

IFAE 2015

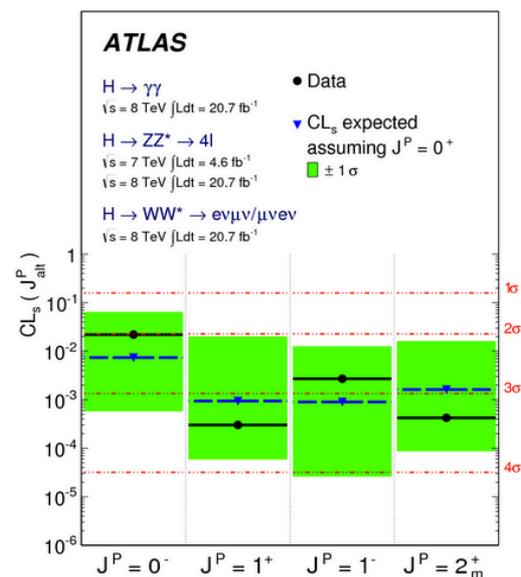
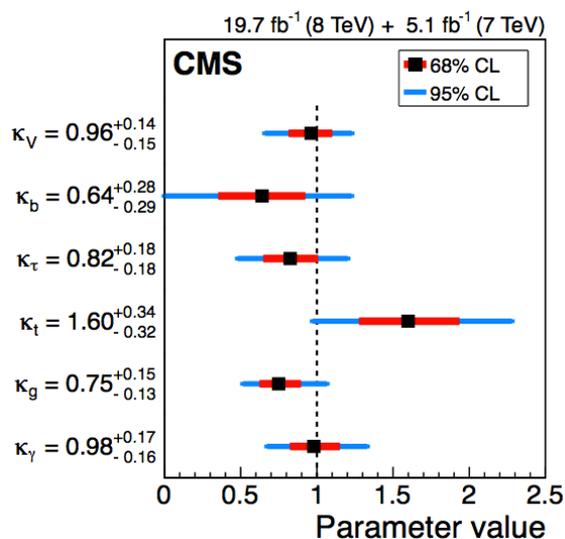
Studi di sensitività per il RunII basati sulla parametrizzazione EFT della sezione d'urto doppio-differenziale relativa al decadimento $H \rightarrow 4l$ ad LHC.

- **Studio di sensitività** basato sulla parametrizzazione presentata nell'articolo di G.Isidori, A. Greljo, D.Marzocca, M. González-Alonso (arXiv:1412.6038v1)
 - **Approccio EFT generale (linear and non linear EFT):** necessità di esplorare la cinematica dell'evento e la total rate
 - **Ampiezza di decadimento $h \rightarrow 2e2\mu$ definita in funzione di 5 pseudo-osservabili**
- Estrazione dei parametri attraverso un Likelihood fit binnato: risultati mostrati per la statistica disponibile in RunI e proiezione a 100 fb^{-1} per il RunII ad LHC.

Finora studi di shape e normalizzazione indipendenti (ATLAS e CMS RunI):

- Cinematica di produzione e decadimento SM-like: test di total rate (signal strength, formalismo dei k)
- Test di shape per studi di spin-parità

-> necessità di combinare queste due informazioni!



Parametrizzazione in uso

Assunzioni:

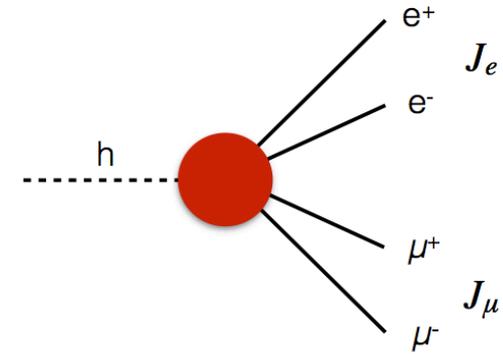
- $h(125)$ è una particella a $spin-0$
- Non ci sono nuove particelle con massa fino a 125 GeV in grado di produrre distorsioni dell'ampiezza di decadimento dell'higgs in particelle SM

Non è necessario assumere che l'Higgs sia parte di un doppietto di $SU(2)_L$, nè fare assunzioni di LFU o invarianza per CP.

Dall'espressione piu' generica dell'ampiezza di decadimento $h \rightarrow 2e2\mu$ si possono definire una serie di osservabili che racchiudono possibili effetti di NP, test di LFU, ecc... :

$$\kappa_{ZZ}, \epsilon_{ZeL}, \epsilon_{Z\mu L}, \epsilon_{ZeR}, \epsilon_{Z\mu R}, \epsilon_{ZZ}^{\text{CP}}, \epsilon_{Z\gamma}^{\text{CP}}, \epsilon_{\gamma\gamma}^{\text{CP}}$$

La più generica espressione della ampiezza con un Higgs on shell e stato finale $2e2\mu$:



$$\mathcal{A} = i \frac{2m_Z^2}{v_F} \sum_{e=e_L, e_R} \sum_{\mu=\mu_L, \mu_R} (\bar{e}\gamma_\alpha e)(\bar{\mu}\gamma_\beta \mu) \times \left[F_1^{e\mu}(q_1^2, q_2^2) g^{\alpha\beta} + F_3^{e\mu}(q_1^2, q_2^2) \frac{q_1 \cdot q_2 g^{\alpha\beta} - q_2^\alpha q_1^\beta}{m_Z^2} + F_4^{e\mu}(q_1^2, q_2^2) \frac{\epsilon^{\alpha\beta\rho\sigma} q_{2\rho} q_{1\sigma}}{m_Z^2} \right]$$

dove $q_1=m_{12}$, $q_2=m_{34}$

Imponendo l'invarianza per CP il termine F_4 si annulla:

Gli effetti più interessanti sono in F_1 :

$$\rightarrow F_1^{ff'}(q_1^2, q_2^2) = \kappa_{ZZ} \frac{g_Z^f g_Z^{f'}}{P_Z(q_1^2) P_Z(q_2^2)} + \frac{\epsilon_{Zf}}{m_Z^2} \frac{g_Z^{f'}}{P_Z(q_2^2)} + \frac{\epsilon_{Zf'}}{m_Z^2} \frac{g_Z^f}{P_Z(q_1^2)}$$

$\kappa_{ZZ}, \epsilon_{ZeL}, \epsilon_{Z\mu L}, \epsilon_{ZeR}, \epsilon_{Z\mu R}, \epsilon_{ZZ}^{\text{CP}}, \epsilon_{Z\gamma}^{\text{CP}}, \epsilon_{\gamma\gamma}^{\text{CP}}$ ~~$\epsilon_{ZZ}^{\text{CP}}, \epsilon_{Z\gamma}^{\text{CP}}, \epsilon_{\gamma\gamma}^{\text{CP}}$~~ \rightarrow 5 parametri da fittare!

