

Studio dei processi di produzione del bosone di Higgs nell'esperimento ATLAS di LHC

Relatori:

Prof. Vincenzo Canale

Dott. Francesco Conventi

Candidato:

Nicola de Biase

Matricola N85000845

Tesi di laurea triennale in Fisica
A.A. 2017/2018

Outline

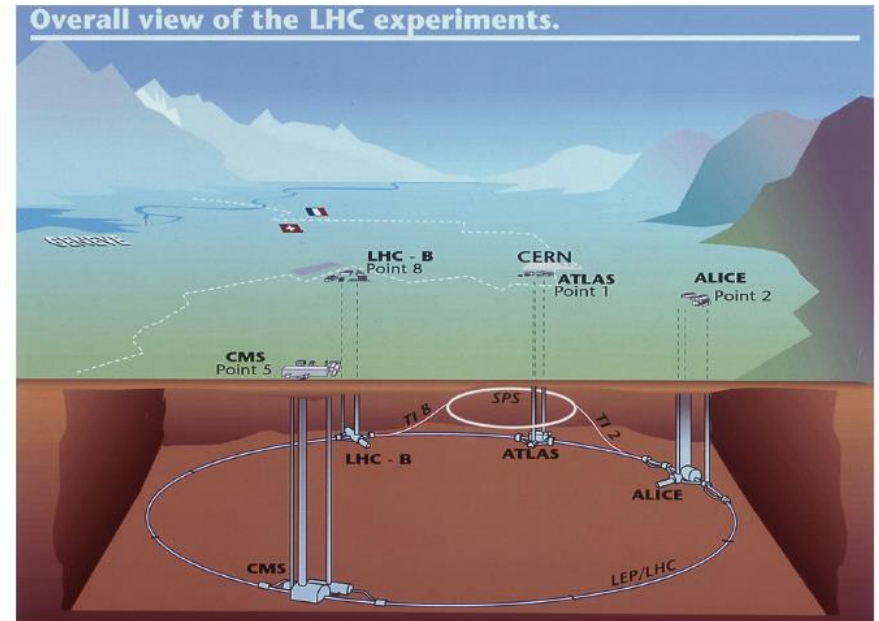
- LHC
- ATLAS
- Ricerca del Bosone di Higgs

- Introduzione dei processi di produzione del bosone di Higgs
- Metodo per la discriminazione dei processi di produzione dell'Higgs basato su tagli unidimensionali e bidimensionali

- Metodo multivariato per la discriminazione dei processi di produzione dell'Higgs
- Applicazione ai dati raccolti nel 2015/2016 e previsioni sui dati raccolti nel 2017/2018

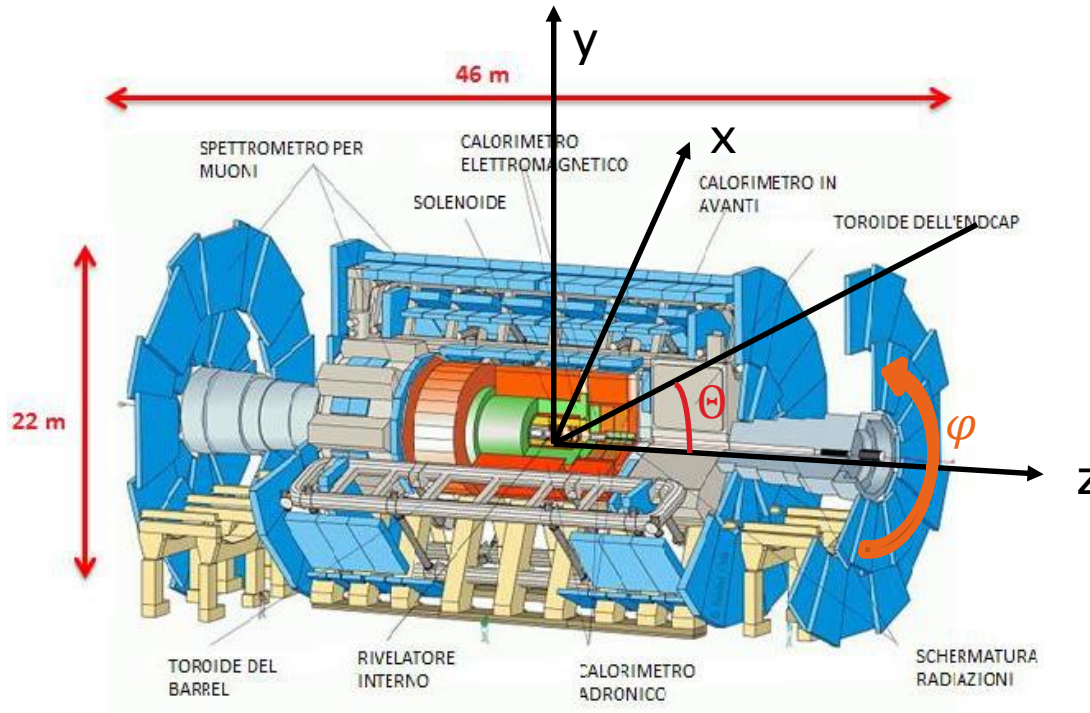
LHC: Large Hadron Collider

- 27 km di circonferenza
- Profondità media di 100 m
- Accelerazione di 2 fasci di protoni su traiettoria circolare, mediante magneti e cavità a radiofrequenze
- Fasci di protoni divisi in bunch
- Collisioni p-p



Caratteristiche	RUN-I (2011-2012)	RUN-II (2015-2018)
Energia nel CM	$7 \div 8 \text{ TeV}$	13 TeV
Luminosità istantanea	$10^{32 \div 33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$21.4 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Luminosità integrata	$5.5 - 22.8 \text{ fb}^{-1}$	147 fb^{-1}

Esperimento ATLAS



Parti dell'apparato:

- Rivelatore interno (ID)
- Calorimetro Elettromagnetico
- Calorimetro Adronico
- Spettrometro per muoni
- Sistema magnetico
- Sistema di Trigger
- Sistema di acquisizione dati

Pseudorapidità:

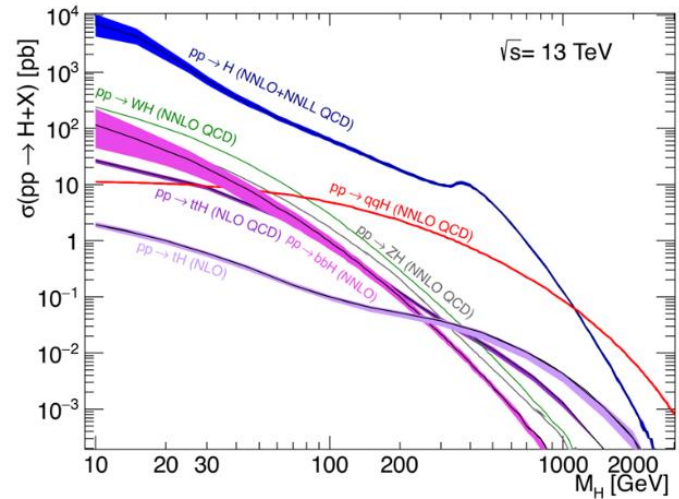
$$\eta = -\ln\left(\tan\frac{\vartheta}{2}\right)$$

- Barrel region ($|\eta| < 1.05$): regione interna, più vicina al punto di collisione
- Endcap region ($1.05 < |\eta| < 2.7$): regione laterale

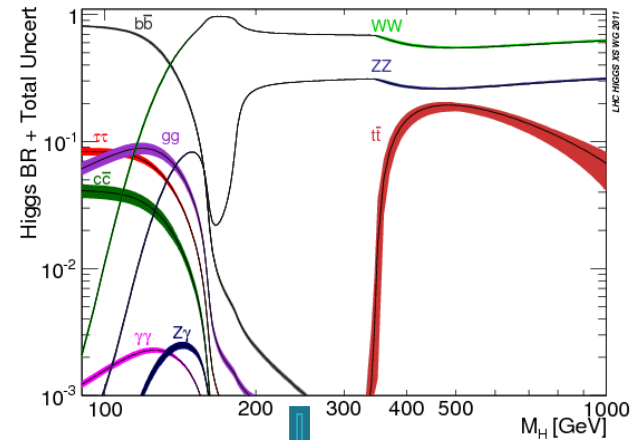
Ricerca del bosone di Higgs

Processi di produzione possibili a LHC:

- gluon-gluon Fusion (ggF)
- Vector Boson Fusion (VBF)
- W/Z Bremsstrahlung
- $t\bar{t}$ fusion

