

Proprietà di spin-CP del candidato bosone di Higgs
nel canale $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$ nell'esperimento ATLAS

Università degli Studi di Napoli “Federico II” & INFN

N. Bruscano, F. Ciotto, F. Conventi, C. Dionisi, S. Giagu, G. Gustavino,
V. Ippolito, C. Maiani, M. Rescigno, E. Rossi + ANL/UC Chicago

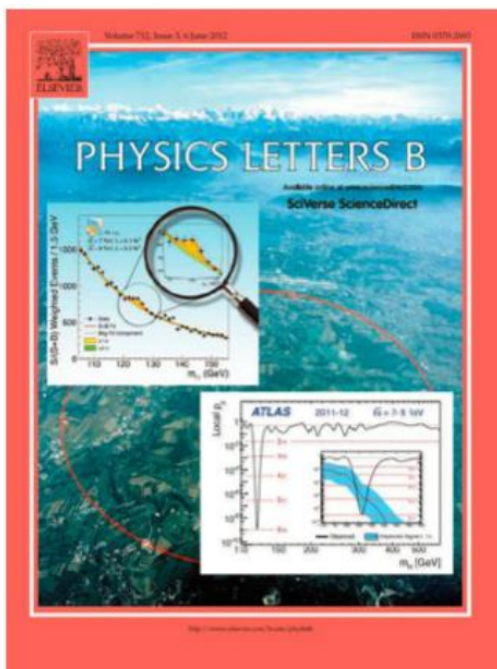


13 Settembre, 2013

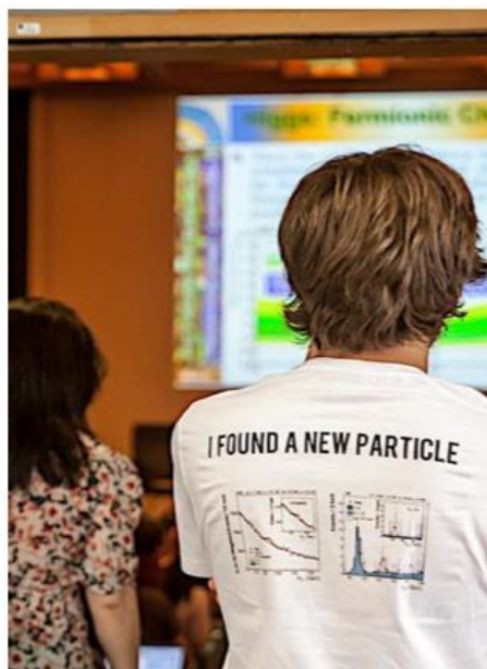


Il bosone di Higgs

Scoperta – 04/07/2012



Phys. Lett. B 716 (2012) 1-29 (ATLAS)

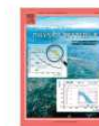


Phys. Lett. B 716 (2012) 30-61 (CMS)



Physics Letters B

Volume 716, Issue 1, 17 September 2012, Pages 1-29



Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC [☆]

Universally Available

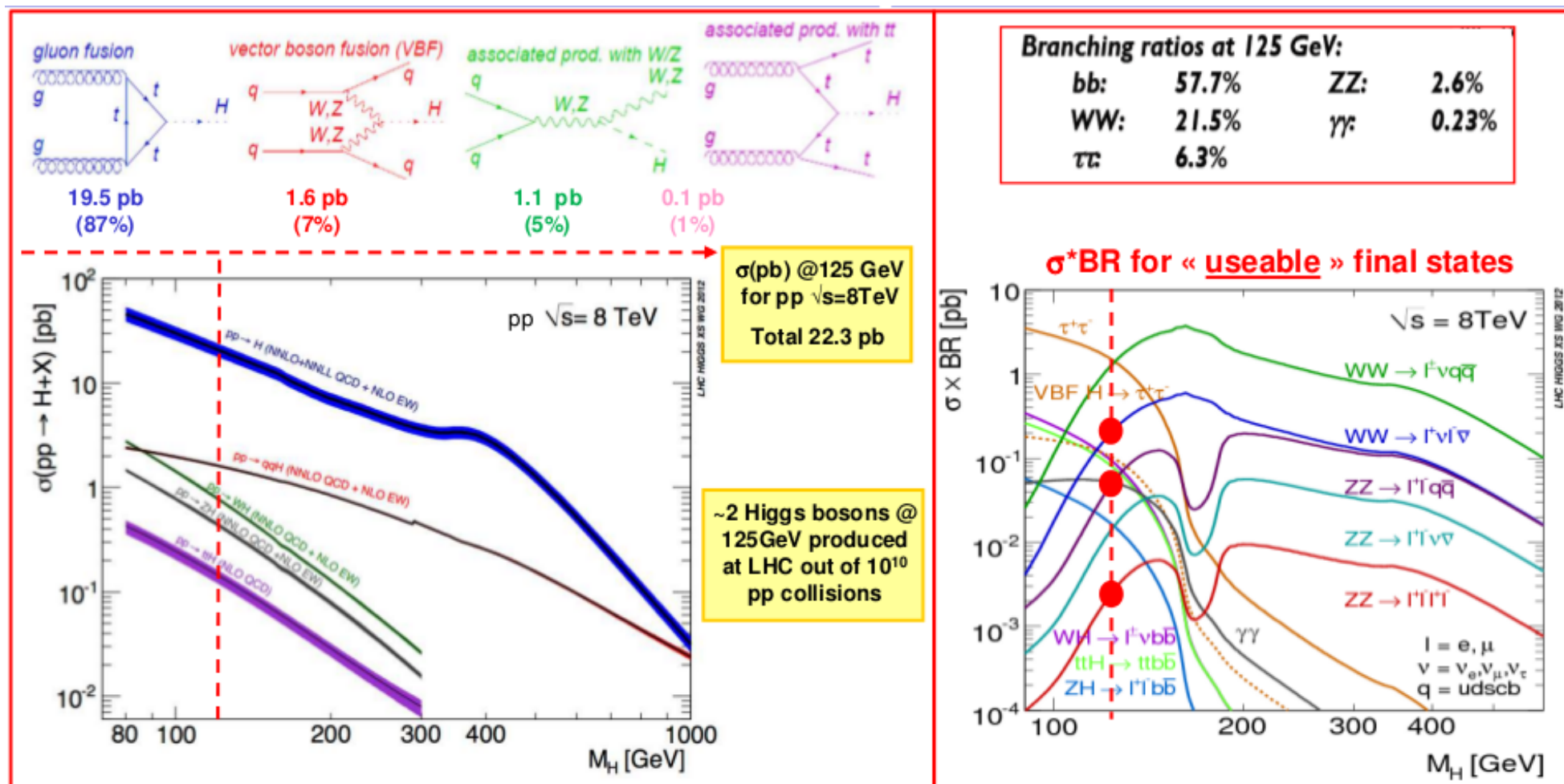
This paper is dedicated to the memory of our ATLAS colleagues who did not live to see the full impact and significance of their contributions to the experiment.

ATLAS Collaboration ^{*}



Il bosone di Higgs

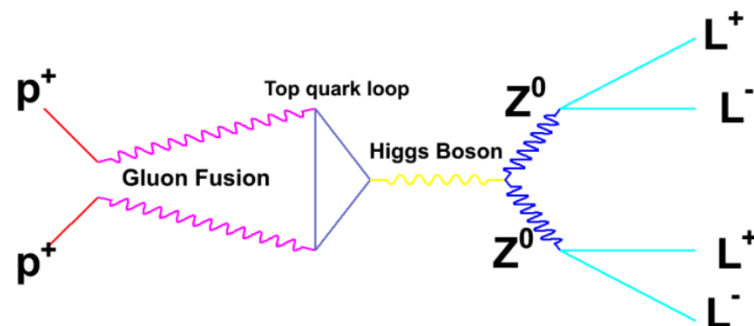
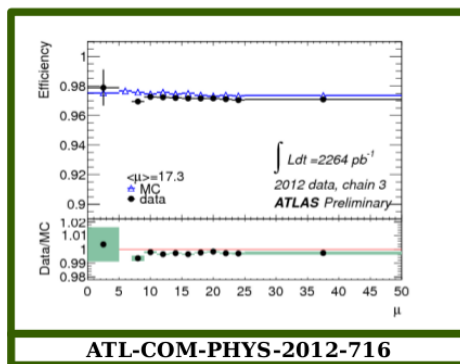
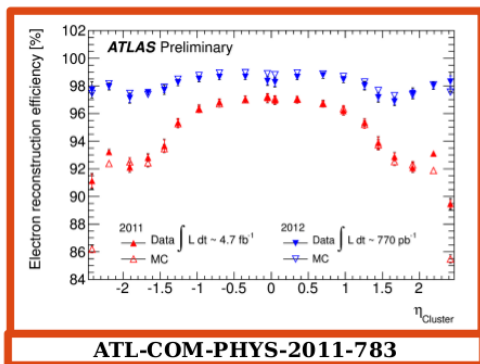
Produzione e decadimento in LHC





$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: golden channel

- ★ Miglior rapporto S/B (1.4)
- ★ Tracce facilmente ricostruite
- ★ Massa completamente ricostruita
- ★ $\sigma \cdot \text{BR}$ molto bassa
- ★ Richiede eccellenti performance di ricostruzione di **elettroni** e **muoni**

