T}}^{\text{miss}} > 20$ GeV $E_{\text{T}}^{\text{miss}}$ points between the two visible taus in ϕ , or $\min[\Delta\phi(\tau, E_{\text{T}}^{\text{miss}})] < \pi/4$ $0.8 < \Delta R(\tau_{\text{had}_1}, \tau_{\text{had}_2}) < 2.4$ $\Delta\eta(\tau_{\text{had}_1}, \tau_{\text{had}_2}) < 1.5$
Channel	VBF category selection cuts
$\tau_{\text{lep}}\tau_{\text{lep}}$	At least two jets with $p_{\text{T}}^{j_1} > 40$ GeV and $p_{\text{T}}^{j_2} > 30$ GeV $\Delta\eta(j_1, j_2) > 2.2$
$\tau_{\text{lep}}\tau_{\text{had}}$	At least two jets with $p_{\text{T}}^{j_1} > 50$ GeV and $p_{\text{T}}^{j_2} > 30$ GeV $\Delta\eta(j_1, j_2) > 3.0$ $m_{\tau\tau}^{\text{vis}} > 40$ GeV
$\tau_{\text{had}}\tau_{\text{had}}$	At least two jets with $p_{\text{T}}^{j_1} > 50$ GeV and $p_{\text{T}}^{j_2} > 30$ GeV $p_{\text{T}}^{j_2} > 35$ GeV for jets with $ \eta > 2.4$ $\Delta\eta(j_1, j_2) > 2.0$
Channel	Boosted category selection cuts
$\tau_{\text{lep}}\tau_{\text{lep}}$	At least one jet with $p_{\text{T}} > 40$ GeV
All	Failing the VBF selection $p_{\text{T}}^H > 100$ GeV

$H \rightarrow \tau\tau$ - RUN1 - BDT

Variabili utilizzate come input per la BDT:

Variable	VBF			Boosted		
	$\tau_{lep}\tau_{lep}$	$\tau_{lep}\tau_{had}$	$\tau_{had}\tau_{had}$	$\tau_{lep}\tau_{lep}$	$\tau_{lep}\tau_{had}$	$\tau_{had}\tau_{had}$
$m_{\tau\tau}^{MMC}$	•	•	•	•	•	•
$\Delta R(\tau_1, \tau_2)$	•	•	•		•	•
$\Delta\eta(j_1, j_2)$	•	•	•			
m_{j_1, j_2}	•	•	•			
$\eta_{j_1} \times \eta_{j_2}$		•	•			
p_T^{Total}		•	•			
Sum p_T					•	•
$p_T^{\tau_1} / p_T^{\tau_2}$					•	•
$E_T^{miss} \phi$ centrality		•	•	•	•	•
m_{ℓ, ℓ, j_1}				•		
m_{ℓ_1, ℓ_2}				•		
$\Delta\phi(\ell_1, \ell_2)$				•		
Sphericity				•		
$p_T^{\ell_1}$				•		
$p_T^{j_1}$				•		
$E_T^{miss} / p_T^{\ell_2}$				•		
m_T		•			•	
$\min(\Delta\eta_{\ell_1, \ell_2, jets})$	•					
$C_{\eta_1, \eta_2}(\eta_{\ell_1}) \cdot C_{\eta_1, \eta_2}(\eta_{\ell_2})$	•					
$C_{\eta_1, \eta_2}(\eta_{\ell})$		•				
$C_{\eta_1, \eta_2}(\eta_{j_3})$	•					
$C_{\eta_1, \eta_2}(\eta_{\tau_1})$			•			
$C_{\eta_1, \eta_2}(\eta_{\tau_2})$			•			

→ p_T^{total} : somma vettoriale del p_T dei prodotti di decadimento visibili del tau, dei due getti principali e della E_T^{miss}

→ Sum p_T : somma scalare del p_T dei prodotti di decadimento visibili del tau e dei getti

→ $E_T^{miss} \phi$ centrality: angolo tra i prodotti di decadimento visibili del tau e la E_T^{miss}

