

IFAE 2019 – Napoli, 8–10 Aprile

Ricerca di risonanze di-bosoniche ad alta massa nell'esperimento ATLAS

Marco Lavourgna

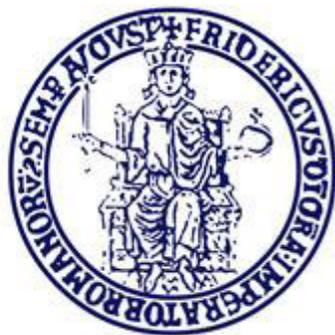


Comitato Scientifico:

D. Bettoni, W. Bonivento,
C. Bozzi, C. Cecchi,
G.G. Chiarelli, E. Coccia,
P. Colangelo, F. De Fazio,
A. Di Ciaccio, F. Fabbri,
S. Falciano, F. Ferroni,
C. Gemme, P. Lubrano,
A. Masiero, L. Merola,
S. Ragazzi, G. Ricciardi,
B. Saitta, L. Trentadue (chair),
A. Tricomi, V. Vagnoni,
F. Vissani, A. Zoccoli

Comitato Organizzatore:

F. Ambrosino, G. D'Ambrosio,
G. De Nardo, G. De Rosa,
L. Di Fiore, A. Lauria,
P. Massarotti, S. Mastroianni,
M. Merola, G. Mettievier,
G. Osteria, P. Paolucci,
P. Santorelli, F. Tramontano,
L. Valore



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II



Istituto Nazionale di
Fisica Nucleare
Sezione di Napoli

Centro Congressi Federico II Aula Magna
Via Partenope, Napoli



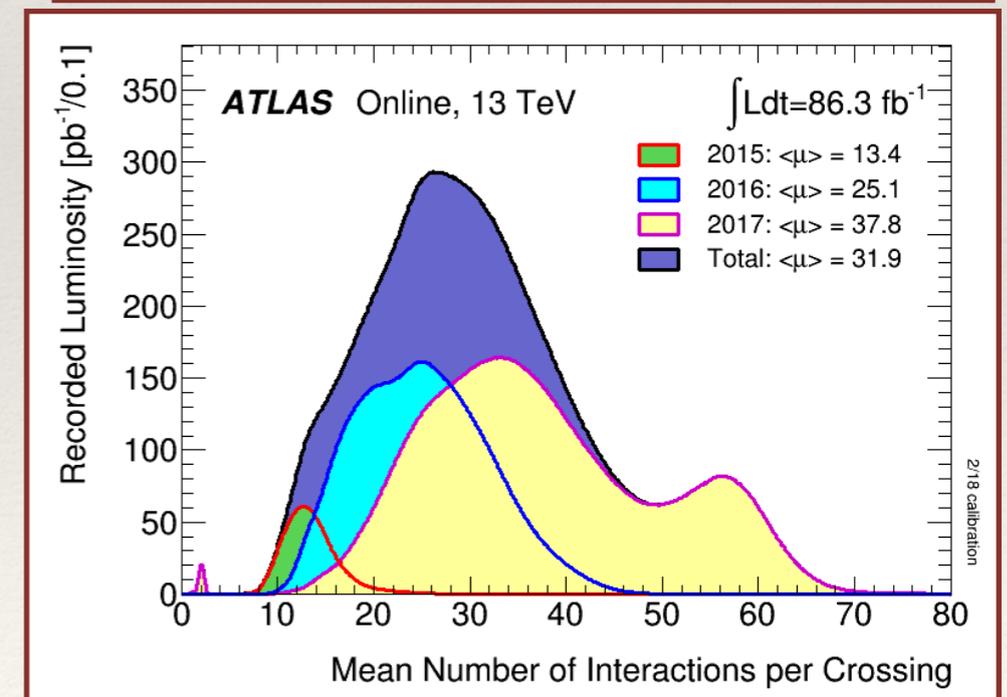
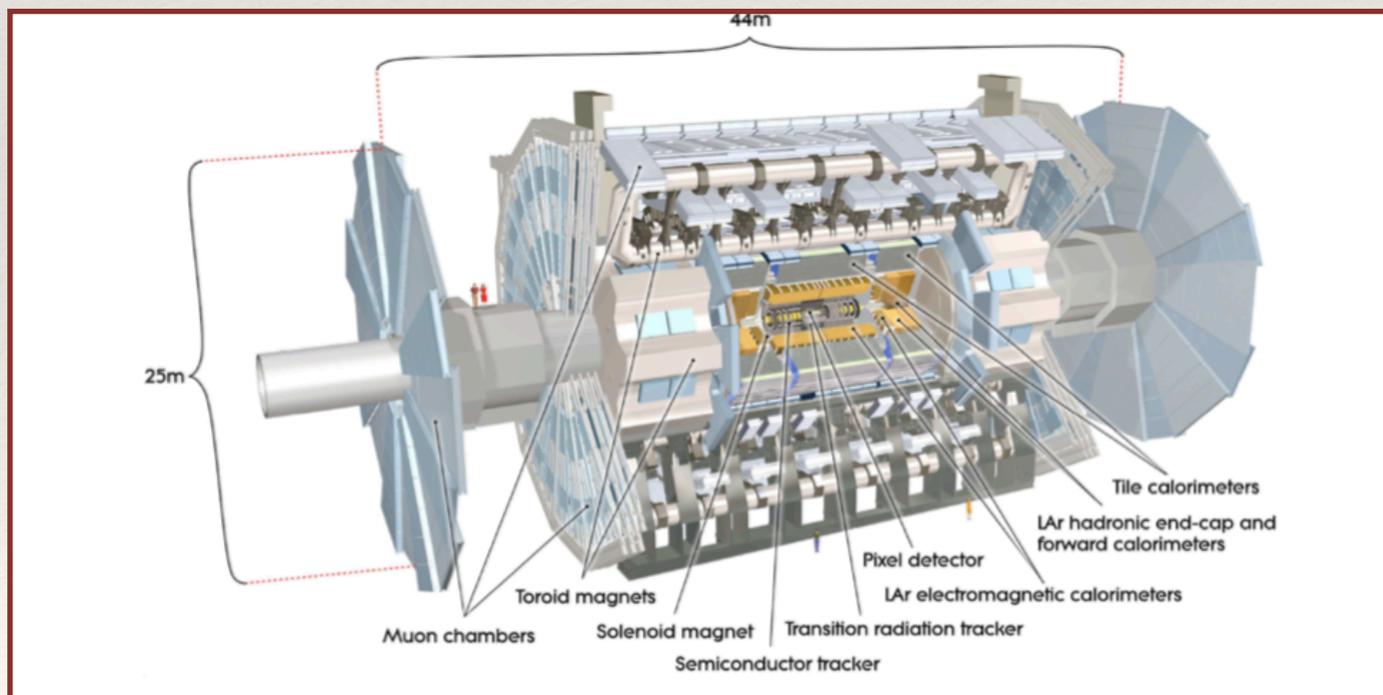
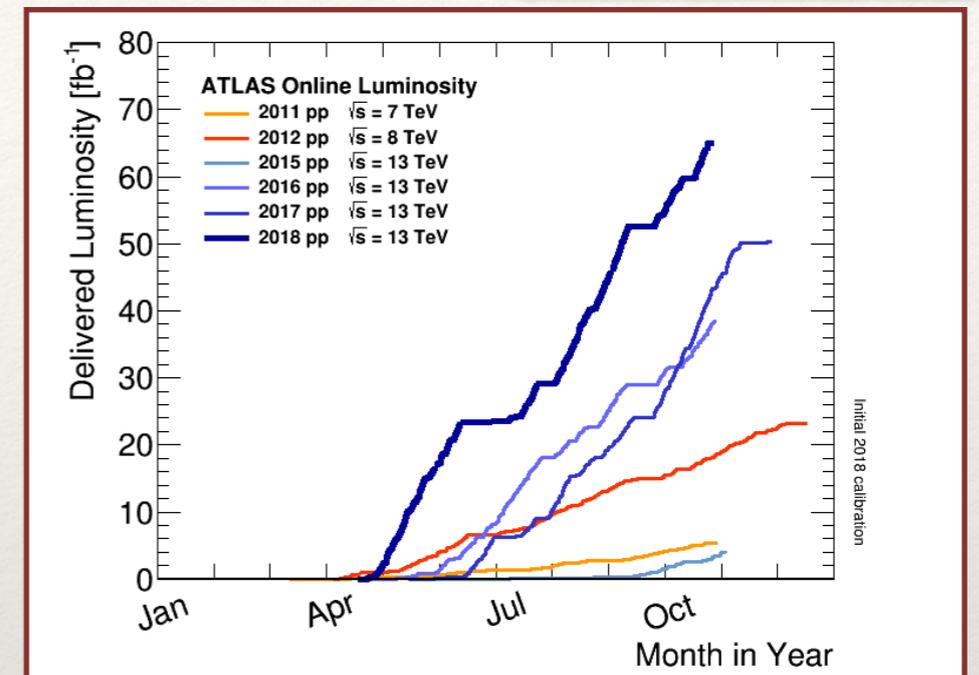
Università degli Studi
di Napoli Federico II
Dipartimento di Fisica
"Ettore Pancini"



L'esperimento ATLAS



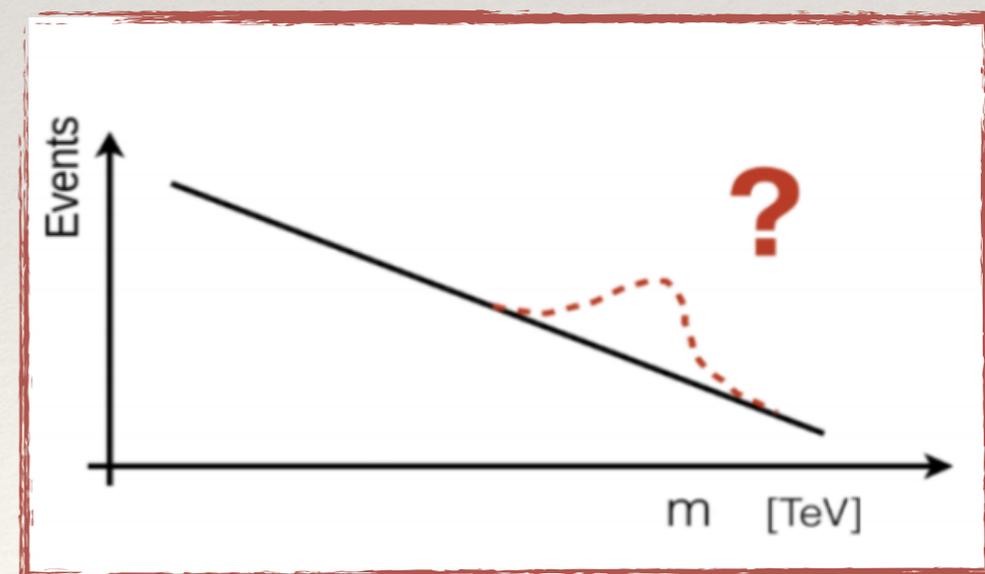
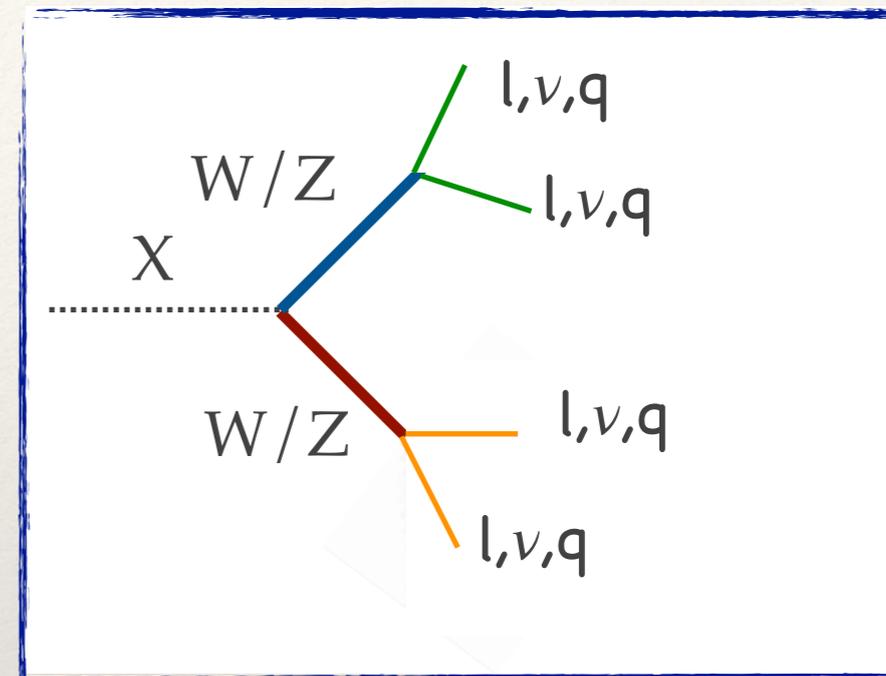
- ❖ Esperimento "multipurpose";
- ❖ Run-II: presa dati a $\sqrt{s} = 13$ TeV nel periodo 2015-2018;
- ❖ ~ 40 fb⁻¹ raccolti nel 2015+2016; ~ 45 fb⁻¹ raccolti nel 2017; ~ 60 fb⁻¹ raccolti nel 2018



<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/LuminosityPublicResultsRun2>

Le analisi dibosoniche

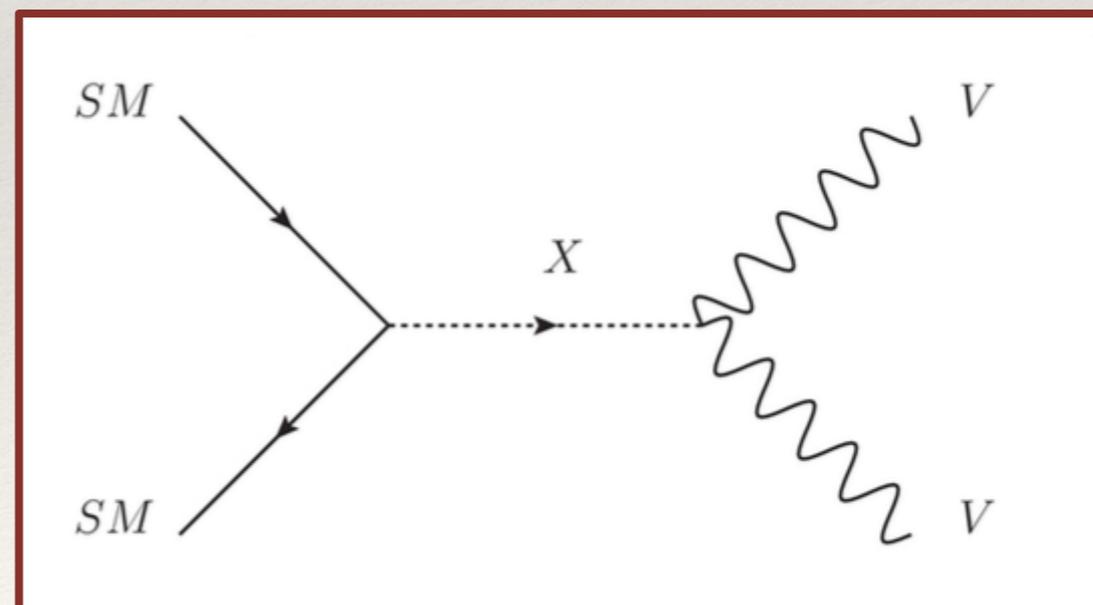
- ❖ **Analisi:** Ricerca di risonanze massive che decadono nei bosoni vettoriali del Modello Standard, in stati finali semileptonici o adronici.
- ❖ **Strategia:** Ricerca di eccessi rispetto al fondo SM atteso nella distribuzione dell'osservabile finale.
- ❖ **Campione analizzato di dati raccolti dall'esperimento ATLAS ad LHC:**
 - ❖ **Analisi adronica:** Campione di dati completo del periodo 2015–2018 ($\sim 140 \text{ fb}^{-1}$);
 - ❖ **Analisi semileptoniche:** 36.1 fb^{-1} nel 2015–2016 (Analisi del campione completo del periodo 2015–2018 in preparazione).



Modelli di segnale

- ❖ **Extended Higgs sector (2HDM):** Prevede un doppietto di Higgs aggiuntivo. Esistenza di altri 4 bosoni oltre l'higgs "standard" dopo rottura di simmetria elettrodebole: H (scalare massivo neutro), H^\pm (scalari carichi), A (pseudo-scalare).
- ❖ **Heavy Vector Triplet (HVT):** Prevede 3 bosoni vettori aggiuntivi: 2 carichi (W') e uno neutro (Z').
- ❖ **Bulk Randall-Sundrum Graviton:** Particella di spin-2, eccitazione del gravitone (Kaluza-Klein), in modelli con warped extra dimension.
- ❖ **Randall-Sundrum Radion:** Particella a spin-0 in modelli con warped extra dimension.

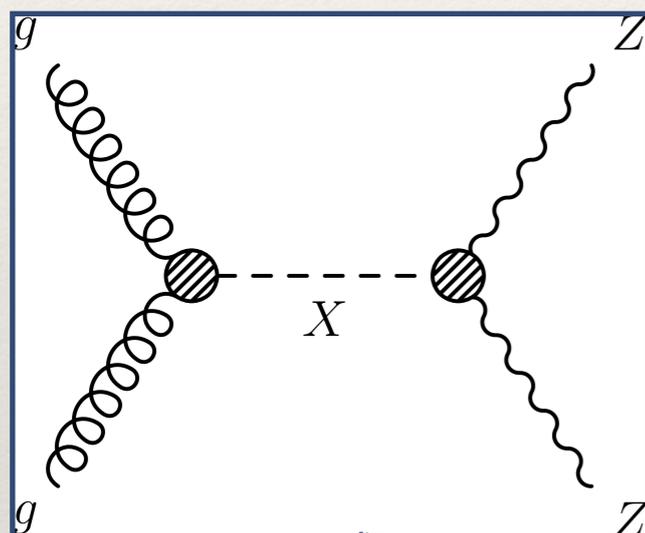
Tutti i modelli si riferiscono ad un nuovo bosone X che decade in una coppia di bosoni vettori SM



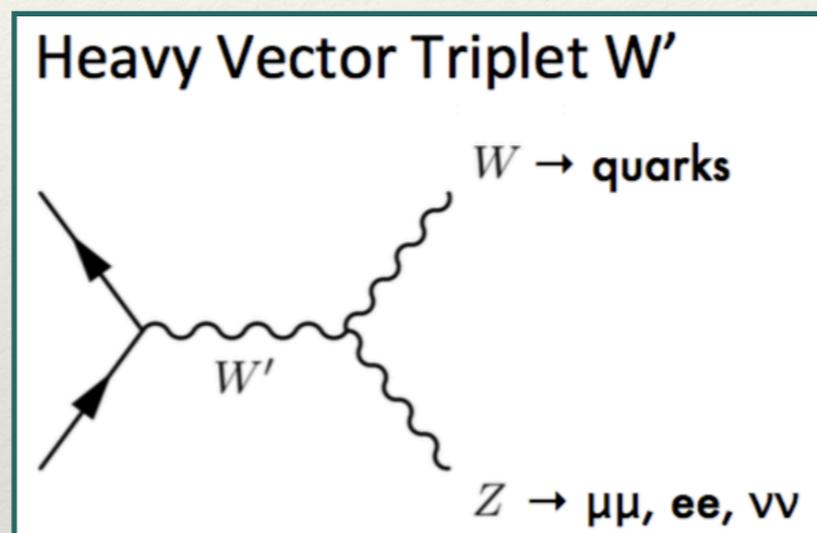
Meccanismi di produzione

Le ricerche prendono in considerazione, in base ai modelli di segnale, tre processi di produzione per la risonanza X che decade nei bosoni VV : **gluon-gluon fusion (ggF)**, **Drell-Yan (DY)**, **vector-boson fusion (VBF)**

