

Ricerca dell' Higgs Standard a CMS nel canale $H \rightarrow \gamma\gamma$

Candidato: Luca Colasurdo

Docente: prof. C. Dionisi

Tutor: prof. D. Del Re e S. Rahatlou

Dipartimento di Fisica

19 Giugno 2012



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

1 La ricerca dell'Higgs $\rightarrow \gamma\gamma$ a CMS

- La particella di Higgs
- Il canale $H \rightarrow \gamma\gamma$

2 Tecniche utilizzare nella ricerca

- Vertex location
- Selezione dei fotoni
- Event classes
- Segnale e background

3 Risultati

4 Conclusioni

Cos'è la particella di Higgs?

- Con il termine Bosone di Higgs si identifica un'ipotetica particella scalare massiva, postulata nel 1964 da Peter Higgs per spiegare il meccanismo tramite il quale le particelle del MS acquistano una massa.

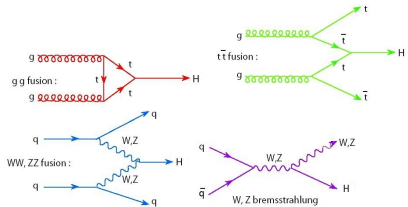
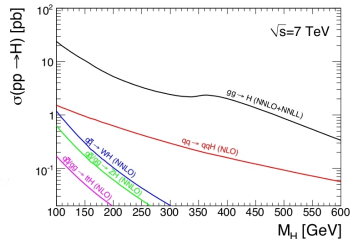
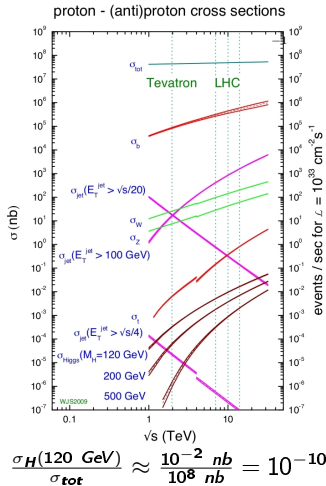
Cos'è la particella di Higgs?

- Con il termine Bosone di Higgs si identifica un'ipotetica particella scalare massiva, postulata nel 1964 da Peter Higgs per spiegare il meccanismo tramite il quale le particelle del MS acquistano una massa.
- Questo bosone è l'unica particella prevista dal MS a non essere ancora osservata.

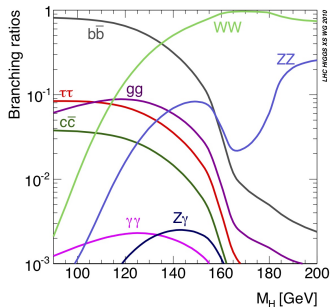
Cos'è la particella di Higgs?

- Con il termine Bosone di Higgs si identifica un'ipotetica particella scalare massiva, postulata nel 1964 da Peter Higgs per spiegare il meccanismo tramite il quale le particelle del MS acquistano una massa.
- Questo bosone è l'unica particella prevista dal MS a non essere ancora osservata.
- Un limite inferiore sperimentale alla sua massa è stato posto da LEP, pari a 114 GeV; inoltre ci si aspetta un "higgs leggero", con una massa minore di 200 GeV.

Higgs ad LHC

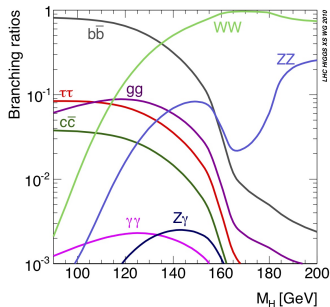


Perchè il canale $H \rightarrow \gamma\gamma$?



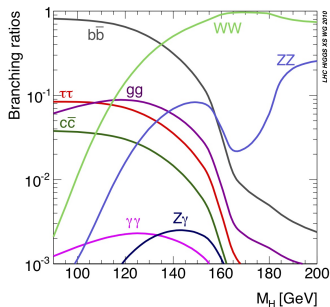
- Isolare un decadimento $H \rightarrow b\bar{b}$ o $H \rightarrow \tau\tau$ è molto complicato in un collisore adronico come LHC.

