

ATLAS:

Ricerca del bosone di Higgs nel canale

$$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$$

$L = 4.8 \text{ fb}^{-1}$ per collisioni pp @ $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$



Marco Santimaria
Professore: C. Dionisi
Tutor: C. Bini

19/06/2012

INDICE

- Introduzione al bosone di Higgs e canale di decadimento in 4 leptoni carichi
- Il rivelatore ATLAS
- Identificazione dei leptoni, event selection e ricostruzione della massa dell'Higgs
- Fondo
- Incertezze sistematiche
- Risultati



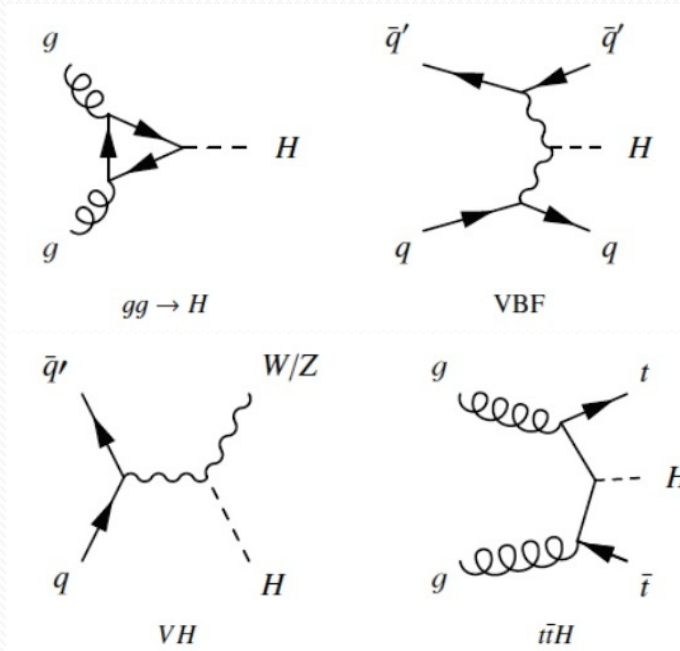
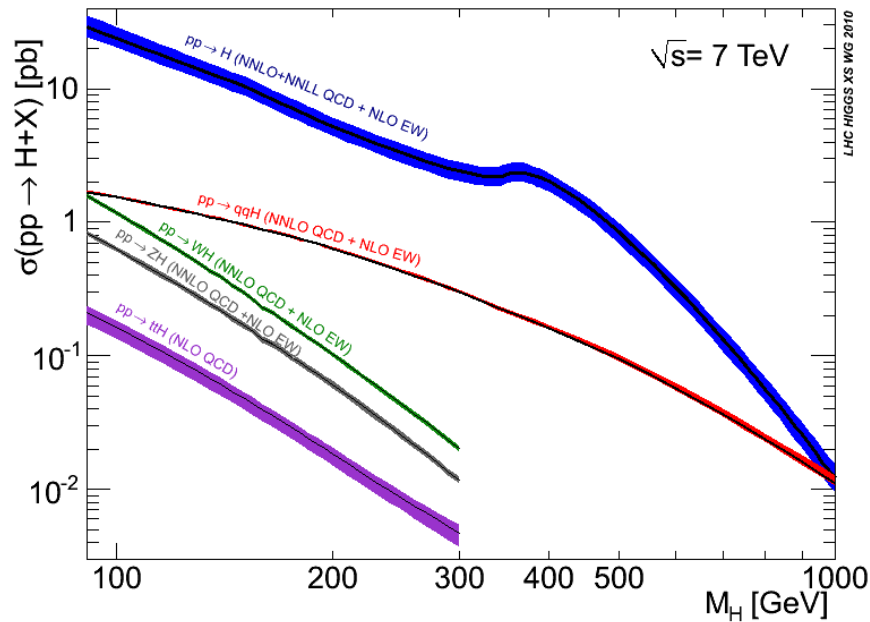
IL BOSONE DI HIGGS

- Particella mancante del modello standard
- m_H parametro libero della teoria
- La massa delle particelle è determinata dalla loro interazione con il campo di Higgs

IL CANALE A 4 LEPTONI CARICHI

$$pp \rightarrow H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$$

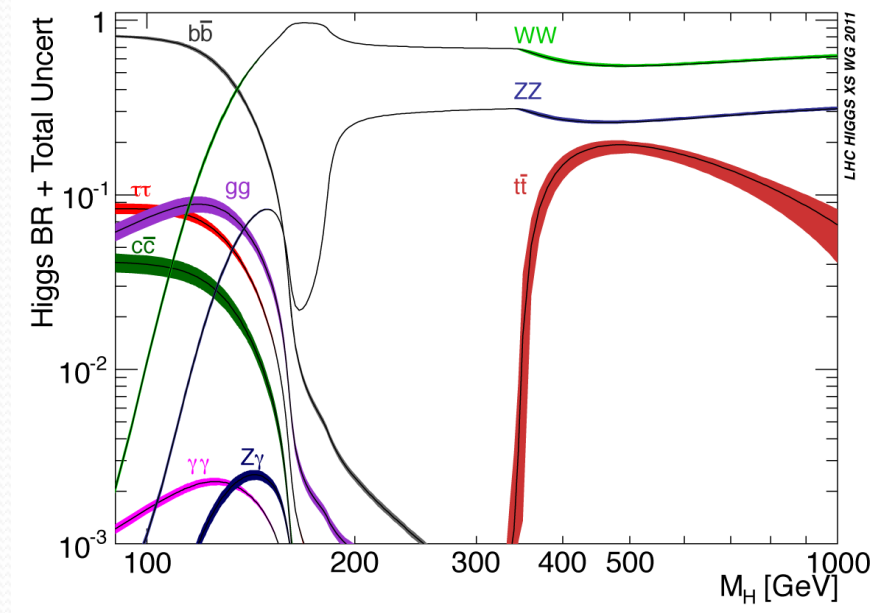
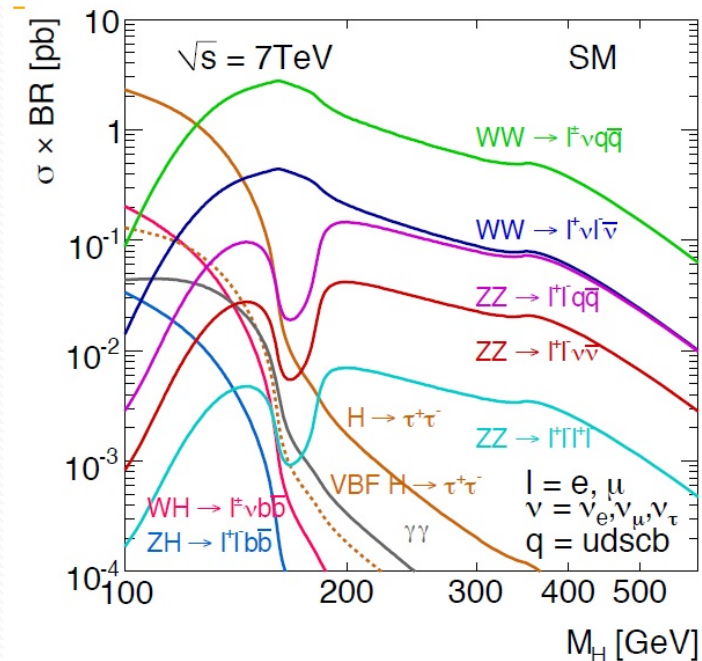
Meccanismi di produzione