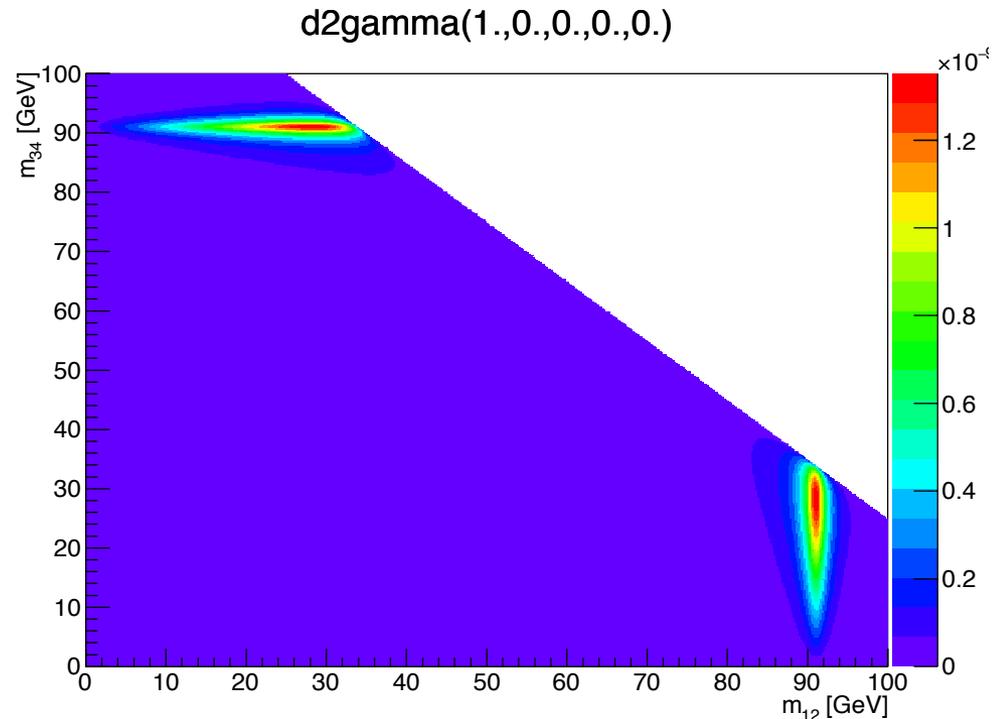
La rate doppio differenziale è una funzione polinomiale quadratica in $\kappa \equiv (\kappa_{ZZ}, \varepsilon_{ZeL}, \varepsilon_{Z\mu L}, \varepsilon_{ZeR}, \varepsilon_{Z\mu R})^T$, pertanto, data l'ampiezza di decadimento in funzione dei parametri (X_{ij}):

$$d\Gamma_{h \rightarrow 2e2\mu} / dm_{12} dm_{34} = \sum_{j \geq i} X_{ij} \kappa_i \kappa_j$$

dove m_{12} ed m_{34} sono le masse invarianti della coppia di $2e$ e 2μ rispettivamente.

-> funzione 2D generata con i parametri settati ai valori SM:

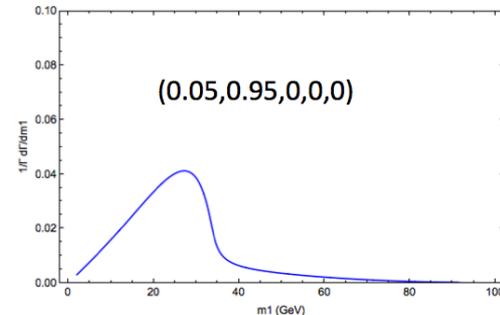
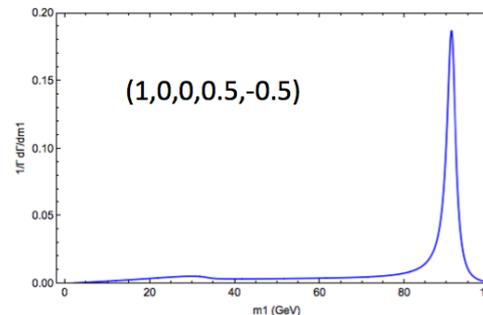
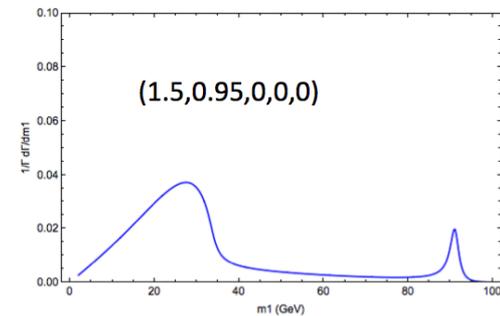
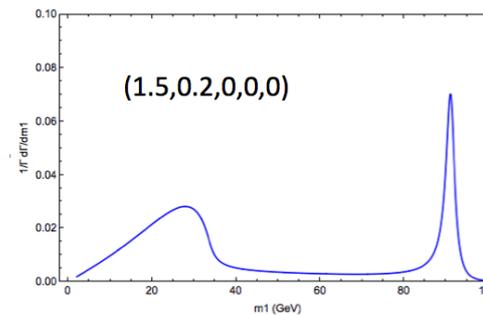
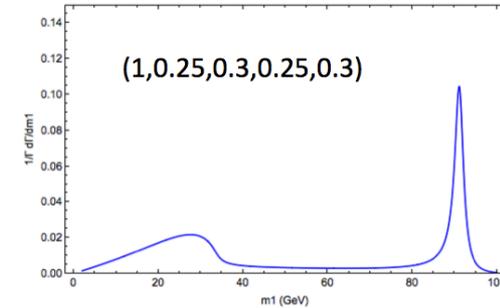
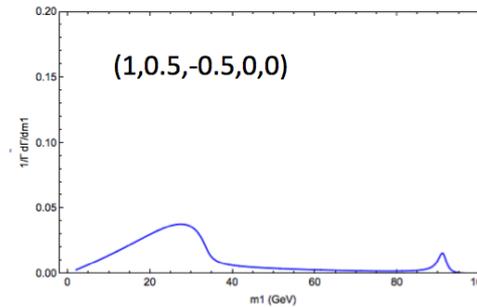
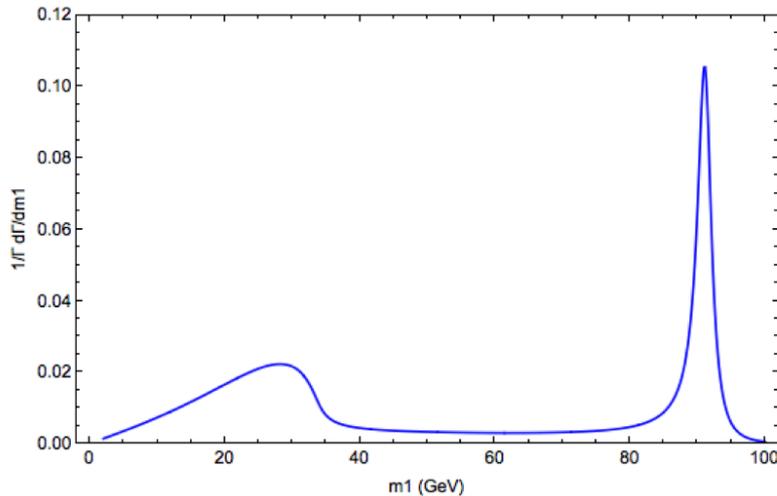
$$(\kappa_{ZZ}=1, \varepsilon_{ZeL}=0, \varepsilon_{Z\mu L}=0, \varepsilon_{ZeR}=0, \varepsilon_{Z\mu R}=0)$$