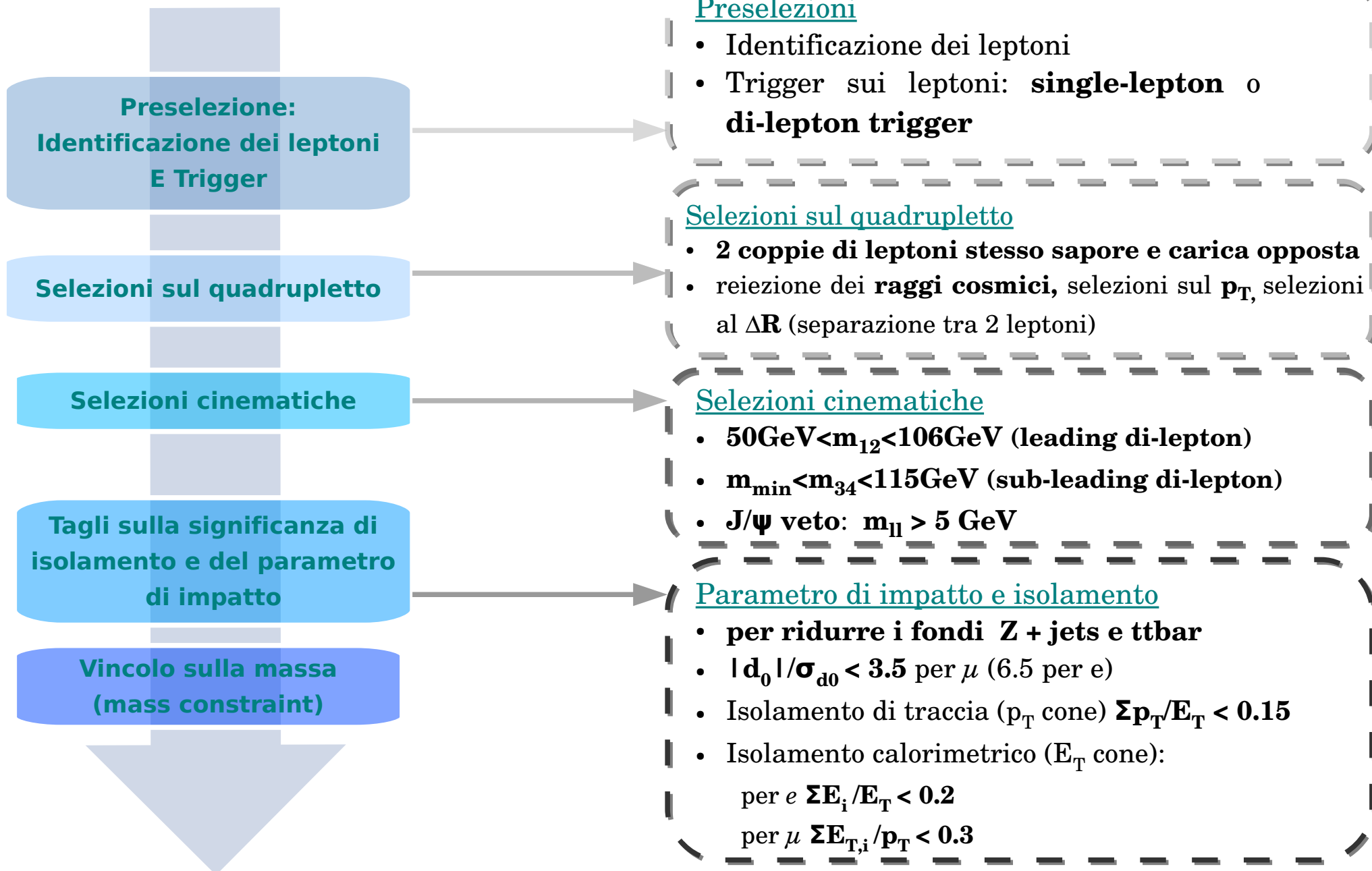


Stima del Fondo

- × Irriducibile: dovuto alla produzione ZZ^* , viene stimato dalle simulazioni MC normalizzate alla sezione d'urto teorica. Attesi 7.4 ± 0.4 eventi con i dati raccolti (a $\sim 25 \text{ fb}^{-1}$)
- × Riducibile: Z +jet, $t\bar{t}$, valutato con metodi data-driven. Attesi 3.74 ± 0.93 eventi con i dati raccolti (a $\sim 25 \text{ fb}^{-1}$)



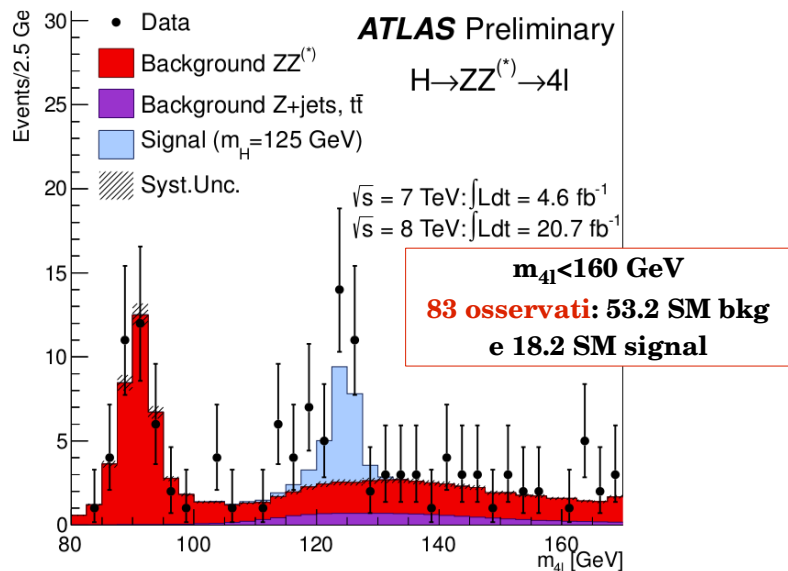
$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: Selezione degli eventi



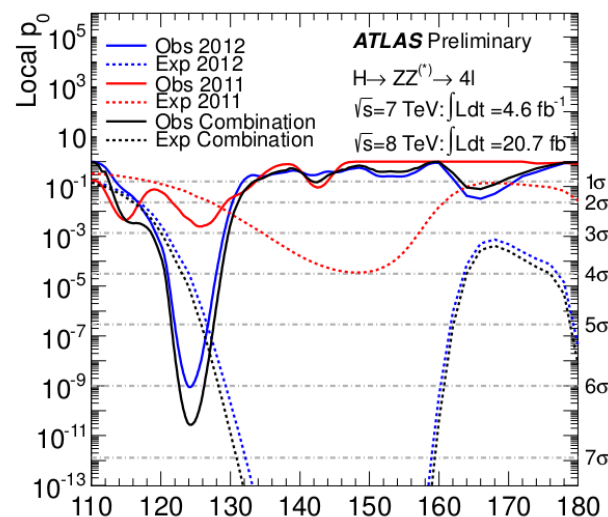


$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: Risultati

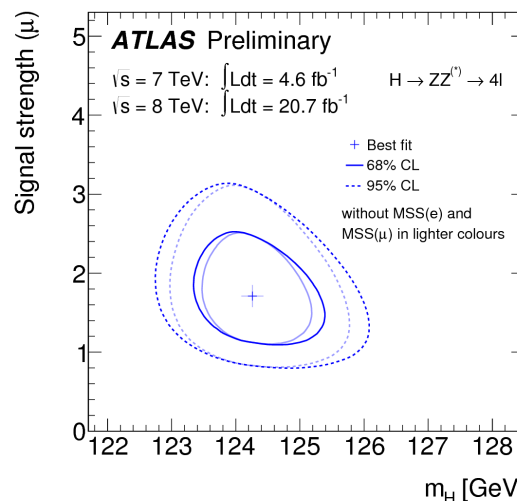
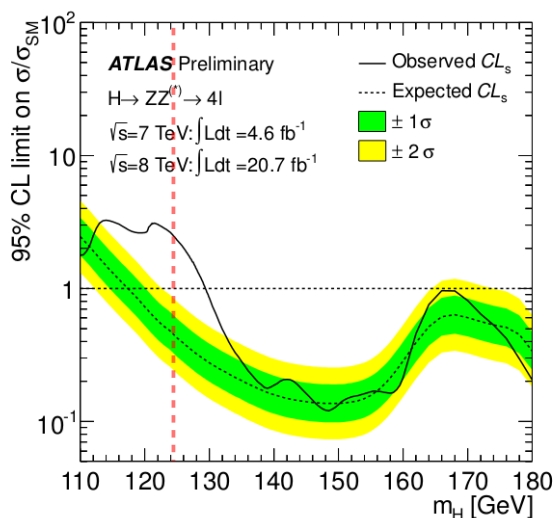
32 eventi osservati con 11.1 ± 1.0 (bkg) e 15.9 ± 2.1 (segnale) previsti nel range 125 ± 5 GeV



$$m_H = 124.3^{+0.6}_{-0.5} (\text{stat})^{+0.5}_{-0.3} (\text{syst}) \text{ GeV}$$



La significanza osservata è di 6.6σ



$$\mu = 1.7^{+0.5}_{-0.4}$$



Proprietà del bosone di Higgs

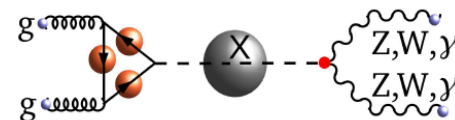
Passo successivo alla scoperta (04/07/2012) del candidato bosone di Higgs è la determinazione delle sue proprietà (spin-parità, accoppiamenti, massa, ...) per capire se si tratti di quello previsto dal Modello Standard.

Possibili stati di spin-parità (J^{PC}) del bosone di Higgs

✓ decade in $\gamma\gamma$, ZZ , $W^+W^- \Rightarrow$ **spin intero** ($J=0,1,2,\dots$)

✓ decade in $\gamma\gamma \Rightarrow$ ~~$J=1$~~ (teorema di Landau-Yang)

$\Rightarrow$ **$C=+$**



Il bosone Higgs Modello Standard deve essere nello stato
spin-parità $J^P = 0^+$

Le ipotesi alternative da verificare sono:

$0^-, 2^+(gg), 2^-(gg), 2^+(gg), 2^-(gg) + \text{miscele}$

$1^+, 1^-$ testati per completezza



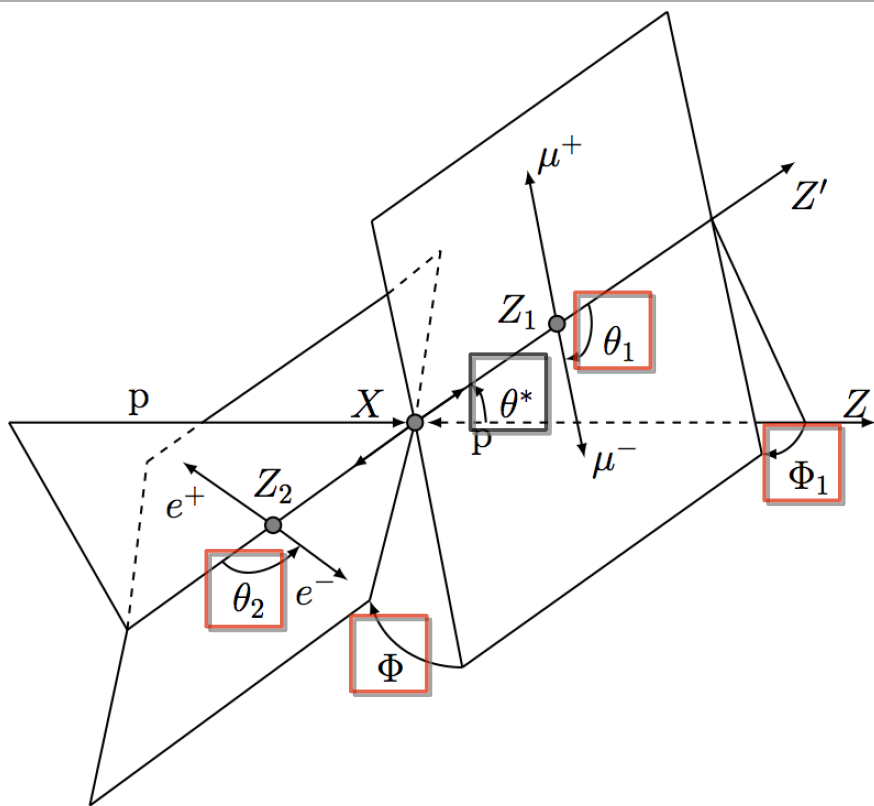
$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: idea della misura

Il canale $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$ permette una completa ricostruzione dello stato finale dando accesso a informazioni sulla polarizzazione della risonanza e dei bosoni Z .