m_H [GeV]	$\sigma(gg \rightarrow H)$ [pb]	$\sigma(qq' \rightarrow Hqq')$ [pb]	$\sigma(q\bar{q} \rightarrow WH)$ [pb]	$\sigma(q\bar{q} \rightarrow ZH)$ [pb]	BR ($H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$) [10^{-3}]
130	$14.1^{+2.7}_{-2.1}$	$1.154^{+0.032}_{-0.027}$	0.501 ± 0.020	0.278 ± 0.014	0.19
150	$10.5^{+2.0}_{-1.6}$	$0.962^{+0.028}_{-0.021}$	0.300 ± 0.012	0.171 ± 0.009	0.38
200	$5.2^{+0.9}_{-0.8}$	$0.637^{+0.022}_{-0.015}$	0.103 ± 0.005	0.061 ± 0.004	1.15
400	2.0 ± 0.3	$0.162^{+0.010}_{-0.005}$	—	—	1.21
600	0.33 ± 0.06	$0.058^{+0.005}_{-0.002}$	—	—	1.23

IL CANALE A 4 LEPTONI CARICHI (II)

$$pp \rightarrow H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$$

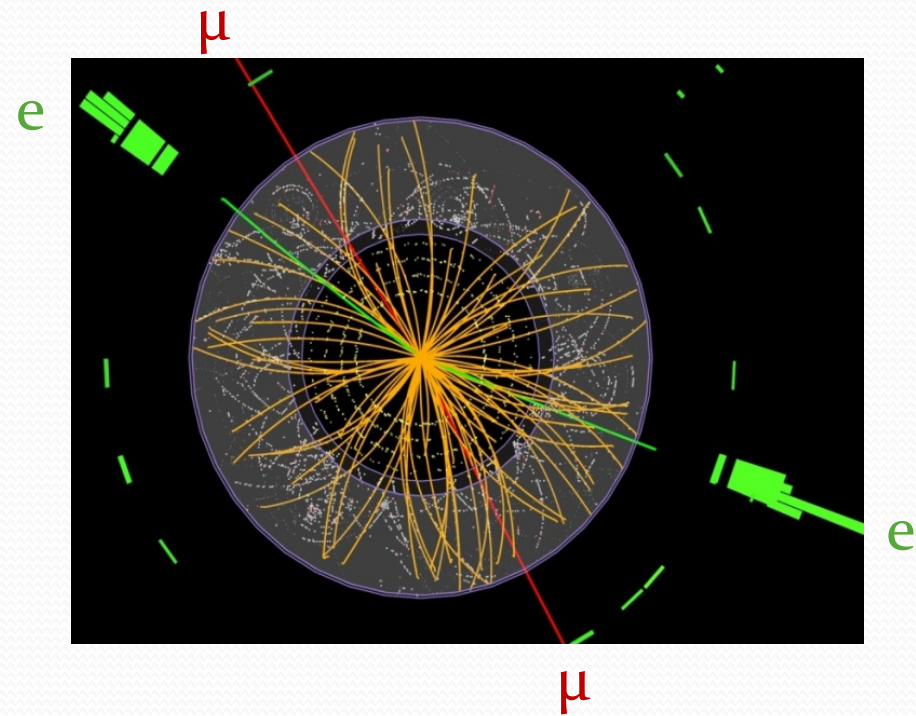
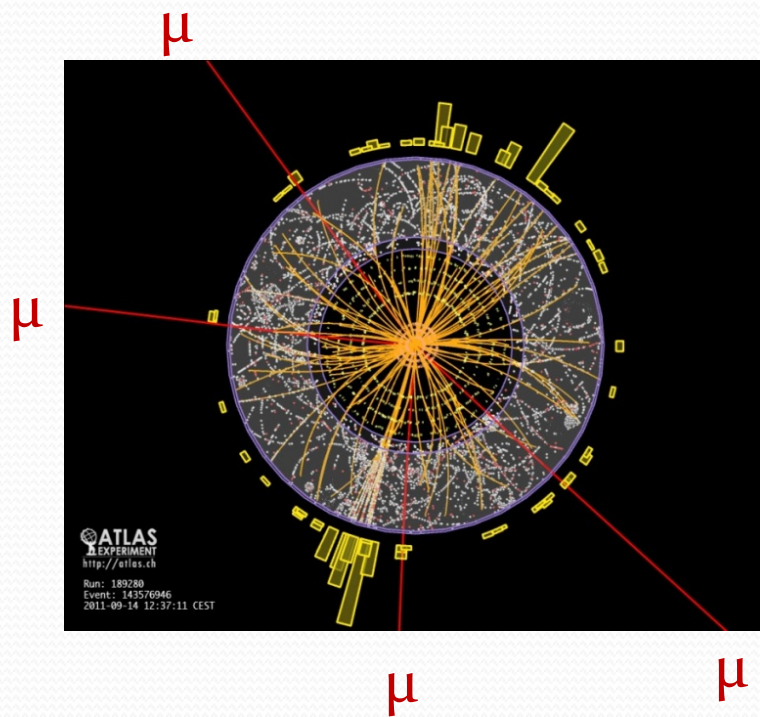


Caratteristiche del “golden channel”

- ❖ $4l$ sono 2 coppie di leptoni di flavour opposto: 4μ , $2e2\mu$ o $4e$.
- ❖ Piccola sezione d’urto: $2\text{-}5\text{ fb}$ @ $\sqrt{s} = 7\text{ TeV}$
- ❖ Nella regione $120\text{-}150\text{ GeV}$ uno degli Z è off-shell