Perchè il canale $H \rightarrow \gamma\gamma$?



- Isolare un decadimento $H \rightarrow b\bar{b}$ o $H \rightarrow \tau\tau$ è molto complicato in un collisore adronico come LHC.
- A bassi valori di massa resta il decadimento in due fotoni, per il quale si ha un BR $2 \cdot 10^{-3}$ per $m_H = 120$ GeV

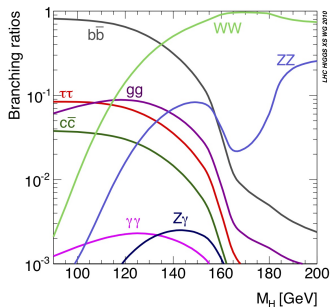
Perchè il canale $H \rightarrow \gamma\gamma$?



Segnale:

- Lo stato finale presenta una chiara segnatura sperimentale, semplice da identificare

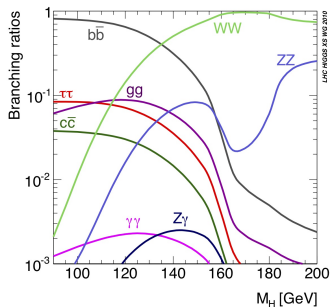
Perchè il canale $H \rightarrow \gamma\gamma$?



Segnale:

- Lo stato finale presenta una chiara segnatura sperimentale, semplice da identificare
- I dati dovrebbero presentare un bel picco nella massa invariante

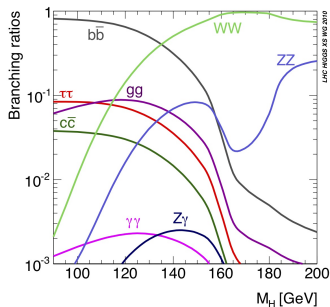
Perchè il canale $H \rightarrow \gamma\gamma$?



Segnale:

- Lo stato finale presenta una chiara segnatura sperimentale, semplice da identificare
- I dati dovrebbero presentare un bel picco nella massa invariante
- La risoluzione angolare ed in energia sono ingredienti critici

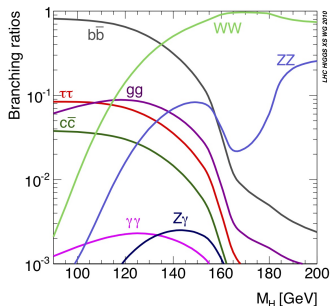
Perchè il canale $H \rightarrow \gamma\gamma$?



Segnale:

- Lo stato finale presenta una chiara segnatura sperimentale, semplice da identificare
- I dati dovrebbero presentare un bel picco nella massa invariante
- La risoluzione angolare ed in energia sono ingredienti critici

Perchè il canale $H \rightarrow \gamma\gamma$?



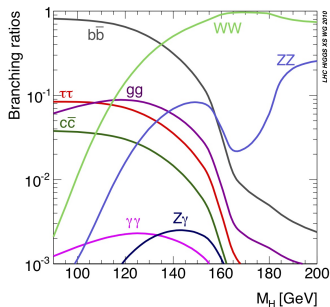
Segnale:

- Lo stato finale presenta una chiara segnatura sperimentale, semplice da identificare
- I dati dovrebbero presentare un bel picco nella massa invariante
- La risoluzione angolare ed in energia sono ingredienti critici



Serve un'ottima risoluzione in ECAL

Perchè il canale $H \rightarrow \gamma\gamma$?

