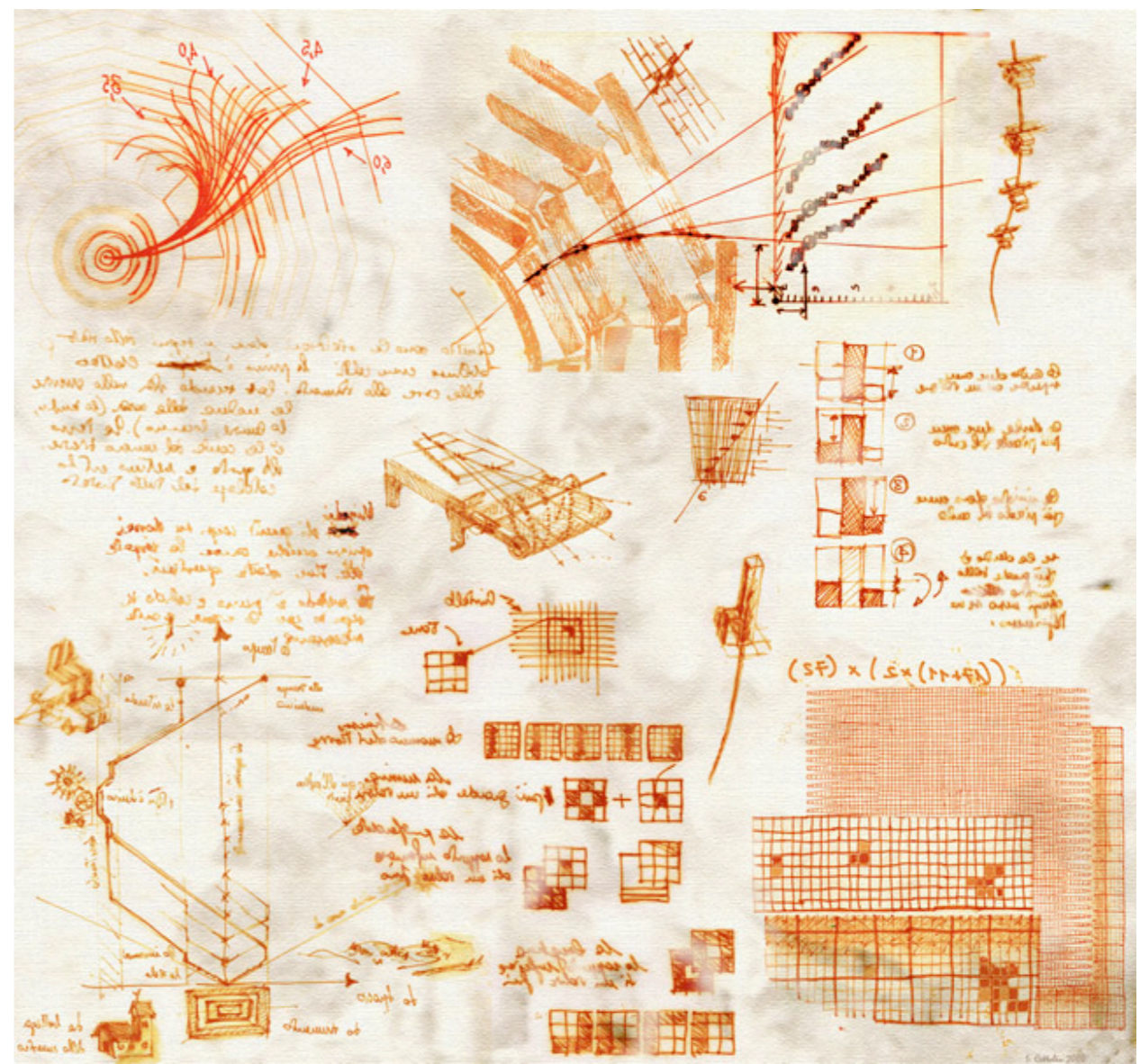


CAGLIARI 3 - 5 APRILE

IFAE

XII INCONTRI DI FISICA
DELLE ALTE ENERGIE

2013



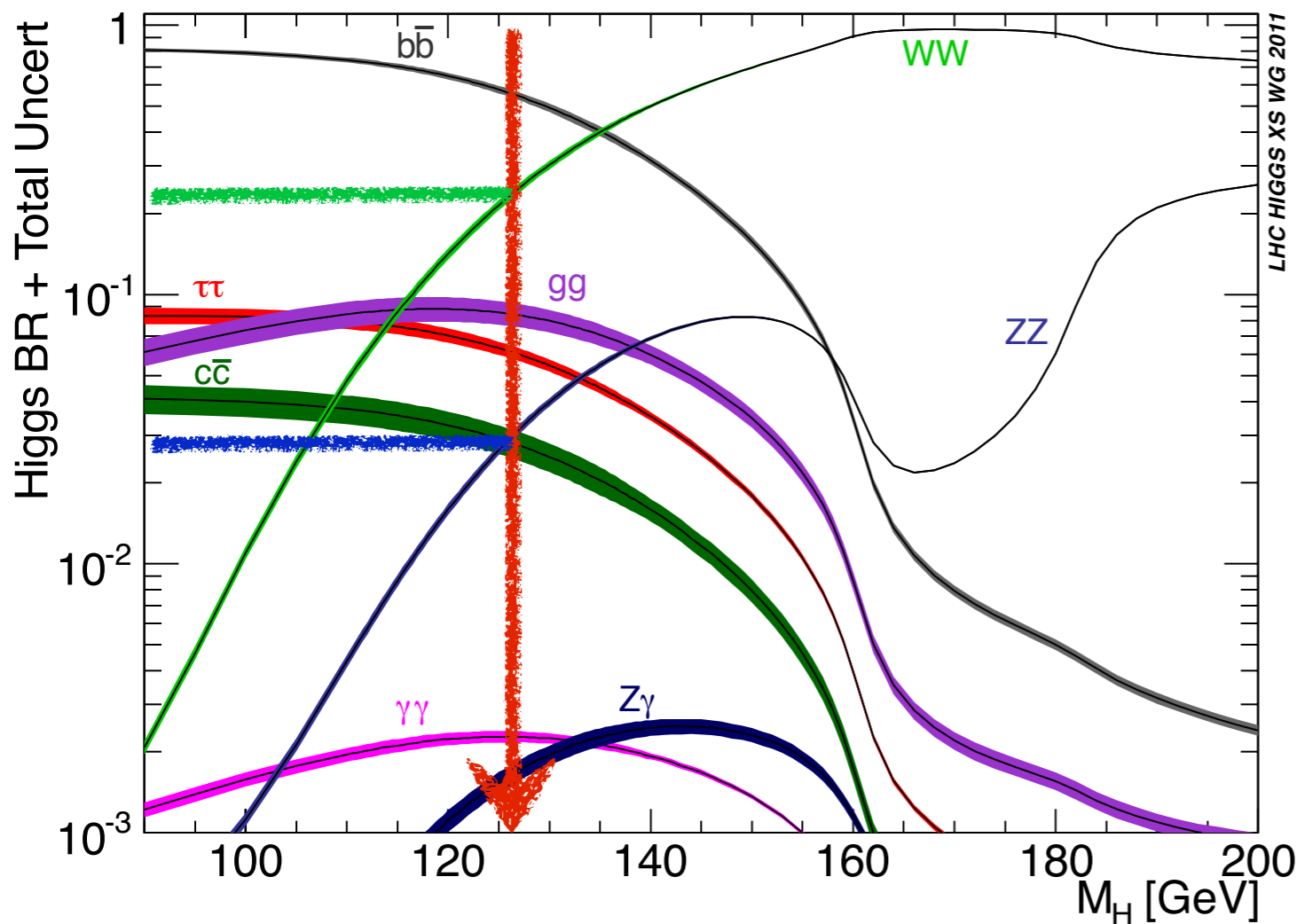
Risultati di CMS nella ricerca di $H \rightarrow WW^{(*)}$ e $ZZ^{(*)}$

E. Di Marco (California Institute of Technology),
per la collaborazione CMS

IFAE 2013, Cagliari



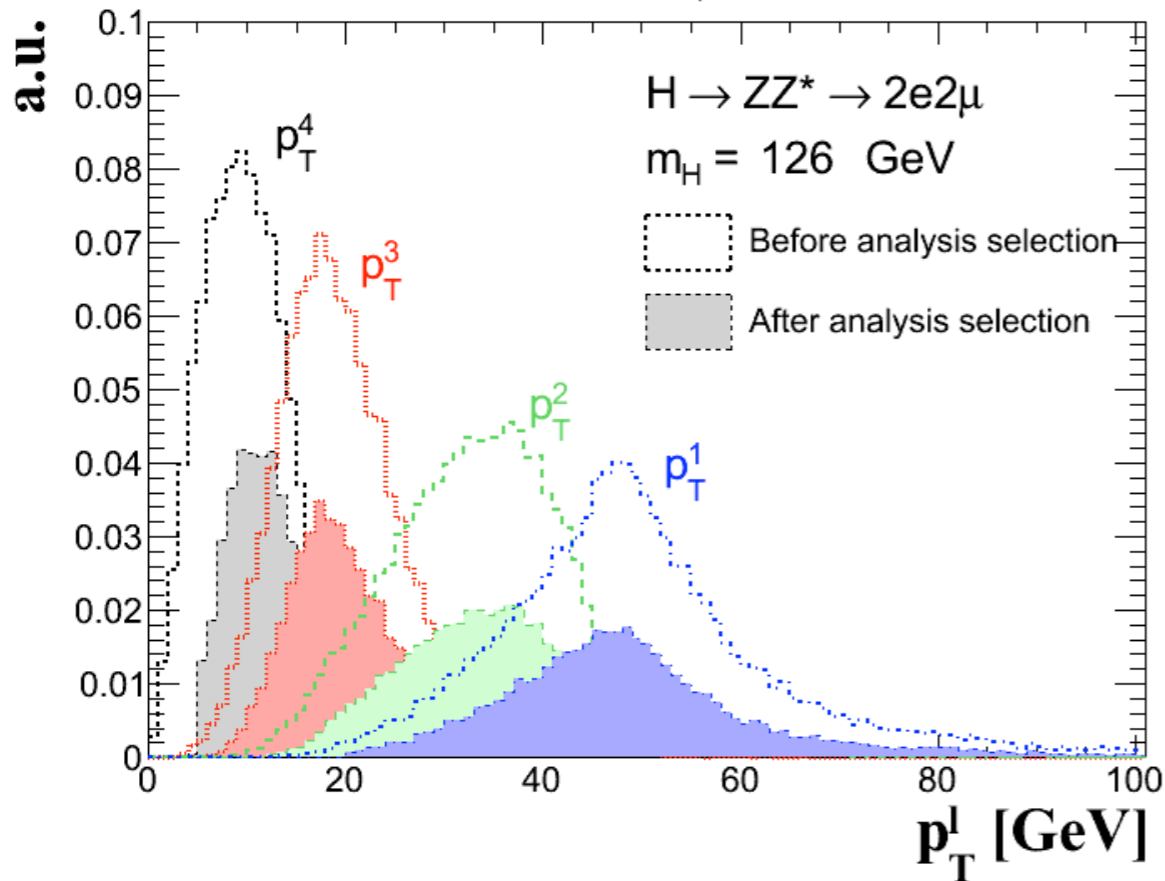
- $BR(H \rightarrow WW) = 0.23$
 - il canale più puro: $BR(H \rightarrow WW) \times BR(2l2\nu) = 1.14 \times 10^{-2}$
 - $BR(H \rightarrow ZZ) = 0.029$
 - Il canale più puro: $BR(H \rightarrow ZZ) \times BR(4l) = 1.36 \times 10^{-4}$
- vs.
 $BR(H \rightarrow \gamma\gamma) = 2.2 \times 10^{-3}$



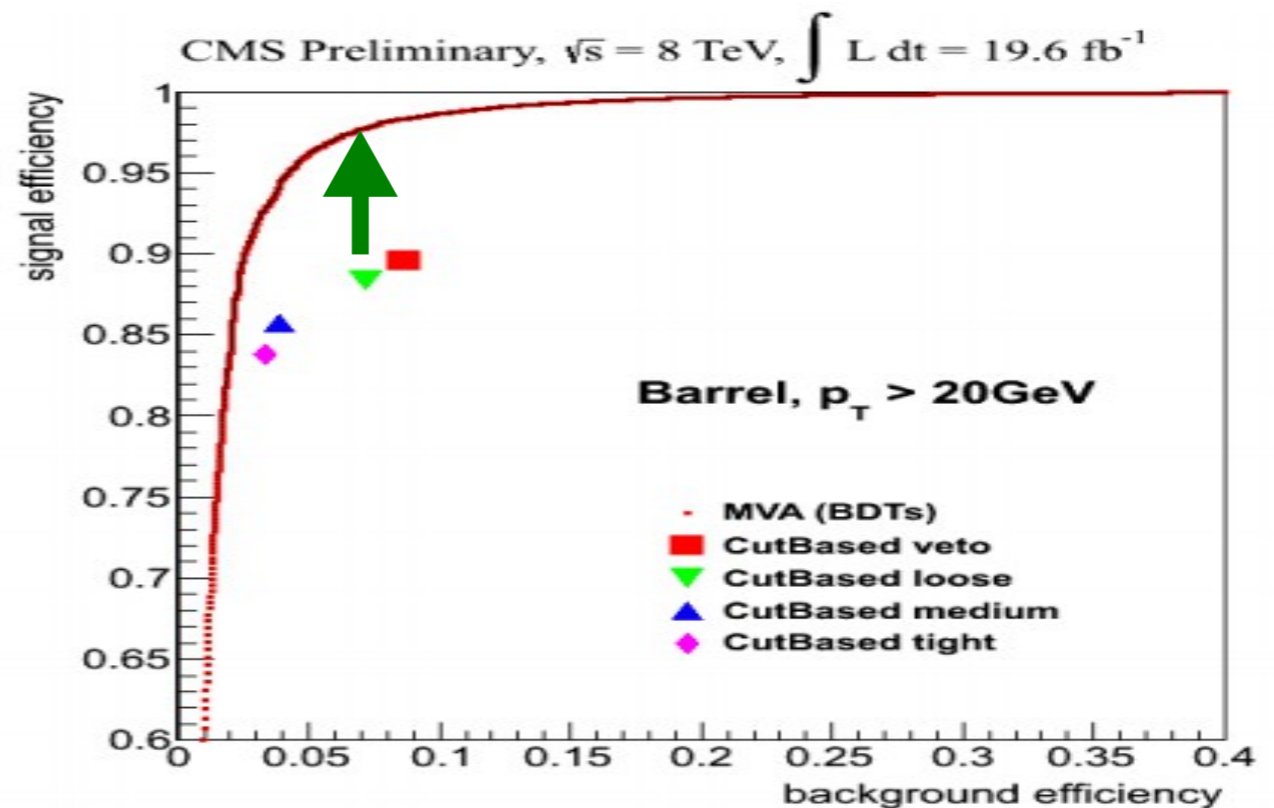
- presenza di ≥ 2 leptoni ($l=e, \mu$):
- alto rapporto S/B
 - possibilità di trigger per leptoni fino a $p_T \sim 10$ GeV
 - \Rightarrow sensibilità a basso m_H
 - fondo principale 'irriducibile', $pp/gg \rightarrow WW, ZZ$ continuo

- Per $H \rightarrow ZZ$, una coppia di leptoni forma la Z on-shell, l'altra la Z off-shell
- tipicamente, il p_T dei leptoni della Z off shell è basso: $\approx 50\%$ ha $p_T < 10$ GeV
- necessaria una selezione versatile efficiente da 5 a 50 GeV
- identificazione di elettroni con MVA, isolamento che sfrutta la ricostruzione dettagliata dell'evento (Particle-flow)

CMS Simulation, $\sqrt{s} = 8$ TeV

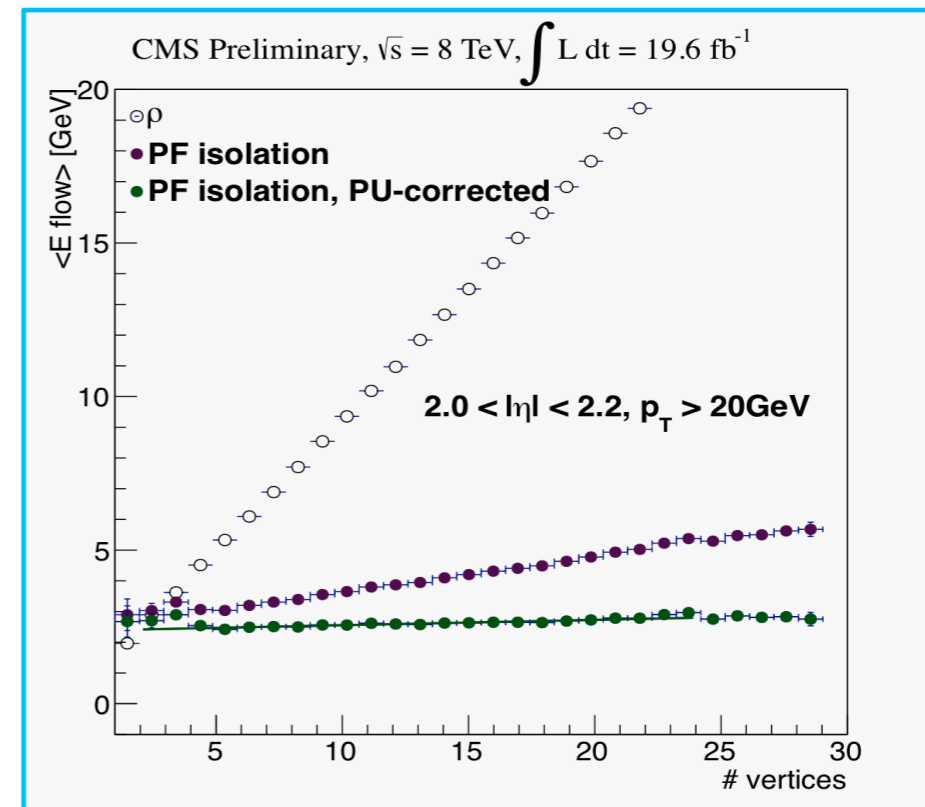
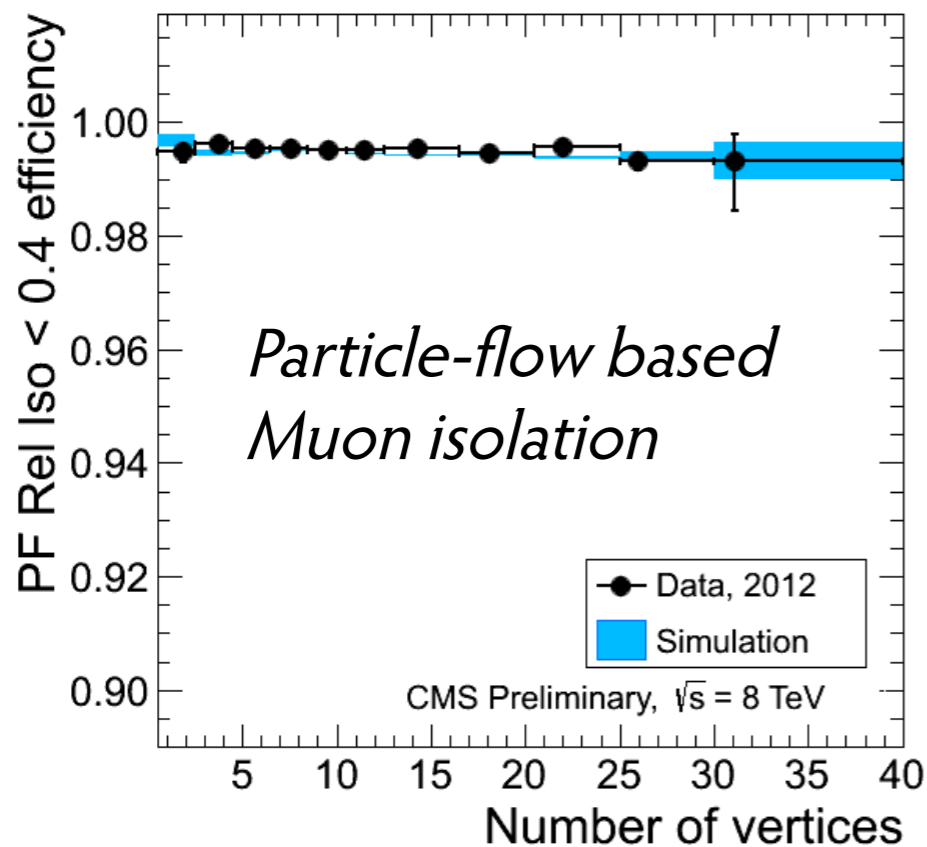