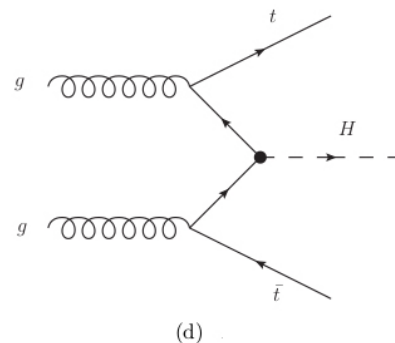
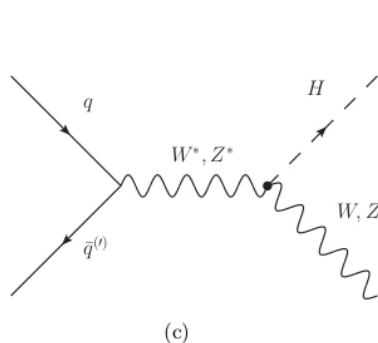
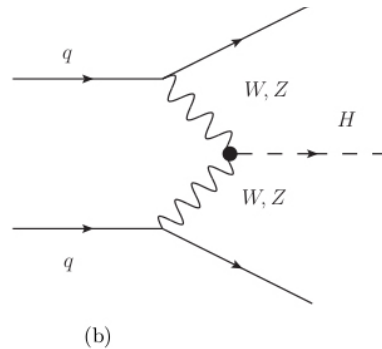
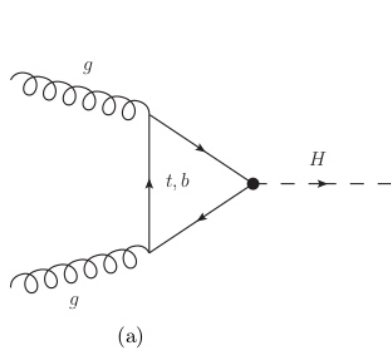


Canali di decadimento



Sono semplici da studiare grazie al buon rapporto segnale-fondo:

- $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$
- $H \rightarrow \gamma\gamma$
- $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$

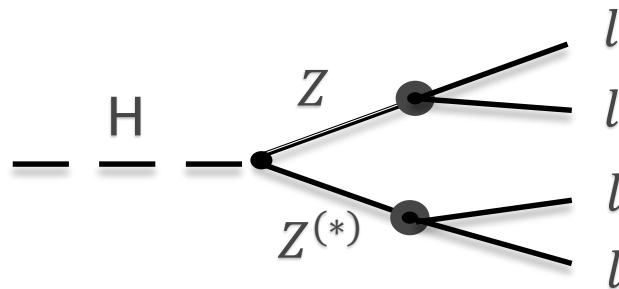


Canale $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

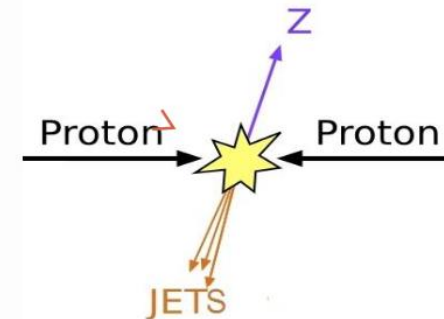
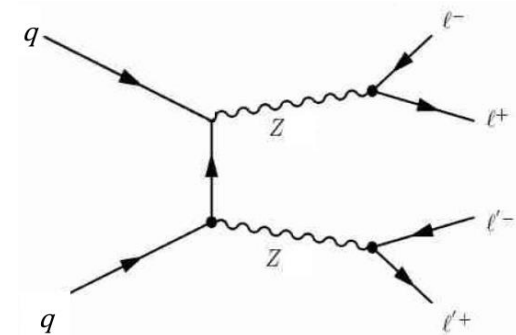
Denominato «Golden Channel»: buona ricostruzione dei leptoni, buon rapporto segnale/fondo, assenza di energia mancante.

Stati finali:

- $\mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$
- $\mu^+ \mu^- e^+ e^-$
- $e^+ e^- \mu^+ \mu^-$
- $e^+ e^- e^+ e^-$



- Z reale
- $Z^{(*)}$ virtuale

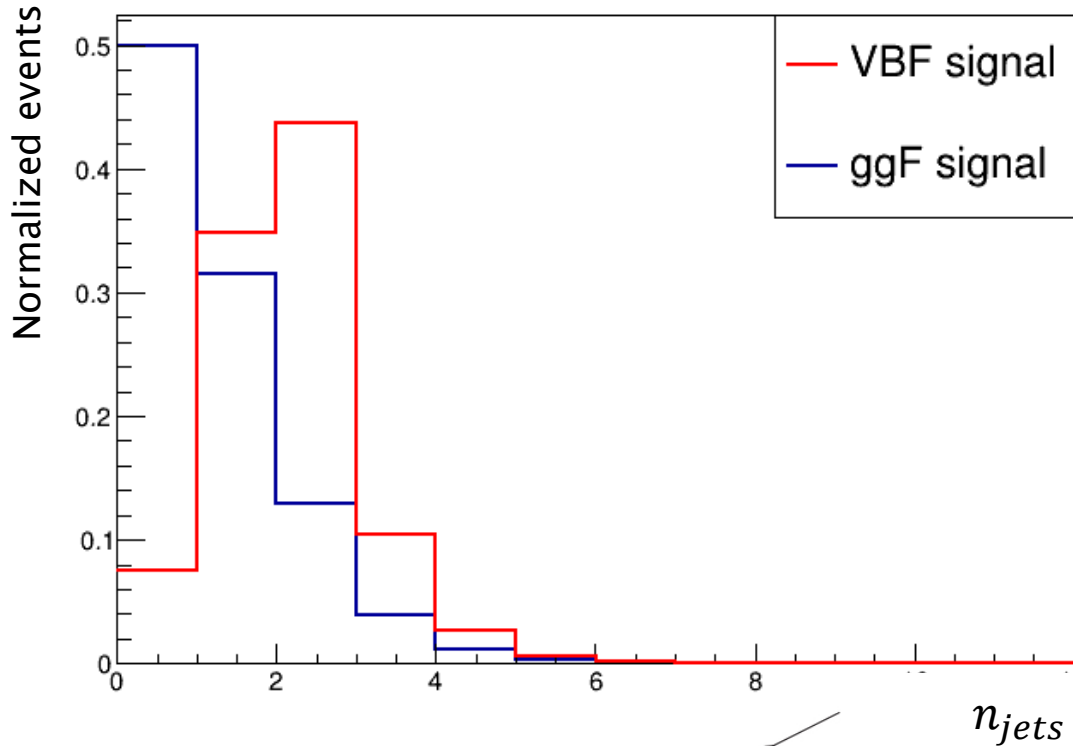


Fondi sperimentali:

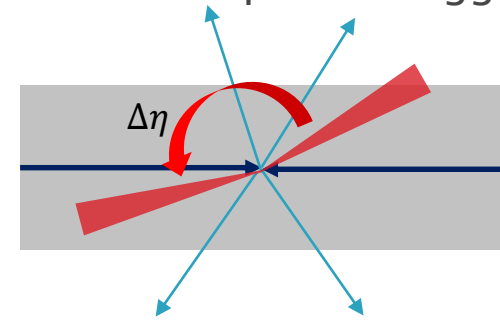
- ZZ: è detto «fondo irriducibile» in quanto presenta lo stesso stato finale con 4 leptoni
- Z+jets: è dovuto a errori di ricostruzione dei jet e non presenta lo stesso stato finale in 4 leptoni, pertanto è detto «fondo riducibile»

Processo di produzione VBF

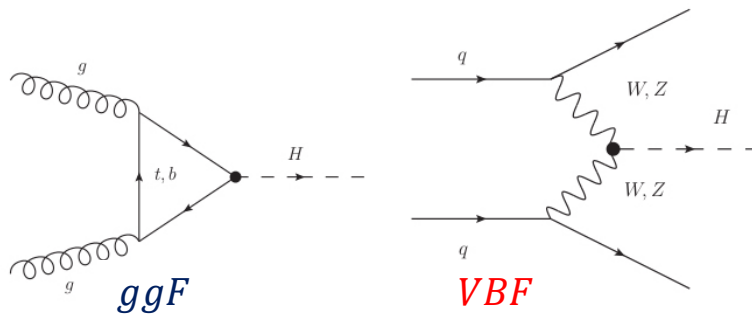
Nel processo VBF due quark irradiano ognuno un bosone W/Z e dunque adronizzano formando due jet. I bosoni *fondono* producendo un Higgs.



Per il processo VBF, è molto probabile la presenza di almeno 2 jet nello stato finale, a differenza del processo ggF.