IL CANALE A 4 LEPTONI CARICHI (III)

$$pp \rightarrow H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$$



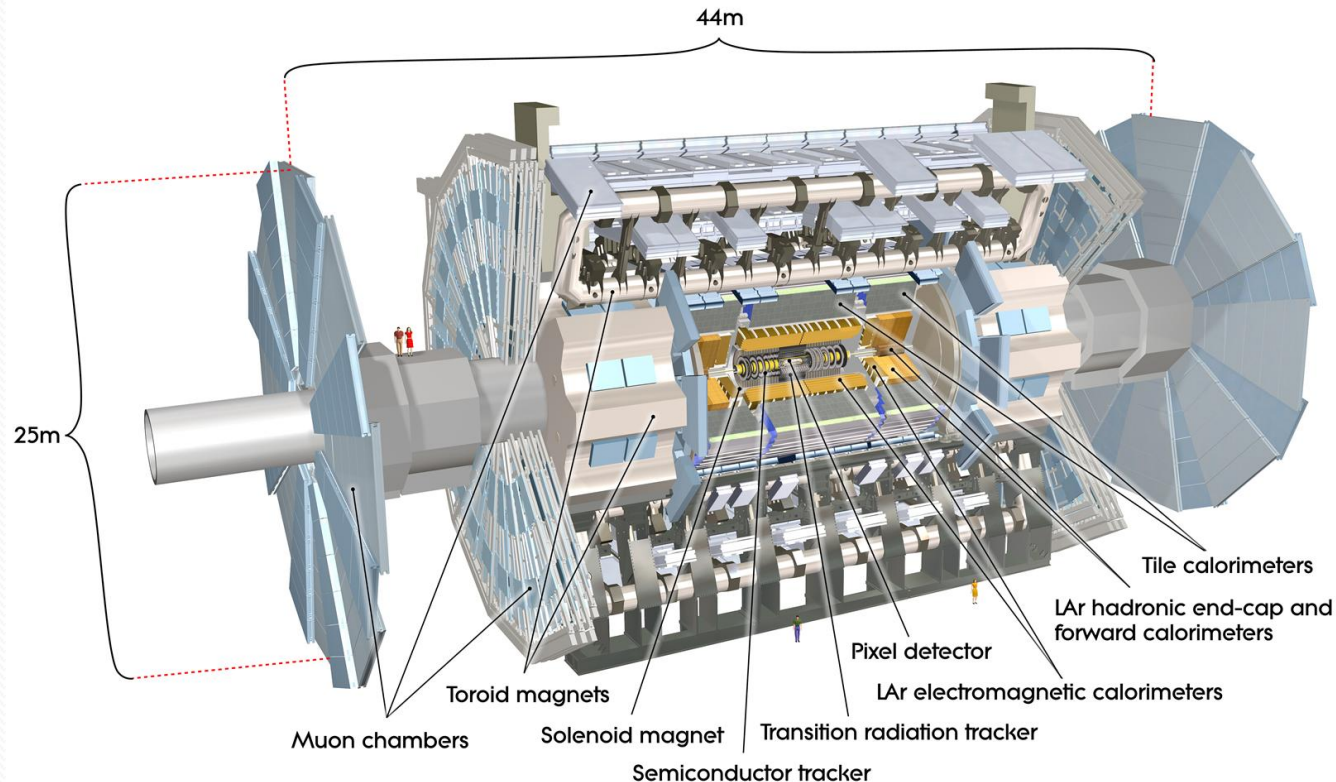
Perché questo canale?

1. Alta risoluzione in energia
2. Poco fondo
3. Stato finale completamente determinato



Picco stretto di massa invariante al di sopra di un fondo "piatto"

RIVELATORE ATLAS



Inner Tracking Detector [ID]

Rivelatore di traccia a pixel di silicio

$$|\eta| < 2.5$$

$$B = 2\text{T (assiale)}$$

$$\sigma/p_t \sim 3.4 \cdot 10^{-4} p_t + 0.015$$

EM Calorimeter [ECAL]

Calorimetro a campionamento piombo/Argon Liquido (LAr) misura energia e posizione delle cascate EM con $|\eta| < 3.2$
 $\sigma/E \sim 10\%/\sqrt{E}$

Muon Spectrometer [MS]

Circonda i calorimetri e consiste in 3 toroidi superconduttori in aria, una tracking chamber di precisione ($|\eta| < 2.7$) e una veloce per il triggering
 $\sigma/p_t < 10\%$ fino a 1 TeV

NOTA : $\eta = \text{pseudorapidità} = -\ln(\tan(\theta/2))$

Marco Santimaria - ATLAS: $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$

Hadronic Calorimeter [HCAL]

LAr per le shower adroniche nell'end-cap ($1.5 < |\eta| < 3.2$) e in avanti ($3.1 < |\eta| < 4.9$) + Calorimetro ferro/scintillatore per la regione centrale ($|\eta| < 1.7$)
 $\sigma/E \sim 50\%/\sqrt{E} + 0.03$

IDENTIFICAZIONE DEI LEPTONI

ELETRONI

- ❖ I candidati elettroni consistono in un cluster di energia depositata nel calorimetro elettromagnetico associato a una traccia nell'ID.
- ❖ I profili delle shower devono essere consistenti con quelli aspettati per una cascata elettromagnetica e la traccia ricostruita nell'ID deve puntare al corrispondente cluster.
- ❖ L'impulso trasverso degli elettroni è ricavato dall'energia depositata nell'ECAL e dalla direzione della traccia.

MUONI

- ❖ I candidati muoni si scelgono comparando le tracce nell'ID con le tracce, complete o parziali, ricostruite nel MS.
- ❖ Se la traccia è completa è possibile misurarne l'impulso combinando le 2 misure indipendenti (ID+MS)
- ❖ Per ridurre il fondo di raggi cosmici, si richiede che le tracce dei muoni abbiano un parametro di impatto trasverso minore di 1 mm.