→ Sphericity: isotropia dell'energy flow dell'evento

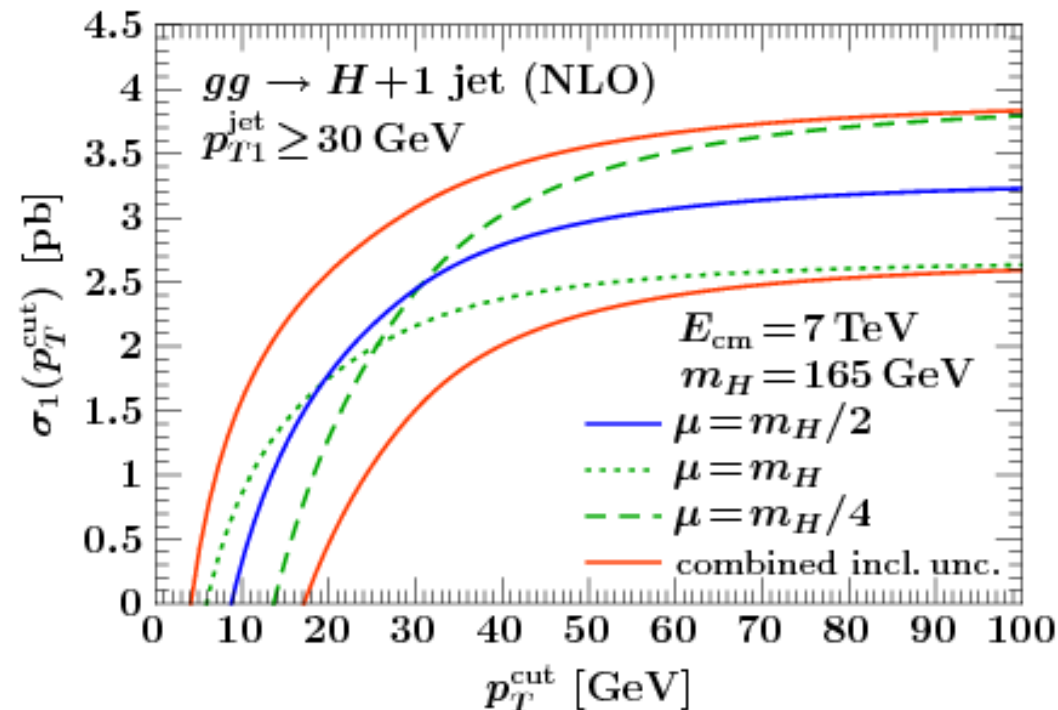
$$S^{\alpha\beta} = \frac{\sum_i p_i^\alpha p_i^\beta}{\sum_i |\vec{p}_i|^2}$$

→ $\min(\Delta\eta_{l_1, l_2, jets})$: minimo $\Delta\eta$ tra il sistema dileptonico e ogni getto

→ $C_{\eta_1, \eta_2}(\eta) = \exp\left[\frac{-4}{(\eta_1 - \eta_2)^2} \left(\eta - \frac{\eta_1 + \eta_2}{2}\right)^2\right]$ posizione in η di un oggetto rispetto ai due getti principali

$H \rightarrow \tau\tau$ - RUN2 – Incertezze di scala per ggF

- Variazione di scala non sufficiente per stimare le incertezze di scala per i processi Gluon Fusion quando vengono applicati tagli dall'analisi sperimentale che definiscono regioni esclusive
- Logaritmi di Sudakov del tipo $\ln\left(\frac{p_T^{\text{cut}}}{m_H}\right)$ appaiono nell'espansione perturbativa
- Tecniche per valutare questo effetto e non sottostimare le incertezze di scale per Gluon Fusion



Phys.Rev. D85 (2012) 034011

$H \rightarrow \tau\tau$ - RUN2 – Incertezze di scala per ggF

- Nuovo approccio raccomandato dal “LHCHSWG”
- Tiene conto di tutte le incertezze legate alla presenza di tagli nell’analisi sperimentale
- 9 incertezze sistematiche:

$\Delta_\mu \rightarrow$ Scala di rinormalizzazione e fattorizzazione
 $\Delta_\varphi \rightarrow$ Scala di risommazione
 $\Delta_{cut}^{0/1} \rightarrow 0 \leftrightarrow 1$ jet bin migration
 $\Delta_{cut}^{1/2} \rightarrow 1 \leftrightarrow 2$ jet bin migration