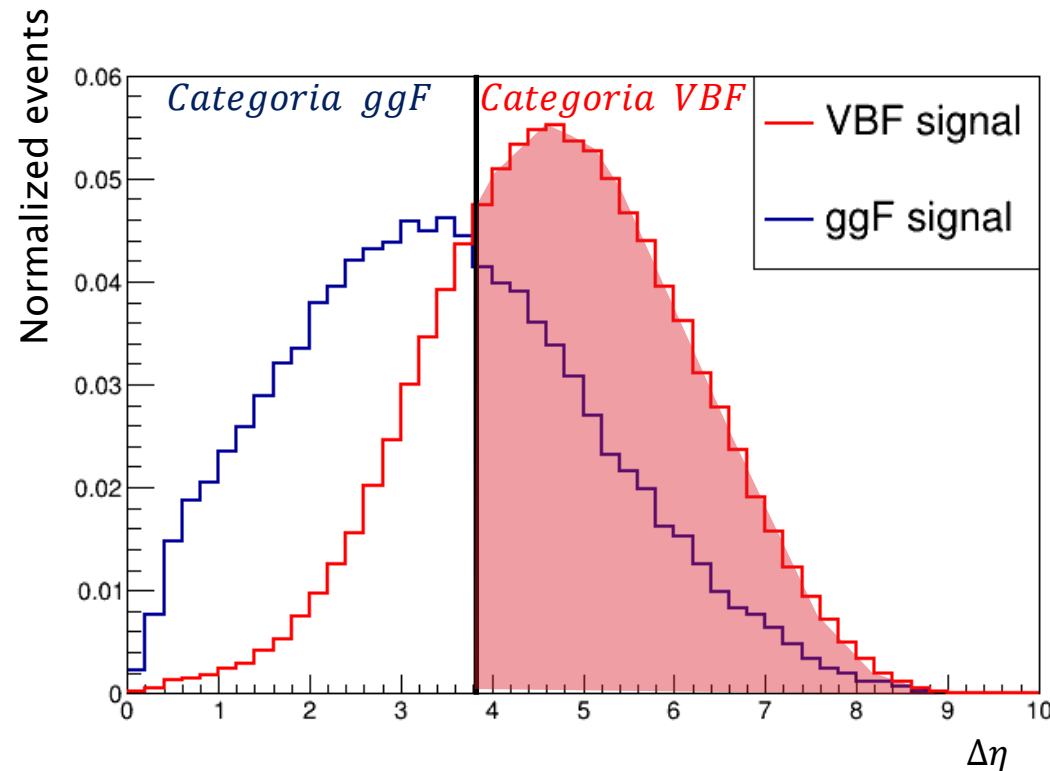


Nell'85% degli eventi VBF con almeno 2 jet nello stato finale, esiste una coppia di jet con coordinate η di segno opposto. Per maggior purezza nella selezione VBF, si studiano solo questi eventi.



Selezione basata su tagli 1D

La differenza in pseudorapidità ($\Delta\eta$) tra i jet della coppia con massa invariante più alta è una variabile discriminante tra i processi VBF e ggF



Applico un taglio (*cut*) sulla variabile $\Delta\eta$:

- $\Delta\eta > cut \Rightarrow$ *Categoria VBF*
- $\Delta\eta < cut \Rightarrow$ *Categoria ggF*

Per stabilire la posizione del taglio, definisco delle efficienze:

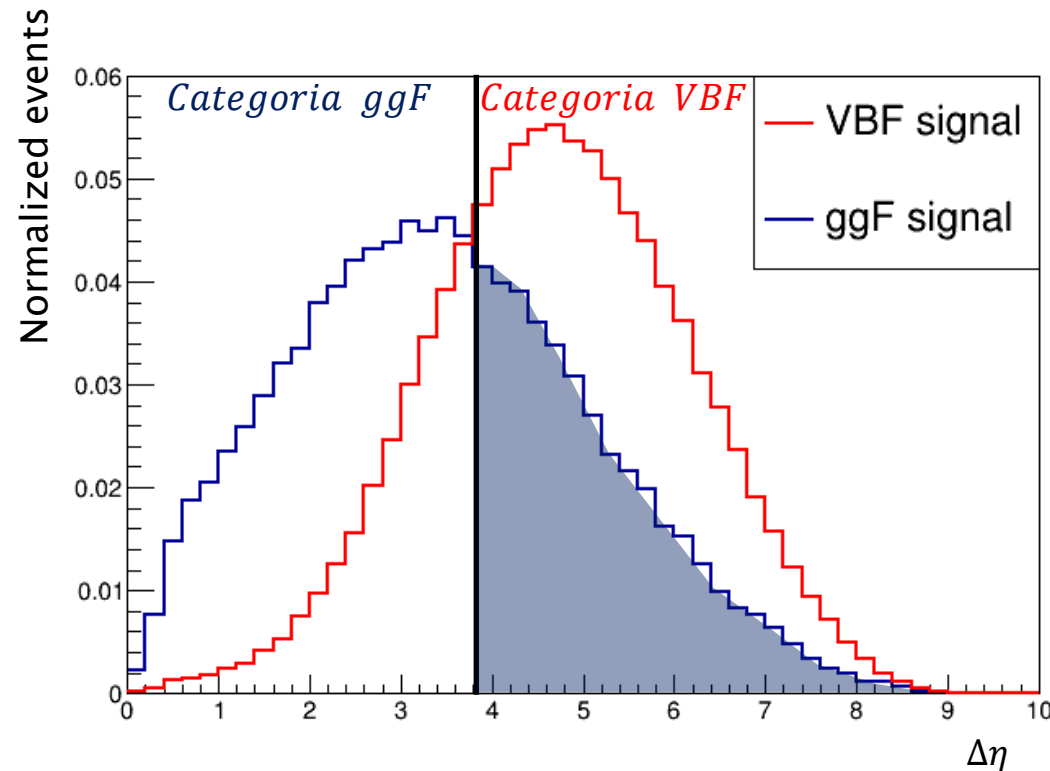
- $\varepsilon_{VBF} = \frac{N_{VBF}(\Delta\eta > cut)}{N_{VBF}} = \frac{N_{VBF}(Categoria VBF)}{N_{VBF}}$
- $\varepsilon_{ggF} = \frac{N_{ggF}(\Delta\eta > cut)}{N_{ggF}} = \frac{N_{ggF}(Categoria VBF)}{N_{ggF}}$

La posizione ottimale del taglio si ottiene per ε_{VBF} prossimo a 1 e ε_{ggF} prossimo a 0. Ciò si può ottenere massimizzando lo stimatore:

$$\Sigma = \varepsilon_{VBF}(1 - \varepsilon_{ggF})$$

Selezione basata su tagli 1D

La differenza in pseudorapidità ($\Delta\eta$) tra i jet della coppia con massa invariante più alta è una variabile discriminante tra i processi VBF e ggF



Applico un taglio (*cut*) sulla variabile $\Delta\eta$:

- $\Delta\eta > cut \Rightarrow$ *Categoria VBF*
- $\Delta\eta < cut \Rightarrow$ *Categoria ggF*

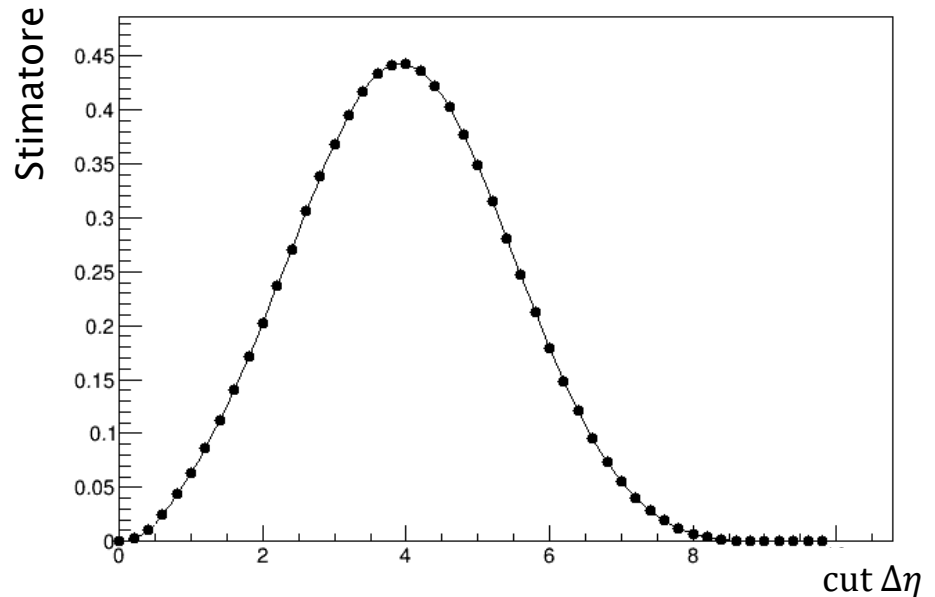
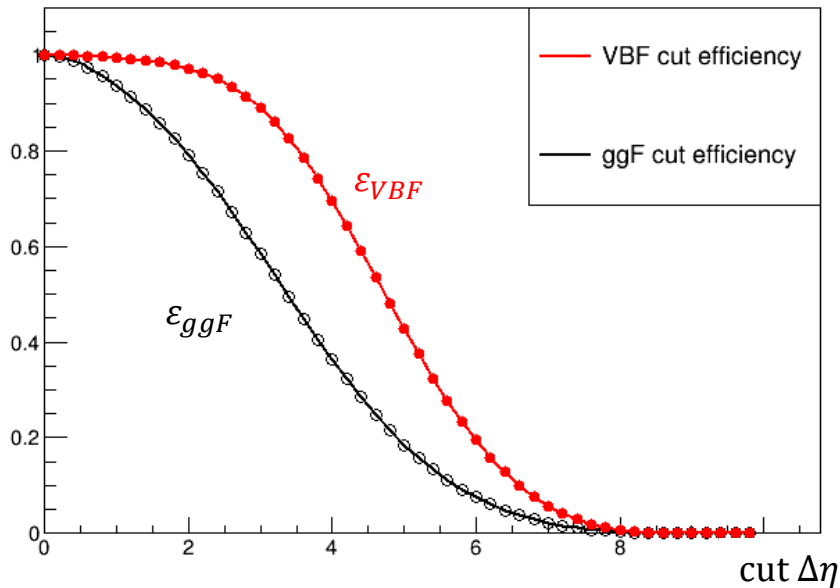
Per stabilire la posizione del taglio, definisco delle efficienze:

