

$$H \rightarrow b\bar{b}$$
$$\text{ad}$$
$$e$$



Elisa Guido

- INFN Genova & CERN -

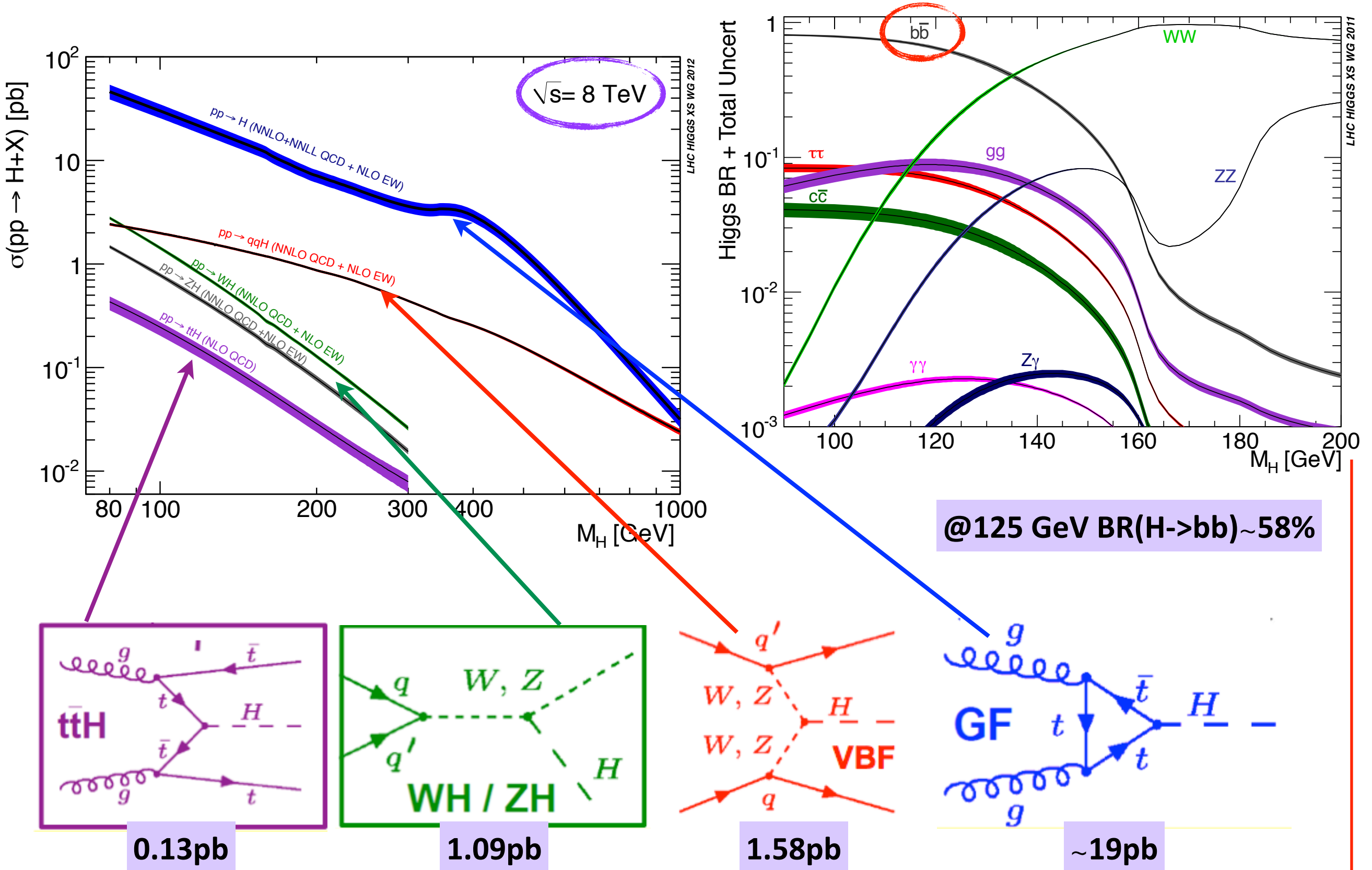
Andrea Rizzi

- Università di Pisa -

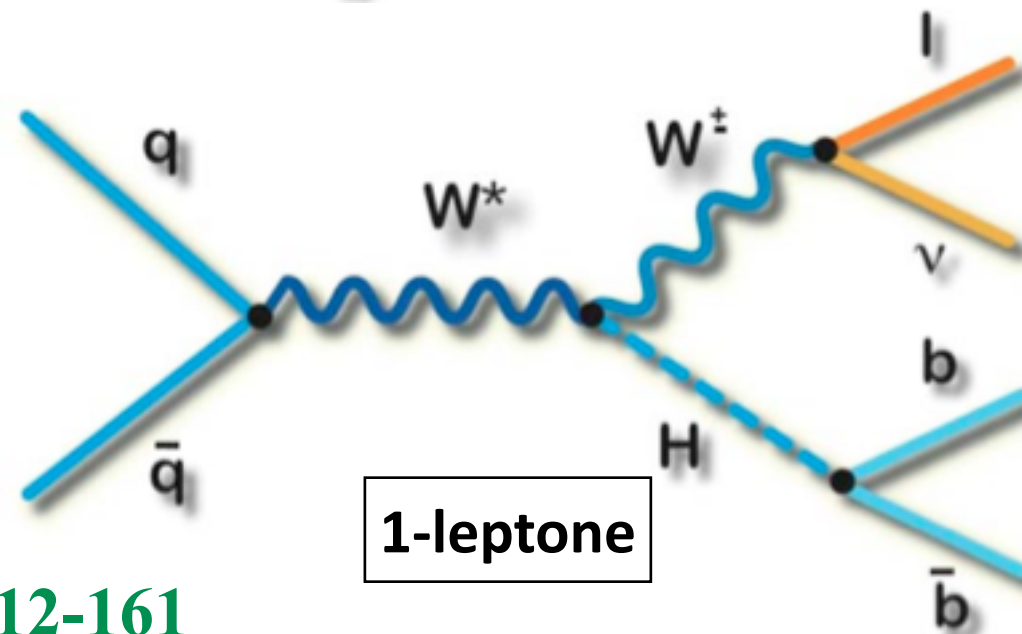
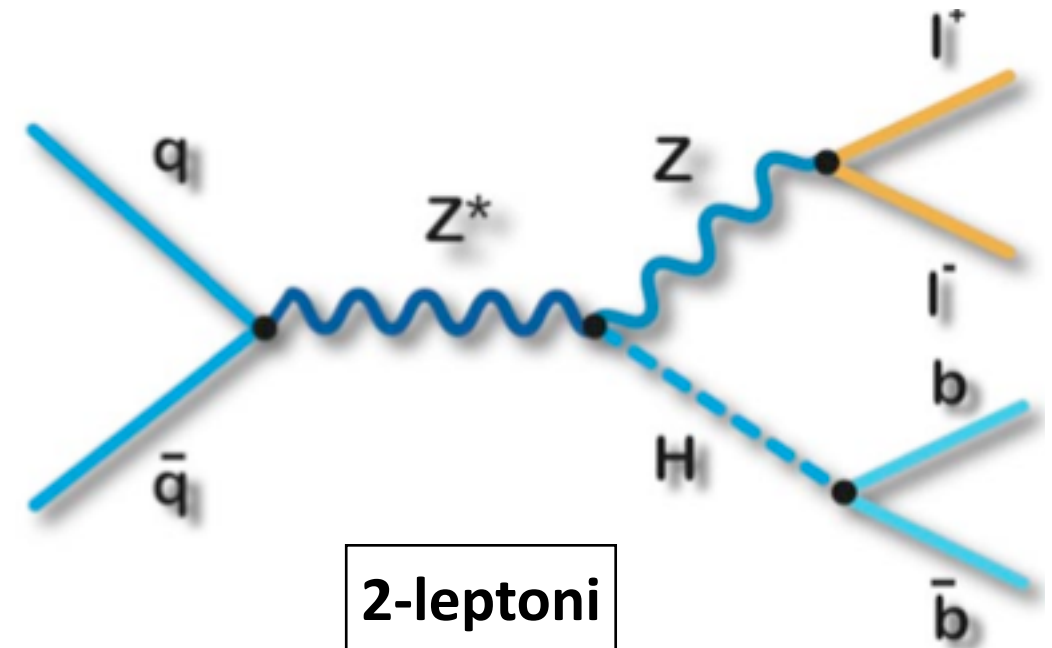
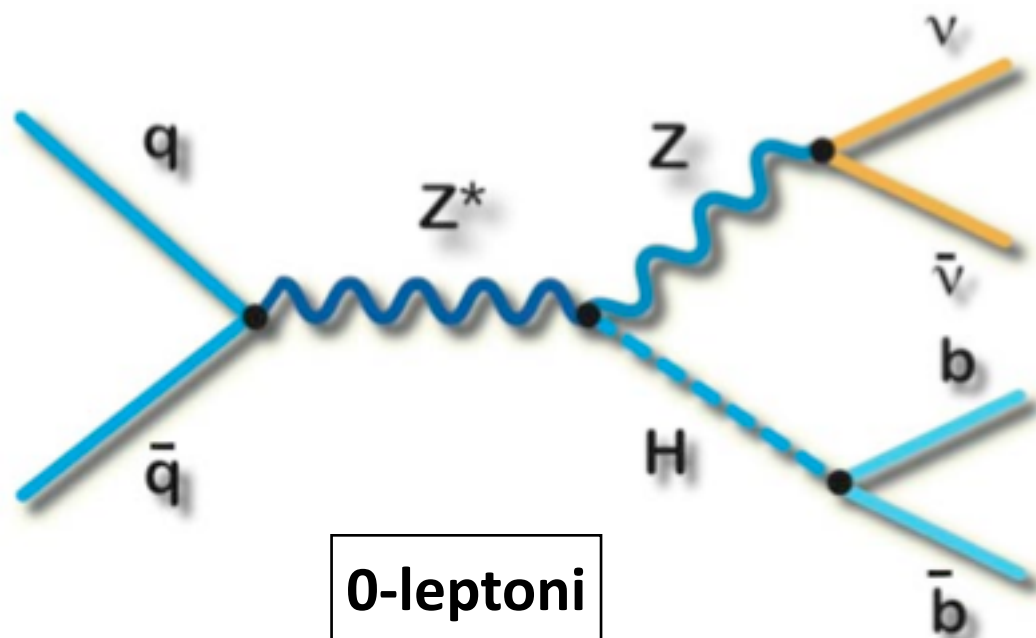
Motivazioni

- ✓ Osservato *un bosone “Higgs-like” a ~ 125 GeV*
- ✓ Aggiornamenti recenti dei risultati con l'intera statistica a disposizione, primi studi delle proprietà indirizzano verso una *compatibilità con il Modello Standard*
- ✓ Accessibile a LHC sia nel canale di decadimento bosonico sia in quello fermionico
 - ✓ Osservazione di *decadimento in fermioni* è cruciale per stabilire la compatibilità con il Modello Standard
 - ✓ ***Decadimento in coppie di quark b*** è dominante a questa massa

Sezioni d'urto e meccanismi di produzione



1. Analisi VH, $H \rightarrow b\bar{b}$

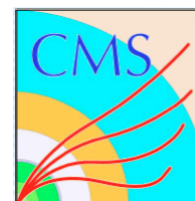


ATLAS-CONF-2012-161

CMS-HIG-12-044



4.7 fb⁻¹ (2011, 7 TeV)
13.0 fb⁻¹ (2012, 8 TeV)



5.0 fb⁻¹ (2011, 7 TeV)
12.1 fb⁻¹ (2012, 8 TeV)

Ricostruzione degli eventi

✓ **Trigger:** 0-leptoni: trigger di energia mancante (E_T^{miss}); 1-leptone: trigger di singolo leptone ad alto p_T (elettrone o μ); 2-leptoni: trigger di-leptonico ad alto p_T (elettroni o μ)

✓ **Jets:**

anti- k_T $R=0.4$, $p_{T1}(p_{T2}) > 45$ (20) GeV & $|\eta| < 2.5$

anti- k_T $R=0.5$ con particle flow, $p_T > 30$ GeV & $|\eta| < 2.5$

✓ **Higgs, identificato dalla presenza di 2 b-Jets centrali ($|\eta| < 2.5$):** 2 jets identificati come originati da un b, con algoritmo di b-tagging:

MV1, con ~70% di efficienza di b-tagging

CSV, con ~50 o ~70% di efficienza di b-tagging

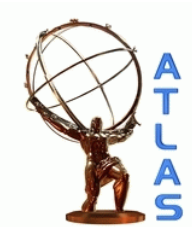
✓ **bosone vettore:** richieste su leptoni, energia mancante e/o massa del bosone vettore

0-leptoni: $E_T^{\text{miss}} > 120$ GeV

0-leptoni: $E_T^{\text{miss}} > 130$ GeV

1-leptone: 1 leptone ad alto p_T con criteri severi di identificazione

2-leptoni: 2 leptoni ad alto p_T con criteri di identificazione più rilasciati



Particolarità della selezione: ATLAS

✓ Per massimizzare la sensibilità, gli eventi oltre che in 0-, 1- e 2- leptoni, vegono suddivisi in diverse categorie in base al $p_T(V)$

-> 16 regioni di segnale:

6

0-lepton channel			
E_T^{miss} (GeV)	120-160	160-200	>200
$\Delta R(b, \bar{b})$	0.7-1.9	0.7-1.7	<1.5

5

1-lepton channel					
p_T^W (GeV)	0-50	50-100	100-150	150-200	>200
$\Delta R(b, \bar{b})$	>0.7			0.7-1.6	<1.4
E_T^{miss} (GeV)	> 25				> 50
m_T^W (GeV)	> 40			-	

5

2-lepton channel					
p_T^Z (GeV)	0-50	50-100	100-150	150-200	>200
$\Delta R(b, \bar{b})$	>0.7			0.7-1.8	<1.6

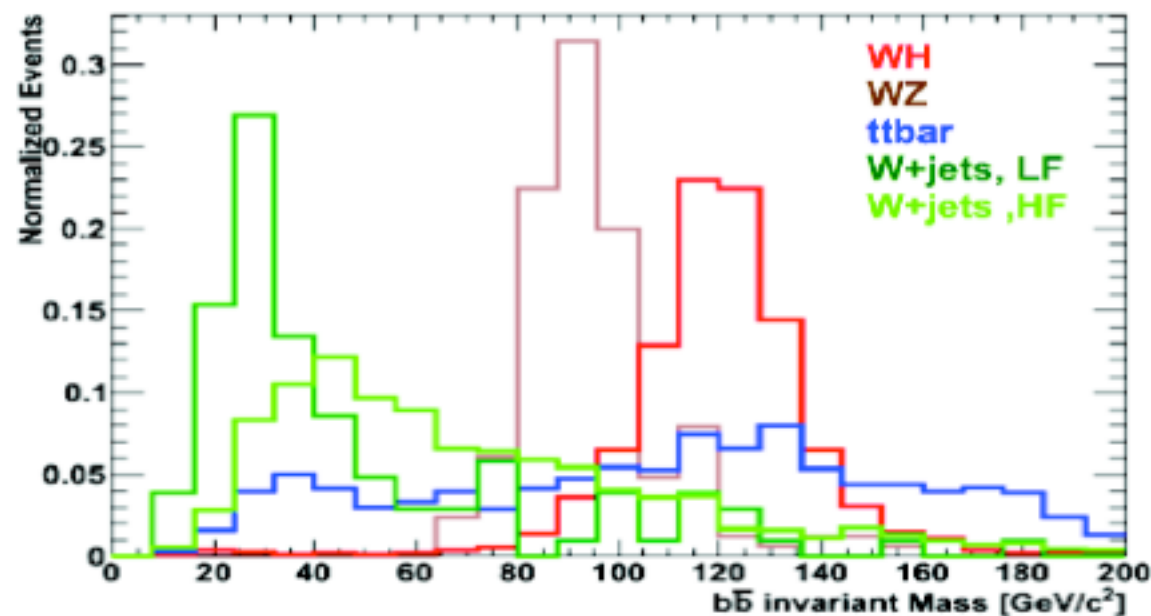
con 2 jets

con 3 jets

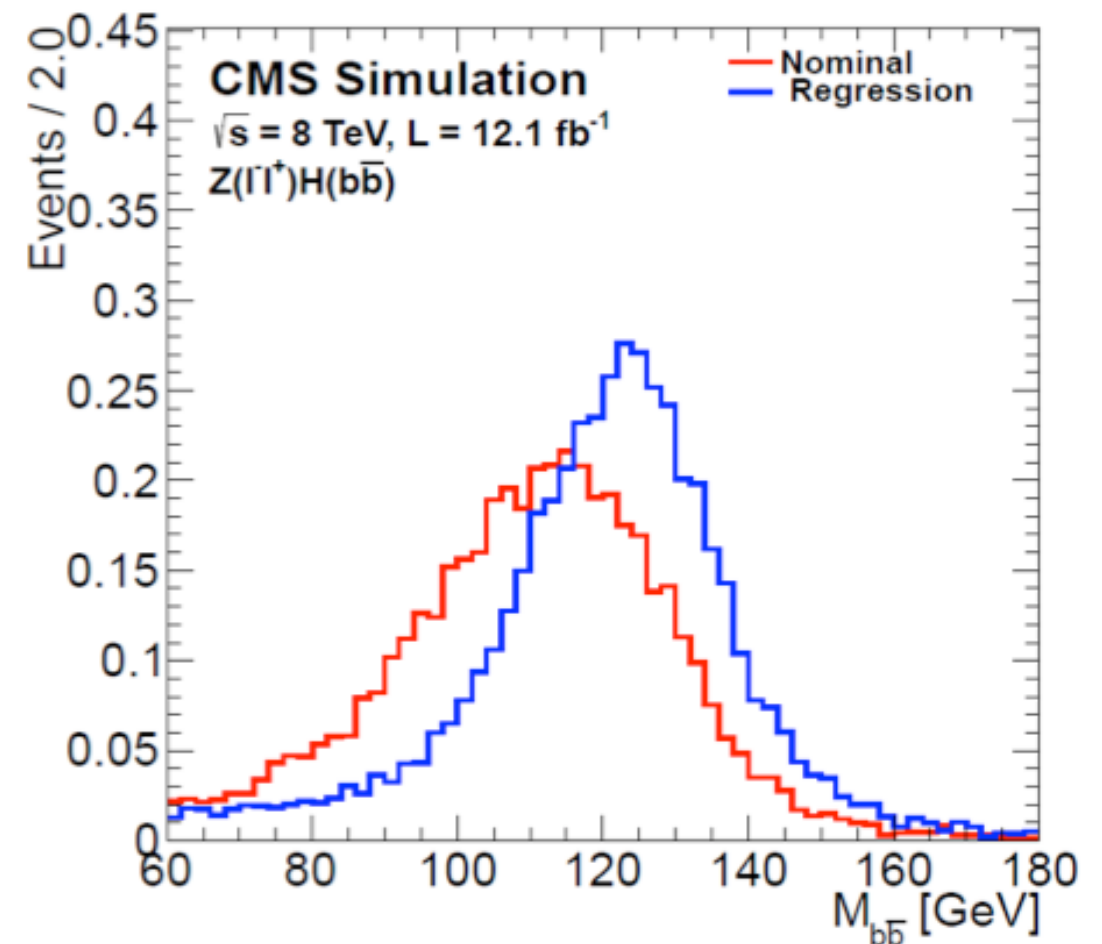
- ✓ Risoluzione del b-jet migliorata aggiungendo l'energia del μ e correggendo in base al p_T^{reco} atteso
- ✓ Analisi "a tagli"
- ✓ Risultato finale ottenuto con un profile likelihood fit a m_{bb}

Particolarità della selezione: CMS

- ✓ Gli eventi a 0-, 1- e 2-leptoni sono divisi ciascuno in 2 regioni di “basso” e “alto $p_T(V)$ ”
- ✓ Ulteriori categorie per eventi a 0- e 1-leptoni con alto $p_T(V)$: richiesta meno severa sull'identificazione del secondo b-jet
- ✓ Analisi multivariata (BDT):
 - ✓ numerose variabili in input
 - ✓ set di input e training separati per ciascuna categoria
 - ✓ tra le variabili più discriminanti: $p_T(V)$, variabile di b-tagging, jets aggiuntivi nell'evento, m_{bb}
- ✓ Risoluzione della massa dell'Higgs migliorata applicando una regressione BDT all'energia del jet (fattore di miglioramento $\sim 15\%$)



- ✓ Risultato finale ottenuto con un fit all'output del BDT



- segnale WH, ZH
- di-bosoni WW, WZ, ZZ
- multijets
- ttbar
- single top
- W+b
- W+c, W+light
- Z+b, Z+c
- Z+light

Pythia8/6 (8/7 TeV)
 Herwig
 data driven
 MC@NLO
 AcerMC(t), MC@NLO(s,Wt)
 Powheg
 Alpgen
 Sherpa
 Sherpa/Alpgen (8/7 TeV)