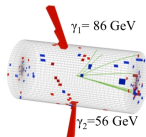
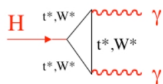


Segnale:

- Lo stato finale presenta una chiara segnatura sperimentale, semplice da identificare
- I dati dovrebbero presentare un bel picco nella massa invariante
- La risoluzione angolare ed in energia sono ingredienti critici

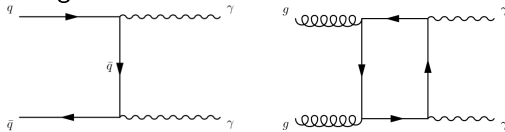


Serve un'ottima risoluzione in ECAL

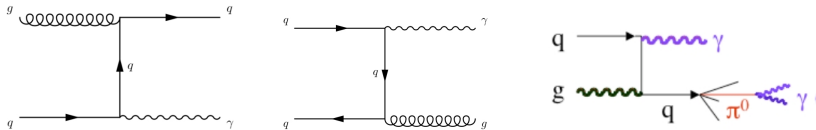


I fondi del canale $H \rightarrow \gamma\gamma$

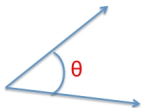
Background irriducibile:



Background riducibile:



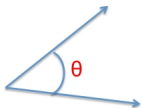
Ricostruzione del vertice



$$m^2 = 2E_1E_2(1 - \cos\theta)$$

$$\frac{\delta m}{m} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\delta E}{E} \oplus \frac{\delta\theta}{\theta}$$

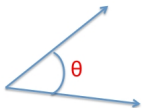
Ricostruzione del vertice



$$m^2 = 2E_1E_2(1 - \cos\theta)$$
$$\frac{\delta m}{m} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\delta E}{E} \oplus \frac{\delta\theta}{\theta}$$

Se il punto di interazione è noto con un errore inferiore ai 10 mm, la risoluzione sull'angolo di apertura risulta trascurabile rispetto all'errore sull'energia di ECAL.

Ricostruzione del vertice



$$m^2 = 2E_1E_2(1 - \cos\theta)$$

$$\frac{\delta m}{m} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\delta E}{E} \oplus \frac{\delta\theta}{\theta}$$

Se il punto di interazione è noto con un errore inferiore ai 10 mm, la risoluzione sull'angolo di apertura risulta trascurabile rispetto all'errore sull'energia di ECAL.

Per ricostruire il vertice si usano le seguenti variabili:

$$\sum p_T^2 - \sum (\vec{p}_T \cdot \frac{\vec{p}_T^{\gamma\gamma}}{|\vec{p}_T^{\gamma\gamma}|}) \quad \frac{\sum p_T - \vec{p}_T^{\gamma\gamma}}{\sum p_T + \vec{p}_T^{\gamma\gamma}}$$

dove:

\vec{p}_T è l'impulso trasverso delle tracce associate ad ogni vertice;

$\vec{p}_T^{\gamma\gamma}$ è l'impulso trasverso associato al sistema dei due fotoni.

Efficienza sulla ricostruzione del vertice

L'efficienza di ricostruzione del vertice entro 10 mm dalla sua vera posizione è stata studiata con $Z \rightarrow \mu\mu$:

- ricostruisco il vertice dell'evento

Efficienza sulla ricostruzione del vertice

L'efficienza di ricostruzione del vertice entro 10 mm dalla sua vera posizione è stata studiata con $Z \rightarrow \mu\mu$:

- ricostruisco **il** vertice dell'evento
- rimuovo le tracce dei μ dall'evento

Efficienza sulla ricostruzione del vertice

L'efficienza di ricostruzione del vertice entro 10 mm dalla sua vera posizione è stata studiata con $Z \rightarrow \mu\mu$:

- ricostruisco **il** vertice dell'evento
- rimuovo le tracce dei μ dall'evento
- utilizzo l'algoritmo per $\gamma\gamma$ per trovare il vertice

Efficienza sulla ricostruzione del vertice

L'efficienza di ricostruzione del vertice entro 10 mm dalla sua vera posizione è stata studiata con $Z \rightarrow \mu\mu$:

- ricostruisco **il** vertice dell'evento
- rimuovo le tracce dei μ dall'evento
- utilizzo l'algoritmo per $\gamma\gamma$ per trovare **il** vertice
- calcolo l' ϵ di ricostruzione in funzione di $p_T(Z)$

Efficienza sulla ricostruzione del vertice

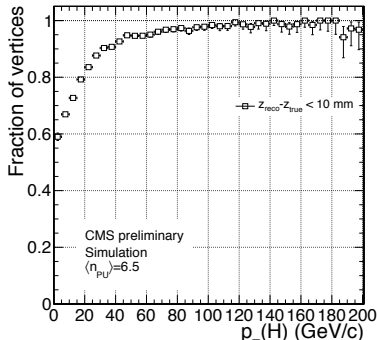
L'efficienza di ricostruzione del vertice entro 10 mm dalla sua vera posizione è stata studiata con $Z \rightarrow \mu\mu$:

- ricostruisco il vertice dell'evento
- rimuovo le tracce dei μ dall'evento
- utilizzo l'algoritmo per $\gamma\gamma$ per trovare il vertice
- calcolo l' ϵ di ricostruzione in funzione di $p_T(Z)$

L'efficienza complessiva per $m_H = 120 \text{ GeV}$, integrata su tutto il suo spettro in p_T è:

$$\epsilon_{\text{vertex}} = 83.0 \pm 0.2(\text{stat}) \pm 0.4(\text{syst})\%$$

l'errore sistematico deriva da:
 $0.2\%(Z \rightarrow \mu\mu) \oplus 0.3\%(p_T^{\text{Higgs}})$



Selezione dei fotoni

I fotoni devono avere $p_T^{\gamma\gamma}(1) > m_{\gamma\gamma}/3$ e $p_T^{\gamma\gamma}(2) > m_{\gamma\gamma}/4$ e devono ricadere entro il **volume fiduciale**, definito dai valori di $|\eta| < 2.5$ con esclusione della regione di transizione tra endcap e barrel ($1.44 < |\eta| < 1.57$), per avere l'intero contenimento dello shower.

Selezione dei fotoni

I fotoni devono avere $p_T^{\gamma\gamma}(1) > m_{\gamma\gamma}/3$ e $p_T^{\gamma\gamma}(2) > m_{\gamma\gamma}/4$ e devono ricadere entro il **volume fiduciale**, definito dai valori di $|\eta| < 2.5$ con esclusione della regione di transizione tra endcap e barrel ($1.44 < |\eta| < 1.57$), per avere l'intero contenimento dello shower.

Con l'**isolamento** si possono rigettare i fotoni contenuti nei jet, così da rigettare il background riducibile. Si sommano i momenti trasversi nel rivelatore in un cono per cui

$$\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2} = 0.3, 0.4$$

escludendo le tracce del candidato stesso.

Selezione dei fotoni

I fotoni devono avere $p_T^{\gamma\gamma}(1) > m_{\gamma\gamma}/3$ e $p_T^{\gamma\gamma}(2) > m_{\gamma\gamma}/4$ e devono ricadere entro il **volume fiduciale**, definito dai valori di $|\eta| < 2.5$ con esclusione della regione di transizione tra endcap e barrel ($1.44 < |\eta| < 1.57$), per avere l'intero contenimento dello shower.

Con l'**isolamento** si possono rigettare i fotoni contenuti nei jet, così da rigettare il background riducibile. Si sommano i momenti trasversi nel rivelatore in un cono per cui

$$\Delta R = \sqrt{\Delta\eta^2 + \Delta\phi^2} = 0.3, 0.4$$

escludendo le tracce del candidato stesso.

Il **Pile Up** complica il quadro per due motivi:

- La somma può contenere tracce di altri eventi dello stesso bunch crossing
- Se ricostruisco il vertice in modo errato, l'isolamento misurato non sarà correlato all'isolamento reale del candidato

Efficienza sulla selezione dei fotoni

Per studiare l'efficienza totale sulla selezione dei fotoni, si studiano eventi di decadimento del tipo:

$Z \rightarrow ee$ (rimuovendo il veto sugli e^-)

$Z \rightarrow \mu\mu\gamma$ (γ di FSR) per studiare ϵ dei fotoni nel superare il veto.