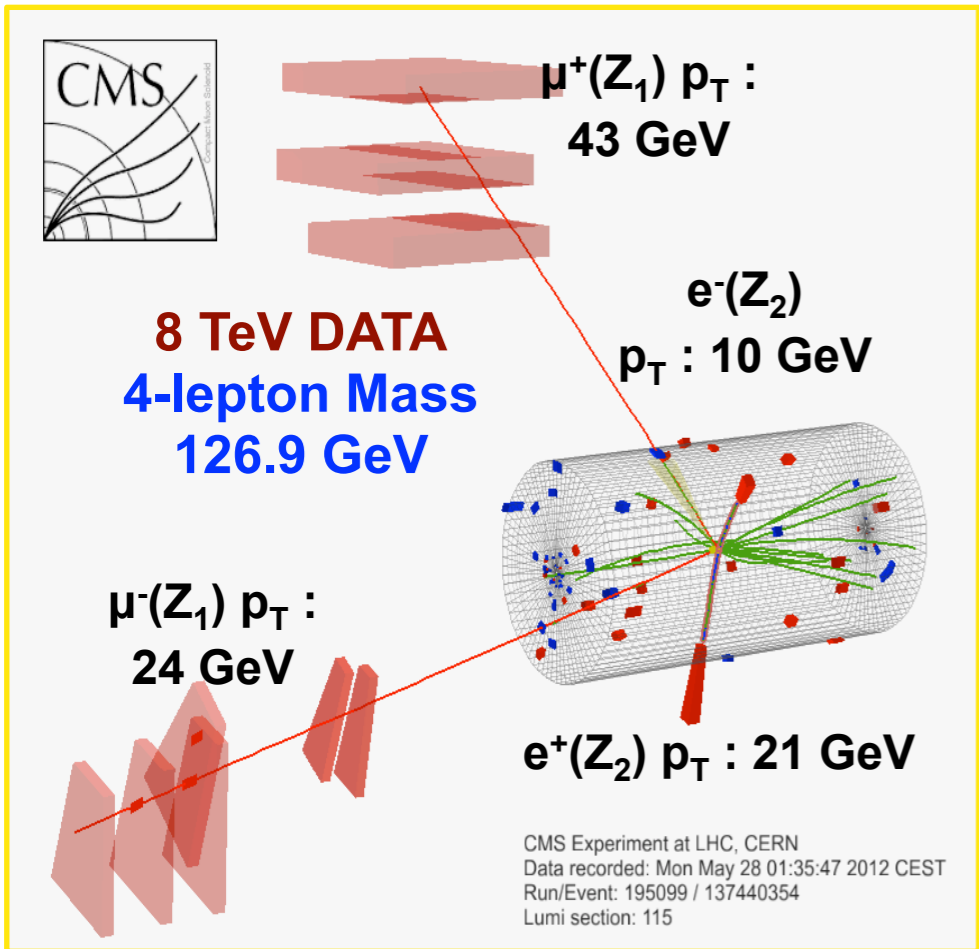
identificazione e^\pm con MVA.
 rispetto al 2011, per lo stessa mis-ID:
 90% \rightarrow 98% per $p_T > 20$ GeV
 70% \rightarrow 85% per $p_T < 20$ GeV



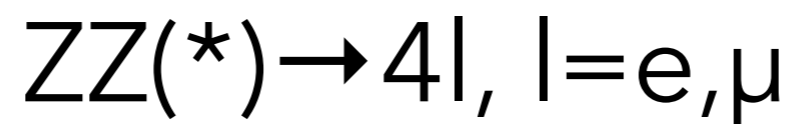
- Identificazione di elettroni e muoni basata su variabili non sensibili al pileup
- isolamento particle-flow corretto per gli effetti di pileup:
 - particelle cariche associate al vertice primario
 - particelle neutre: energia media del PU extra sottratta dalla stima evento-per-evento
- efficienze misurate sui dati nei decadimenti $Z \rightarrow e^+e^-$ e $\mu^+\mu^-$ e usate per correggere il MC

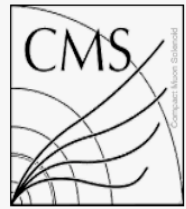
correzione del pile-up per gli elettroni con $Z \rightarrow e^+e^-$





focus nel range $m_H < 160 \text{ GeV}$:

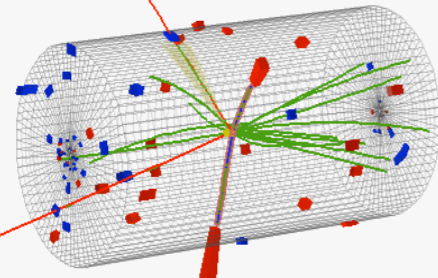




$\mu^+(Z_1) p_T :$
43 GeV

8 TeV DATA
4-lepton Mass
126.9 GeV

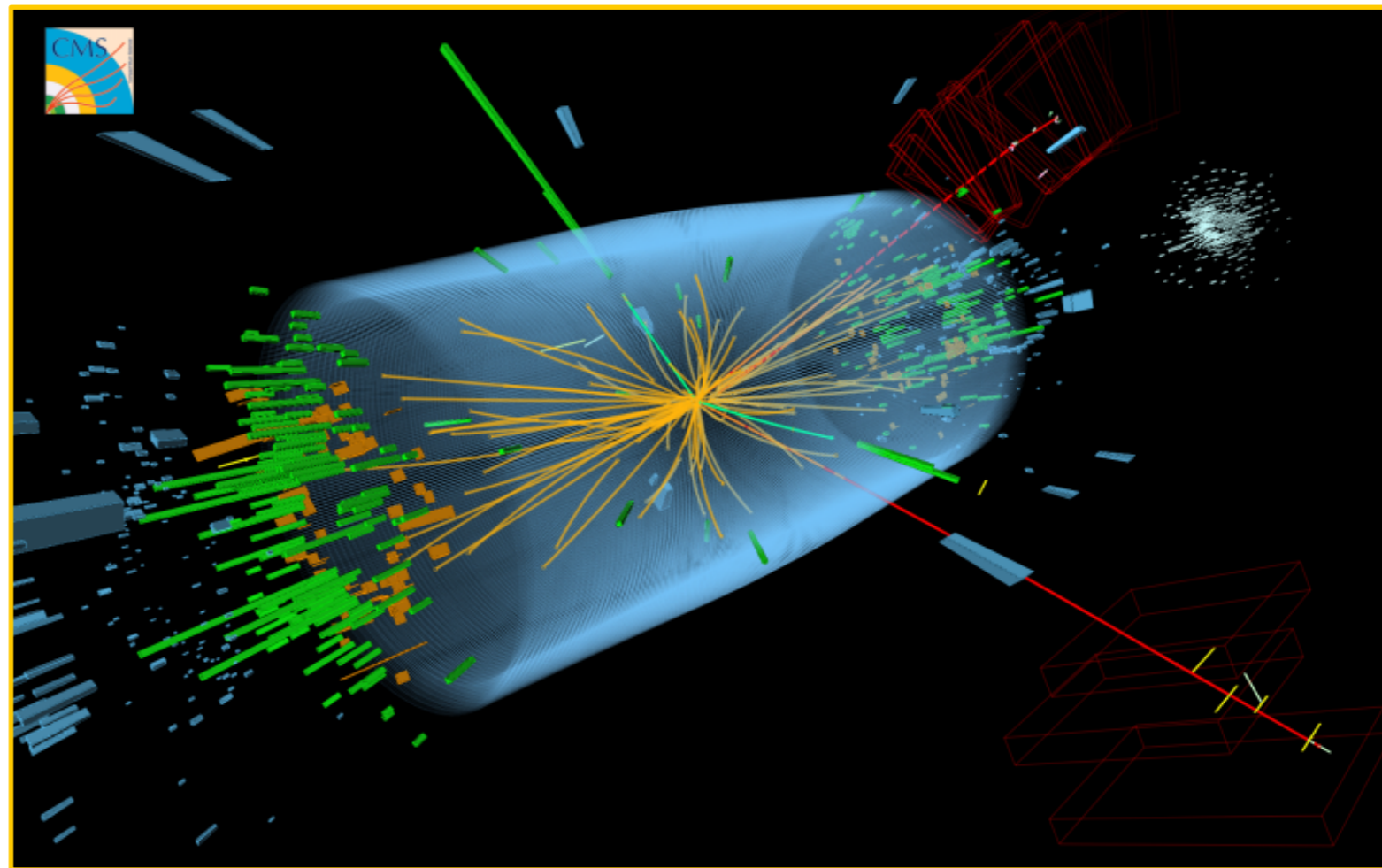
$e^-(Z_2)$
 $p_T : 10$ GeV



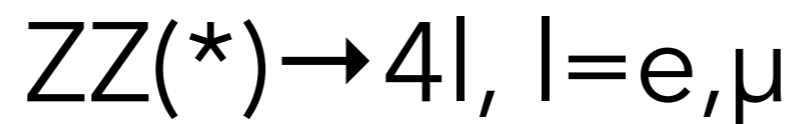
$\mu^-(Z_1) p_T :$
24 GeV

$e^+(Z_2) p_T : 21$ GeV

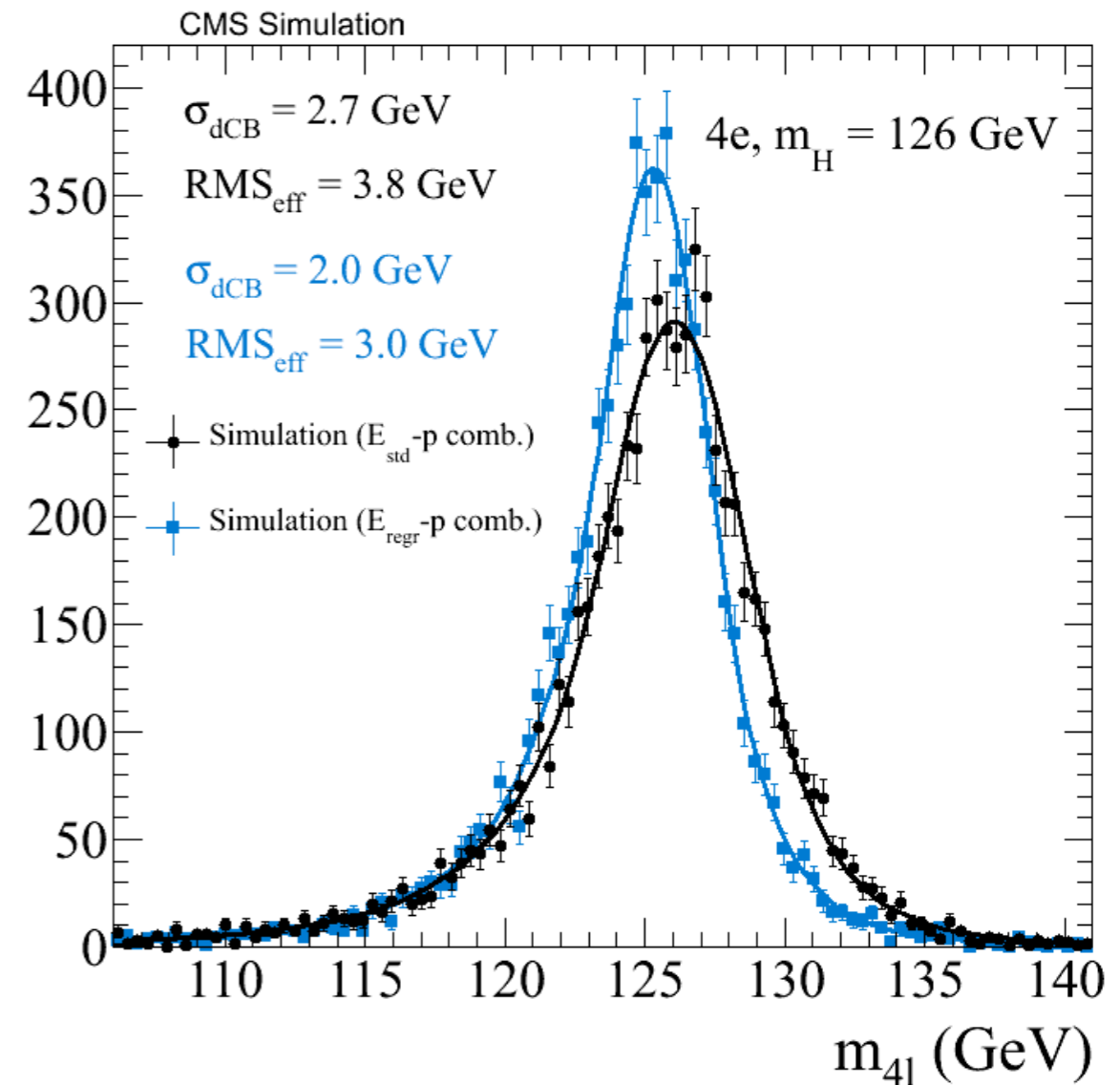
CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon May 28 01:35:47 2012 CEST
Run/Event: 195099 / 137440354
Lumi section: 115



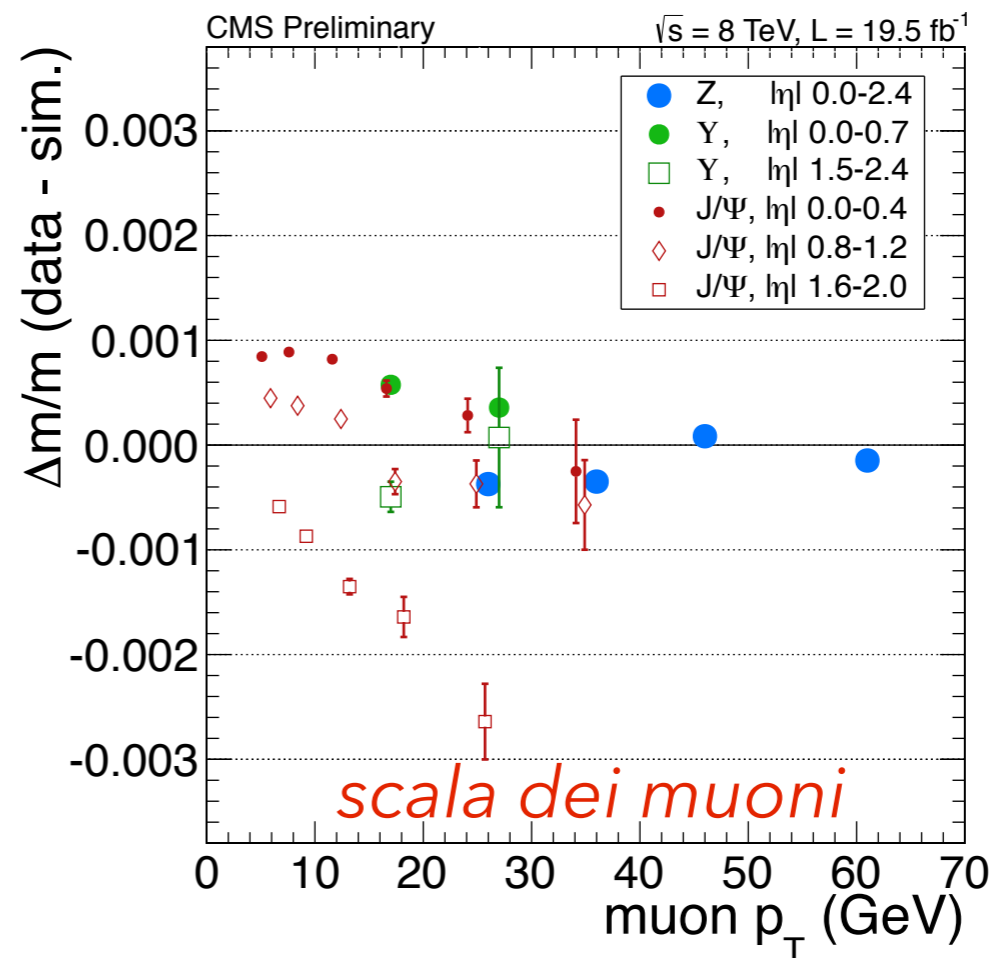
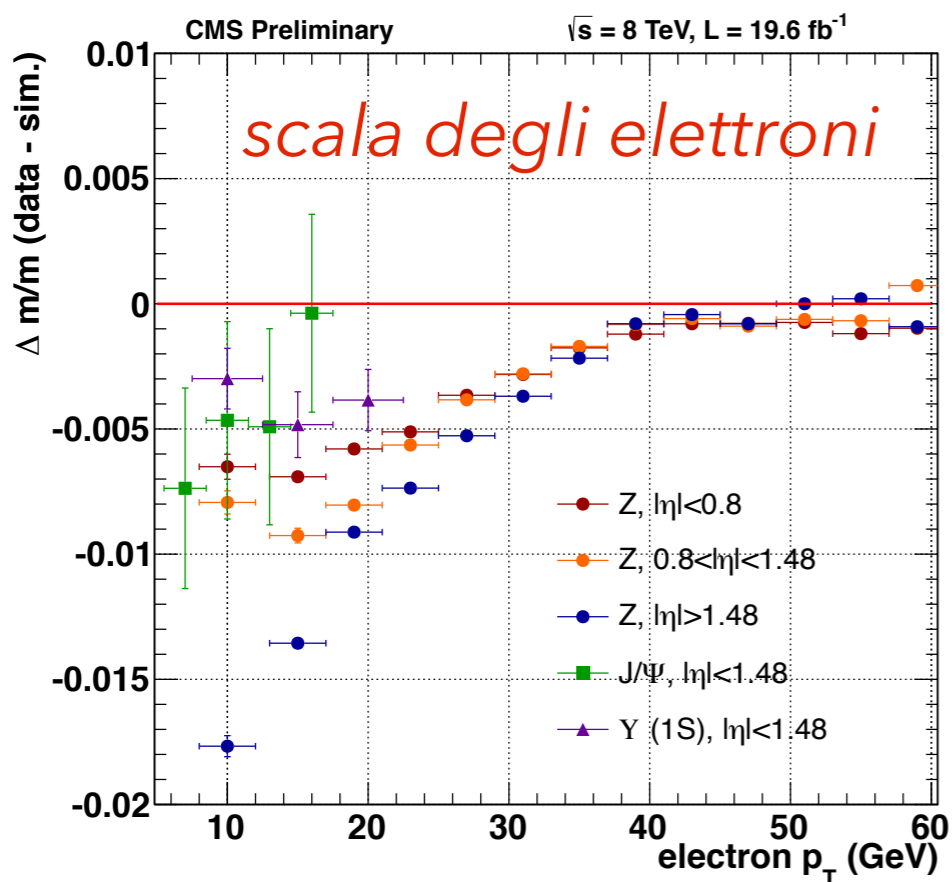
focus nel range $m_H < 160$ GeV:



- Caratteristiche: 2 coppie di leptoni isolati con un vertice comune
 - \Rightarrow Ricerca di un picco su un fondo continuo non risonante (ZZ^*)
- Selezione:
 - Z_1 : $P_T^{\min}(e) > 7$, $P_T^{\min}(\mu) > 5$, $40 < M_{ll} < 120$ GeV
 - Z_2 : $12 < M_{ll} < 120$ GeV
 - 3D IP to vtx $< 4\sigma$
- Stato finale completamente ricostruito
 - risoluzione di massa $\sim 1\text{-}2\%$:
 - la $\sigma_{\text{Gauss}}(\text{RMS})$ è:
 - **1.2** (1.7) for 4μ ,
 - **1.7** (2.4) for $2e2\mu$,
 - **2.0** (3.0) GeV for $4e$
 - per gli elettroni, una correzione alla stima dell'energia di ECAL è applicata, consistentemente a $H \rightarrow \gamma\gamma$ (miglioramento in RMS $\sim 20\%$ per $4e$)