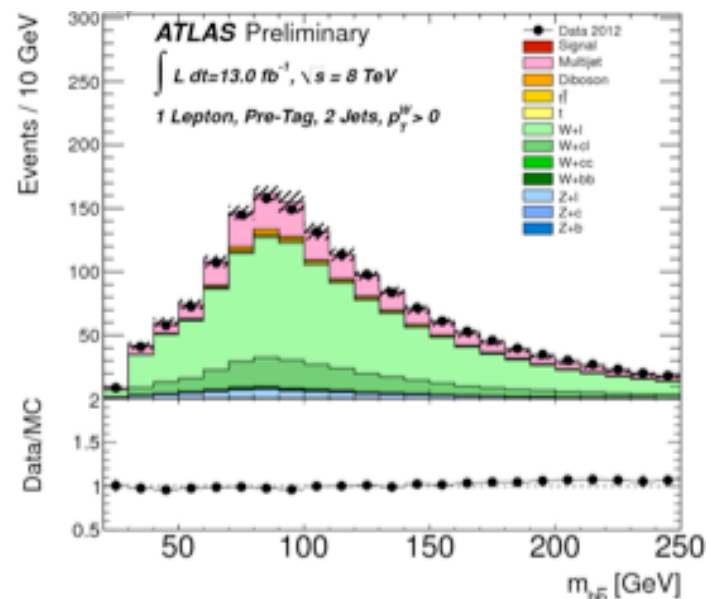
Powheg+Herwig
 Pythia6
 Pythia6
 Madgraph
 Powheg
 Madgraph
 Madgraph
 Madgraph
 Madgraph

- Regioni di controllo sui dati per i fondi più importanti

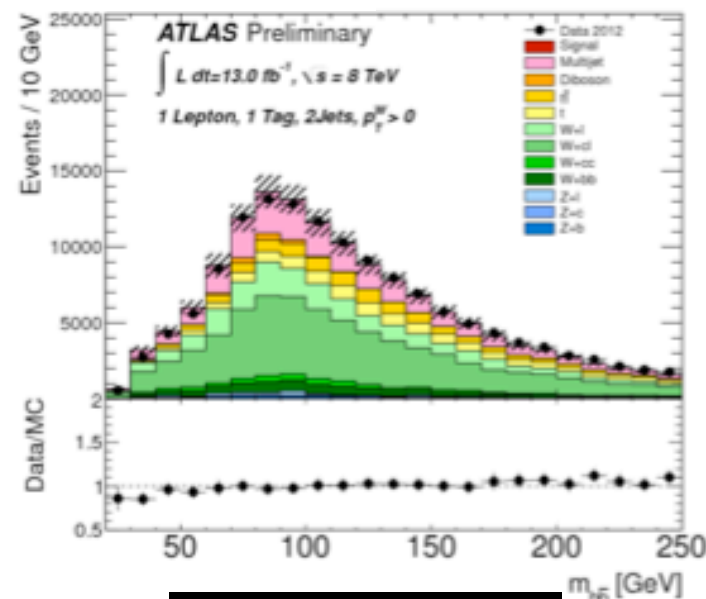
- Dibosoni: forma e normalizzazione dal MC
- QCD multijets: data-driven
 - 0-lep: metodo 'ABCD' con $\min[\Delta\phi(E_T^{\text{miss}}, \text{jets})]$ e $\Delta\phi(E_T^{\text{miss}}, p_T^{\text{miss}})$
 - 1-lep: inversione dell'isolamento del leptone e fit a E_T^{miss}
 - 2-lep: identificazione di leptone meno severa, inversione dell'isolamento del leptone, fit a m_{ll}
- altri: forma dal MC, normalizzazione da fit in regioni di controllo sui dati

Regioni di controllo del fondo (ATLAS)

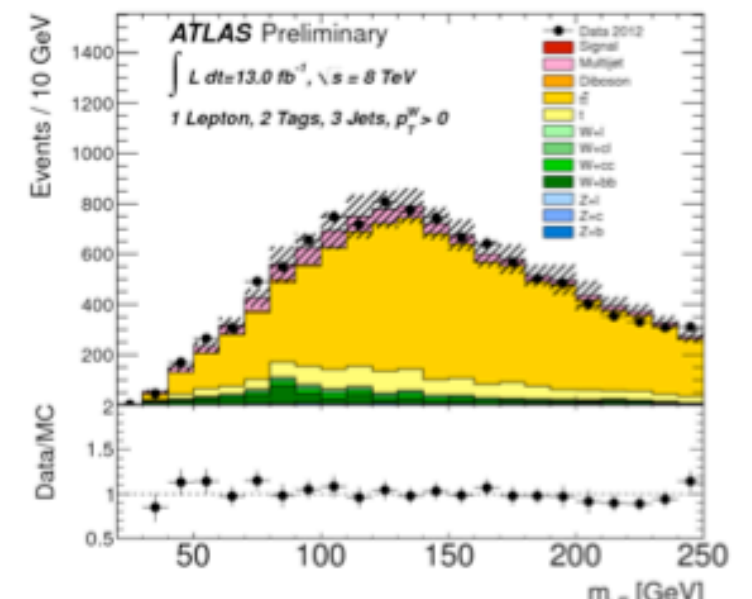
Esempio: regioni di controllo per eventi a 1-leptone



senza b-tag -> **W+light**



1 b-tag -> **W+c**

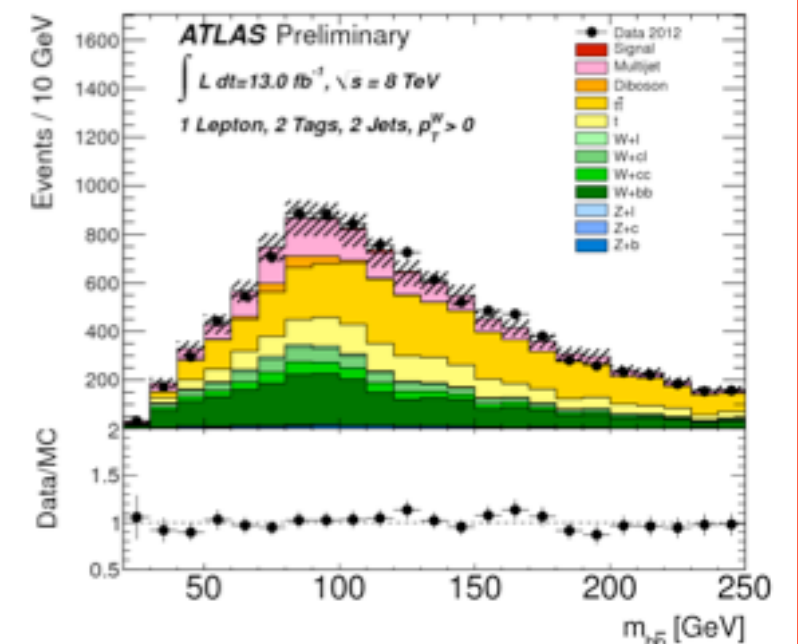


2 b-tag, 3 jets -> **top**

Fattori di scala del MC:

	$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$	$\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$
$Z + c$	$1.99 \pm 0.51^*$	0.71 ± 0.23
$Z + \text{light}$	0.91 ± 0.12	0.98 ± 0.11
$W + c$	1.04 ± 0.23	1.04 ± 0.24
$W + \text{light}$	1.03 ± 0.08	1.01 ± 0.14

2 b-tag, 2 jets -> **signal region**



* diversi generatori tra 2011 e 2012, compensa componente charm da Z+light parton shower mancante in Alpgen

Regioni di controllo del fondo (CMS)



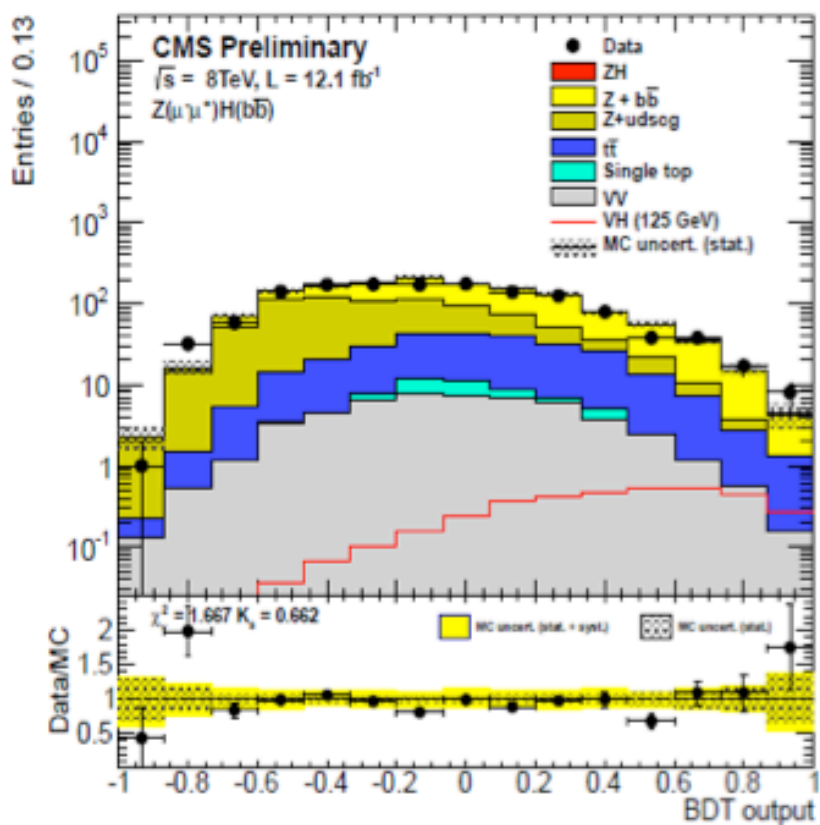
- ✓ Regioni di controllo con diversi scopi:
 - ✓ fattori di scala MC/dati per i fondi principali
 - ✓ test del BDT (forma e correlazione delle variabili di input, forma della variabile di output)
- ✓ Definite con inversione di tagli (b-tagging, boost, veto di finestre di massa)
- ✓ Fattori di scala diversi per le diverse categorie
- ✓ Eccellente accordo dati/MC per il BDT

Process	W($\ell\nu$)H	W($\ell\nu$)H	Z($\ell\ell$)H	Z($\ell\ell$)H	Z($\nu\nu$)H	Z($\nu\nu$)H
Low p_T	7 TeV	8 TeV	7 TeV	8 TeV	7 TeV	8 TeV
W + udscg	$0.88 \pm 0.01 \pm 0.03$	$1.01 \pm 0.02 \pm 0.01$	–	–	$0.89 \pm 0.01 \pm 0.03$	$0.96 \pm 0.06 \pm 0.03$
Wb $\bar{b}$	$1.91 \pm 0.14 \pm 0.31$	$2.07 \pm 0.15 \pm 0.10$	–	–	$1.36 \pm 0.10 \pm 0.15$	$1.30 \pm 0.17 \pm 0.10$
Z + udscg	–	–	$1.11 \pm 0.03 \pm 0.11$	$1.10 \pm 0.02 \pm 0.06$	$0.87 \pm 0.01 \pm 0.03$	$1.15 \pm 0.07 \pm 0.03$
Zb $\bar{b}$	–	–	$0.98 \pm 0.05 \pm 0.12$	$1.08 \pm 0.04 \pm 0.08$	$0.96 \pm 0.02 \pm 0.03$	$1.12 \pm 0.10 \pm 0.04$
t $\bar{t}$	$0.93 \pm 0.02 \pm 0.05$	$1.07 \pm 0.01 \pm 0.01$	$1.03 \pm 0.04 \pm 0.11$	$1.01 \pm 0.02 \pm 0.06$	$0.97 \pm 0.02 \pm 0.04$	$1.05 \pm 0.07 \pm 0.03$
High p_T	7 TeV	8 TeV	7 TeV	8 TeV	7 TeV	8 TeV
W + udscg	$0.79 \pm 0.01 \pm 0.02$	$0.94 \pm 0.02 \pm 0.01$	–	–	$0.78 \pm 0.02 \pm 0.03$	$0.95 \pm 0.05 \pm 0.02$
Wb $\bar{b}$	$1.49 \pm 0.14 \pm 0.19$	$1.72 \pm 0.16 \pm 0.08$	–	–	$1.48 \pm 0.15 \pm 0.20$	$1.27 \pm 0.18 \pm 0.10$
Z + udscg	–	–	$1.11 \pm 0.03 \pm 0.11$	$1.10 \pm 0.02 \pm 0.06$	$0.97 \pm 0.02 \pm 0.04$	$1.04 \pm 0.07 \pm 0.02$
Zb $\bar{b}$	–	–	$0.98 \pm 0.05 \pm 0.12$	$1.08 \pm 0.04 \pm 0.08$	$1.08 \pm 0.09 \pm 0.06$	$1.15 \pm 0.10 \pm 0.04$
t $\bar{t}$	$0.84 \pm 0.02 \pm 0.03$	$0.99 \pm 0.01 \pm 0.01$	$1.03 \pm 0.04 \pm 0.11$	$1.01 \pm 0.02 \pm 0.06$	$0.97 \pm 0.02 \pm 0.04$	$1.03 \pm 0.07 \pm 0.03$

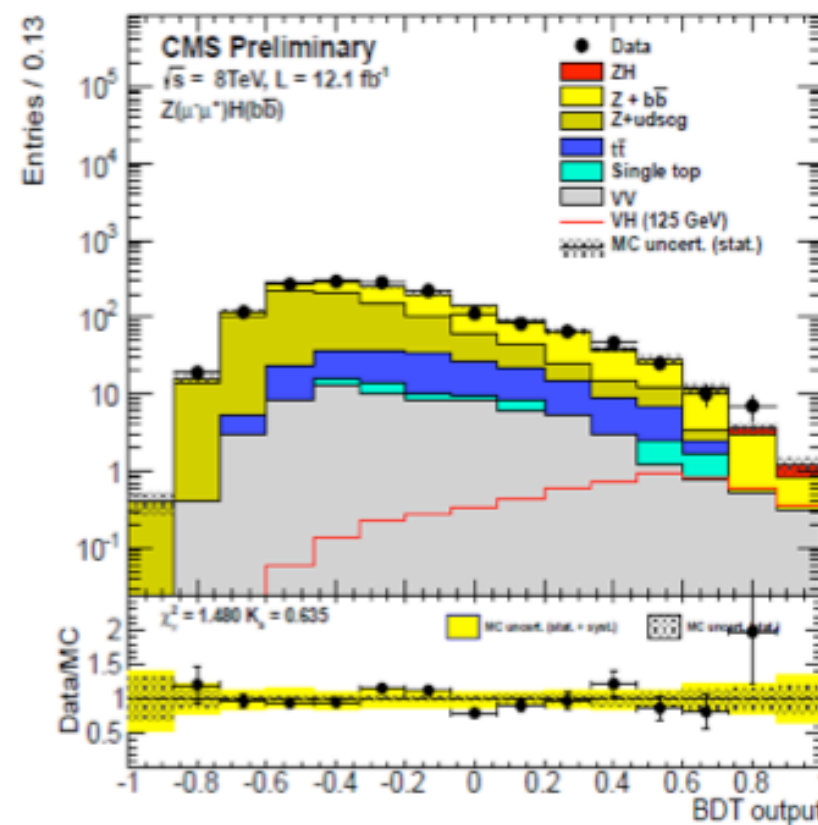
Regioni di controllo del fondo (CMS)



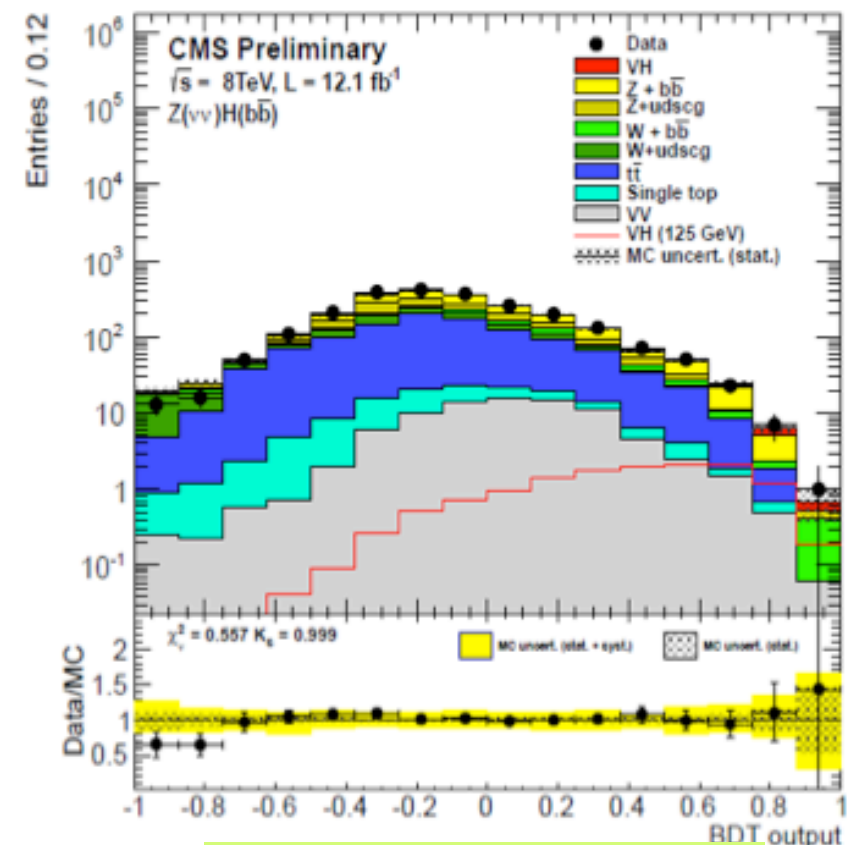
- ✓ Regioni di controllo con diversi scopi:
 - ✓ fattori di scala MC/dati per i fondi principali
 - ✓ test del BDT (forma e correlazione delle variabili di input, forma della variabile di output)
- ✓ Definite con inversione di tagli (b-tagging, boost, veto di finestre di massa)
- ✓ Fattori di scala diversi per le diverse categorie
- ✓ Eccellente accordo dati/MC per il BDT



2-leptoni (μ) basso $p_T(V)$



2-leptoni (μ) alto $p_T(V)$



0-leptoni alto $p_T(V)$

segnale

Uncertainty [%]	0 lepton		1 lepton	2 leptons
	ZH	WH	WH	ZH
<i>b</i> -tagging	8.9	9.0	8.8	8.6
Jet/Pile-up/ E_T^{miss}	19	25	6.7	4.2
Lepton	0.0	0.0	2.1	1.8
$H \rightarrow bb$ BR	3.3	3.3	3.3	3.3
VH p_T -dependence	5.3	8.1	7.6	5.0
VH theory PDF	3.5	3.5	3.5	3.5
VH theory scale	1.6	0.4	0.4	1.6
Statistical	4.9	18	4.1	2.6
Luminosity	3.6	3.6	3.6	3.6
Total	24	34	16	13

8 TeV

fondo

Uncertainty [%]	0 lepton	1 lepton	2 leptons
<i>b</i> -tagging	6.5	6.0	6.9
<i>c</i> -tagging	7.3	6.4	3.6
light tagging	2.1	2.2	2.8
Jet/Pile-up/ E_T^{miss}	20	7.0	5.4
Lepton	0.0	2.1	1.8
Top modelling	2.7	4.1	0.5
<i>W</i> modelling	1.8	5.4	0.0
<i>Z</i> modelling	2.8	0.1	4.7
Diboson	0.8	0.3	0.5
Multijet	0.6	2.6	0.0
Luminosity	3.6	3.6	3.6
Statistical	8.3	3.6	6.6
Total	25	15	14

segnale + fondo

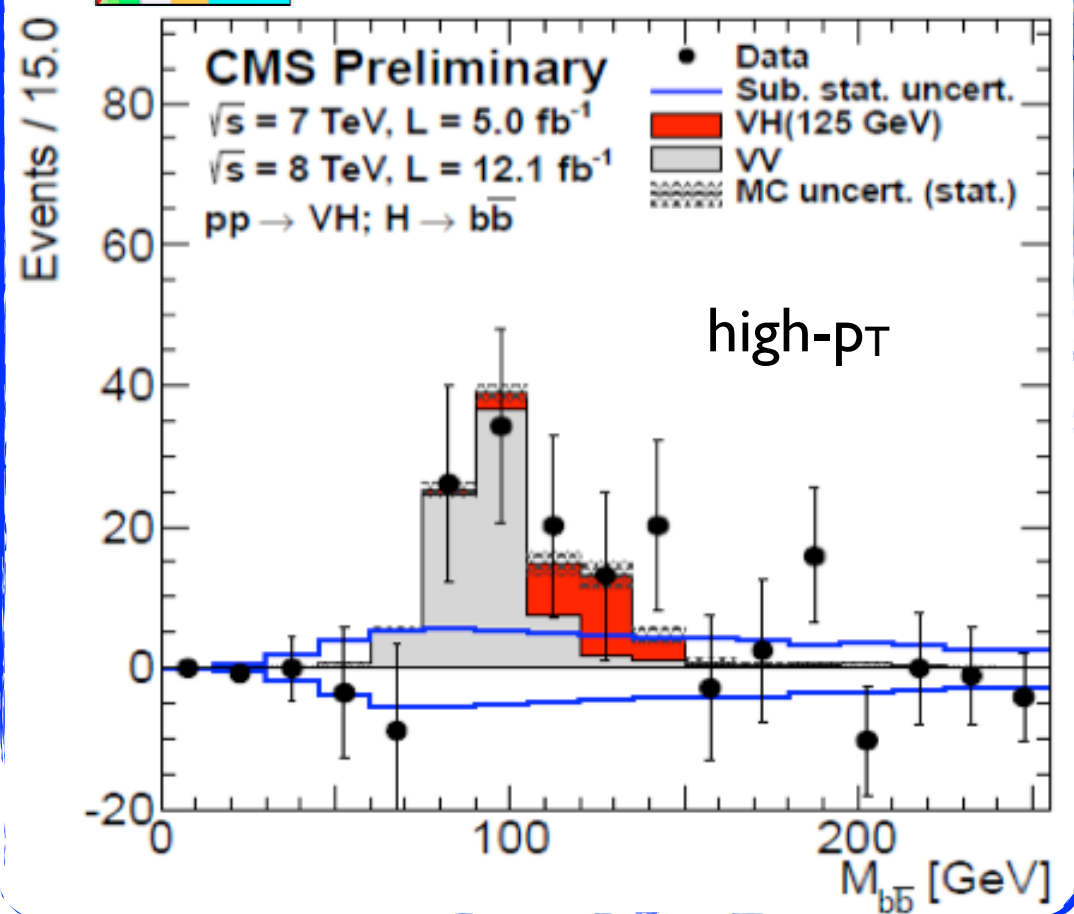
Source	Range
Luminosity	2.2-4.4%
Lepton efficiency and trigger (per lepton)	3%
$Z(\nu\nu)H$ triggers	3%
Jet energy scale	2-3%
Jet energy resolution	3-6%
Missing transverse energy	3%
<i>b</i> -tagging	3-15%
Signal cross section (scale and PDF)	4%
Signal cross section (p_T boost, EWK/QCD)	5-10% / 10%
Signal Monte Carlo statistics	1-5%
Backgrounds (data estimate)	$\approx 10\%$
Single-top (simulation estimate)	15-30%
Dibosons (simulation estimate)	30%