Ogni ipotesi di spin-parità (J^{PC}) ha una sua peculiare cinematica



ricostruzione delle distribuzioni angolari per risalire alle informazioni sullo spin/parità



Osservabili sensibili:

- ✓ m_1 : massa invariante della Z on-shell (Z_1);
- ✓ m_2 : massa invariante della Z off-shell (Z_2);
- ✓ θ^* : angolo tra Z_1 e l'asse dei fasci, nel sistema di riferimento di X ;
- ✓ φ, φ_1 : angoli azimutali tra i piani X, Z_1 e Z_2 , nel sistema di riferimento di X ;
- ✓ $\theta_1(\theta_2)$: angolo tra il leptone e la direzione di volo della Z_1 (Z_2), nel sistema a riposo della rispettiva Z .

Ref: articolo di Gao



$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: ampiezza di decadimento

La forma più generale dell'ampiezza di una risonanza con spin 0 che decade in due bosoni $X \rightarrow VV$ è:

$$A(H_{J=0} \rightarrow V_1 V_2) = v^{-1} \epsilon_1^{*\mu} \epsilon_2^{*\nu} \left(a_1 g_{\mu\nu} M_X^2 + a_2 q_\mu q_\nu + a_3 \epsilon_{\mu\nu\alpha\beta} q_1^\alpha q_2^\beta \right)$$

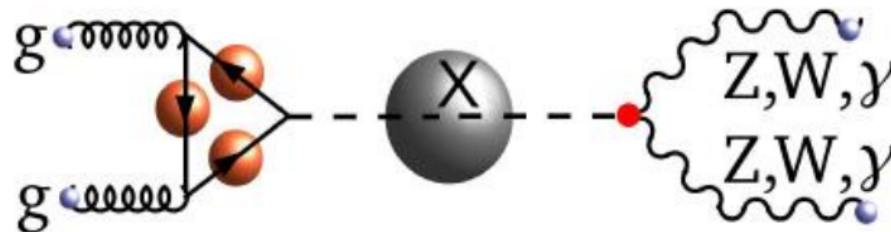
con a_i coefficienti di accoppiamento.

Possibili scenari

- ❑ $a_1 \neq 0, a_2 \neq 0, a_3 = 0$
- ❑ $a_1 = 0, a_2 = 0, a_3 \neq 0$
- ❑ $a_1 \text{ o } a_2 \neq 0, a_3 \neq 0$



- ❑ **Higgs 0^+**
- ❑ **Higgs 0^-**
- ❑ **Violazione di CP**





$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: ampiezza di decadimento

$$A(H_{J=0} \rightarrow V_1 V_2) = v^{-1} \epsilon_1^{*\mu} \epsilon_2^{*\nu} \left(a_1 g_{\mu\nu} M_X^2 + a_2 q_\mu q_\nu + a_3 \epsilon_{\mu\nu\alpha\beta} q_1^\alpha q_2^\beta \right)$$

L'ampiezza può essere scritta in termini di ampiezza di elicità...

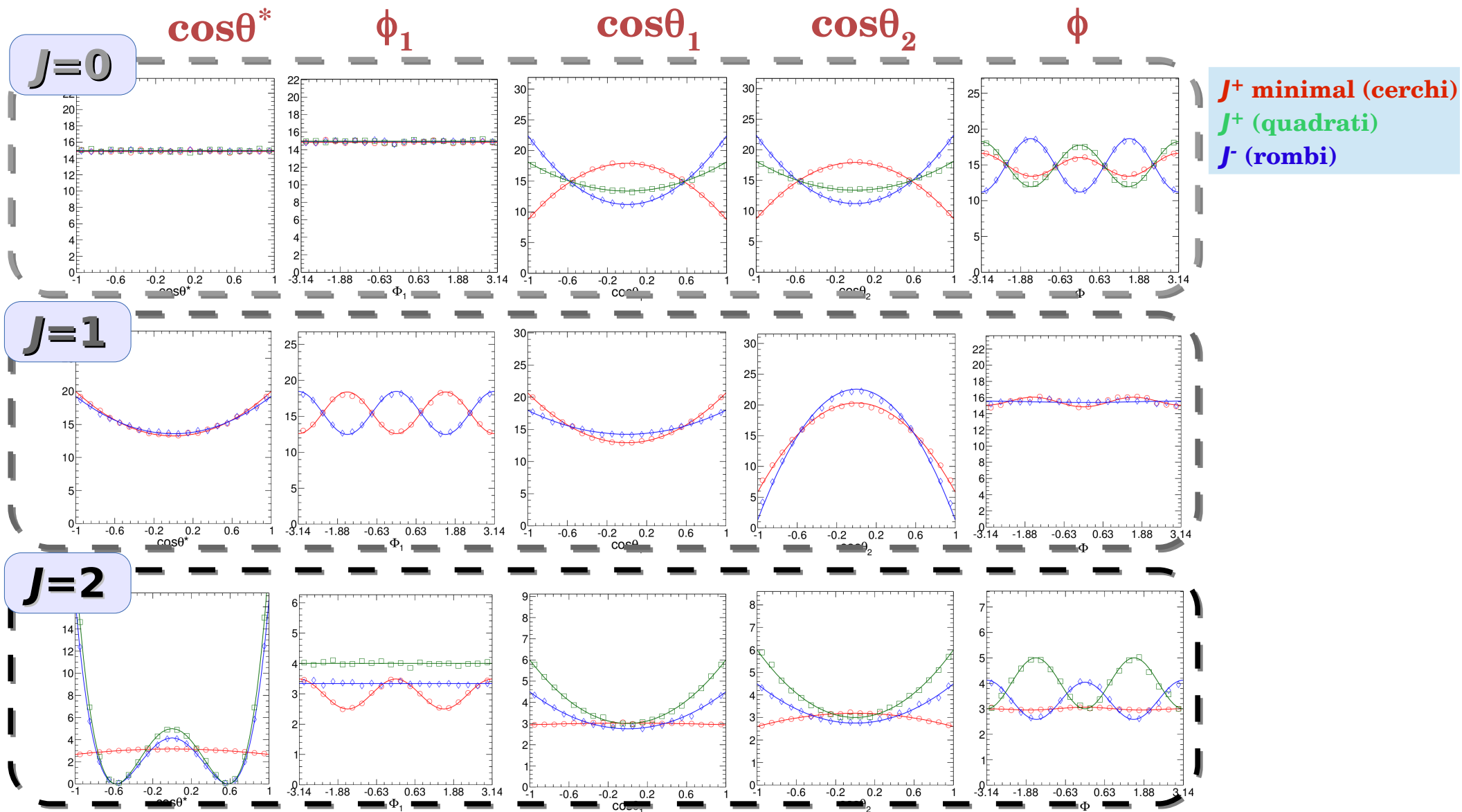
$F_{00}^J(\theta^*) \times \left\{ 4 f_{00} \sin^2 \theta_1 \sin^2 \theta_2 + (f_{++} + f_{--}) \left((1 + \cos^2 \theta_1)(1 + \cos^2 \theta_2) + 4 R_1 R_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 \right) \right. \\ - 2 (f_{++} - f_{--}) (R_1 \cos \theta_1 (1 + \cos^2 \theta_2) + R_2 (1 + \cos^2 \theta_1) \cos \theta_2) \\ + 4 \sqrt{f_{++} f_{00}} (R_1 - \cos \theta_1) \sin \theta_1 (R_2 - \cos \theta_2) \sin \theta_2 \cos(\Phi + \phi_{++}) \\ + 4 \sqrt{f_{--} f_{00}} (R_1 + \cos \theta_1) \sin \theta_1 (R_2 + \cos \theta_2) \sin \theta_2 \cos(\Phi - \phi_{--}) \\ \left. + 2 \sqrt{f_{++} f_{--}} \sin^2 \theta_1 \sin^2 \theta_2 \cos(2\Phi + \phi_{++} - \phi_{--}) \right\}$	$J_z = 0$
$+ 4 F_{11}^J(\theta^*) \times \left\{ (f_{+0} + f_{0-}) (1 - \cos^2 \theta_1 \cos^2 \theta_2) - (f_{+0} - f_{0-}) (R_1 \cos \theta_1 \sin^2 \theta_2 + R_2 \sin^2 \theta_1 \cos \theta_2) \right. \\ + 2 \sqrt{f_{+0} f_{0-}} \sin \theta_1 \sin \theta_2 (R_1 R_2 - \cos \theta_1 \cos \theta_2) \cos(\Phi + \phi_{+0} - \phi_{0-}) \left. \right\} \\ + (-1)^J \times 4 F_{-11}^J(\theta^*) \times \left\{ (f_{+0} + f_{0-}) (R_1 R_2 + \cos \theta_1 \cos \theta_2) - (f_{+0} - f_{0-}) (R_1 \cos \theta_2 + R_2 \cos \theta_1) \right. \\ + 2 \sqrt{f_{+0} f_{0-}} \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos(\Phi + \phi_{+0} - \phi_{0-}) \left. \right\} \sin \theta_1 \sin \theta_2 \cos(2\Psi)$	$J_z = \pm 1$
$+ 2 F_{22}^J(\theta^*) \times f_{+-} \left\{ (1 + \cos^2 \theta_1)(1 + \cos^2 \theta_2) - 4 R_1 R_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 \right\} \\ + (-1)^J \times 2 F_{-22}^J(\theta^*) \times f_{+-} \sin^2 \theta_1 \sin^2 \theta_2 \cos(4\Psi)$	$J_z = \pm 2$
+ interference terms	

arXiv:1208.4018

... e vengono usate per descrivere la cinematica dell'evento.