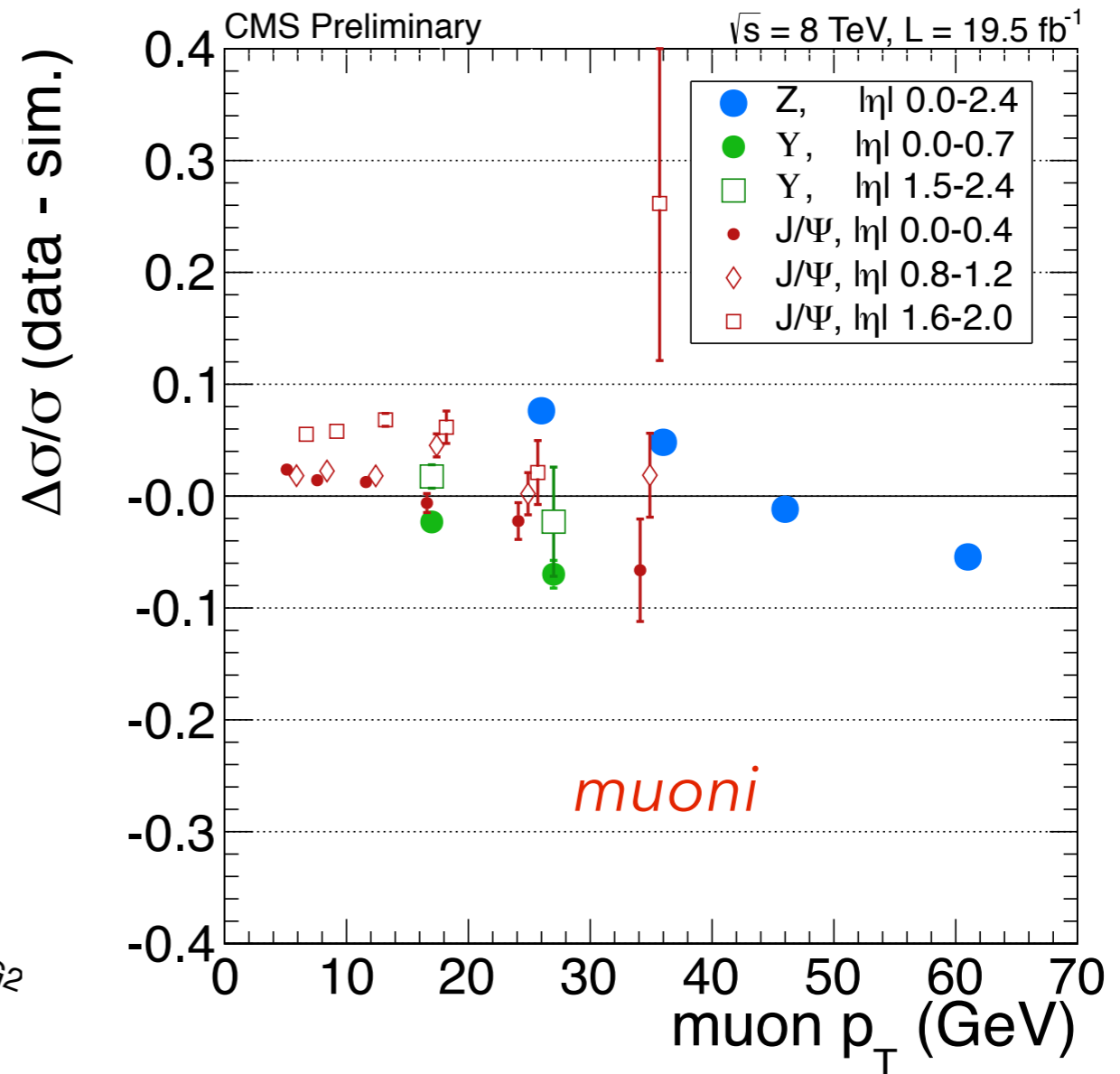
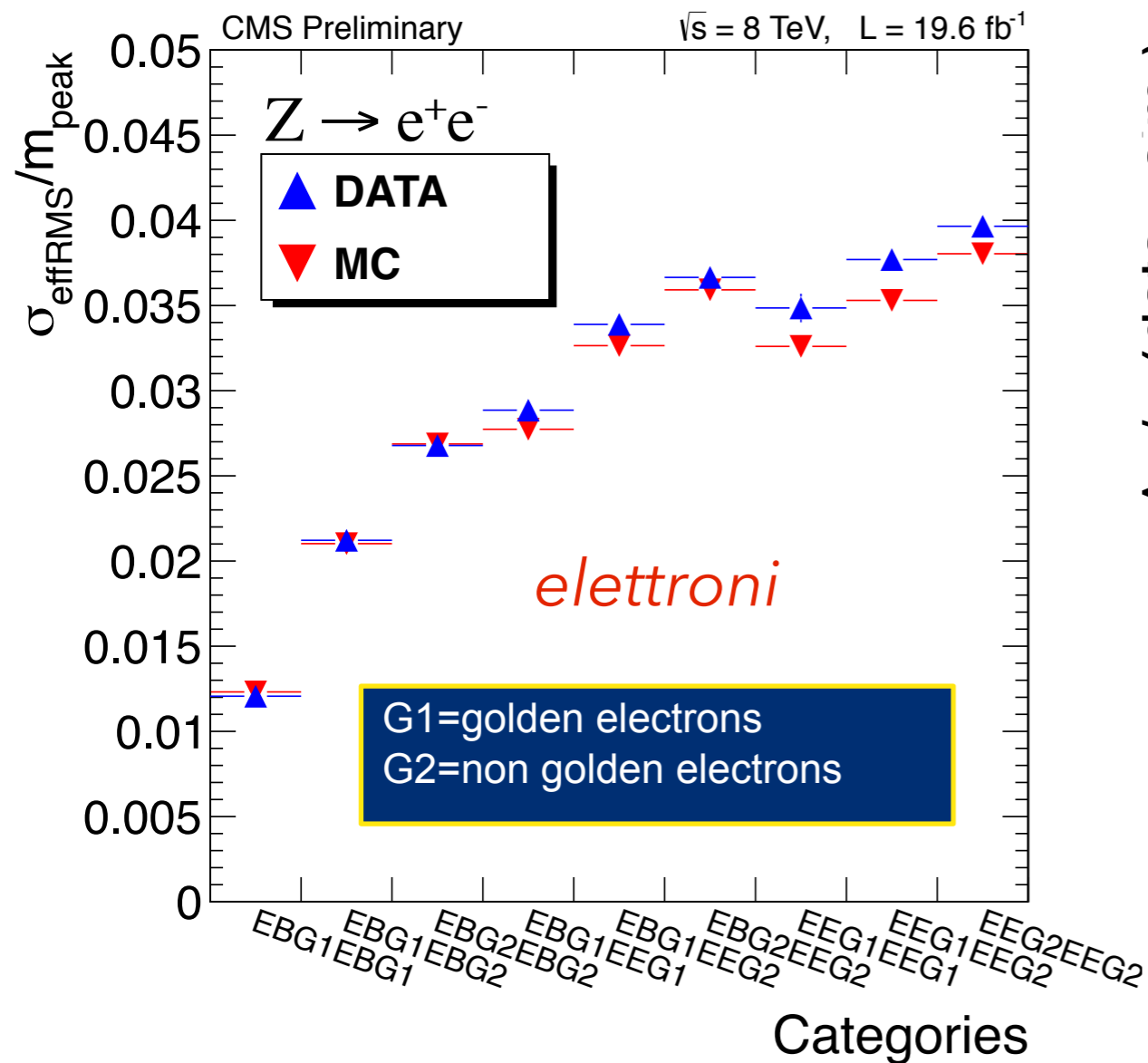


- La scala e la risoluzione di momento sono stimate sui dati usando risonanze ad alta statistica in modo differenziale rispetto al MC
- $Z \rightarrow ll$, per $p_T \gtrsim 15$ GeV
- J/Ψ , Y per $5 < p_T \lesssim 15$ GeV



- elettroni: effetti di non linearità $< 0.7\%$ nella maggior parte dello spazio delle fasi
- muoni: $< 0.1\%$ in circa tutto lo spazio delle fasi

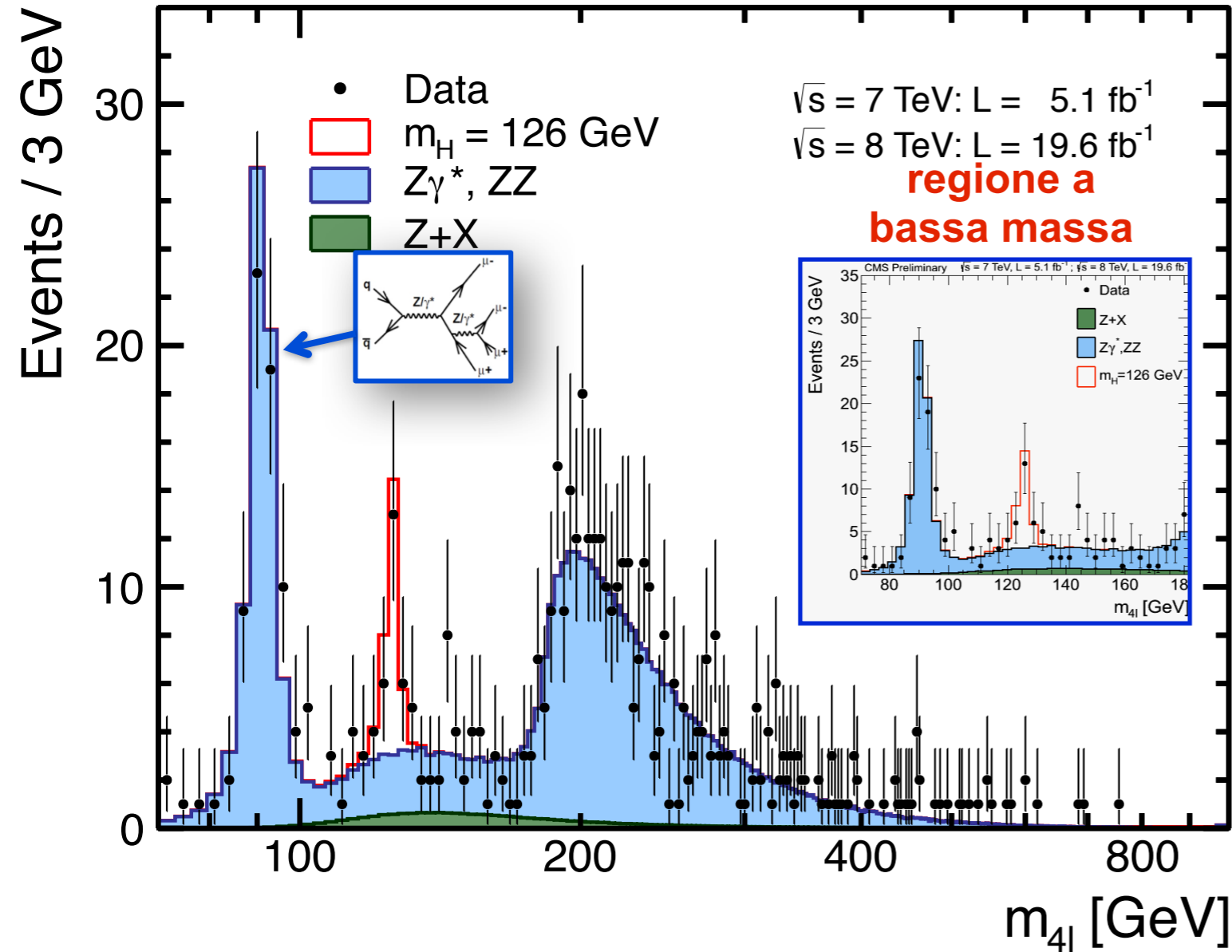
- Risoluzione effettiva misurata con risonanze in di-leptoni



- extra-smearing applicati al MC per le differenze residue con i dati
- in generale, ottimo accordo nella maggior parte dello spazio delle fasi

Candidati $ZZ \rightarrow 4\mu, 2e2\mu, 4e$

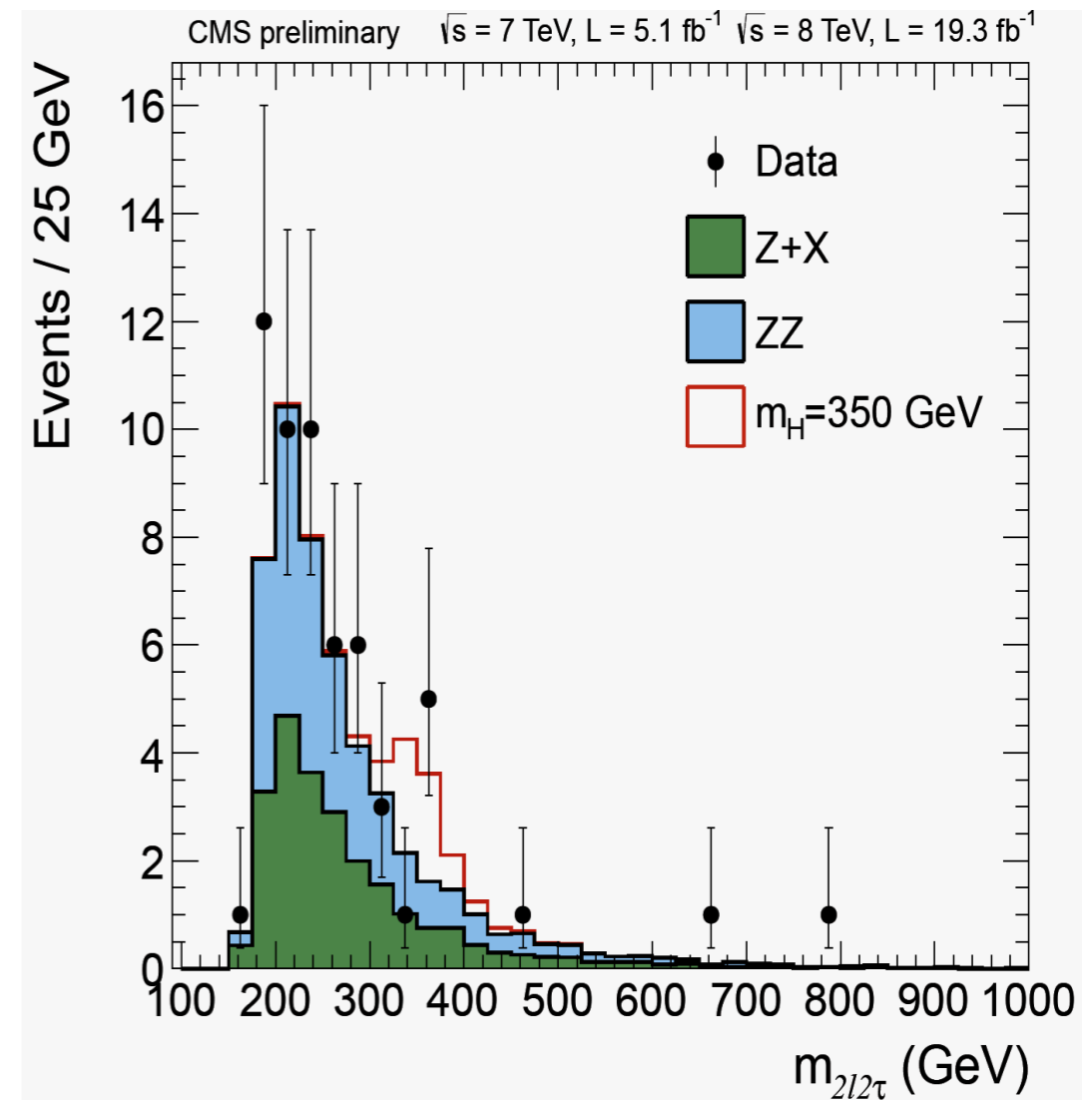
CMS preliminary



Chiaro segnale intorno 126 GeV

$Z \rightarrow 4l$ usato come validazione

Candidati $ZZ \rightarrow 2l2\tau$

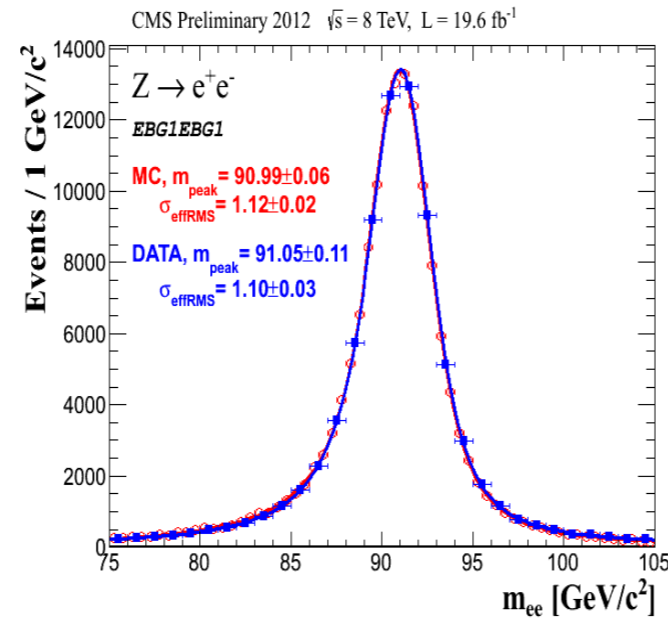
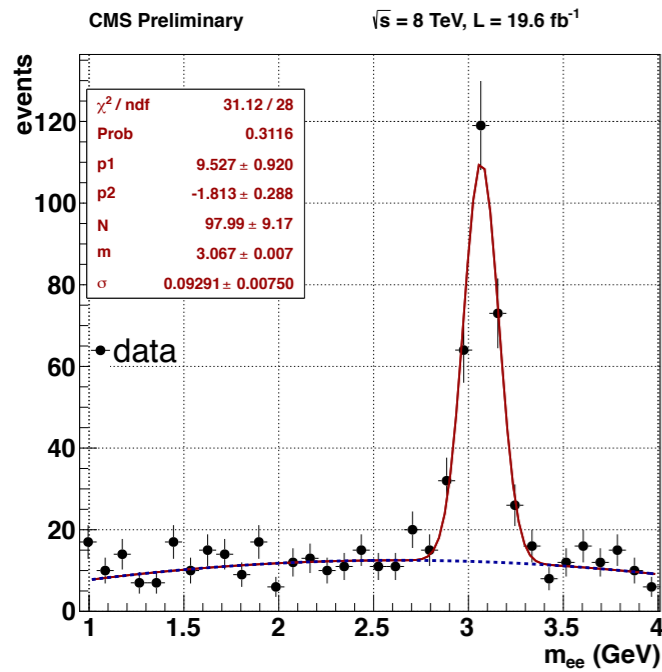


Sensibile soprattutto

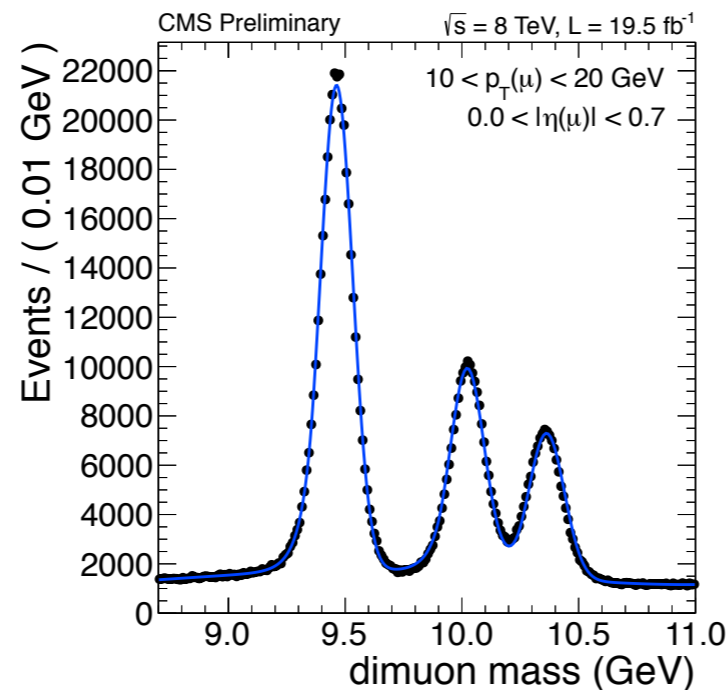
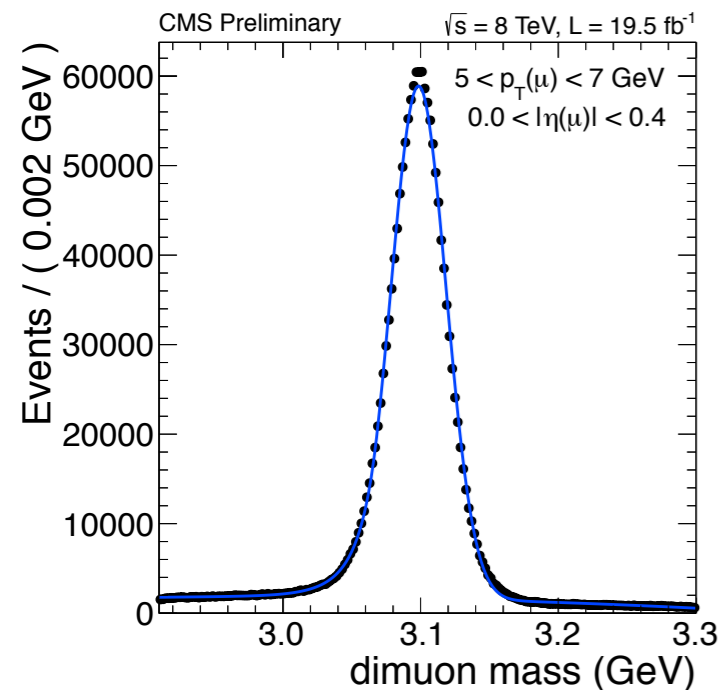
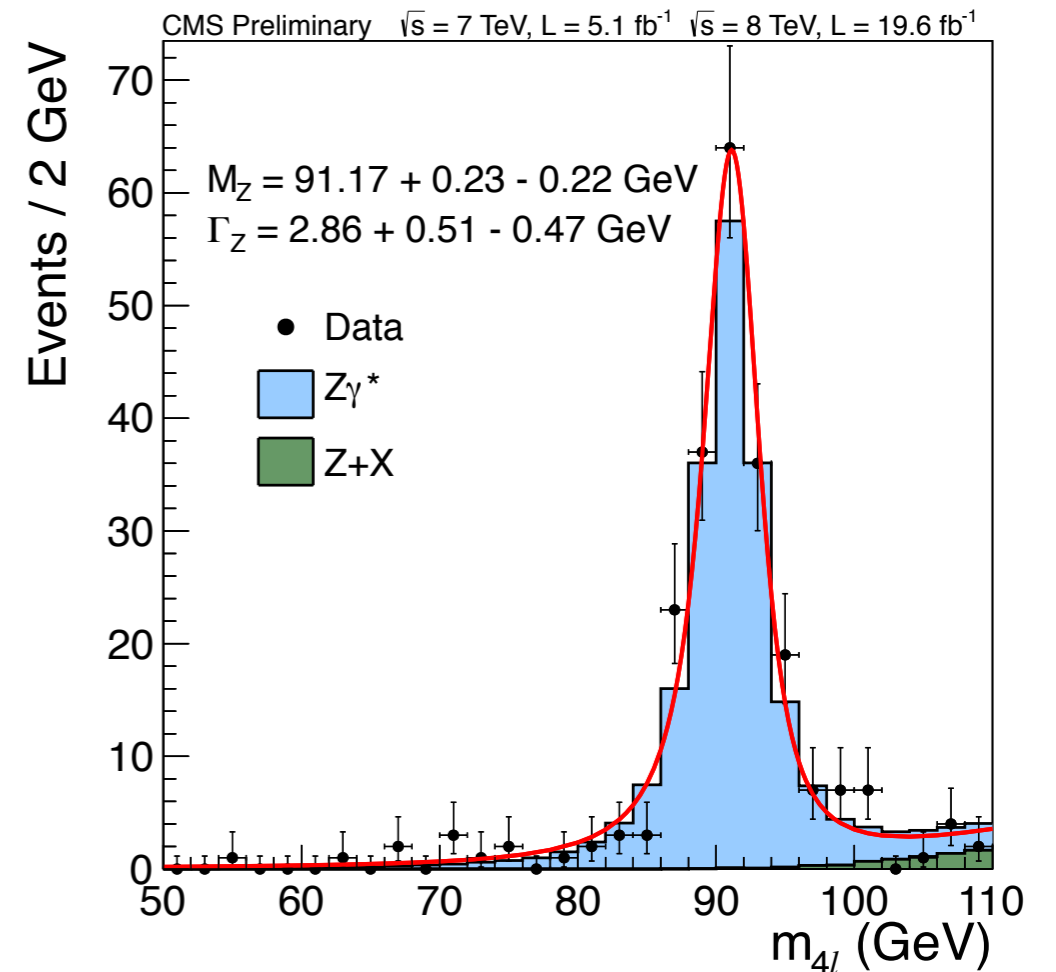
ad alta massa