7-8 TeV

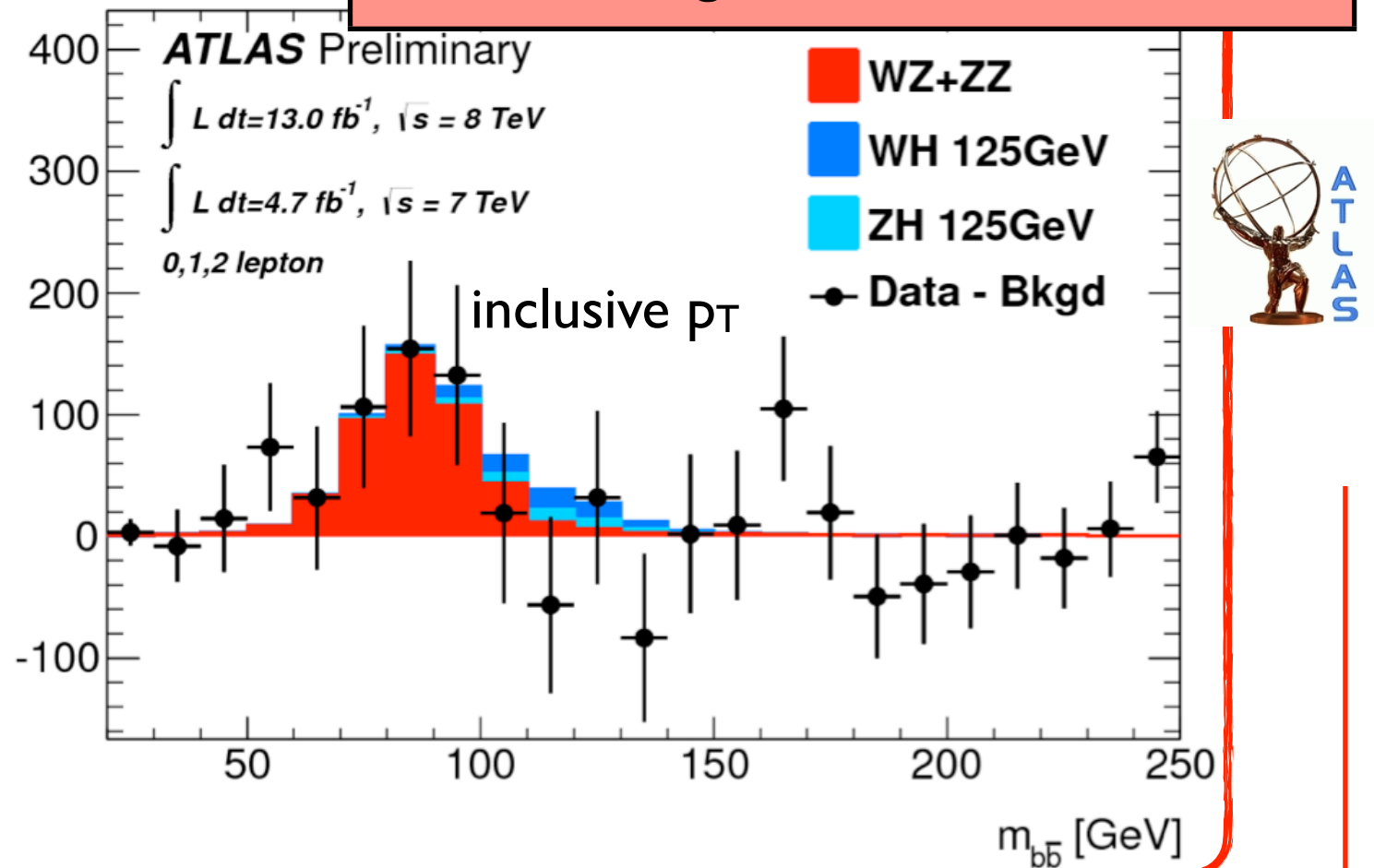
✓ Sistematiche trattate come parametri di nuisance nel fit finale

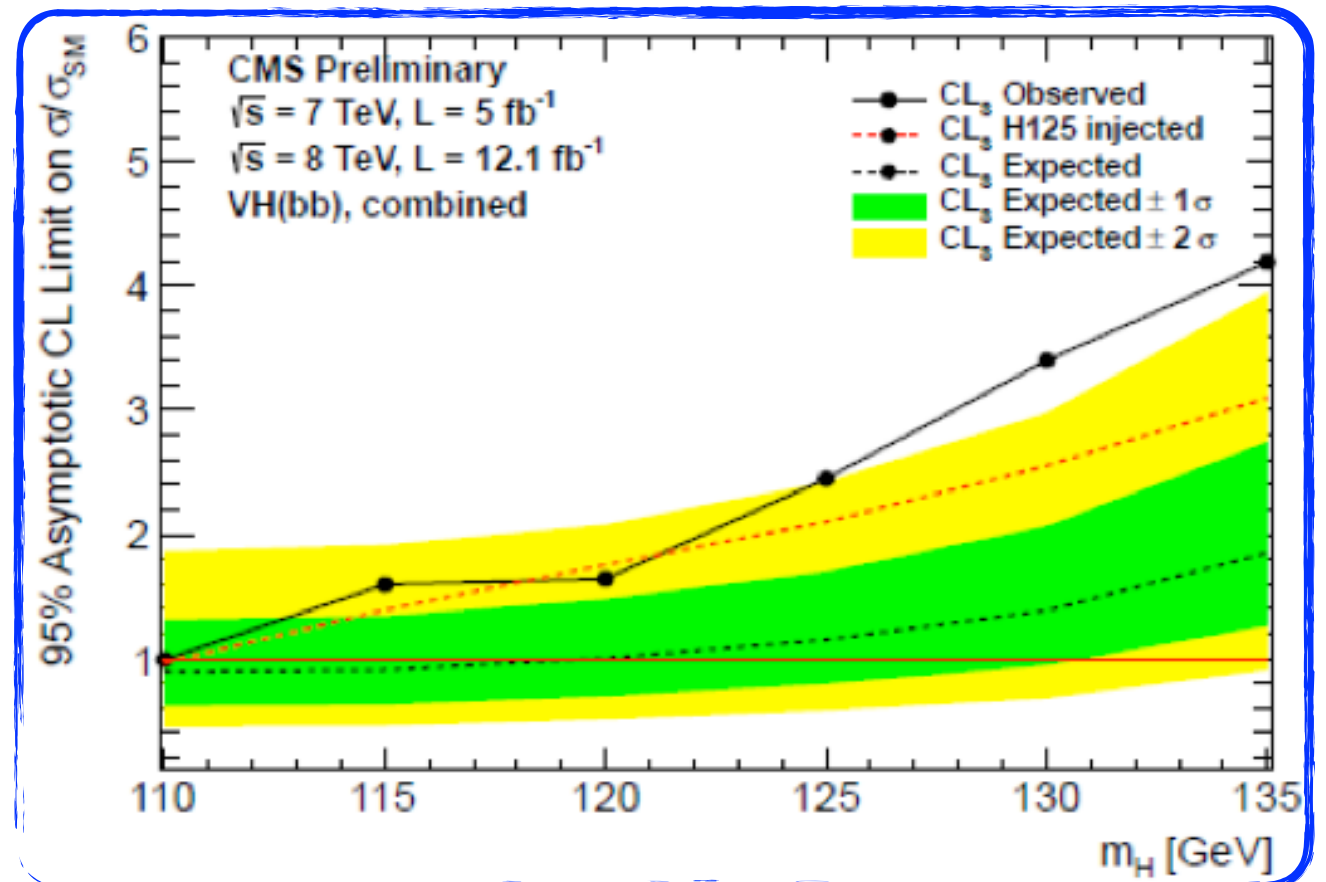
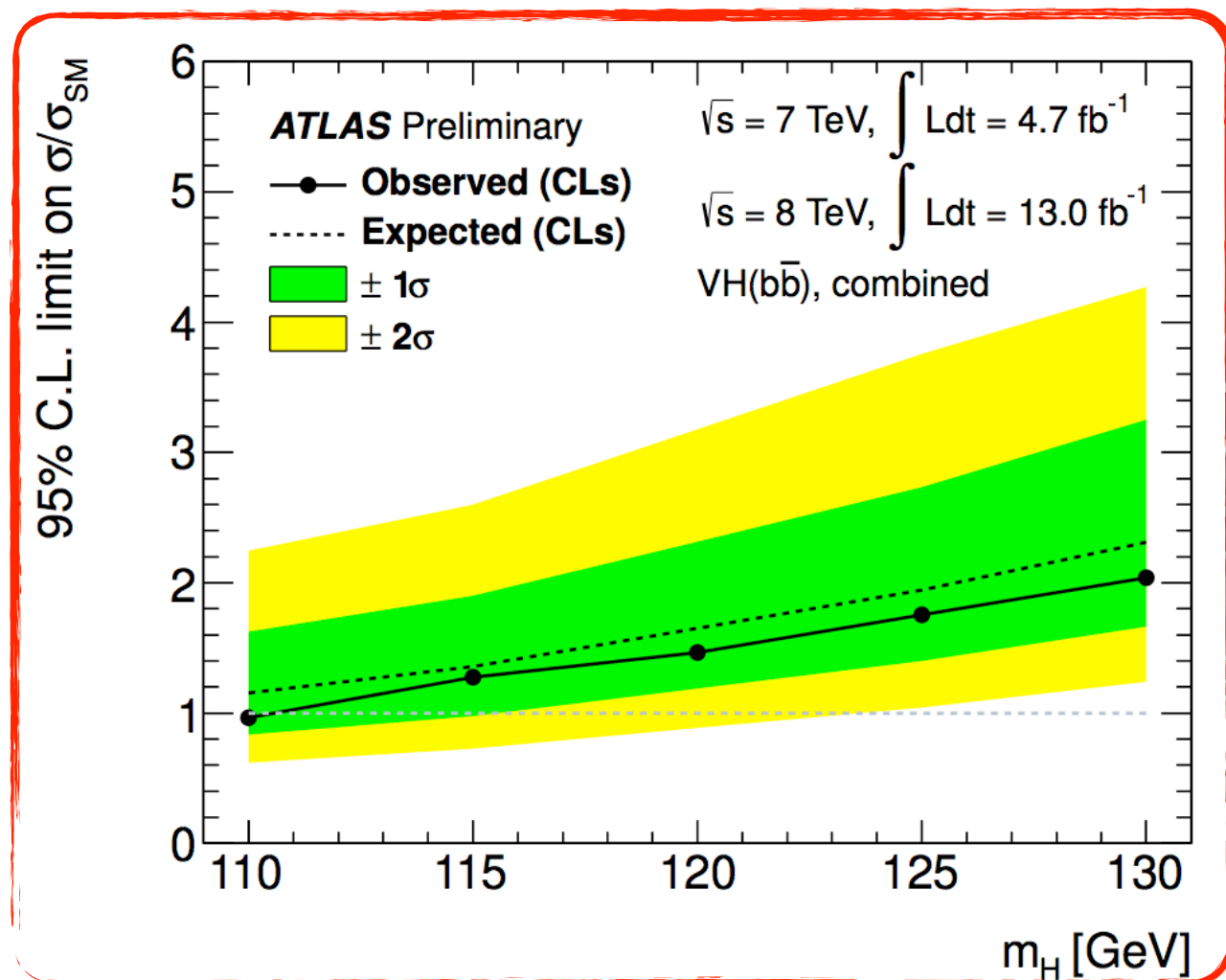
Osservazione segnale di dibosone

- ✓ VZ(bb) segnale noto e con 5X sezione d'urto
- ✓ validazione della strategia di ricerca dell'Higgs, e della stima del fondo
- ✓ sottrazione dei fondi, ad eccezione dei segnali di dibosone e di Higgs
- ✓ chiaro picco visibile in entrambi gli esperimenti, buon accordo con quanto atteso nello SM



$\mu_D = 1.09 \pm 0.20 \text{ (stat.)} \pm 0.22 \text{ (syst.)}$
 significanza 4.0σ

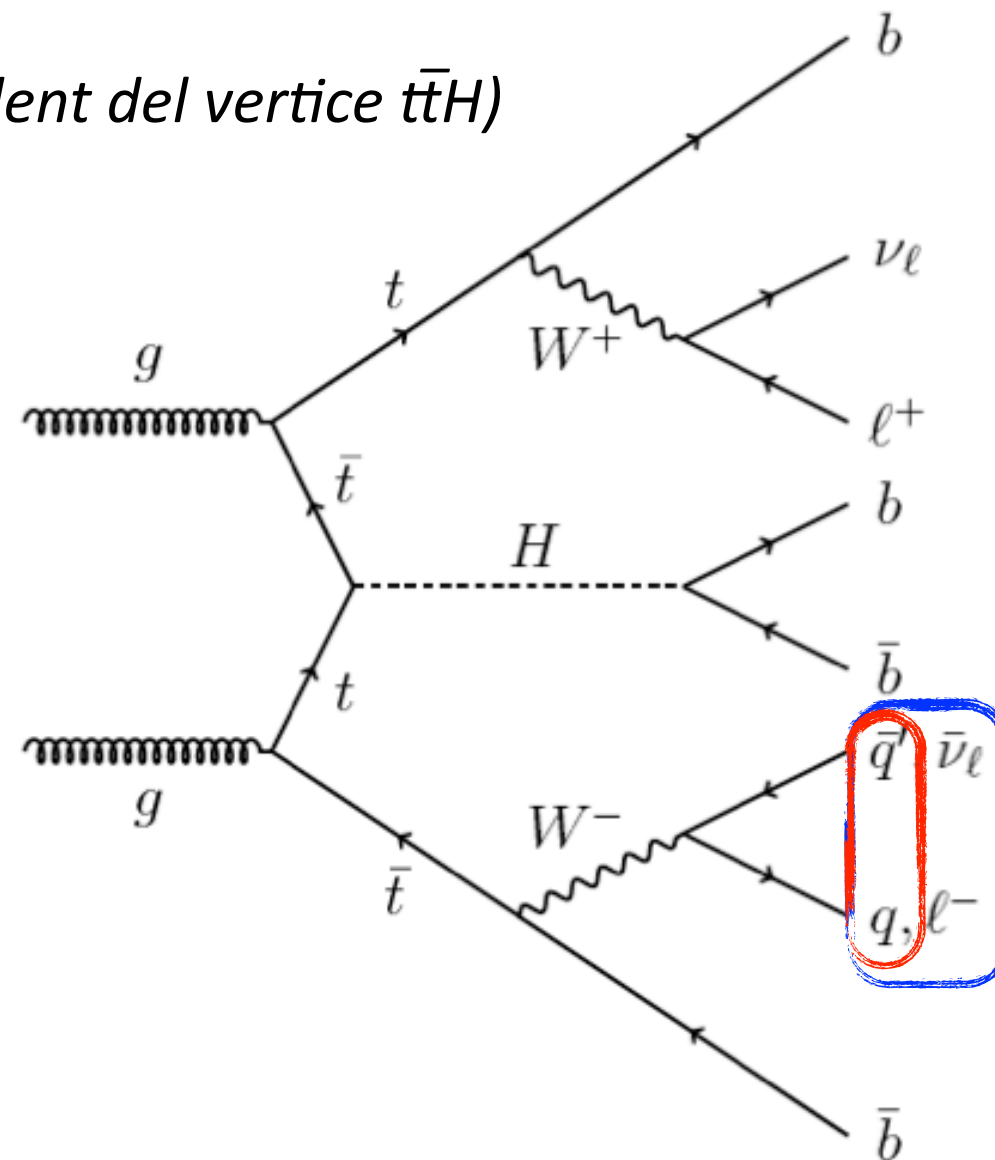




@ $m_H=125 \text{ GeV}$	ATLAS	CMS
limite CL _s atteso su σ/σ_{SM}	1.9	1.15
limite CL _s osservato su σ/σ_{SM}	1.8	2.45
$\mu (\sigma/\sigma_{SM})$	$-0.4 \pm 0.7 \text{ (stat.)} \pm 0.8 \text{ (syst.)}$	$1.3^{+0.7}_{-0.67}$
$p_0 \text{ obs (exp)}$	0.64 (0.15)	
std dev eccesso obs (exp)		2.2 (2.1)

2. Analisi $t\bar{t}H$, $H \rightarrow b\bar{b}$

(misura model-independent del vertice $t\bar{t}H$)



ATLAS-CONF-2012-135

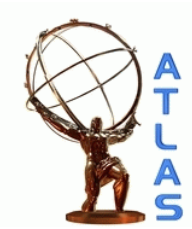


4.7 fb⁻¹ (2011, 7 TeV)

CMS-PH-EP-2013-027
arXiv:1303.0763v1



5.0 fb⁻¹ (2011, 7 TeV)
5.1 fb⁻¹ (2012, 8 TeV)



Strategia di analisi



- ✓ Eventi caratterizzati da 1 (o 2) leptoni ad alto p_T , grande E_T^{miss} , alta molteplicità di jets, di cui molti b
- ✓ **Trigger:** singolo elettrone o muone o combinazioni di elettroni e muoni
- ✓ Suddivisione in categorie a seconda della molteplicità di jets e di b-jets

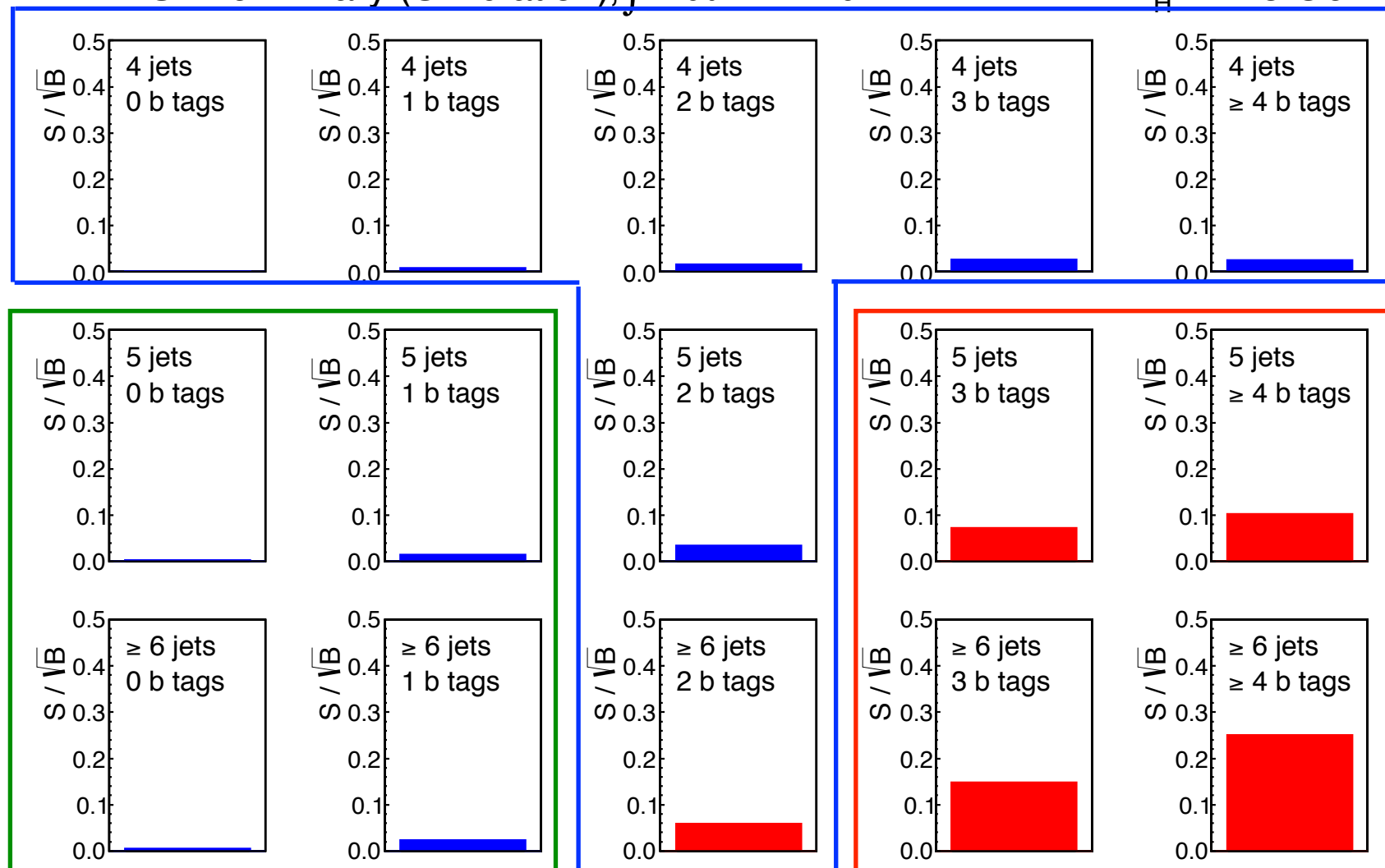
Strategia di analisi (ATLAS)