Andamento della $d^2\Gamma/dm_{12}dm_{34}$ al variare del valore dei parametri in esame.

- Proiezione lungo m_{12} integrando su m_{34} .
- L'integrazione sull'angolo è implementata analiticamente a livello dell'ampiezza.

$$(\kappa_{ZZ}=1, \varepsilon_{ZeL}=0, \varepsilon_{Z\mu L}=0, \varepsilon_{ZeR}=0, \varepsilon_{Z\mu R}=0)$$



Descrizione dell'analisi:

- Estrazione degli eventi dalla rate doppio-differenziale:
Asimov dataset normalizzato al numero di eventi atteso
- Costruzione della **Likelihood binnata** (statistica Poissoniana) al variare dei parametri in esame: 2D scans
- Studi performati per diverse configurazioni con la **statistica disponibile nel RunI di LHC**, ma anche (riscaldando le aspettative) per **100 fb⁻¹ @ 13TeV (~fine RunII di LHC)**; nel far ciò si ricordi che **7+8 TeV \sim 10 fb⁻¹@13TeV**

-> ATT: al momento non consideriamo i fondi, assumiamo che gli eventi estratti siano truth (in futuro funzione trasferimento tra truth e reco)

Asimov dataset normalizzato alla statistica registrata da ATLAS+CMS nel primo run di LHC (7+8 TeV, ~15 eventi nel canale 2e2μ nella regione di segnale [120-130GeV])

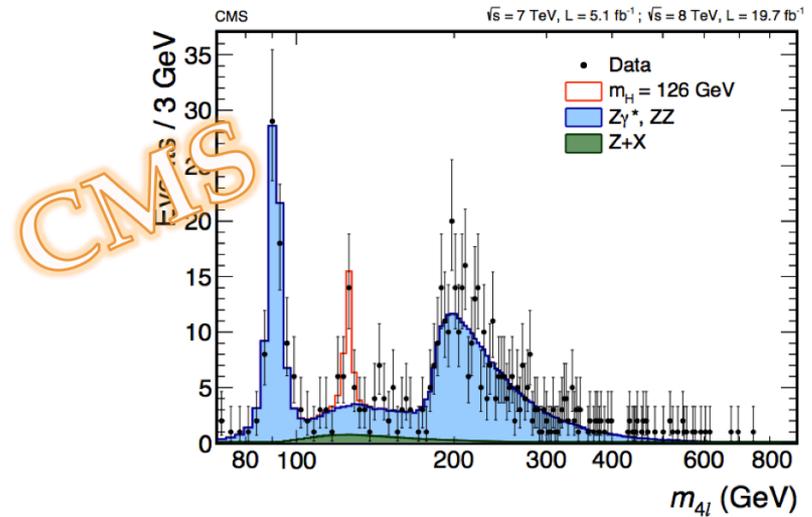
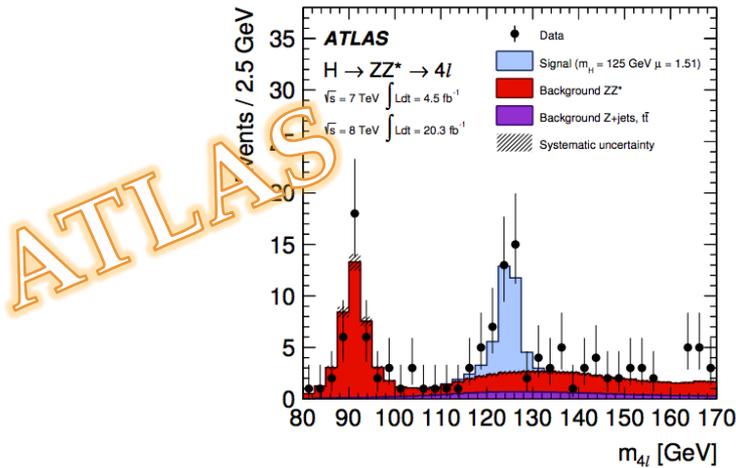


Table 11: The number of events expected and observed for a $m_H=125$ GeV hypothesis for the four-lepton final states in a window of $120 < m_{4\ell} < 130$ GeV. The second column shows the number of expected signal events for the full mass range, without a selection on $m_{4\ell}$. The other columns show for the 120–130 GeV mass range the number of expected signal events, the number of expected ZZ^* and reducible background events, and the signal-to-background ratio (S/B), together with the number of observed events, for 4.5 fb^{-1} at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ and 20.3 fb^{-1} at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ as well as for the combined sample.

Final state	Signal full mass range	Signal	ZZ^*	Z + jets, $t\bar{t}$	S/B	Expected	Observed	
		$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ and $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$						
4μ	6.80 ± 0.67	6.20 ± 0.61	2.82 ± 0.14	0.79 ± 0.13	1.7	9.81 ± 0.64	14	
$2e2\mu$	4.58 ± 0.45	4.04 ± 0.40	1.99 ± 0.10	0.69 ± 0.11	1.5	6.72 ± 0.42	9	
$2\mu 2e$	3.56 ± 0.36	3.15 ± 0.32	1.38 ± 0.08	0.72 ± 0.12	1.5	5.24 ± 0.35	6	
$4e$	3.25 ± 0.34	2.77 ± 0.29	1.22 ± 0.08	0.76 ± 0.11	1.4	4.75 ± 0.32	8	
Total	18.2 ± 1.8	16.2 ± 1.6	7.41 ± 0.40	2.95 ± 0.33	1.6	26.5 ± 1.7	37	

Table 4: The number of observed candidate events compared to the mean expected background and signal rates for each final state. Uncertainties include statistical and systematic sources. The results are integrated over the mass range from 121.5 to 130.5 GeV and for 7 and 8 TeV data combined.