($l=e, \mu$)

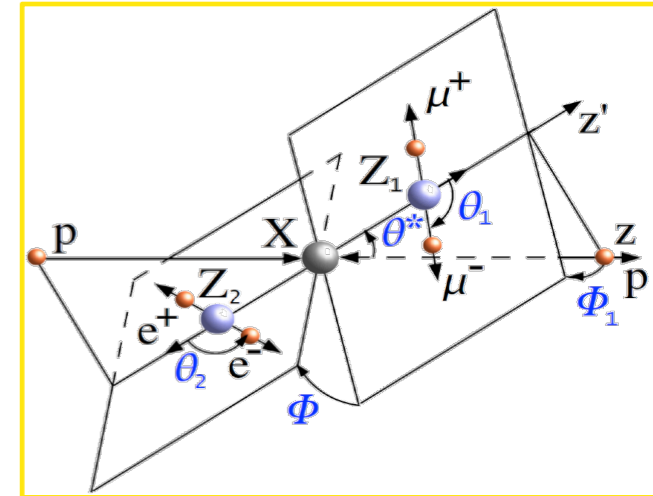
risonanze note ad alta statistica:
 $J/\Psi, Y, Z \rightarrow ee, \mu\mu$ usate per misurare la
 scala e risoluzione di momento dei leptoni



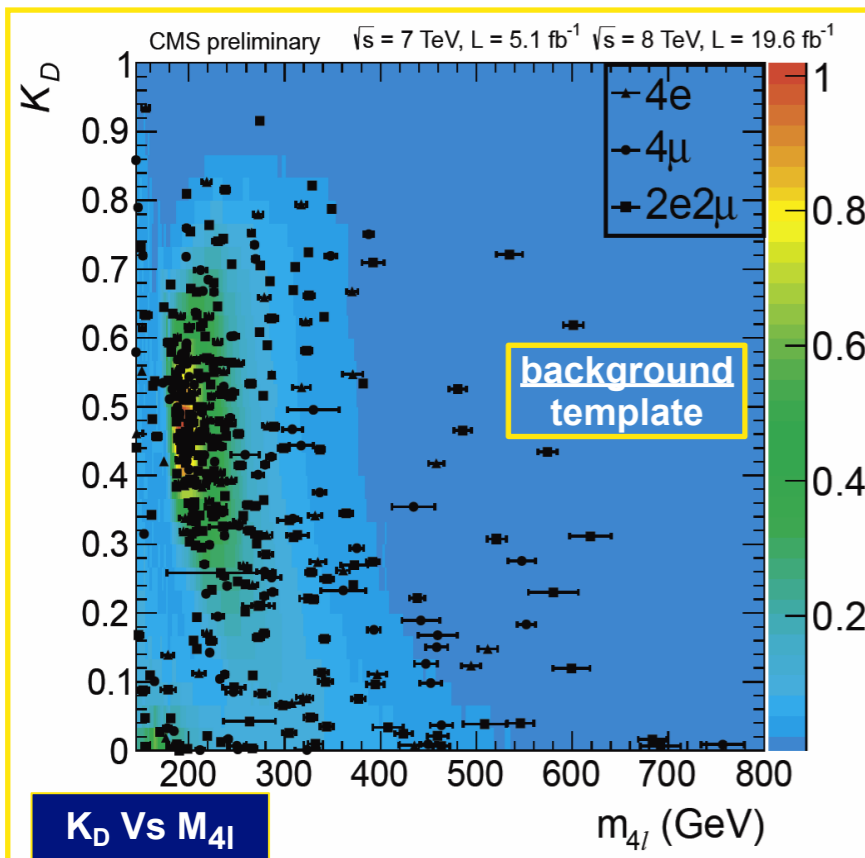
$Z \rightarrow 4l$ usata per validare la
 misura di massa, larghezza
 della risonanza a 126 GeV
 (spazio delle fasi simile)



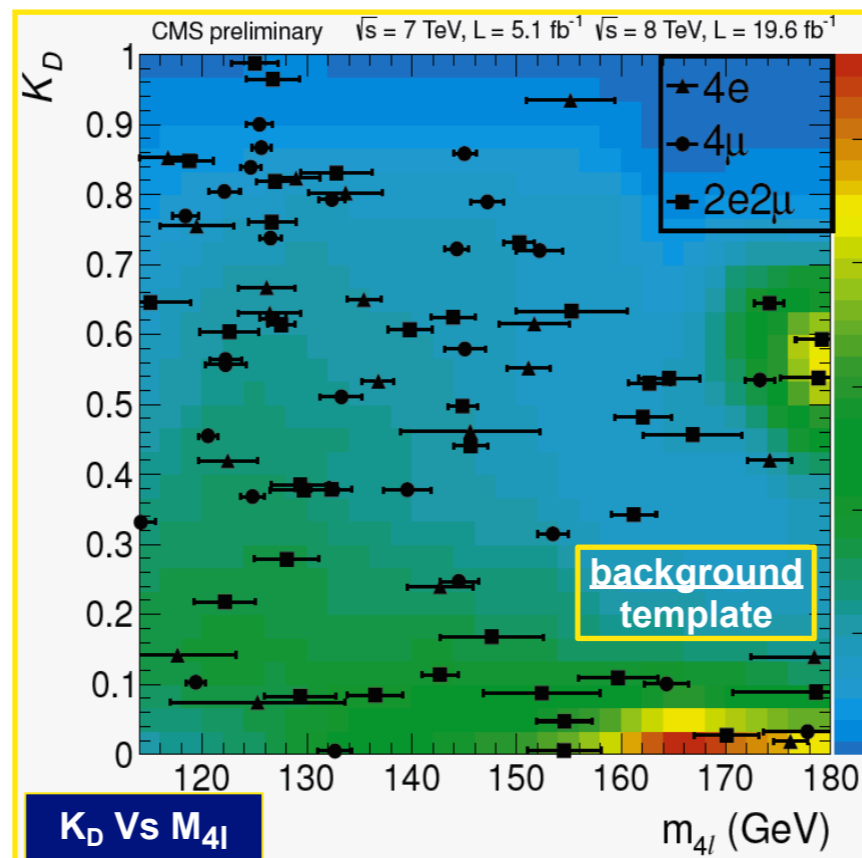
- Per aumentare la separazione S/B si calcola un discriminante K_D basato su informazioni angolari
- le stesse informazioni sono usate per la misura di J^{CP}
 - \Rightarrow cfr. talk di M. Pelliccioni



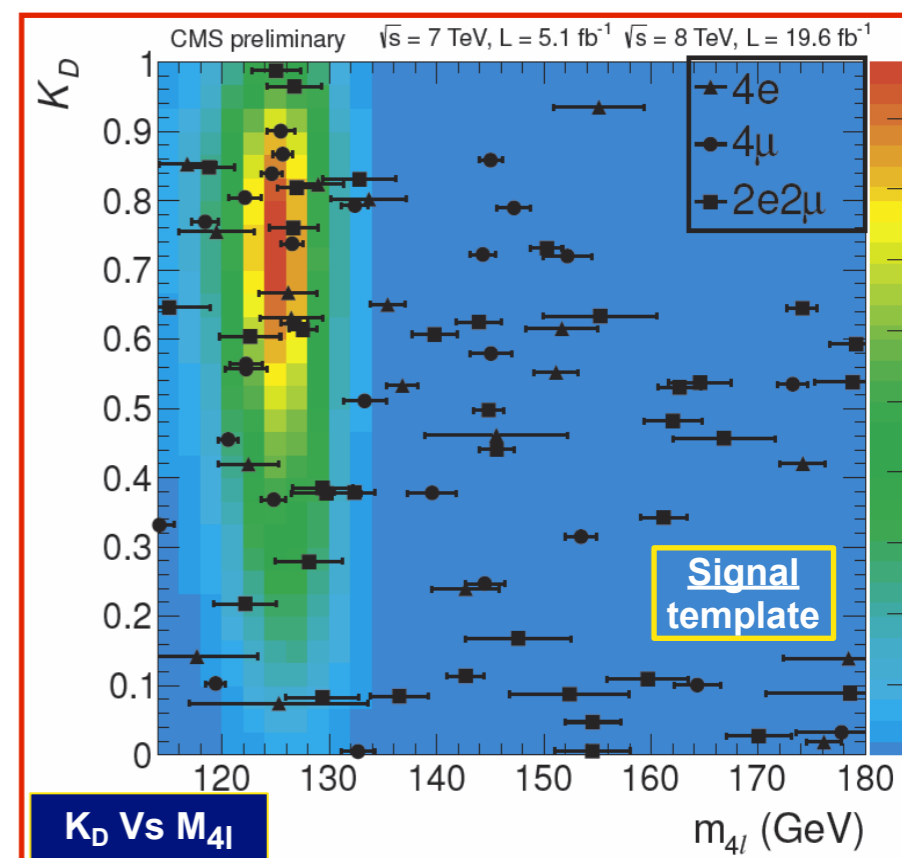
$$K_D = \frac{\mathcal{P}_{sig}}{\mathcal{P}_{sig} + c \times \mathcal{P}_{bkg}} = \left[1 + \frac{c \times \mathcal{P}_{bkg}(m_1, m_2, \vec{\Omega} | m_{4\ell})}{\mathcal{P}_{sig}(m_1, m_2, \vec{\Omega} | m_{4\ell})} \right]^{-1}$$



Dati a alta massa, con $\sigma(m_{4l})$ sovrapposto al modello 2D di fondo

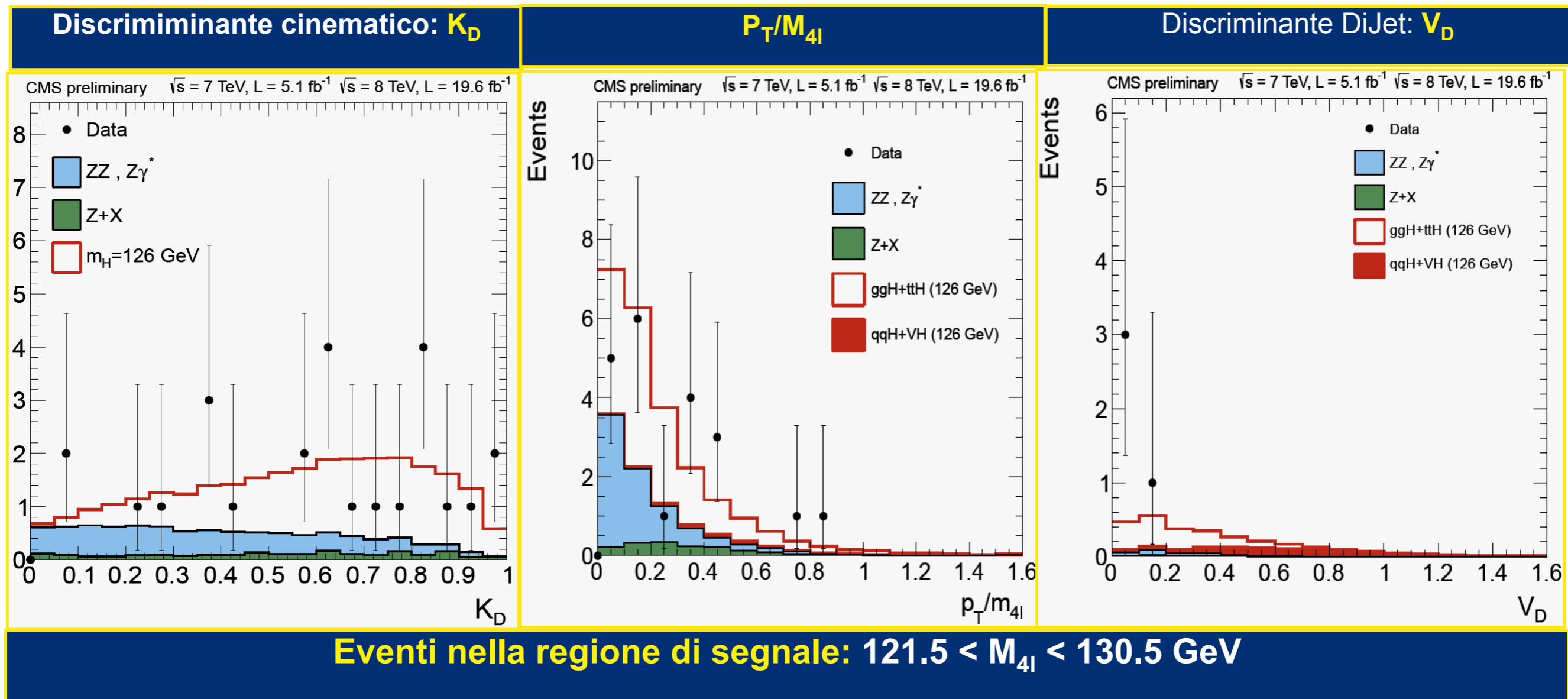


Dati a bassa massa, con $\sigma(m_{4l})$ sovrapposto al modello 2D di fondo

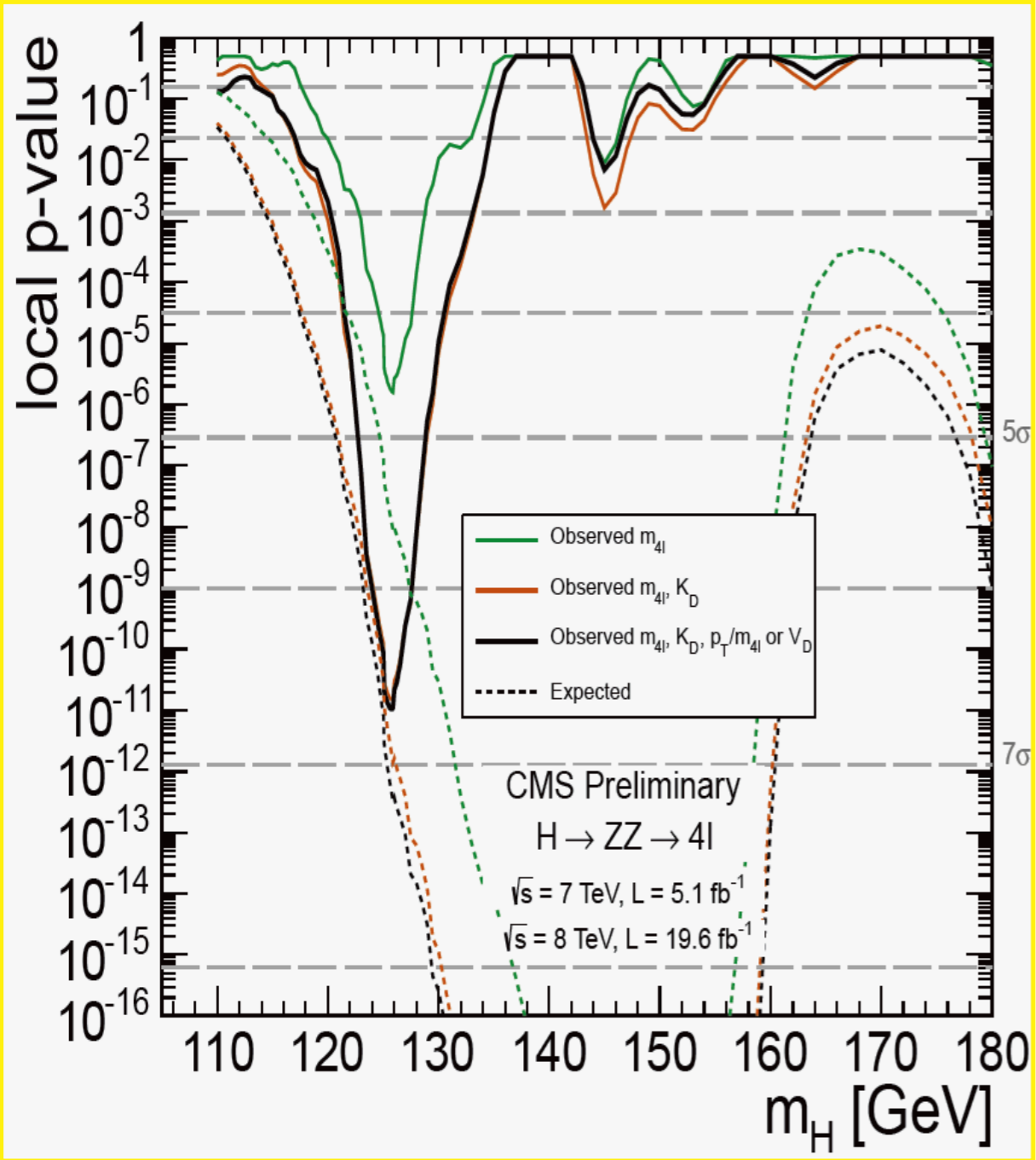


Dati a bassa massa, con $\sigma(m_{4l})$ con modello 2D di segnale (126 GeV)

- Gli eventi sono classificati con la presenza di 2 jet di $p_T > 30$ GeV e $|\eta| < 4.7$
 - 2-jet \Rightarrow 3D fit a m_{4l}, K_D, V_D (Fisher con m_{jj} e $\Delta\eta_{jj}$)
 - eventi non taggati \Rightarrow 3D fit a $m_{4l}, K_D, p_T/M$ (sensibile a ggF vs VBF)