- ✓ Eventi caratterizzati da 1 (o 2) leptoni ad alto p_T , grande E_T^{miss} , alta molteplicità di jets, di cui molti b
- ✓ **Trigger:** singolo elettrone o muone o combinazioni di elettroni e muoni
- ✓ Suddivisione in categorie a seconda della molteplicità di jets e di b-jets

ATLAS Preliminary (Simulation), $\int L dt = 4.7 \text{ fb}^{-1}$

$m_H = 125 \text{ GeV}$

$S/\sqrt{B} > 5\%$
 $S/\sqrt{B} < 5\%$



— regioni segnale
— regioni di fondo
— regioni di cross-check

Strategia di analisi e fondi principali (CMS)



- ✓ Eventi caratterizzati da 1 (o 2) leptoni ad alto p_T , grande E_T^{miss} , alta molteplicità di jets, di cui molti b
- ✓ **Trigger:** singolo elettrone o muone o combinazioni di elettroni e muoni
- ✓ Suddivisione in categorie a seconda della molteplicità di jets e di b-jets

- ✓ Categorizzazione in base a numero di jets e b-jets:

- ✓ 7 categorie per eventi a 1-leptone

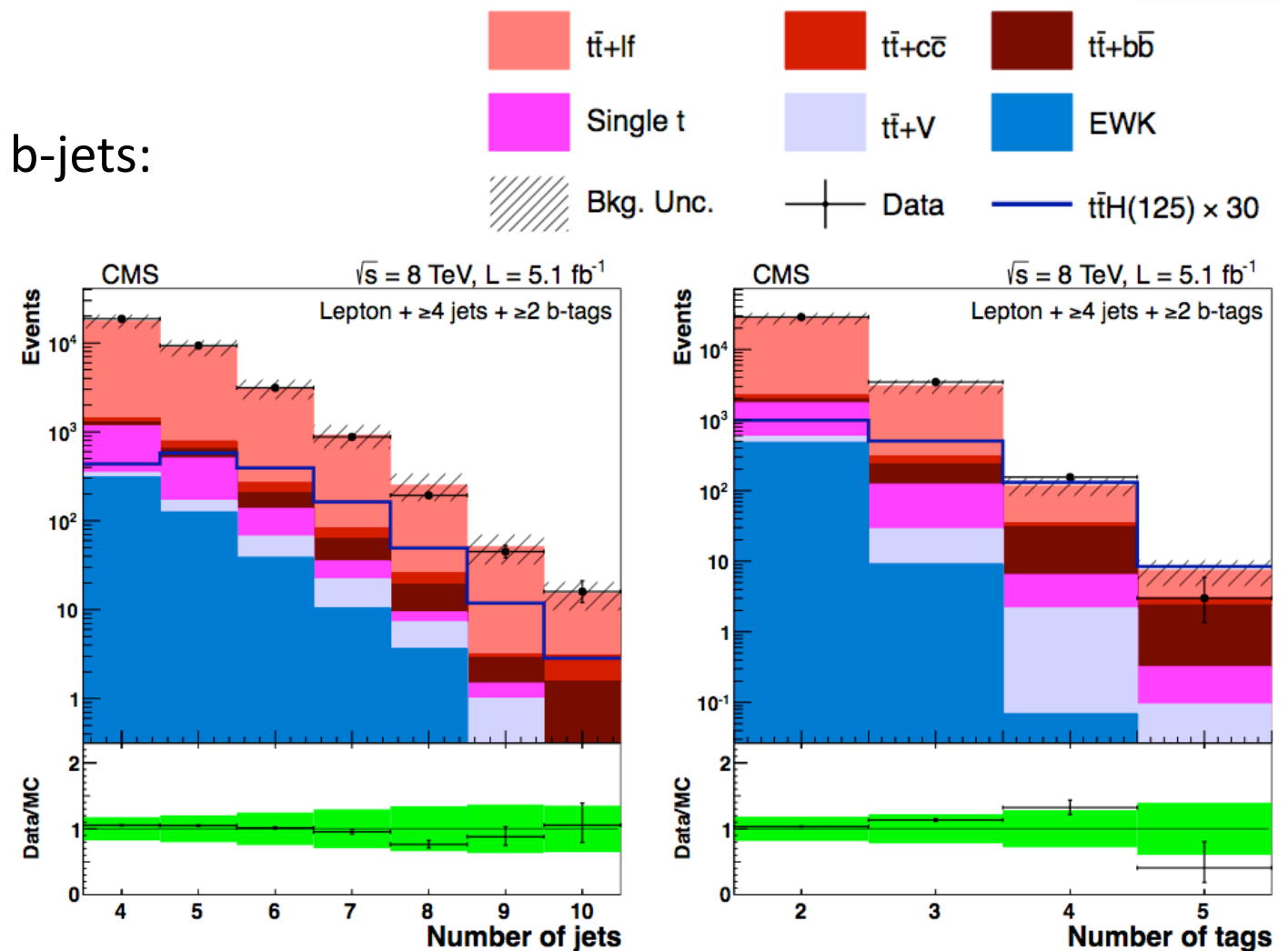
- ✓ 2 categorie per eventi a 2-leptoni

- ✓ maggiore sensibilità in

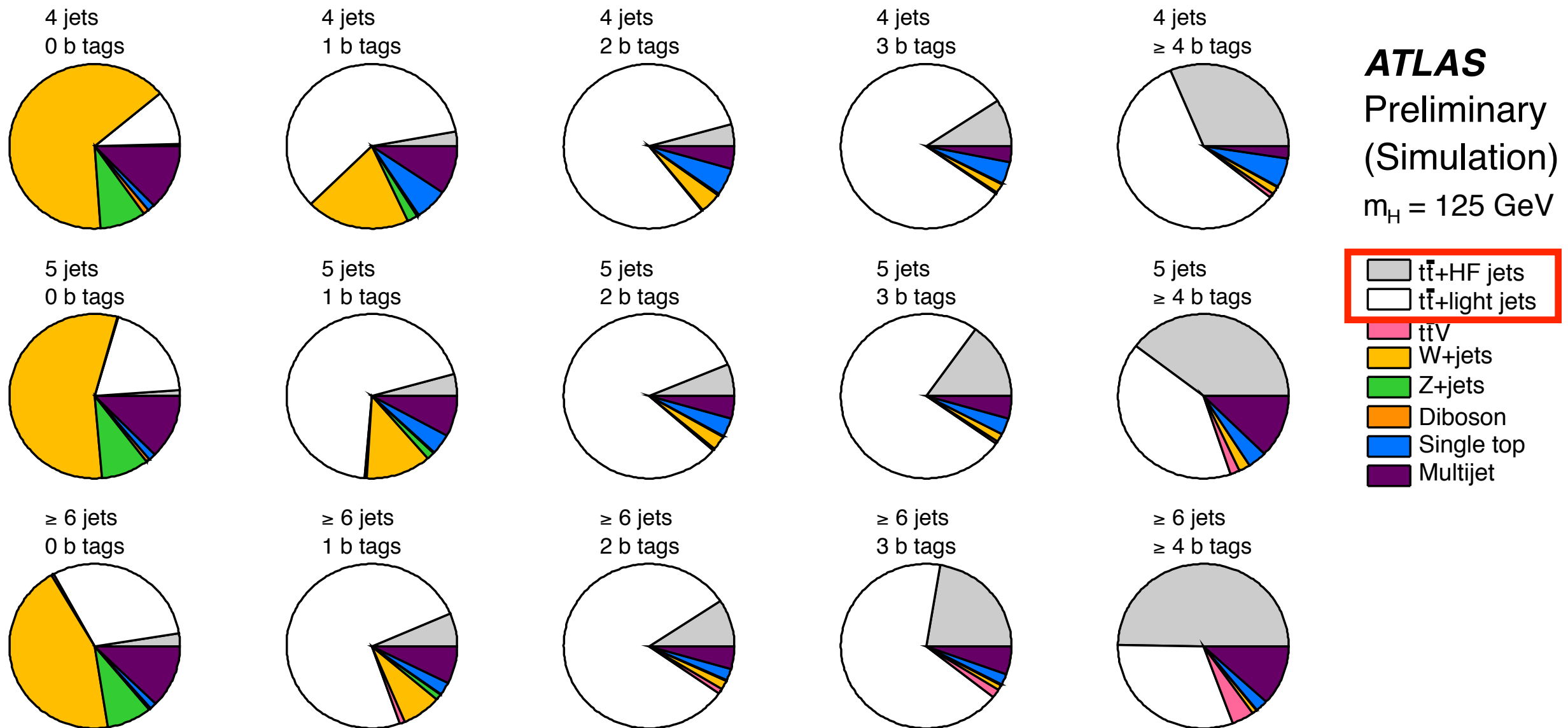
- ✓ **≥ 6 jets, ≥ 4 b-jets** (1-leptone), e

- ✓ **≥ 3 jets, ≥ 3 b-jets** (2-leptoni)

- ✓ le altre categorie usate per la normalizzazione del fondo



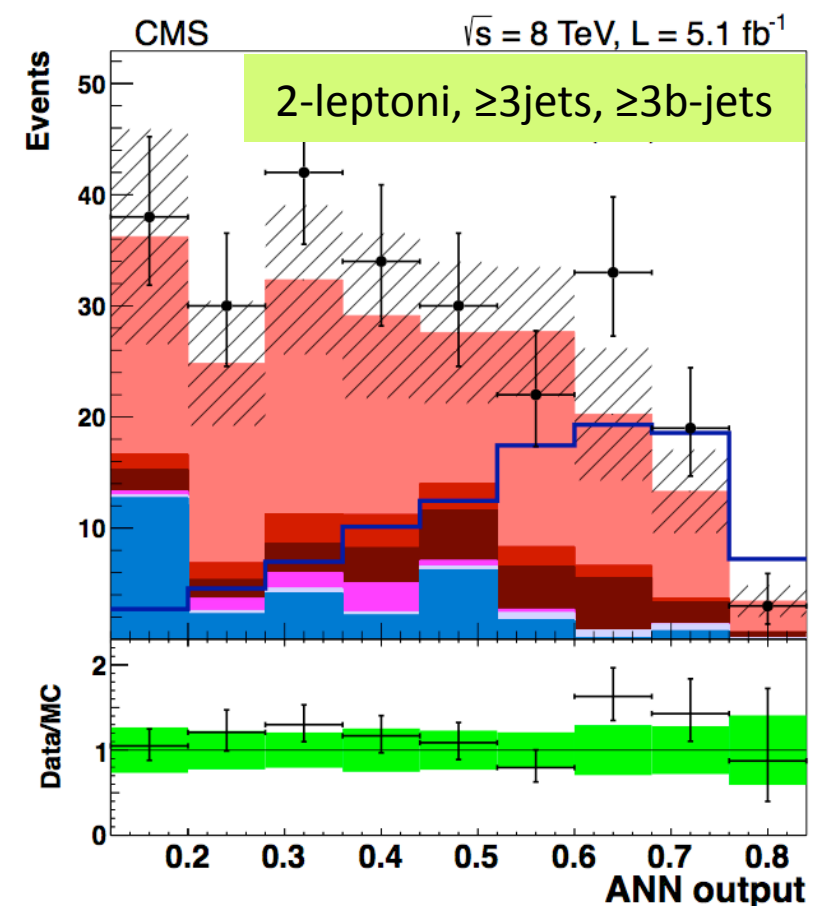
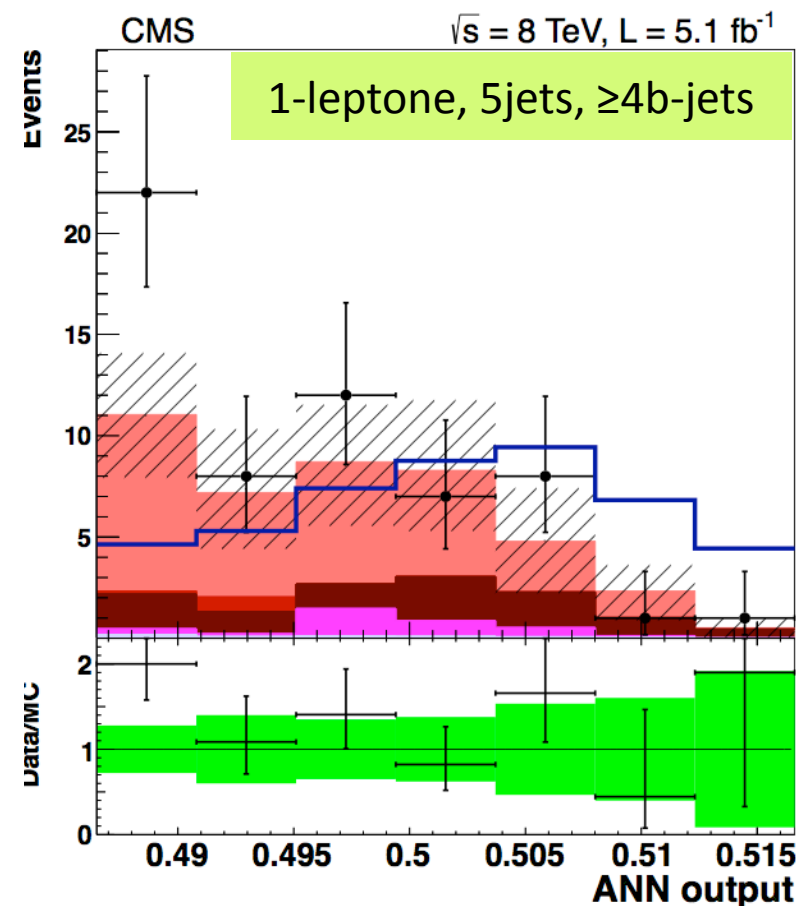
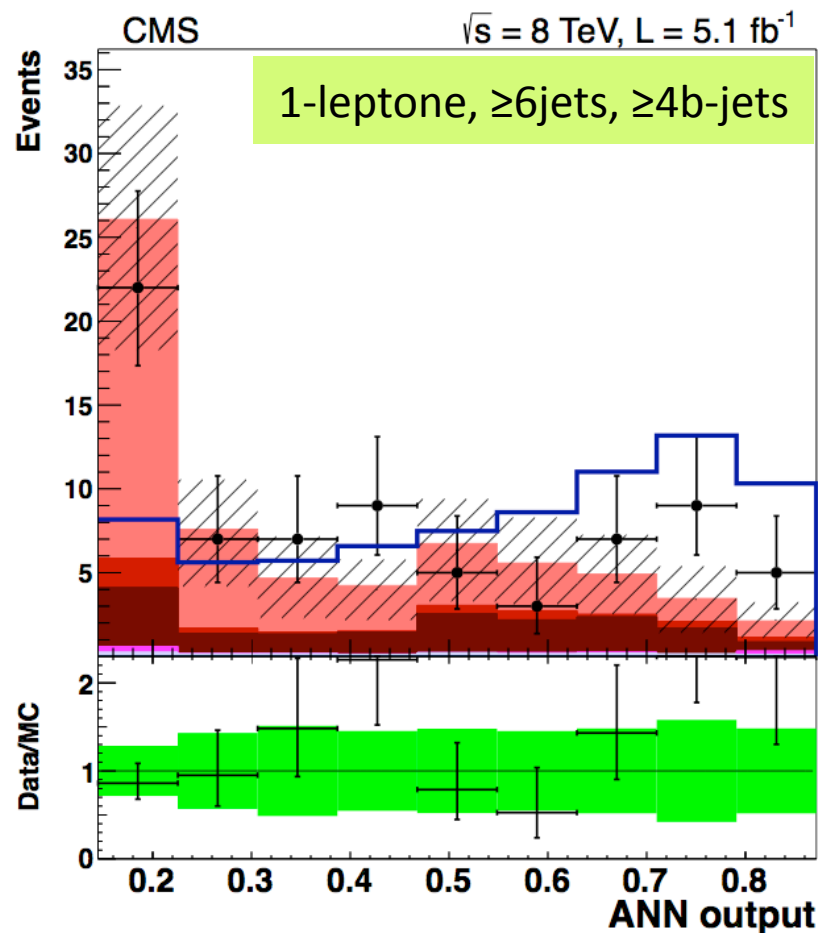
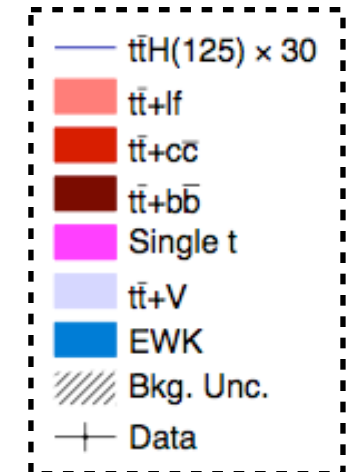
Fondi principali (ATLAS)



- ✓ **$t\bar{t}$ +jets**: fondo principale nelle regioni di segnale e sostanzialmente irriducibile
- ✓ **W+jets**: forma da simulazione, normalizzazione dai dati (sfruttando l'asimmetria di carica)
- ✓ **QCD multijet**: stima data-driven per forma e normalizzazione
- ✓ **$t\bar{t}$ +X**, **Z+jets** e **single top**: forma da simulazione, normalizzazione alla sezione d'urto teorica

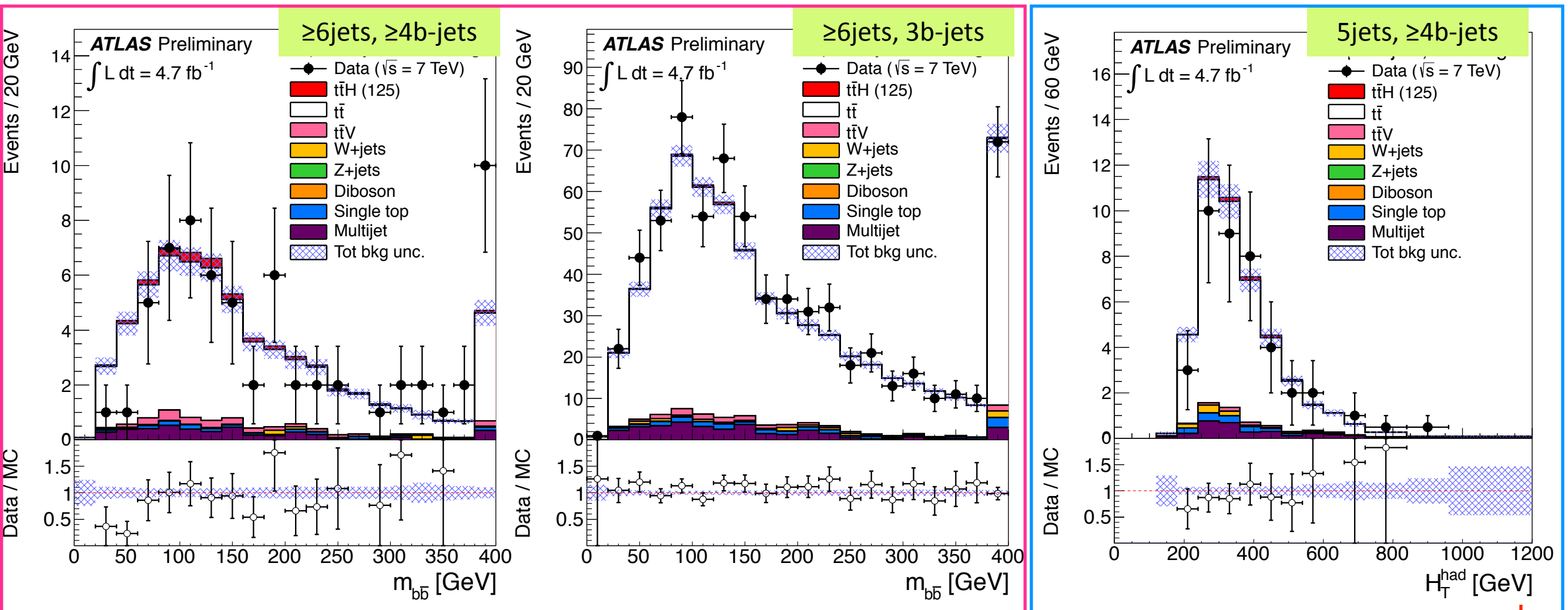
Estrazione dei risultati (CMS)