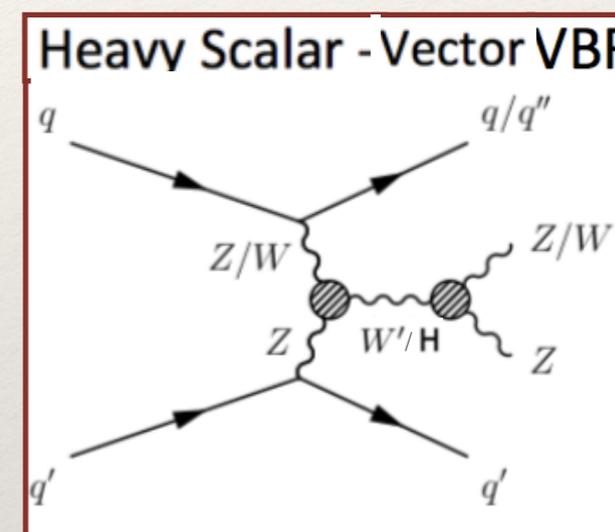
Gluon-gluon fusion



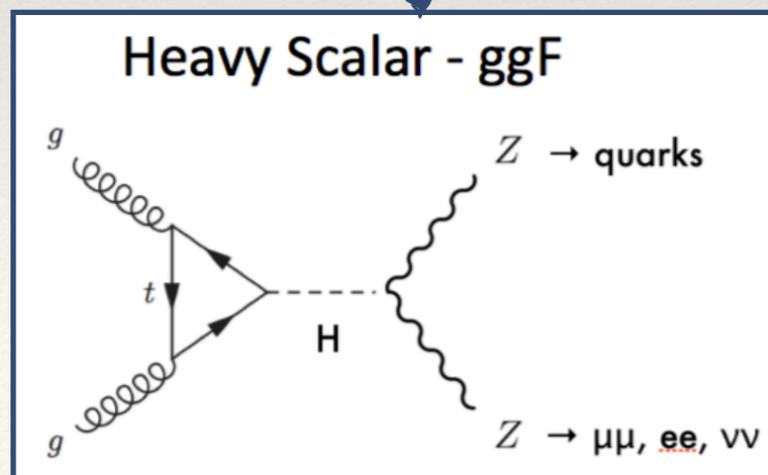
Drell-Yan



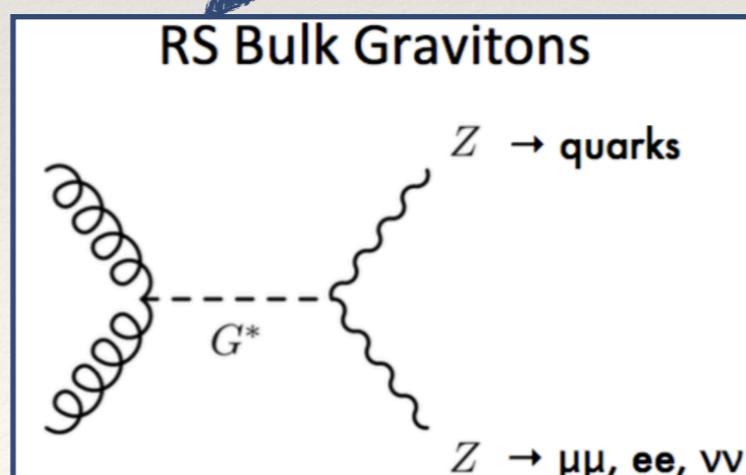
Vector-boson fusion



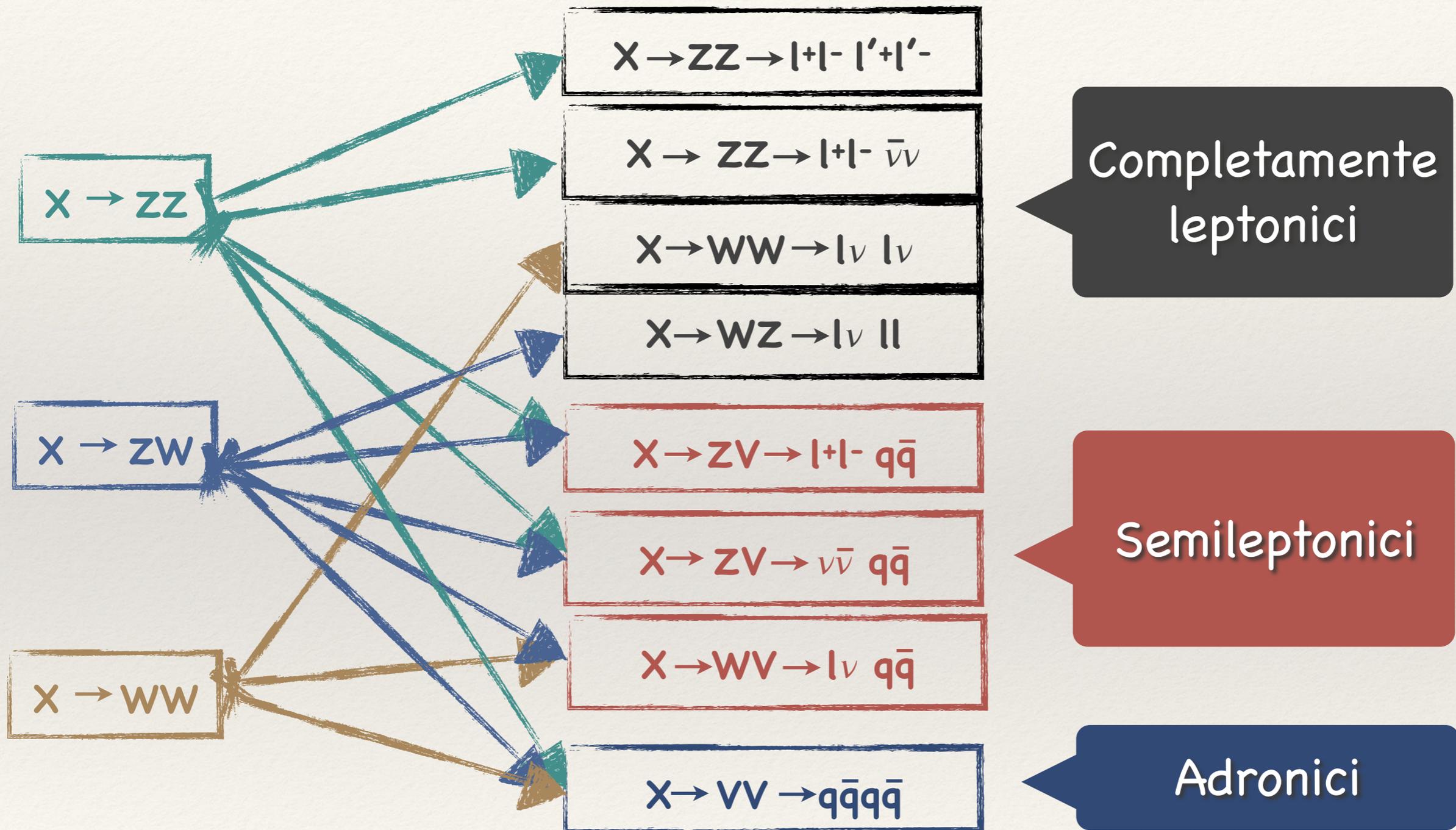
Heavy Scalar - ggF



RS Bulk Gravitons



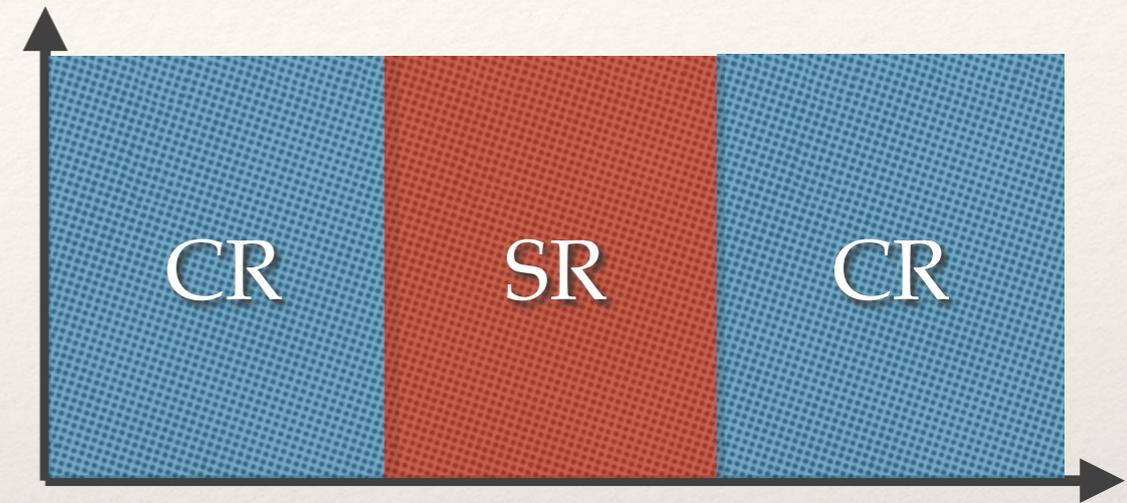
Stati finali del canale $X \rightarrow VV$



$X \rightarrow Vh$: La risonanza può anche decadere in una coppia Vh . Stati finali semileptonici ed adronici analoghi al caso VV con l'higgs che decade in b-jets.

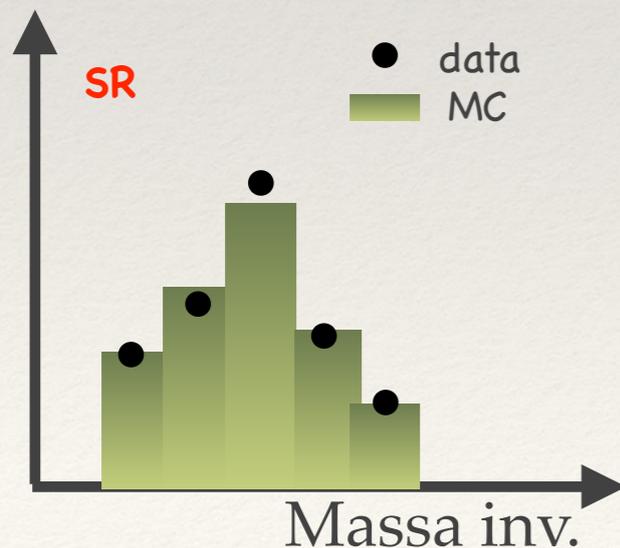
Strategia d'analisi

- ❖ Definizione di varie regioni di segnale (SR);
- ❖ Definizione di varie regioni di controllo (CR) al fine di derivare tramite dati fattori di normalizzazione del Monte Carlo;
- ❖ Osservazione di eventuali eccessi nella distribuzione di un dato osservabile finale;
- ❖ Se non vengono osservati eccessi i risultati sono interpretati in termini di limiti sui modelli studiati.



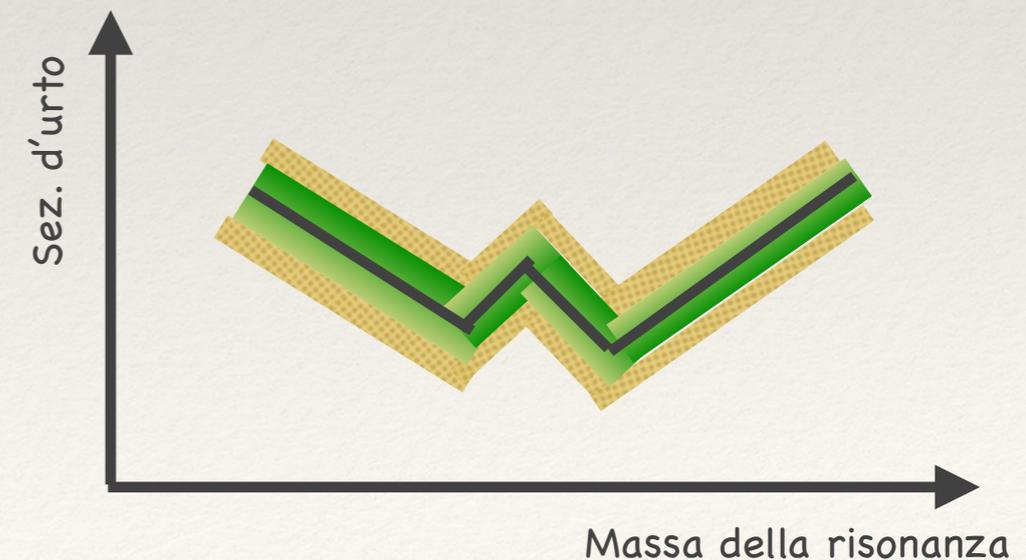
Discriminante finale

Massa invariante dello stato finale $\Rightarrow m_{lljj}/m_{llj}$



Se non viene osservato alcun eccesso

Stima dei limiti sulla sezione d'urto

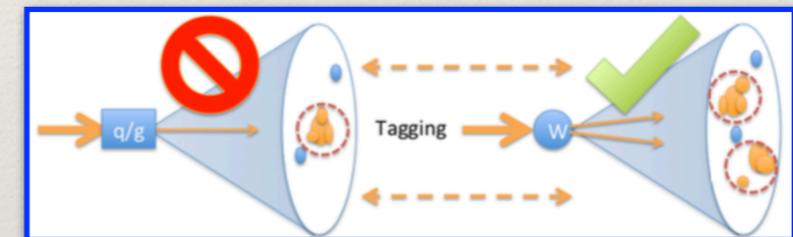


Caratteristiche analisi dibosoniche

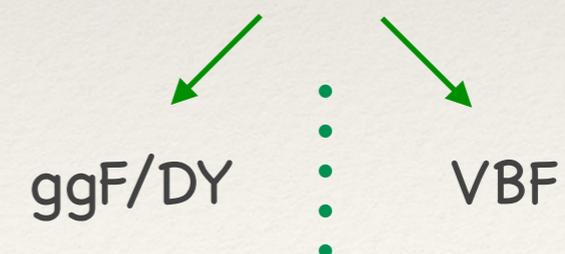
- ❖ Ricostruzione dei jets nel decadimento $V \rightarrow qq$;



- ❖ Identificazione dei jet provenienti dal decadimento del bosone vettore V;



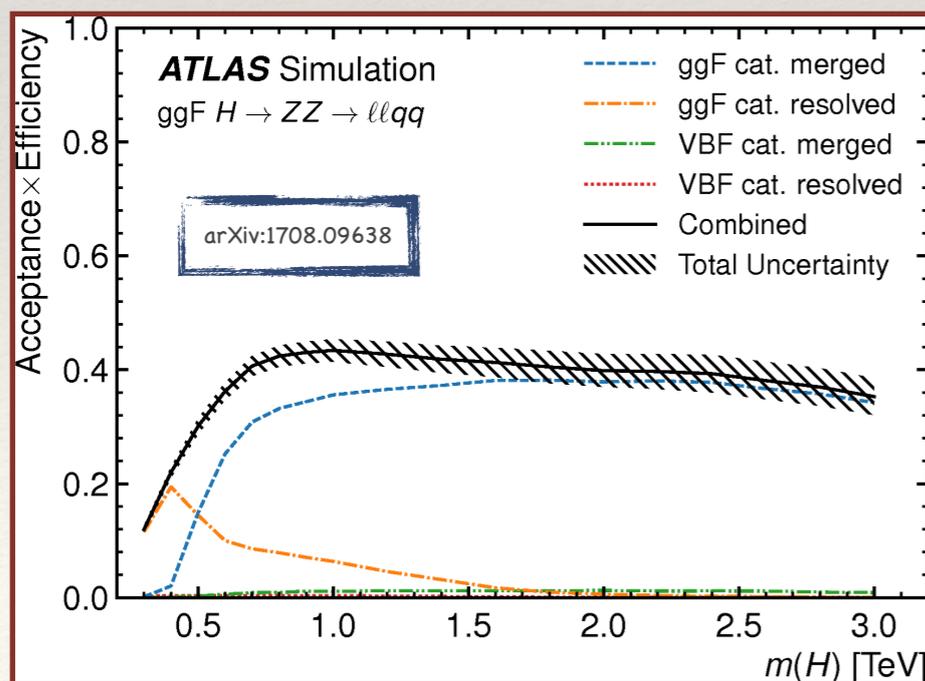
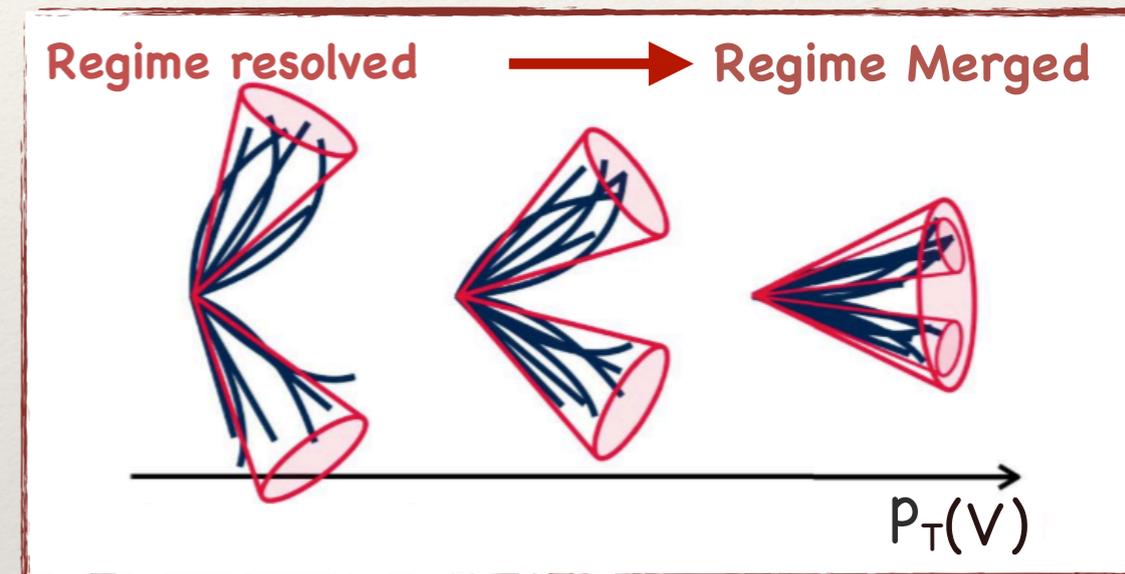
- ❖ Categorizzazione degli eventi in base al meccanismo di produzione della risonanza;



La ricostruzione dei jet nel decadimento $V \rightarrow qq$

Quando la massa della risonanza X è significativamente più elevata della massa del bosone vettoriale V , la coppia qq che si origina dal decadimento del bosone V può essere collimata. L'analisi è differenziata in due regimi:

- ❖ **Resolved:** I due jet vengono ricostruiti separatamente. Ciò avviene per p_T del bosone V fino a poche centinaia di GeV;
- ❖ **Merged:** Gli adroni dai due jets si sovrappongono nel rivelatore e vengono ricostruiti come un unico grande jet. Ciò avviene per alti p_T del bosone V ;

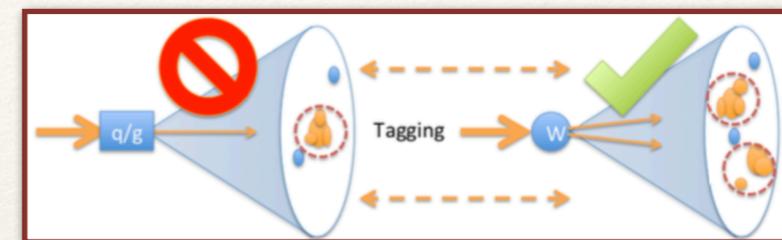


Dopo $M_X > \sim 800$ GeV il regime merged è dominante

Il W/Z Tagger

Boson Tagging: Tecnica per discriminare merged jet di segnale da quelli di fondo che provengono da radiazione soft; Accetta jet con 2 "core" sub-jets dovuti al decadimento del bosone vettore e rigetta jets con un solo "core".

La reiezione del fondo multijet è ottimizzata all'interno di finestre di massa del merged jet e combinando tagli sulla variabile D_2 (costruita da informazioni sui costituenti del merged jet). <https://arxiv.org/pdf/1409.6298.pdf>



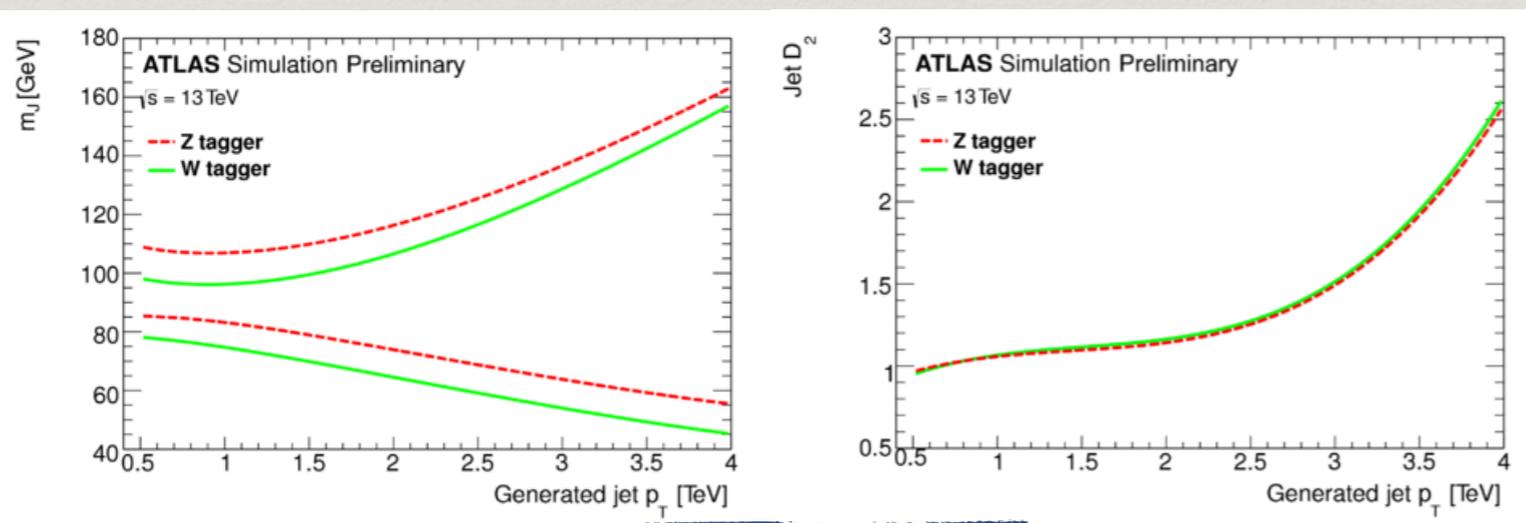
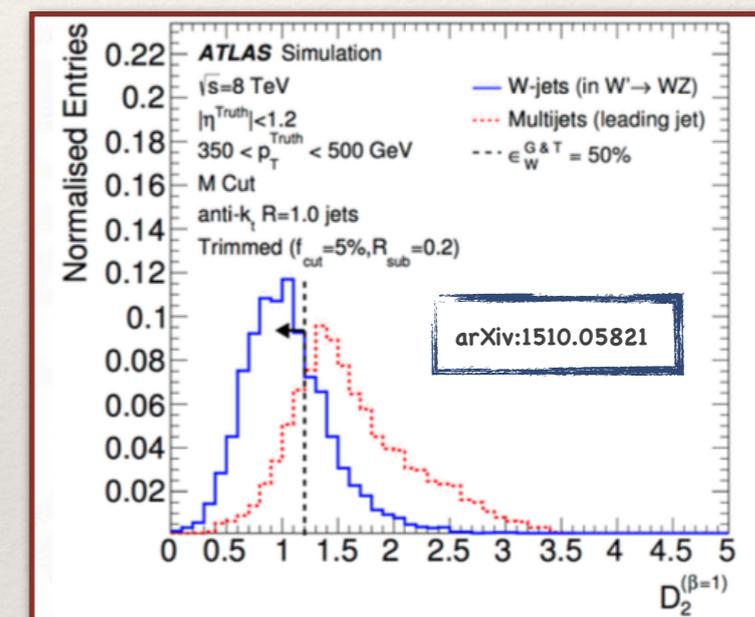
$$E_{CF1} = \sum_i p_{T,i}$$

$$E_{CF2} = \sum_{ij} p_{T,i} p_{T,j} \Delta R_{ij}$$

$$E_{CF3} = \sum_{ijk} p_{T,i} p_{T,j} p_{T,k} \Delta R_{ij} \Delta R_{jk} \Delta R_{ki}$$



$$D_2^{(\beta=1)} = E_{CF3} \left(\frac{E_{CF1}}{E_{CF2}} \right)^3$$



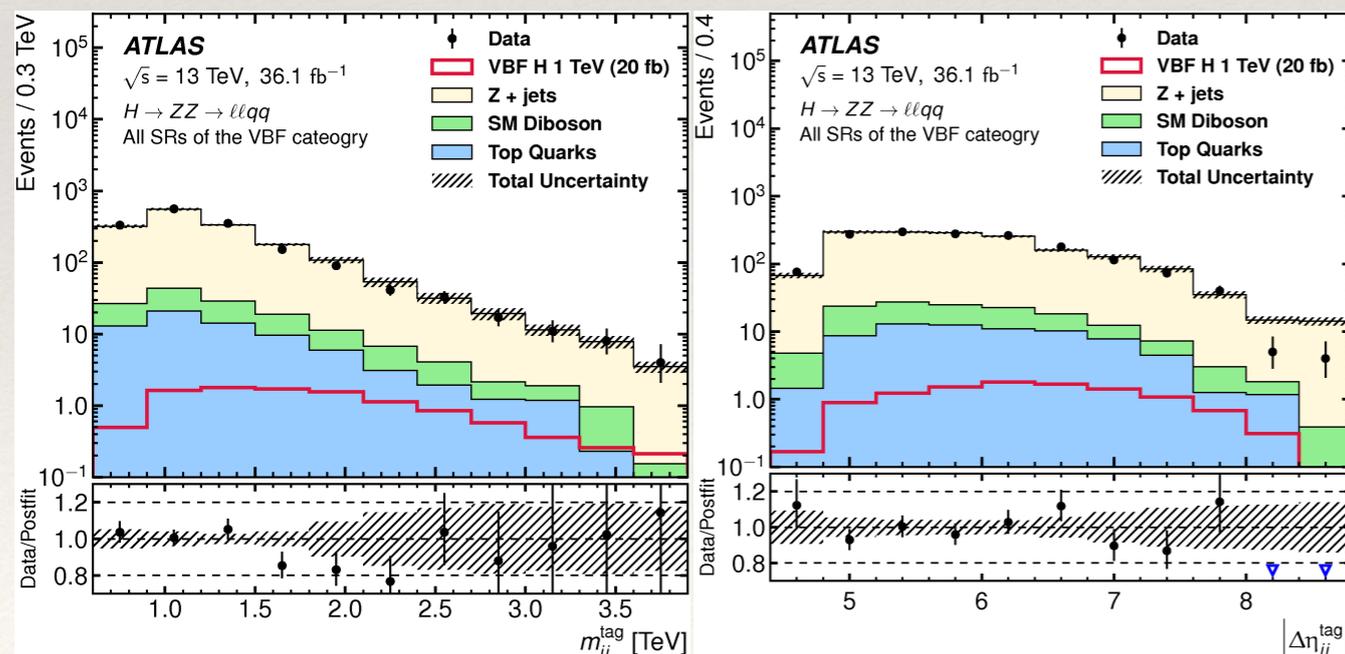
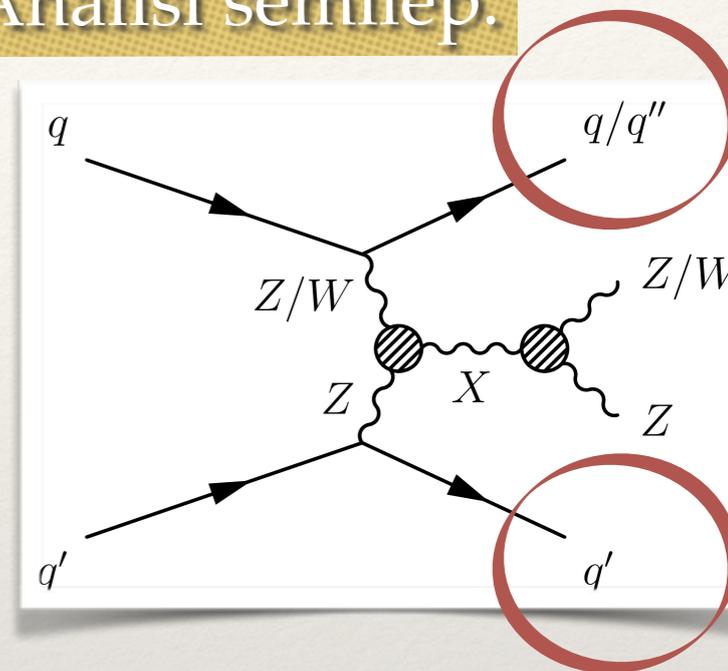
ATLAS-CONF-2019-003

La finestra di massa ed il massimo taglio sul D_2 sono ottimizzati al fine di ottenere la miglior reiezione del fondo multijet per efficienza di selezione fissata → Due punti di lavoro al 50% (HP) e 80% (LP) di efficienza.