Category	ϵ_{data} (%)	ϵ_{MC} (%)	$\epsilon_{data}/\epsilon_{MC}$
Barrel, $R_9 > 0.94$	$89.26 \pm 0.06 \pm 0.04$	90.61 ± 0.05	0.985 ± 0.001
Barrel, $R_9 < 0.94$	$68.31 \pm 0.06 \pm 0.55$	68.16 ± 0.05	1.002 ± 0.008
Endcap, $R_9 > 0.94$	$73.65 \pm 0.14 \pm 0.39$	73.45 ± 0.12	1.002 ± 0.006
Endcap, $R_9 < 0.94$	$51.25 \pm 0.11 \pm 1.25$	48.70 ± 0.08	1.052 ± 0.026

Le incertezze sui rapporti $\epsilon_{data}/\epsilon_{MC}$
 sono utilizzate come errori sistematici nel porre dei limiti.

Per studiare il decadimento $H \rightarrow \gamma\gamma$, si sono divisi gli eventi selezionati in 5 classi, in base a dove vengono rivelati i fotoni, in base alla forma dello shower e ad un dijet tag.

Per studiare il decadimento $H \rightarrow \gamma\gamma$, si sono divisi gli eventi selezionati in 5 classi, in base a dove vengono rivelati i fotoni, in base alla forma dello shower e ad un dijet tag.

Se un fotone convertito arriva ai cristalli e fa lo shower, la sua forma sarà più larga lungo ϕ rispetto ad un fotone non convertito; invece lungo η la sua forma sarà sempre la stessa.

$$R_9 = \frac{E_{3 \times 3}}{E_{5 \times \phi}}$$

Per studiare il decadimento $H \rightarrow \gamma\gamma$, si sono divisi gli eventi selezionati in 5 classi, in base a dove vengono rivelati i fotoni, in base alla forma dello shower e ad un dijet tag.

Se un fotone convertito arriva ai cristalli e fa lo shower, la sua forma sarà più larga lungo ϕ rispetto ad un fotone non convertito; invece lungo η la sua forma sarà sempre la stessa.

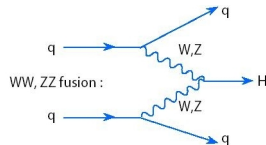
$$R_9 = \frac{E_{3 \times 3}}{E_{5 \times \phi}}$$

Le 5 classi che si ottengono sono:

- Entrambi i fotoni nel barrel, $R_9^{min} > 0.94$
- Entrambi i fotoni nel barrel, $R_9^{min} < 0.94$
- Uno od entrambi i fotoni nell'endcap, $R_9^{min} > 0.94$
- Uno od entrambi i fotoni nell'endcap, $R_9^{min} < 0.94$
- Eventi che passano un dijet tag, per un Higgs prodotto per VBF

Vector Boson Fusion

- É importante per Higgs "pesanti"
- Presenta una segnatura cinematica distintiva: si ha una grande separazione tra i jet
⇒ facile da identificare
- Questa classe presenta un S/B elevato, di un ordine di grandezza superiore rispetto alle altre 4 classi. Con questa nuova classe la sensibilità dell'analisi è migliorata del 10%



Coupling

É utile per misurare gli accoppiamenti dell'Higgs con quark e W/Z
⇒ posso vedere se è un SM Higgs oppure no (!)