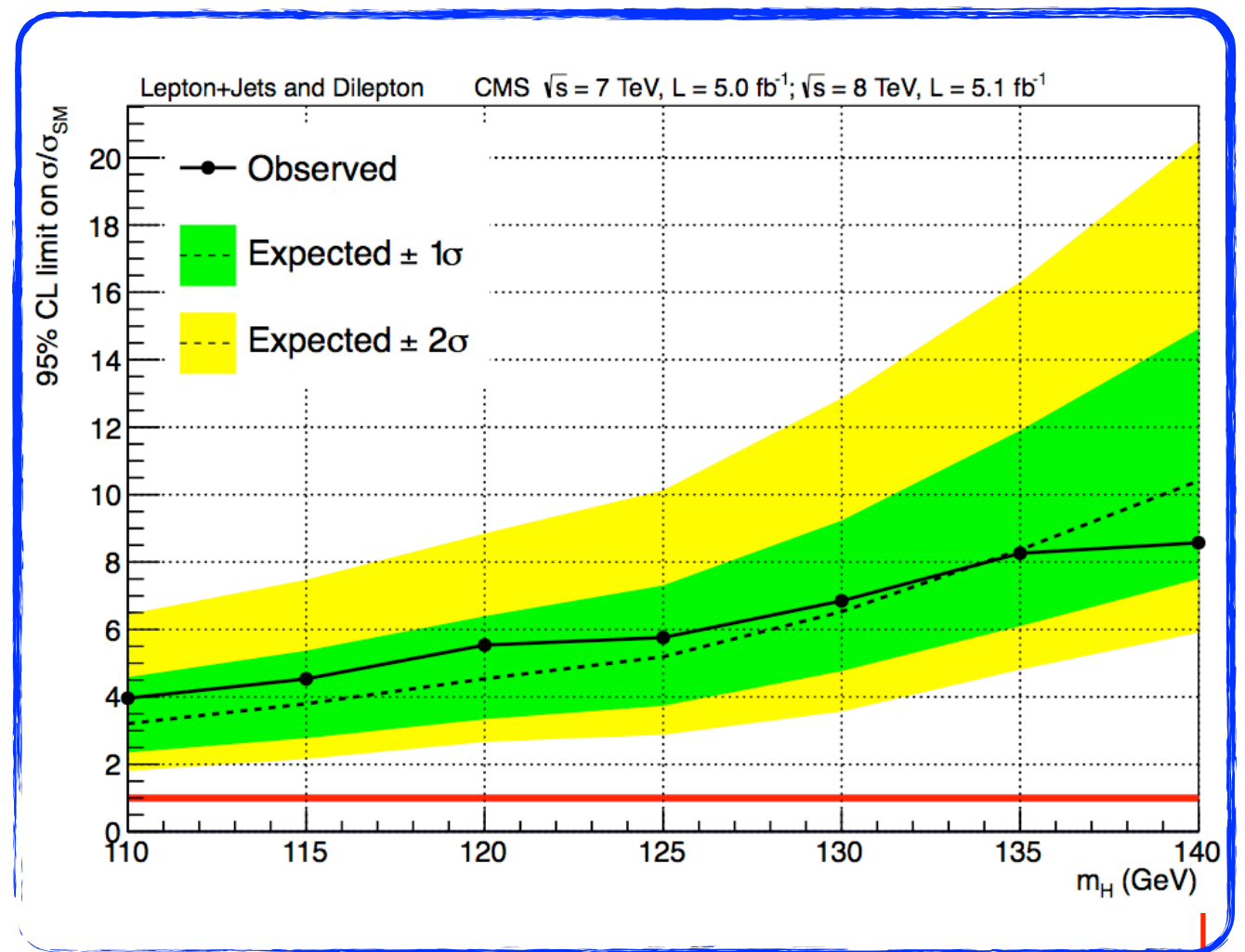
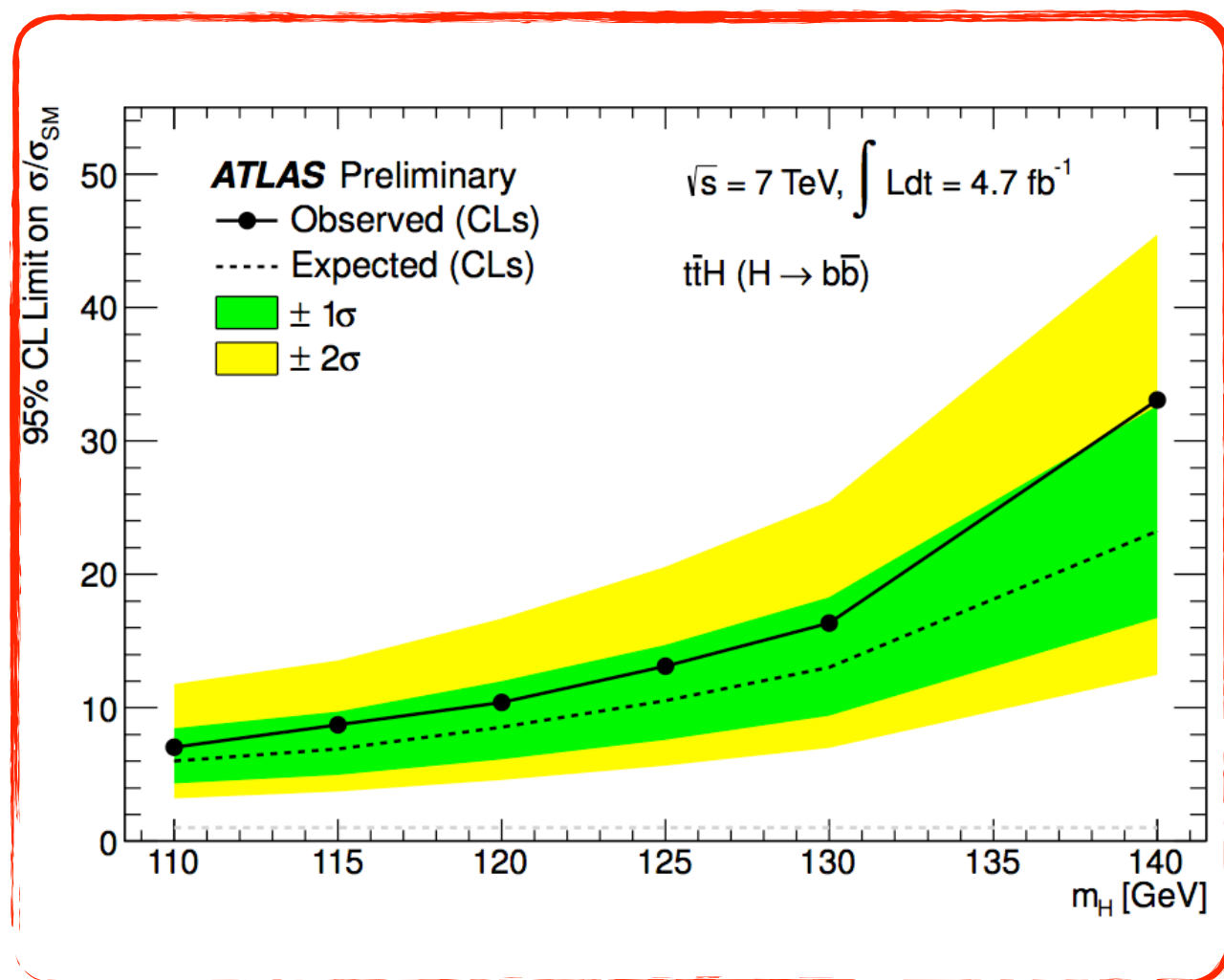
- ✓ Analisi basata su una rete neurale artificiale (multilayer perceptron)
- ✓ Variabili in input diverse per ciascuna categoria, ma raggruppabili in variabili:
 - ✓ cinematiche di base
 - ✓ cinematiche relative alle coppie di jets
 - ✓ di forma dell'evento
 - ✓ di b-tagging
- ✓ Alcuni esempi di variabile di output dell' ANN
- ✓ Limiti estratti tramite fit alla distribuzione della variabile di output dell' ANN
- ✓ Sistematiche trattate come parametri di nuisance



Estrazione dei risultati (ATLAS)

- ✓ Per le categorie con almeno 6 jets e 3 o almeno 4 b-jets:
 - ✓ fit cinematico per ricostruire il sistema $t\bar{t}b\bar{b}$
 - ✓ variabile discriminante: $m_{b\bar{b}}$
- ✓ In tutte le altre regioni, variabile discriminante: H_T^{had} somma scalare di momenti trasversi dei jets
- ✓ Fit simultaneo a tutte le categorie (miglioramento nella predizione del fondo)
- ✓ Sistematiche trattate come parametri di nuisance (la maggiore è la frazione di $t\bar{t}b\bar{b}+hf$)

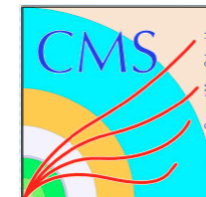




@ $m_H=125 \text{ GeV}$	ATLAS	CMS
limite CL_s atteso su $\sigma/\sigma_{\text{SM}}$	10.5	5.2
limite CL_s osservato su $\sigma/\sigma_{\text{SM}}$	13.1	5.8



Conclusioni



- ✓ Sommario dello stato delle ricerche di $H \rightarrow b\bar{b}$ ad ATLAS e CMS
 - ✓ H in produzione associata a un bosone vettore ($\sim 5 \text{ fb}^{-1}$ @7TeV + $\sim 12 \text{ fb}^{-1}$ @8TeV)
 - ✓ ATLAS 1.8 (1.9) x SM [ATLAS-CONF-2012-161]
 - ✓ CMS 2.45 (1.15) x SM [CMS-HIG-12-044]
 - ✓ sensitività vicina allo SM (eccesso a 2.2σ)
 - ✓ H in produzione associata a una coppia $t\bar{t}$
 - ✓ ATLAS ($\sim 5 \text{ fb}^{-1}$ @7TeV) 13.1 (10.5) x SM [ATLAS-CONF-2012-135]
 - ✓ CMS (5 fb^{-1} @7TeV + $\sim 5 \text{ fb}^{-1}$ @8TeV) 5.8 (5.2) x SM [CMS-PH-EP-2013-027
arXiv:1303.0763v1]
- ✓ Aggiornamento dei risultati atteso a breve:
 - ✓ con la statistica completa
 - ✓ con tecniche di analisi migliorate

[limite osservato (atteso) @ 125 GeV]

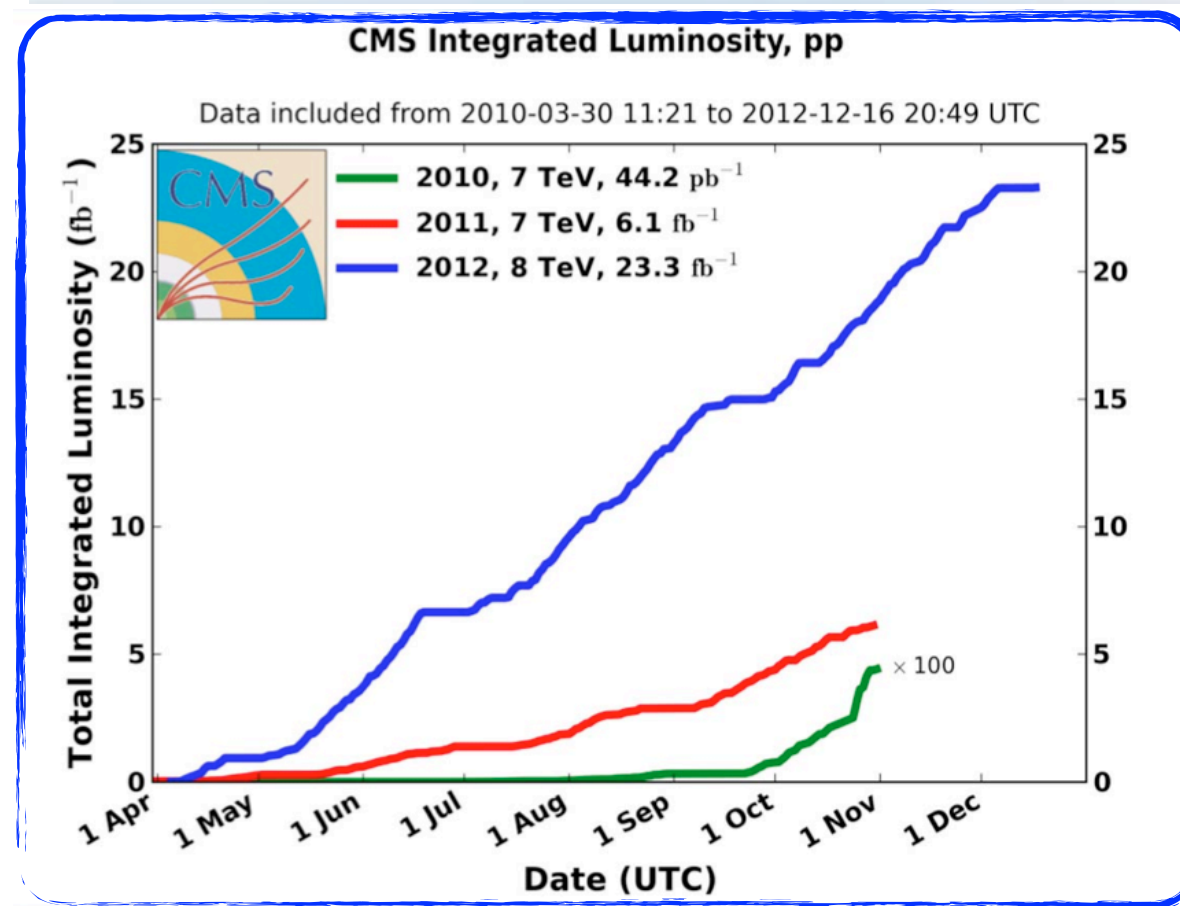
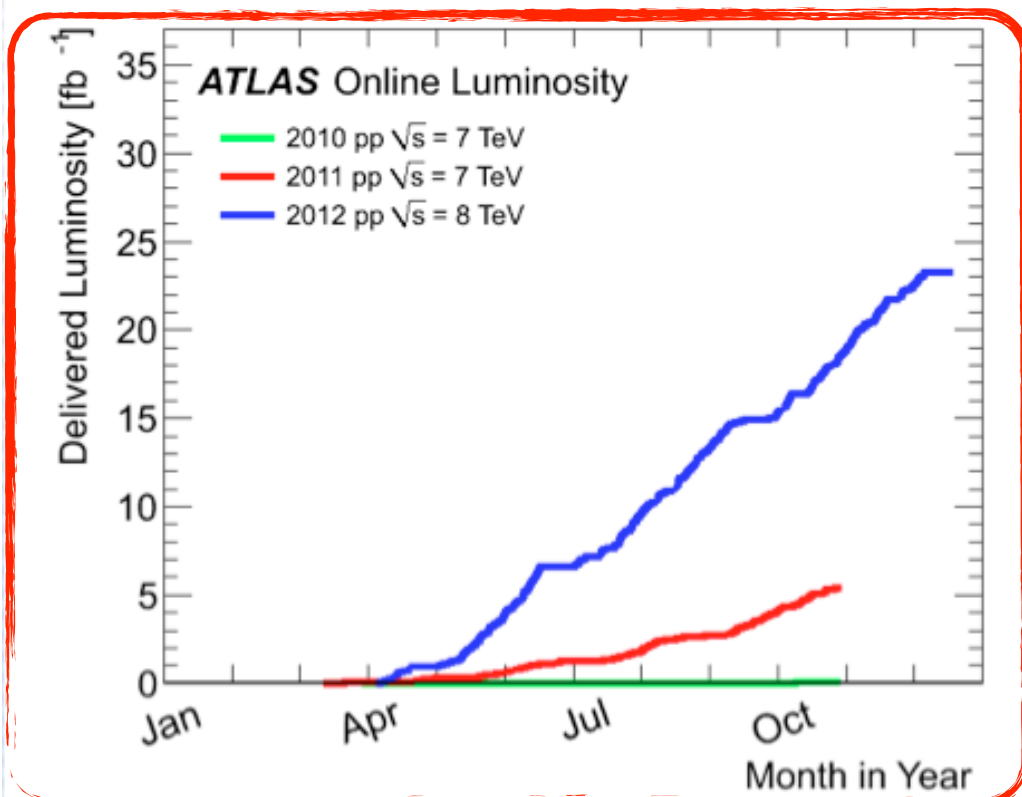
Backup



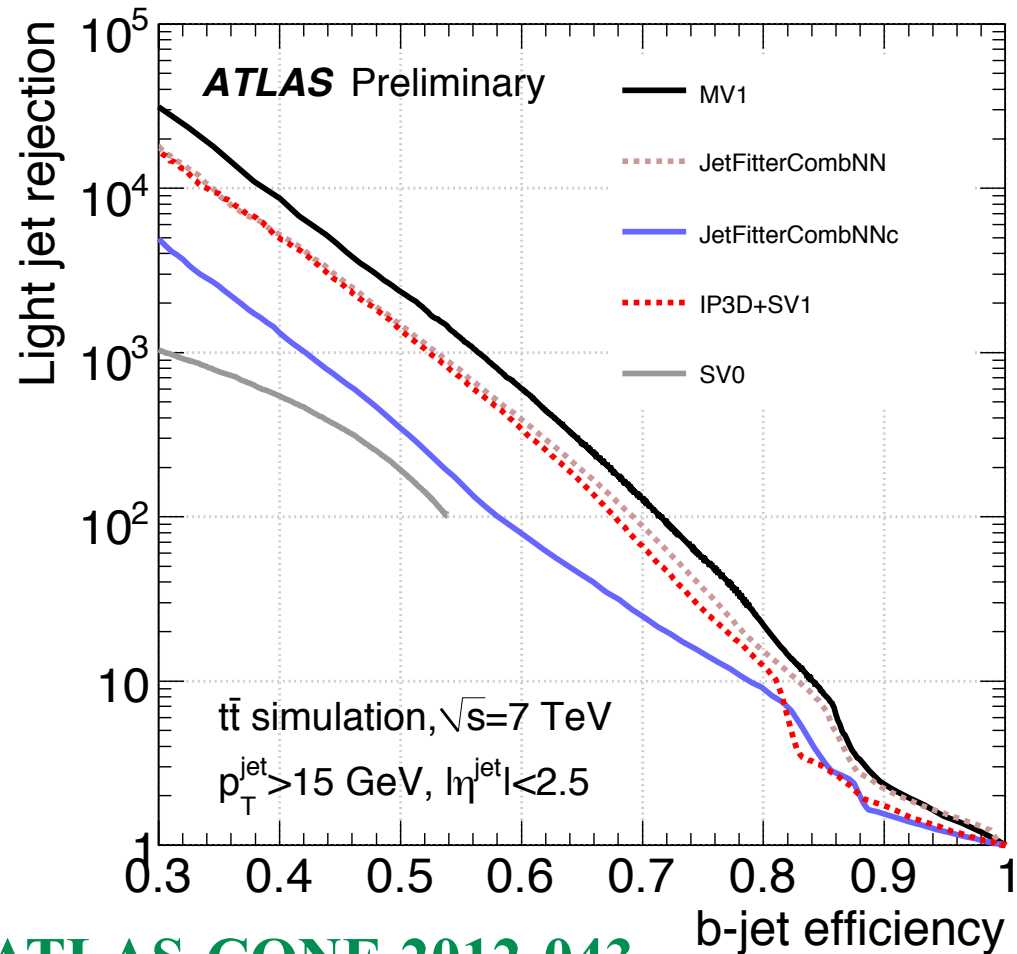
LHC, **ATLAS** e **CMS** (in una slide)