$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: osservabili sensibili



<http://arxiv.org/abs/1208.4018>



$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: misura di spin-parità (I)

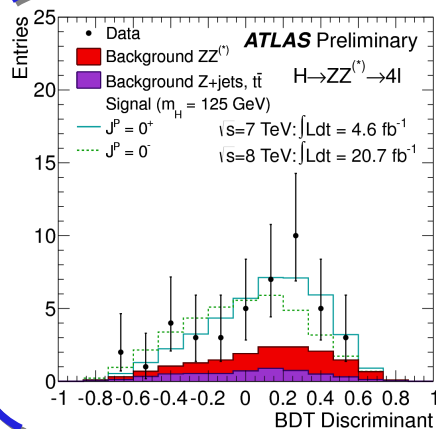
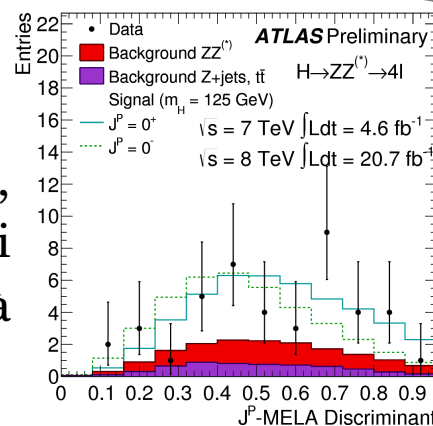
Approccio: costruire un discriminante che sfrutti gli osservabili sensibili al fine di distinguere differenti casi di spin tra loro (le ipotesi J^P vengono testate a coppie). ATLAS-CONF-2013-013

Due tecniche indipendenti di analisi multivariata usate per l'analisi:

J^P -MELA

Basato sul calcolo teorico dell'Elemento Matriciale

- ✓ tenendo conto degli effetti in accettazione del rivelatore, selezione dell'analisi e mispairing ($4e, 4\mu$), ad ogni evento viene assegnata una probabilità $P_{JP}(m_1, m_2, \cos\theta^*, \varphi_1, \varphi, \cos\theta_1, \cos\theta_2)$ per una data ipotesi di J^P



Boosted Decision Tree (BDT)

Allenato per ogni ipotesi di spin con simulazioni MC del segnale

- ✓ usa 5 variabili per discriminate $0+$ da $0-$
- ✓ Per gli altri confronti usa i 7 osservabili sensibili



$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: misura di spin-parità (II)

Specifiche dell'analisi

- Usa la stessa selezione degli eventi e le stesse stime del fondo **dell'analisi principale**
- Intervallo $115 \text{ GeV} < m_{4\ell} < 130 \text{ GeV}$ (**43 eventi osservati**)
- MC per stati di spin $0^+, 0^-, 1^+, 1^-, 2^+, 2^-$, con il generatore JHU
- Produzione stati:
 - ggF, qq,
 - 5 misture gg/qq, fqq $\in \{0\%, 25\%, 50\%, 75\%, 100\%\}$
- 2 regioni in massa: $\Rightarrow$ +5% di sensibilità
alto S/B: [121-127] GeV
basso S/B: [115-121 & 127-130] GeV

Incertezze sistematiche

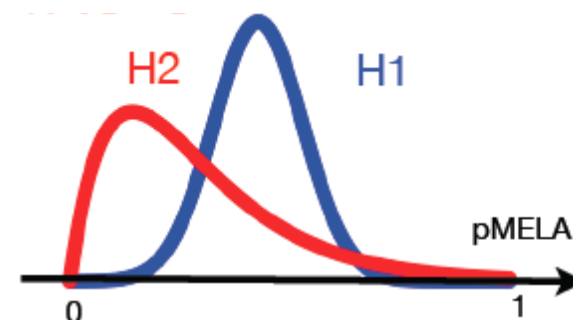
- × Sorgenti di sistematiche dovute all'identificazione dei leptoni, stima della normalizzazione (N) e distribuzione del fondo;
- × 1%: N nell'intervallo alto S/B dovuto al p_T -reweighting della generazione JHU;
- × 10%: migrazione degli eventi tra i 2 intervalli di massa dovuta all'electron energy scale e alla risoluzione;
- × 10%: migrazione dovuta a possibili variazioni della massa, assunta 125 GeV



J^P -MELA

- Si definisce il discriminante J^P -MELA come:

$$J^P - MELA(\vec{x}) = \frac{P(H_1, \vec{x})}{P(H_1, \vec{x}) + P(H_2, \vec{x})}$$



dove $P(H_i, \mathbf{x})$ è la probabilità di ottenere un evento di tipo H_i , dato il vettore di osservabili $\mathbf{x}$, che definisce la cinematica completa dell'evento.

- Il test statistico utilizzato è il log-likelihood ratio delle likelihood $\log[L(H_2)/L(H_1)]$, con $L = \prod_{ij} \text{Pois}(N_{\text{data}}^{ij} | \mathcal{P}^{ij})$ e

$$\mathcal{P}^{ij} = \mu^{\text{signal}} \mathcal{L} f_i^{\text{signal}} N_{\text{signal}} \left[\varepsilon \cdot \text{PDF}_{\text{signal } 1}^{ij} + (1 - \varepsilon) \cdot \text{PDF}_{\text{signal } 2}^{ij} \right] + \sum_{\text{backgrounds } (k)} f_i^{\text{background } k} N_{\text{background } k} \text{PDF}_{\text{background } k}^{ij},$$

dove $\varepsilon=0$ corrisponde all'ipotesi nulla H_1 ed $\varepsilon=1$ a quella alternativa H_2 . i e j corrispondono all' i -simo S/B bin (in $m_{4\ell}$), e al j -simo bin del discriminante J^P -MELA.



- PDF_{signal n} è la distribuzione 8D in una data ipotesi di spin n , definita come:

$$PDF_S(m_{4\ell}, m_{Z_1}, m_{Z_2}, \vec{\Omega} | g_1, \dots, g_{10}, f_{z_0}, \dots, f_{z_2}) = f_{RP} PDF_{RP}(m_{4\ell}, m_{Z_1}, m_{Z_2}, \vec{\Omega} | g_1, \dots, g_{10}, f_{z_0}, \dots, f_{z_2}) \cdot Acc_{RP}(\vec{\Omega}) + (1 - f_{RP}) PDF_{WP}(m_{4\ell}, m_{Z_1}, m_{Z_2}, \vec{\Omega})$$

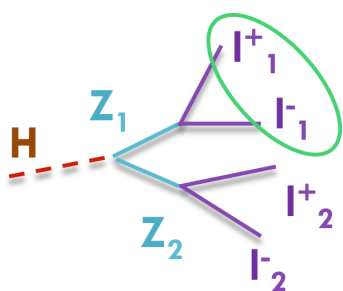
$$PDF_{RP}(m_{4\ell}, m_{Z_1}, m_{Z_2}, \vec{\Omega} | g_1, \dots, g_{10}, f_{z_0}, \dots, f_{z_2}) = PDF(m_{4\ell}) PDF_{RP}(m_{Z_1}, m_{Z_2}, \vec{\Omega} | g_1, \dots, g_{10}, f_{z_0}, \dots, f_{z_2})$$

GP

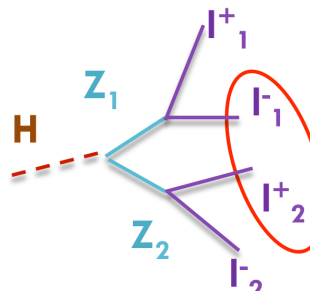
$$PDF_{WP}(m_{4\ell}, m_{Z_1}, m_{Z_2}, \vec{\Omega}) = PDF(m_{4\ell}) PDF_{WP}(m_{Z_1}, m_{Z_2}) PDF_{WP}(\vec{\Omega})$$

WP

correzione di accettazione che tiene conto dell'effetto della risoluzione del rivelatore



Candidati good-paired (GP): le due coppie di leptoni vengono correttamente associate alle rispettive Z.



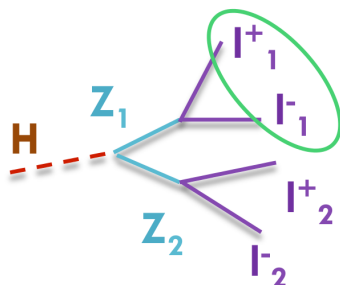
Candidati wrong-paired (WP): le coppie di leptoni (4μ , $4e$) non sono accoppiate correttamente.

Una serie di pseudo-esperimenti vengono generati per costruire la le distribuzioni del discriminante nelle due ipotesi di spin.

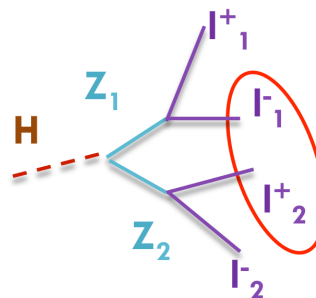


J^P -MELA: il mis-pairing

Candidato good-paired (GP)



Candidato wrong-paired (WP)



Frazione di eventi WP

Sample	fraction of mis-paired candidates	
channel	4μ	$4e$
Powheg ggH125	9.4 ± 0.4	11.0 ± 0.7
JHU ggH125 0p	9.2 ± 0.5	10.9 ± 0.7
JHU ggH125 0m	13.5 ± 0.6	13.9 ± 0.8
JHU qqH125 1p	3.5 ± 0.3	4.1 ± 0.5
JHU qqH125 1m	6.8 ± 0.3	6.9 ± 0.5
JHU ggH125 2p	6.3 ± 0.4	6.5 ± 0.5
JHU qqH125 2p	6.0 ± 0.4	6.5 ± 0.6
JHU ggH125 2m	16.7 ± 0.6	15.9 ± 0.8
JHU qqH125 2m	13.2 ± 0.7	16.8 ± 1.3
Powheg ZZ	17.8 ± 0.3	16.4 ± 0.4

- f_{RP} rappresenta la frazione di candidati right-paired (RP), calcolata utilizzando le simulazioni MC.
- La frazione di candidati RP non dipende dallo spin.



J^P -MELA: Accettanze GP

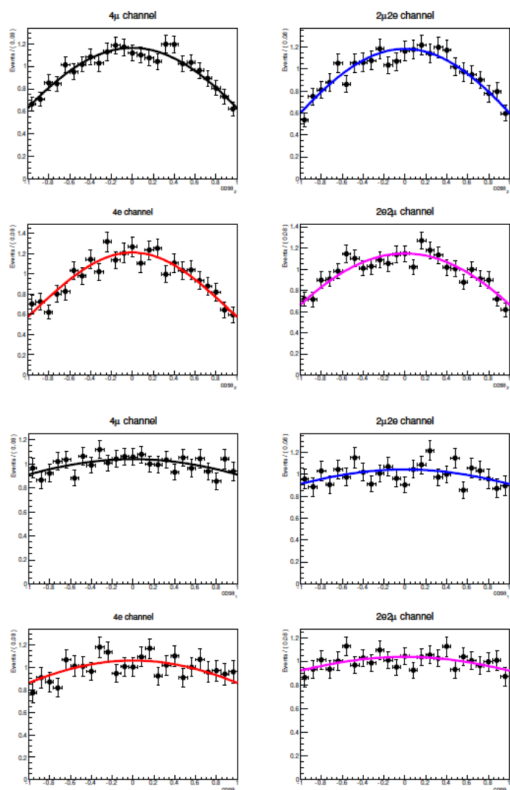
Nuova definizione di accettazione per gli eventi GP

$$Acc_{GP} = \frac{GP\ MC\ reco\ events}{GP\ MC\ truth\ events}$$

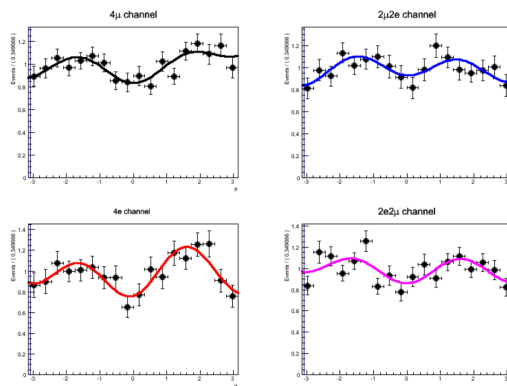


$$Acc_{GP} = \frac{GP\ MC\ reco\ events}{GP\ pdf\ events}$$

Il nuovo approccio porta ad un miglioramento nell'accordo tra la PDF MELA e le distribuzioni MC.



