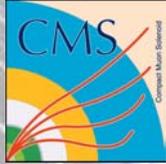




A study of low mass Higgs boson decay $H \rightarrow 2\mu 2e$ with the CMS experiment

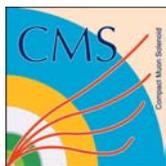
Candidato: Marco Musich

Relatore: Ernesto Migliore



Outline

- La fisica dell'Higgs (MS) e potenzialità di scoperta a LHC
- Studi sulla cinematica del canale (a livello generatore)
- Validazione algoritmi High Level Trigger sul segnale



Produzione di Higgs a LHC

Higgs = Particella associata al campo che dà massa a fermioni e bosoni nel M.S.

Principali processi di produzione del bosone di Higgs al collider LHC (pp @ 14TeV):

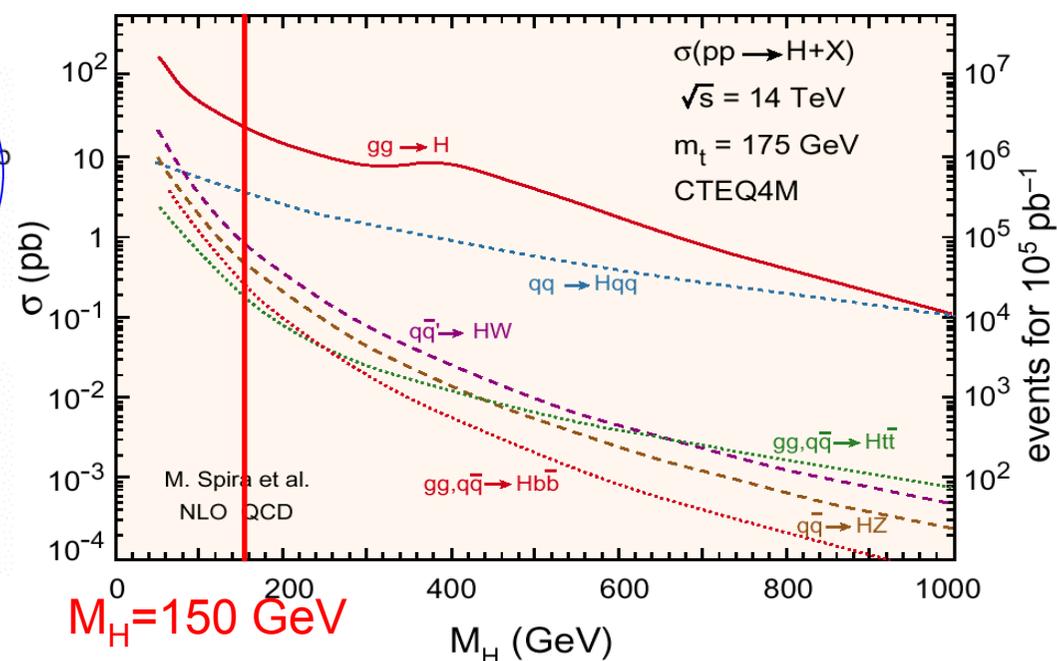
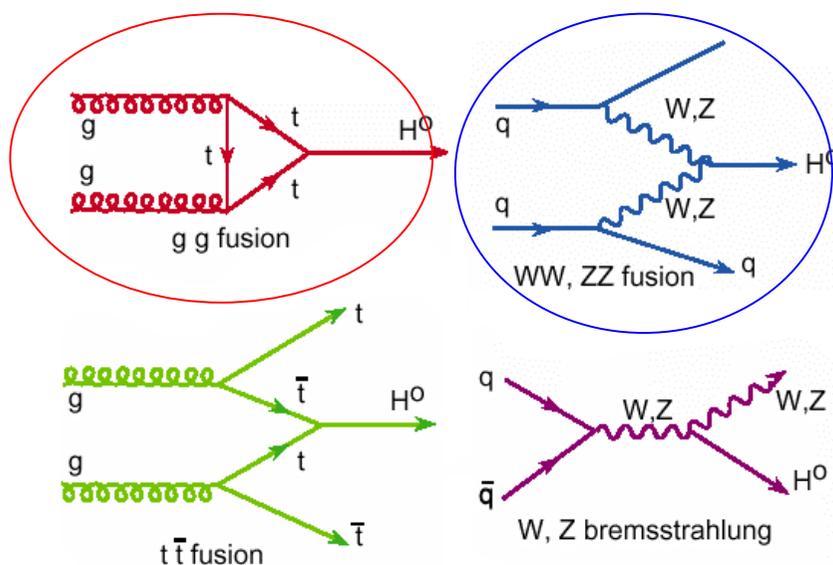
• $gg \rightarrow H$