Categorizzazione VBF - ggF/DY

- ❖ Gli eventi di segnale provenienti da produzione VBF possiedono una segnatura cinematica caratteristica: in aggiunta ai due jet (o al merged jet) dovuti al decadimento del bosone vettore, gli eventi VBF hanno due jet addizionali (detti tag-jet);
- ❖ Caratteristiche dei tag jet: grande separazione in pseudorapidità, grande massa invariante;
- ❖ Ottimizzazione bidimensionale nel piano $m_{jj} - |\Delta\eta_{jj}|$ cercando di ottimizzare la purezza del segnale e la reiezione del fondo $\varepsilon = \varepsilon_{VBF} (1 - \varepsilon_{Bkg}) (1 - \varepsilon_{ggF})$.
- ❖ $\eta_1 \cdot \eta_2 < 0$, $m_{jj} > 770$ (630) GeV e $|\Delta\eta_{jj}| > 4.7$ per canale $llqq$ ($\nu\nu qq$);

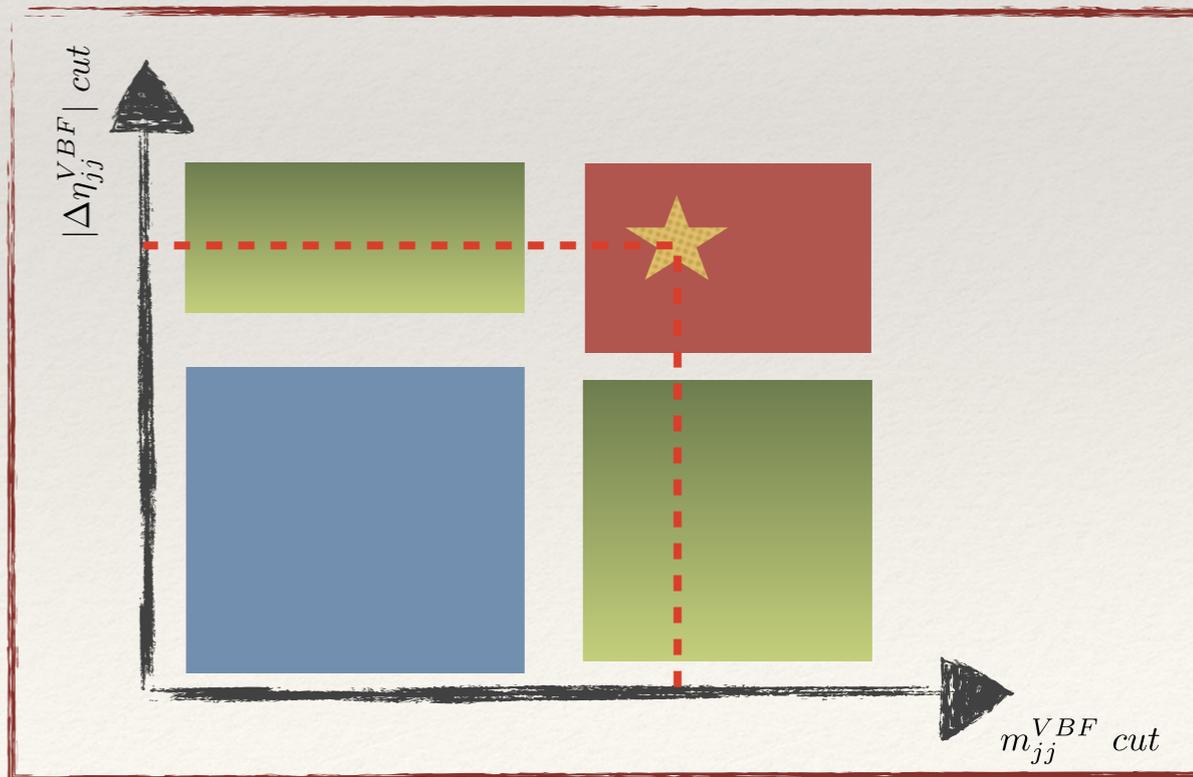
Analisi semilep.



m_{jj}^{VBF}

arXiv:1708.09638

$\Delta\eta_{jj}^{VBF}$



L'analisi $VV \rightarrow JJ$

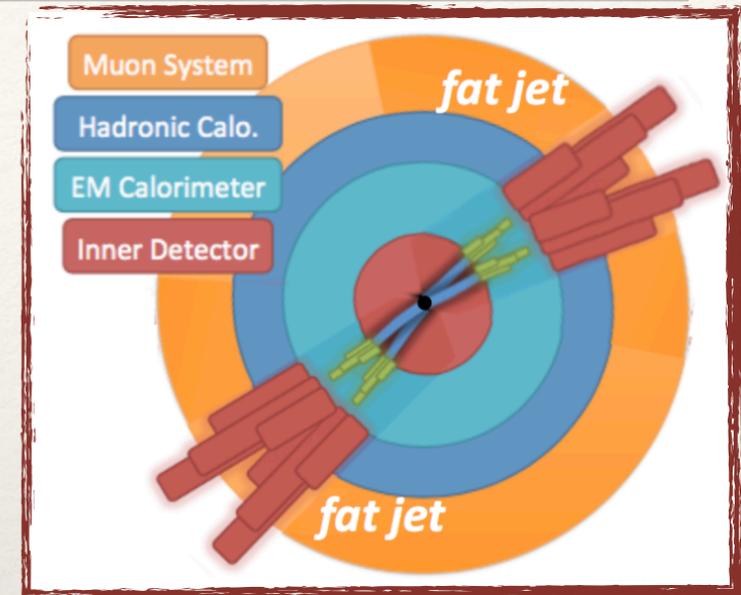
Risultati @ 139 fb⁻¹

Panoramica:

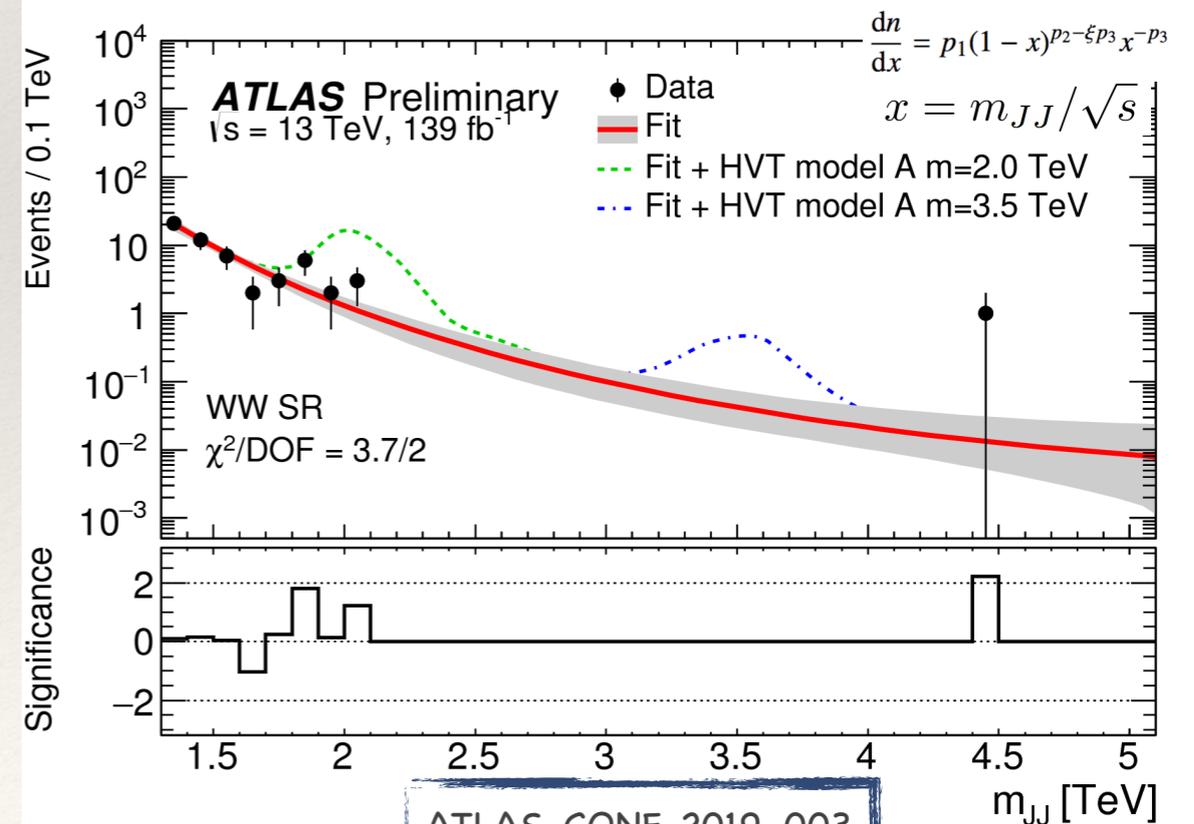
Canale con il più alto Branching Ratio
 $BR(VV \rightarrow \text{had}) \sim 50\%$
 Solo regime merged;
 3 regioni di segnale (WW, ZZ, WZ);
 Fondi: multijets (~85%); Produzione
 dibosonica, W/Z+jets, ttbar.

Modelli di segnale:

Spin-1: HVT Z', W'
 Spin-2: Graviton



- ❖ $p_{T1} > 500 \text{ GeV}$, $p_{T2} > 200 \text{ GeV}$;
- ❖ W/Z boson tagging;
- ❖ $m_{JJ} > 1.3 \text{ TeV}$
- Reiezione fondo QCD:
 - Numero di tracce nTrk del merged jet < 30;
 - $|\Delta y_{JJ}| < 1.2$;
 - p_T asymmetry < 0.15

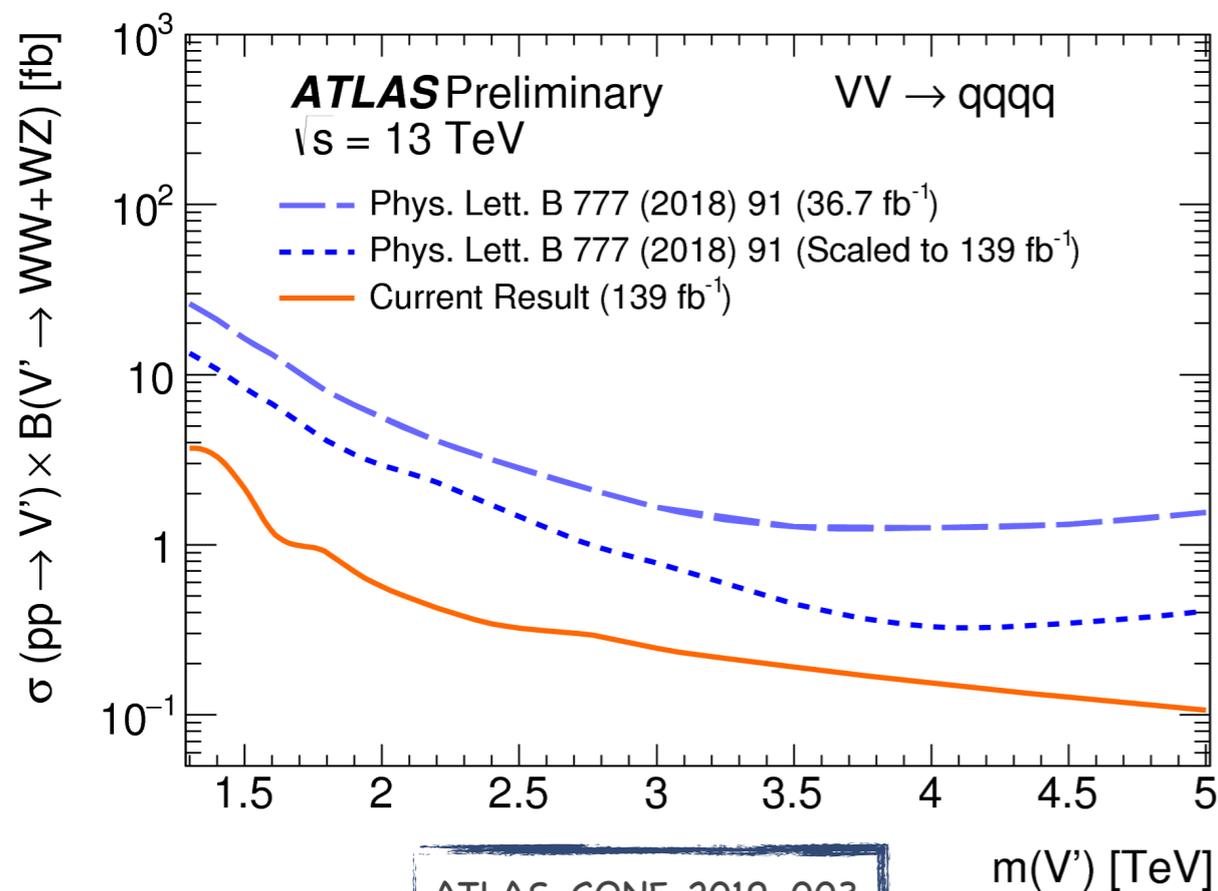


ATLAS-CONF-2019-003

Analisi $VV \rightarrow JJ$ - Miglioramento analisi

Nuove tecniche utilizzate al fine di migliorare la sensibilità ai modelli di segnale considerati:

- ❖ Utilizzo di nuove tecniche per la ricostruzione dei jet;
- ❖ Miglioramento delle selezioni per le variabili utilizzate dal W/Z tagger per identificazione bosoni boosted;



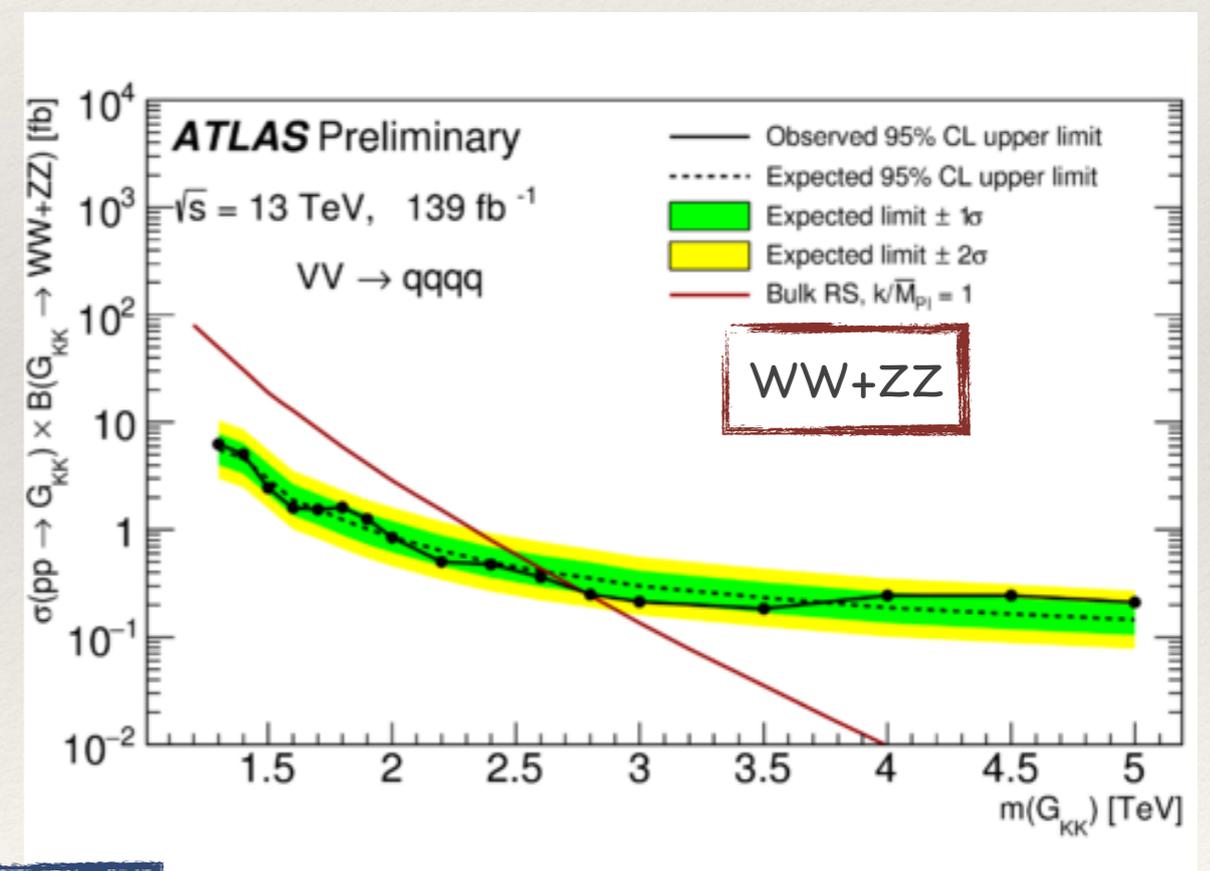
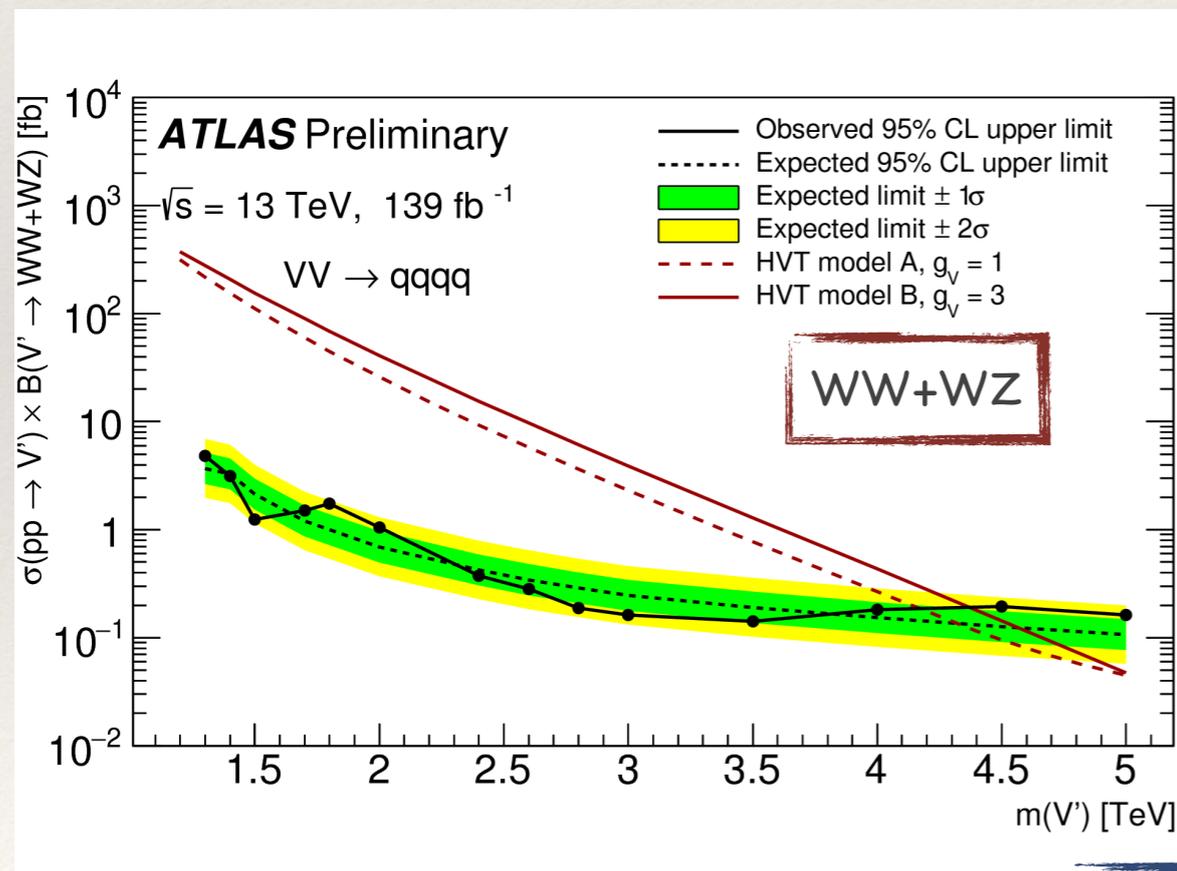
Limiti di esclusione sulla massa:

- ❖ HVT, $g_V = 1$ 1.3 - 4.1 TeV (1.2 - 3.1 TeV @36.7 fb⁻¹);
- ❖ HVT, $g_V = 3$ 1.3 - 4.4 TeV (1.2 - 3.5 TeV @36.7 fb⁻¹)
- ❖ G_{KK} 1.3 - 2.8 TeV (1.3 - 1.6 TeV @36.7 fb⁻¹)

Miglioramento nei limiti attesi più grande di un fattore 5 (2) a 2 TeV (4 TeV) rispetto quanto atteso incrementando solo la statistica

Analisi $VV \rightarrow JJ$ - Limiti di esclusione

- ❖ Limiti superiori al 95% CL osservati (linea continua nera) e attesi (linea tratteggiata nera) per le produzioni VV nei modelli spin 1 (sinistra) e spin 2 (destra) in funzione della massa della risonanza.
- ❖ I limiti osservati per lo spin1 e lo spin2 sono comparati con le predizioni teoriche dei modelli HVT e per un gravitone di Kaluza- Klein ottenendo limiti di esclusione sulla massa.