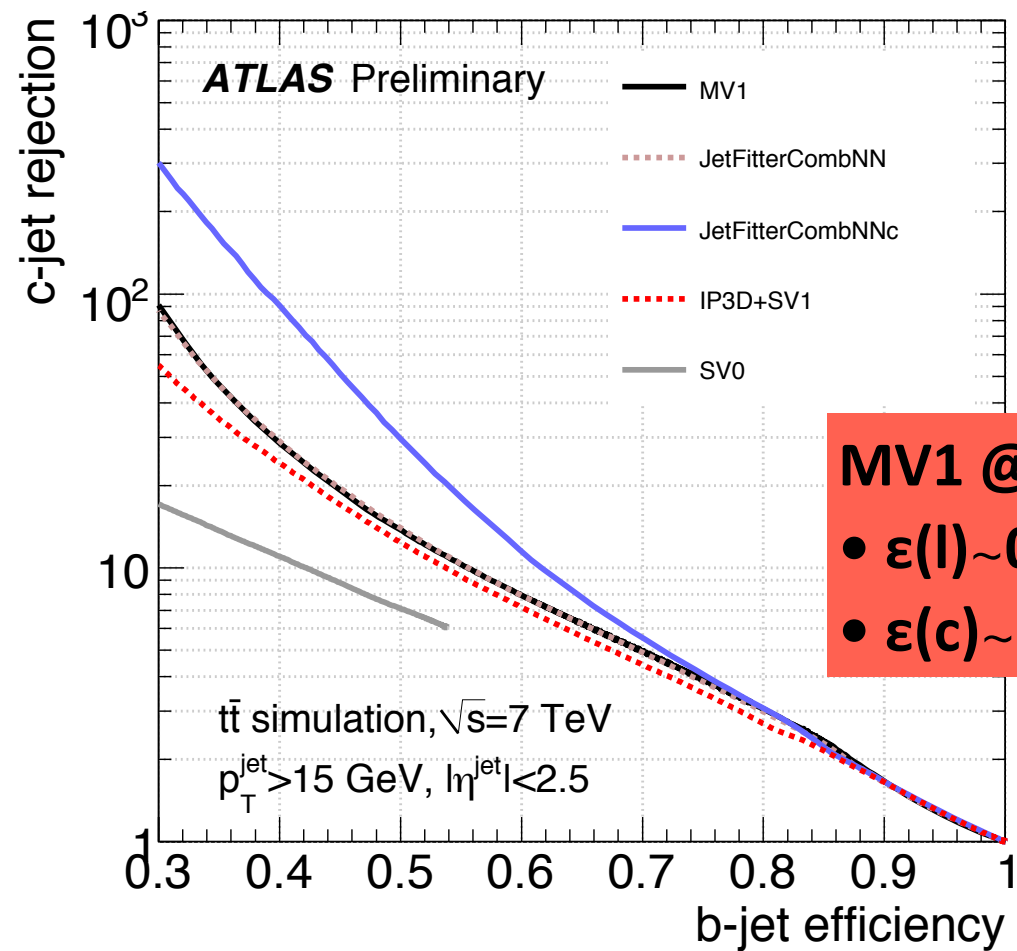
- ✓ Collisioni p-p a 7 TeV nel 2011 e a 8 TeV nel 2012
- ✓ Massima luminosità istantanea a 8 TeV è $7.7 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- ✓ Luminosità integrate:
 - ✓ sia **ATLAS** sia **CMS** hanno accumulato $>5.0 \text{ fb}^{-1}$ a 7 TeV e $>23 \text{ fb}^{-1}$ a 8 TeV
 - ✓ oggi parliamo di analisi che sfruttano l'intero campione di dati 2011 e fino a 13 fb^{-1} del campione di dati 2012



b-tagging

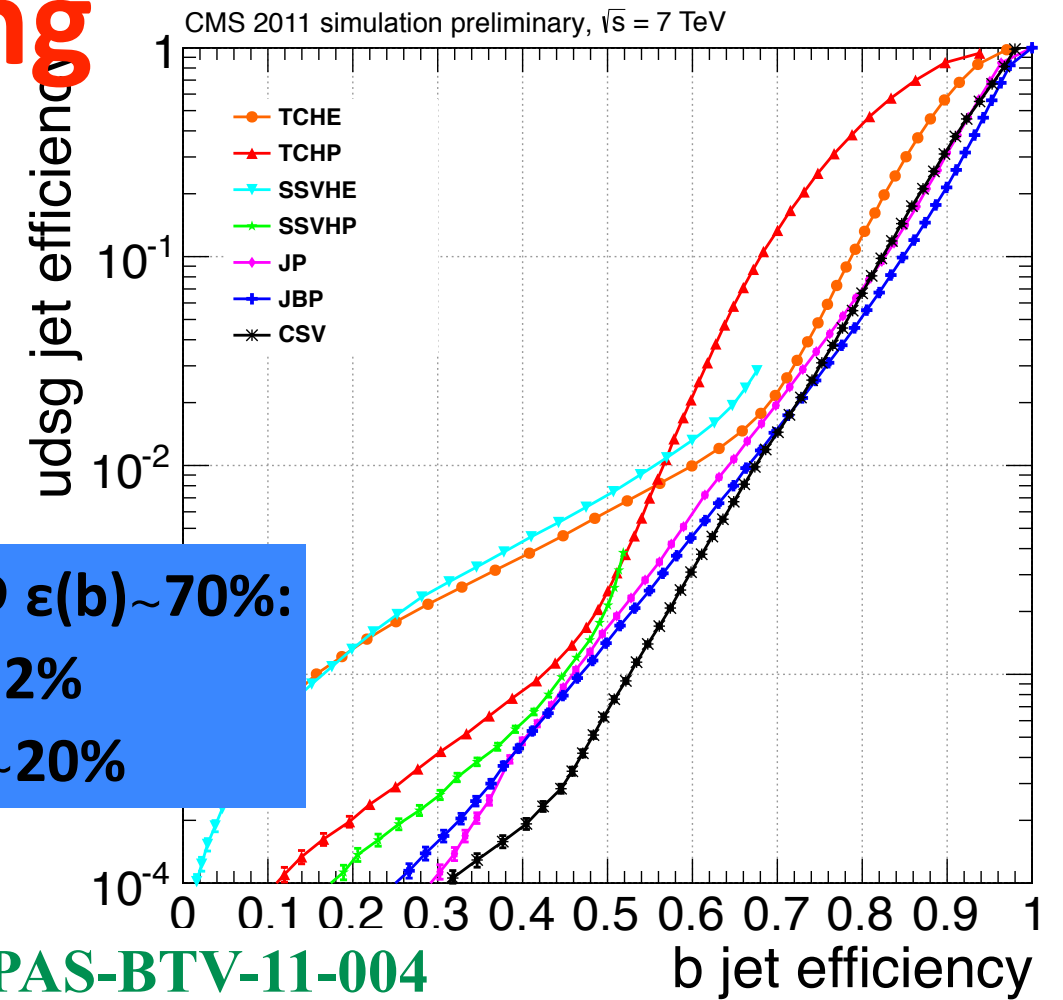


ATLAS-CONF-2012-043



MV1 @ $\epsilon(b) \sim 70\%$:

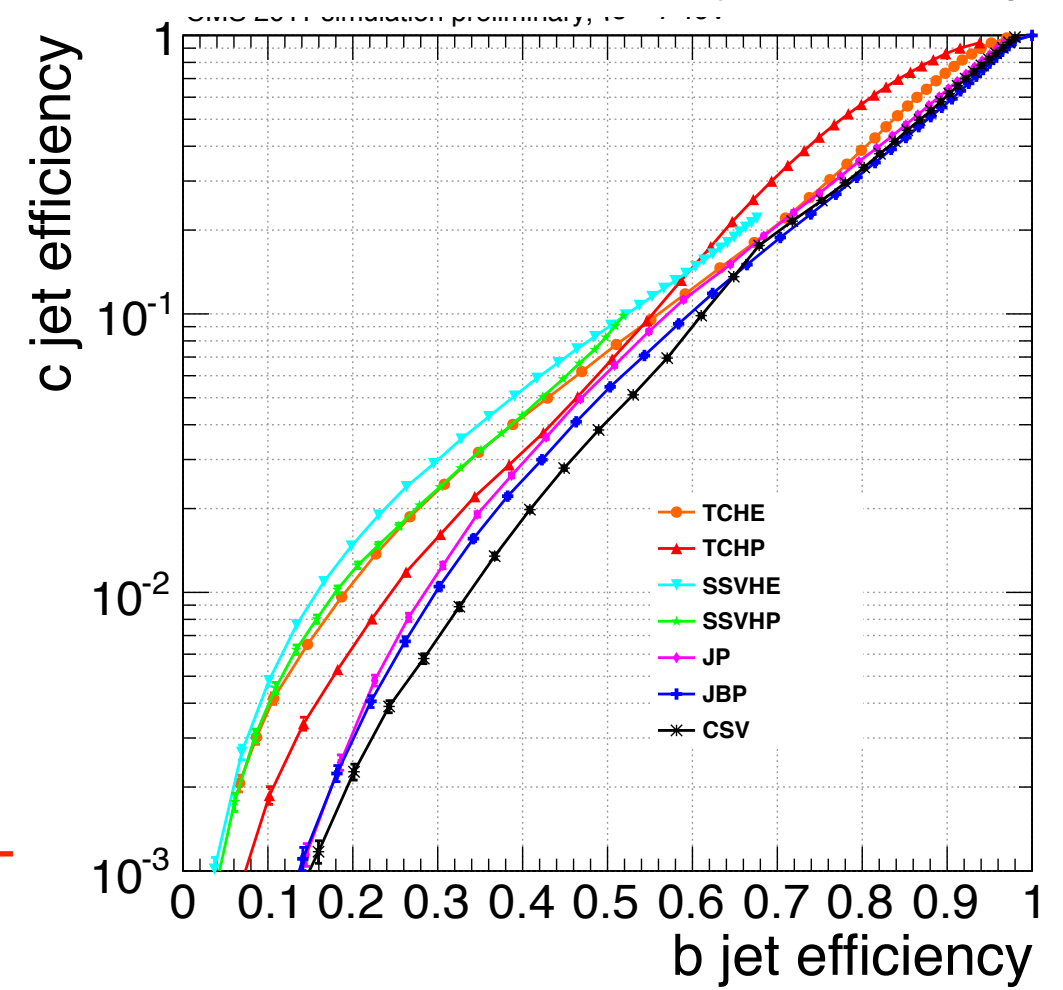
- $\epsilon(l) \sim 0.7\%$
- $\epsilon(c) \sim 20\%$



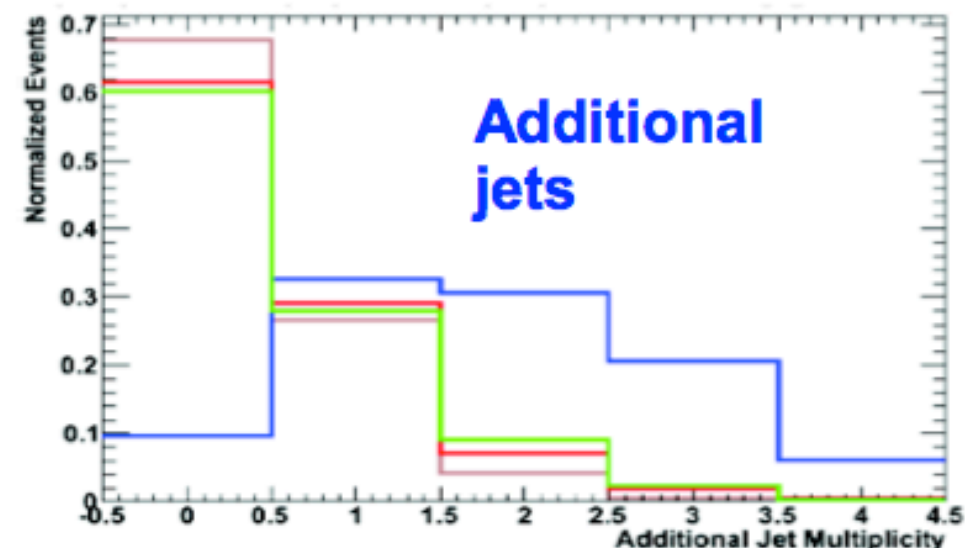
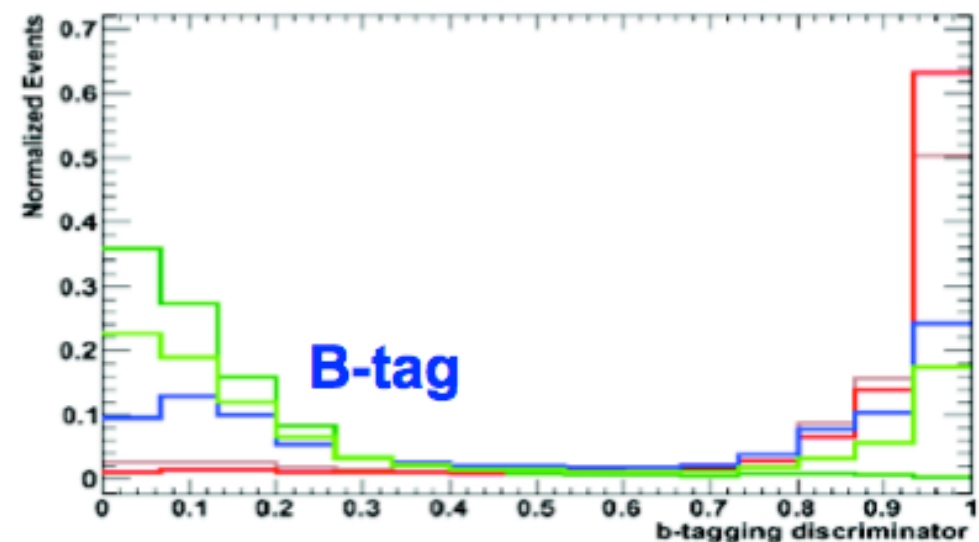
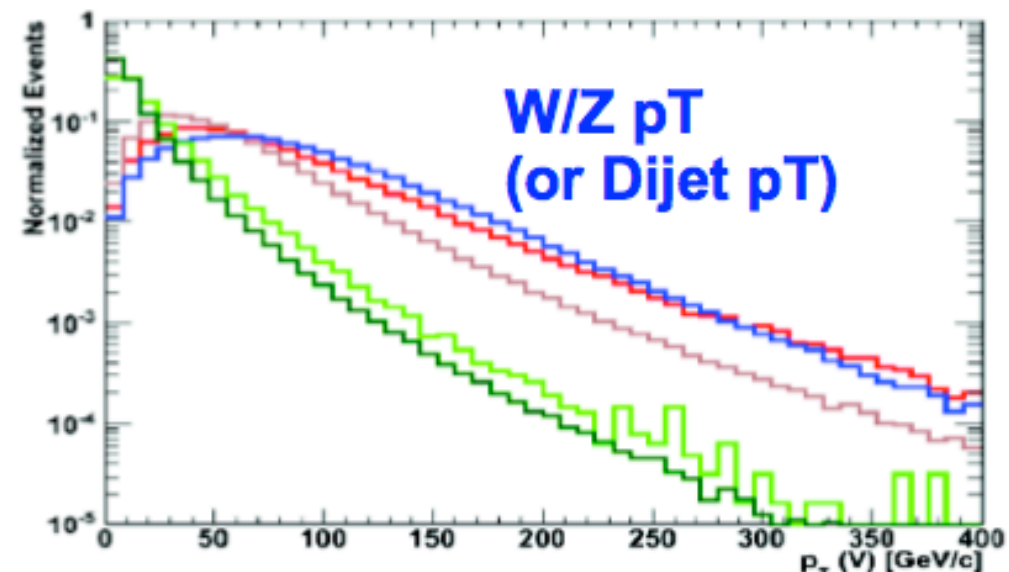
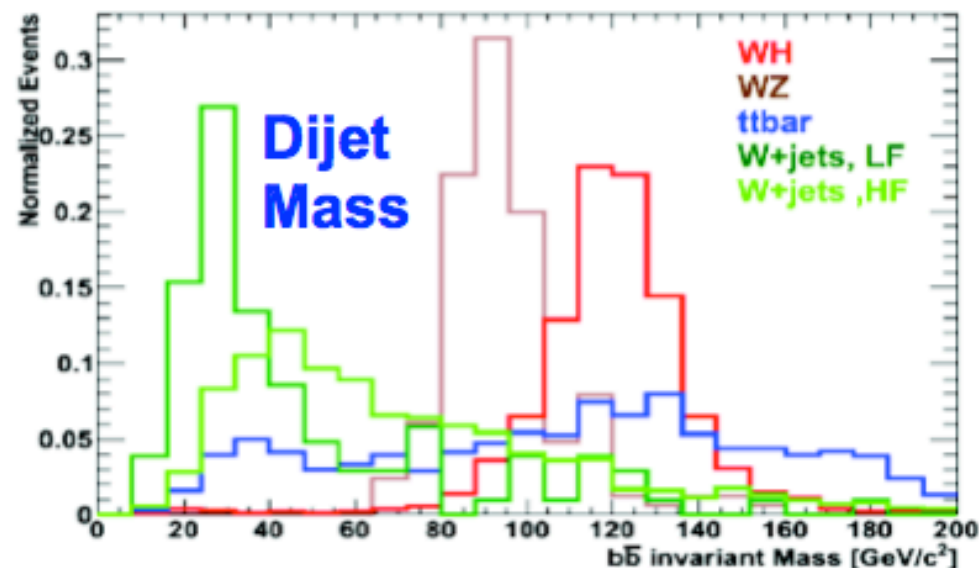
CSV @ $\epsilon(b) \sim 70\%$:

- $\epsilon(l) \sim 2\%$
- $\epsilon(c) \sim 20\%$

CMS-PAS-BTV-11-004



Variabili in input al BDT (CMS)



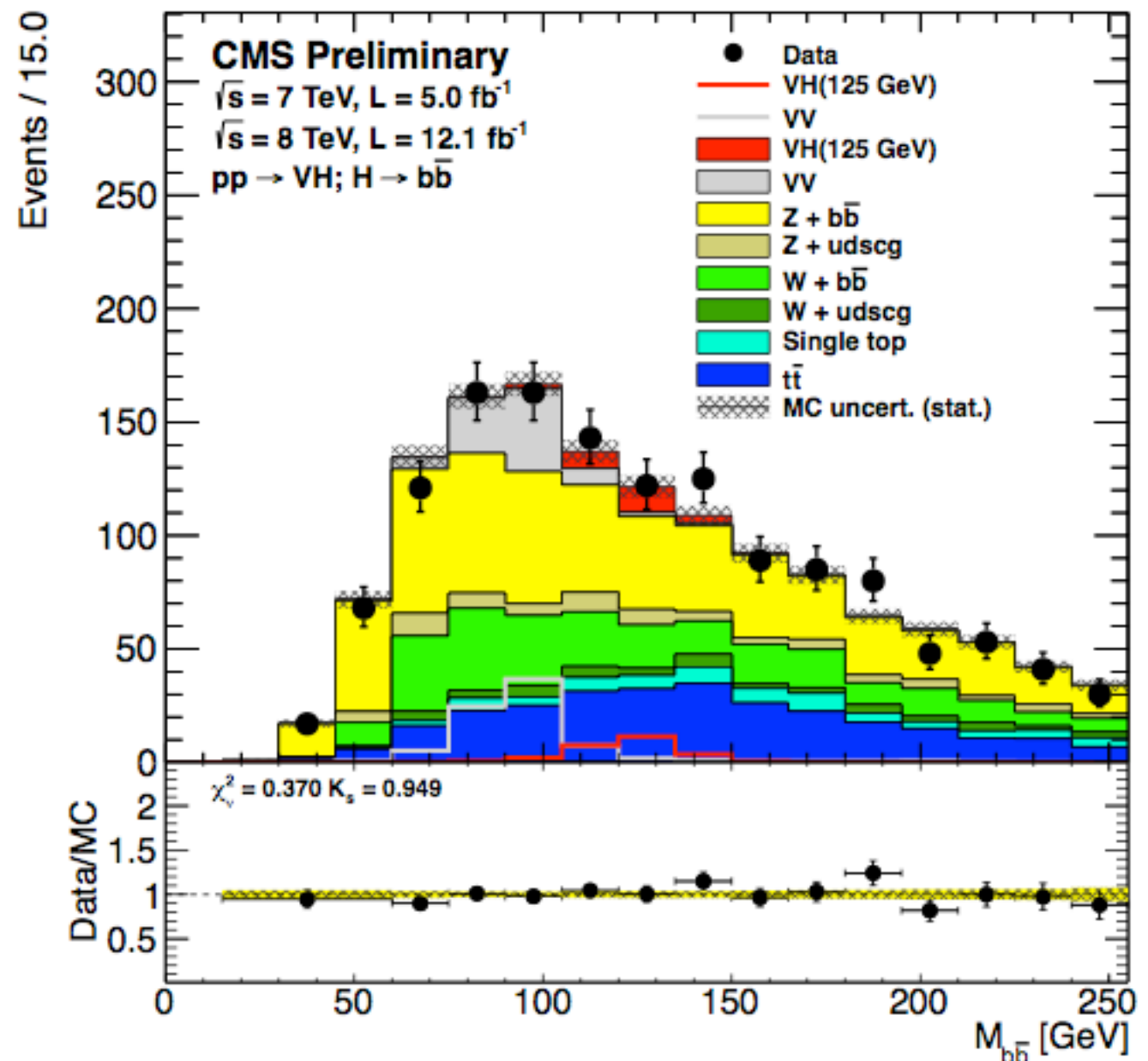
[CMS-HIG-12-044]

✓ Altre variabili usate nell'analisi multivariata:

- ✓ E_T^{miss} , significanza di E_T^{miss} , minima separazione in ϕ tra jet e E_T^{miss}
- ✓ separazione in ϕ tra V e H, separazione in η e R tra jets, color pull angle