EVENT SELECTION

- Il parametro d'impatto dei leptoni (d_0) lungo l'asse del fascio deve essere entro 10mm dal vertice primario.
- d_0 è calcolato usando le tracce ricostruite nell'ID \rightarrow posso ridurre lo spread del vertice ($15 \mu\text{m}$ lungo x e y)
- Nel caso degli elettroni la bremsstrahlung allarga la distribuzione del parametro d'impatto \longrightarrow Potere discriminante ridotto

TAGLI CINEMATICI

- ❖ Per ogni leptone: $p_t > 7 \text{ GeV}$ e $|\eta| < 2.47$ (e) o $|\eta| < 2.7$ (μ)
- ❖ Almeno 2 leptoni: $p_t > 20 \text{ GeV}$
- ❖ Separazione: $\Delta R > 0.1$

DEFINIZIONE

Il vertice primario è il vertice di interazione al quale è associato il più alto p_t

$$\Delta R = \sqrt{(\Delta\Phi)^2 + (\Delta\eta)^2}$$

EVENT SELECTION (II)

- La massa invariante della coppia di leptoni con stesso flavour e carica opposta vicina alla massa dello Z è indicata con m_{12} (m_{Z_1}) ed è richiesto $|m_Z - m_{12}| < 15$ GeV.
- La massa invariante dei 2 restanti leptoni, m_{34} (m_{Z_2}), deve essere nel range $m_{\min} < m_{34} < 115$ GeV, dove m_{\min} dipende dalla massa invariante ricostruita di tutti e 4 i leptoni (m_{4l})

m_{4l} (GeV)	≤ 120	130	140	150	160	165	180	190	≥ 200
m_{34} threshold (GeV)	15	20	25	30	30	35	40	50	60

EVENT SELECTION (III)

- Al fine di ridurre il fondo di Z+jets e tt, i leptoni devono soddisfare dei requisiti di isolamento calorimetrici e di traccia, nonché sul parametro d'impatto:

$$1. \sum_{\text{tracce}} \frac{E_t^i}{p_{t,l}} < 0.3 \quad 2. \sum_{\text{tracce}} \frac{p_t^i}{p_{t,l}} < 0.15$$

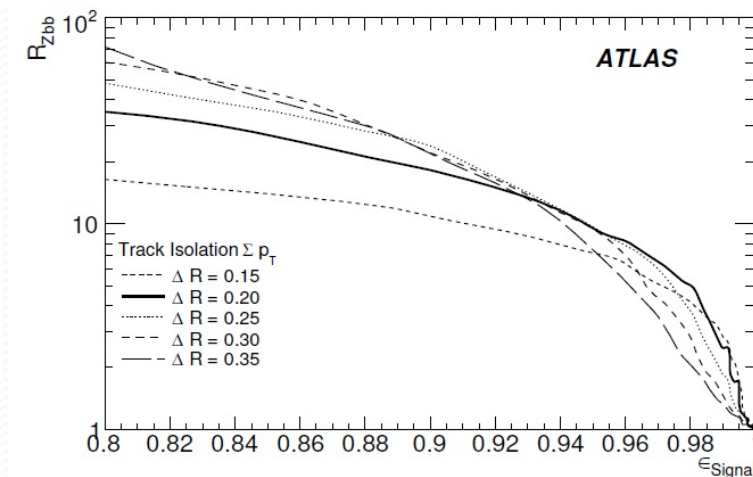
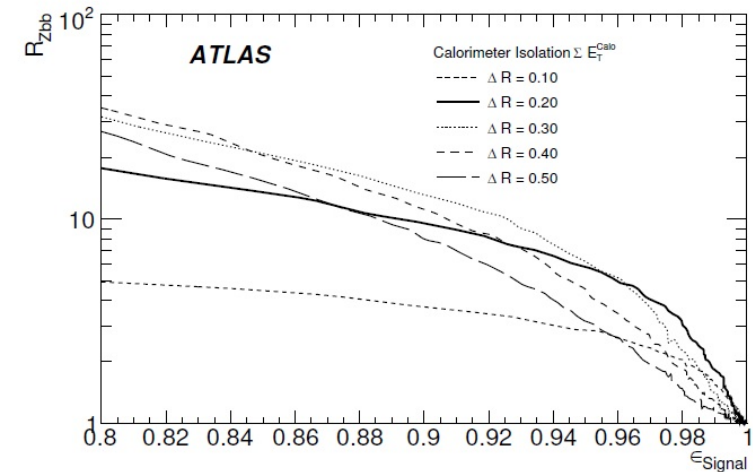
con $\Delta R < 0.2$

- Per ridurre il pile-up, le tracce incluse nella somma devono essere associate al vertice primario

$$\Delta R = \sqrt{(\Delta\Phi)^2 + (\Delta\eta)^2}$$

EFFICIENZE DI SELEZIONE

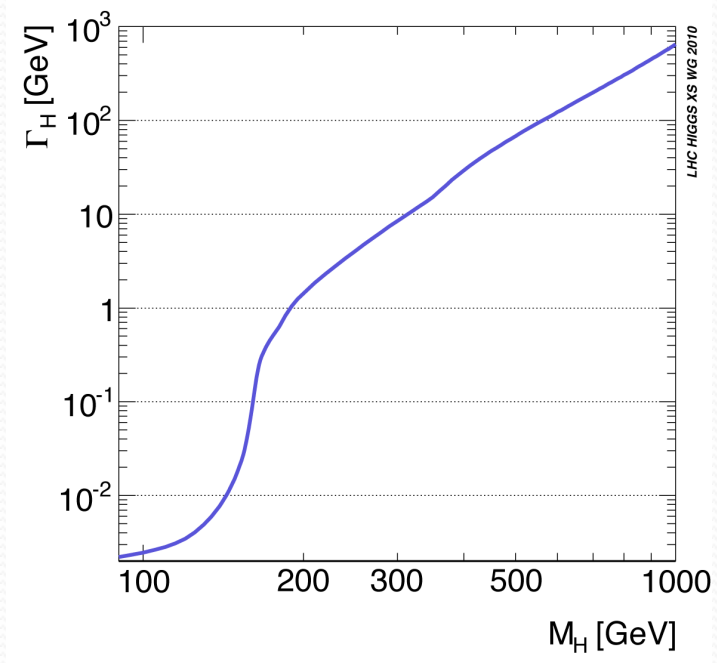
	4e	2e2μ	4μ
$m_H = 130 \text{ GeV}$	14 %	18 %	27 %
$m_H = 360 \text{ GeV}$	45 %	52 %	60 %



RICOSTRUZIONE DELLA MASSA DELL'HIGGS

- La ricostruzione della massa del candidato Higgs ha luogo a seguito della selezione di un singolo quadrupletto di leptoni in un evento. Qualora fosse presente più di un quadrupletto, viene scelto quello con la massa di 2 leptoni più vicina alla massa dello Z e con i leptoni a più alto p_t associati al secondo Z.

La larghezza dell'Higgs ricostruito è dominata dalla risoluzione sperimentale per $m_H < 350$ GeV e dalla sua larghezza naturale per m_H più alte. La FWHM predetta è di 35 GeV per $m_H = 400$ GeV



FONDO

Irriducibile (ZZ^*) + Riducibile (Z +jets, tt...)