- $\varepsilon_{VBF} = \frac{N_{VBF}(\Delta\eta > cut)}{N_{VBF}} = \frac{N_{VBF}(Categoria VBF)}{N_{VBF}}$
- $\varepsilon_{ggF} = \frac{N_{ggF}(\Delta\eta > cut)}{N_{ggF}} = \frac{N_{ggF}(Categoria VBF)}{N_{ggF}}$

La posizione ottimale del taglio si ottiene per ε_{VBF} prossimo a 1 e ε_{ggF} prossimo a 0. Ciò si può ottenere massimizzando lo stimatore:

$$\Sigma = \varepsilon_{VBF}(1 - \varepsilon_{ggF})$$

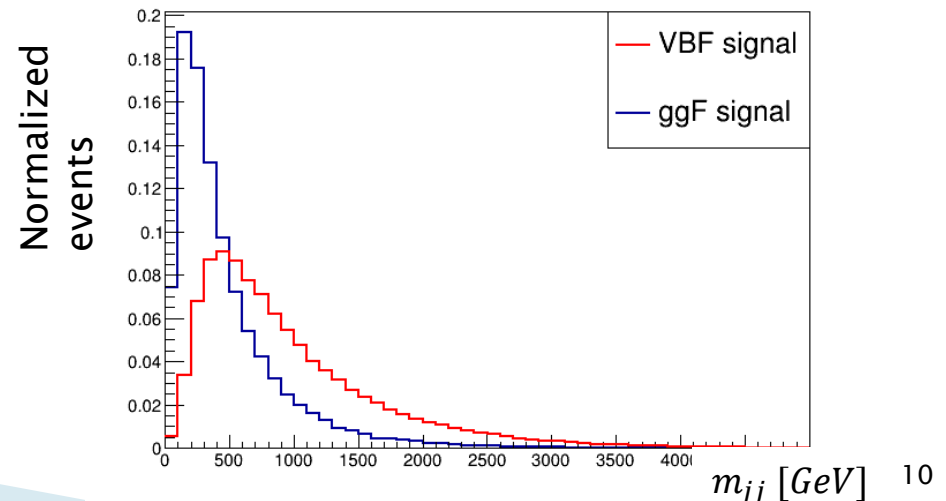
Selezione basata su tagli 1D



Il valore ottimale del taglio, ottenuto massimizzando Σ è 4. Si ottengono le seguenti efficienze e contaminazioni:

Truth Monte Carlo		
Category	ggF	VBF
ggF	0.64	0.31
VBF	0.36	0.69

Altra variabile discriminante: massa invariante della coppia di jet con massa invariante più alta (m_{jj})



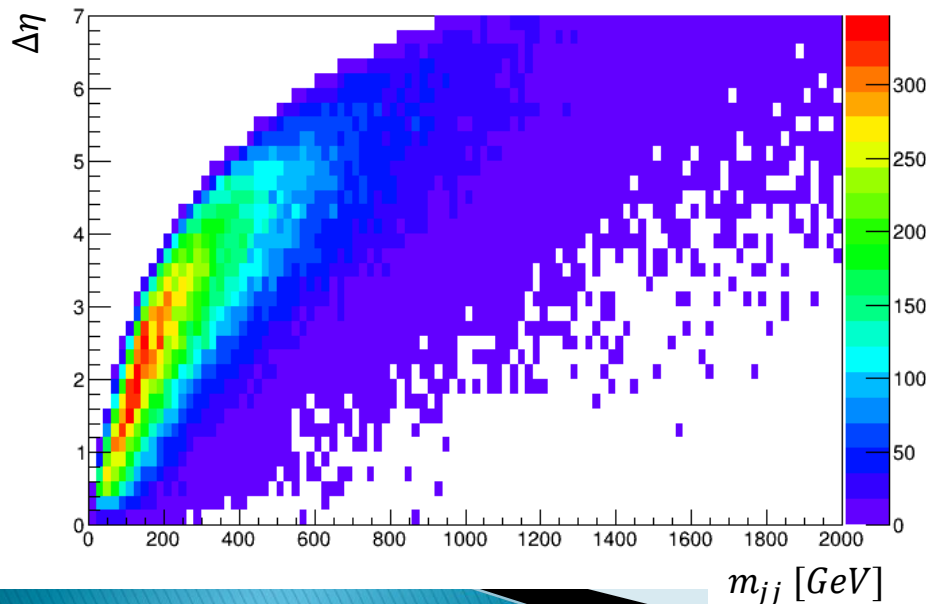
Selezione basata su tagli 2D

Avendo verificato che le variabili $\Delta\eta$ e m_{jj} sono discriminanti, si effettua una categorizzazione dei due processi VBF e ggF basata su tagli bidimensionali su tali variabili:

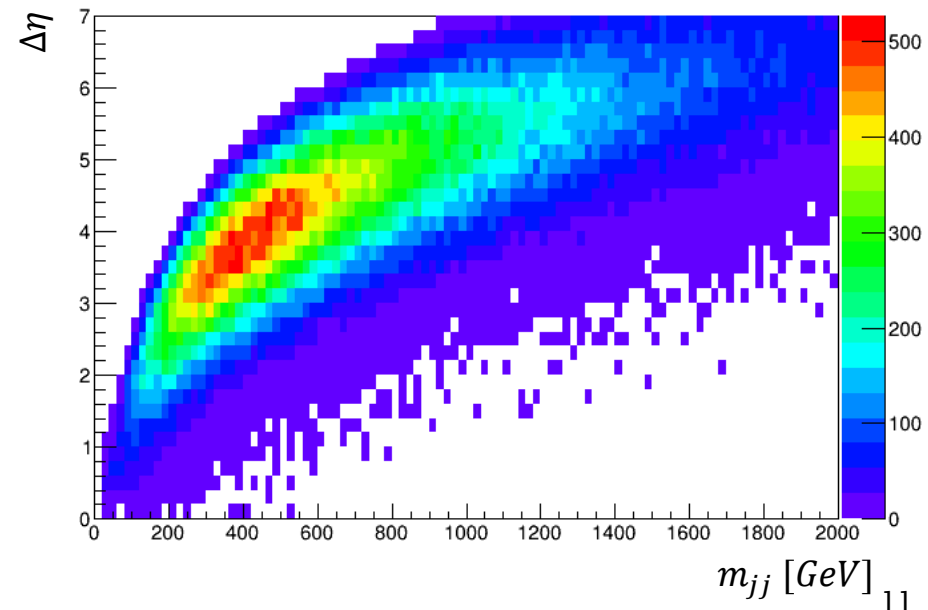
- $\Delta\eta > cut_{\Delta\eta}$ e $m_{jj} > cut_{m_{jj}} \Rightarrow$ Categoria VBF
- $\Delta\eta < cut_{\Delta\eta}$ e $m_{jj} < cut_{m_{jj}} \Rightarrow$ Categoria ggF

Distribuzioni bidimensionali delle variabili $\Delta\eta$ e m_{jj} :