- Utilizzo di **metà della statistica** della simulazione MC **per evitare bias**
- Si assume che le variabili angolari non siano correlate
- Viene effettuato un fit sugli istogrammi con delle funzioni empiriche



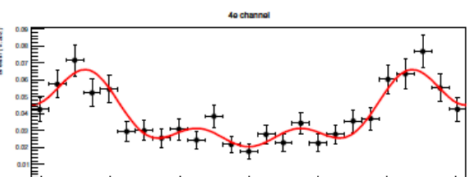
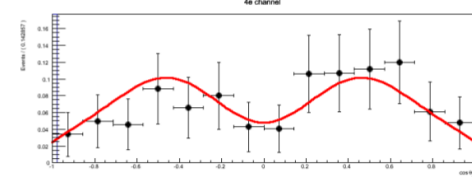
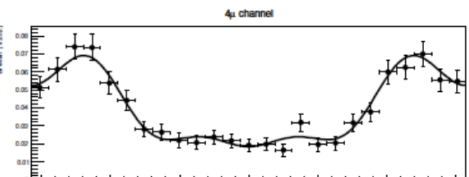
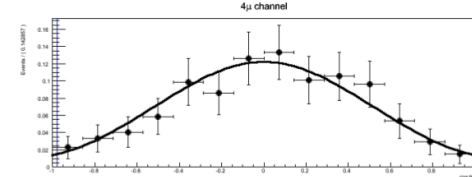
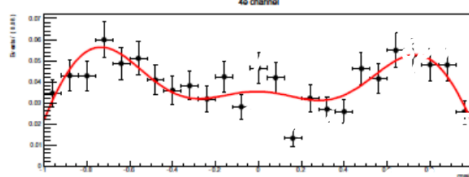
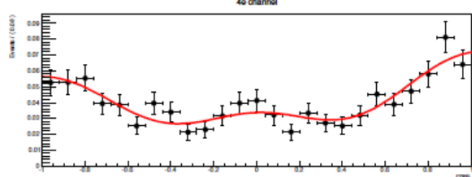
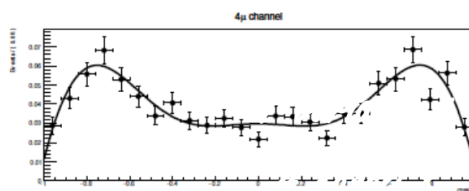
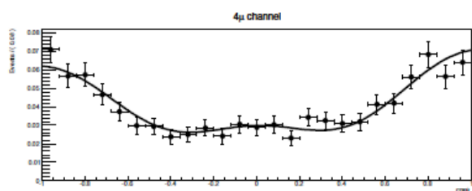
7 variabili ×
4 canali ×
6 ipotesi di spin ×
2 anni di dati =
340 fit!



J^P -MELA: PDF WP

Nuovo approccio per gli eventi WP: costruzione di una PDF_{WP} per definire l'accettanza WP.

$$Acc_{WP} = \frac{WP \text{ MC reco events}}{WP \text{ pdf events}}$$



- Utilizzo di **metà della statistica** della simulazione MC **per evitare bias**
- Si assume che le variabili angolari non siano correlate
- Viene effettuato un fit sugli istogrammi con delle funzioni empiriche

7 variabili ×
2 canali ×
6 ipotesi di spin ×
2 anni di dati =
170 fit!



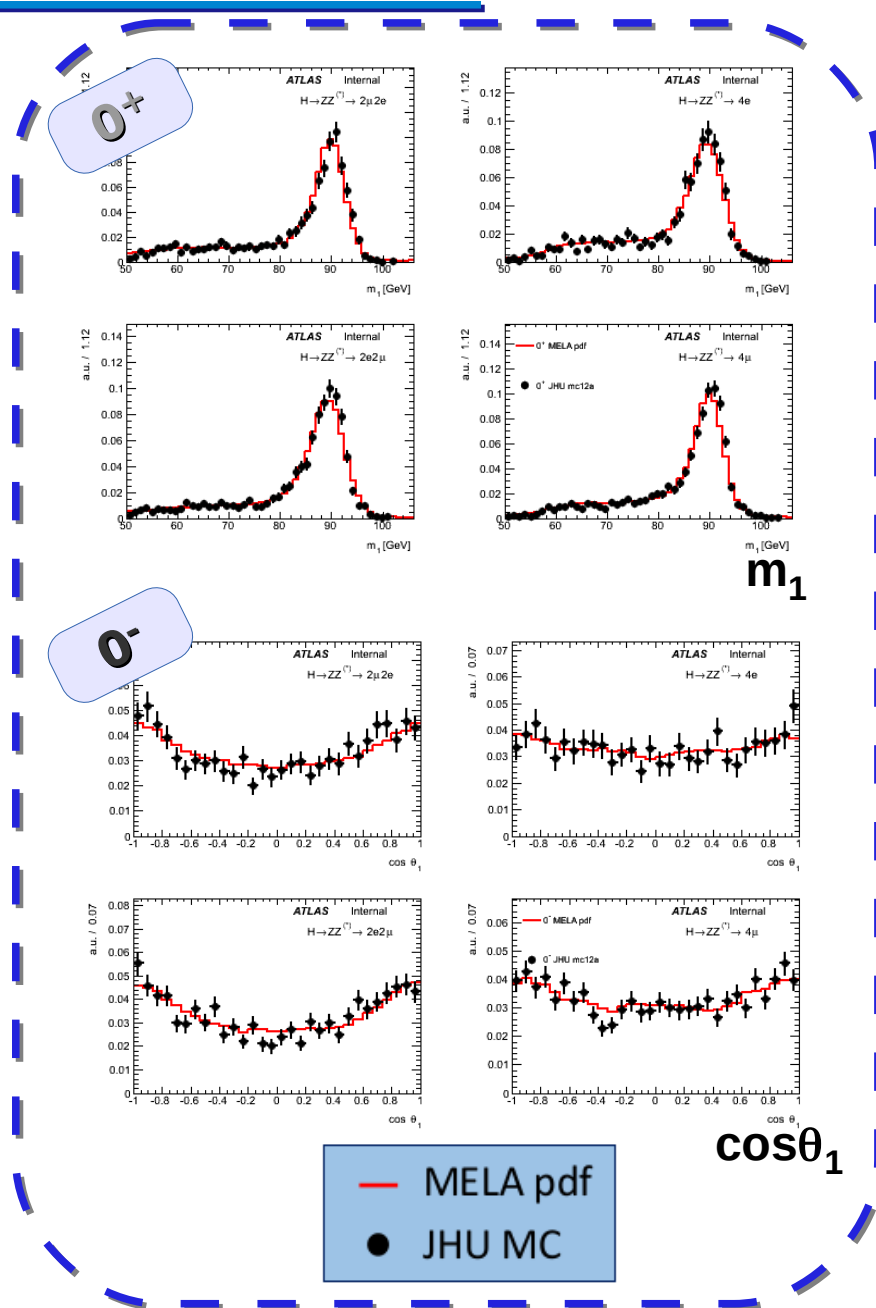
J^P -MELA: Closure test

Si effettua un "closure test" per verificare la validità delle assunzioni fatte:

- a partire dalla PDF 8-dimensionale si proietta la likelihood sulla variabile interessata (ottenendo una funzione 1D)
- $\frac{1}{2}$ statistica MC utilizzata per parametrizzare le funzioni di accettazione
- $\frac{1}{2}$ statistica MC usata per testare la metodologia usata



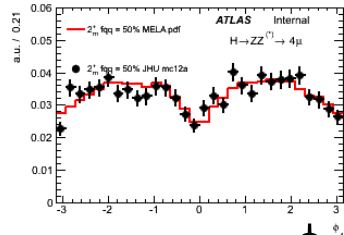
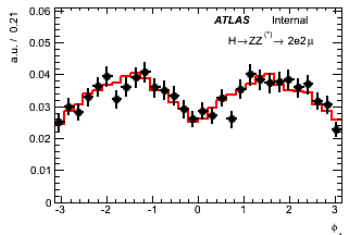
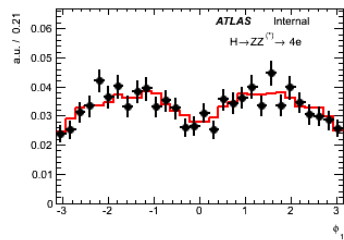
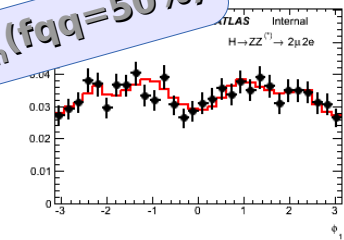
- Nessun bias





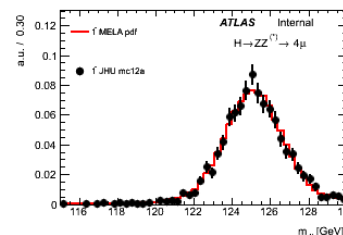
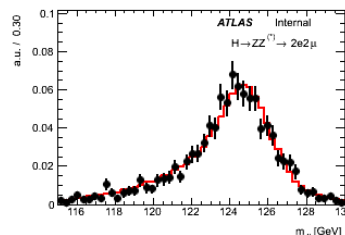
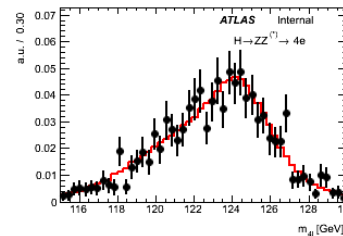
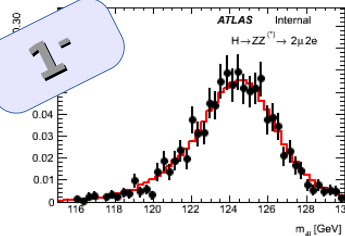
J^P -MELA: Closure test

$2^+_{m}(fqq=50\%)$



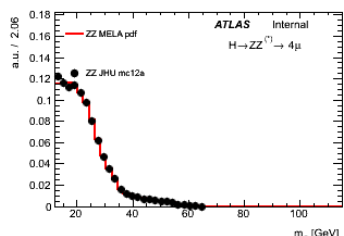
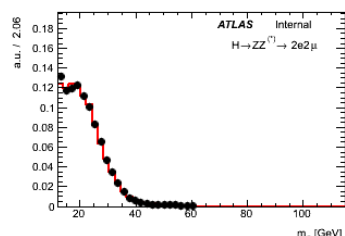
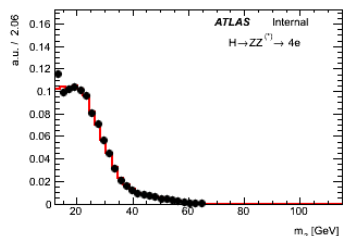
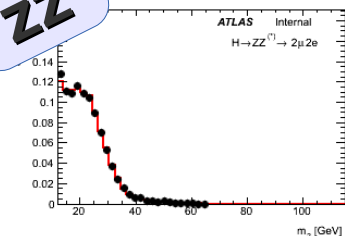
ϕ_1