Stesso stato finale del processo ricercato



I leptoni derivanti dai decadimenti dei quark pesanti sono meno isolati e provengono \longrightarrow Isolamento da vertici secondari

- ❖ Il background atteso e la sua composizione sono stimati con una simulazione MC normalizzata alla sezione d'urto teorica di produzione ZZ^*
- ❖ I contributi di Zbb e Z +light jets sono studiati grazie a un campione di controllo di $Z \rightarrow l^+l^- + 2l$ senza requisiti di isolamento (background enhancement)
- ❖ Il fondo Zbb domina il campione $Z+\mu\mu$, mentre il campione $Z+ee$ è dominato da Z +light jets

FONDO (II)

- ❖ Fondo WZ trascurabile ($lv + ll + \text{finto } l$)
- ❖ Il contributo Z+light jets per lo stato finale Z+ee è stimato con un MC
- ❖ Lo studio del fondo tt, che contribuisce nello stato Z+ $\mu\mu$ è effettuato usando una regione di controllo di eventi che contengono una coppia di e/ μ di segno opposto consistenti con la massa dello Z, più due ulteriori leptoni di stesso sapore (come bb)

INCERTEZZE SISTEMATICHE

- ❖ Incertezze teoriche sulla PDF e calcoli a ordine fissato di QCD
- ❖ Le incertezze sulla ricostruzione e sull'efficienza di identificazione dei leptoni sono determinate usando campioni di decadimento di W, Z e J/Ψ
- ❖ Gli effetti di risoluzione sull'impulso del muone e l'incertezza di scala sono trascurabili
- ❖ La risoluzione in energia per gli elettroni è trascurabile rispetto alle altre incertezze sistematiche, mentre l'incertezza sulla scala di energia è minore dello 0.6% per il canale $4e$
- ❖ Le efficienze di isolamento e sui parametri d'impatto sono valutati da campioni di decadimento $Z \rightarrow ll$: è stato stimato che l'incertezza su tali efficienze è piccola rispetto alle altre incertezze sistematiche

INCERTEZZE SISTEMATICHE (II)

- ❖ I fondi di Z+light jets e Zbb sono stimati usando i dati: alla loro normalizzazione è stata associata un'incertezza rispettivamente del 45% e del 40% per tenere conto dell'errore statistico nella produzione del campione di controllo e dell'incertezza sull'estrapolazione MC
- ❖ Incertezza totale luminosità integrata (tutti i dati 2011) = 3.9%

INCERTEZZE EFFICIENZA

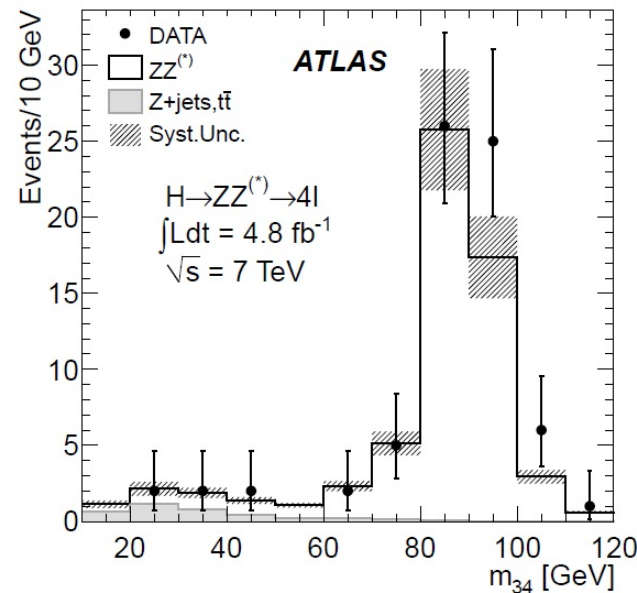
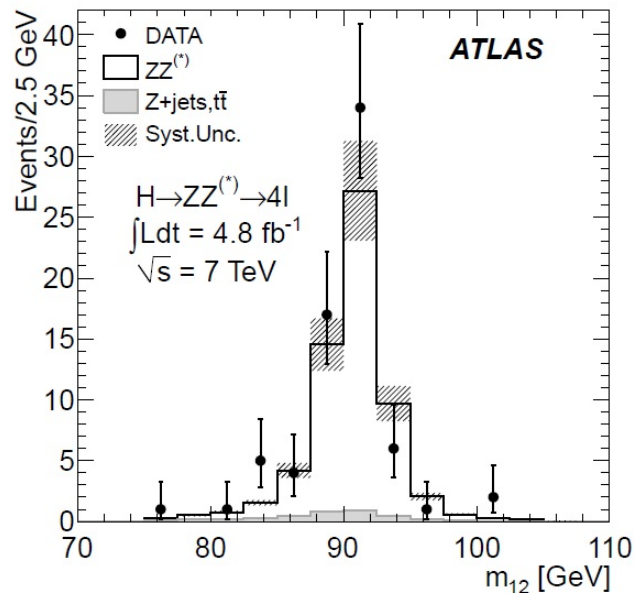
	$\sigma_{\epsilon_{\mu}} (m_{4l} = 110-600 \text{ GeV})$	$\sigma_{\epsilon_e} (m_{4l} = 600 \text{ GeV})$	$\sigma_{\epsilon_e} (m_{4l} = 110 \text{ GeV})$
4 μ	0.22 %	\	\
2e2 μ	0.16 %	1.6 %	4.1 %
4e	\	2.3 %	8 %

RISULTATI

Int. Luminosity	$\mu^+\mu^-\mu^+\mu^-$		$e^+e^-\mu^+\mu^-$		$e^+e^-e^+e^-$	
	Low- $m_{4\ell}$	High- $m_{4\ell}$	Low- $m_{4\ell}$	High- $m_{4\ell}$	Low- $m_{4\ell}$	High- $m_{4\ell}$
	4.8 fb ⁻¹		4.8 fb ⁻¹		4.9 fb ⁻¹	
$ZZ^{(*)}$	2.1 ± 0.3	16.3 ± 2.4	2.8 ± 0.6	25.2 ± 3.8	1.2 ± 0.3	10.4 ± 1.5
$Z + \text{jets and } t\bar{t}$	0.16 ± 0.06	0.02 ± 0.01	1.4 ± 0.5	0.17 ± 0.08	1.6 ± 0.7	0.18 ± 0.08
Total Background	2.2 ± 0.3	16.3 ± 2.4	4.3 ± 0.8	25.4 ± 3.8	2.8 ± 0.8	10.6 ± 1.5
Data	3	21	3	27	2	15
$m_H = 130 \text{ GeV}$	1.00 ± 0.17		1.22 ± 0.21		0.43 ± 0.08	
$m_H = 150 \text{ GeV}$	2.1 ± 0.4		2.9 ± 0.4		1.12 ± 0.18	
$m_H = 200 \text{ GeV}$	4.9 ± 0.7		7.7 ± 1.0		3.1 ± 0.4	
$m_H = 400 \text{ GeV}$	2.0 ± 0.3		3.3 ± 0.5		1.49 ± 0.21	
$m_H = 600 \text{ GeV}$	0.34 ± 0.04		0.62 ± 0.10		0.30 ± 0.06	