Vector Boson Fusion

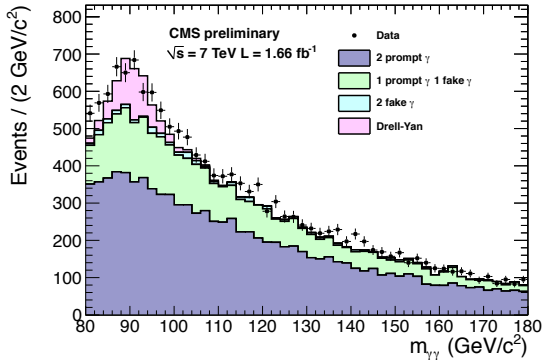
I criteri di selezione sono gli stessi delle altre classi, con l'aggiunta di:

- p_T di soglia: $p_T^\gamma(1) > 55x m_{\gamma\gamma}/120 \text{ GeV}$ e $p_T^\gamma(2) > 25 \text{ GeV}$
- $E_T^{jet}(1) > 30 \text{ GeV}$ e $E_T^{jet}(2) > 20 \text{ GeV}$
- separazione tra i jet di $\eta > 3.5$
- massa invariante dei jet $> 350 \text{ GeV}$

	Both photons in barrel		One or both in endcap		Dijet tag
	$R_9^{\min} > 0.94$	$R_9^{\min} < 0.94$	$R_9^{\min} > 0.94$	$R_9^{\min} < 0.94$	
SM signal expected	25.2 (33.5%)	26.6 (35.3%)	9.5 (12.6%)	11.4 (14.9%)	2.8 (3.7%)
Data (events/GeV)	97.5 (22.8%)	143.4 (33.6%)	76.7 (17.9%)	107.4 (25.1%)	2.3 (0.5%)
σ_{eff} (GeV)	1.39	1.84	2.76	3.19	1.71
FWHM/2.35 (GeV)	1.19	1.53	2.81	3.18	1.37

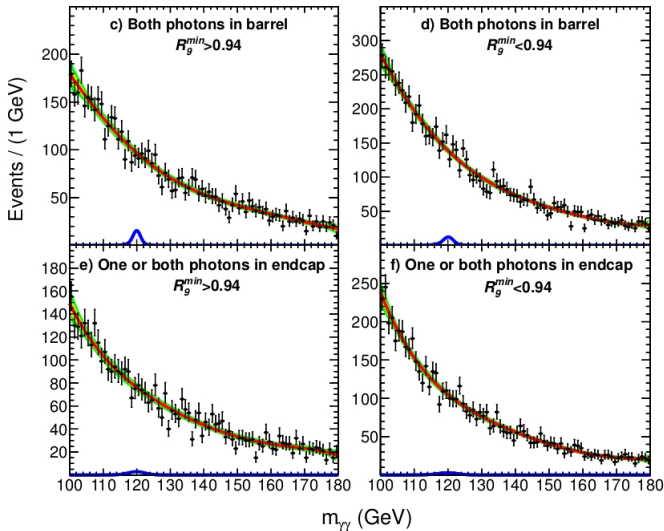
La tabella mostra il numero di eventi in ogni classe per un Higgs SM ($m_H = 120 \text{ GeV}$) e per i dati a 120 GeV . Il valore per i dati è espresso come *eventi/GeV* è ottenuto dividendo per 20 GeV il numero di eventi in un bin di $\pm 10 \text{ GeV}$, centrato a 120 GeV .

σ_{eff} è la FWHM nella finestra più stretta contenente il 68.3 % della distribuzione.

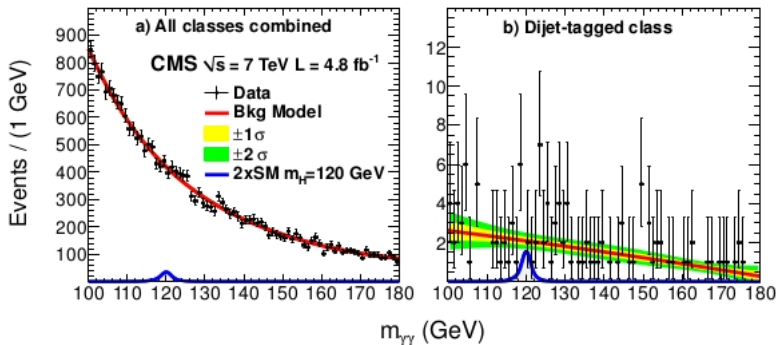


Distribuzione in massa del sistema dei due fotoni per i dati e MC.