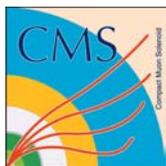
gluon-gluon fusion

$\sigma(M_H=150 \text{ GeV}) = 1.83 \text{ fb}$

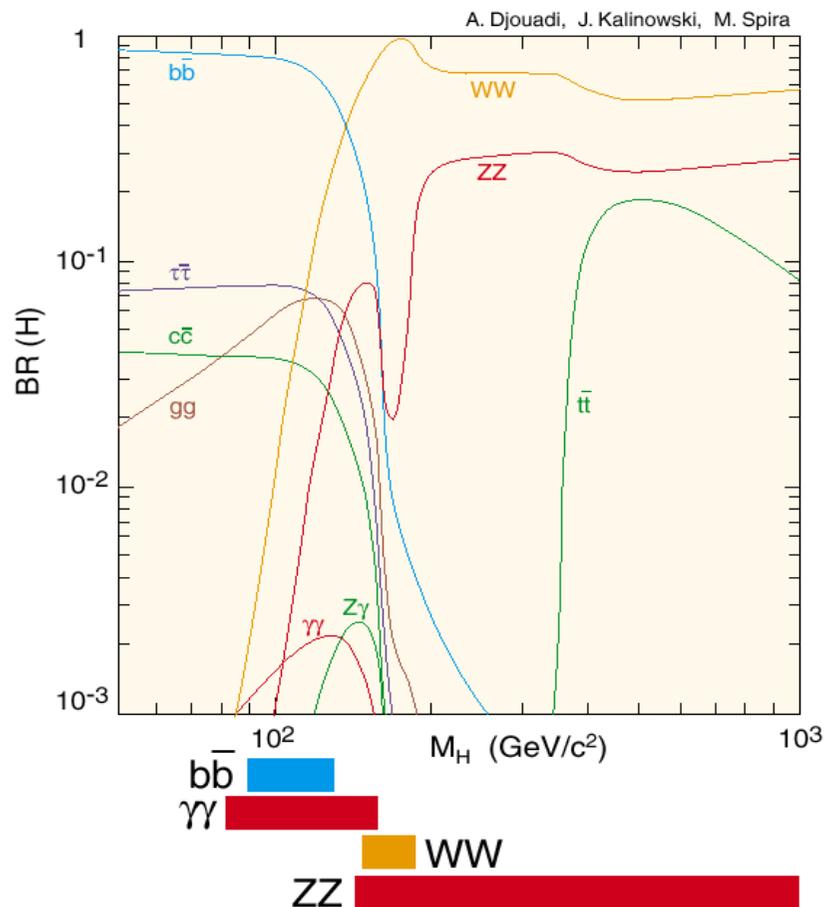
• $qq \rightarrow qqH$ via $(VV \rightarrow H)$ vector boson Fusion

$\sigma(M_H=150 \text{ GeV}) = 0.62 \text{ fb}$





Scelta del canale



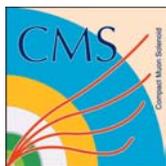
- Non esiste una singola analisi che copra tutto il range "plausibile" 114 GeV - 1 TeV

- Higgs "leggero" ($100 \text{ GeV} < M_H < 150 \text{ GeV}$):
 $H \rightarrow b\bar{b}$; $H \rightarrow \gamma\gamma$
- Higgs "medio" ($M_H \sim 2M_Z$): $H \rightarrow WW$; $H \rightarrow ZZ^*$
- Higgs "pesante" ($M_H > 2M_Z$): $H \rightarrow ZZ$

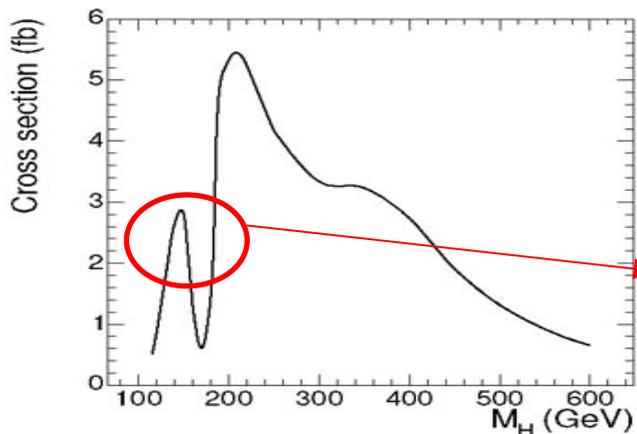
- In generale: l'Higgs si accoppia preferenzialmente con il fermione più pesante cinematicamente permesso, fino all'apertura dei canali con bosoni vettori

- A massa intermedia ($M_H \sim 2M_Z$) la cinematica fa esplodere il B.R. in WW, tuttavia in $H \rightarrow WW(*) \rightarrow l\nu l\nu$, a causa dei due neutrini non è possibile osservare un picco di massa ma solo un eccesso di eventi.