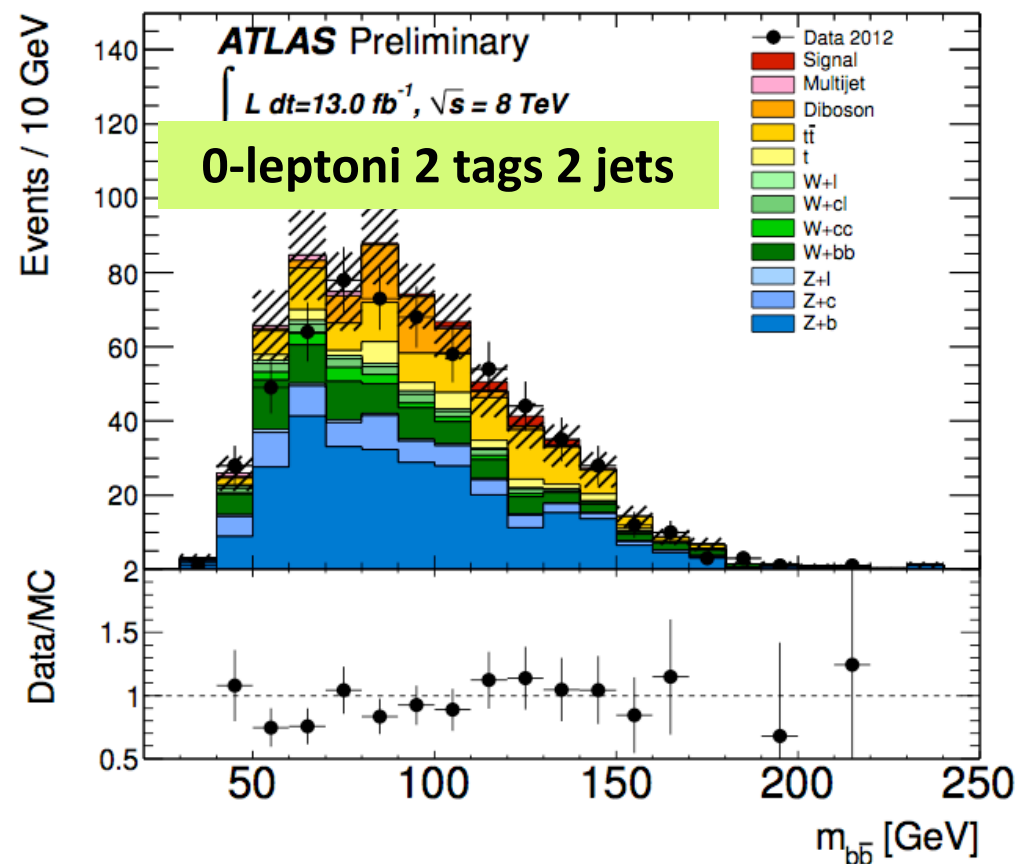
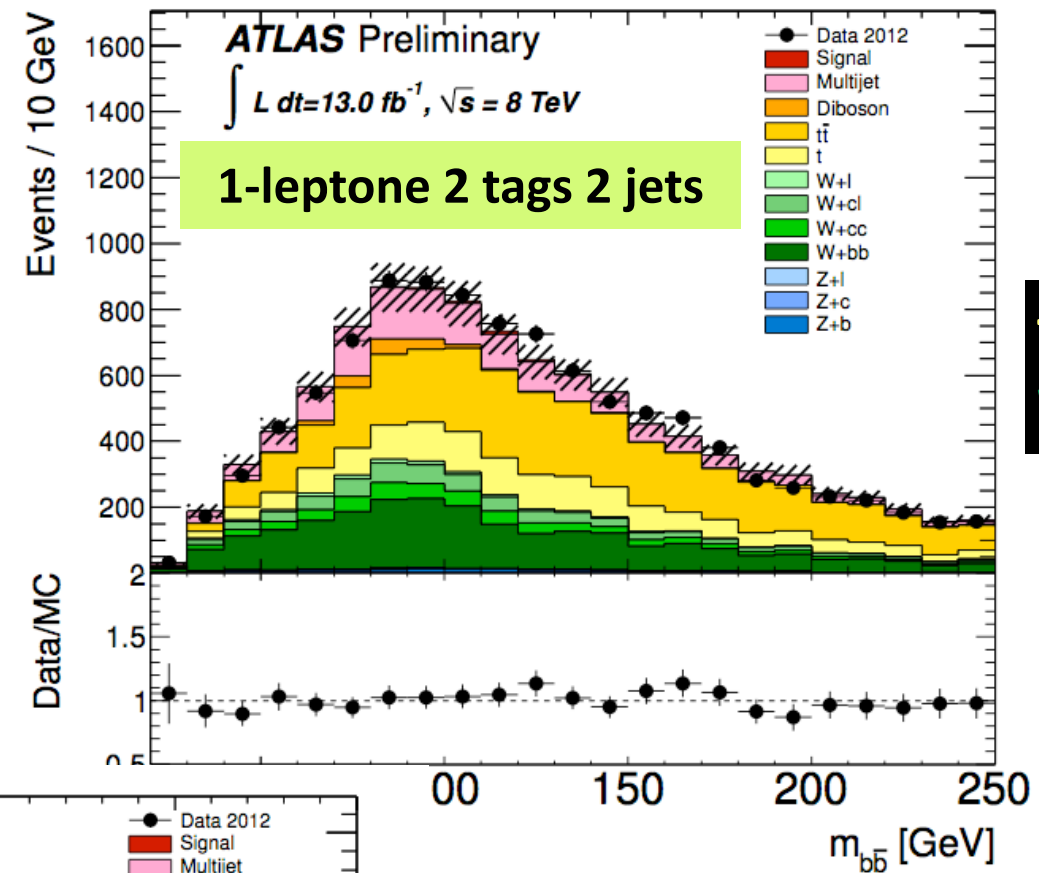
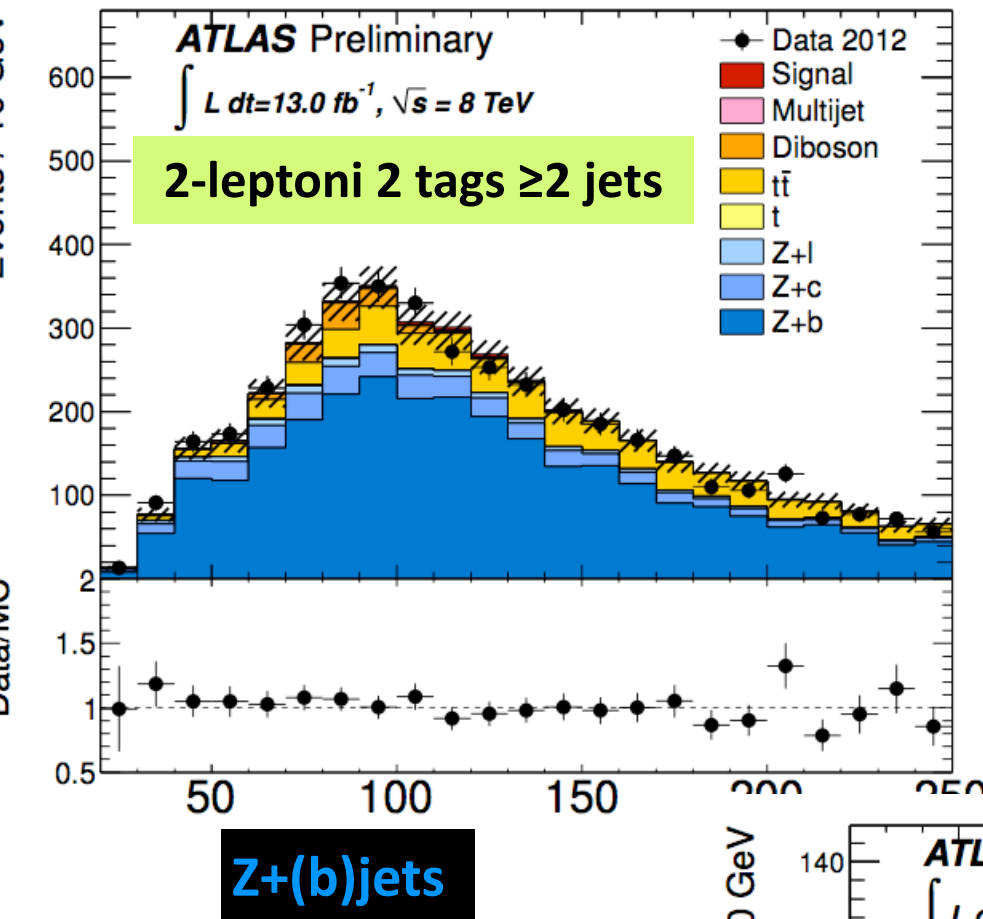
Analisi “a tagli” (CMS)

- ✓ Analisi di cross-check:
 - ✓ variabile discriminante massa invariante $b\bar{b}$
 - ✓ arricchimento in S/B con richieste di alto boost, b-tagging asimmetrico, topologia dell'evento, reiezione del fondo QCD



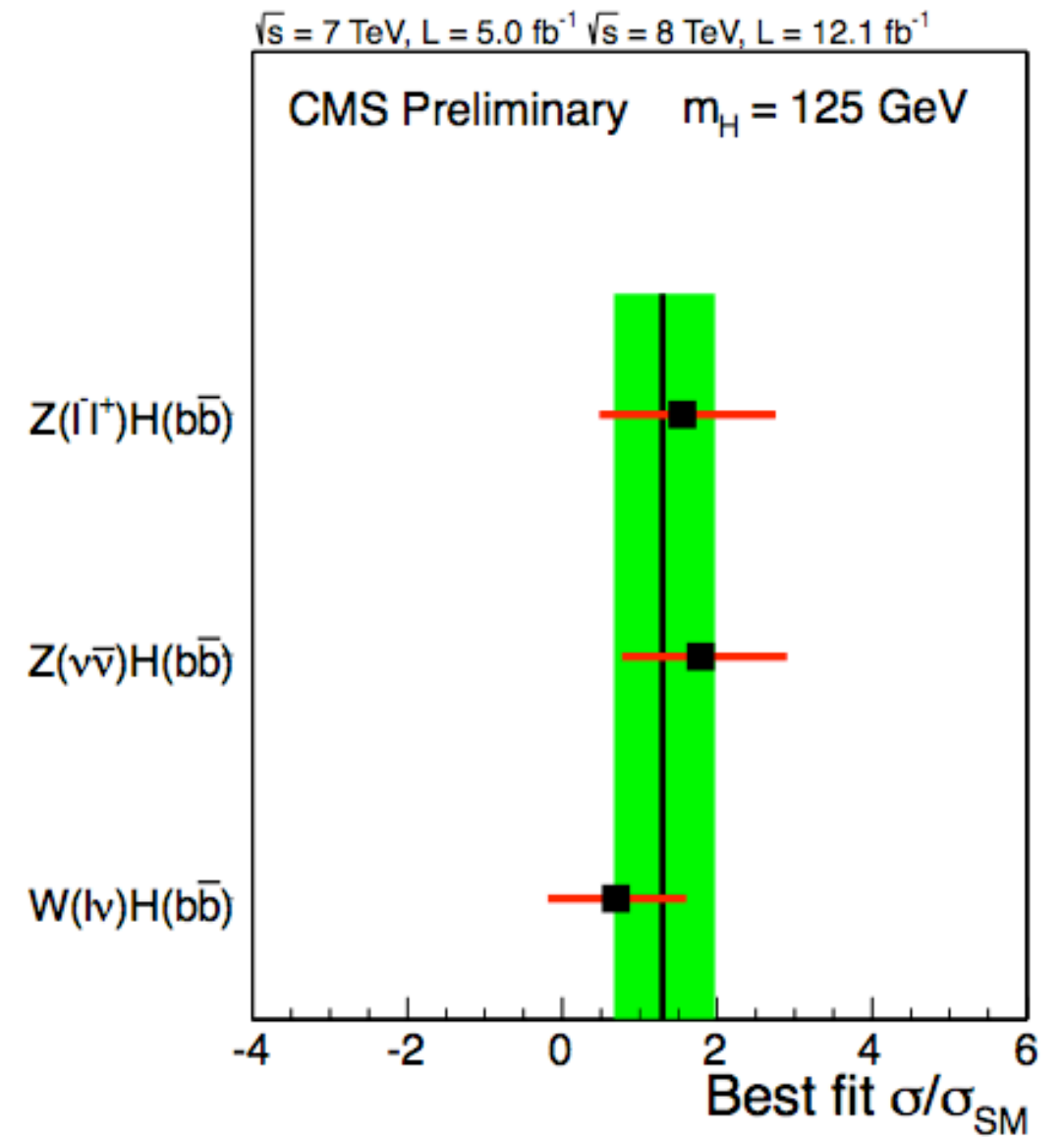
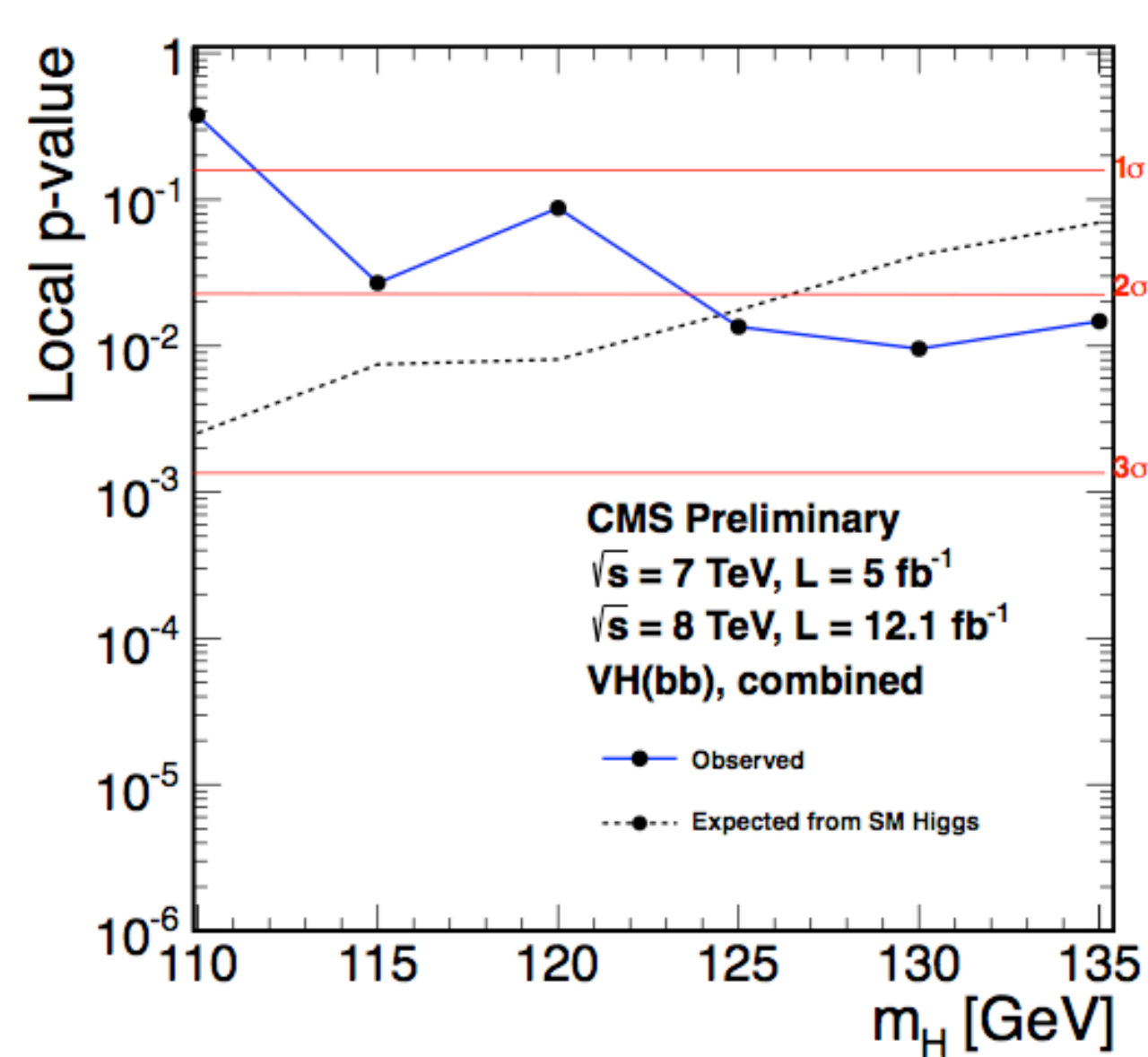
[CMS-HIG-12-044]

Principali fondi residui (ATLAS)



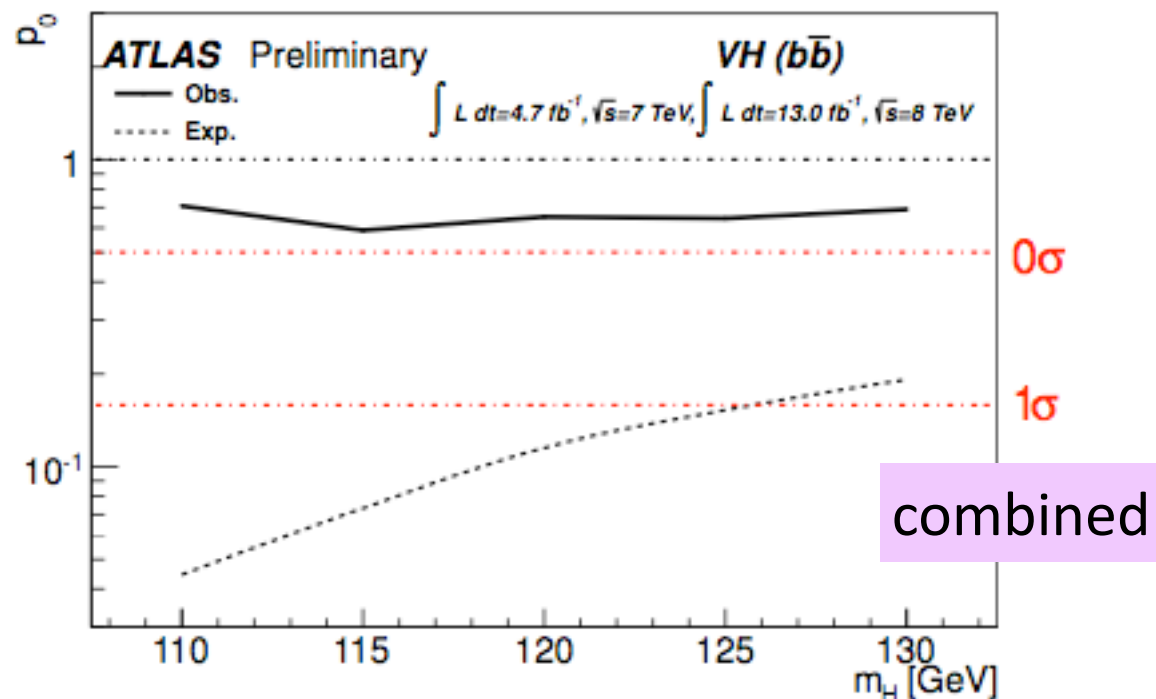
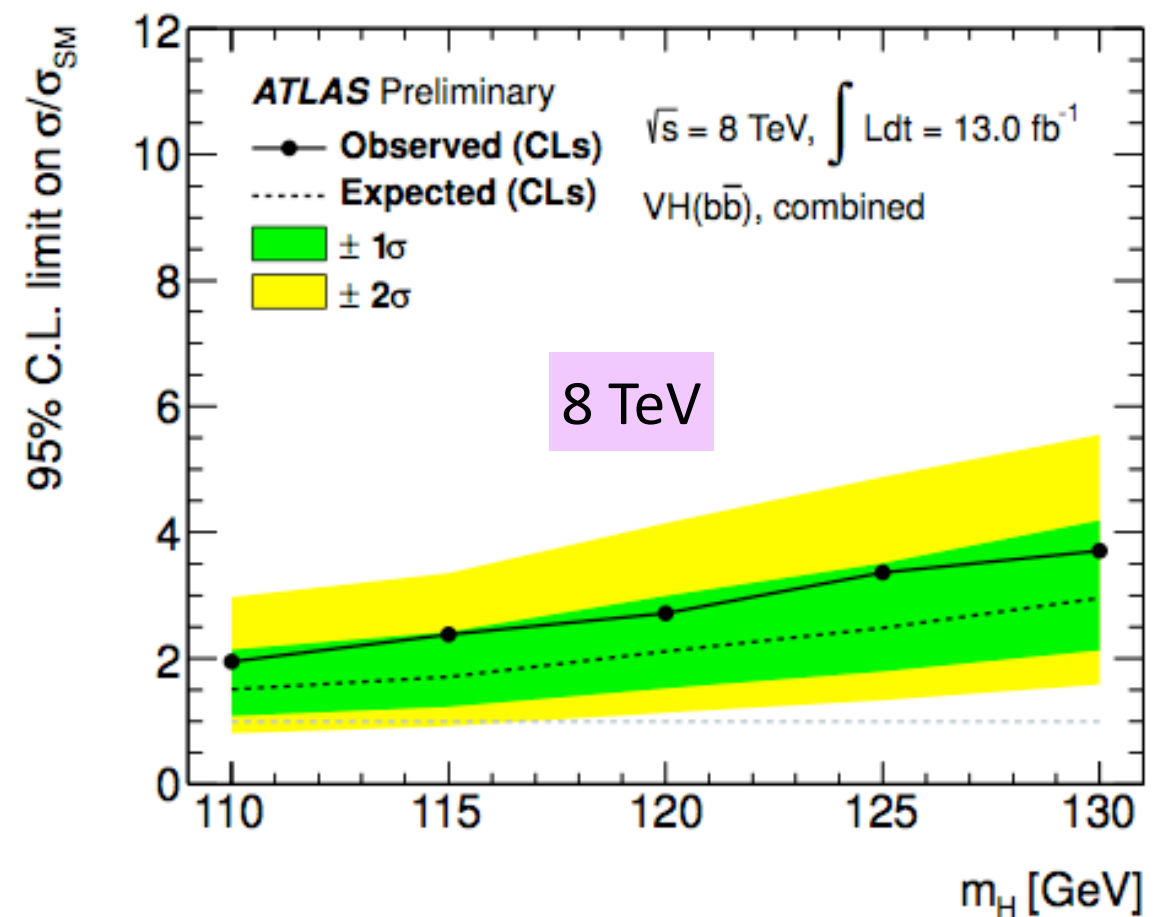
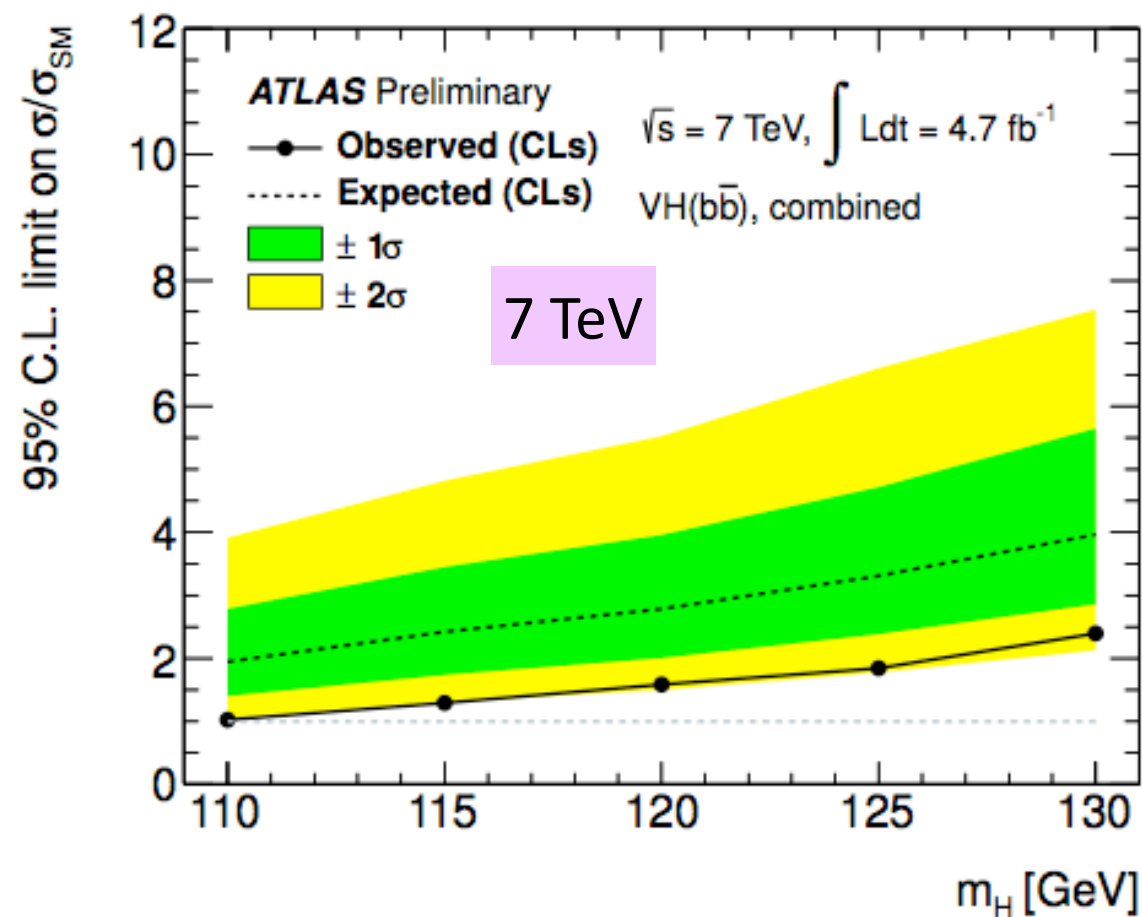
[ATLAS-CONF-2012-161]

Risultati (CMS)



[CMS-HIG-12-044]

Risultati (ATLAS)



[ATLAS-CONF-2012-161]

Variabili di input ANN (CMS)

Table 4: The ANN inputs for the nine jet-tag categories in the 8 TeV $t\bar{t}H$ analysis in the lepton+jets and dilepton channels. The choice of inputs is optimized for each category. Definitions of the variables are given in the text. The best input variable for each jet-tag category is denoted by ★.