Channel	4e	2e2μ	4μ	4ℓ
ZZ background	1.1 ± 0.1	3.2 ± 0.2	2.5 ± 0.2	6.8 ± 0.3
Z + X background	0.8 ± 0.2	1.3 ± 0.3	0.4 ± 0.2	2.6 ± 0.4
All backgrounds	1.9 ± 0.2	4.6 ± 0.4	2.9 ± 0.2	9.4 ± 0.5
$m_H = 125 \text{ GeV}$	3.0 ± 0.4	7.9 ± 1.0	6.4 ± 0.7	17.3 ± 1.3
$m_H = 126 \text{ GeV}$	3.4 ± 0.5	9.0 ± 1.1	7.2 ± 0.8	19.6 ± 1.5
Observed	4	13	8	25

Differenti casi in esame:

Si è scelto di studiare diverse combinazioni dei parametri, fissandone alcuni ai valori SM e fittando gli altri, che corrispondono ai casi più interessanti da studiare:

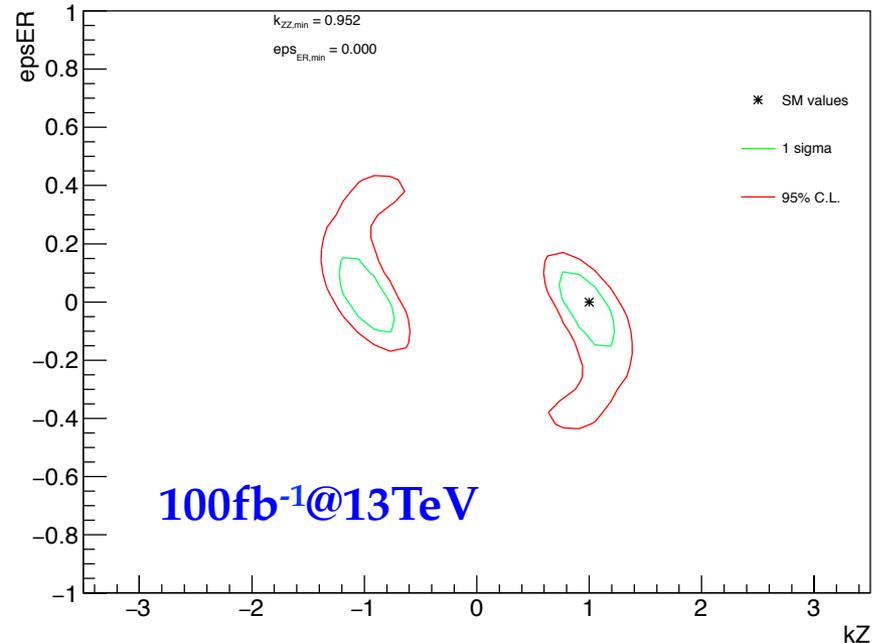
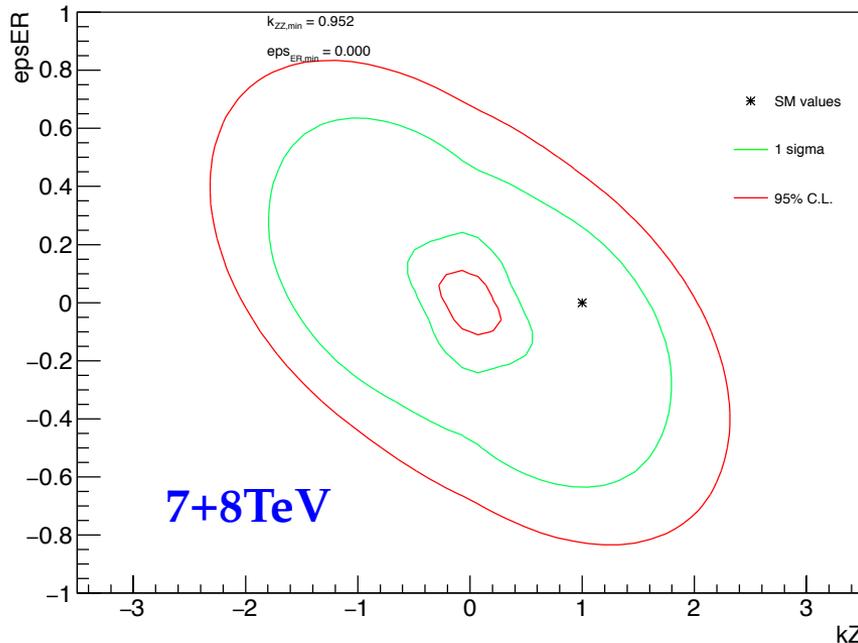
- A) Scan su $(\kappa_{ZZ}, \varepsilon_{ZeR})$; $\rightarrow \varepsilon_{Z\mu L}, \varepsilon_{ZeL}, \varepsilon_{Z\mu R}$ fixed
per studiare la sensitività sui contact term
- B) Scan su $(\kappa_{ZZ}, \varepsilon_{ZLepR})$; \rightarrow essendo $\varepsilon_{ZLepL} = 2 \cdot \varepsilon_{ZLepR}$ & $\varepsilon_{Z\mu X} = \varepsilon_{ZeX}$
LFU imposta e Higgs parte di un doppietto $SU(2)_L$
- C) Scan su $(\varepsilon_{ZLepR}, \varepsilon_{ZLepL})$; $\rightarrow \kappa_{ZZ}$ fixed & $\varepsilon_{ZeX} = \varepsilon_{Z\mu X}$
LFU imposta
- D) Scan su $(\varepsilon_{ZeR}, \varepsilon_{Z\mu R})$; $\rightarrow \kappa_{ZZ}$ fixed & $\varepsilon_{ZeR} = -\varepsilon_{ZeL}, \varepsilon_{Z\mu R} = -\varepsilon_{Z\mu L}$
Exotic: No LFU, accoppiamento assiale di una Z' con coppie di leptoni
- E) Scan su $(\varepsilon_{ZeR}, \varepsilon_{Z\mu R})$; $\rightarrow \kappa_{ZZ}$ fixed & $\varepsilon_{ZeR} = \varepsilon_{ZeL}, \varepsilon_{Z\mu R} = \varepsilon_{Z\mu L}$
Exotic: No LFU, accoppiamento vettoriale di una Z' con coppie di leptoni

Scan su $(\kappa_{ZZ}, \epsilon_{ZeR})$; $\rightarrow \epsilon_{Z\mu L}, \epsilon_{ZeL}, \epsilon_{Z\mu R}$ fixed

- Interessante al fine di dare una stima della sensitività sui contact term, mai considerati finora.
- κ_{ZZ} differisce dalla signal strenght riportata da ATLAS e CMS in quanto è legata ad una ben definita distribuzione cinematica (SM like).

$\Delta\chi^2$ in funzione del numero di parametri liberi per 1sigma e 95% C.L.