P Values (σ) per i fit 1D, 2D, 3D

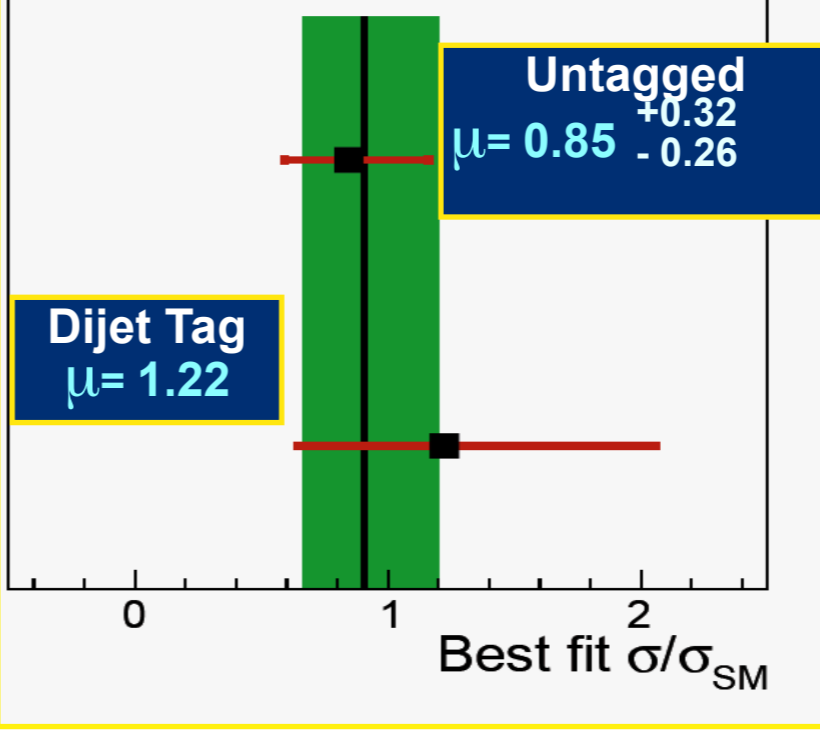


Best Fit $\mu = \sigma/\sigma_{SM}$

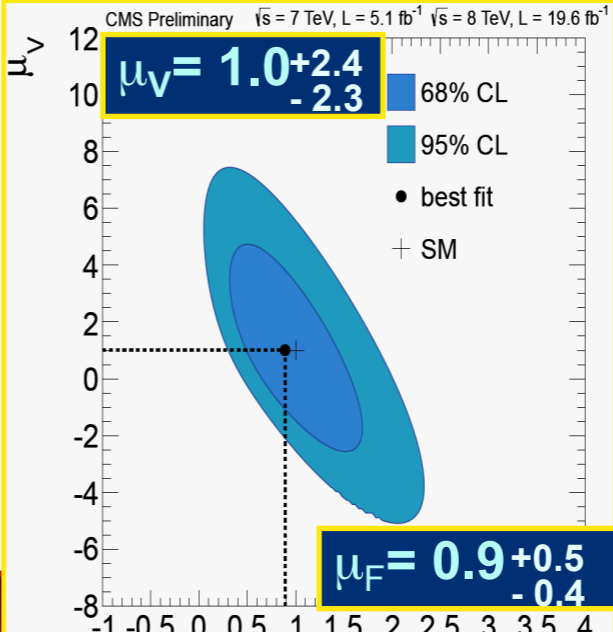
$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}, L = 5.1 \text{ fb}^{-1}$ $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}, L = 19.6 \text{ fb}^{-1}$

CMS Preliminary $m_H = 125.8 \text{ GeV}$

Overall $\mu = 0.91^{+0.30}_{-0.24}$



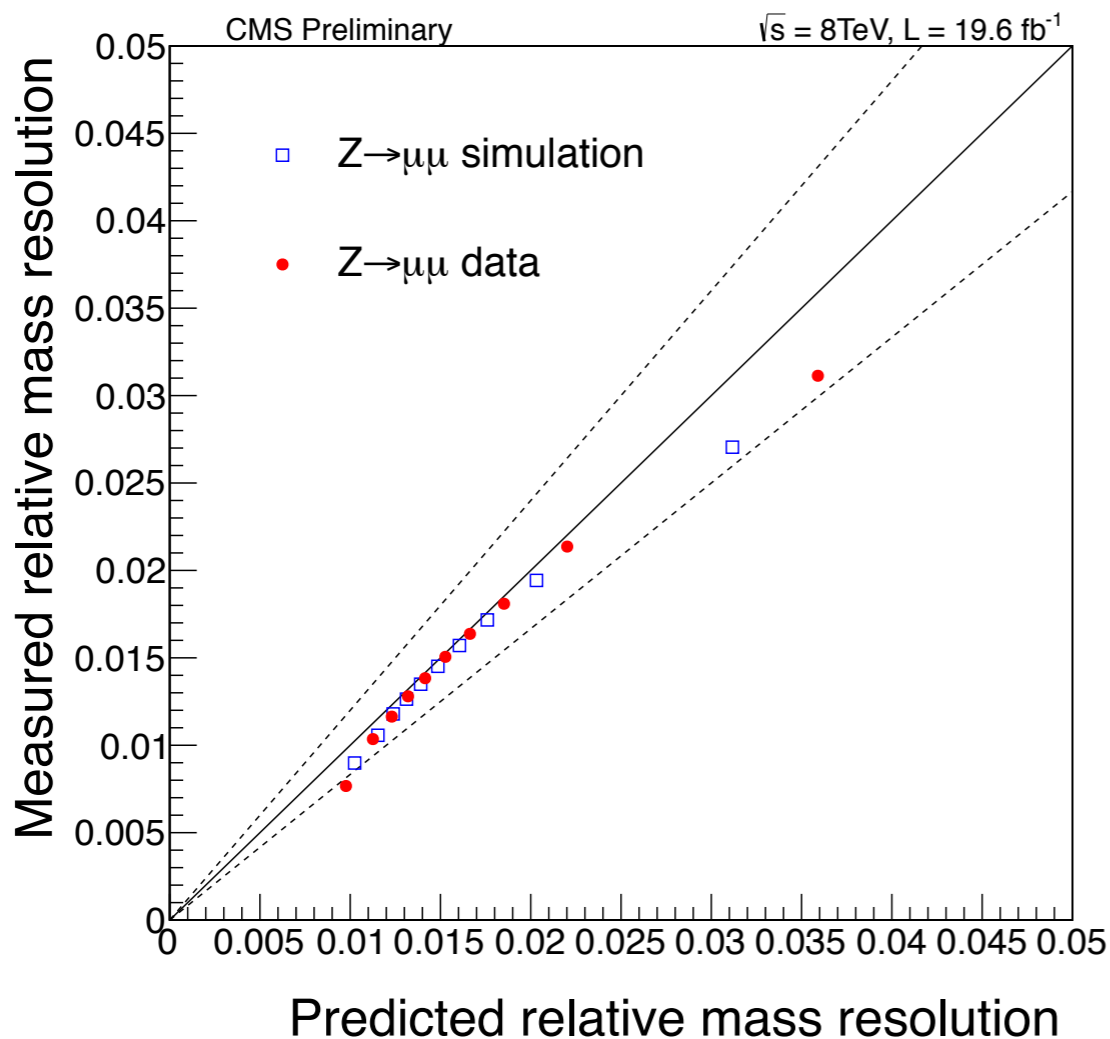
- Fit 1D, 2D, 3D: M_{4l}, K_D e $(P_T/M$ o $V_D)$
- **Significanza 3D Fit:** 6.7σ at 126 GeV (aspettato 7.2σ for SM H)
 - $\Rightarrow >5\sigma$ solo con questo canale
- 2D Fit: 6.6σ (aspettato 6.9σ)
- 1D Fit: 4.7σ (aspettato 5.6σ)



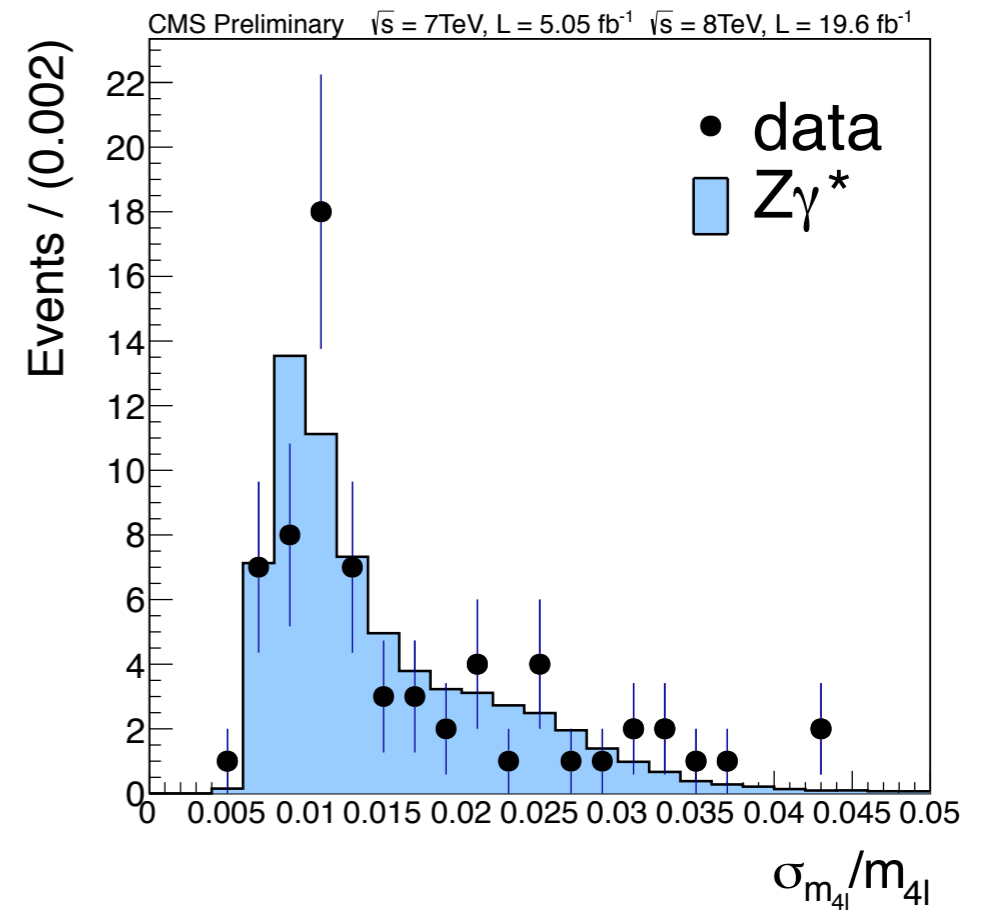
Scale factor per gli accoppiamenti:

- ai bosoni vettori (via VBF, WH, ZH): μ_V
- ai fermioni (via ggF, via loop di quark, e ttH): μ_F

- Per migliorare la precisione della misura della massa, l'incertezza su m_{4l} stimata evento per evento è usata come ulteriore PDF
- stimata dall'incertezza sul momento del singolo leptone
- calibrata con $Z \rightarrow ee, \mu\mu$



Validazione con $Z \rightarrow 4l$



- Buon accordo dati/MC
- Misura di $\Gamma_Z = 2.86^{+0.51}_{-0.47} \text{ GeV}$
(consistente con il valore PDG)

Massa misurata

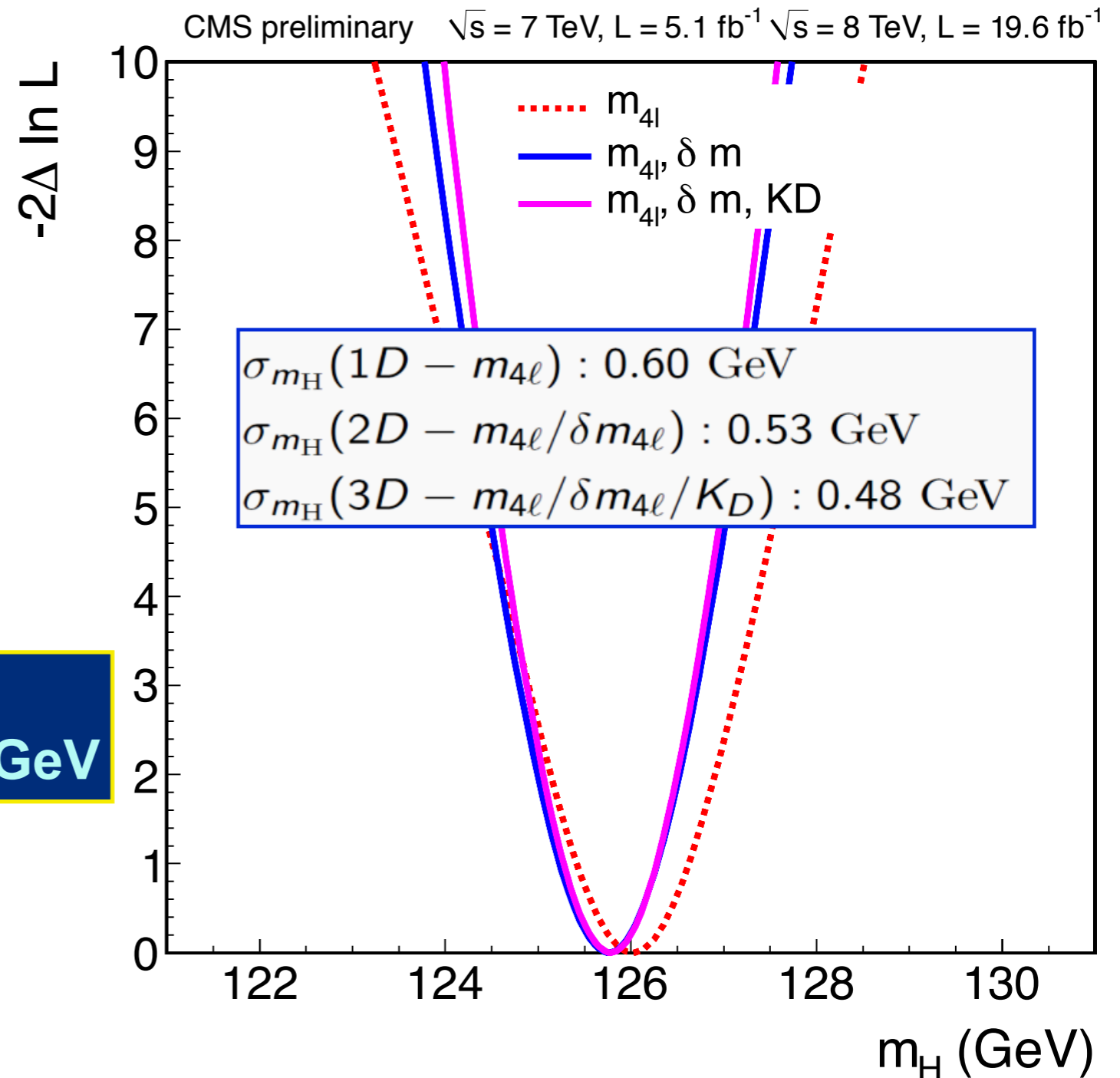
- Miglioramento di $\sim 17\%$ nella precisione con l'uso di σ_m/m
- misura ancora limitata statisticamente

	Model	Mass
3D	$m_{4l}, \delta m_{4l}, K_D$	125.80 $^{+0.50}_{-0.50}$
2D	$m_{4l}, \delta m_{4l}$	125.76 $^{+0.52}_{-0.53}$
1D	m_{4l}	126.02 $^{+0.60}_{-0.60}$

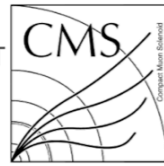
3D Fit ($M_{4l}, K_D, \delta M_{4l}$) per la massa:

$M = 125.8 \pm 0.5$ (stat) ± 0.2 (syst) GeV

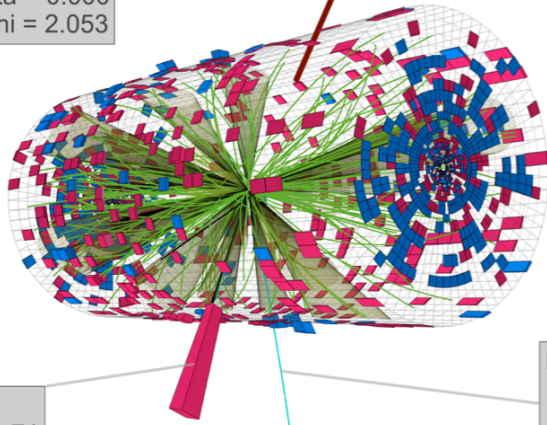
- consistente con $H \rightarrow \gamma\gamma$
- \Rightarrow cfr. talk di M. Pelliccioni



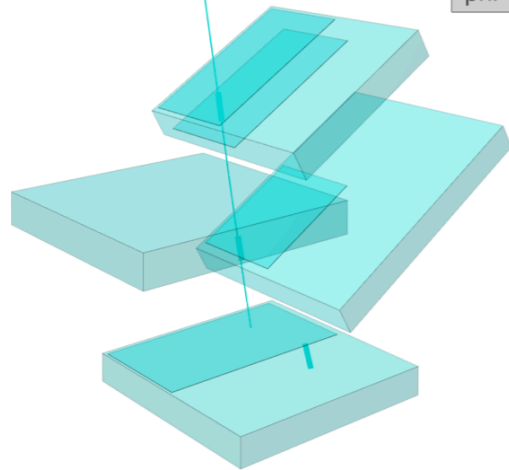
CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Fri May 25 23:49:45 2012 PDT
Run/Event: 195013 / 659573699
Lumi section: 443
Orbit/Crossing: 115969247 / 3028



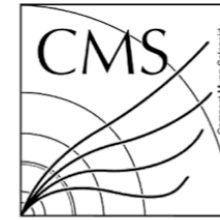
MET 0,
pt = 75.34
eta = 0.000
phi = 2.053



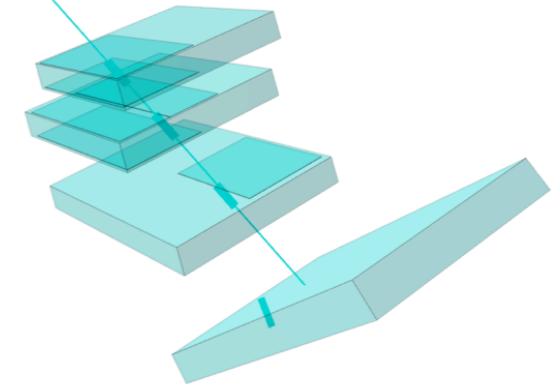
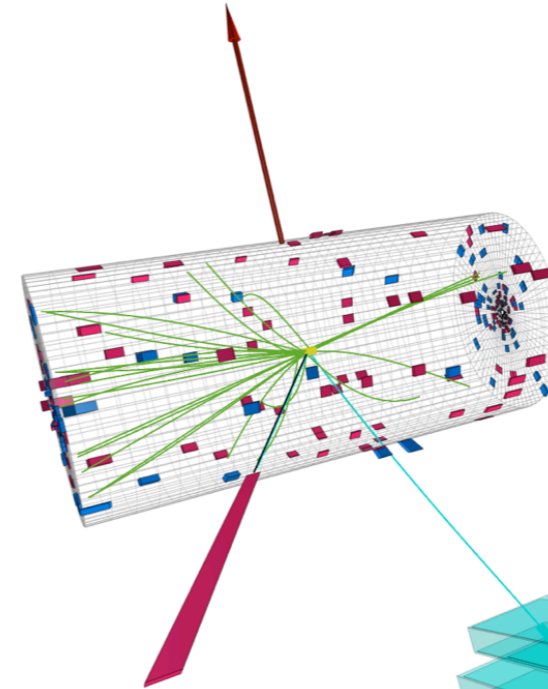
Ecal 23,
et = 29.71
eta = -0.224
phi = -1.077



Muon 0,
pt = 41.23
eta = 0.137
phi = -1.929



CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Sat May 12 20:51:00 2012 PDT
Run/Event: 194076 / 153755936
Lumi section: 138
Orbit/Crossing: 35983361 / 17



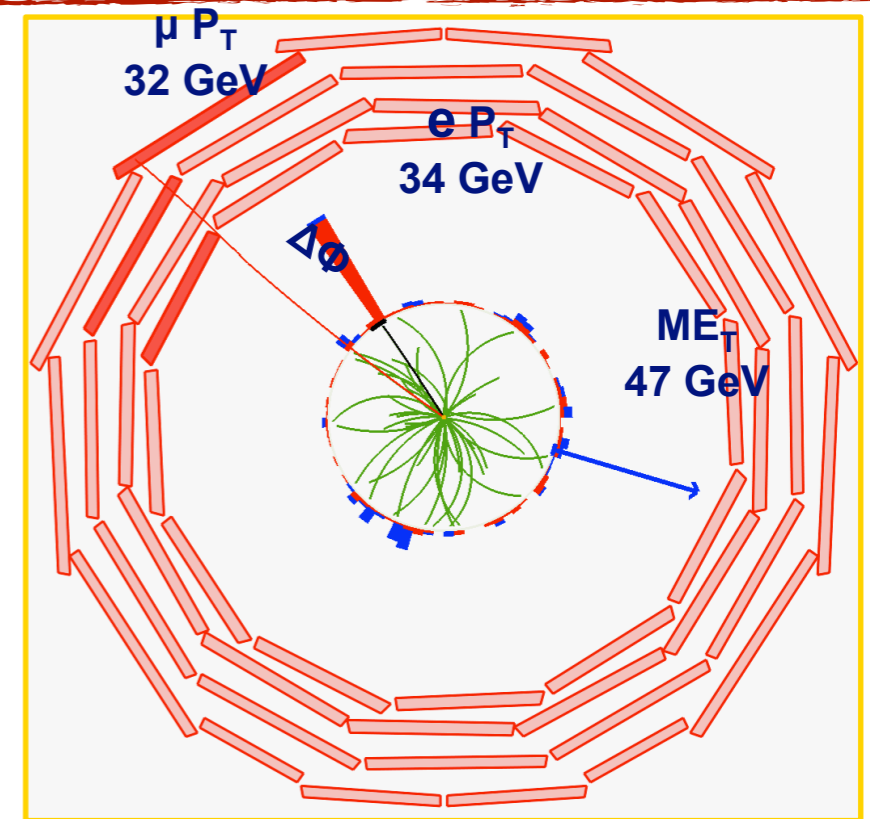
$$H \rightarrow WW^{(*)}$$

focus nel range $m_H < 160$ GeV:

$$WW^{(*)} \rightarrow 2l2\nu, l=e,\mu$$

- **Segnatura sperimentale:**

- 2 leptoni di carica opposta, isolati
- per bassa m_H , p_T dei leptoni $> 10/20$ GeV
- alta $E_T^{\text{Miss}} \Rightarrow$ povera risoluzione di massa
- leptoni a basso $\Delta\phi(l^+l^-)$ e quindi m_{ll} per bassa m_H (per Higgs scalare)