1^-



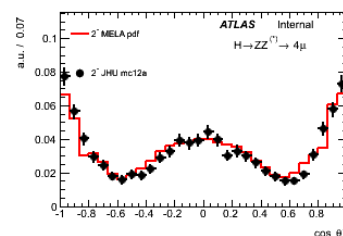
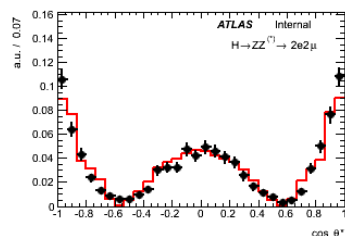
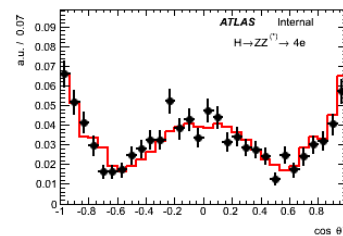
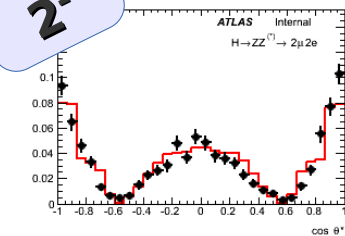
m_{4l}

ZZ

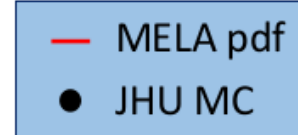


m_2

2^-



$\cos\theta^*$

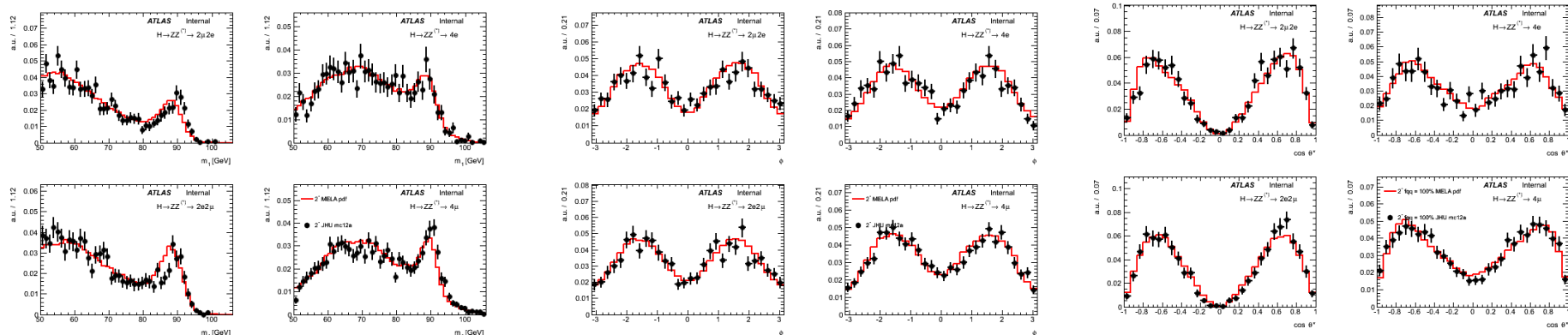




J^P -MELA: Ottimizzazioni

PANORAMICA

- Aggiunto il caso di spin 2^-_h all'analisi
i closure test sono in buon accordo



- Nuova definizione di accettazione per gli eventi GP

$$Acc_{GP} = \frac{GP \text{ MC reco events}}{GP \text{ MC truth events}}$$



$$Acc_{GP} = \frac{GP \text{ MC reco events}}{GP \text{ pdf events}}$$

Già pronti i fit delle accettanze
con la nuova definizione, sia per i
dati 2011 che 2012.

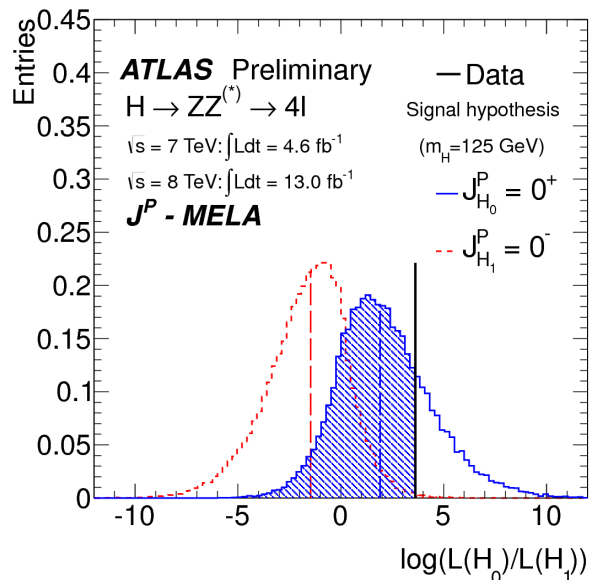
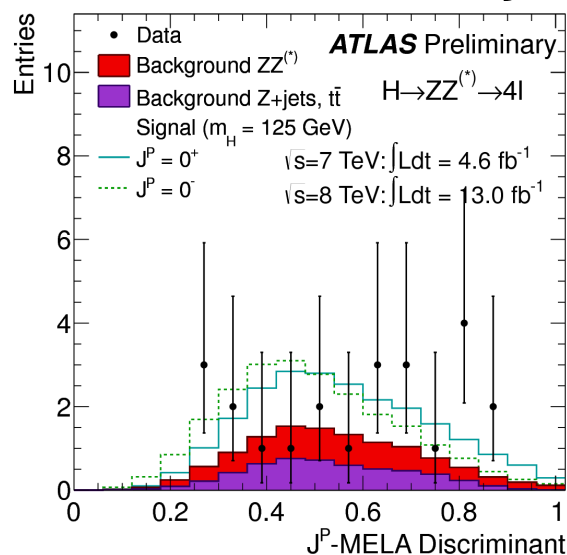
- Nuovo approccio per gli eventi WP
costruzione di una PDF_{WP}

$$Acc_{WP} = \frac{WP \text{ MC reco events}}{WP \text{ pdf events}}$$



$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: Risultati ufficiali (0^+ vs 0^-)

J^P -MELA



Il bosone di Higgs è compatibile con l'ipotesi SM

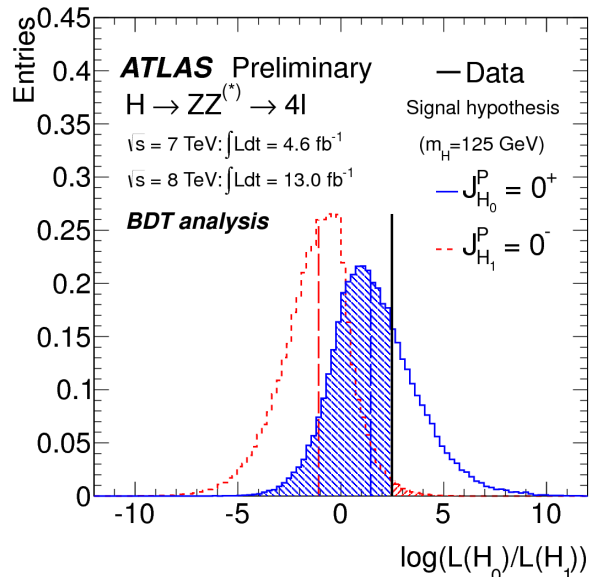
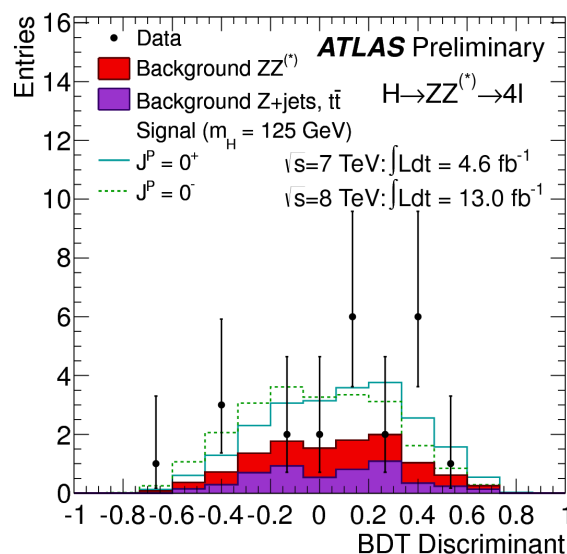
L'ipotesi di spin 0^+ è favorita rispetto a 0^- , con una separazione osservata (aspettata)

J^P -MELA: 2.8σ (3.1σ)

BDT: 2.2σ (2.7σ)

Ipotesi 0^- esclusa al 99.6% CL_S

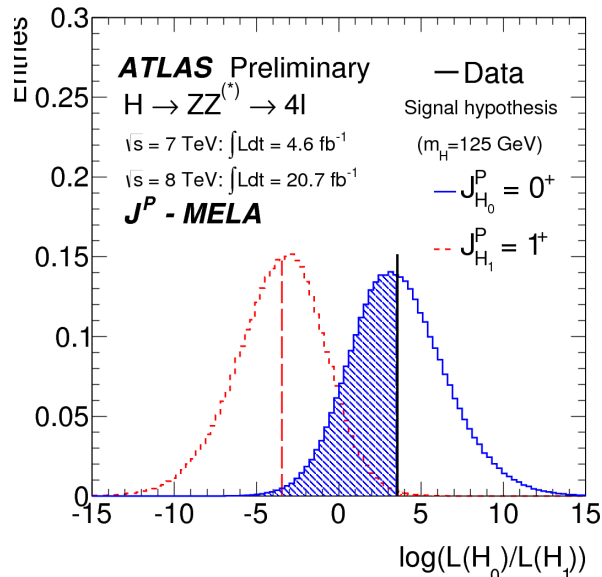
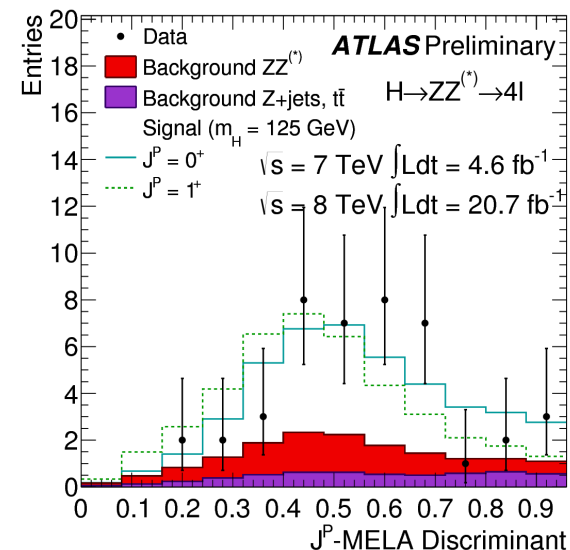
BDT