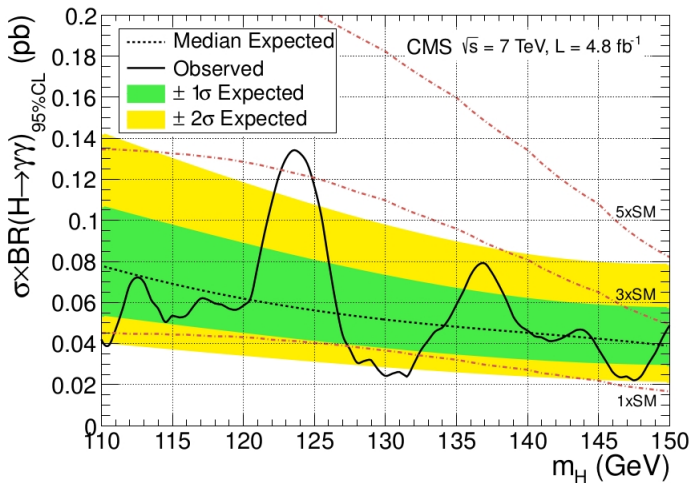
Sources of systematic uncertainty		Uncertainty	
Per photon		Barrel	Endcap
Photon identification efficiency		1.0%	2.6%
$R_9 > 0.94$ classification (class migration)		4.0%	6.5%
Energy resolution ($\Delta\sigma/E_{MC}$)	$R_9 > 0.94$ (low η , high η)	0.22%, 0.61%	0.91%, 0.34%
	$R_9 < 0.94$ (low η , high η)	0.24%, 0.59%	0.30%, 0.53%
Energy scale ($(E_{data} - E_{MC})/E_{MC}$)	$R_9 > 0.94$ (low η , high η)	0.19%, 0.71%	0.88%, 0.19%
	$R_9 < 0.94$ (low η , high η)	0.13%, 0.51%	0.18%, 0.28%
Per event			
Integrated luminosity		4.5%	
Vertex finding efficiency		0.4%	
Trigger efficiency	One or both photons $R_9 < 0.94$ in endcap	0.4%	
	Other events	0.1%	
Dijet selection			
Dijet-tagging efficiency	VBF process	10%	
	Gluon-gluon fusion process	70%	
Production cross sections		Scale	PDF
Gluon-gluon fusion		+12.5% -8.2%	+7.9% -7.7%
Vector boson fusion		+0.5% -0.3%	+2.7% -2.1%
Associated production with W/Z		1.8%	4.2%
Associated production with $t\bar{t}$		+3.6% -9.5%	8.5%

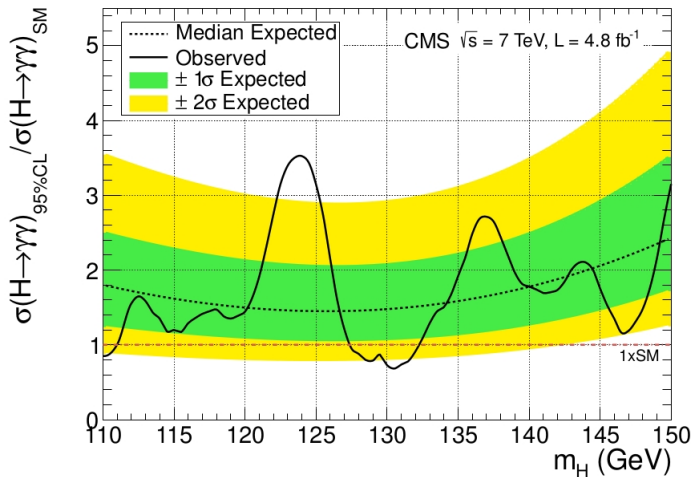


Il segnale è stato calcolato per un valore di $m_H = 120$ GeV, ed è pari a 2 volte la sezione d'urto del SM.