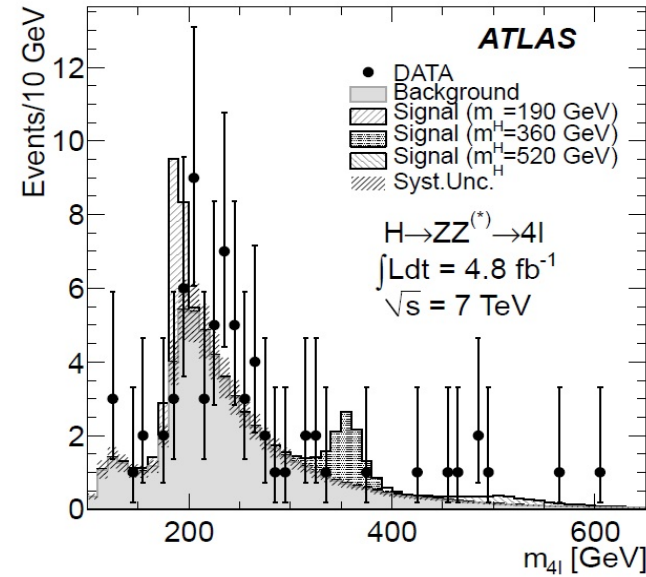
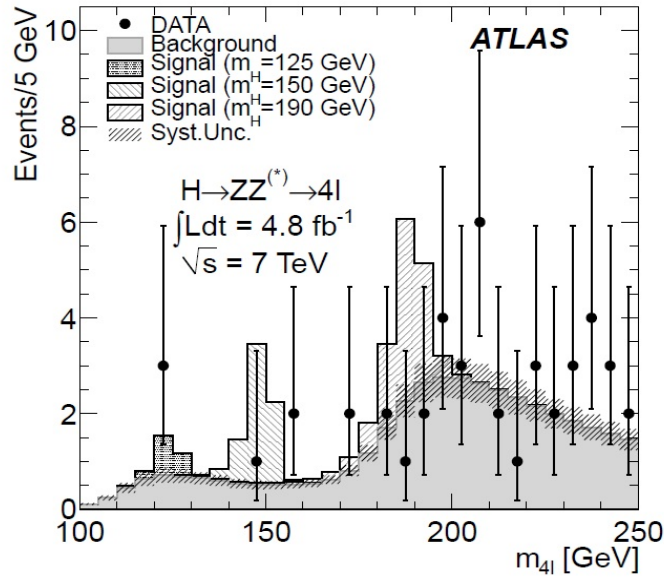
Totale analisi
71 eventi candidati
24 (4 μ)
30 (2e2 μ)
17 (4e)

NOTA: Separazione low/high
a 180 GeV

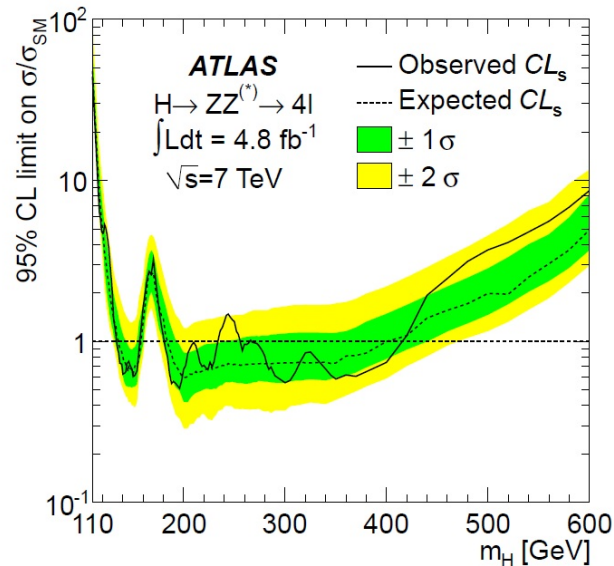


Le error bars rappresentano il
68.3% dell'intervallo di
confidenza.

RISULTATI (II)



Distribuzione di m_{4l} per i candidati selezionati.



- Fissati dei limiti superiori sulla sezione d'urto di produzione al 95% CL
- Le bande verde e gialla indicano i limiti aspettati con fluttuazioni di 1 e 2 sigma rispettivamente dal solo fondo

Higgs escluso al 95% CL in:

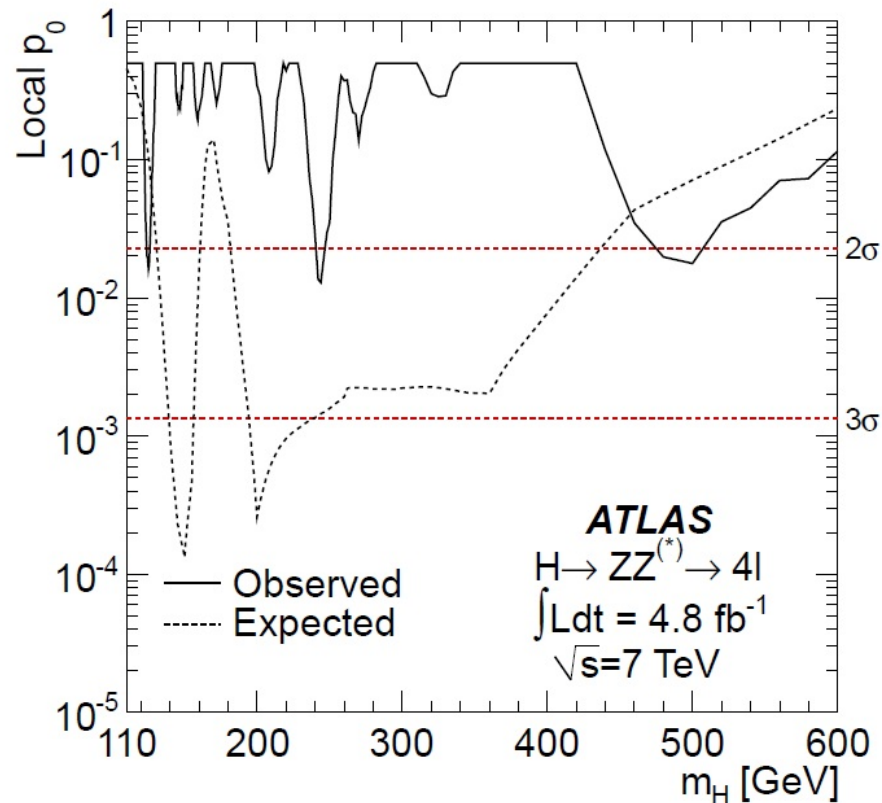
- 134-156 GeV
- 182-233 GeV
- 256-265 GeV
- 268-415 GeV

RISULTATI (III)

- La significatività di un eccesso è data dalla probabilità, p_o , che un esperimento di solo fondo sia più simile al segnale di quello osservato
- In figura sono riportati i valori di p_o in funzione di m_H calcolati usando un insieme di esperimenti simulati.