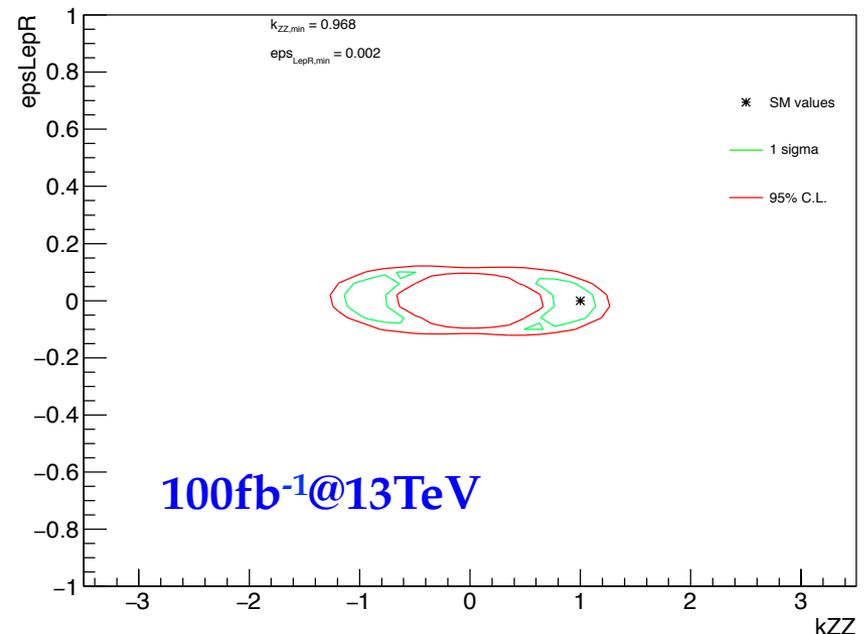
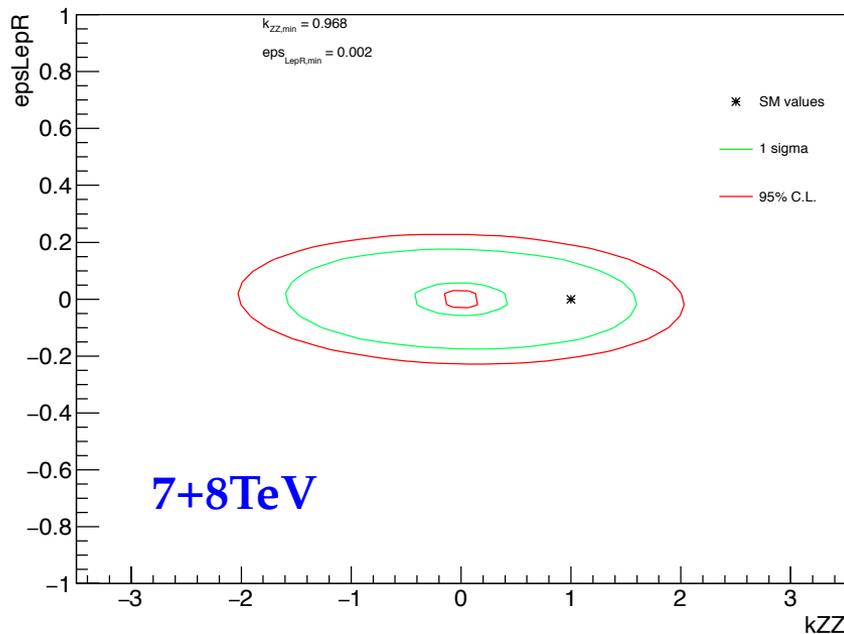
$1 - \alpha$ [%]	$m = 1$	$m = 2$
68.27	1.00	2.30
95.	3.84	5.99



Conservative case: EW flat direction

Scan su $(\kappa_{ZZ}, \epsilon_{ZLepR})$; \rightarrow essendo $\epsilon_{ZLepL} = 2 \cdot \epsilon_{ZLepR}$ & $\epsilon_{Z\mu X} = \epsilon_{ZeX}$

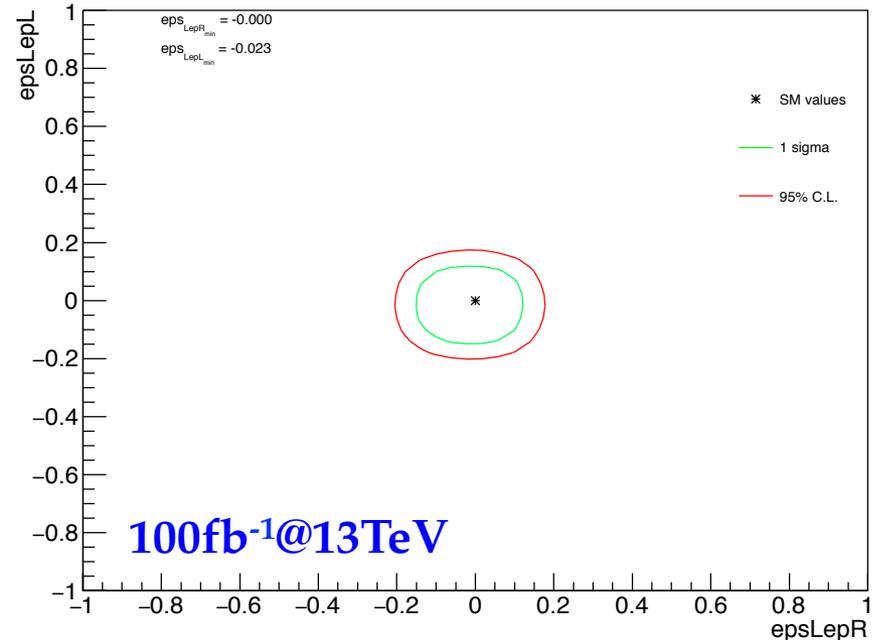
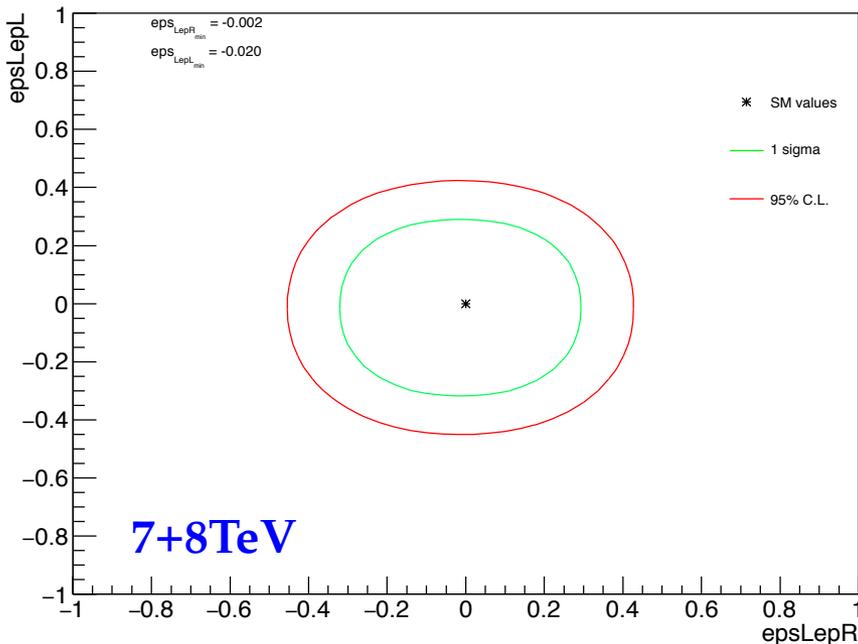
- LFU imposta
- Facendo l'ipotesi che l'Higgs è parte di un doppietto, si ottiene una relazione tra i contact term: $\epsilon_{ZLepL} = 2 \cdot \epsilon_{ZLepR}$