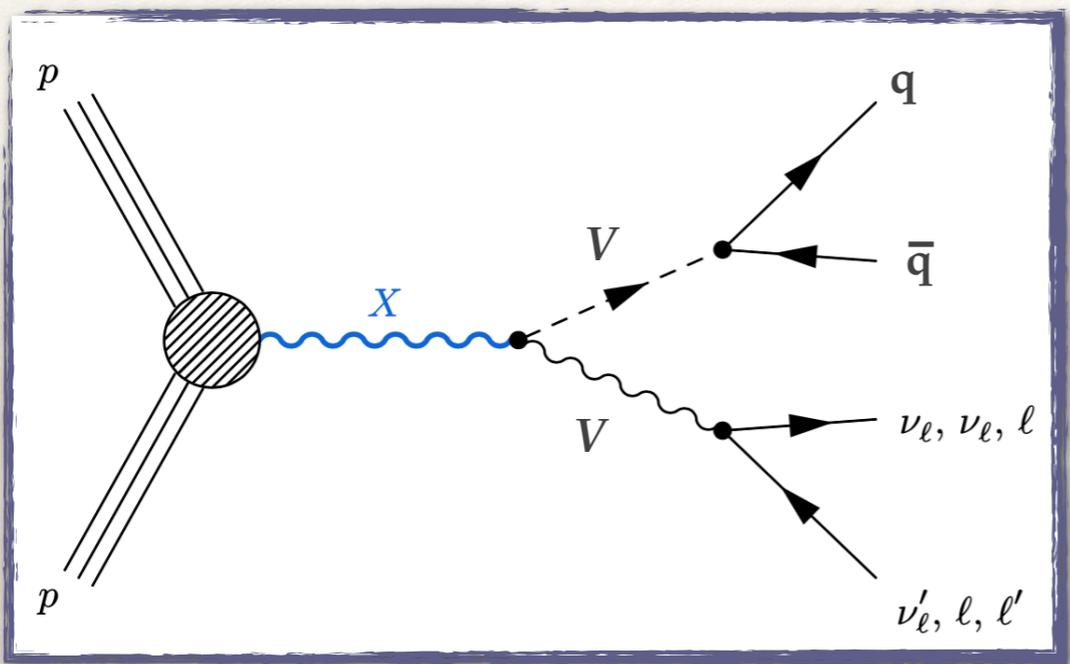
ATLAS-CONF-2019-003

Le analisi VV semileptoniche

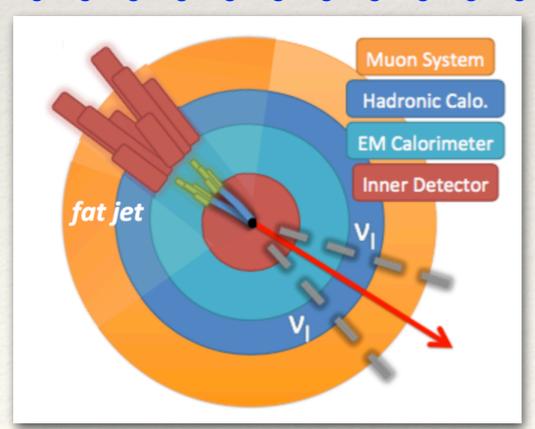
Risultati @ 36.1 fb⁻¹

Modelli di segnale:
 Spin-0: Heavy Higgs/Radion
 Spin-1: HVT Z', W'
 Spin-2: Graviton

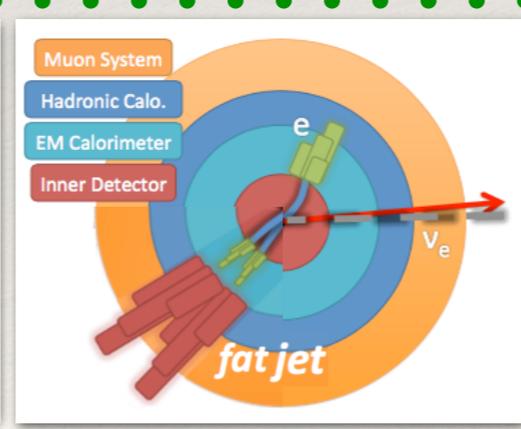
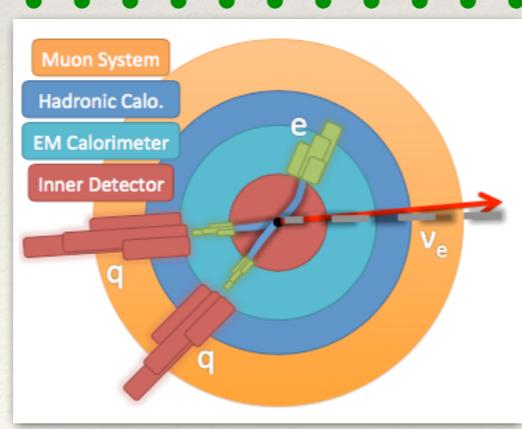
Panoramica:
 3 canali (0/1/2 leptoni);
 2 categorie (ggF/VBF);
 2 regimi (resolved/merged);
 Categorizzazione per sapore dei jet (B-tagging);
 Categorizzazioni HP/LP nel regime merged;



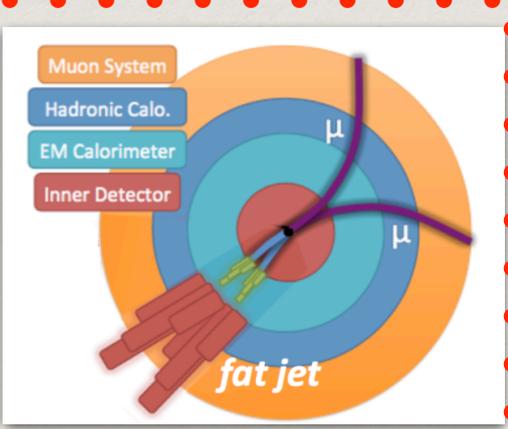
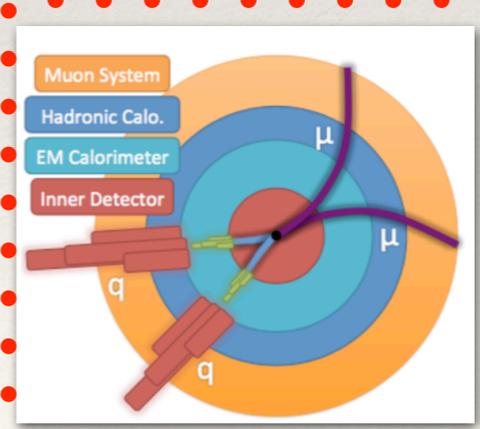
Topologia 0 lep:



Topologia 1 lep:



Topologia 2 lep:



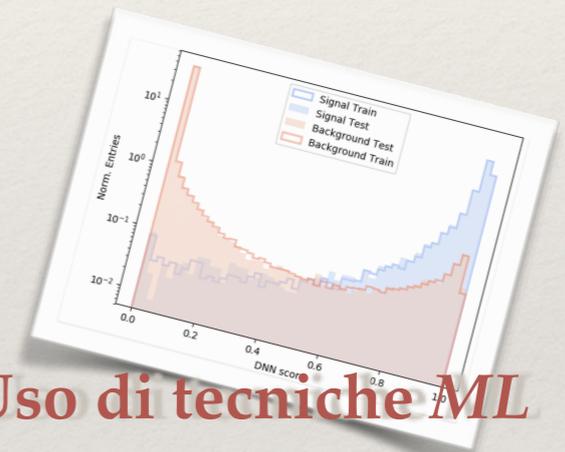
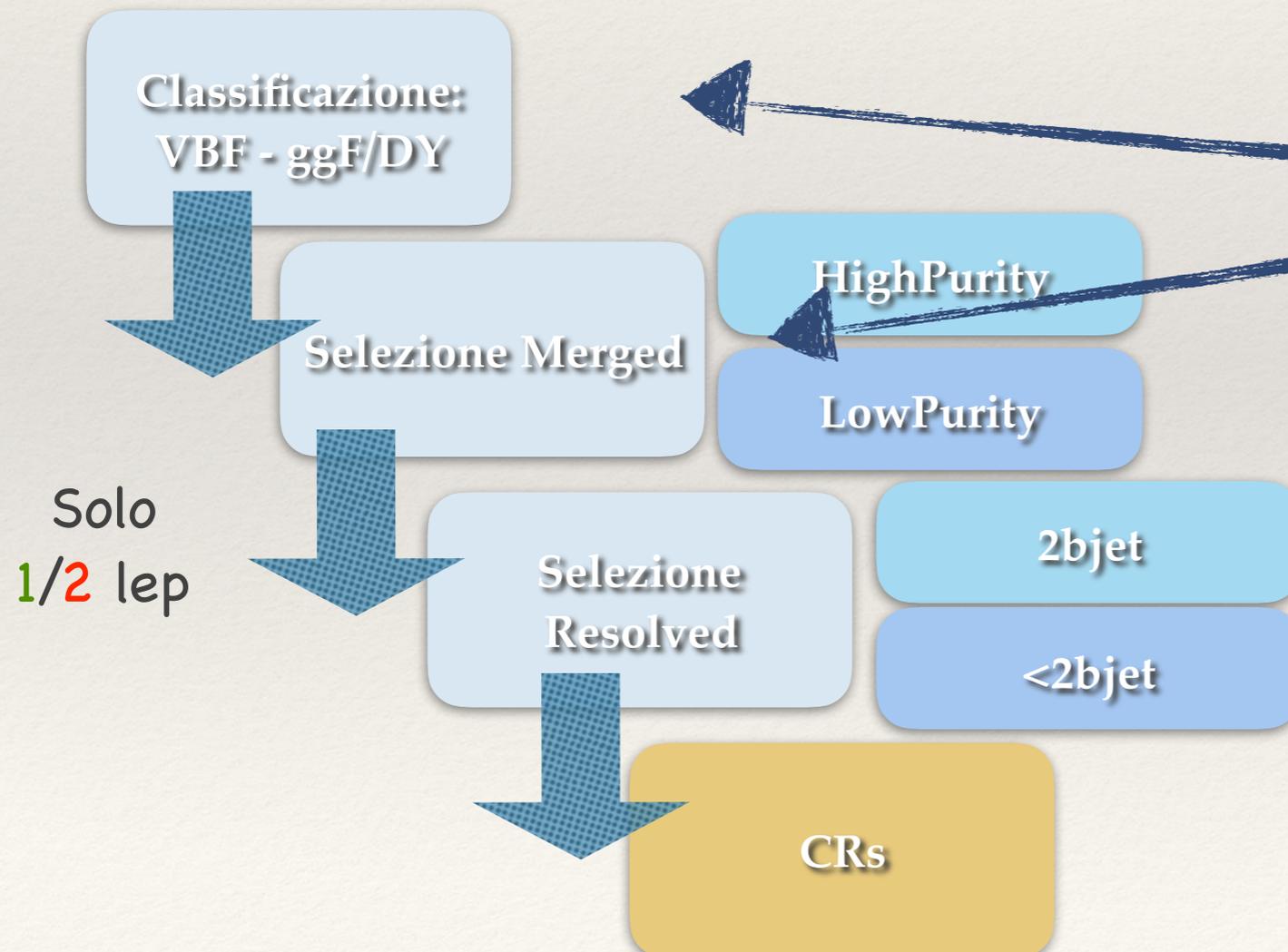
Analisi VV semilep - strategia di analisi

Richieste sui leptoni:

- ❖ **0 lep:** Veto per leptoni (loose) e richiesta $E_T^{\text{miss}} > 250$ GeV;
- ❖ **1 lep:** esattamente 1 leptone (tight) e richieste: $E_T^{\text{miss}} > 100(60)$ GeV, $p_T(l\nu) > 200(75)$ GeV in merged (resolved);
- ❖ **2 lep:** esattamente 2 leptoni dello stesso sapore (loose) nell'intervallo di massa del bosone Z e con $p_T > 30$ GeV

Richieste sui Jets:

- ➔ **regime merged:** Selezione di un jet merged che passa uno dei due punti di lavoro del boson tagger
- ➔ **regime resolved:** Selezione di due jets nella regione $|\eta_j| < 2.5$ e con massa invariante compatibile con quella del bosone Z o W.



Uso di tecniche ML



Lavoro in corso in vista della pubblicazione con tutta la statistica del Run-2

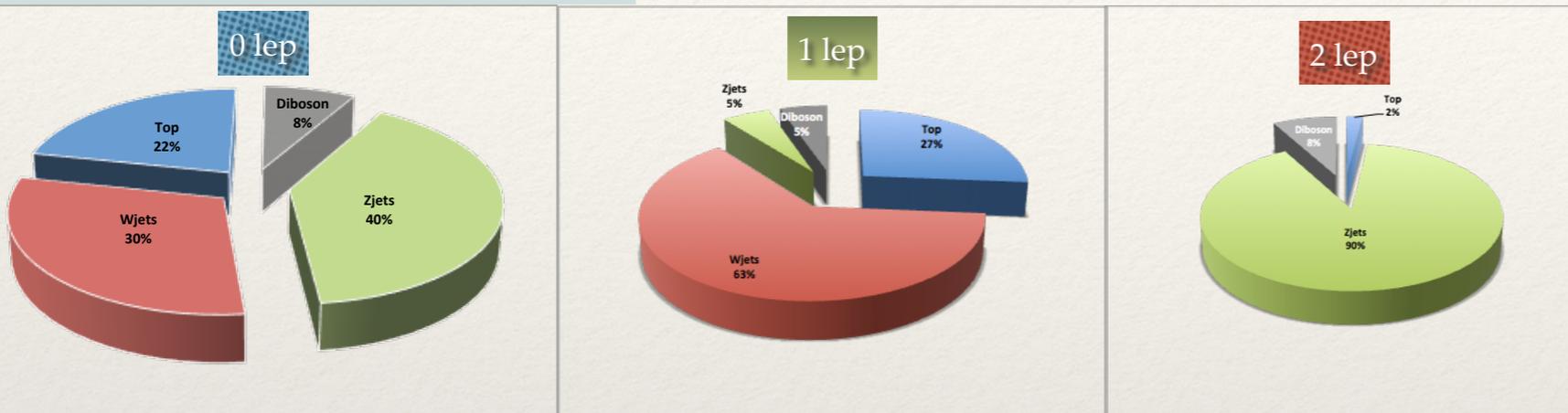
Discriminante finale:

0 lep: massa trasversa: $m_T = \sqrt{(E_{T,J} + E_T^{\text{miss}})^2 - (\vec{p}_{T,J} + \vec{E}_T^{\text{miss}})^2}$

1-2 lep: massa invariante dello stato finale

Analisi VV semilep - Fondo e SRs

Composizione del fondo:



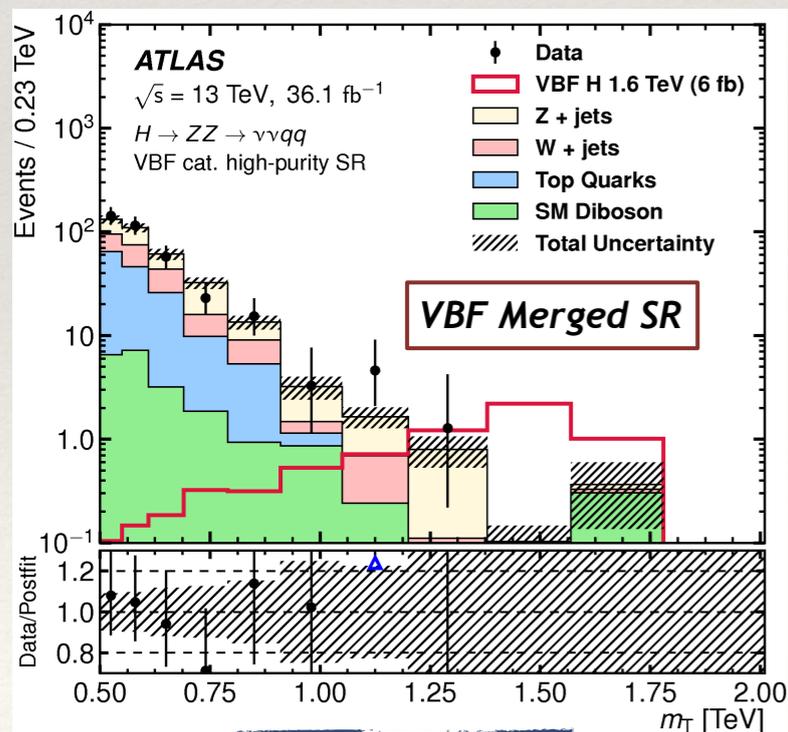
CRs & VR:

- ❖ **W+jets (W) e Z+jets (Z) Control Regions:**
- ❖ 1 e 2 lep: stesse selezioni delle SRs ma usando le bande laterali del W/Z tagger
- ❖ **Top CR:**
- ❖ 1 lep: almeno un b-jet invece di richiedere b-veto;
- ❖ 2 lep: 2 leptoni con sapore diverso

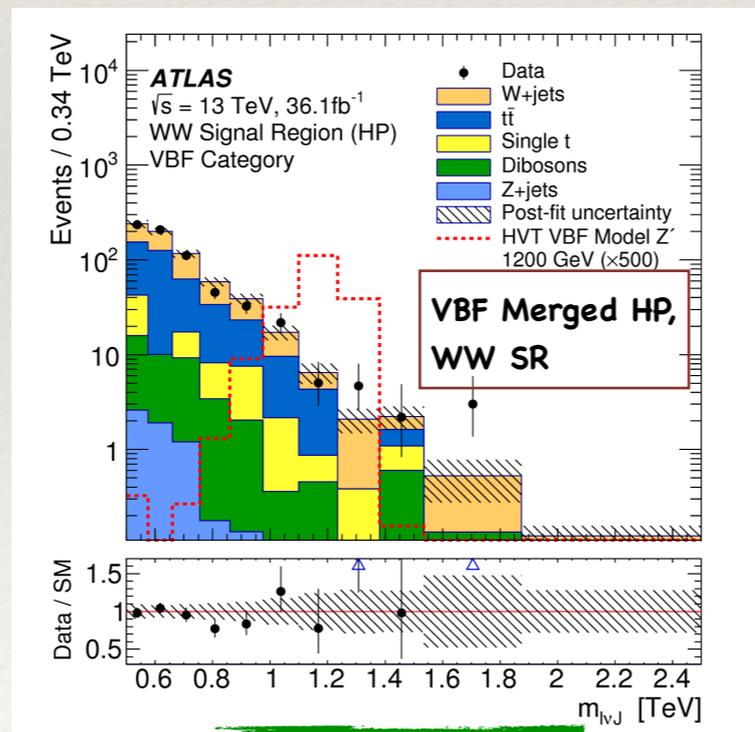
0 lep

1 lep

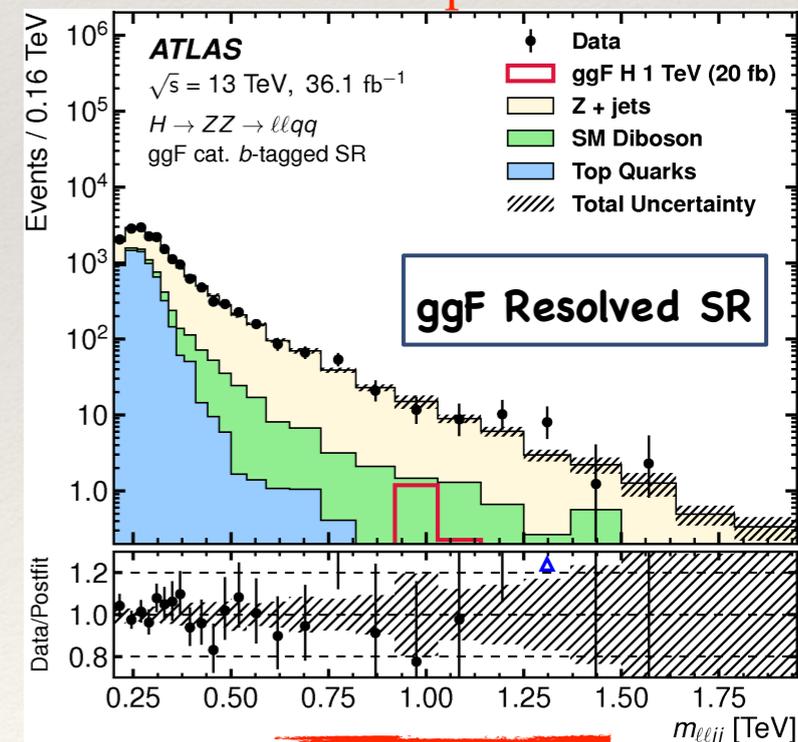
2 lep



arXiv:1708.09638



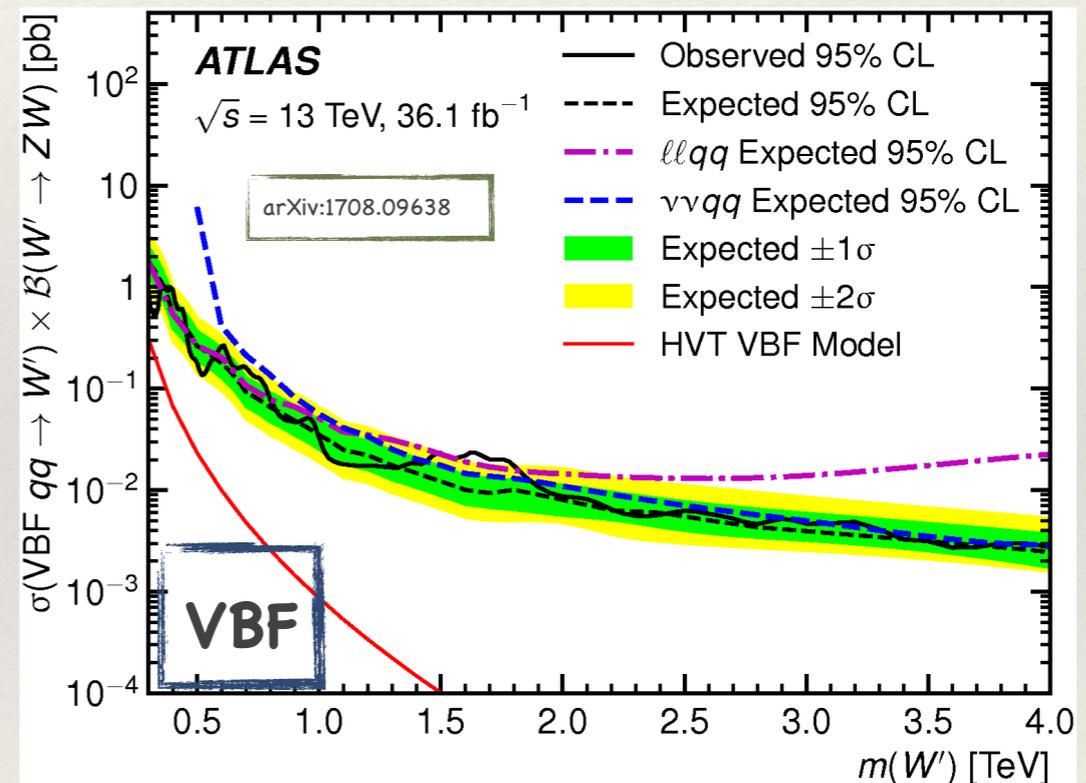
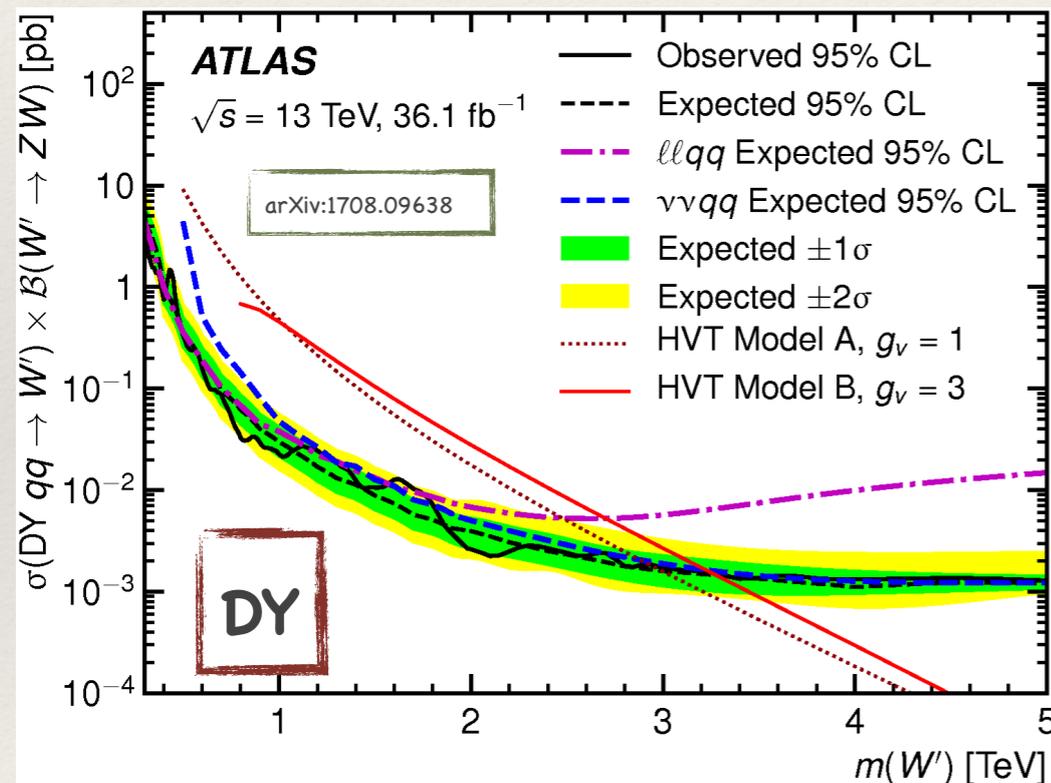
arXiv:1710.07235



arXiv:1708.09638

Analisi VV semilep - Limiti di esclusione

- ❖ Limiti superiori al 95% CL osservati (linea continua nera) e attesi (linea tratteggiata nera) su $\sigma \times B(W' \rightarrow WZ)$ a $\sqrt{s}=13$ TeV per le produzioni DY (sinistra) e VBF (destra) di un bosone W' nel modello HVT in funzione della sua massa, combinando le ricerche $\ell\ell qq$ e $\nu\nu qq$.
- ❖ I limiti osservati sono comparati con le predizioni teoriche dei modelli HVT A ed HVT B. Limiti di esclusione sulla massa sono ottenuti per la regione DY.