Inoltre:

- 2 incertezze legate alla topologia VBF
- 2 incertezze legate alla modellizzazione del p_T dell’Higgs
- 1 incertezze legata alla massa del top

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

[arXiv:1610.07922v2](https://arxiv.org/abs/1610.07922v2)

$H \rightarrow \tau\tau$ - RUN2 – Risultati incertezze teoriche

	Boost						VBF						
	$\tau\ell\tau\ell$		$\tau\ell\tau_{\text{had}}$		$\tau_{\text{had}}\tau_{\text{had}}$		$\tau\ell\tau\ell$		$\tau\ell\tau_{\text{had}}$		$\tau_{\text{had}}\tau_{\text{had}}$		
	Tight	Loose	Tight	Loose	Tight	Loose	Tight	Loose	Tight	Loose	low- ΔR	Tight	Loose
<i>ggH</i>													
$\Delta\mu_{R/F}$	7.40%	6.84%	7.5%	6.8%	7.4%	6.6%	4.3%	3.6%	4.4%	2.9%	5.2%	1.3%	2.2%
$\Delta\phi$	6.48%	7.15%	7.2%	6.1%	7.1%	6.2%	4.3%	3.5%	4.3%	2.7%	5.2%	1.3%	2.2%
$\Delta_{\text{cut}}^{0/1}$	5.59%	6.06%	5.6%	6.1%	5.6%	6.3%	2.6%	2.5%	2.9%	2.7%	2.8%	1.3%	1.8%
$\Delta_{\text{cut}}^{1/2}$	8.9%	5.26%	9.2%	4.9%	8.7%	3.75%	7.4%	5.3%	6.9%	1.6%	10.1%	0.57%	2.2%
A_{VBF}	0.399%	0.493%	0.241%	0.53%	0.343%	0.55%	9.6%	10.8%	9.2%	11%	8.0%	16%	14%
$N_{\text{veto}}^{\text{3rdjet}}$	0.0757%	0.0297%	0.1305%	0.0228%	0.101%	0.157%	0.45%	-0.83%	0.6%	-1.3%	0.47%	-0.35%	-4.6%
$p_T(H)$ 1	9.7%	7.36%	9.7%	7.2%	9.7%	7.2%	7.9%	7.3%	7.9%	3.2%	9.5%	2.7%	4.2%
$p_T(H)$ 2	13.8%	7.34%	13.8%	6.9%	13.8%	6.2%	11%	10%	10.9%	3.4%	13.8%	3.6%	6.0%
m_{top}	7.46%	0.335%	8.1%	0.84%	5.8%	0.098%	6.4%	3.1%	6.2%	0.94%	6.1%	0.10%	0.10%
PDF and α_s	1.88%	1.54%	1.85%	1.49%	5.5%	5.5%	2.0%	1.47%	1.7%	1.4%	2.3%	3%	2%
PS	-4.8%	-8.8%	-24%	-5.1%	48%	42%	26%	23%	-13%	18%	49%	38%	45%
<i>VBF</i>													
$\Delta\mu_{R/F}$	1.42%	0.65%	1.42%	0.64%	2.11%	1.02%	1.60%	0.84%	1.13%	0.462%	1.366%	0.56%	2.22%
PDF and α_s	0.339%	0.271%	0.423%	0.215%	0.98%	1.44%	0.491%	0.297%	0.375%	0.189%	0.93%	1.13%	1.33%
PS	9.9%	4.3%	5.4%	7.9%	10.2%	14.3%	0.65%	1.32%	10.7%	5.5%	9.5%	2.4%	-10%
<i>WH</i>													
$\Delta\mu_{R/F}$	5.2%	1.9%	7.3%	7.5%	5.2%	2.5%	7%	13%	14%	9%	8%	3%	7%
PDF and α_s	0.46%	0.27%	0.38%	0.21%	1.49%	1.80%	0.8%	1.7%	0.8%	1.1%	2.3%	3%	2%
<i>ZH</i>													
$\Delta\mu_{R/F}$	5.2%	1.9%	7.3%	2.6%	5.2%	2.5%	7%	25%	14%	9%	8%	3%	7%
PDF and α_s	0.46%	0.45%	0.38%	0.21%	1.49%	1.80%	0.9%	1.7%	0.8%	1.1%	2.3%	3%	2%