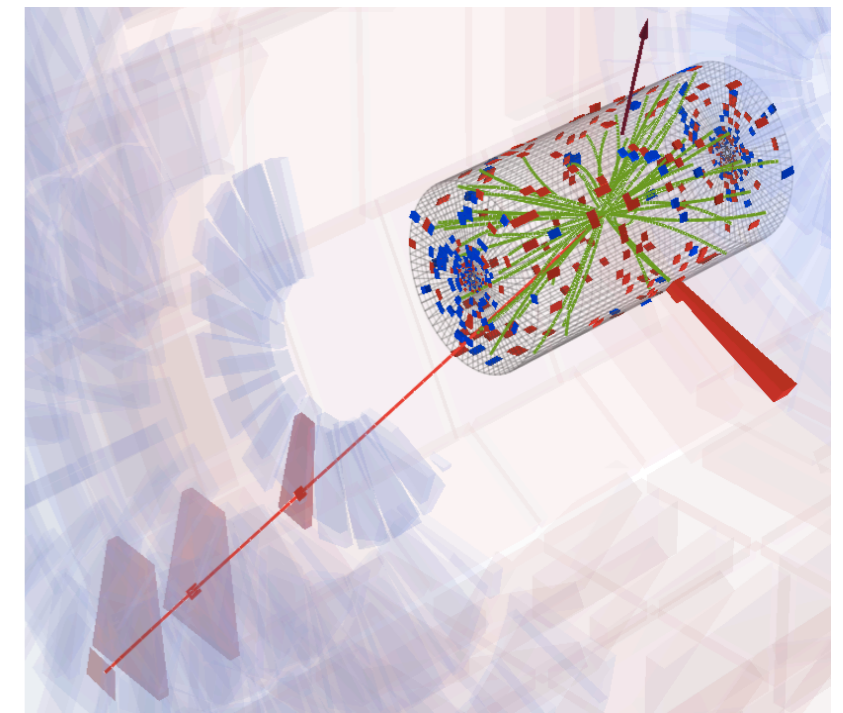


- **Strategia di analisi: categorizzare eventi con diverso S/B:**

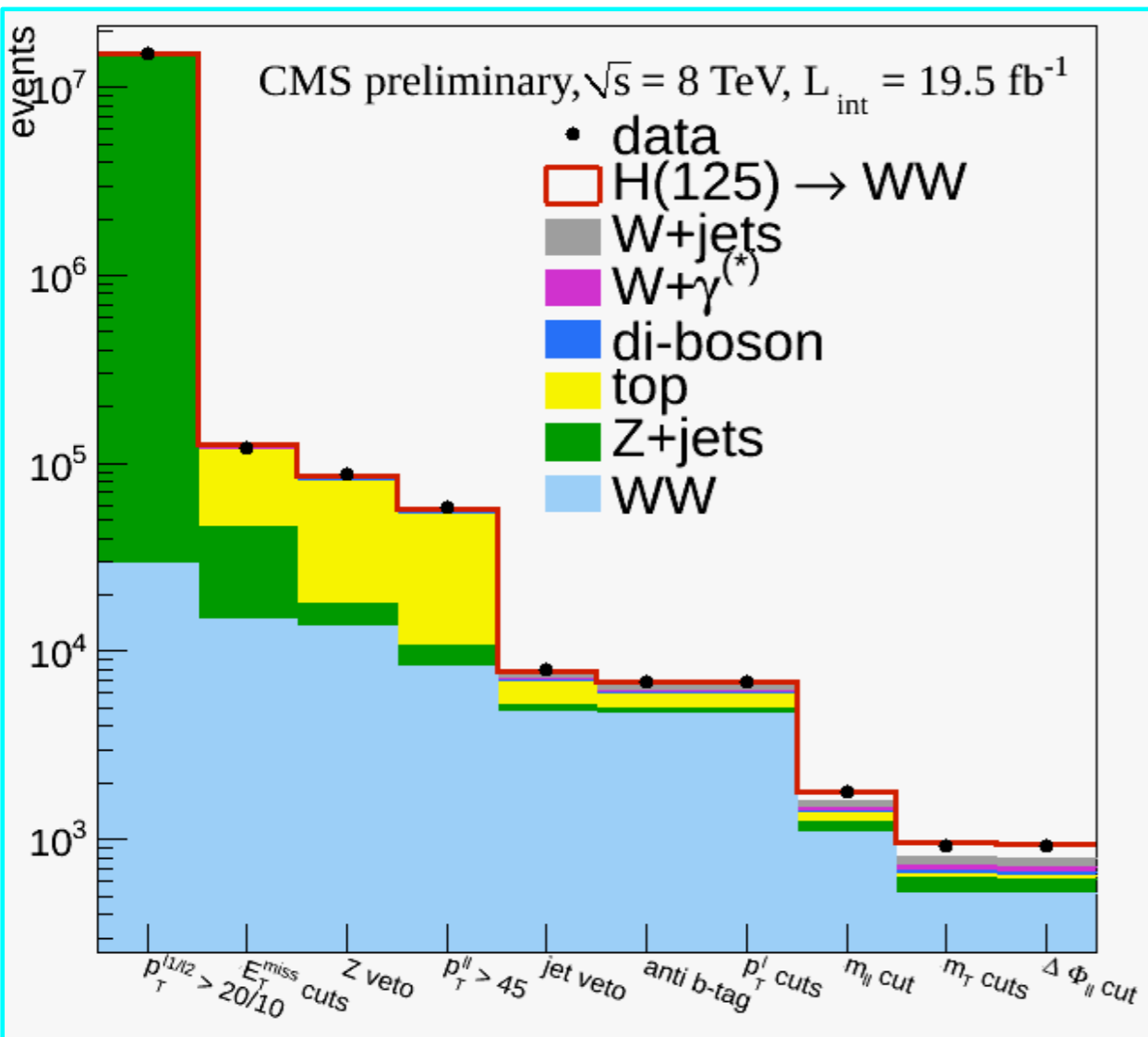
- molteplicità di jet (0 o 1, 2=segnatura VBF)
- coppie di leptoni *opposite-flavor* ($e\mu$) or *same-flavor* ($ee/\mu\mu$)
- fondi principali: WW, W+Jets, Top, Drell Yan

- **Estrazione del segnale:**

- fit 2D alle distribuzioni di m_{ll}/m_T ($e\mu$ channel)
- Cut and count ($ee/\mu\mu$ channel) \rightarrow limitato dalle sistematiche

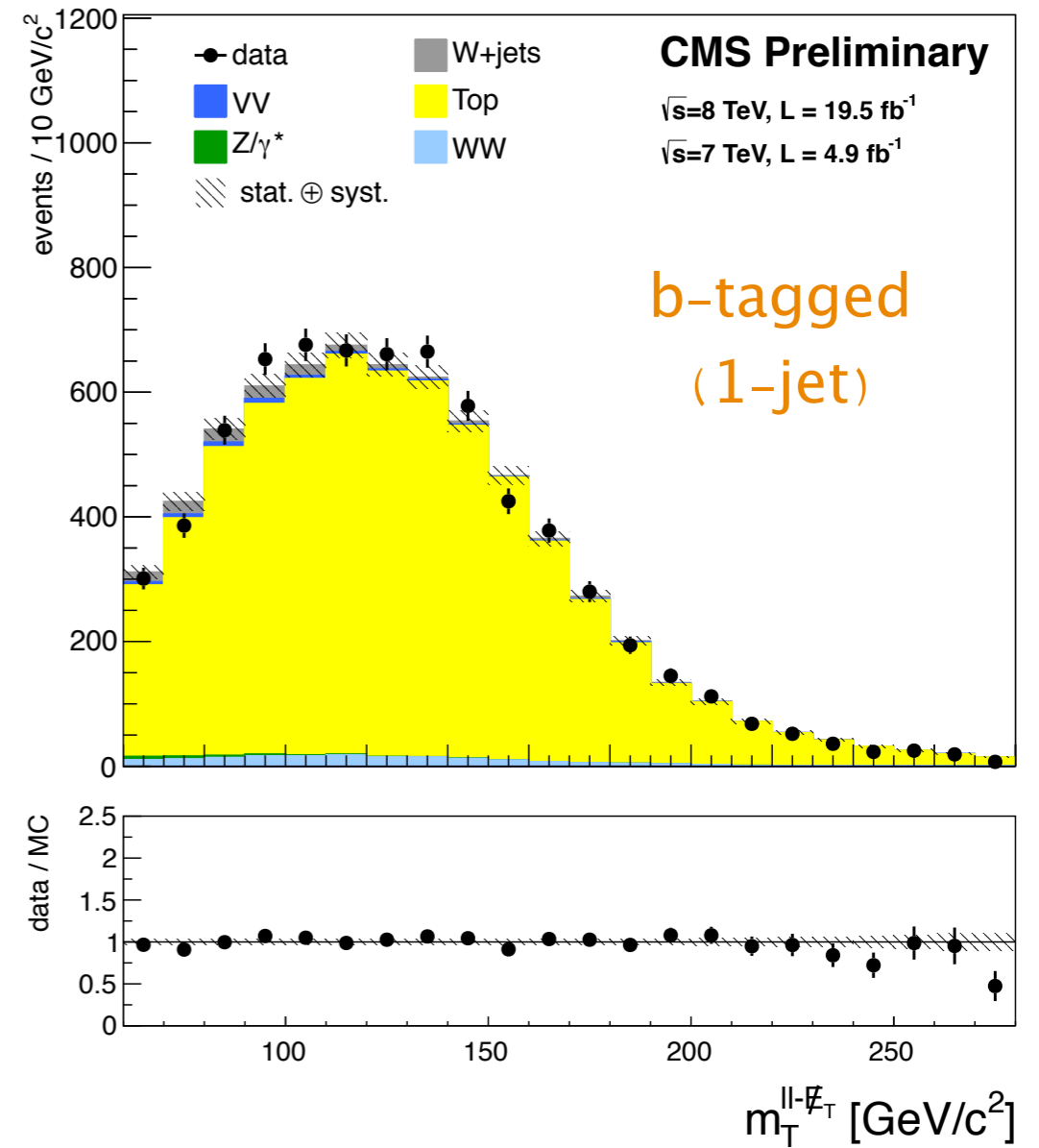
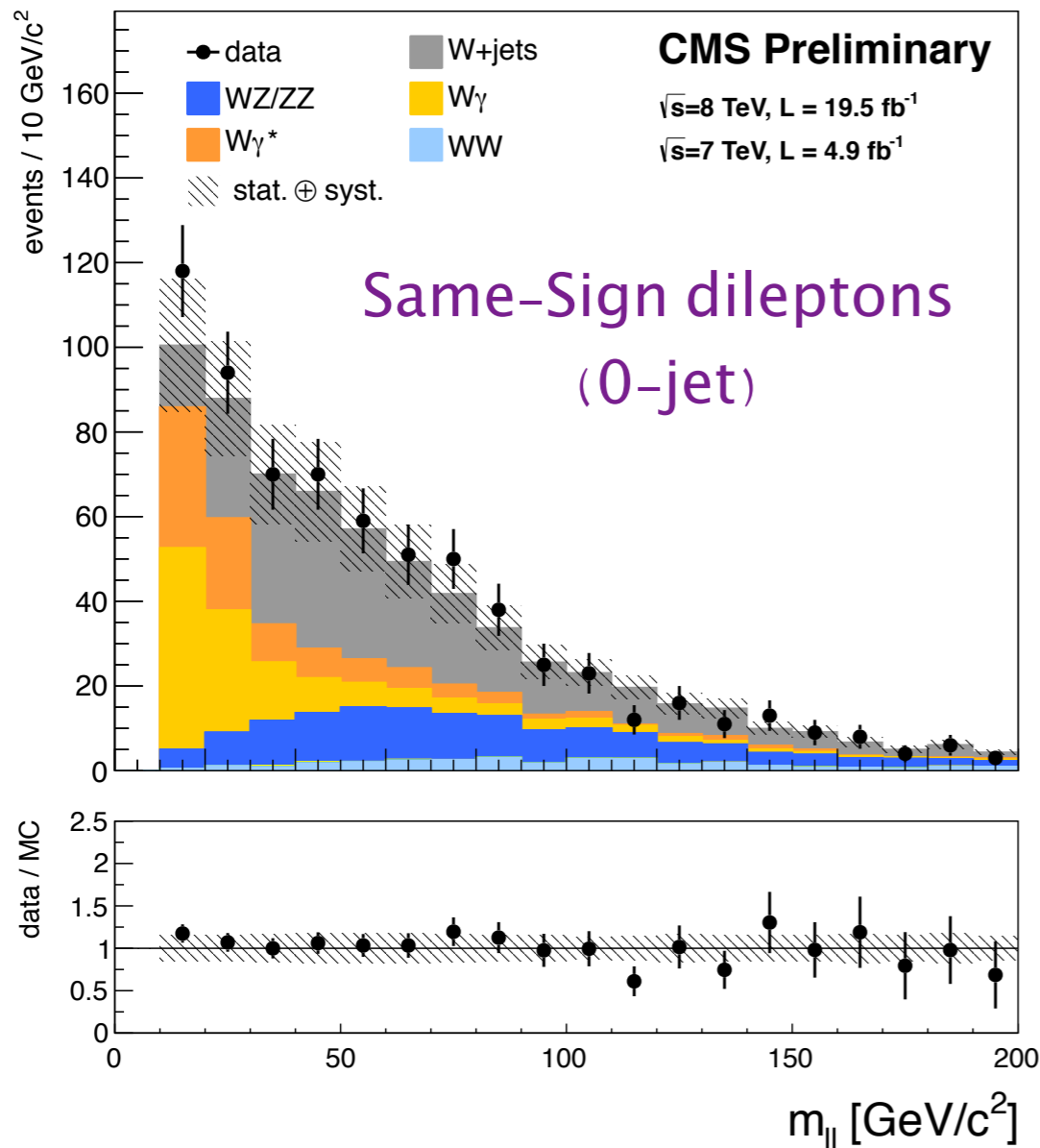


Richieste Principali:



ad ogni taglio, il fondo è misurato nei dati

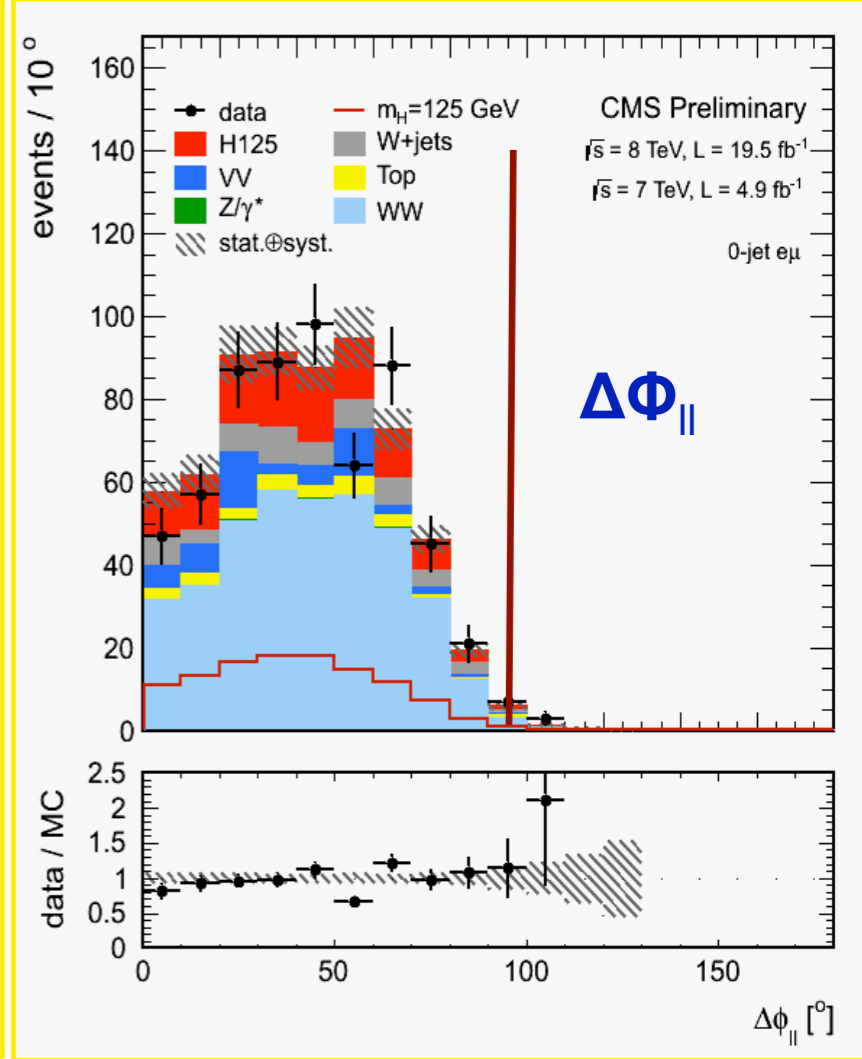
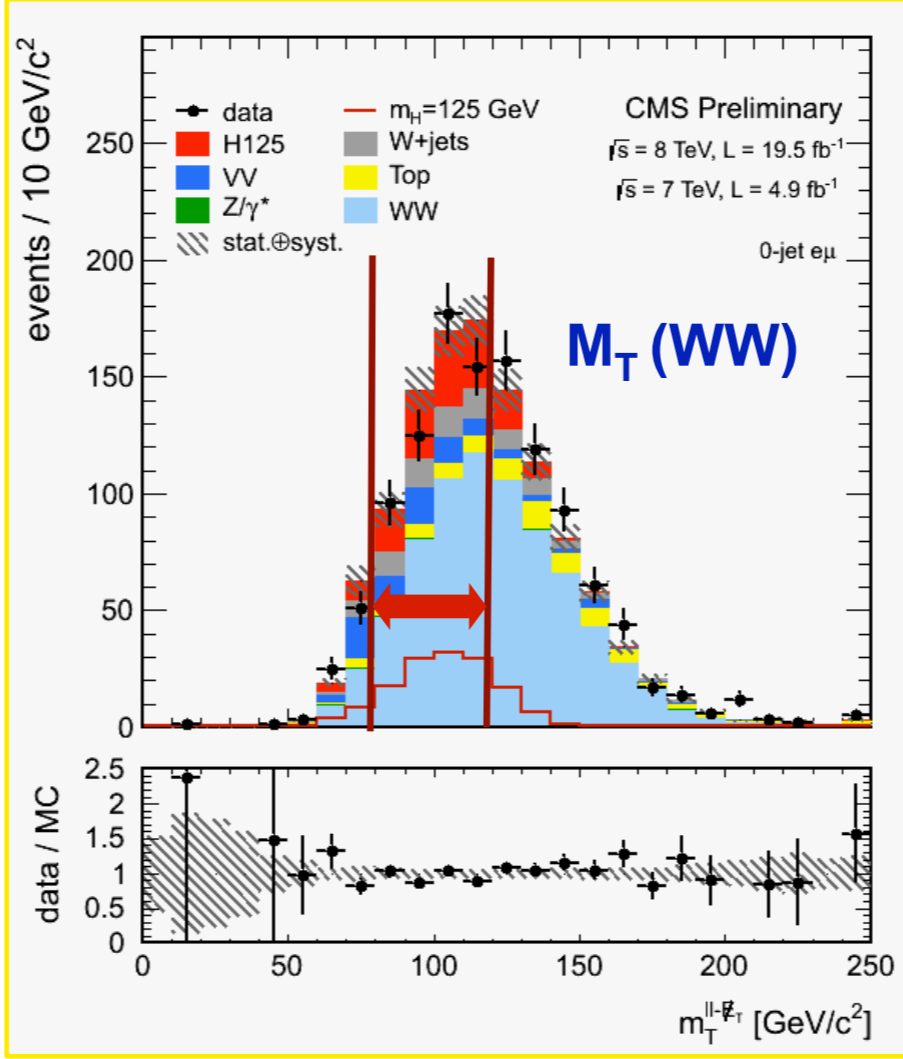
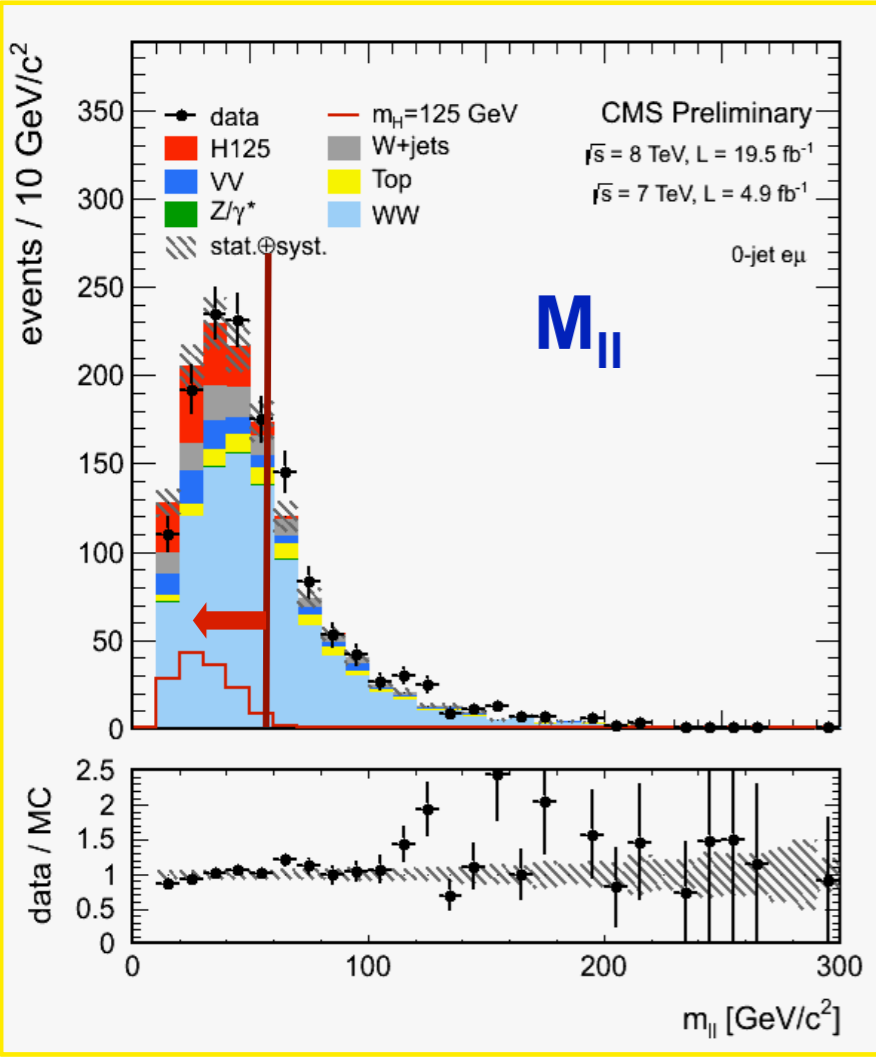
- **P_T dei leptoni $> 10, 20 \text{ GeV}$, ID dura e Isolamento**
 - Rimuove la contaminazione da QCD di-jet, W+jets:
Lascia un sample dominato da Drell-Yan
- **Alta Missing E_T e veto di massa $Z \rightarrow \mu\mu, ee$**
 - Rimuove la contaminazione di Drell-Yan:
Lascia un sample dominato da WW & top
- **Classificazione in N_{Jets} ($P_T > 30 \text{ GeV}$) soft lepton e veto sui b-jet**
 - Rimuove la contaminazione da Top ($t\bar{t}$ e tW):
Lascia un sample dominato dal continuo WW
- **Discriminanti cinematici:**
 $M_{\parallel}, M_T(\text{WW}), \Delta\Phi_{\parallel}$
 - Riducono il fondo $pp \rightarrow \text{WW}$ background
- **M_H – dependent cut optimization (cut&count):**
 - Lascia un sample dominato da **WW + Higgs**