Deviazioni più significative

$m_H = 125 \text{ GeV}$	2.1σ
$m_H = 244 \text{ GeV}$	2.2σ
$m_H = 500 \text{ GeV}$	2.1σ



Look elsewhere effect

I risultati presentati non tengono conto del LEE: eccessi di questo tipo possono apparire ovunque nel range di ricerca, come risultato di fluttuazioni del fondo.

Dato l'intero intervallo di massa della ricerca in questione, il valore globale di p_o per ognuno dei 3 eccessi diventa dell'ordine del 50%, rendendo non significativi i picchi osservati.

RICERCA FUTURA

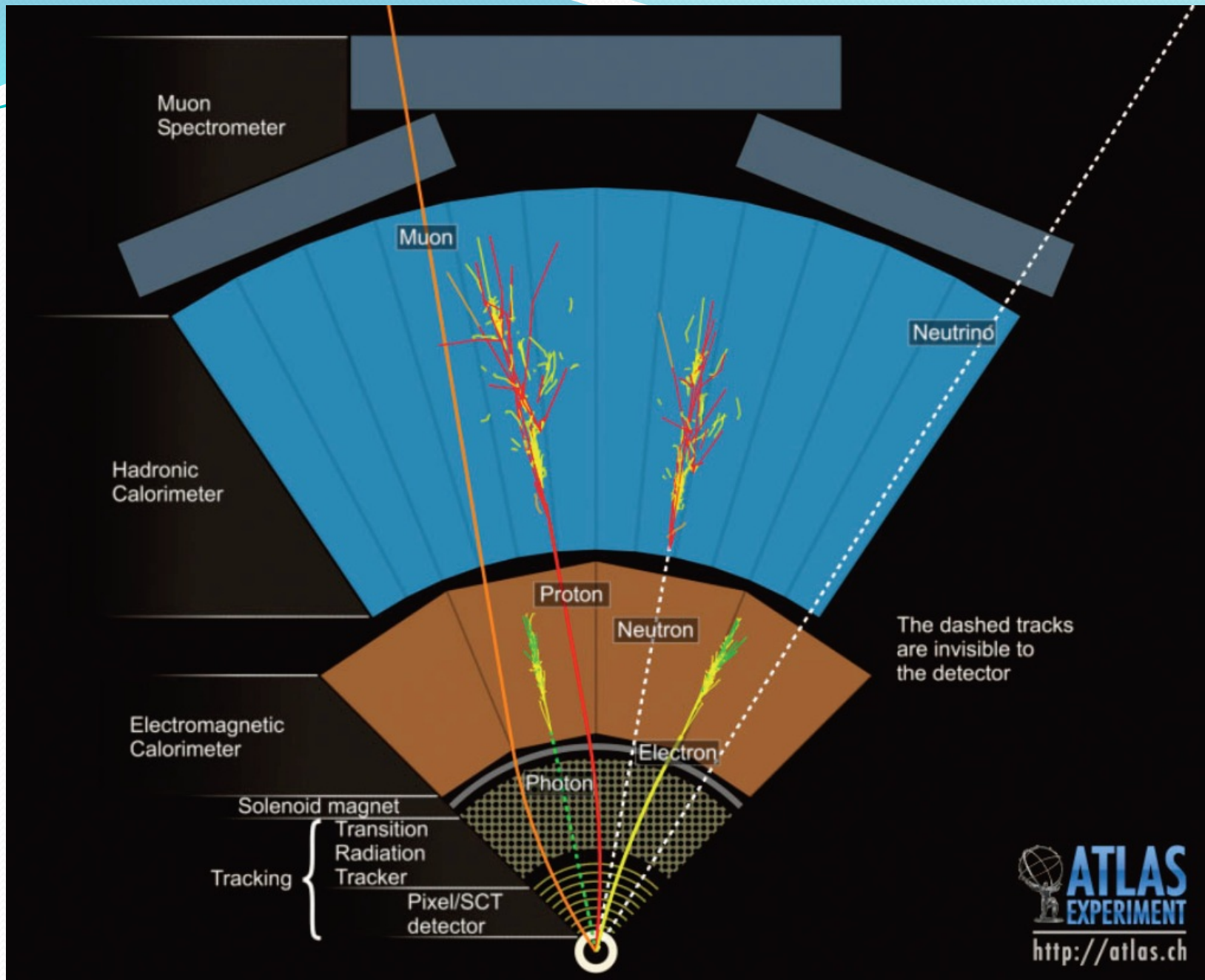
- ❖ ATLAS ha intenzione di raccogliere 20 fb^{-1} di dati a $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ (attualmente 6 fb^{-1})
- ❖ Entro fine 2012 sarà noto se l'Higgs ha massa 125 GeV
- ❖ Altrimenti sarà necessario testare la regione a massa molto alta ($m_H > 500 \text{ GeV}$)