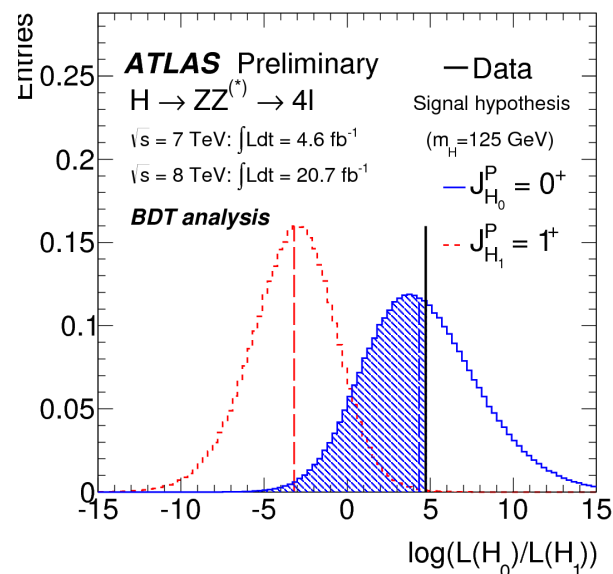
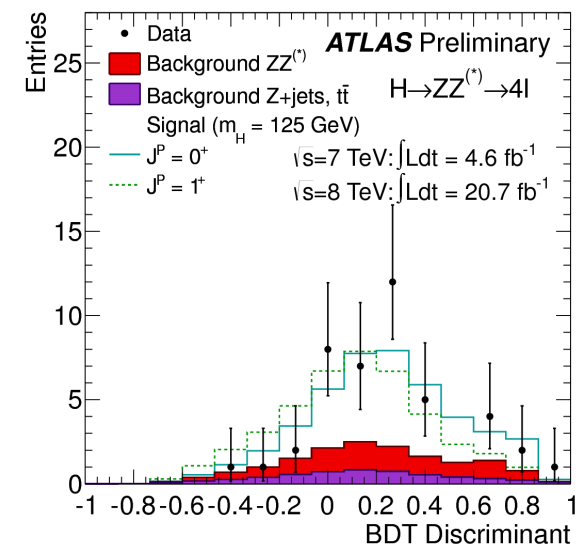


$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: Risultati ufficiali (0^+ vs 1^+)

J^P -MELA



BDT



L'ipotesi di spin 0^+ è favorita rispetto a 1^+ , con una separazione osservata (aspettata)

J^P -MELA: 2.8σ (2.8σ)

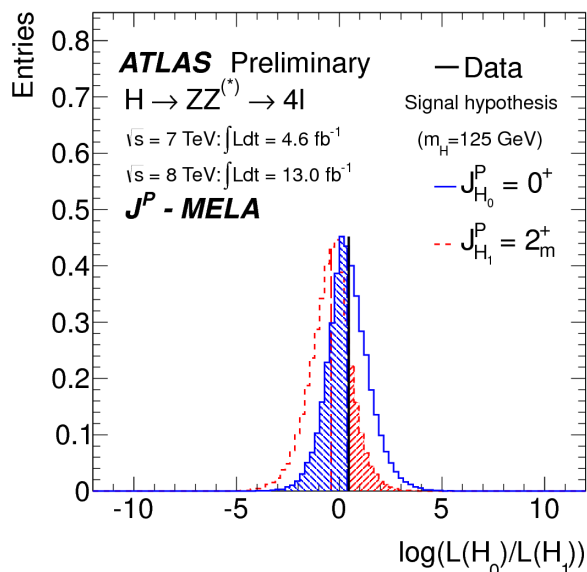
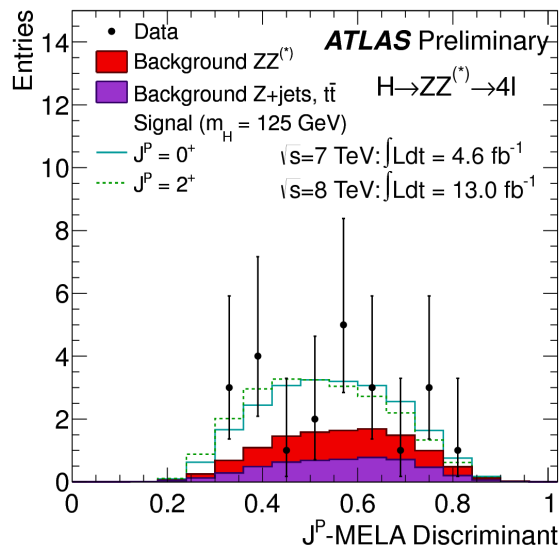
BDT: 3.1σ (2.9σ)

Ipotesi 1^+ esclusa al 99.4% CL_s

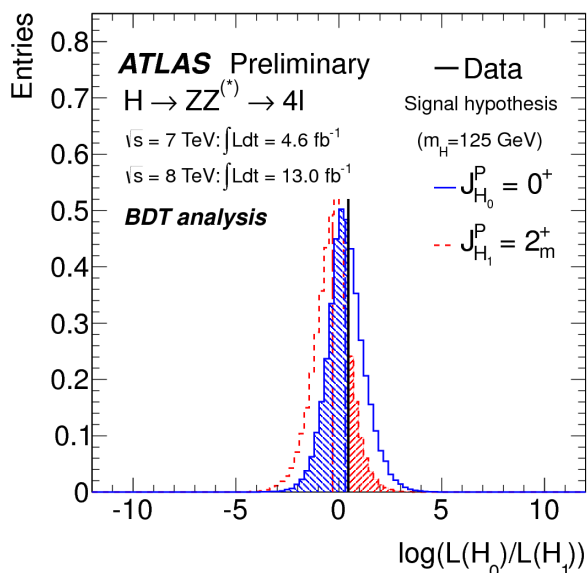
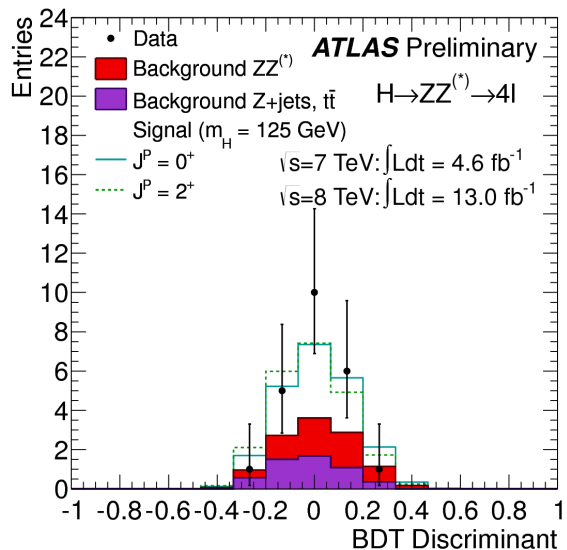


$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: Risultati ufficiali (0^+ vs 2^+_m (gg))

J^P -MELA



BDT



L'ipotesi di spin 0^+ è favorita rispetto a 2^+_m (gg), con una separazione osservata (aspettata)

J^P -MELA: 1.2σ (1.5σ)

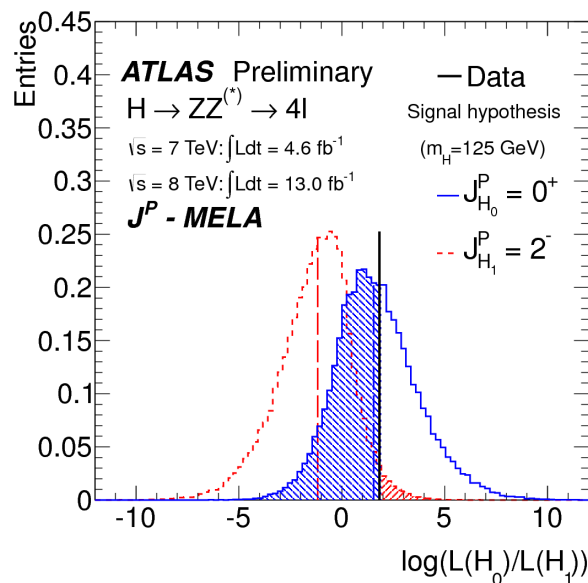
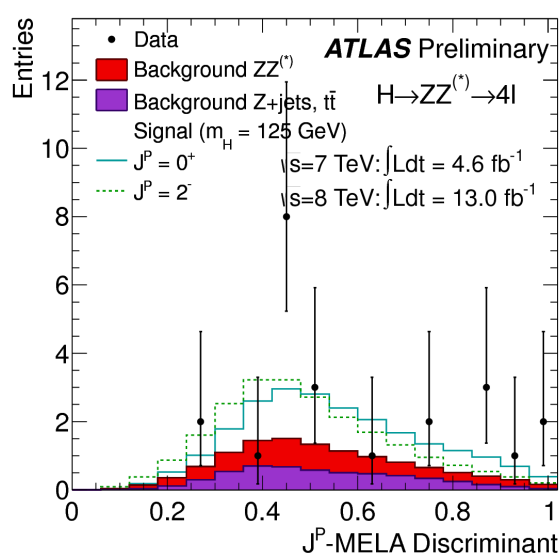
BDT: 1.4σ (1.3σ)

Ipotesi 2^+_m (gg) esclusa al 81.8% CL_s

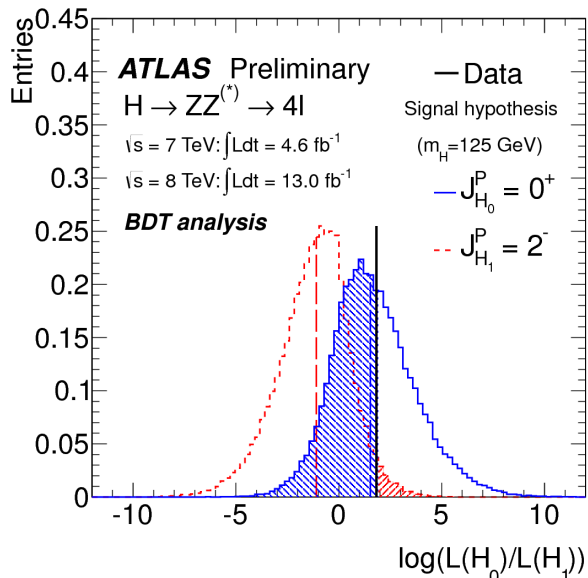
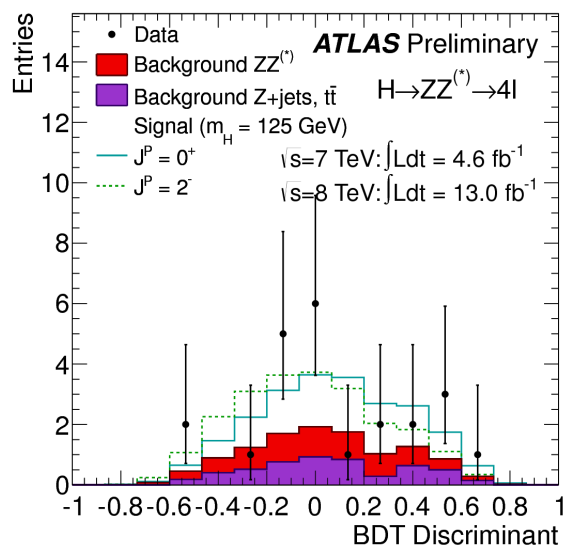