Conservative: Flavor Universal contact terms

Scan su $(\epsilon_{Z\text{LepR}}, \epsilon_{Z\text{LepL}})$; $\rightarrow \kappa_{ZZ}$ fixed & $\epsilon_{ZeX} = \epsilon_{Z\mu X}$

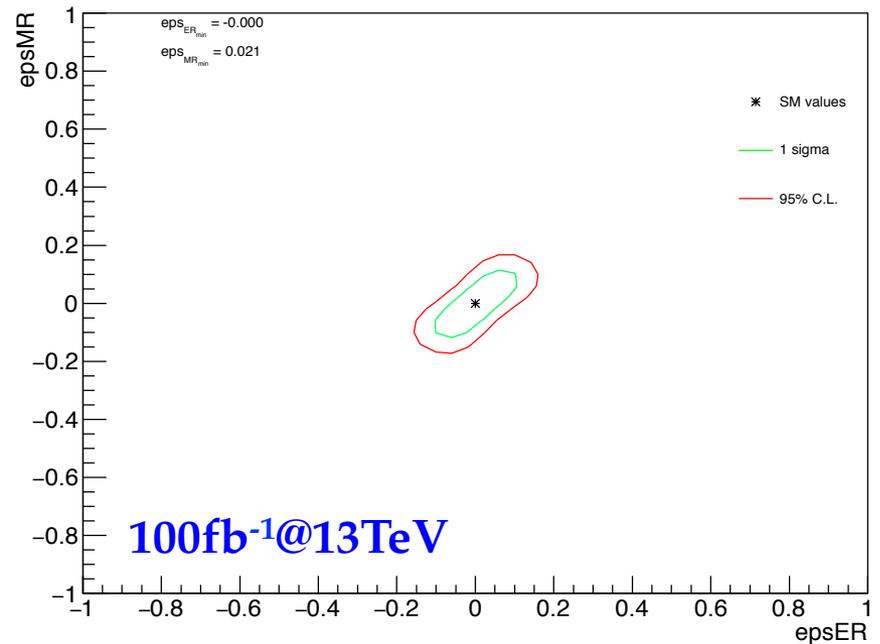
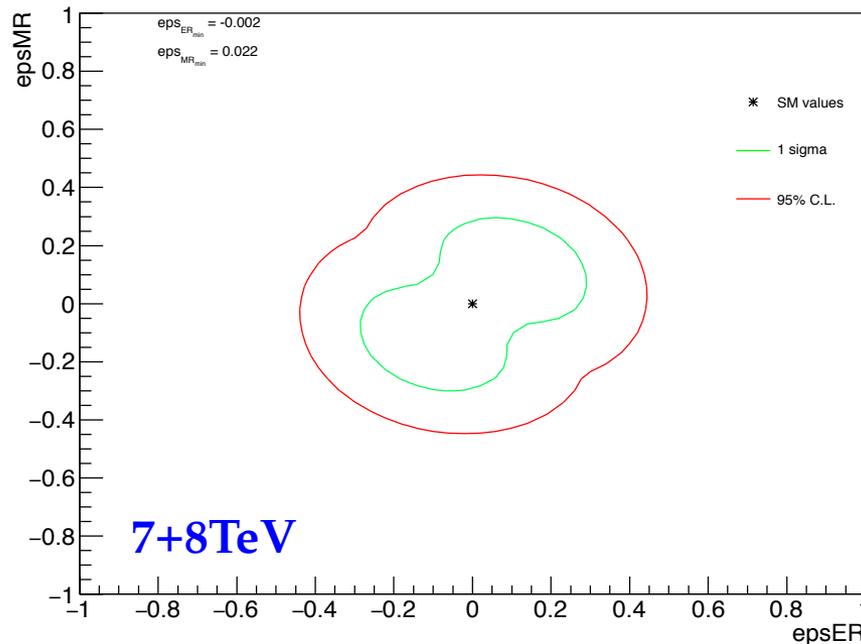
- Imponendo l' universalità leptonica per i termini di contatto e sono possibili deviazioni flavour-universali nei termini Left e Right.



Exotic: Flavor Non-universal axial couplings

Scan su $(\epsilon_{ZeR}, \epsilon_{Z\mu R})$; $\rightarrow \kappa_{ZZ}$ fixed & $\epsilon_{ZeR} = -\epsilon_{ZeL}$, $\epsilon_{Z\mu R} = -\epsilon_{Z\mu L}$