I risultati sono stati combinati insieme per calcolare il CL dell'esclusione utilizzando il metodo CL_S .



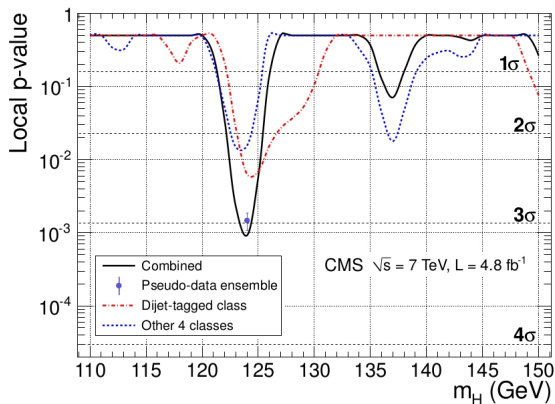


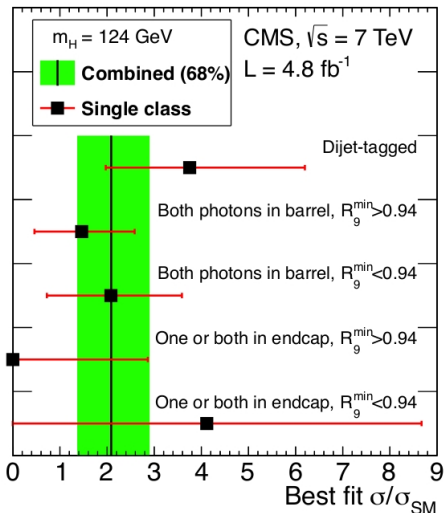
Si è escluso un bosone di Higgs con m_H compresa tra 128 e 132 GeV @ 95% CL.

Il p -value locale quantifica la probabilità che il fondo flutti per riprodurre un risultato almeno simile a quello osservato.

p -value @ $m_H = 124 \text{ GeV}$ è pari a $9.2 \cdot 10^{-4}$, ovvero pari a 3.1σ .

Tenendo in conto anche il *look-elsewhere effect* questo si riduce a 1.8σ





Il best fit al segnale, espresso in termini di sezione d'urto dell'Higgs, per le 5 classi, nell'ipotesi della massa di un Higgs SM pari a 124 GeV.

Conclusioni

- Si sono utilizzati i dati prodotti ad LHC con $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ corrispondenti ad una luminosità integrata pari a 4.8 fb^{-1}
- Si sono divisi gli eventi selezionati in 5 classi in accordo con la risoluzione in massa ottenibile ed il rapporto S/B
- Con questi dati si è riusciti ad escludere solo l'ipotesi $128 < m_H < 132 \text{ GeV}$ @ 95 % CL.
- Si è osservato un eccesso di eventi sopra l'ipotesi di solo fondo a 124 GeV con una significatività statistica di 3.1σ , che si riduce a 1.8σ tenendo in conto il *look-elsewhere effect* nel range 110 – 150 GeV

Conclusioni

- Si sono utilizzati i dati prodotti ad LHC con $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ corrispondenti ad una luminosità integrata pari a 4.8 fb^{-1}
- Si sono divisi gli eventi selezionati in 5 classi in accordo con la risoluzione in massa ottenibile ed il rapporto S/B
- Con questi dati si è riusciti ad escludere solo l'ipotesi $128 < m_H < 132 \text{ GeV}$ @ 95 % CL.
- Si è osservato un eccesso di eventi sopra l'ipotesi di solo fondo a 124 GeV con una significatività statistica di 3.1σ , che si riduce a 1.8σ tenendo in conto il *look-elsewhere effect* nel range 110 – 150 GeV



Si richiede un maggior numero di dati per accertare l'origine di questo eccesso.

*GRAZIE PER
L'ATTENZIONE*