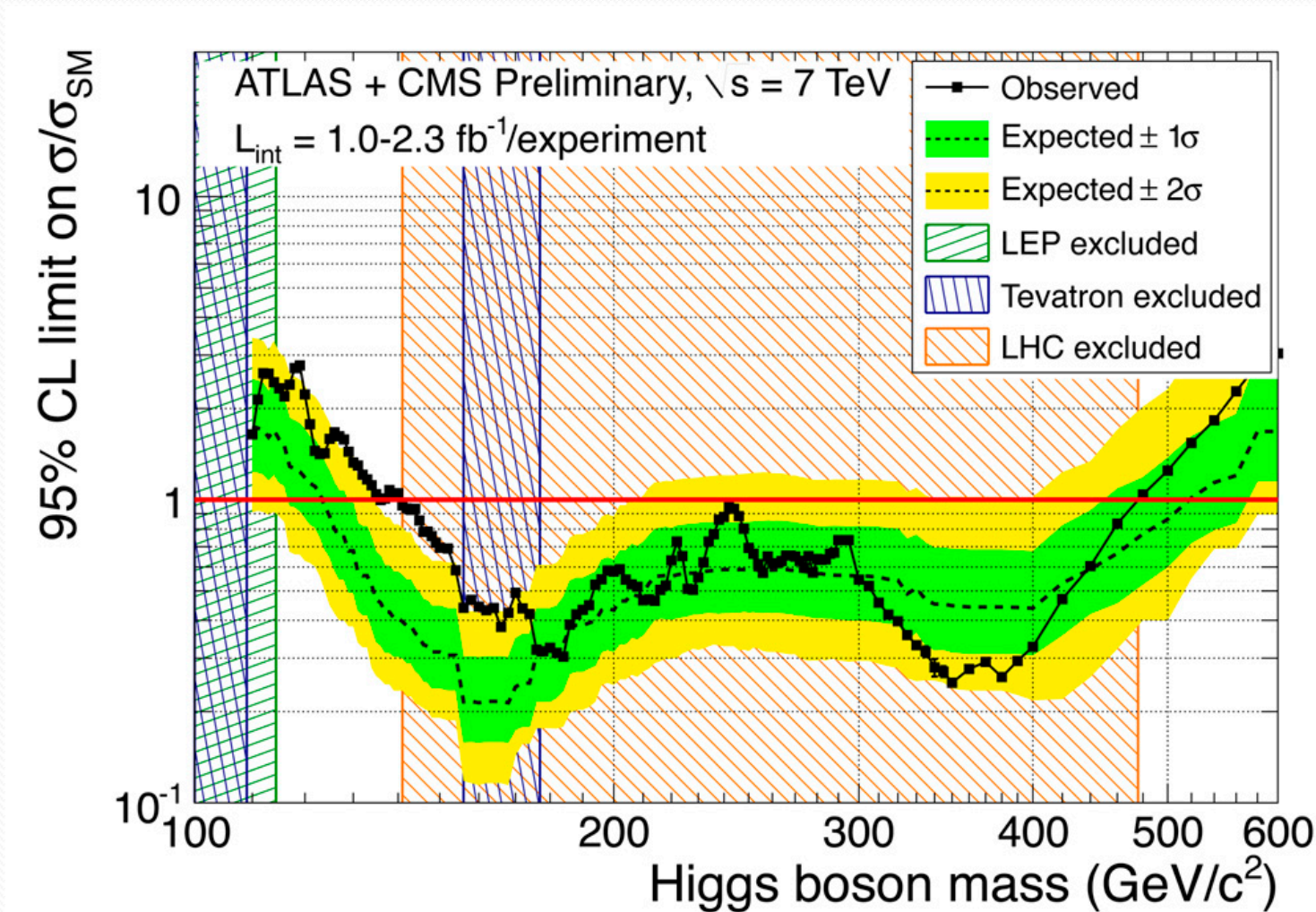
FINE



APPENDICE

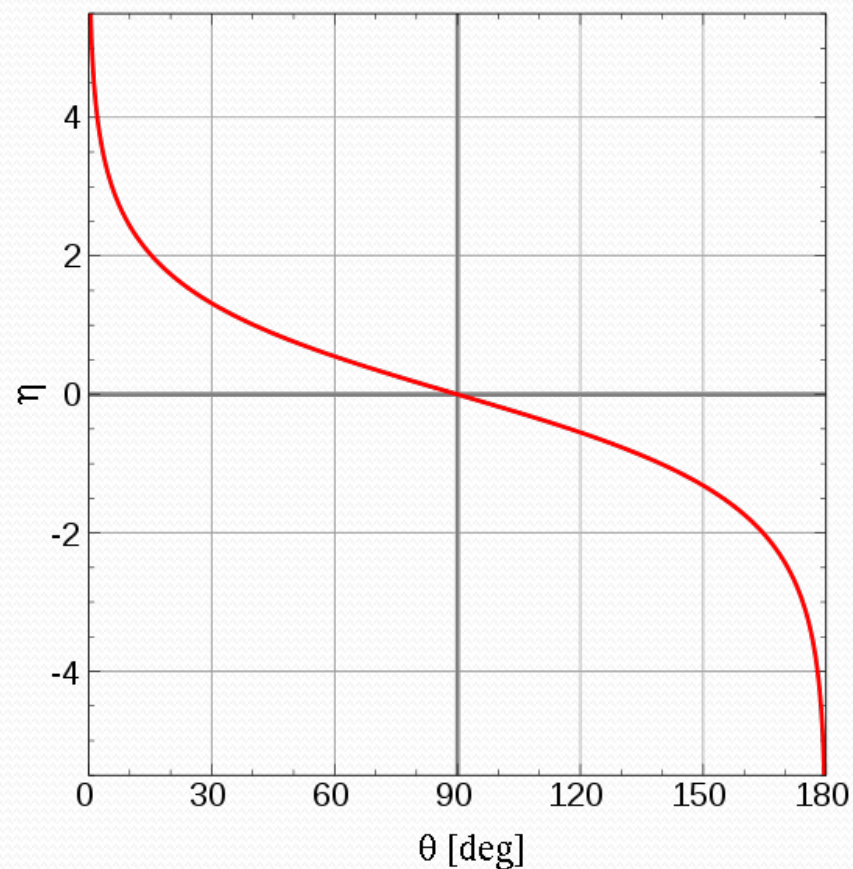


Range di massa esclusi a fine 2011



Distribuzione Gaussiana

- 68,3% = $P\{ \mu - \sigma < X < \mu + \sigma \}$
- 95,0% = $P\{ \mu - 1,96 \sigma < X < \mu + 1,96 \sigma \}$
- 95,5% = $P\{ \mu - 2 \sigma < X < \mu + 2 \sigma \}$
- 99,0% = $P\{ \mu - 2,58 \sigma < X < \mu + 2,58 \sigma \}$
- 99,7% = $P\{ \mu - 3 \sigma < X < \mu + 3 \sigma \}$



$$\sqrt{s} = \sqrt{c\mathbf{P}_{tot} \cdot c\mathbf{P}_{tot}} = \sqrt{\left(\sum_k E_k\right)^2 - \left|\sum_k \vec{p}_k\right|^2 c^2} = \sum_k E_k^* = E_{tot}^*$$

BIBLIOGRAFIA

- C. Dionisi, dispense del corso di Fisica Nucleare e Subnucleare II
- The ATLAS collaboration: Search for the standard model Higgs boson in the decay channel $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ with 4.8 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{S} = 7 \text{ TeV}$ with ATLAS (23 marzo 2012)
- The ATLAS collaboration: Expected performance of the ATLAS experiment (Search for the Standard Model $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$)
- www.atlas.ch