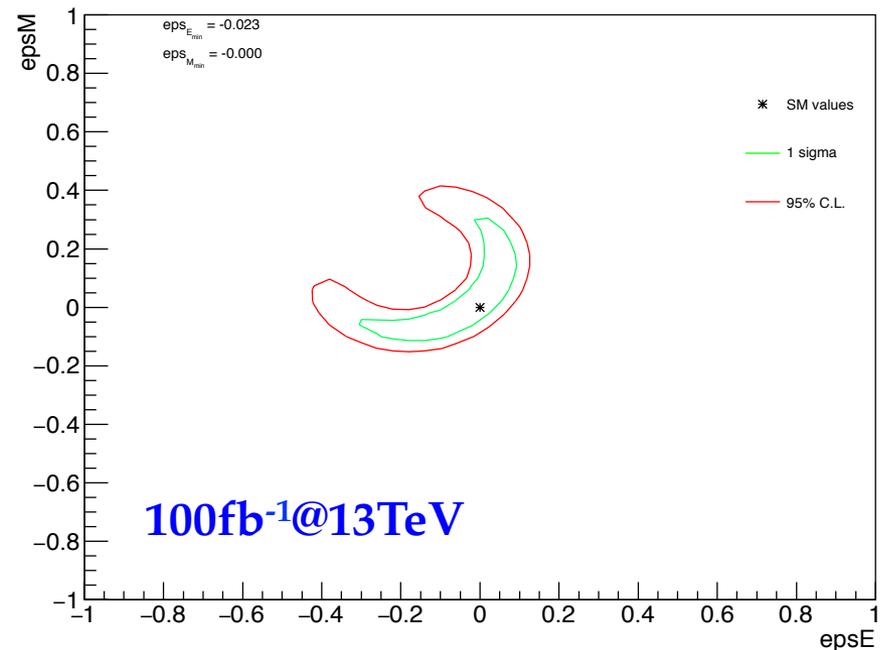
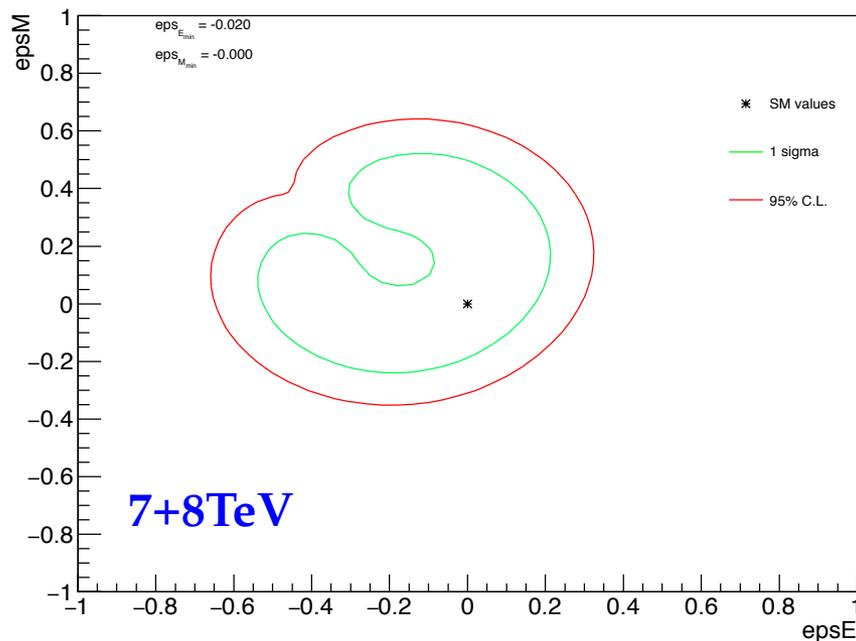
- Assumo che i termini di contatto siano diversi per e e μ \rightarrow rottura della simmetria di sapore (caso di una Z' che si accoppia in modo assiale con e o μ).



Exotic: Flavor Non-universal vector couplings

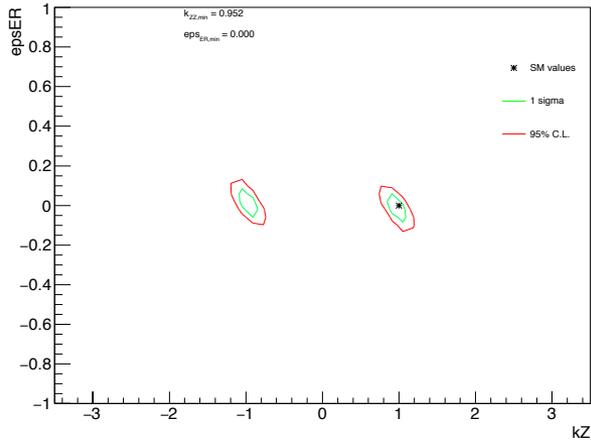
Scan su $(\epsilon_{ZeR}, \epsilon_{Z\mu R})$; $\rightarrow \kappa_{ZZ}$ fixed & $\epsilon_{ZeR} = \epsilon_{ZeL}, \epsilon_{Z\mu R} = \epsilon_{Z\mu L}$

- Assumo che i termini di contatto siano diversi per e e $\mu \rightarrow$ rottura della simmetria di sapore (caso di una Z' che si accoppia in modo vettoriale con e o μ).

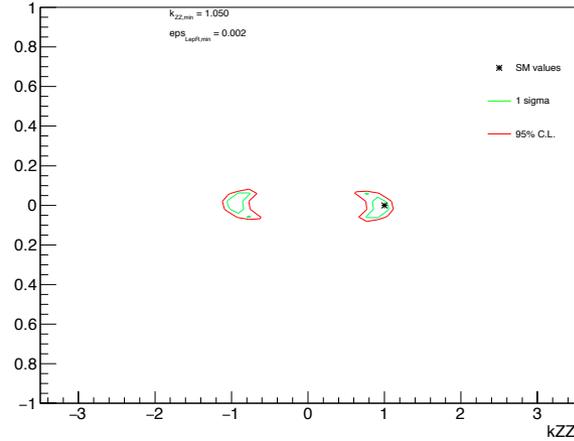




Case A

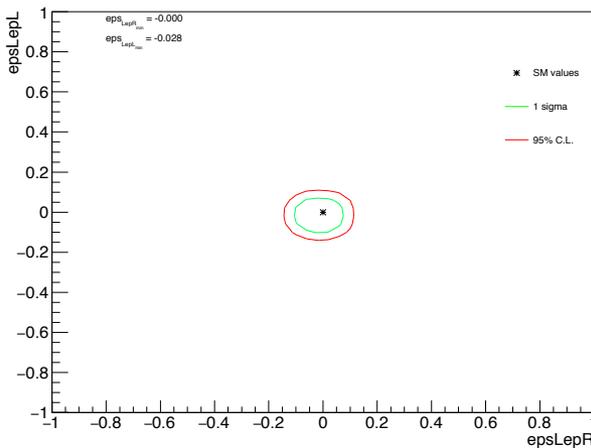


Case B

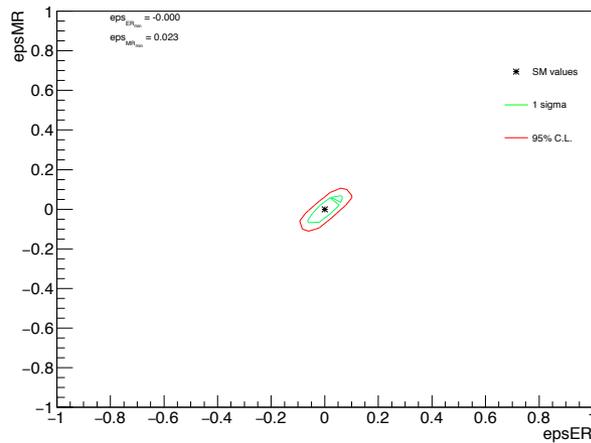


Ovviamente i limiti si fanno sempre più stringenti all'aumentare della statistica!