Processo ggF



Processo VBF

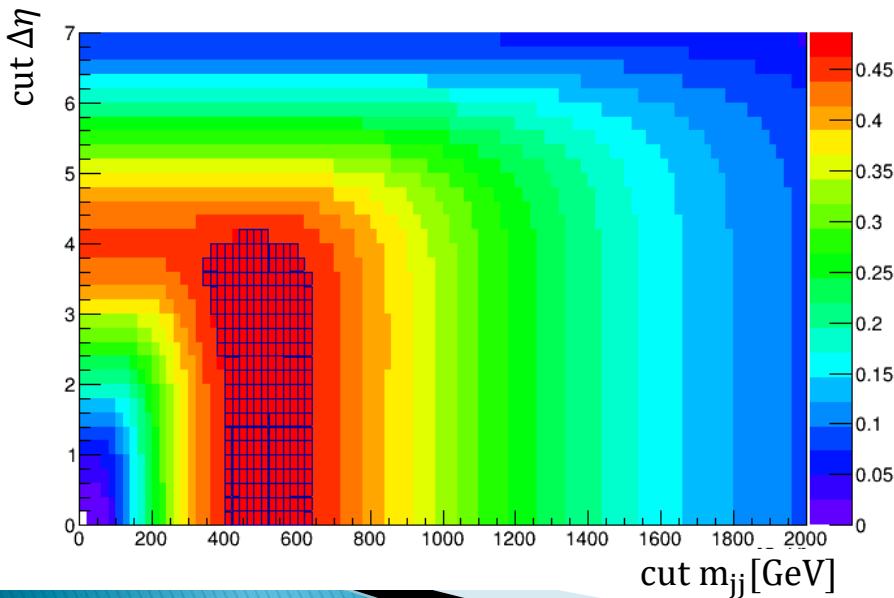


Selezione basata su tagli 2D

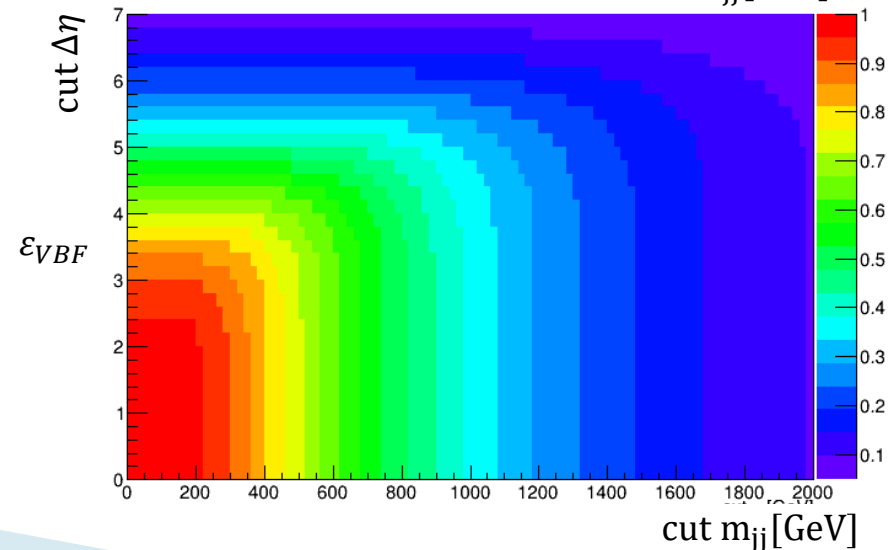
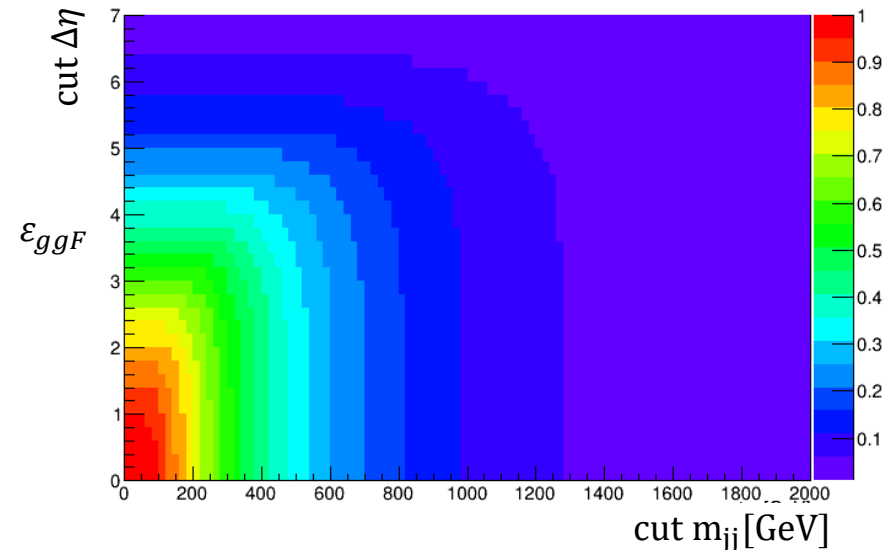
Analogamente a quanto fatto per i tagli unidimensionali, si definiscono delle efficienze e uno stimatore da massimizzare per determinare la posizione ottimale del taglio bidimensionale:

- $\varepsilon_{VBF} = \frac{N_{VBF}(\text{Categoria VBF})}{N_{VBF}}$
 - $\varepsilon_{ggF} = \frac{N_{ggF}(\text{Categoria VBF})}{N_{ggF}}$
- $$\Sigma = \varepsilon_{VBF}(1 - \varepsilon_{ggF})$$

Mappa del valore dello stimatore Σ



Mappe di efficienza del taglio bidimensionale



Selezione basata su tagli 2D

La posizione ottimale del taglio sulla coppia di variabili $(m_{jj}, \Delta\eta)$ risulta essere $(480 \text{ GeV}, 3)$.

Tabella di efficienze e contaminazioni ottenuta effettuando la categorizzazione tramite un taglio bidimensionale sulla coppia $(m_{jj}, \Delta\eta)$:

	<i>Truth Monte Carlo</i>	
Category	ggF	VBF
ggF	0.67	0.28
VBF	0.33	0.72

Miglioramento non significativo rispetto a taglio unidimensionale

Analisi multivariata dei processi VBF/ggF

Variabili discriminanti:

- Numero di jet in ogni evento
- Massa invariante della coppia di jet con massa invariante più alta (m_{jj})
- Impulso trasverso della coppia di jet con massa invariante più alta (pt_{jj})
- Quadrimpulsi dei due jet appartenenti alla coppia con massa invariante più alta
- Distanza angolare in pseudorapidità tra i due jet della coppia con massa invariante più alta ($\Delta\eta$)
- Modulo della coordinata η più alta nella coppia di jet con massa invariante più alta (η_{max})
- Impulso trasverso e coordinata η dei 4 leptoni nello stato finale

Per gestire il grande numero di variabili



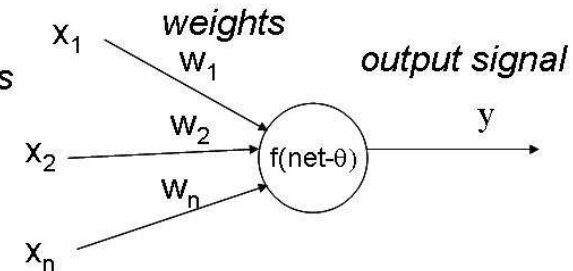
Machine Learning

Un programma apprende dall'esperienza E con riferimento a alcune classi di compiti T (*Task*) e con misurazione della performance P , se le sue performance nel compito T , come misurato da P , migliorano con l'esperienza E

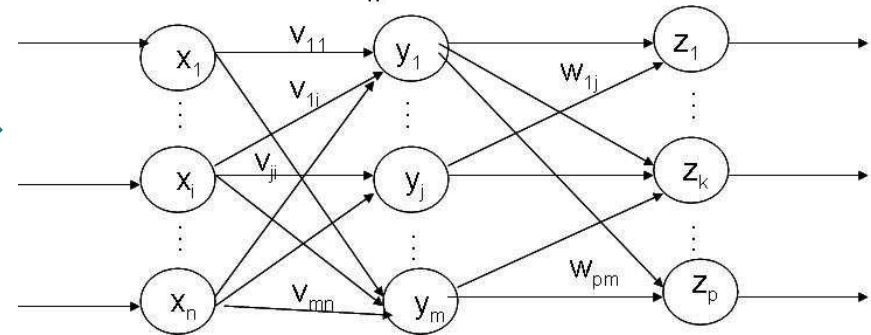
Artificial Neural Net

- Sistemi algoritmici non lineari basati sui modelli del sistema neurale biologico

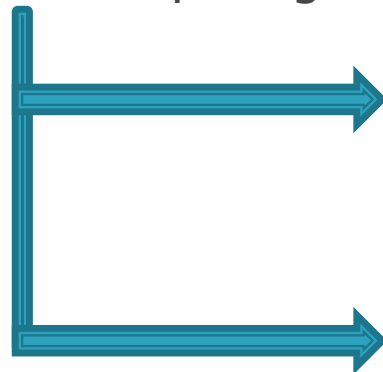
- Elemento di base: Neurone artificiale



- Neuroni organizzati in layer



- Apprendimento supervisionato: per ogni evento, è noto l'output desiderato (*target*).