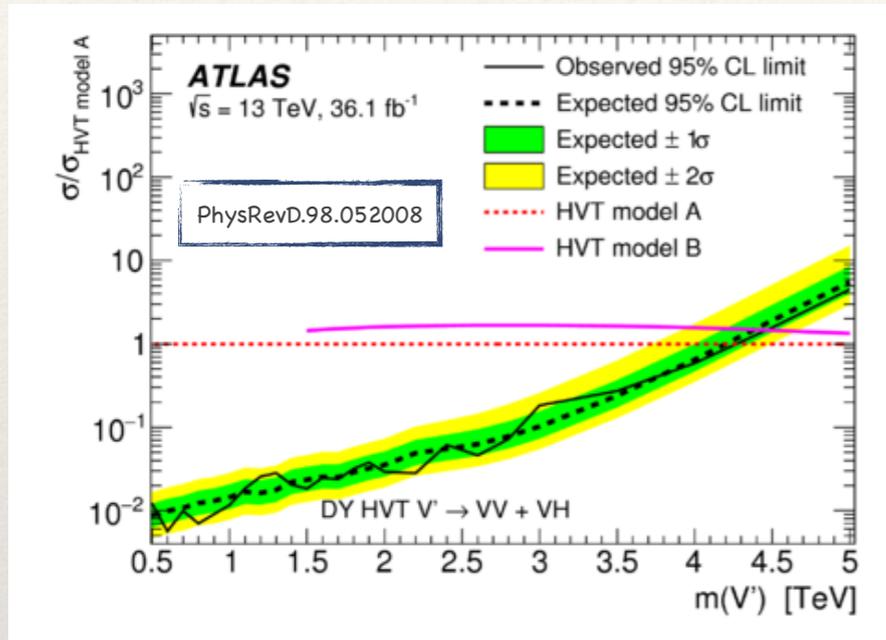


Limiti di esclusione sulla massa:

- ❖ HVT A, $g_V=1$ < 2.9 TeV
- ❖ HVT B, $g_V=3$ < 3.2 TeV

Combinazione analisi dibosoniche @ 36.1 fb⁻¹

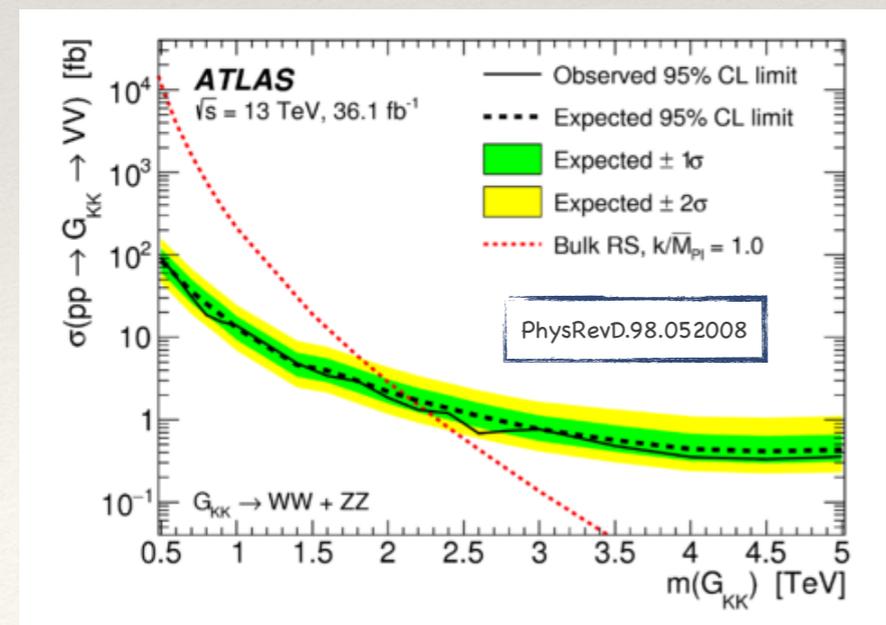
Combinazione dei risultati per le analisi VV semilep, VV adroniche e VH semilep per il processo HVT V' → WZ/WW



Limiti di esclusione sulla massa:

- ❖ HVT A, $g_V=1$ < 4.3 TeV (VV: <3.7; VH: <2.8)
- ❖ HVT B, $g_V=3$ < 4.5 TeV (VV: <4.0; VH: <3.0)

Combinazione dei risultati per le analisi VV semilep e VV adroniche per il processo $G_{KK} \rightarrow WW/ZZ$ ($k/M_{pl}=1$)



Limiti di esclusione sulla massa:

- ❖ $G_{KK} < 2.3$ TeV (VV→vvqq/llqq: <1.3; VV→lvqq: <1.76; VV→qqqq: <1.6)

Prospettive

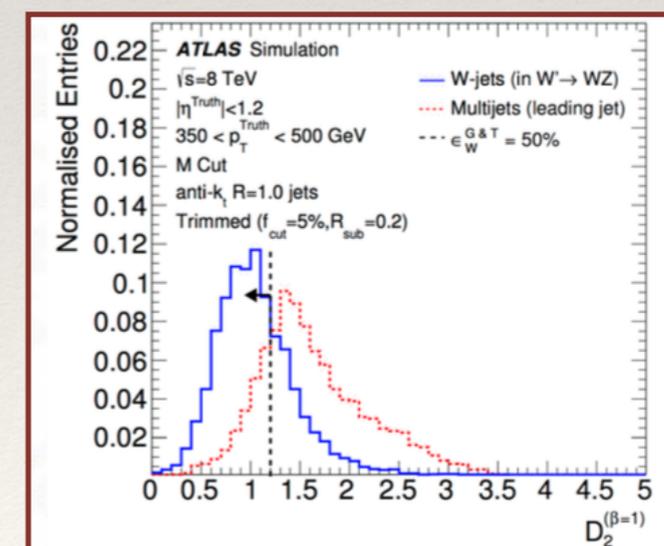
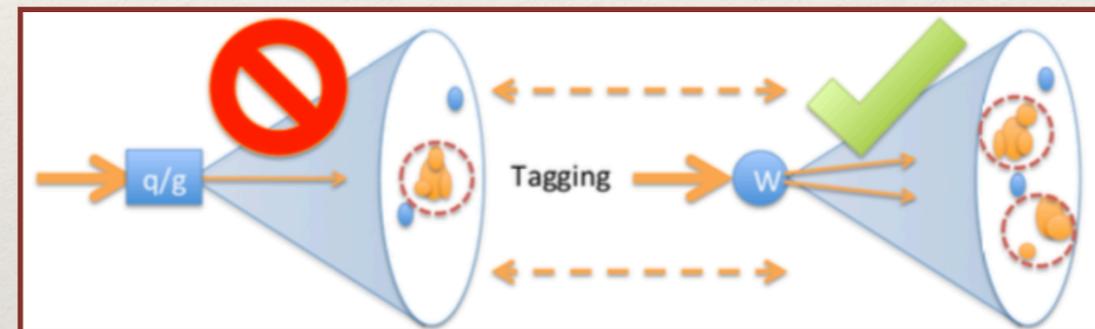
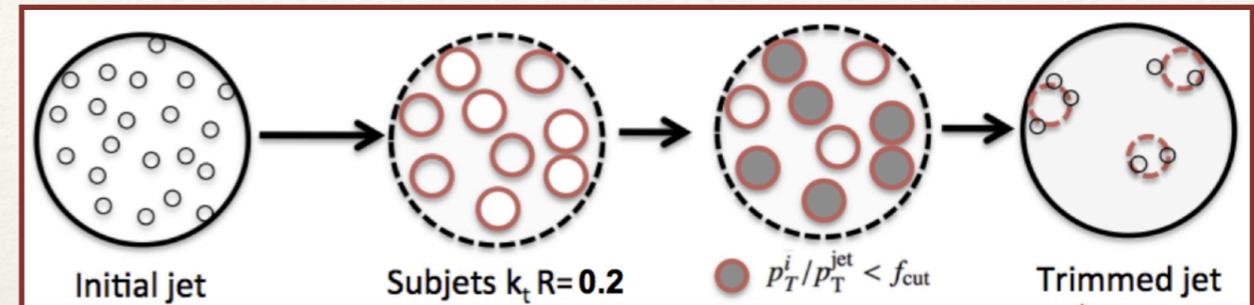
- ❖ Ri-analisi del campione di dati includendo i dati raccolti nel 2017+2018 (statistica completa del Run-II $\sim 150 \text{ fb}^{-1}$);
- ❖ Ottimizzazione delle procedure di selezione degli eventi;
- ❖ Miglioramento categorizzazione eventi VBF - ggF/DY;
- ❖ Implementazione di tecniche di analisi ML sia per categorizzazione VBF - ggF/DY che per segnale/fondo;
- ❖ Analisi del campione completo del periodo 2015-2018 in preparazione;
- ❖ Combinazione dei diversi canali con tutta la statistica del Run-II.

Backup

		W		Z		
		lv	qq'	vv	ll	qq̄
W	lv	l + l + MET (4.7%)	l + MET + jj(J) (14.6%)	l + MET (4.5%)	l + 2l + MET (1.5%)	l + MET + jj(J) (15.0%)
	qq'		jj(J) + jj(J) (45.7%)	MET + jj(J) (13.9%)	2l + jj(J) (4.6%)	jj(J) + jj(J) (46.8%)
Z	vv			MET (4.2%)	2l + MET (1.4%)	MET + jj(J) (14.2%)
	ll				2l + 2l (0.5%)	2l + jj(J) (4.7%)
	qq̄					jj(J) + jj(J) (47.9%)

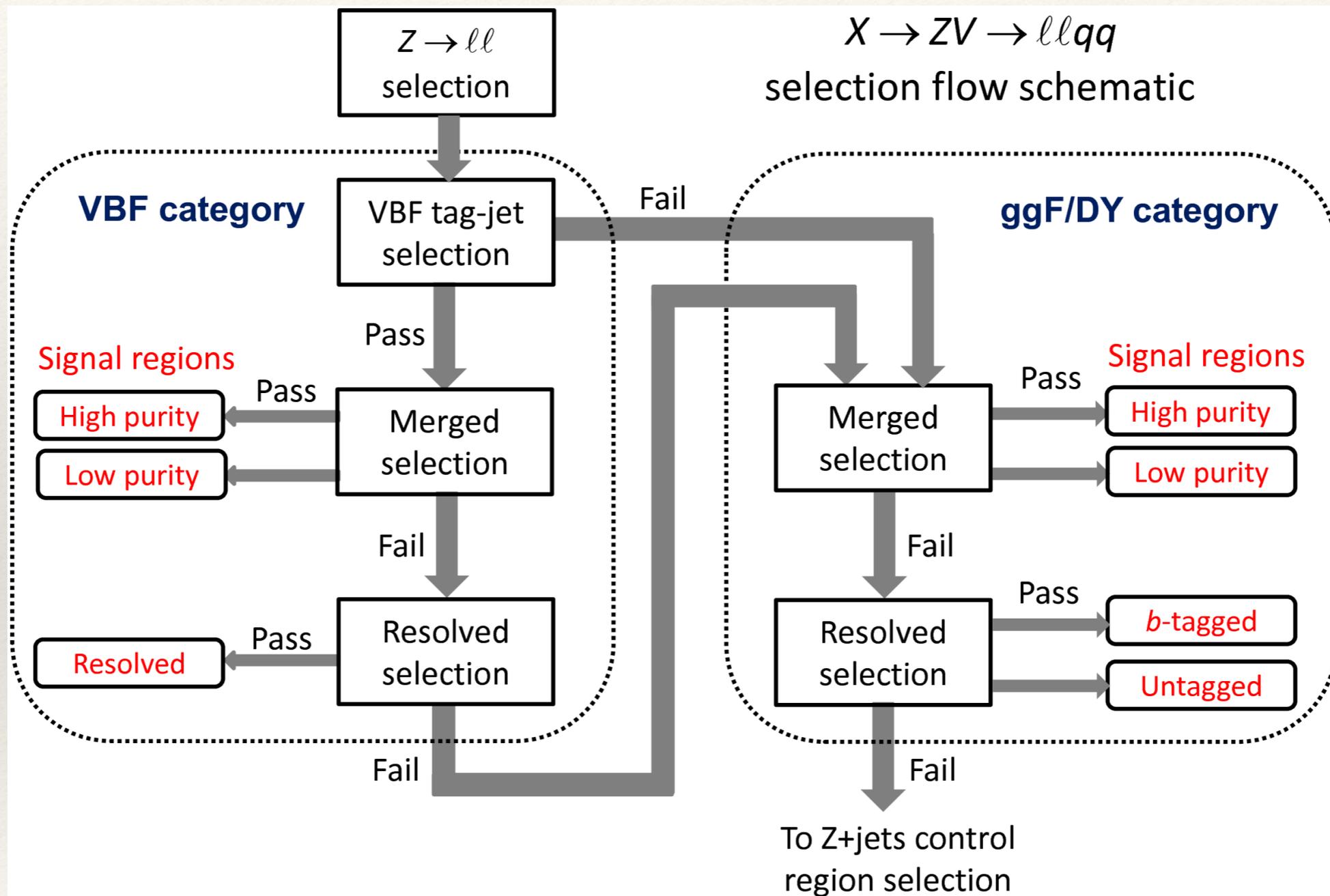
Il regime Merged

- ❖ **Grooming:** Elimina effetti di pile-up, componente soft, radiazione di stato iniziale e interazione multi-partonica dalla ricostruzione del merged jet.
- ❖ **Boson Tagging:** Tecnica per discriminare merged jet di segnale da quelli di fondo che provengono da radiazione soft; Accetta jet con 2 "core" sub-jets dovuti al decadimento del bosone vettore e rigetta jets con un solo "core".
- ❖ Il boson Tagging si basa sulla variabile D_2 e sulla massa dei merged jets. Ottimizzazione della reiezione del contributo multijets rispetto efficienza di selezione dei bosoni vettori.
- ❖ Due punti di lavoro al 50% e 80% di efficienza di selezione utilizzati nelle analisi.



<https://arxiv.org/abs/1510.05821>

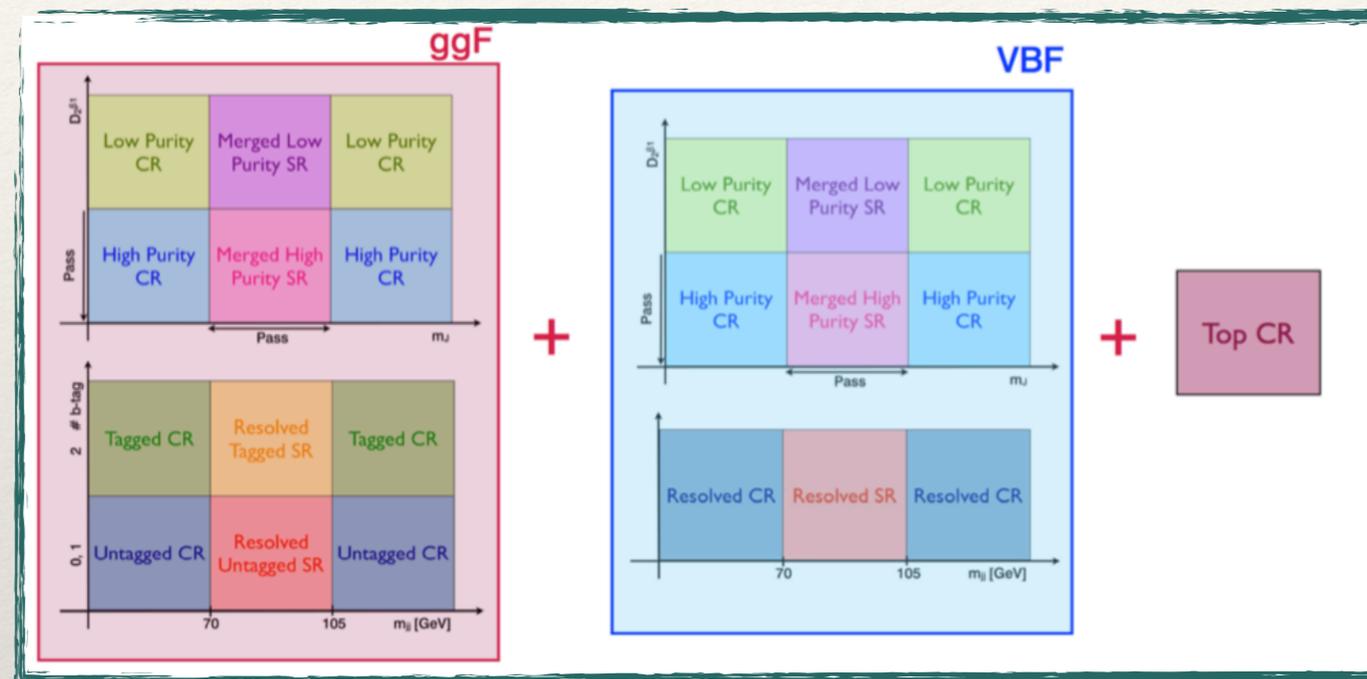
Il "riciclo" degli eventi



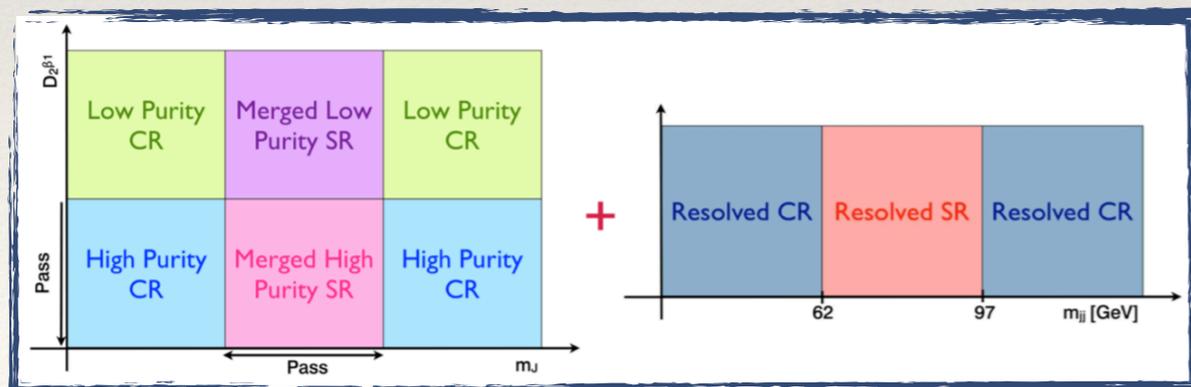
- ❖ Per spin2 solo ggF
- ❖ Per il canale $\nu\nu qq$ solo selezione merged

Regioni totali Zllqq

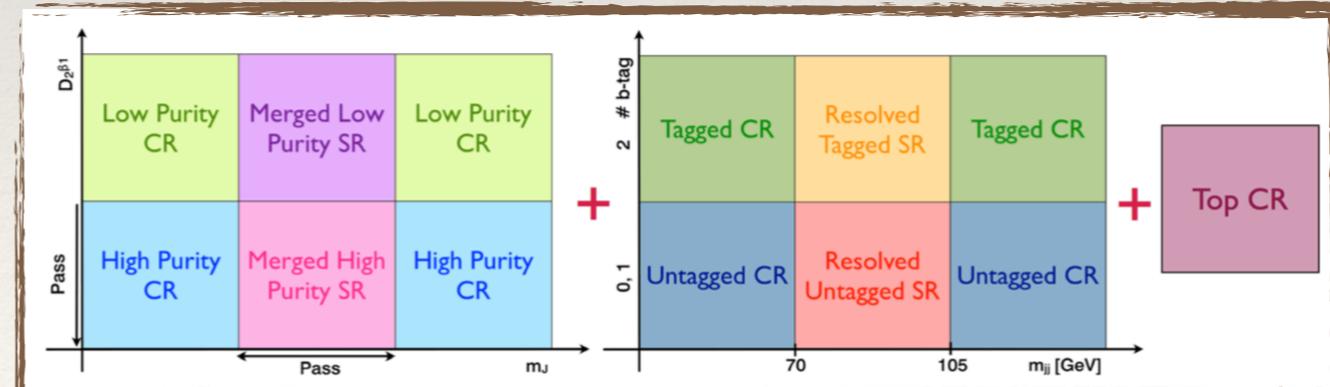
❖ **Spin 0:** 15 regioni (8 ggF + 6 VBF + 1 TopCR)