$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: Risultati ufficiali (0^+ vs $2^-(gg)$)

J^P -MELA



BDT



L'ipotesi di spin 0^+ è favorita rispetto a $2^-(gg)$, con una separazione osservata (aspettata)

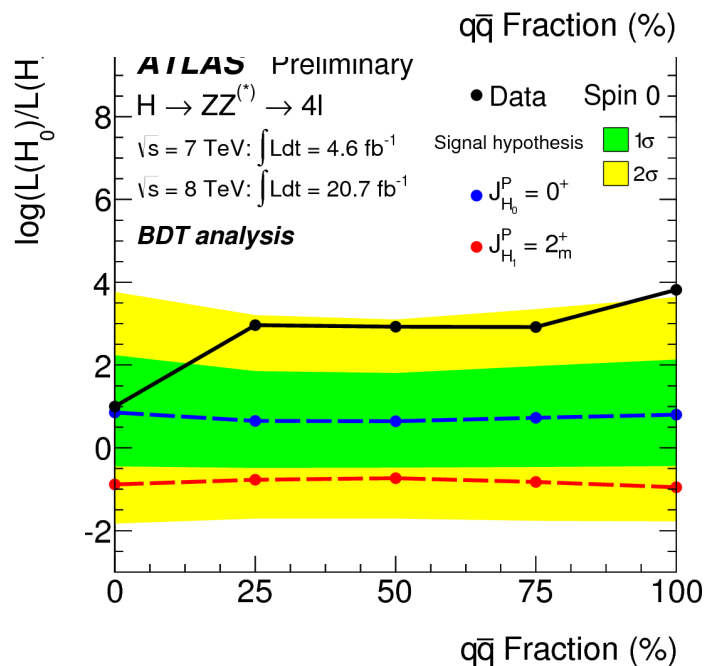
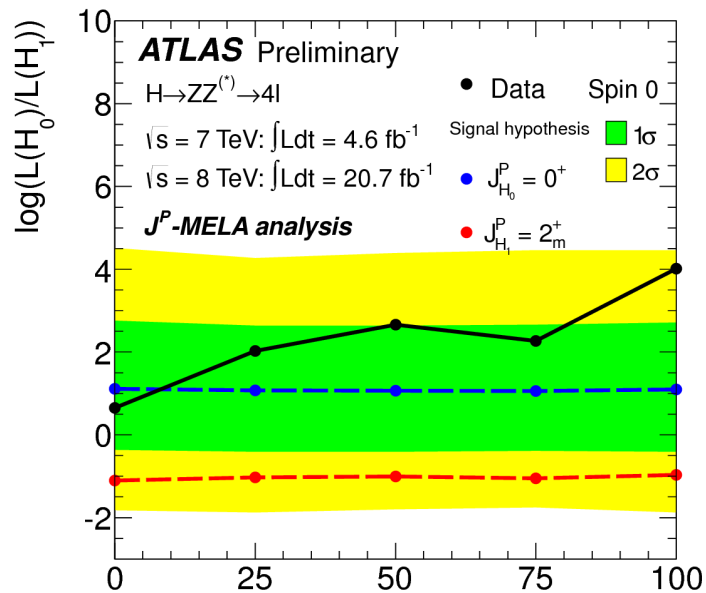
J^P -MELA: 1.2σ (2.7σ)

BDT: 0.7σ (2.5σ)

Ipotesi $2^-(gg)$ esclusa al 88.4% CL_s



$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: Risultati ufficiali (0^+ vs 2^+_m (gg/qq))



Andamento delle mediane delle distribuzioni generate per varie miscele di stati 2^+_m .

Anche in questo caso l'ipotesi di spin 0^+ è favorita rispetto alle ipotesi di stati misti 2^+_m .



$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: Risultati ufficiali(J^P -MELA)

~50000 toys generati

p_0 -value

(numero di σ di separazione)

tested assumed	0^+	0^-	1^+	1^-	2_m^+	2^-
0^+	-	0.38 ± 0.00 (0.31 ± 0.01)	0.46 ± 0.00 (0.10 ± 0.01)	0.10 ± 0.00 (1.28 ± 0.01)	0.35 ± 0.00 (0.38 ± 0.01)	0.07 ± 0.00 (1.47 ± 0.01)
0^-	0.00 ± 0.00 (2.85 ± 0.03)	-	0.07 ± 0.00 (1.46 ± 0.01)	0.01 ± 0.00 (2.36 ± 0.02)	0.04 ± 0.00 (1.76 ± 0.01)	0.19 ± 0.00 (0.88 ± 0.01)
1^+	0.00 ± 0.00 (2.75 ± 0.03)	0.02 ± 0.00 (2.14 ± 0.01)	-	0.10 ± 0.00 (1.29 ± 0.01)	0.02 ± 0.00 (2.05 ± 0.01)	0.00 ± 0.00 (2.97 ± 0.03)
1^-	0.03 ± 0.00 (1.93 ± 0.01)	0.12 ± 0.00 (1.19 ± 0.01)	0.11 ± 0.00 (1.22 ± 0.01)	-	0.03 ± 0.00 (1.93 ± 0.01)	0.15 ± 0.00 (1.02 ± 0.01)
2_m^+	0.12 ± 0.00 (1.17 ± 0.01)	0.19 ± 0.00 (0.86 ± 0.01)	0.23 ± 0.00 (0.75 ± 0.01)	0.04 ± 0.00 (1.70 ± 0.01)	-	0.04 ± 0.00 (1.70 ± 0.01)
2^-	0.11 ± 0.00 (1.25 ± 0.01)	0.06 ± 0.00 (1.55 ± 0.01)	0.34 ± 0.00 (0.41 ± 0.01)	0.04 ± 0.00 (1.79 ± 0.01)	0.10 ± 0.00 (1.30 ± 0.01)	-

tested assumed	0^+	$2^+(25\%qq)$	$2^+(50\%qq)$	$2^+(75\%qq)$	$2^+(100\%qq)$
0^+	-	0.71 ± 0.00 (-0.55 ± 0.01)	0.83 ± 0.00 (-0.94 ± 0.01)	0.76 ± 0.00 (-0.70 ± 0.01)	0.95 ± 0.00 (-1.62 ± 0.01)

tested assumed	0^+	$2^-(25\%qq)$	$2^-(50\%qq)$	$2^-(75\%qq)$	$2^-(100\%qq)$
$2^+(25\%qq)$	0.02 ± 0.00 (2.09 ± 0.01)				
$2^+(50\%qq)$	0.01 ± 0.00 (2.51 ± 0.02)				
$2^+(75\%qq)$	0.01 ± 0.00 (2.25 ± 0.02)				
$2^+(100\%qq)$	0.00 ± 0.00 (3.23 ± 0.05)				
		0.15 ± 0.00 (1.04 ± 0.01)			
		0.08 ± 0.00 (1.40 ± 0.01)			
		0.07 ± 0.00 (1.46 ± 0.01)			
		0.02 ± 0.00 (2.05 ± 0.01)			



Conclusioni

- + **Status dell'analisi:** i risultati dei test d'ipotesi più recenti e ottimizzati stanno girando su grid
- + Tempo stimato per il processamento dei dati su grid: ~ 10 giorni
- + **Status della tesi:** capitoli finali quasi completi

Prospettive

- + Ulteriori ottimizzazioni delle accettanze good-pair (GP) e wrong-pair (WP), 2011 e 2012.



Backup



$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: Risultati

	BDT				J^P -MELA			
J^P	attesi	Osservati 0^+	Osservati J^P	CL_s	attesi	Osservati 0^+	Osservati J^P	CL_s
0^-	2.7σ	0.5σ	2.2σ	0.022	3.1σ	0.2σ	2.8σ	0.004
1^+	2.7σ	1.0σ	1.6σ	0.060	3.1σ	1.2σ	1.9σ	0.031
1^-	2.9σ	-0.1σ	3.1σ	0.002	2.7σ	0.0σ	2.8σ	0.006
$2^-_m(gg)$	1.3σ	-0.1σ	1.4σ	0.168	1.5σ	0.3σ	1.2σ	0.182
$2^-(gg)$	2.5σ	1.8σ	0.7σ	0.258	2.7σ	1.4σ	1.2σ	0.116



$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: Risultati (BDT)

~50000 toys generati

p_0 -value
(numero di σ di
separazione)

Tested	Assumed					
	0^+	0^-	1^+	1^-	2_m^+	2^-
0^+		0.304 (0.51)	0.508 (-0.02)	0.465 (0.09)	0.536 (-0.09)	0.038 (1.77)
0^-	0.013 (2.22)		0.070 (1.47)	()	0.184 (0.90)	0.201 (0.84)
1^+	0.001 (3.05)	0.016 (2.14)		0.000 (3.69)	0.000 (3.38)	0.000 (3.41)
1^-	0.004 (2.66)	()	0.944 (-1.59)		0.085 (1.37)	0.014 (2.19)
2_m^+	0.073 (1.45)	0.038 (1.77)	0.571 (-0.18)	0.046 (1.68)		0.007 (2.44)
2^-	0.213 (0.80)	0.078 (1.42)	0.368 (0.34)	0.258 (0.65)	0.281 (0.58)	

	$2^+(0\%q\bar{q})$	$2^+(25\%q\bar{q})$	$2^+(50\%q\bar{q})$	$2^+(75\%q\bar{q})$	$2^+(100\%q\bar{q})$
Exclusion of 2_m^+ in favor of 0^+	0.073 (1.45)	0.002 (2.89)	0.002 (2.89)	0.004 (2.69)	0.001 (3.23)
Exclusion of 0^+ in favor of 2_m^+	0.536 (-0.09)	0.936 (-1.52)	0.936 (-1.53)	0.905 (-1.31)	0.951 (-1.65)

	$2^-(0\%q\bar{q})$	$2^-(25\%q\bar{q})$	$2^-(50\%q\bar{q})$	$2^-(75\%q\bar{q})$	$2^-(100\%q\bar{q})$
Exclusion of 2_m^- in favor of 0^+	0.213 (0.80)	0.437 (0.16)	0.415 (0.22)	0.567 (-0.17)	0.462 (0.09)
Exclusion of 0^+ in favor of 2^-	0.038 (1.77)	0.012 (2.27)	0.019 (2.08)	0.007 (2.46)	0.010 (2.31)



$H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$: Risultati (0^+ vs 1^-)

J^P -MELA

BDT

L'ipotesi di spin 0^+ è favorita rispetto a 1^- , con una separazione osservata (aspettata)

J^P -MELA: 1.9σ (3.1σ)

BDT: 1.6σ (2.7σ)

Ipotesi 1^- esclusa al 96.9% CL_s