Per modificare i pesi in modo da ottenere la risposta (*score*) desiderata: esposizione a dataset di Training, in cui è noto alla rete il target

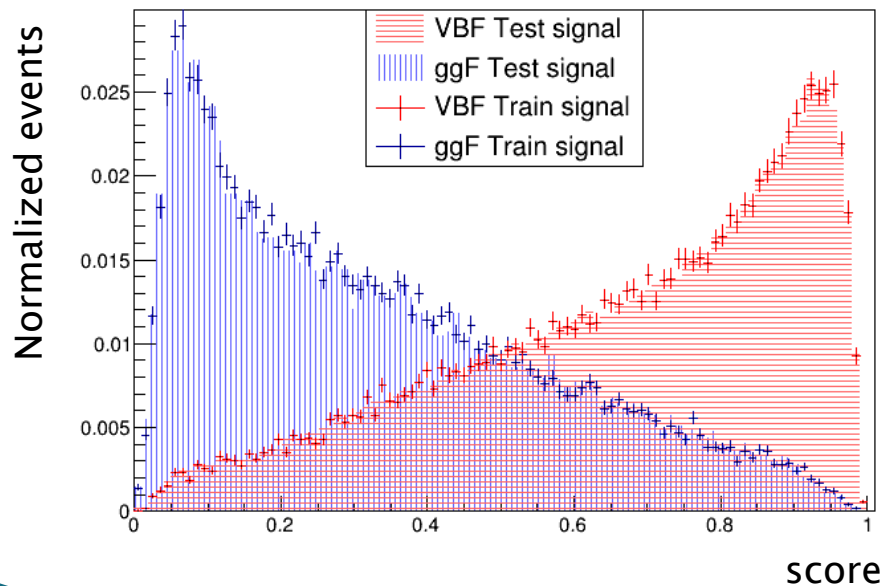
Per verificare che l'addestramento sia andato a buon fine: esposizione a dataset di Test, in cui non è noto alla rete il target

Utilizzo della rete neurale MLP

Rete neurale utilizzata: Multi Layer Perceptron (pacchetto TMVA di Root)

- Risposta: funzione tra 0 e 1
- Target processo VBF: 1
- Target processo ggF: 0

Score della rete dopo Training e Test



Lo score della rete è una variabile discriminante tra i processi VBF e ggF. Si effettua la categorizzazione basandosi su un taglio sullo score della rete:

- $score > cut \Rightarrow$ Categoria VBF
- $score < cut \Rightarrow$ Categoria ggF

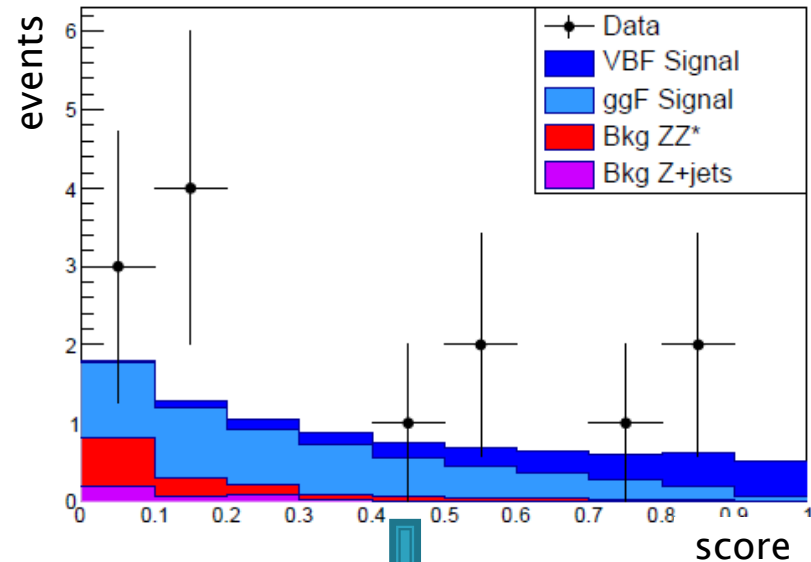
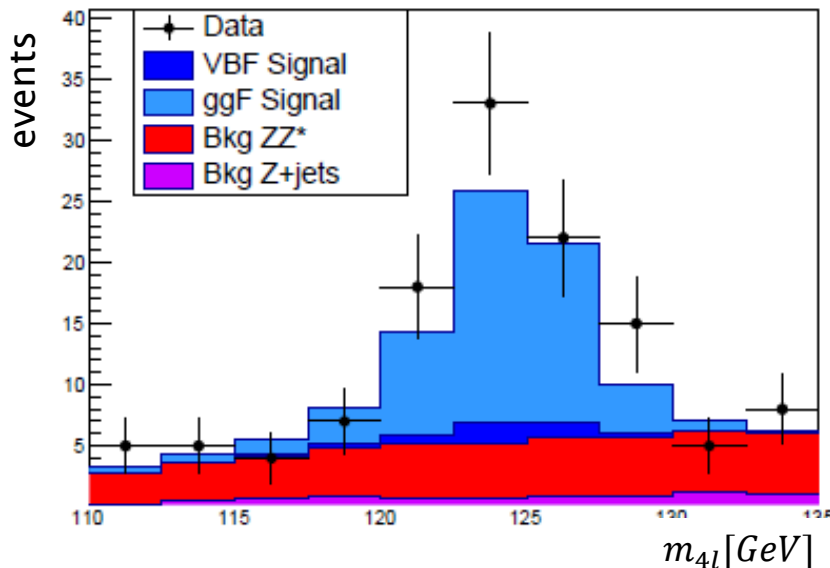
Il valore ottimale del taglio è stimato essere 0.5. Con questi criteri di categorizzazione si ottiene:

	<i>Truth Monte Carlo</i>	
Category	ggF	VBF
ggF	0.75	0.25
VBF	0.25	0.75

Utilizzo della rete neurale MLP

Score della rete addestrata sul segnale, sui fondi e sui dati raccolti nel biennio 2015/2016, con la richiesta che la massa del sistema dei 4 leptoni nello stato finale sia compresa tra 110 GeV e 135 GeV.

Massa dei 4 leptoni nello stato finale, senza richieste cinematiche sui jet



Scarsa contaminazione nella categoria VBF da parte del processo ggF e dei fondi

Normalizzazione ottenuta tenendo conto della luminosità integrata raccolta nel biennio 2015/2016 e delle sezioni d'urto dei processi.

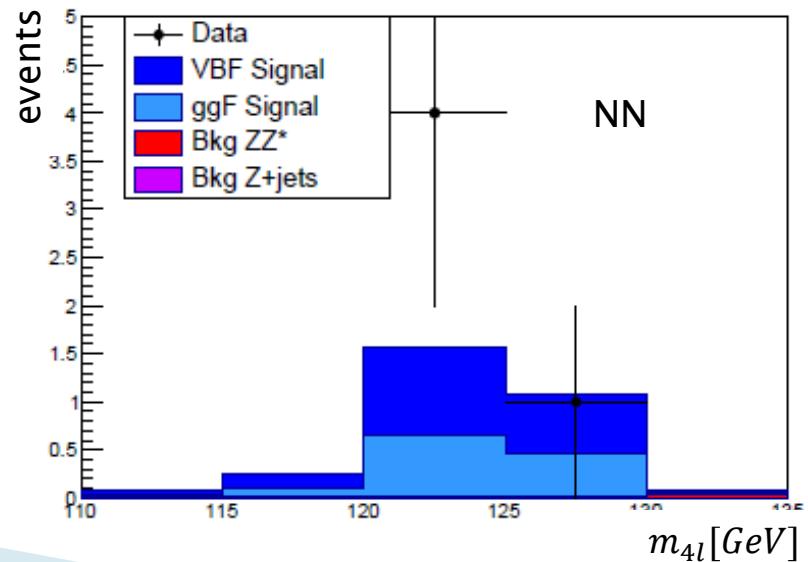
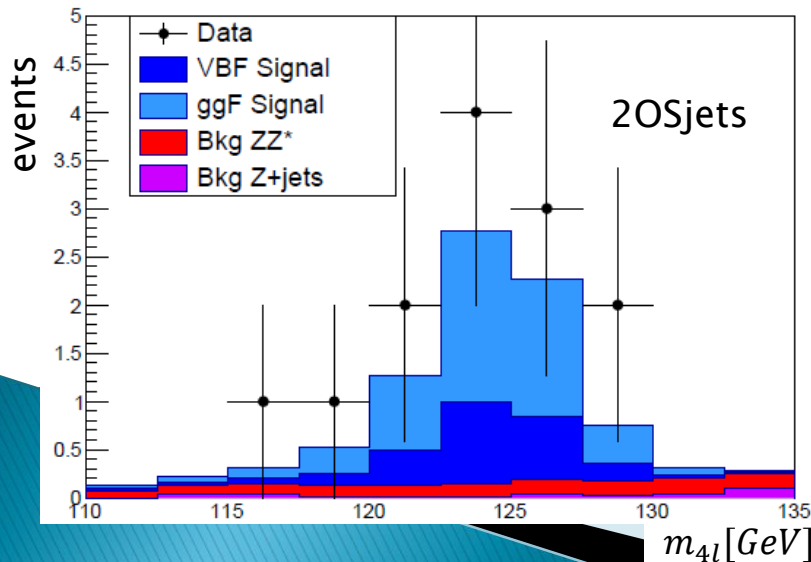
Conclusioni e prospettive