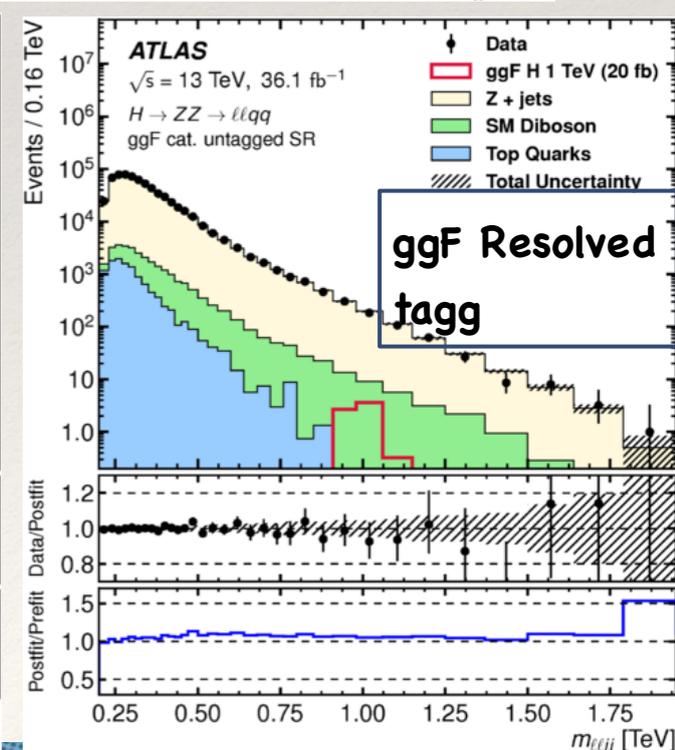
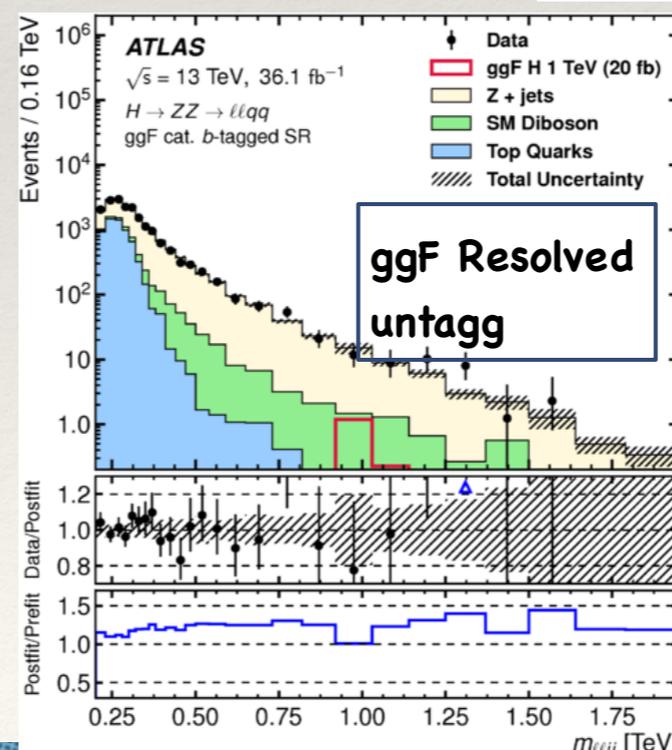
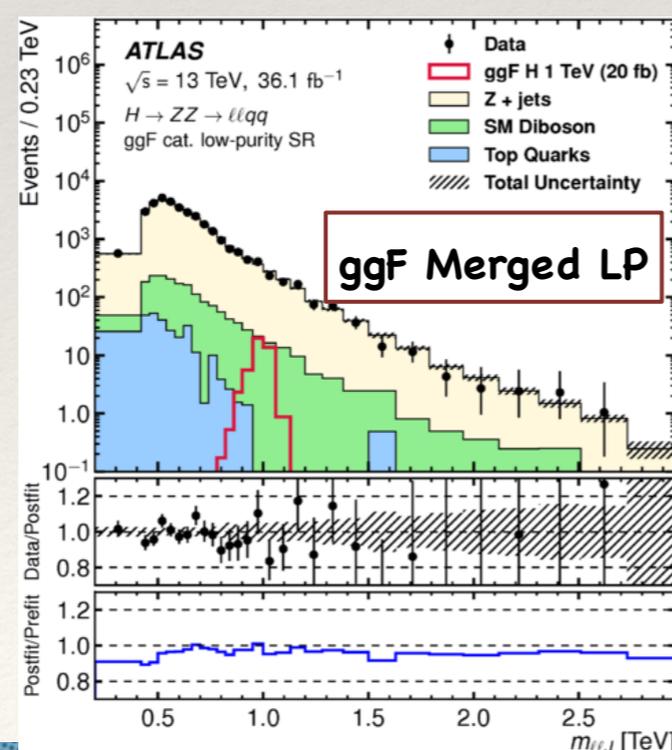
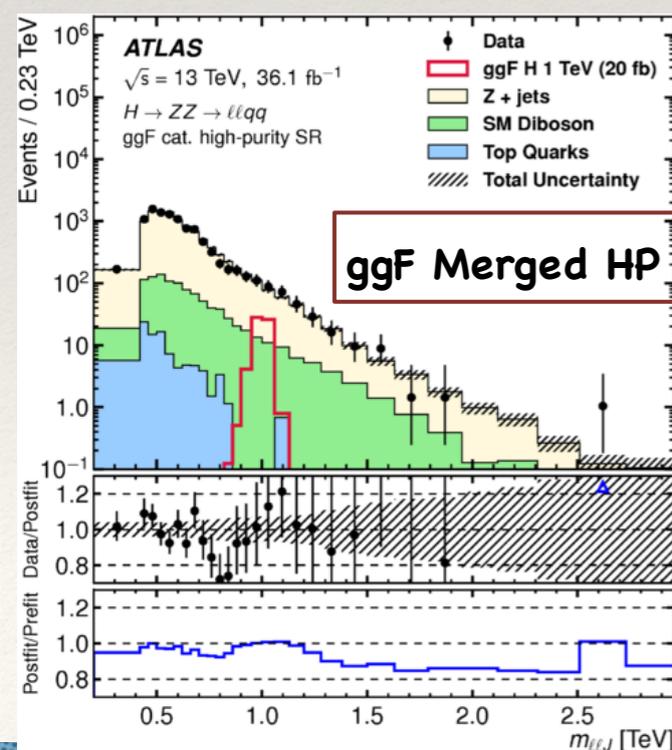
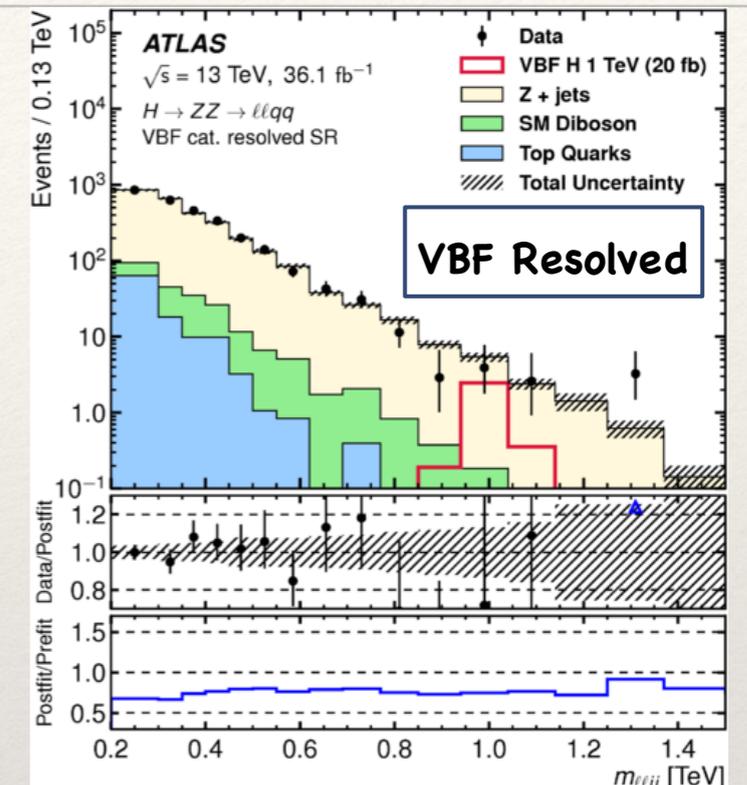
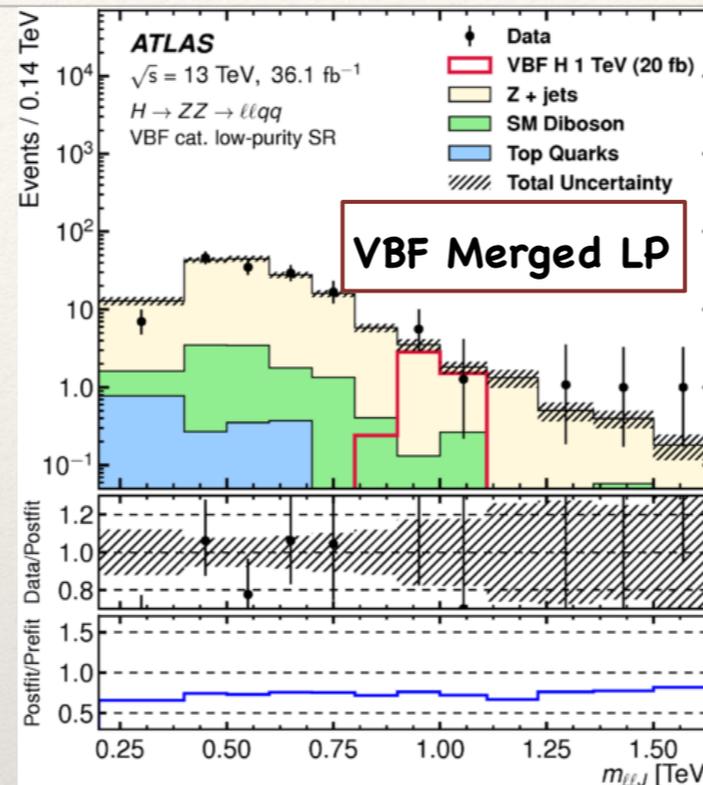
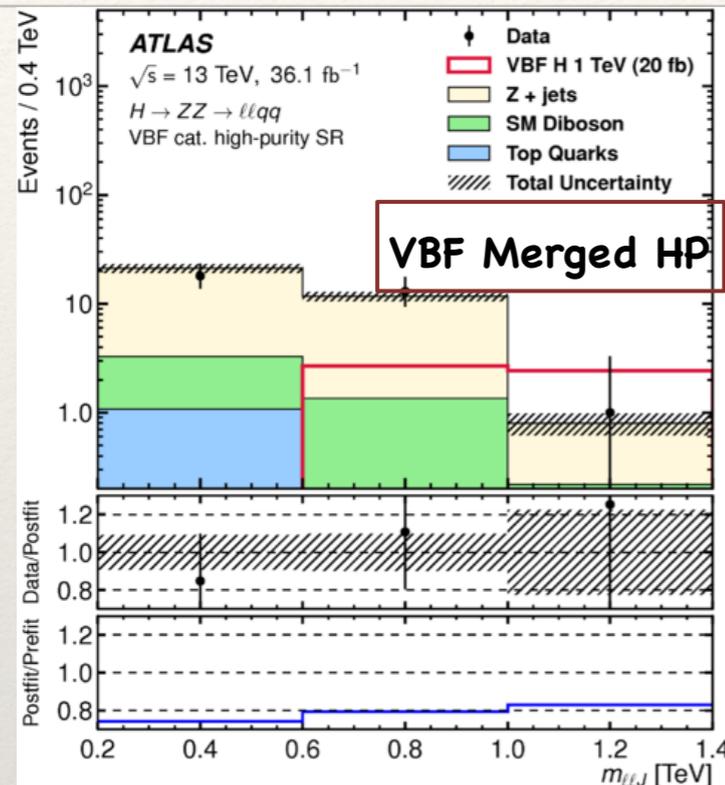
❖ **Spin 1:** 12 regioni (6 ggF + 6 VBF)



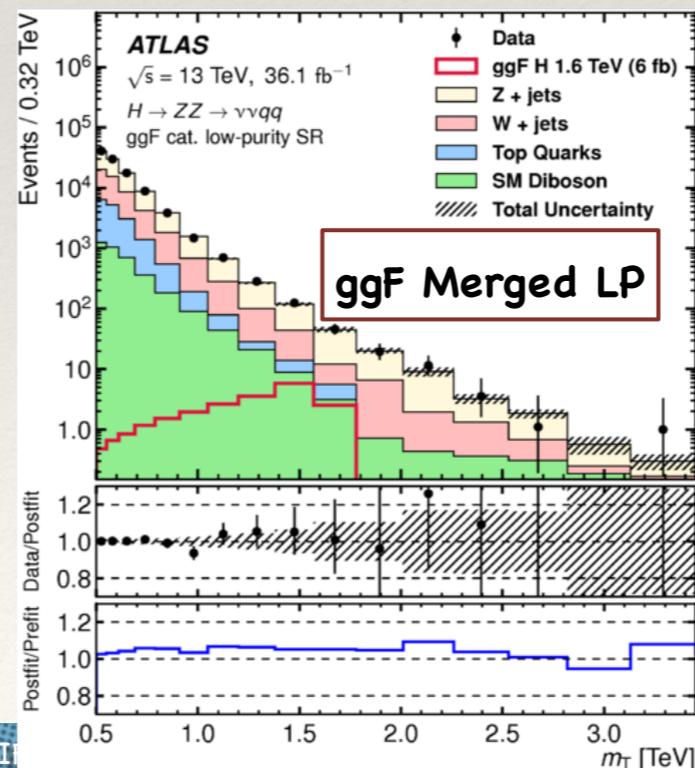
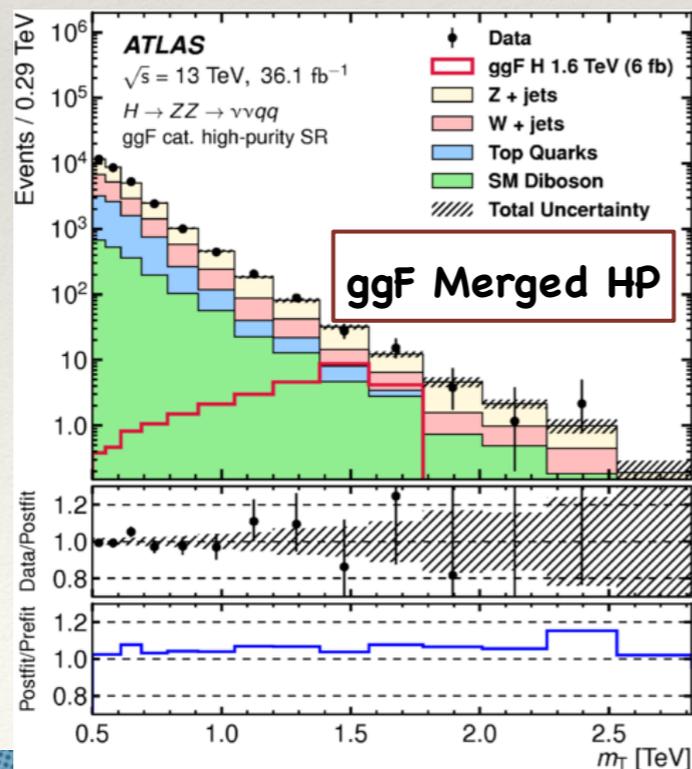
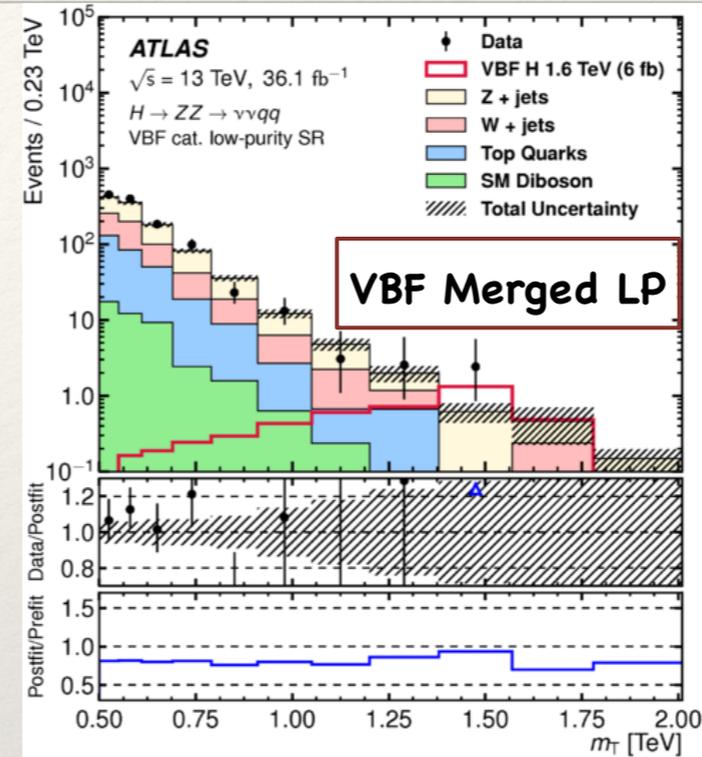
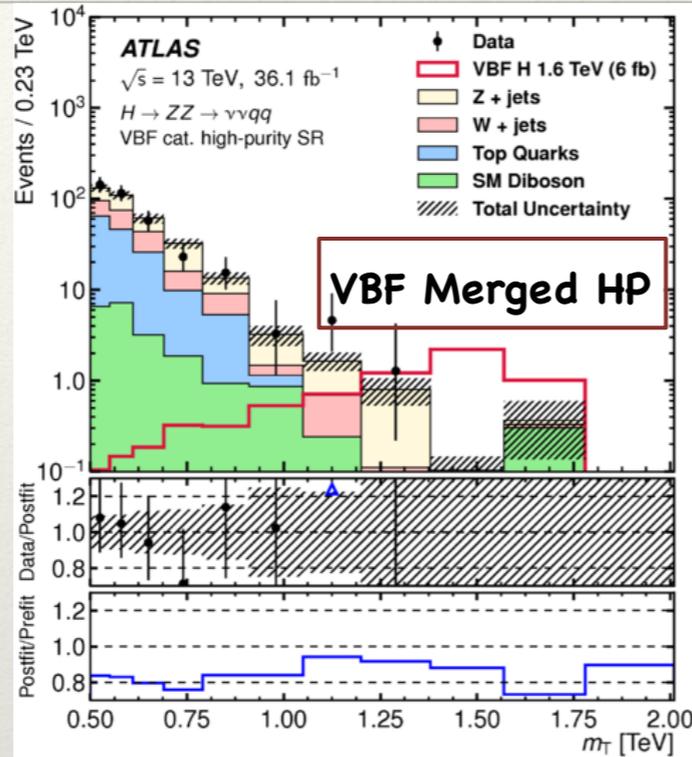
❖ **Spin 2:** 9 regioni (8 ggF + 1 TopCR)



Le regioni di segnale - canale $\ell\ell qq$

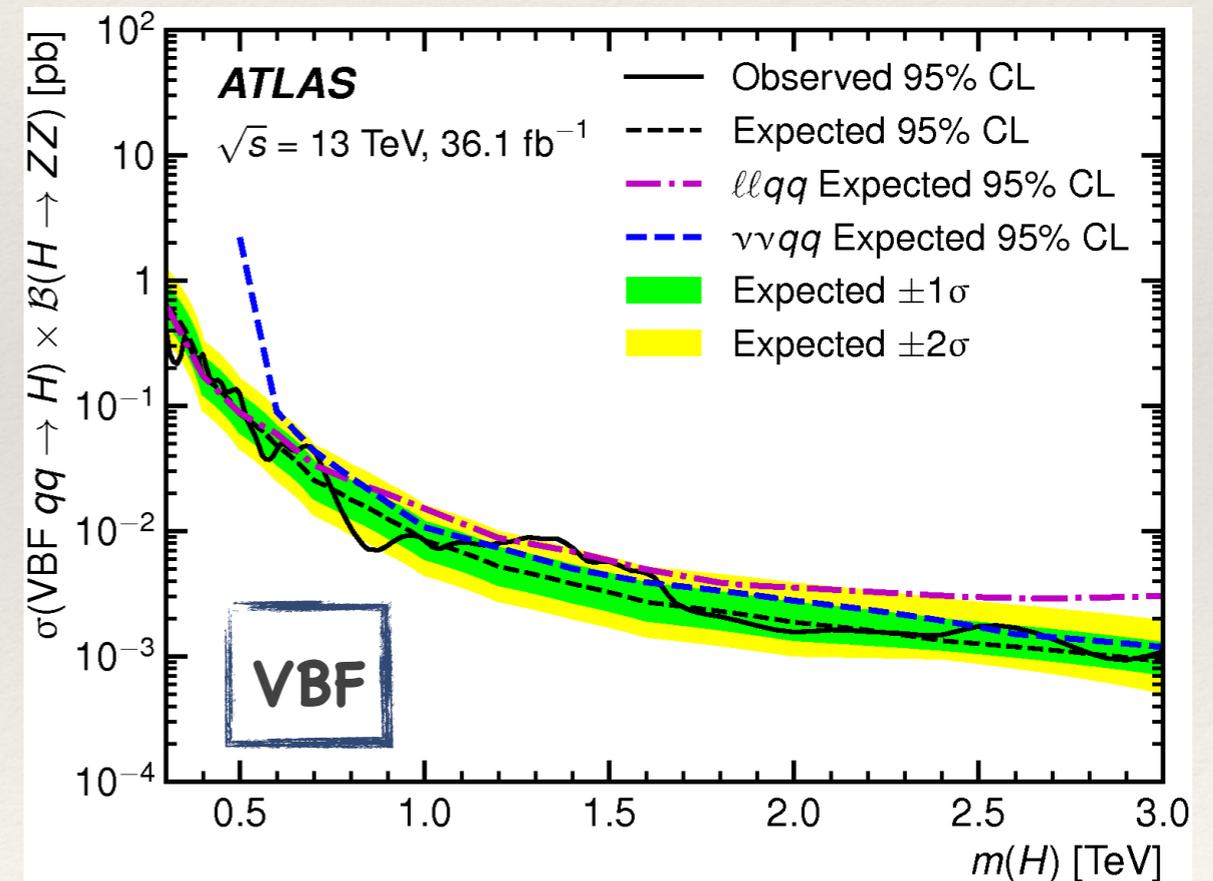
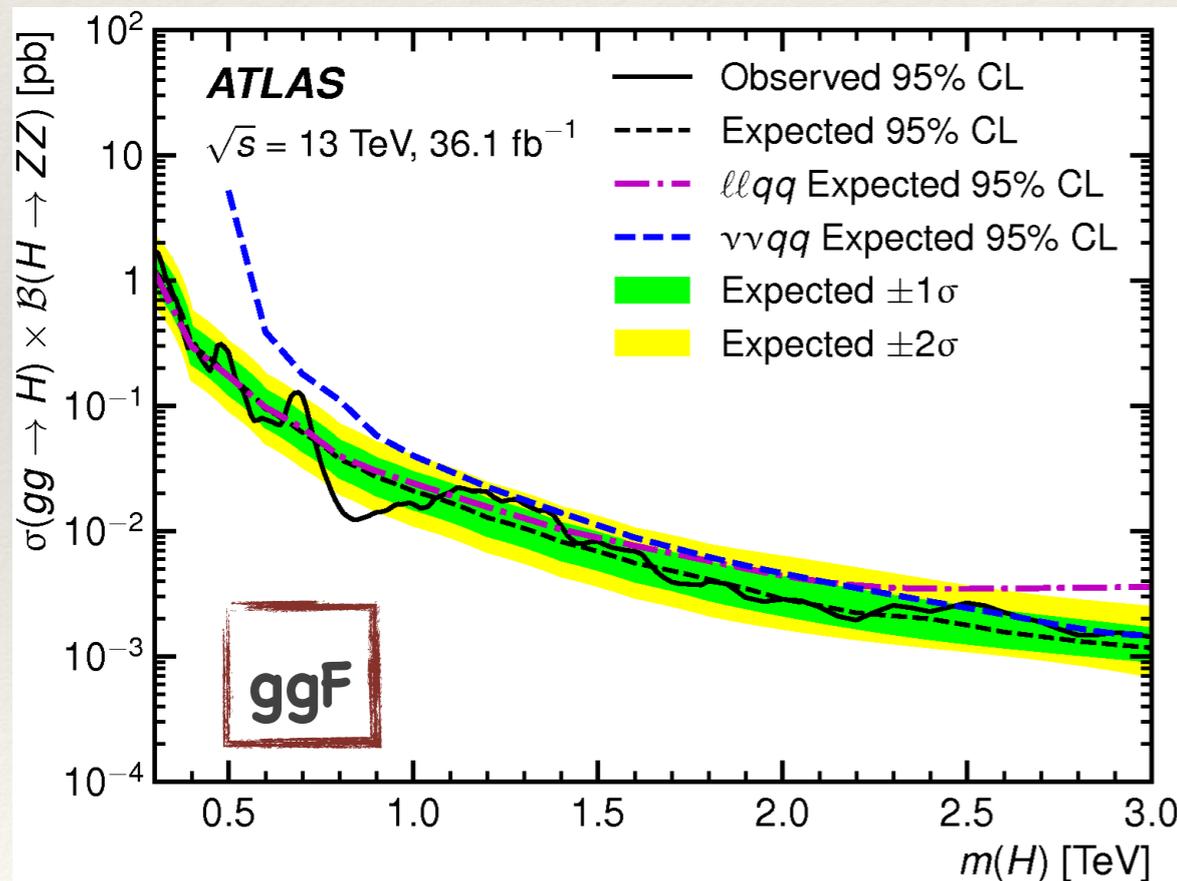


Regioni di segnale - canale $\nu\nu qq$



Limiti di esclusione - Spin 0

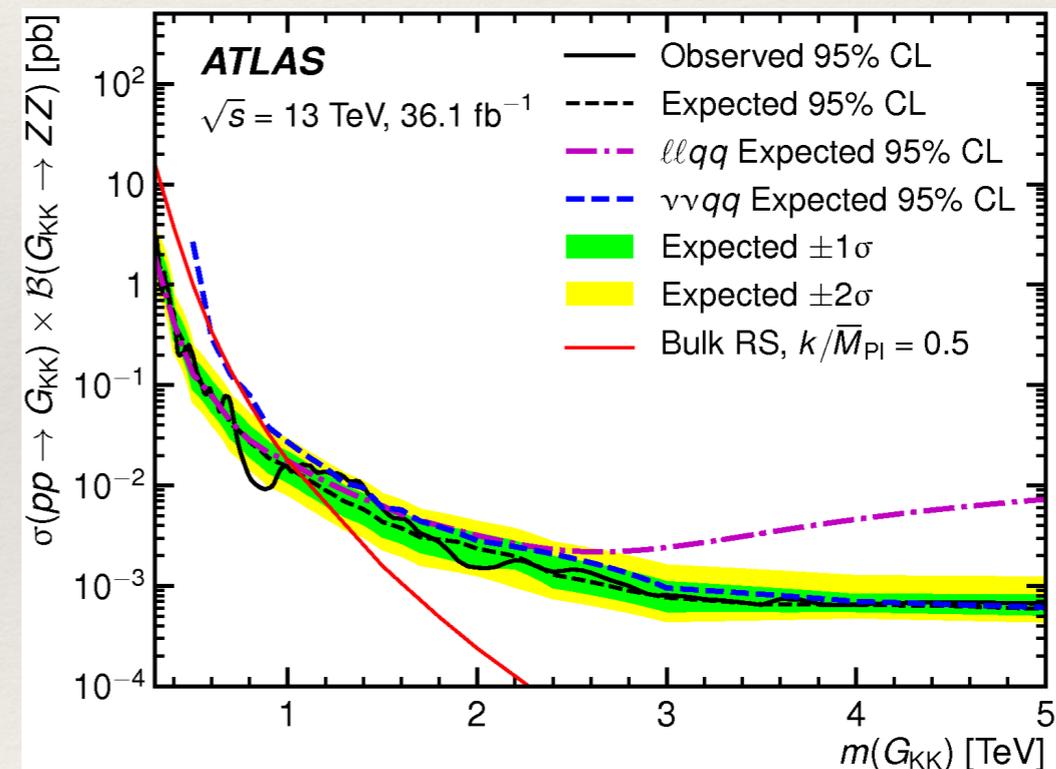
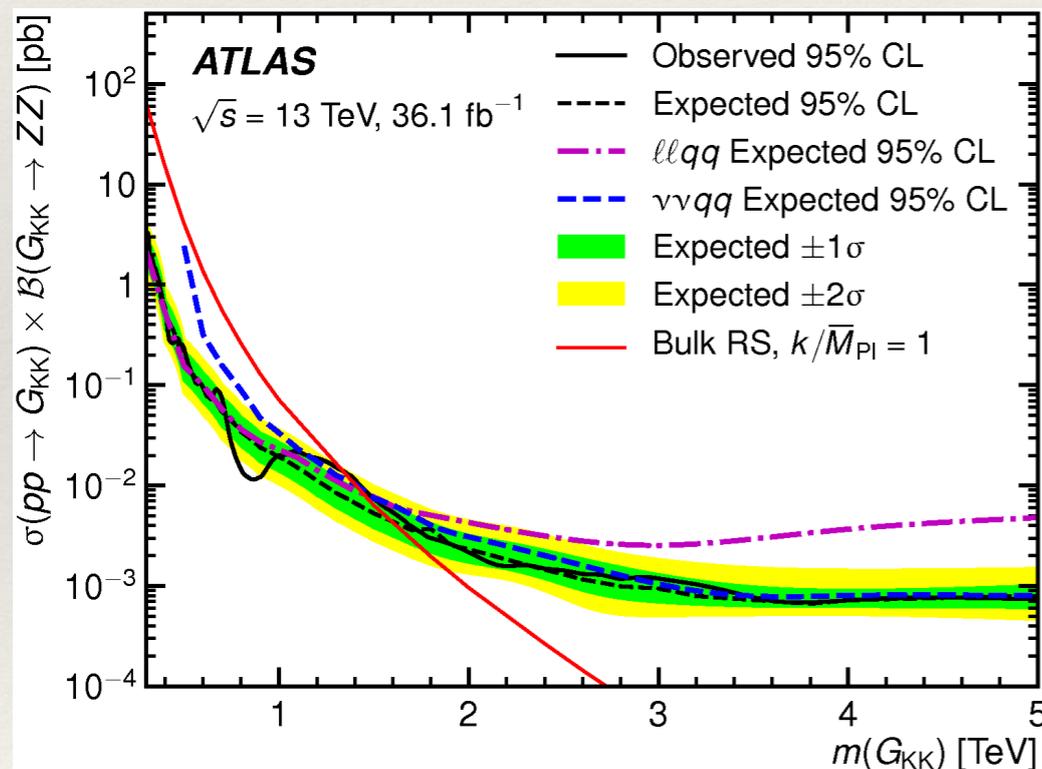
Limiti superiori al 95% CL osservati (linea continua nera) e attesi (linea tratteggiata nera) su $\sigma \times B(H \rightarrow ZZ)$ a $\sqrt{s}=13$ TeV per le produzioni ggF (sinistra) e VBF (destra) di un bosone di Higgs "pesante" in funzione della sua massa, combinando le ricerche $llqq$ e $\nu\nu qq$.



arXiv:1708.09638

Limiti di esclusione - Spin 2

- ❖ Limiti superiori al 95% CL osservati (linea continua nera) e attesi (linea tratteggiata nera) su $\sigma \times B(G_{KK} \rightarrow ZZ)$ a $\sqrt{s}=13$ TeV per la produzione di un gravitone G_{KK} in modelli di Kaluza-Klein con accoppiamenti $k/M_{pl} = 1$ (sinistra) e $k/M_{pl} = 0.5$ (destra) in funzione della massa del gravitone, combinando le ricerche $llqq$ e $\nu\nu qq$.
- ❖ I limiti osservati sono comparati con le predizioni teoriche dei modelli ottenendo limiti di esclusione sulla massa.