I fondi principali sono stimati dai dati usando campioni di controllo puri: PDF e normalizzazione. Es:

- W+jets: coppie di leptoni tight+fail ID \Rightarrow arricchito in jet \rightarrow l (l=e, μ)
- tt,tW: 2l+1jet con 1 b-tag

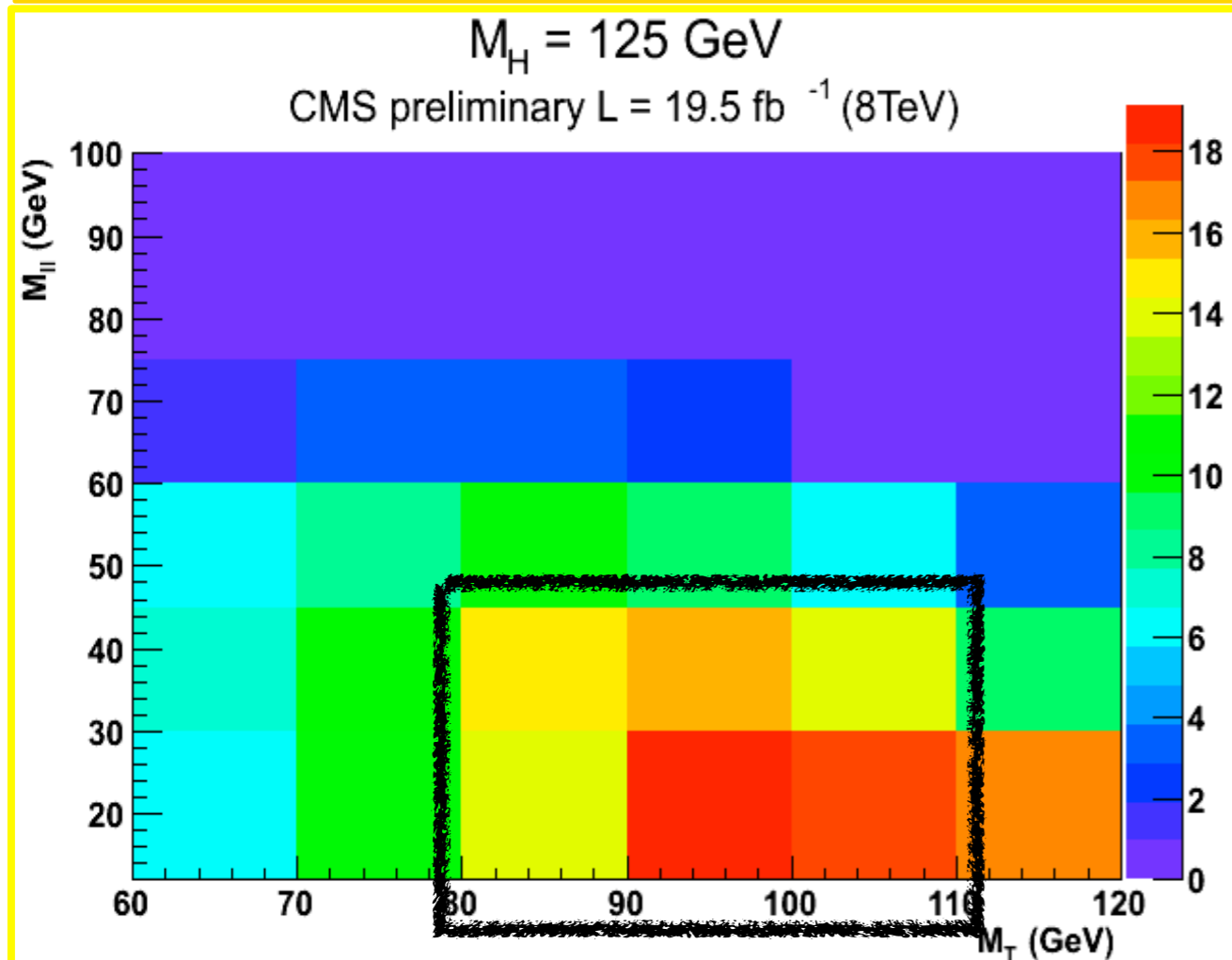
- Assenza di un picco di massa invariante:
- tagli cinematici dipendenti da m_H e stima dei fondi dai dati



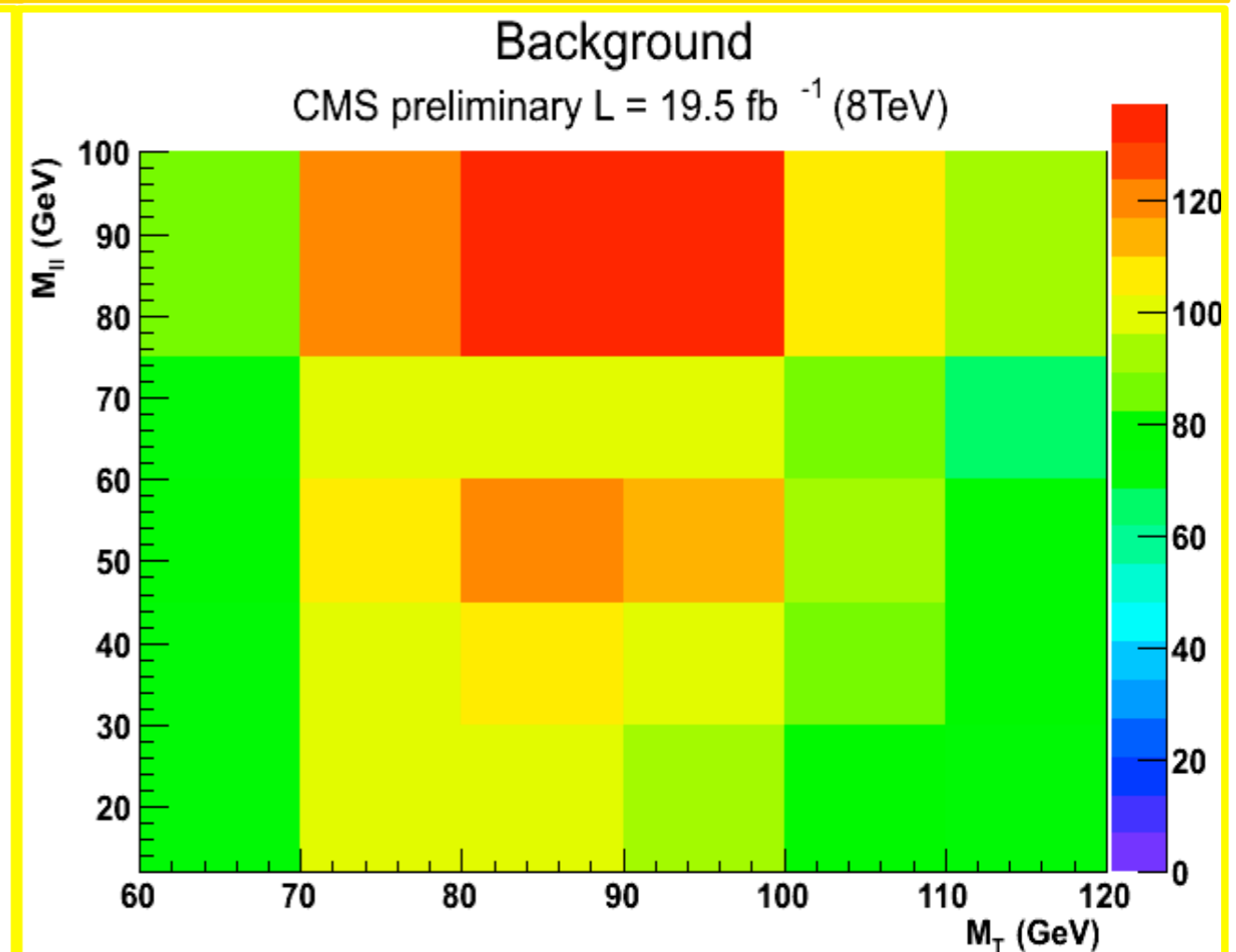
MH	signal	WW	WZ+ZZ+Z/gamma* -> ll	Top	W+jets	W/gamma*	All bkg.	Data
125	90±19	310±29	11.4±1.1	20.0±4.3	48±13	40±13	429±34	505

- D(iffererent)-Flavor: canale $e\mu$, 0-jet

Segnale, $m_H=125$ GeV. 0-jet DF



Total background. 0-jet DF



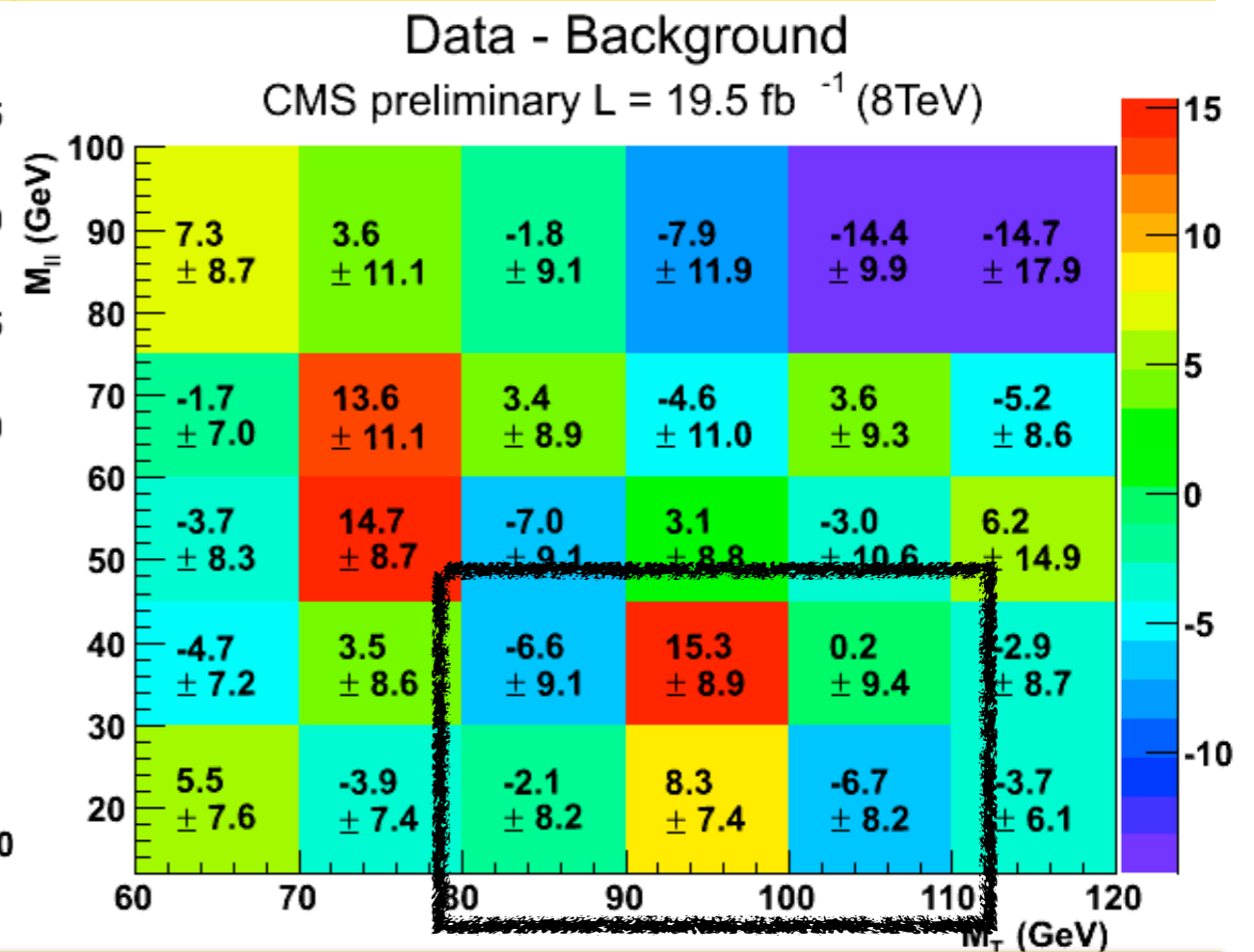
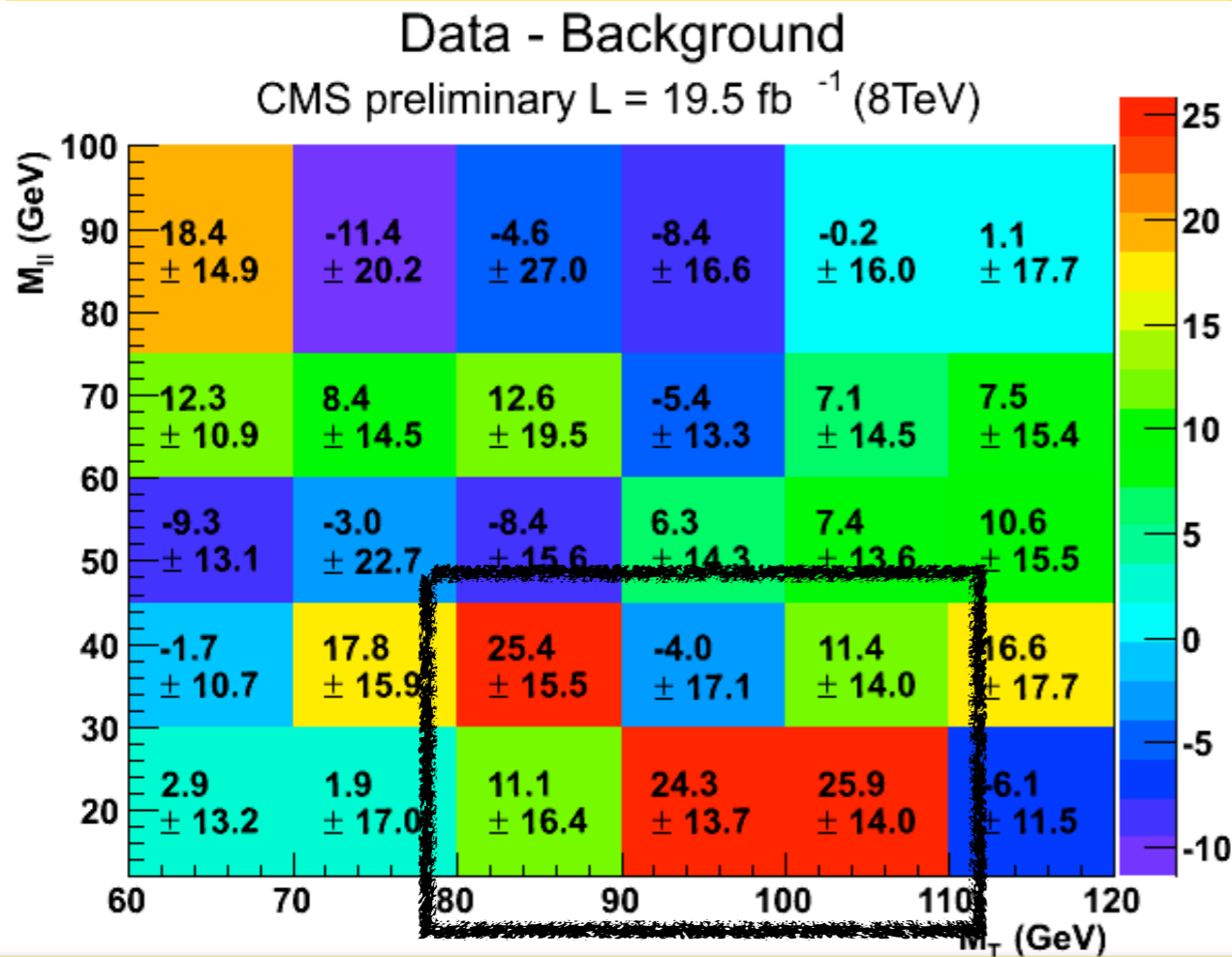
Regione chiara nello spazio delle fasi dominata dal segnale

Il guadagno rispetto all'analisi cut&count viene dalla maggiore efficienza e l'uso migliore della shape delle variabili

- Selezione cinematica rilassata rispetto all'analisi cut&count
- control sample dai dati dove possibile per le PDF e normalizzazioni pre-fit dei fondi