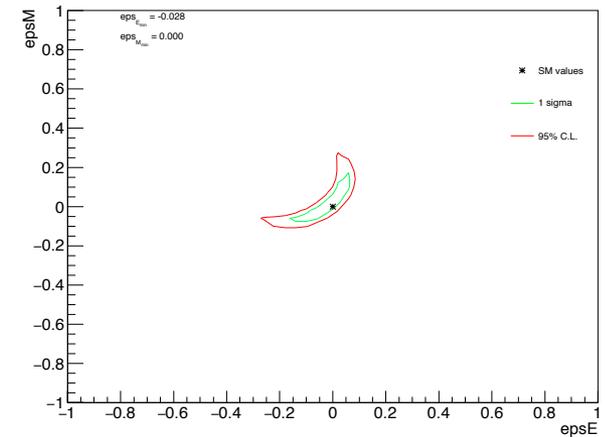
Case C



Case D



Case E



In conclusione:

- Per indagare possibili deviazioni dell'Higgs dal SM -> diventa necessario un approccio di questo tipo, che combina effetti di normalizzazione e di shape.
- È stato mostrato uno studio di sensibilità effettuato sui contact term e k_{ZZ} dati dalla parametrizzazione EFT generale descritta.
- Si mostra come con la statistica attuale i bound sui singoli parametri risultino ancora poco stringenti, mentre già a fine RunII, i constraint sui singoli contact term iniziano a diventare interessanti per escludere teorie di tipo effettive ($\epsilon_X \sim 0.2$).

Prospettive future:

- Fit unbinnato
- Aggiungere il contributo all'ampiezza di $4e$ e 4μ
- Scan 1D sui singoli parametri per dare una stima degli errori

Grazie per
l'attenzione!



Backup

Espressione della rate doppio differenziale in funzione di F_1 :

$$\frac{\Gamma_{e^+e^-\mu^+\mu^-}}{\Gamma_{e^+e^-\mu^+\mu^-}^{SM}} = 1 + 2\delta\kappa_{ZZ} - 2.5\epsilon_{Ze_R} + 2.9\epsilon_{Ze_L} - 2.5\epsilon_{Z\mu_R} + 2.9\epsilon_{Z\mu_L}$$

κ_{ZZ} è legato ad una ben definita distribuzione cinematica.

$$\kappa_{ZZ} \equiv 1 + \delta\kappa_{ZZ}$$

κ_{ZZ} and contact terms

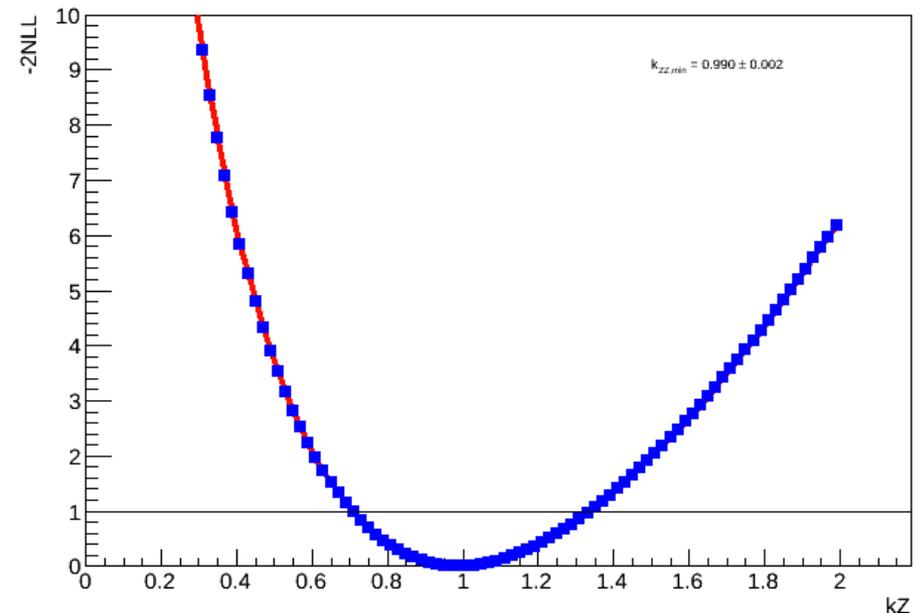
$$\frac{d\Gamma}{dq_1^2 dq_2^2} = \frac{\lambda_p}{2^{10}(2\pi)^7 m_h} \left(\frac{2m_Z^2}{v_F}\right)^2 \frac{128\pi^2}{9} q_1^2 q_2^2 \frac{3 + 2\beta_1\beta_2 - 2(\beta_1^2 + \beta_2^2) + 3\beta_1^2\beta_2^2}{(1 - \beta_1^2)(1 - \beta_2^2)} \sum_{f,f'} F_1^{ff'} F_1^{ff'*}$$

$$\begin{aligned} \sum_{f,f'} F_1^{ff'} F_1^{ff'*} &= \frac{(1 + 2\delta\kappa_{ZZ}) \sum_{f,f'} (g_Z^f g_Z^{f'})^2}{|P_Z(q_1^2)|^2 |P_Z(q_2^2)|^2} + \frac{2(q_1^2 - m_Z^2) \sum_{f,f'} \epsilon_{Zf} g_Z^f (g_Z^{f'})^2}{m_Z^2 |P_Z(q_1^2)|^2 |P_Z(q_2^2)|^2} \\ &+ \frac{2(q_2^2 - m_Z^2) \sum_{f,f'} \epsilon_{Zf'} g_Z^{f'} (g_Z^f)^2}{m_Z^2 |P_Z(q_1^2)|^2 |P_Z(q_2^2)|^2}. \end{aligned}$$

$$\lambda_p = \sqrt{1 + \left(\frac{q_1^2 - q_2^2}{m_h^2}\right)^2 - 2\frac{q_1^2 + q_2^2}{m_h^2}}, \quad \beta_{1(2)} = \sqrt{1 - \frac{4q_{1(2)}^2 m_h^2}{(q_{1(2)}^2 - q_{2(1)}^2 + m_h^2)^2}}$$

Fit 1D per estrarre la signal strength:

Fissando gli altri parametri ai valori SM e fittando solo il parametro k_{ZZ} ottengo una stima dell'errore sulla signal strength:



- **Non-linear EFT:**

An effective decoupling of the Higgs boson from the Goldstone-boson components of the $SU(2)_L \times U(1)_Y / U(1)_{em}$ symmetry breaking.

- EW symmetry is non-linearly realised, derivative expansion over the cutoff
- All Higgs **POs** independent

- **Linear EFT:**

Higgs boson is part of an $SU(2)_L$ doublet field \mathbf{H} . Higher-dimensional operators are constructed in terms of the \mathbf{H} field. The physical Higgs boson appears in operators contributing also to non-Higgs processes.

- **(1)** Some Higgs **POs** constrained from LEP data
- **(2)** Relations among Higgs **POs** due to the accidental custodial symmetry present in some of the $D = 6$ operators