Per verificare come l'utilizzo della rete neurale migliori la selezione del processo VBF rispetto ai tagli bidimensionali, introduco la *significatività globale*:

$$\sigma_g = \frac{S}{\sqrt{B}} \quad \begin{aligned} S &= N_{VBF} \\ B &= (N_{ggF} + N_{fondo}) \end{aligned}$$

selezione	σ_g	miglioramento
2OSjets	0.9	1.00
2D cuts	1.17	1.30
NN	1.52	1.69

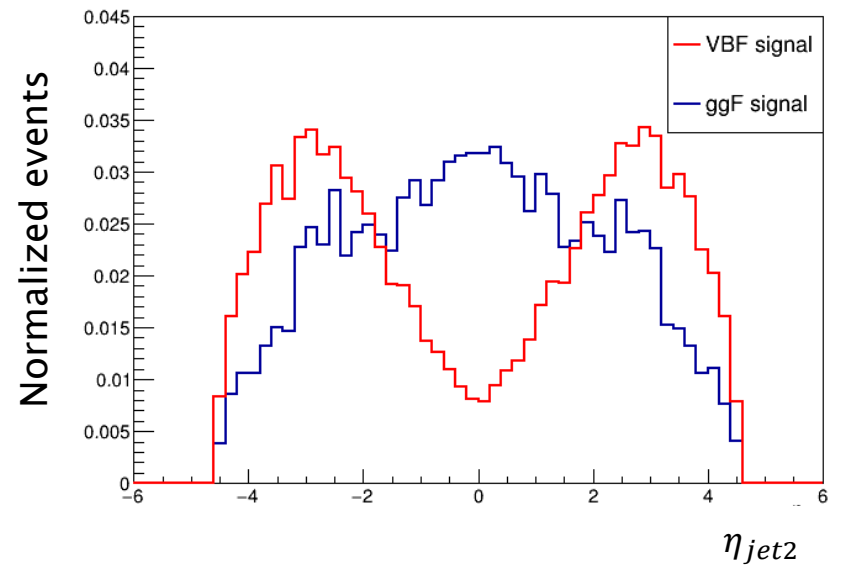
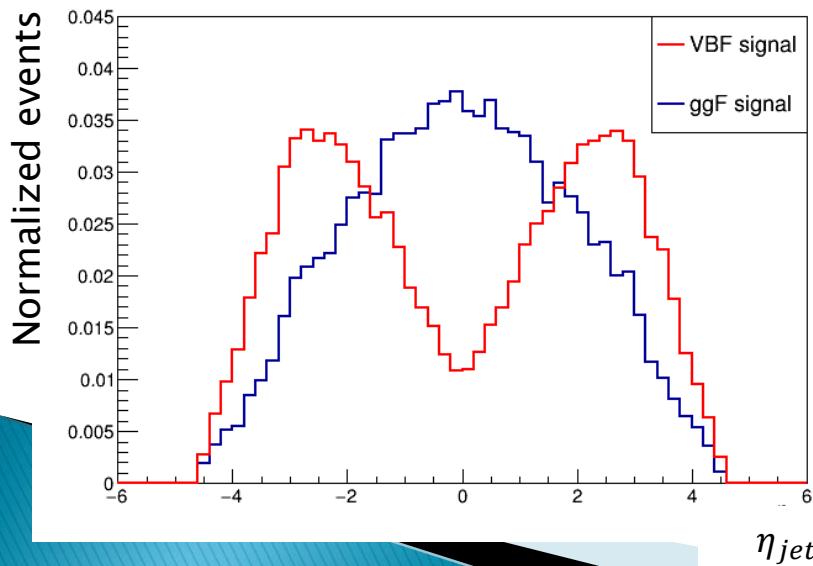
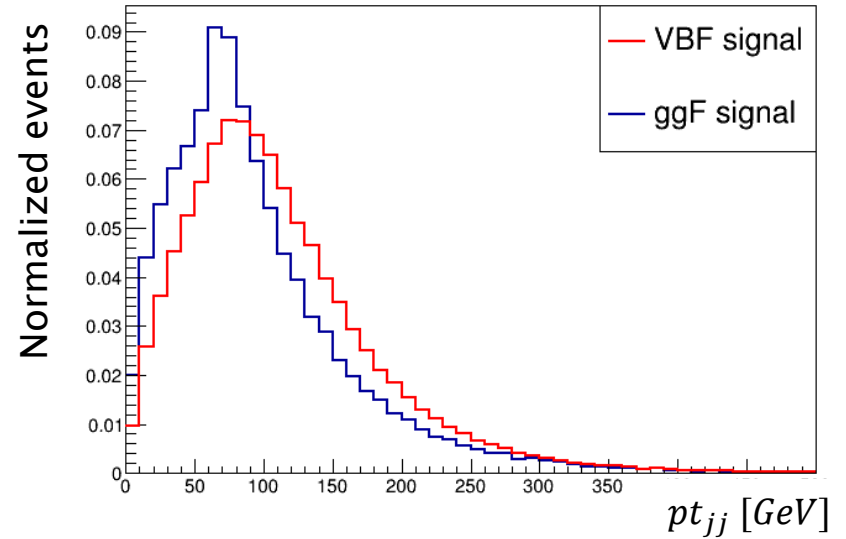
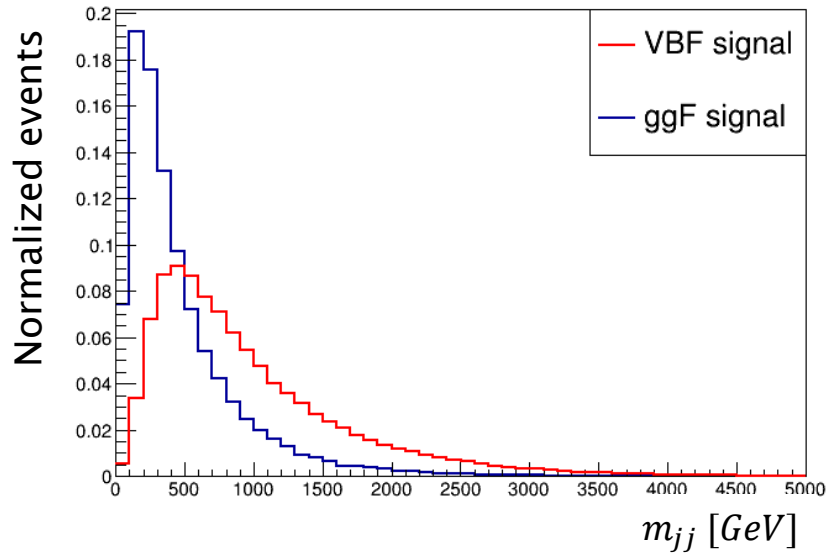
Per poter affermare di avere osservato l'Higgs prodotto mediante il processo VBF è necessario avere una significatività almeno pari a 3. Includendo anche i dati raccolti nel biennio 2017/2018, si otterrà una luminosità integrata superiore a 150 fb^{-1} e si prevede di ottenere una significatività maggiore di 3.