$H \rightarrow \tau\tau$ - Violazione di CP - Rapporto HWW/HZZ

Nel Modello Standard il rapporto HWW/HZZ è stabilito dalla **simmetria custodiale**

$$\rho = \frac{M_W^2}{M_Z^2 \cos^2 \theta_W}$$

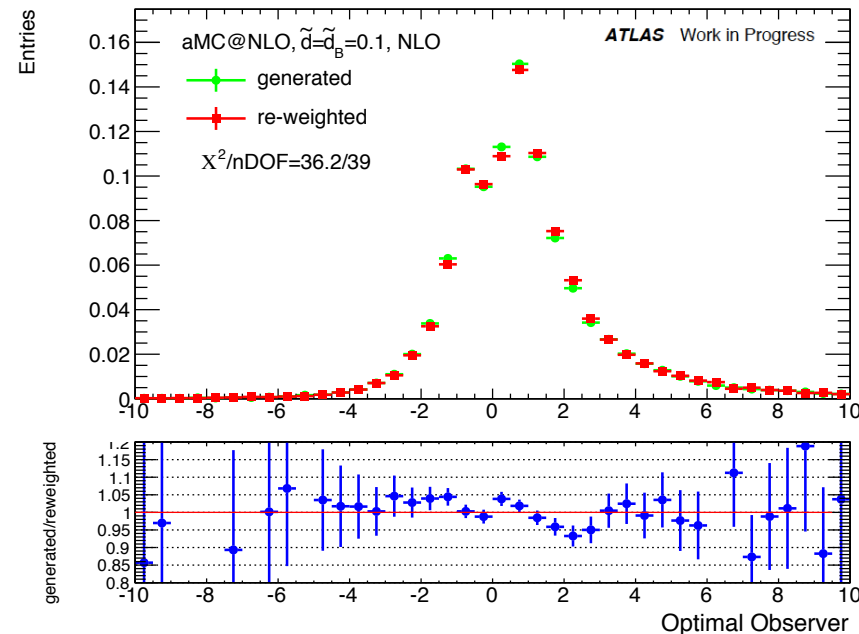
$\rho = 1$ al LO, correzioni molto piccole ad ordini successivi

In un modello BSM il rapporto è in principio arbitrario, se si vuole recuperare una simmetria di tipo custodiale bisogna scegliere $\tilde{d} = \tilde{d}_B$, questo porta a:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_3^{HWW} = a_3^{HZZ} = a_3^{H\gamma\gamma} = \frac{2e}{M_W \sin\theta_W} \tilde{d} \\ a_3^{HZ\gamma} = 0 \end{array} \right.$$

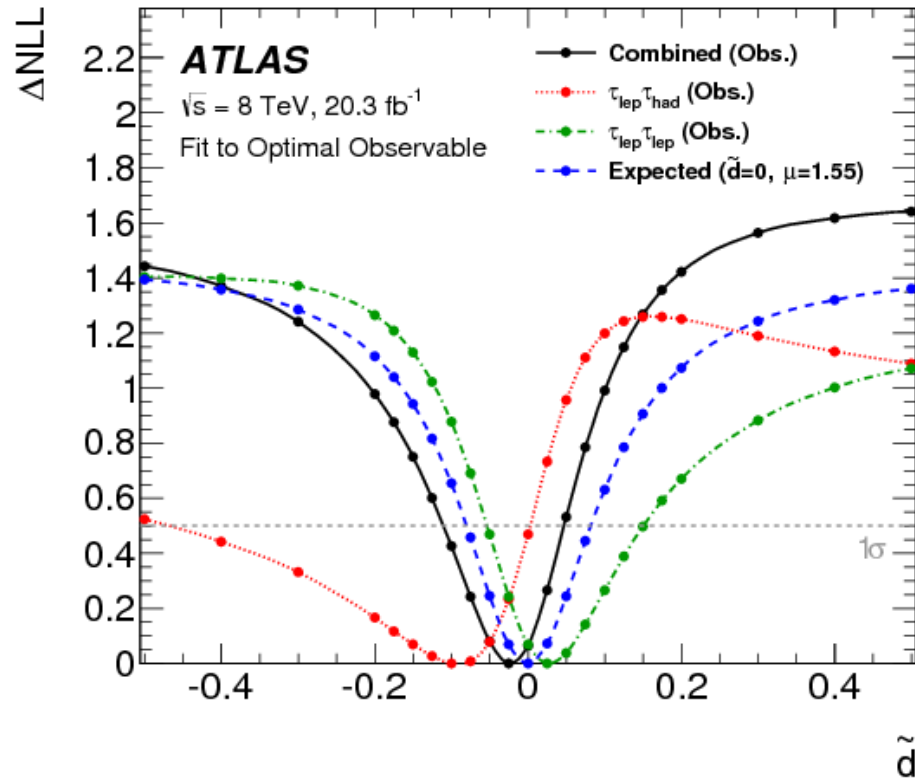
$H \rightarrow \tau\tau$ - Violazione di CP - Ripeso