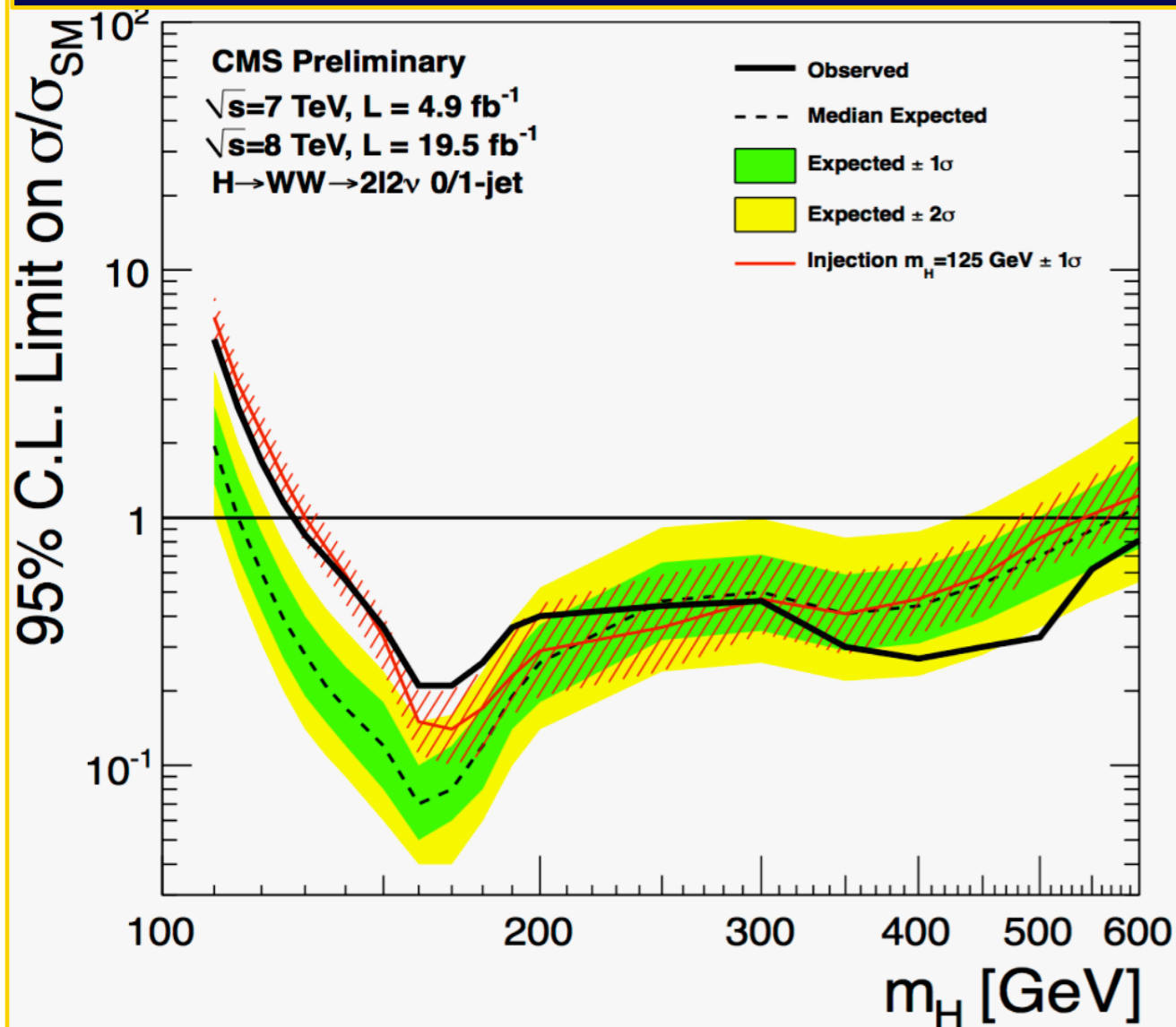
Dati 8 TeV - Fondo aspettato:
0-Jet DF

Dati 8 TeV Data - Fondo aspettato:
1-Jet DF



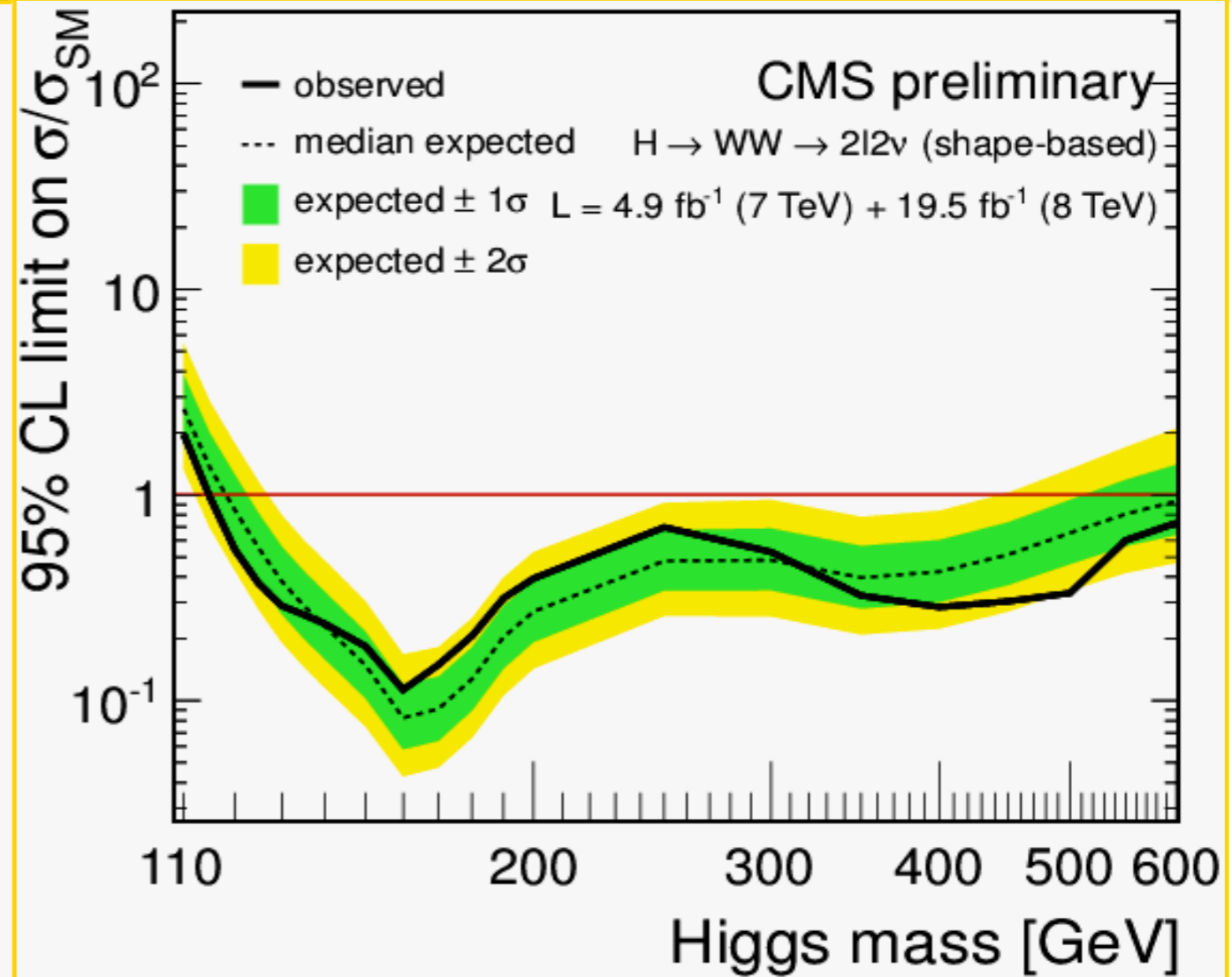
Eccesso osservato nella regione arricchita di segnale (bassa M_{II} , $M_T \sim 100$ GeV)

Limiti 7+8 TeV (95% CL) su σ/σ_{SM}



σ/σ_{SM} Includendo $M_H=125$ GeV come fondo

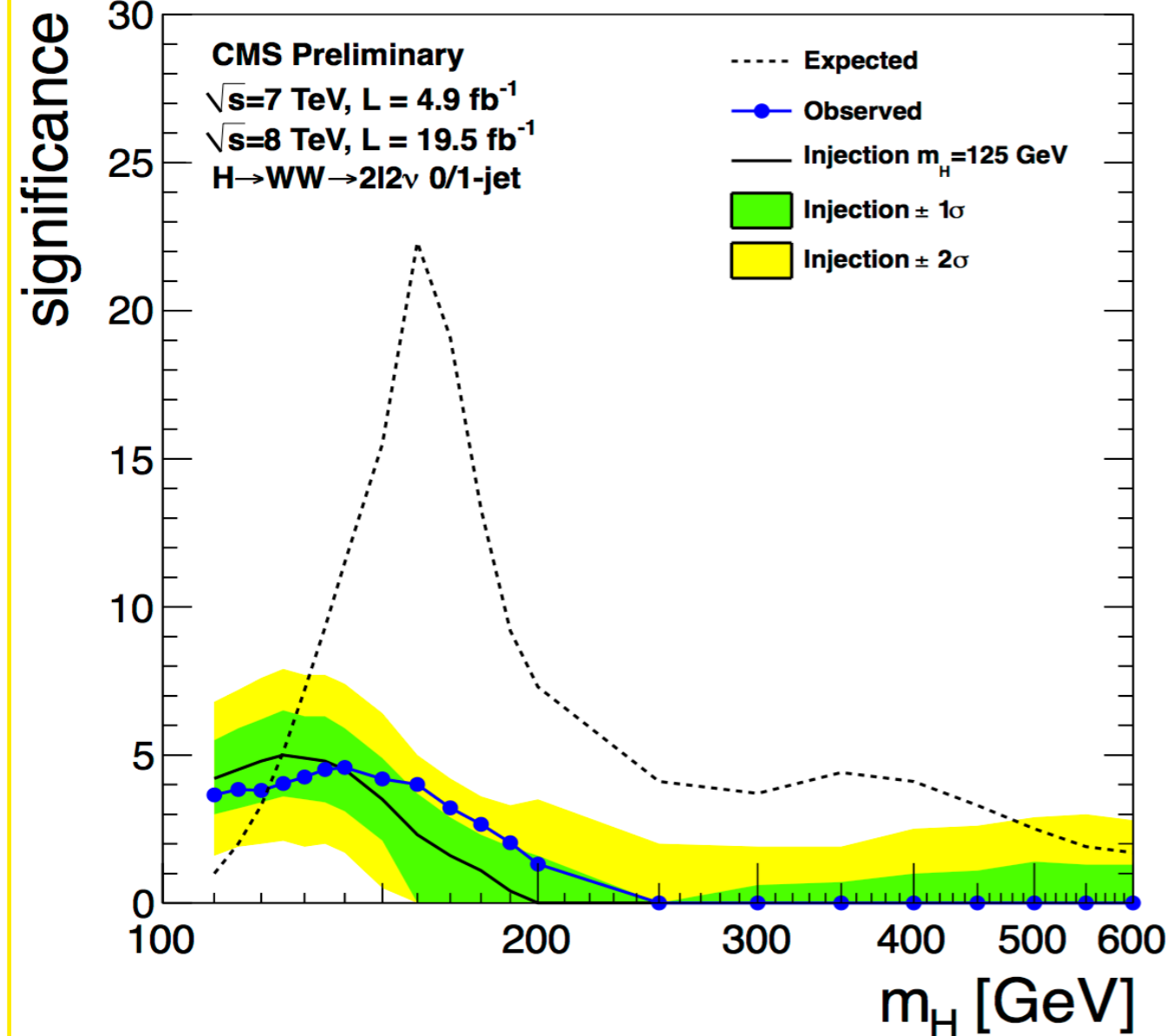
a.k.a.: “il segnale di oggi è il fondo di domani”



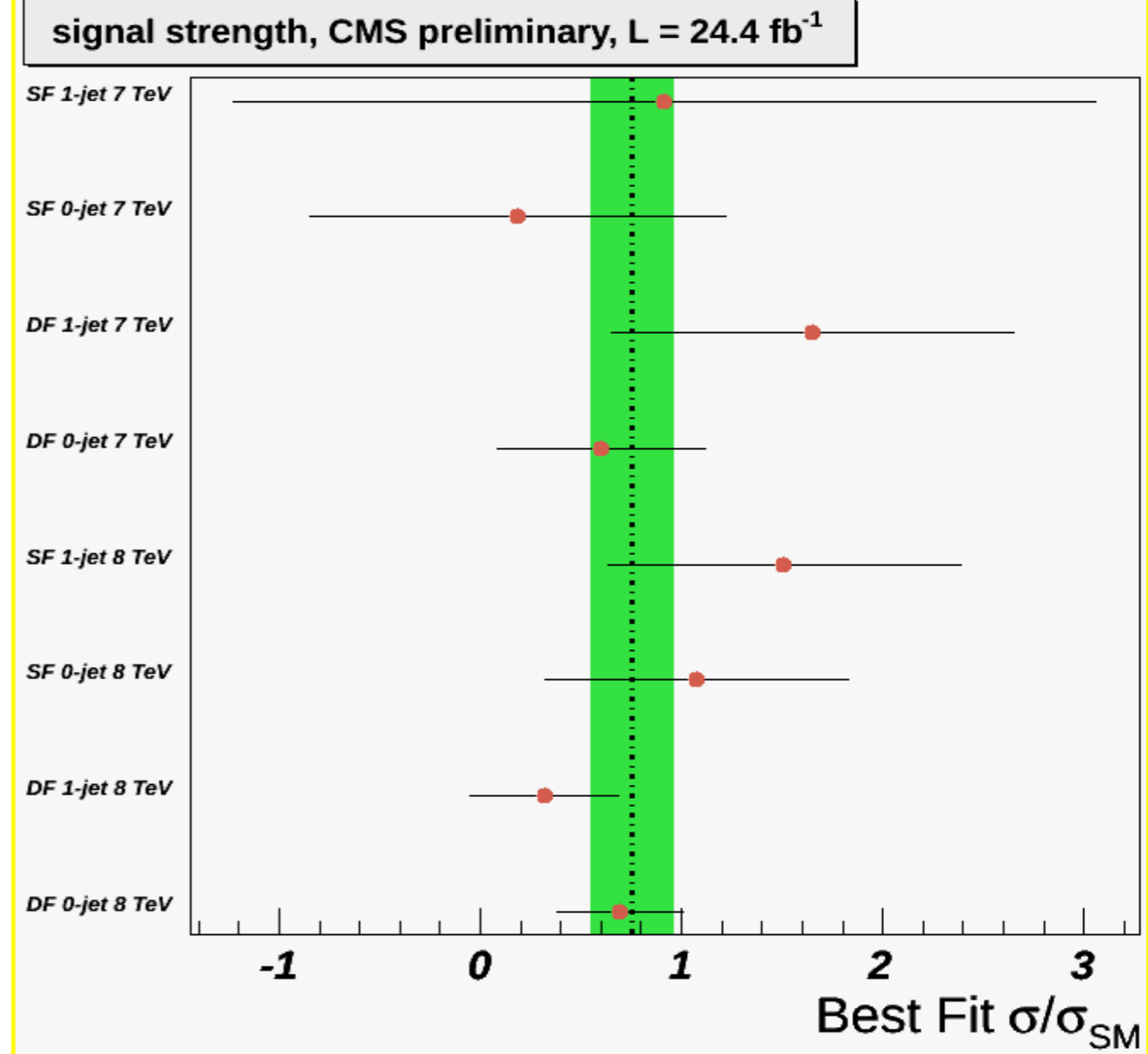
Il limite osservato è in accordo con il fondo aspettato + il contributo di H(125)

★ Masse tra 128-600 GeV sono escluse at 95% CL
 + Limiti su ulteriori bosoni con le caratteristiche di Higgs SM sopra 113 GeV

7+8 TeV: Significanza del segnale vs M_H



Fit a $\mu = \sigma/\sigma_{SM}$ per canale



Per $M_H = 125$ GeV (dalla misura precisa di $\gamma\gamma$ e ZZ)

Significanza osservata = 4.0σ

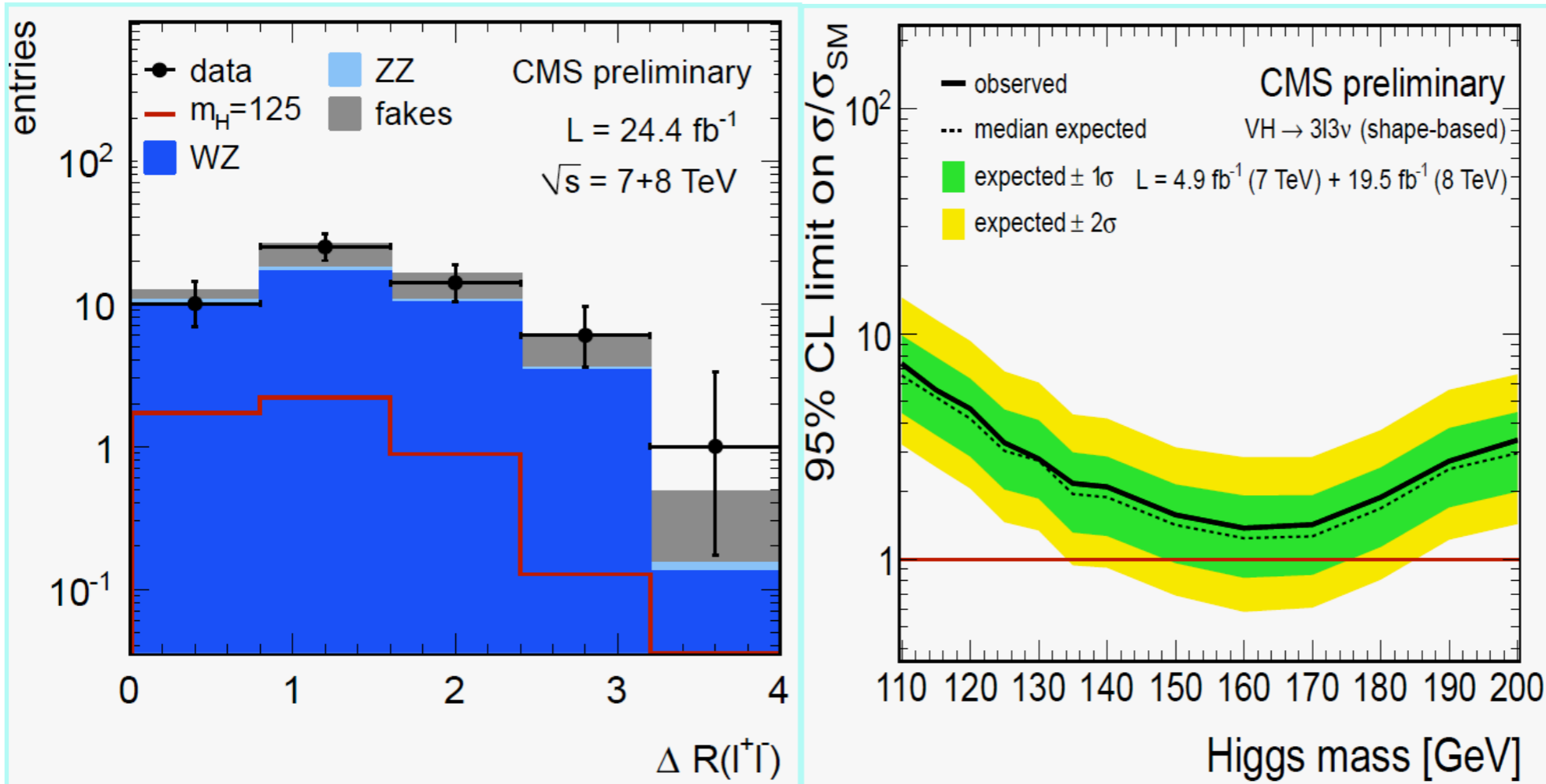
Significanza attesa = 5.1σ

Risultati consistenti tra i sotto-canali

Fit per $m_H=125$ GeV:

$$\mu = \sigma/\sigma_{SM} = 0.76 \pm 0.21$$

$WH \rightarrow W\bar{W}W \rightarrow 3l3\nu$ ($l=e,\mu$)



95% CL Limits
su σ/σ_{SM}
3.3xSM
Observed
(3.0xSM
Expected
per $M_H = 125$ GeV)

- Tre leptoni ad alto p_T isolati con moderata E_T^{Miss}
- Z Veto e anti b-tagging per rigettare i fondi WZ e Top
- minimo $m_{ll} < 100$ GeV and minimo $\Delta R(l^+l^-) < 2$
- Due approcci: Cut&Count e fit a $\Delta R(l^+l^-)$
 - Il fit ha una sensibilità superiore del 20%

- Le misure sulla nuova risonanza in CMS sono avanzate rapidamente, soprattutto nei canali completamente leptonici, migliorandole
- Il segnale consistente con un Higgs SM è confermato
- Dal regime di scoperta, siamo passati ad un regime di misura, fondamentale per decidere la natura della risonanza: sezione d'urto, accoppiamenti, massa, J^{CP}
- Abbiamo escluso la presenza di ulteriori bosoni consistenti con un Higgs SM
- **In $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$:**
 - $m_H = 125.8 \pm 0.5 \text{ (stat)} \pm 0.2 \text{ (sist.) GeV}$
 - **significanza osservata (aspettata) = 6.7 (7.2) σ**
 - $\sigma/\sigma_{SM} = 0.91^{+0.30}_{-0.24}$
 - $\mu_V \text{ (} qqH, ZH, WH \text{)} = 1.0^{+2.4}_{-2.3}$
 - $\mu_F \text{ (} ggH, ttH \text{)} = 0.9^{+0.5}_{-0.4}$
- **In $H \rightarrow WW \rightarrow 2l2\nu$:**
 - **significanza osservata (aspettata) = 4.0 (5.1)**
 - $\sigma/\sigma_{SM} = 0.76 \pm 0.21$