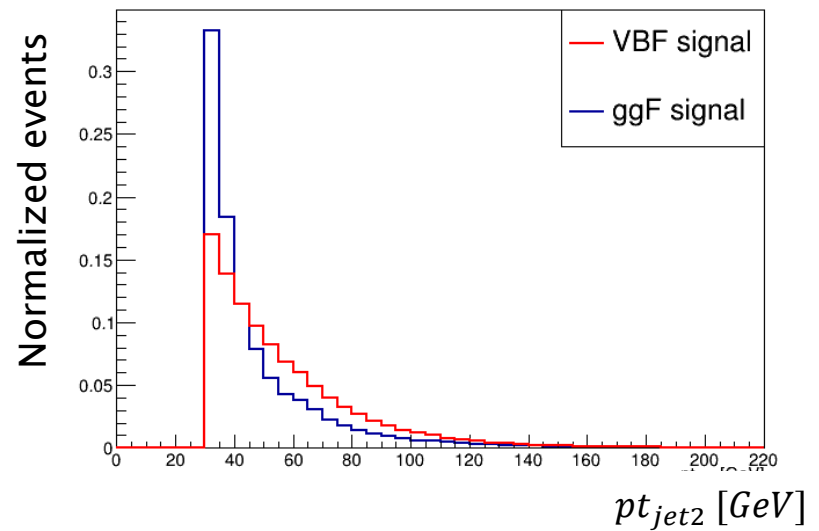
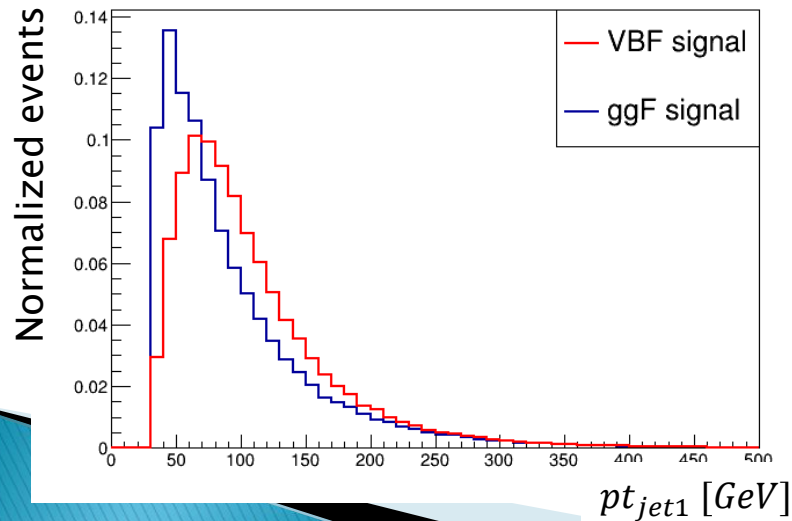
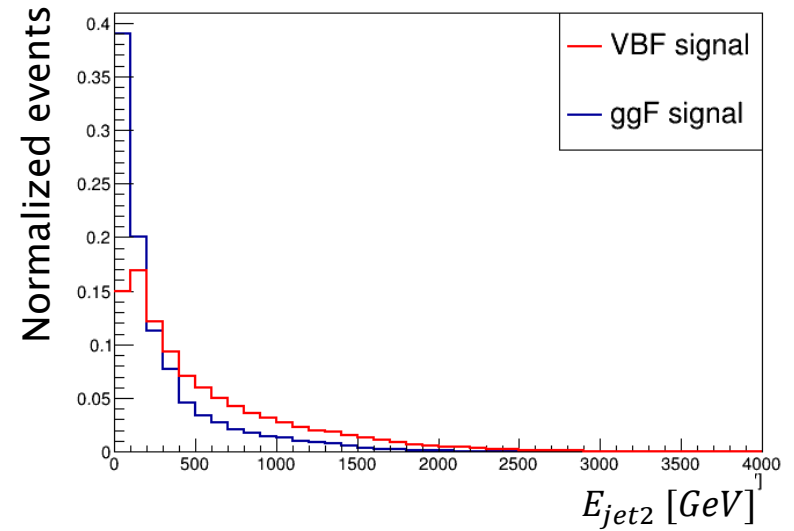
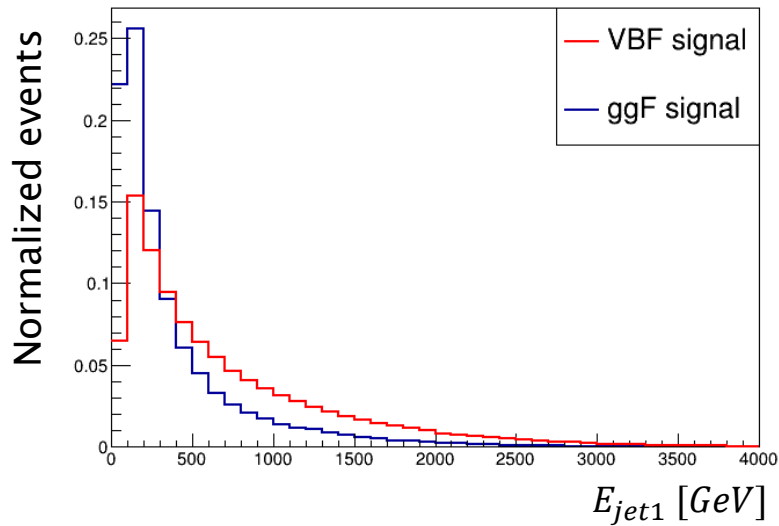
**Grazie per
l'attenzione**

Backup

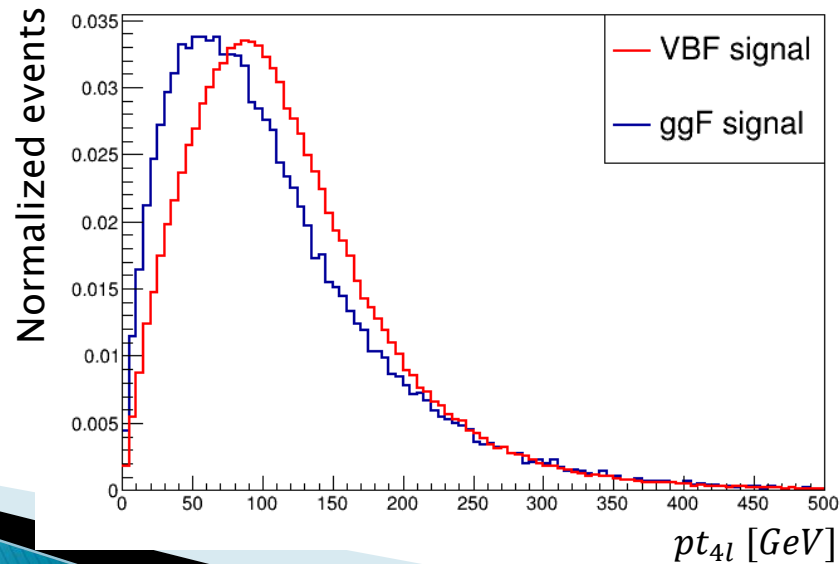
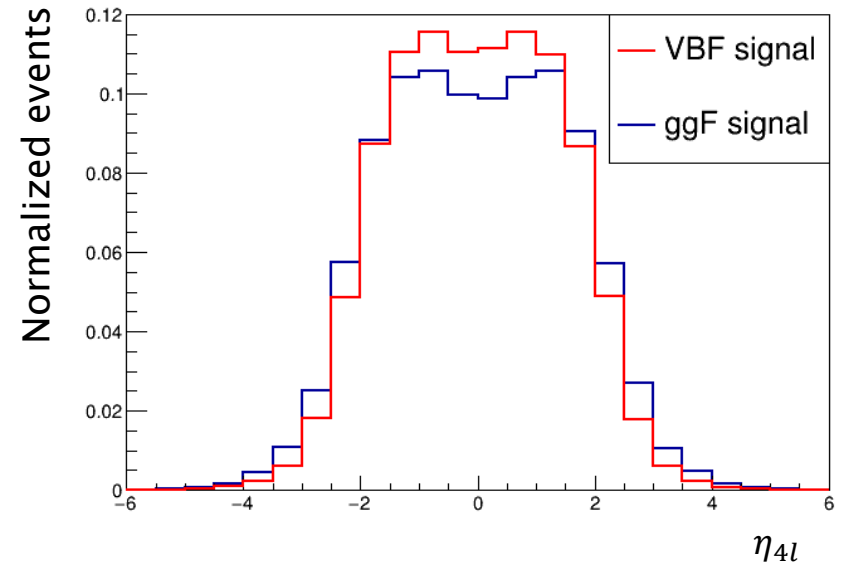
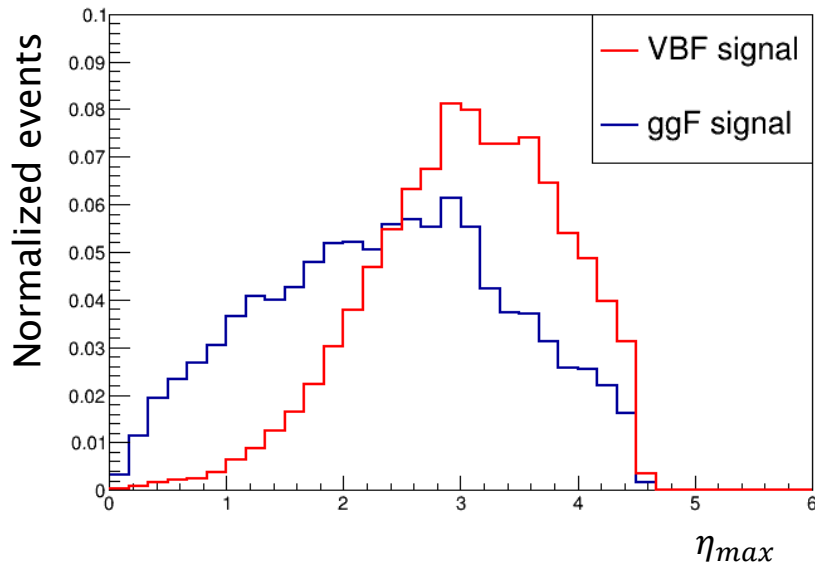
Variabili discriminanti



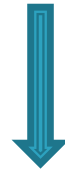
Variabili discriminanti



Variabili discriminanti



		<i>Truth Monte Carlo</i>	
Category	ggF	VBF	
ggF	$1 - \varepsilon_{ggF}$	$1 - \varepsilon_{VBF}$	
VBF	ε_{ggF}	ε_{VBF}	



		<i>Truth Monte Carlo</i>	
Category	ggF	VBF	
ggF	1	0	
VBF	0	1	