❖ **Limiti di esclusione sulla massa:**
 ❖ $k/M_{pl} = 0.5 < 1.0 \text{ TeV}$
 ❖ $k/M_{pl} = 1 < 1.3 \text{ TeV}$

arXiv:1708.09638

Riepilogo delle selezioni per $X \rightarrow ZV \rightarrow l^+l^- qq$

Selection	$ZV \rightarrow llJ$	$ZV \rightarrow lljj$
$Z \rightarrow ll$	Two opposite-flavour leptons with $p_T(E_T) > 7$ GeV leading lepton with $p_T(E_T) > 28$ GeV $83 < m_{ee} < 99$ GeV $85.6 \text{ GeV} - 0.0117_{\text{T}}^{ll} < m_{\mu\mu} < 94.0 \text{ GeV} + 0.0185_{\text{T}}^{ll}$	
Tag-jet selection for VBF category	Two non- b -tagged small- R jets with $\eta_1 \cdot \eta_2 < 0$, $ \Delta\eta_{jj}^{\text{tag}} > 4.7$ and $m_{jj}^{\text{tag}} > 770$ GeV	
Jet requirements	≥ 1 large- R jet with $p_T > 200$ GeV	≥ 2 'signal' jets with $p_T > 30$ GeV $p_T > 60$ GeV for the leading jet no events with > 2 b -tagged jets
Kinematic criteria	$\min(p_T^{ll}, p_T^J) / m_{llJ}$	$\sqrt{(p_T^{ll})^2 + (p_T^{jj})^2} / m_{lljj}$
H	> 0.3	> 0.4
W' or G_{KK}	> 0.35	> 0.5
V boson tagging	p_T -dependent criteria in D_2 and m_J	$70 < m_{jj} < 105$ GeV ($V = Z$) $62 < m_{jj} < 97$ GeV ($V = W$)

$$X \rightarrow ZV \rightarrow l^+l^- qq$$

$V \rightarrow qq$ recon.	Signal regions	H (1 TeV)		Background estimates			Data	
		ggF	VBF	Z +jets	Diboson	Top quarks		Total
VBF category								
Merged	HP	0.42 ± 0.08	5.1 ± 1.0	29.0 ± 2.6	3.8 ± 0.6	1.1 ± 0.4	33.9 ± 2.7	32
	LP	0.33 ± 0.08	3.4 ± 0.4	113 ± 7	8.4 ± 1.2	1.8 ± 0.6	123 ± 7	109
Resolved		0.23 ± 0.05	2.3 ± 0.4	1307 ± 34	60 ± 9	66 ± 7	1433 ± 34	1434
ggF/DY category								
Merged	HP	14.2 ± 1.6	11.0 ± 2.1	1728 ± 34	177 ± 21	20.6 ± 2.2	1926 ± 32	1906
	LP	10.0 ± 0.9	7.5 ± 0.8	6060 ± 60	285 ± 31	69 ± 6	6420 ± 60	6375
Resolved	b -tagged	1.02 ± 0.12	0.62 ± 0.08	1740 ± 40	167 ± 22	908 ± 24	2810 ± 40	2843
	Untagged	3.31 ± 0.34	2.5 ± 0.5	82200 ± 400	2280 ± 250	1500 ± 130	86030 ± 280	85928

arXiv:1708.09638

Riepilogo delle selezioni per $X \rightarrow ZV \rightarrow \nu\nu qq$

$Z \rightarrow \nu\nu$	$E_T^{\text{miss}} > 250 \text{ GeV}$
Multijet removal	$p_T^{\text{miss}} > 50 \text{ GeV}$
	$\Delta\phi(\vec{E}_T^{\text{miss}}, \vec{p}_T^{\text{miss}}) < 1$
	$\min[\Delta\phi(\vec{E}_T^{\text{miss}}, \text{small-}R \text{ jet})] > 0.4$
Tag-jet selection for VBF category	Two non- b -tagged small- R jets with $\eta_1 \cdot \eta_2 < 0$, $ \Delta\eta_{jj}^{\text{tag}} > 4.7$ and $m_{jj}^{\text{tag}} > 630 \text{ GeV}$
Jet requirements	≥ 1 large- R jet with $p_T > 200 \text{ GeV}$
V boson tagging	p_T -dependent criteria on D_2 and m_J

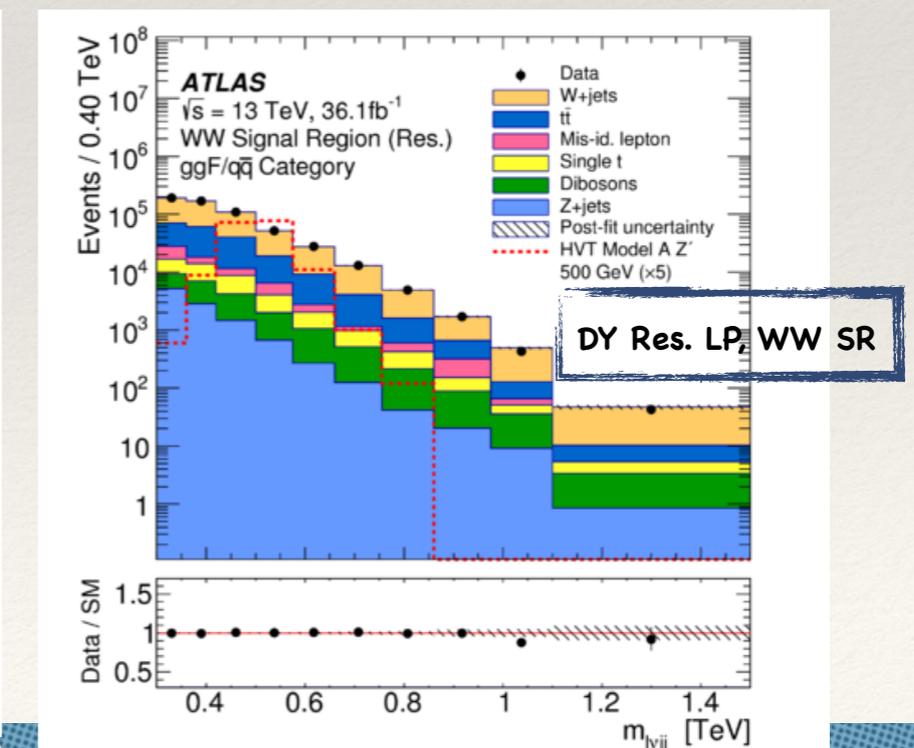
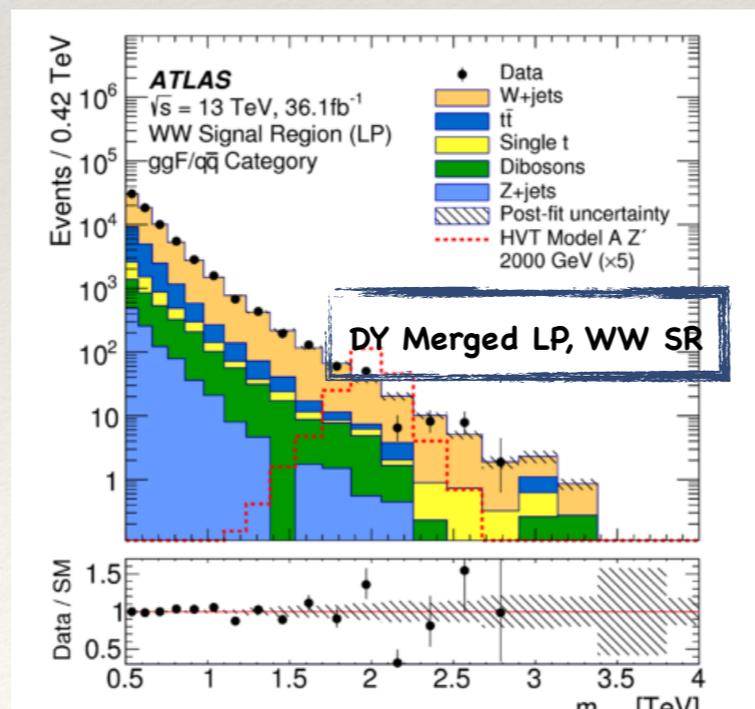
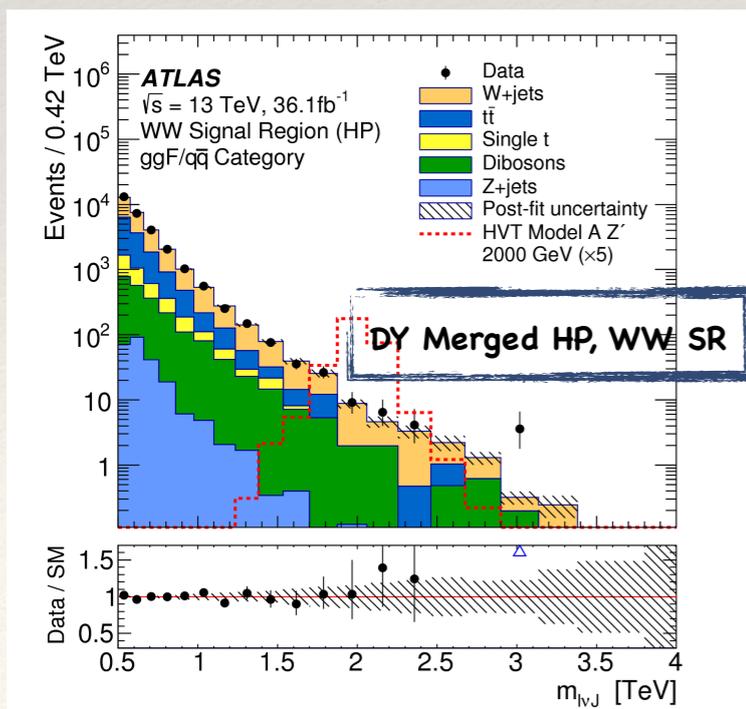
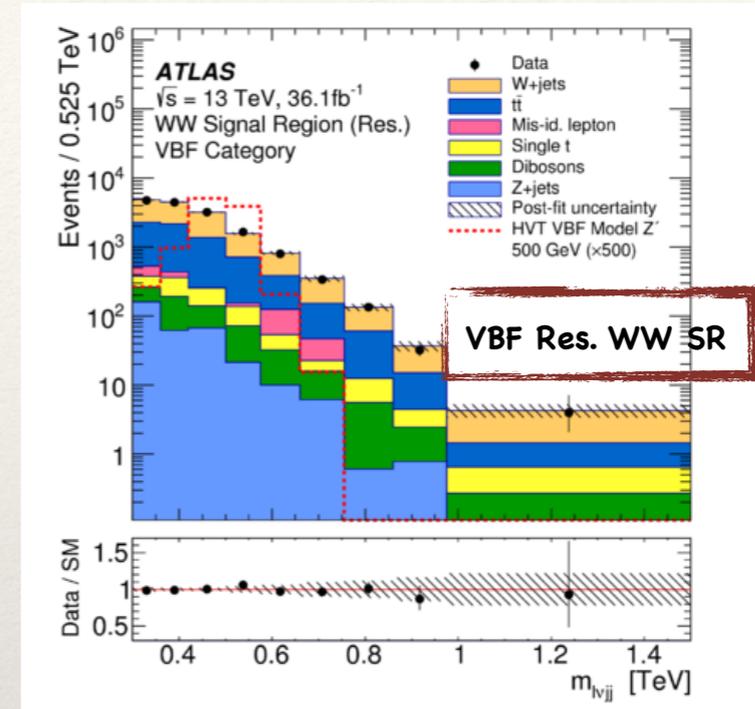
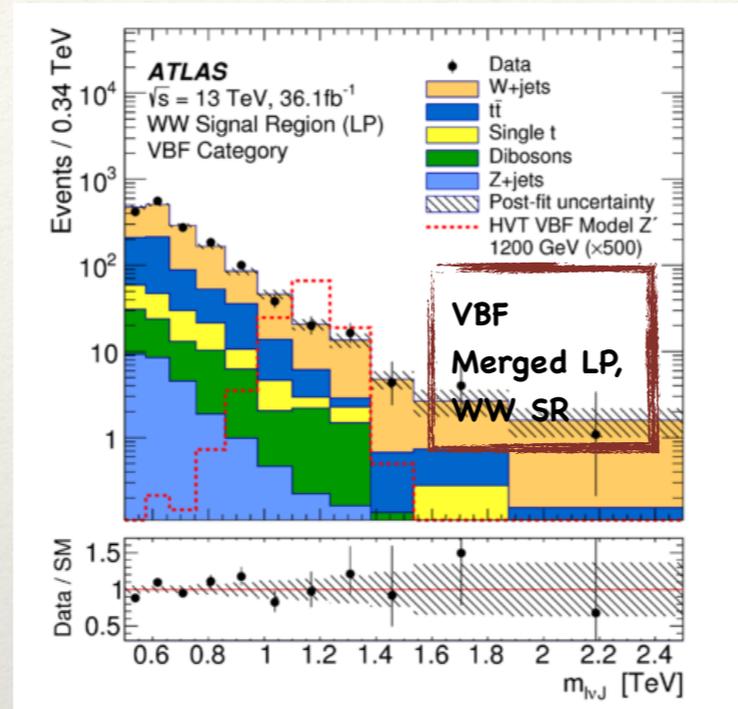
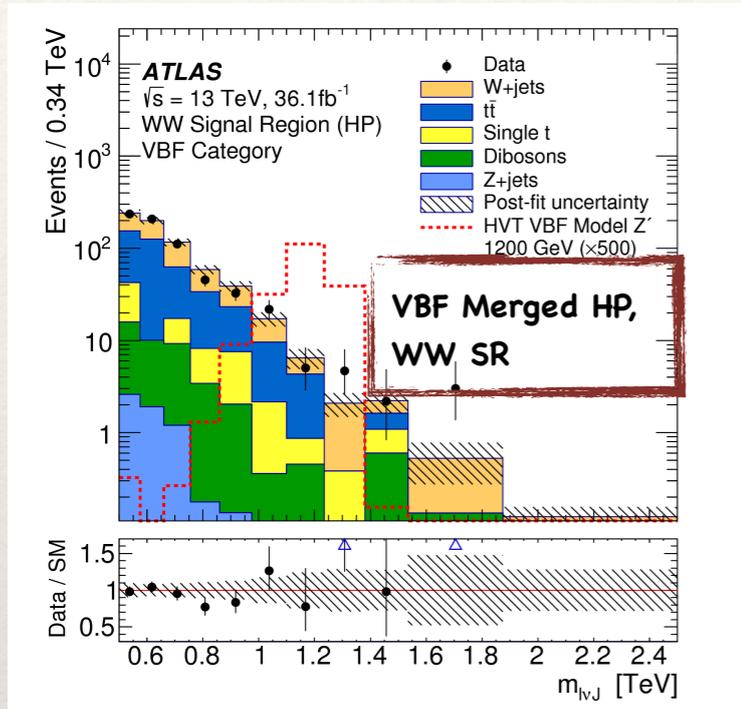
arXiv:1708.09638

$$X \rightarrow ZV \rightarrow \nu\nu qq$$

Signal regions	H (1.6 TeV)		Background estimates				Data	
	ggF	VBF	Z+jets	W+jets	Diboson	Top quarks		Total
	VBF category							
HP	0.49 ± 0.15	4.9 ± 1.1	35.0 ± 3.3	25 ± 4	6.7 ± 1.1	37 ± 4	104 ± 6	105
LP	0.36 ± 0.09	3.2 ± 0.5	137 ± 10	94 ± 13	12.7 ± 2.0	70 ± 8	315 ± 13	335
	ggF category							
HP	15.5 ± 3.3	14.5 ± 3.2	2880 ± 80	1990 ± 100	490 ± 60	1500 ± 90	6870 ± 70	6888
LP	10.6 ± 1.5	9.7 ± 1.4	11160 ± 210	7200 ± 300	830 ± 90	2710 ± 180	21910 ± 140	21936

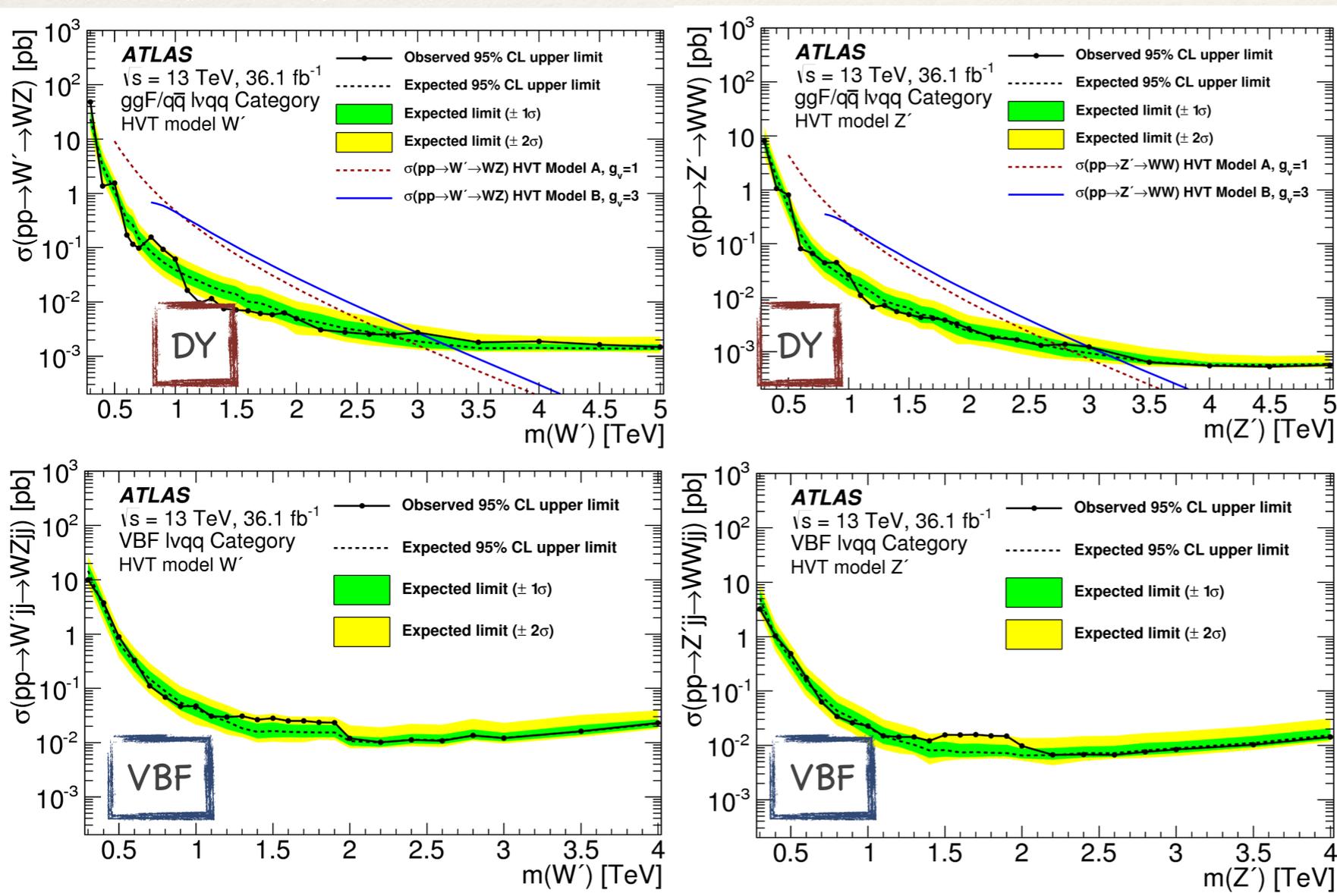
arXiv:1708.09638

Il canale $WV \rightarrow l\nu qq$



Limiti di esclusione - Spin 1

- ❖ Limiti superiori al 95% CL osservati (linea continua nera) e attesi (linea tratteggiata nera) per le produzioni WV DY(sopra) e VBF (sotto) in funzione della massa della risonanza.
- ❖ I limiti osservati sono comparati con le predizioni teoriche dei modelli HVT, ottenendo limiti di esclusione sulla massa.