	Lepton+Jets							Dilepton	
Jets	≥ 6	4	5	≥ 6	4	5	≥ 6	2	≥ 3
Tags	2	3	3	3	4	≥ 4	≥ 4	2	≥ 3
Jet 1 p_T		✓	✓		✓			★	✓
Jet 2 p_T		✓	✓						
Jet 3 p_T	✓	✓	✓			✓			
Jet 4 p_T	✓	✓	✓			✓			
N_{jets}									✓
$p_T(\ell, E_T^{\text{miss}}, \text{jets})$		★	✓		✓	✓		✓	✓
$M(\ell, E_T^{\text{miss}}, \text{jets})$	✓	✓		✓	✓		✓		
Average $M((j_m^{\text{untag}}, j_n^{\text{untag}}))$	✓			✓					
$M((j_m^{\text{tag}}, j_n^{\text{tag}})_{\text{closest}})$							✓		
$M((j_m^{\text{tag}}, j_n^{\text{tag}})_{\text{best}})$							✓		
Average $\Delta R(j_m^{\text{tag}}, j_n^{\text{tag}})$				✓	✓	✓	✓		
Minimum $\Delta R(j_m^{\text{tag}}, j_n^{\text{tag}})$			✓					✓	✓
$\Delta R(\ell, j_{\text{closest}})$						✓	✓	✓	✓
Sphericity	✓			✓			✓		
Aplanarity	✓				✓				
H_0	✓								
H_1	✓				✓				
H_2				✓			✓		
H_3	★			✓			✓		
μ^{CSV}	✓	✓	★	★	★	★	★	✓	★
$(\sigma_n^{\text{CSV}})^2$		✓	✓	✓	✓	✓			
Highest CSV value						✓			
2 nd -highest CSV value		✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Lowest CSV value		✓	✓	✓	✓	✓	✓		

[CMS-PH-EP-2013-027
arXiv:1303.0763v1]

Event yields (ATLAS)

	≥ 6 jets, 3 b tags	≥ 6 jets, ≥ 4 b tags
$t\bar{t}H(125)$	4.0 ± 0.2	2.2 ± 0.1
$t\bar{t} + \text{jets}$	560 ± 20	54 ± 5
$W + \text{jets}$	8 ± 3	0.7 ± 0.3
$Z + \text{jets}$	0.4 ± 0.2	0.01 ± 0.01
Single top	15 ± 1	1.5 ± 0.2
Diboson	0.09 ± 0.03	0.01 ± 0.01
$t\bar{t}V$	13 ± 4	2.7 ± 0.7
Multijet	34 ± 10	4 ± 3
Total bkg.	634 ± 19	62 ± 5
Data	676	65

[ATLAS-CONF-2012-135]

Sistematiche

≥ 6 jets, ≥ 4 b tags

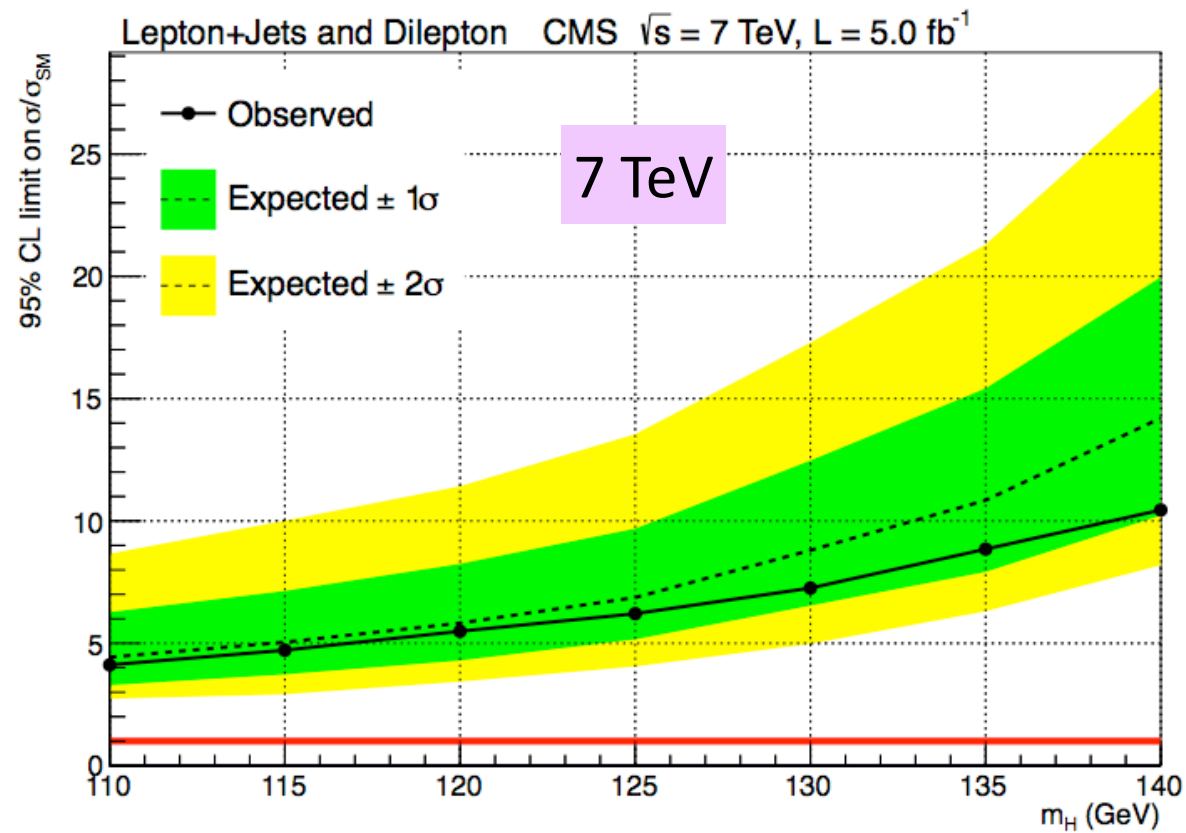
	$t\bar{t}H(125)$	$t\bar{t}$	W+jets	Z+jets	Single top	Diboson	$t\bar{t}V$	Multijet
Luminosity	+1.8/-1.8	+1.8/-1.8	+1.8/-1.8	+1.8/-1.8	+1.8/-1.8	+1.8/-1.8	+1.8/-1.8	–
Lepton ID+reco+trigger	+1.3/-1.3	+1.3/-1.3	+1.3/-1.3	+1.5/-1.5	+1.3/-1.3	+1.3/-1.3	+1.3/-1.3	–
Jet vertex fraction efficiency	+2.4/-1.7	+2.5/-1.9	+2.5/-2.3	+2.7/-2.7	+2.5/-1.8	+1.6/-1.2	+2.5/-1.9	–
Jet energy scale	+9.6/-9.9	+13.5/-15.2	–	+27.4/-28.6	+13.5/-15.2	+27.4/-28.6	+13.5/-15.2	–
Jet energy resolution	+1.0/-1.0	+0.7/-0.7	+9.9/-9.9	+41.7/-41.7	+7.1/-7.1	+6.9/-6.9	+1.9/-1.9	–
b -tagging efficiency	+30.4/-34.8	+22.9/-25.2	+29.7/-35.6	+22.5/-28.0	+26.2/-29.7	+34.0/-38.4	+26.0/-29.0	–
c -tagging efficiency	+5.0/-5.0	+16.5/-17.3	+16.3/-17.5	+12.7/-14.0	+15.0/-16.0	+9.8/-11.5	+16.0/-17.2	–
Light jet-tagging efficiency	+1.3/-1.3	+11.4/-12.1	+12.0/-13.2	+31.1/-36.7	+8.5/-9.1	+2.7/-3.2	+4.2/-4.3	–
$t\bar{t}$ cross section	–	+9.9/-10.7	–	–	–	–	–	–
$t\bar{t}V$ cross section	–	–	–	–	–	–	+30.0/-30.0	–
Single top cross section	–	–	–	–	+4.7/-3.7	–	–	–
Diboson cross section	–	–	–	–	–	+5.0/-5.0	–	–
V+jets normalisation	–	–	+58.8/-58.8	+58.8/-58.8	–	–	–	–
Multijet normalisation	–	–	–	–	–	–	–	+82.8/-82.8
W+heavy-flavour fractions	–	–	+35.2/-35.0	–	–	–	–	–
$t\bar{t}$ modeling	–	+15.8/-20.2	–	–	–	–	–	–
$t\bar{t}$ +heavy-flavour fractions	–	+25.9/-25.9	–	–	–	–	–	–
$t\bar{t}H$ modeling	+1.3/-1.5	–	–	–	–	–	–	–
Total	+32.5/-36.7	+46.3/-50.1	+78.0/-80.8	+87.1/-91.4	+35.3/-39.1	+45.7/-50.2	+45.2/-47.9	+82.8/-82.8



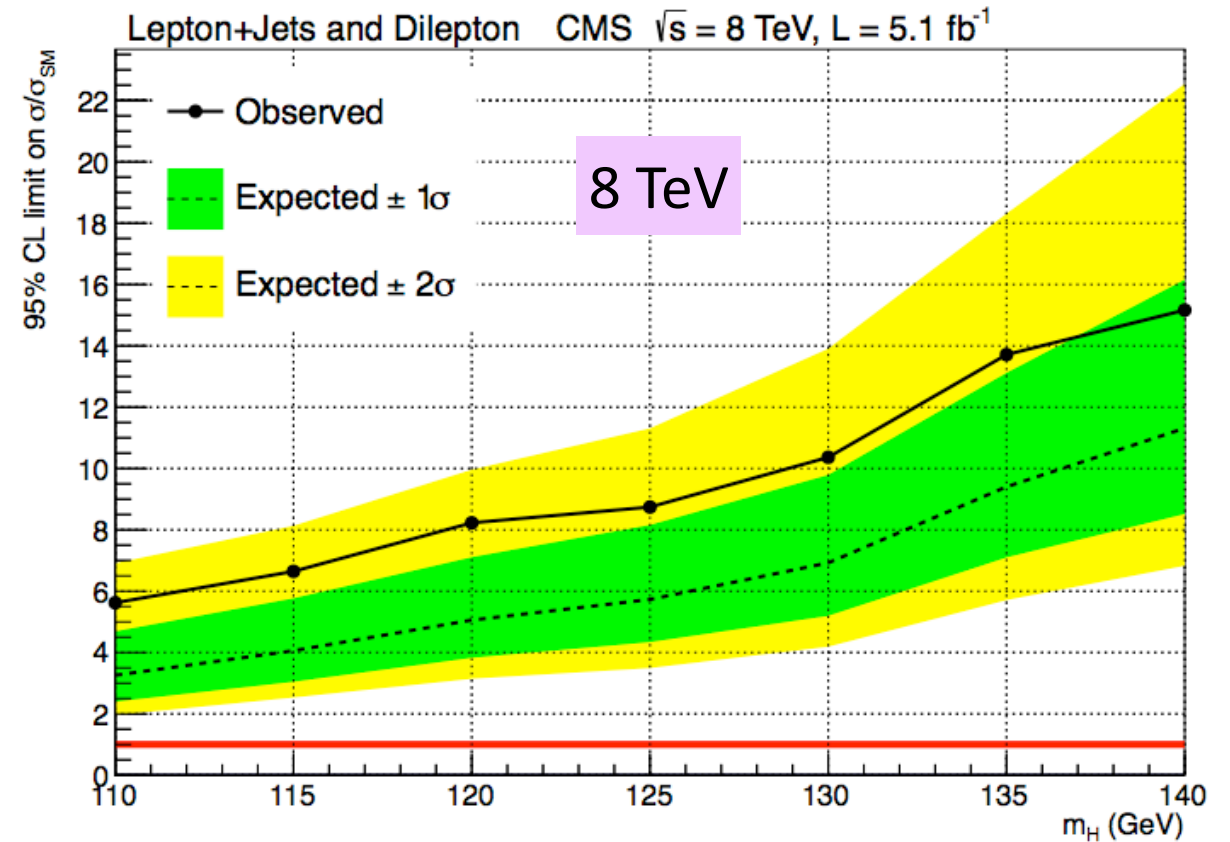
[CMS-PH-EP-2013-027
arXiv:1303.0763v1]

Source	Rate Uncertainty	Shape	Remarks
Luminosity (7 TeV)	2.2%	No	All signal and backgrounds
Luminosity (8 TeV)	4.4%	No	All signal and backgrounds
Lepton ID/Trig	4%	No	All signal and backgrounds
Pileup	1%	No	All signal and backgrounds
Additional Pileup Corr.	–	Yes	All signal and backgrounds
Jet Energy Resolution	1.5%	No	All signal and backgrounds
Jet Energy Scale	0–60%	Yes	All signal and backgrounds
b -Tag SF (b/c)	0–33.6%	Yes	All signal and backgrounds
b -Tag SF (mistag)	0–23.5%	Yes	All signal and backgrounds
MC Statistics	–	Yes	All backgrounds
PDF (gg)	9%	No	For gg initiated processes ($t\bar{t}$, $t\bar{t}Z$, $t\bar{t}H$)
PDF (qq)	4.2–7%	No	For qq initiated processes ($t\bar{t}W$, W , Z).
PDF (qg)	4.6%	No	For qg initiated processes (single top)
QCD Scale ($t\bar{t}H$)	15%	No	For NLO $t\bar{t}H$ prediction
QCD Scale ($t\bar{t}$)	2–12%	No	For NLO $t\bar{t}$ and single top predictions
QCD Scale (V)	1.2–1.3%	No	For NNLO W and Z prediction
QCD Scale (VV)	3.5%	No	For NLO diboson prediction
Madgraph Scale ($t\bar{t}$)	0–20%	Yes	$t\bar{t}$ + jets/ $b\bar{b}$ / $c\bar{c}$ uncorrelated. Varies by jet bin.
Madgraph Scale (V)	20–60%	No	Varies by jet bin.
$t\bar{t}$ + $b\bar{b}$	50%	No	Only $t\bar{t}$ + $b\bar{b}$.

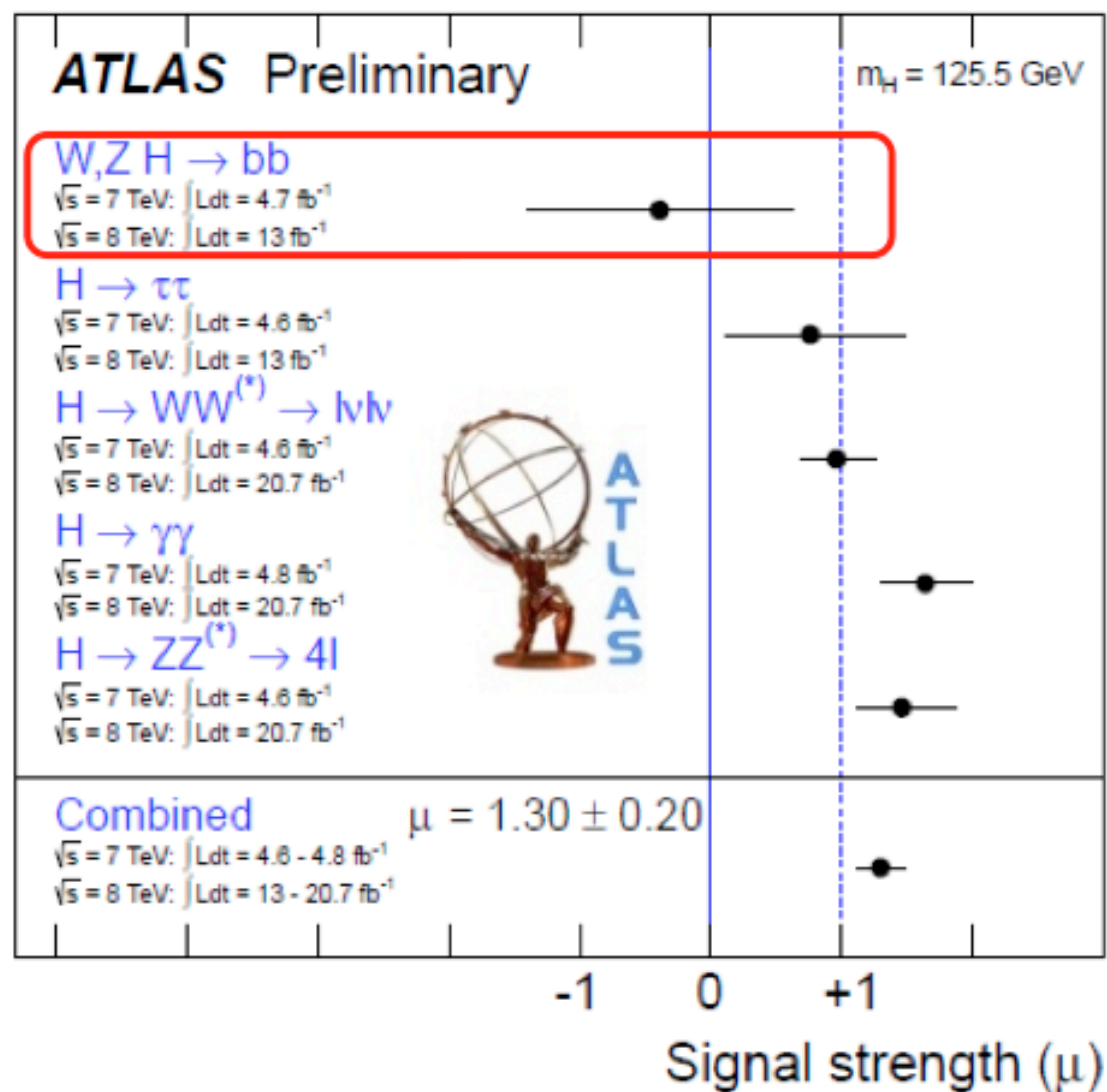
Risultati (CMS)



[CMS-PH-EP-2013-027
arXiv:1303.0763v1]



Signal strength



Higgs Boson Decay	μ ($m_H = 125.5 \text{ GeV}$)
$VH \rightarrow Vb\bar{b}$	-0.4 ± 1.0
$H \rightarrow \tau\tau$	0.8 ± 0.7
$H \rightarrow WW^{(*)}$	1.0 ± 0.3
$H \rightarrow \gamma\gamma$	1.6 ± 0.3
$H \rightarrow ZZ^{(*)}$	1.5 ± 0.4
Combined	1.30 ± 0.20