- Simulare campioni Oltre il Modello Standard per diversi valori di \tilde{d} è troppo dispendioso in termini di tempo e di risorse computazionali
- Per questo motivi i campioni sono stati prodotti con la tecnica del ripeso
- I campioni nominali per il Modello Standard sono stati ripesati con i pesi $\frac{|M_{non-SM}^2|}{|M_{SM}^2|}$

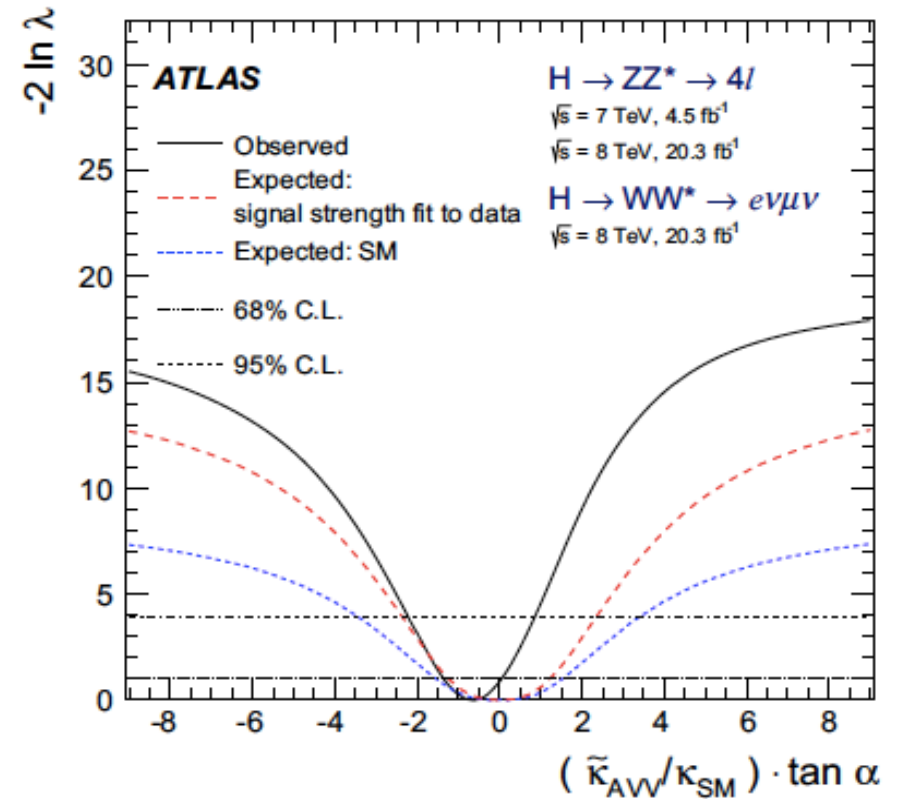


Tecnica validata a 8 TeV

$H \rightarrow \tau\tau$ - Violazione di CP - Confronto con HZZ/HWW



Eur.Phys.J. C76 (2016) no.12, 658



Eur. Phys. J. C (2015) 75:476

$$\tilde{d} = \frac{\tilde{k}_{AVV}}{k_{SM}} \tan \alpha$$