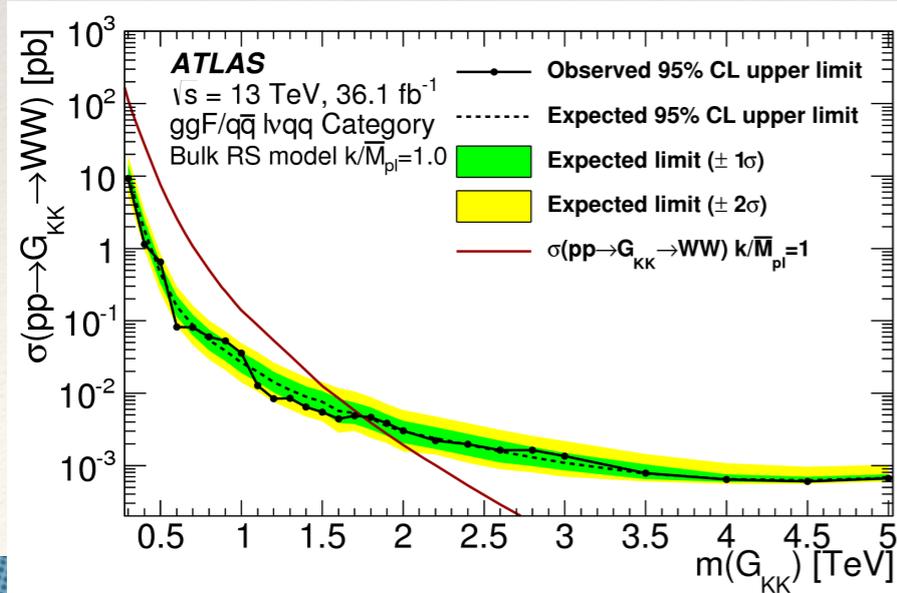
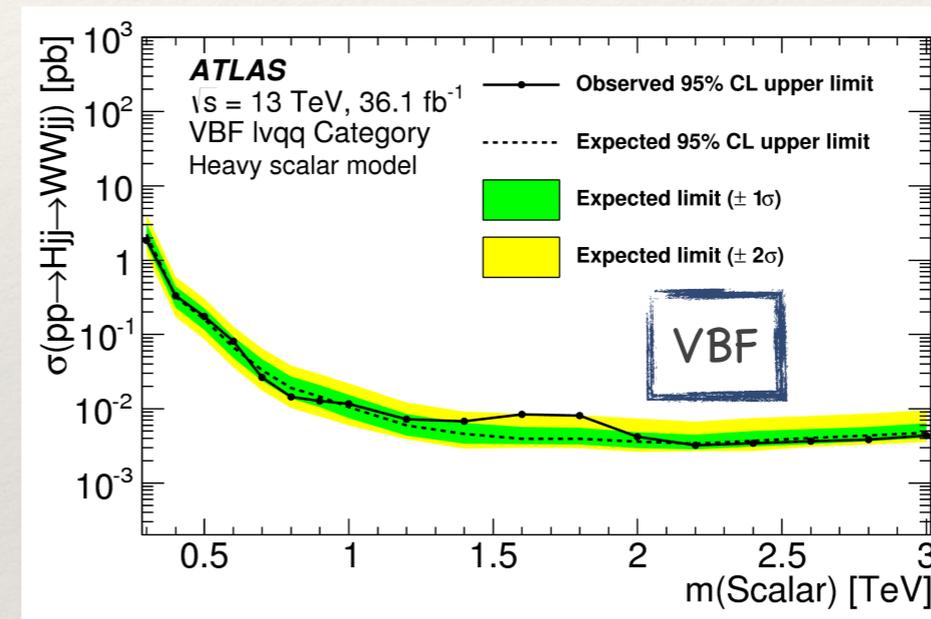
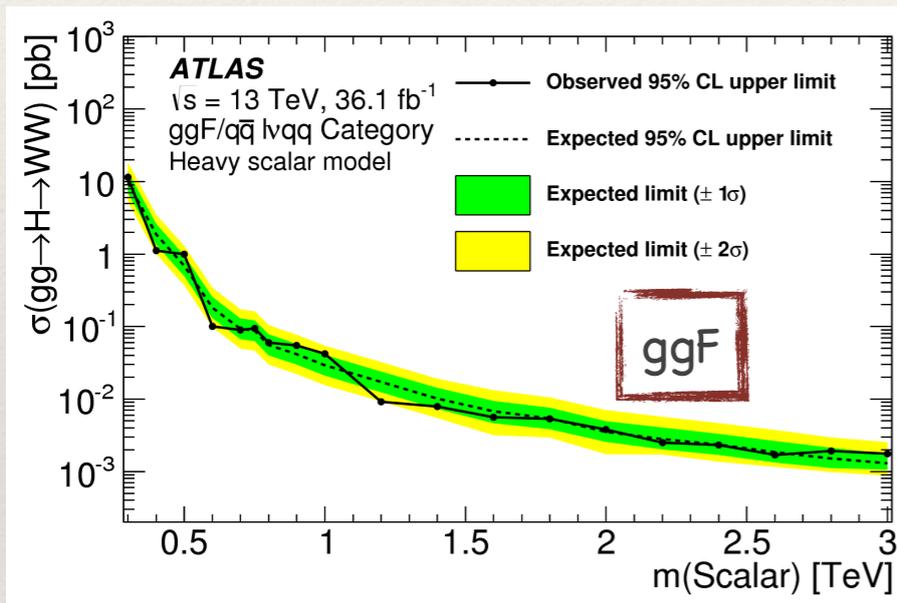
❖ **Limiti di esclusione sulla massa:**

❖ $W' < 2.98 \text{ TeV}$

❖ $Z' < 3.09 \text{ TeV}$

Limiti di esclusione - Spin 0/2

- ❖ Limiti superiori al 95% CL osservati (linea continua nera) e attesi (linea tratteggiata nera) per le produzioni WW ggF (sinistra) e VBF (destra) in funzione della massa della risonanza.
- ❖ I limiti osservati per lo spin2 sono comparati con le predizioni teoriche per un gravitone di Kaluza- Klein ottenendo limiti di esclusione sulla massa.



❖ **Limiti di esclusione sulla massa:**
 ❖ $G_{KK} < 1.76 \text{ TeV}$

arXiv:1710.07235

Riepilogo delle selezioni per $X \rightarrow ZV \rightarrow l\nu qq$ (merged)

Selection		SR: HP (LP)	W CR: HP (LP)	$t\bar{t}$ CR: HP (LP)
Production category	VBF	$m^{\text{tag}}(j, j) > 770 \text{ GeV}$ and $ \Delta\eta^{\text{tag}}(j, j) > 4.7$		
	ggF/q \bar{q}	Fails VBF selection		
$W \rightarrow l\nu$ selection	Num. of signal leptons	1		
	Num. of veto leptons	0		
	$E_{\text{T}}^{\text{miss}}$	$> 100 \text{ GeV}$		
	$p_{\text{T}}(l\nu)$	$> 200 \text{ GeV}$		
	$E_{\text{T}}^{\text{miss}}/p_{\text{T}}(e\nu)$	> 0.2		
$V \rightarrow J$ selection	Num. of large- R jets	≥ 1		
	D_2 eff. working point (%)	Pass 50 (80)	Pass 50 (80)	Pass 50 (80)
	Mass window Eff. working point (%)	Pass 50 (80)	Fail 80 (80)	Pass 50 (80)
Topology criteria	$p_{\text{T}}(l\nu)/m(WV)$ $p_{\text{T}}(J)/m(WV)$	> 0.3 for VBF and > 0.4 for ggF/q \bar{q} category		
Num. of b -tagged jet	excluding b -tagged jets with $\Delta R(J, b) \leq 1.0$	0		≥ 1

arXiv:1710.07235

Riepilogo delle selezioni per $X \rightarrow ZV \rightarrow l\nu qq$ (resolved)

Selection		WW (WZ) SR	W CR	$t\bar{t}$ CR
Production category	VBF	$m^{\text{tag}}(j, j) > 770 \text{ GeV}$ and $ \Delta\eta^{\text{tag}}(j, j) > 4.7$		
	ggF/q \bar{q}	Fails VBF selection		
$W \rightarrow l\nu$ selection	Num. of signal leptons	1		
	Num. of veto leptons	0		
	E_T^{miss}	$> 60 \text{ GeV}$		
	$p_T(l\nu)$	$> 75 \text{ GeV}$		
	$E_T^{\text{miss}}/p_T(e\nu)$	> 0.2		
$V \rightarrow jj$ selection	Num. of small- R jets	≥ 2		
	$p_T(j_1)$	$> 60 \text{ GeV}$		
	$p_T(j_2)$	$> 45 \text{ GeV}$		
	$m(jj)$ [GeV]	[66, 94] ([82, 106])	< 66 or [106, 200]	[66, 106]
Topology criteria	$\Delta\phi(j, \ell)$	> 1.0		
	$\Delta\phi(j, E_T^{\text{miss}})$	> 1.0		
	$\Delta\phi(j, j)$	< 1.5		
	$\Delta\phi(\ell, E_T^{\text{miss}})$	< 1.5		
	$p_T(l\nu)/m(WV)$ $p_T(jj)/m(WV)$	> 0.3 for VBF and 0.35 for ggF/q \bar{q} category		
Num. of b -tagged jets	$j_1 \equiv b$ or $j_2 \equiv b$ where $V \rightarrow j_1 j_2$	$\leq 1(2)$	≤ 1	> 0 (for jets other than j_1 or j_2)
	$j_1 \neq b$ and $j_2 \neq b$ where $V \rightarrow j_1 j_2$	0		

arXiv:1710.07235

Riepilogo delle selezioni per $X \rightarrow VV \rightarrow JJ$

Signal region	<p>Veto non-$qqqq$ channels: No e or μ with $p_T > 25$ GeV and $\eta < 2.5$ $E_T^{\text{miss}} < 250$ GeV</p> <p>Event preselection: ≥ 2 large-R jets with $\eta < 2.0$ and $m_J > 50$ GeV $p_{T1} > 450$ GeV and $p_{T2} > 200$ GeV $m_{JJ} > 1.1$ TeV</p> <p>Topology and boson tag: $\Delta y = y_1 - y_2 < 1.2$ $A = (p_{T1} - p_{T2}) / (p_{T1} + p_{T2}) < 0.15$ Boson tag with D_2 variable and W or Z mass window $n_{\text{trk}} < 30$</p>
Low-low sideband validation region	Same selection as for signal region, except: $50 < m_1 < 60 - 72$ GeV and $50 < m_2 < 60 - 72$ GeV
High-high sideband validation region	Same selection as for signal region, except: $106 - 110 < m_1 < 140$ GeV and $106 - 110 < m_2 < 140$ GeV
Low-high sideband validation region	Same selection as for signal region, except: $50 < m_1 < 60 - 72$ GeV and $106 - 110 < m_2 < 140$ GeV, or $106 - 110 < m_1 < 140$ GeV and $50 < m_2 < 60 - 72$ GeV
V +jets validation region	<p>Veto non-$qqqq$ channels (see above)</p> <p>V+jets selection: ≥ 2 large-R jets with $\eta < 2.0$ $p_{T1} > 600$ GeV and $p_{T2} > 200$ GeV Boson tag with D_2 variable only applied to leading jet</p>

arXiv:1710.07235

TABLE I. Cross sections for production of heavy resonances of different masses in HVT models A and B via the Drell-Yan process, in HVT model C via vector-boson fusion, and in the bulk RS model via gluon-gluon fusion and the Drell-Yan process.

m (TeV)	HVT model A		HVT model B		HVT model C		Bulk RS $\sigma(G_{KK})$ (fb)
	$\sigma(W')$ (fb)	$\sigma(Z')$ (fb)	$\sigma(W')$ (fb)	$\sigma(Z')$ (fb)	$\sigma(W')$ (fb)	$\sigma(Z')$ (fb)	
1.0	2.20×10^4	1.12×10^4	987	510	1.30	0.888	583
2.6	219	100	14.0	6.44	4.78×10^{-3}	3.14×10^{-3}	1.41
4.0	9.49	4.37	0.626	0.288	1.27×10^{-4}	7.92×10^{-5}	3.25×10^{-2}

HVT Model A

$$\text{Br}(W' \rightarrow WZ) \sim \text{Br}(Z' \rightarrow WW) \sim 2\%$$

HVT Model B

$$\text{Br}(W' \rightarrow WZ) \sim \text{Br}(Z' \rightarrow WW) \sim 50\%$$

Bulk RS

$$\text{Br}(G_{KK} \rightarrow WW) \sim 20\%$$

$$\text{Br}(G_{KK} \rightarrow ZZ) \sim 10\%$$

Muon	lvqq	llqq (leading)	Loose
ID	Medium	Loose	
pT	>27GeV	>28GeV	>7GeV
$ \eta $	<2.5		
$d0/\sigma(d0)$	<3		
$z0\sin\theta$	<0.5mm		
Isolation	FixedCutTight TrackOnly	LooseTrackOnly	

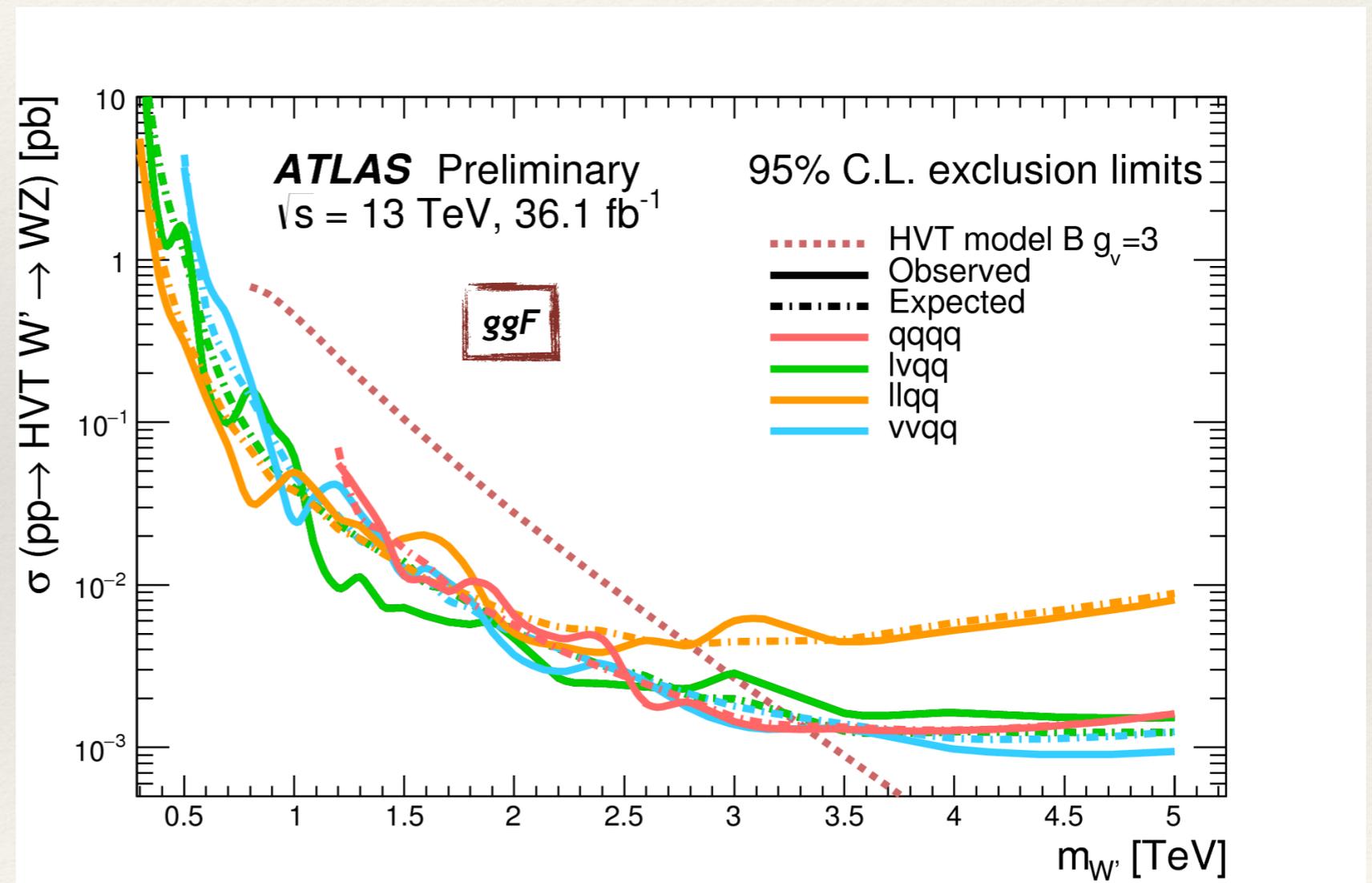
Electron	lvqq	llqq (leading)	Loose
ID	TightLH	LooseLH	
pT	>27GeV	>28GeV	>7GeV
$ \eta $	<2.47 (crack-veto)	<2.47	
$d0/\sigma(d0)$	<5		
$z0\sin\theta$	<0.5mm		
Isolation	FixedCutTight	LooseTrackOnly	

Combinazione limiti di esclusione W'

- Combinazione dei risultati per i 4 canali compatibili con il processo HVT $W' \rightarrow WZ$ ($g_V=3$)

- $VV \rightarrow qqqq$
- $WZ \rightarrow l\nu qq$
- $ZW \rightarrow llqq$
- $ZW \rightarrow \nu\nu qq$

Canale	Intervallo di massa escluso
qqqq	1.20 - 3.30 TeV
$l\nu qq$	< 2.98 TeV
llqq	< 2.80 TeV
$\nu\nu qq$	< 3.30 TeV



<https://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/PHYSICS/CombinedSummaryPlots/EXOTICS/>

Analisi Vh semileptonica

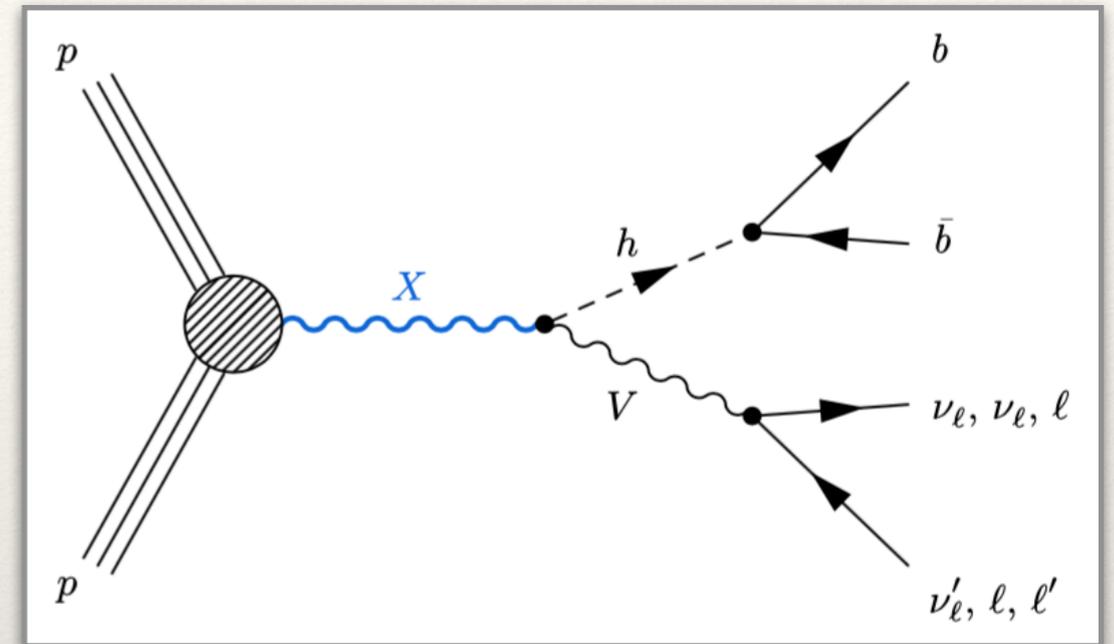
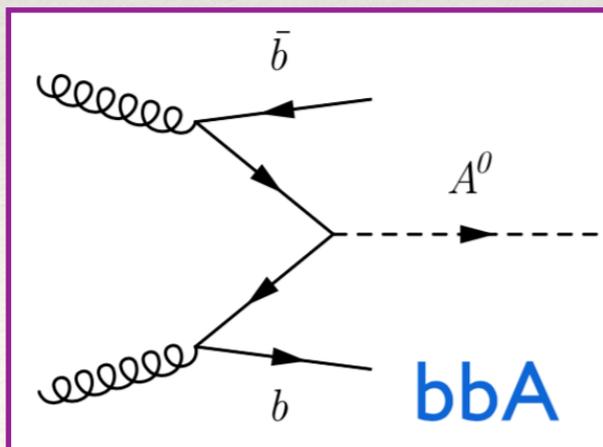
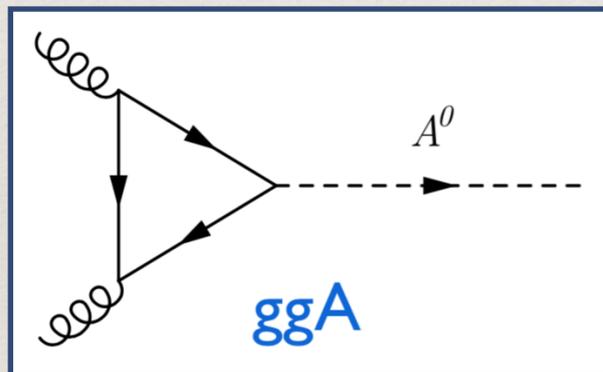
Ricerca di risonanze massive che decadono in Zh o Wh

♦ $h \rightarrow bb$ identificato come SM Higgs, =125 GeV

Modelli di segnale:

Spin-0: Bosone di Higgs pseudoscalare A

Spin-1: HVT Z', W'



Panoramica:

❖ 3 canali (0/1/2 leptoni):

✓ Ricerca di bosoni Z' e A nei canali: $Zh \rightarrow \nu\nu bb$ e $Zh \rightarrow l+l-bb$

✓ Ricerca del bosone W' nel canale: $Wh \rightarrow l\nu bb$

❖ Regimi resolved e merged

❖ **Categorizzazione in base al b-tagging:** per le ricerche del bosone A sono definite apposite SRs per meccanismo di produzione bbA sia nel regime merged che resolved.

Analisi Vh semilep - strategia di analisi

Lepton requirement:

- ❖ **0 lep:** veto per leptoni (loose) e $E_T^{\text{miss}} > 150$ GeV;
- ❖ **1 lep:** 1 leptone (muone medium/elettrone tight) e $E_T^{\text{miss}} > 100(80)$ GeV e taglio su $p_T(l\nu)$ crescente in funzione della massa della risonanza;
- ❖ **2 lep:** 2 leptoni dello stesso sapore (loose) nella finestra di massa del bosone Z e con $p_T > 27$ GeV

Jets requirement:

- merged regime:** Selezione di un merged jet composto da almeno un 1 b-tagged sub-jet e con massa invariante compatibile con un bosone di Higgs h.
- resolved regime:** Selezione di due resolved jets (almeno 1 b-jets) con massa invariante compatibile con un bosone di Higgs h.

Regioni b-tagged: 1-btag, 2-btag, più b-tag jets utilizzate nei canali 0/2 leptoni per definire regioni di segnale sensibili al meccanismo di produzione bbA.

Categorizzazione VBF - DY per segnali HVT



Lavoro in corso in vista della pubblicazione con tutta la statistica del Run-2

Resolved Selection

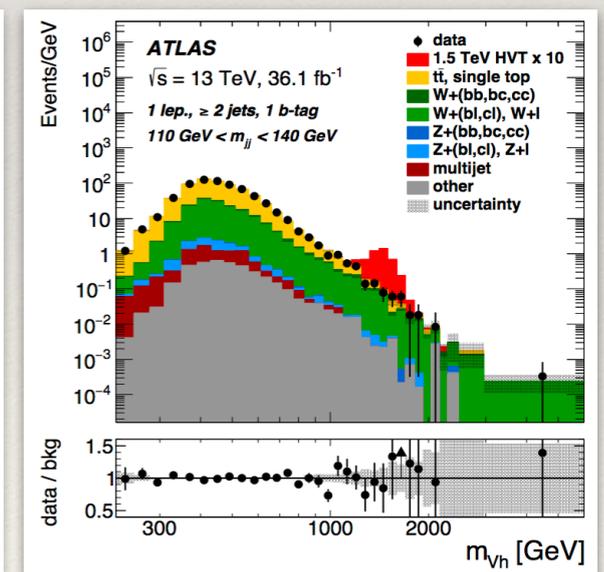
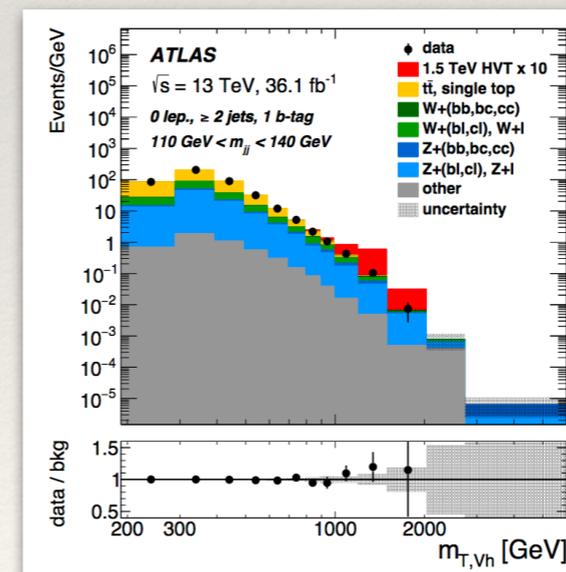
Merged Selection

CRs

Discriminante finale:

Olep: massa trasversa ($m_{T,VH}$)

1 lep/2lep: m_{VH}



Categ. 1-btag resolved