Il canale $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4l$ è un buon candidato per ricerca dell'Higgs a massa intermedia



$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$

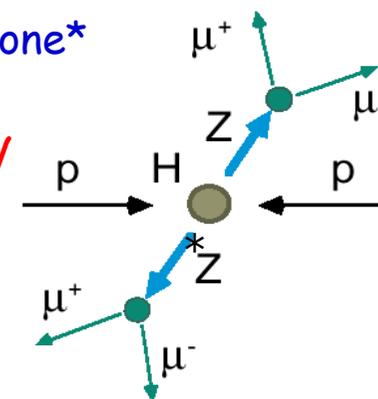


$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4l$ (importante per $120 \text{ GeV} < M_H < 2M_Z$)

- Molto pulito per la presenza di 4 leptoni isolati
- Trigger molto facile: leptone o dileptone*

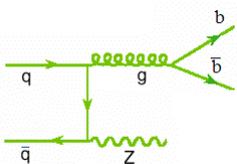
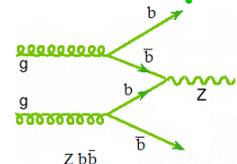
E' stato studiato il caso $M_H = 150 \text{ GeV}$

*Dileptone=coppia stesso flavour carica opposta



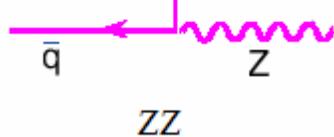
Principali background da rigettare

$Zbb \rightarrow 2\mu 2e$



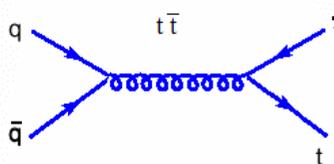
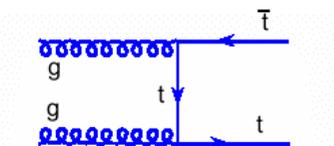
$\sigma = 2.6 \cdot 10^4 \text{ fb}$

$ZZ/\gamma^* \rightarrow 2\mu 2e$



$\sigma = 17.8 \text{ fb}$

$tt \rightarrow 2\mu 2e$

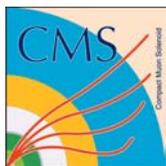


$\sigma = 5.69 \cdot 10^3 \text{ fb}$

Sezioni d'urto al LO (K-Factor 1.4 ÷ 1.9)

Possibili tagli:

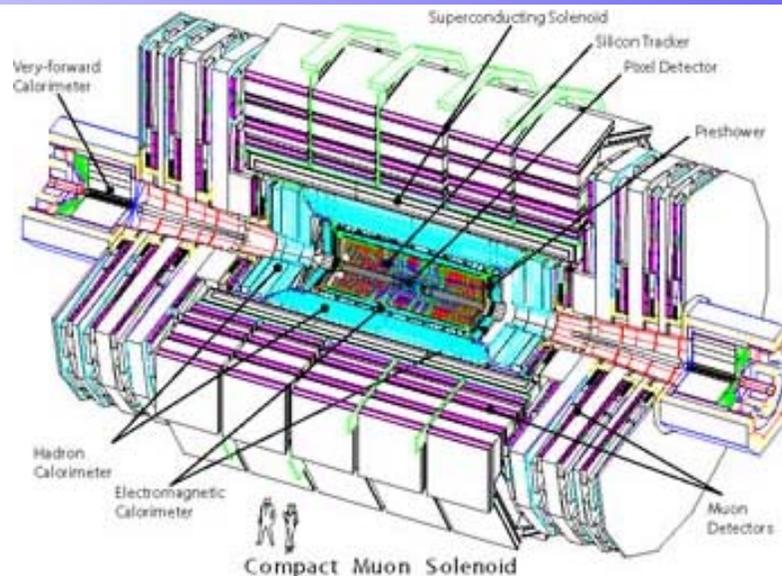
- p_T dei leptoni
- massa inv. del dileptone
- massa inv. dei 4 leptoni
- isolamento
- variabili angolari



CMS

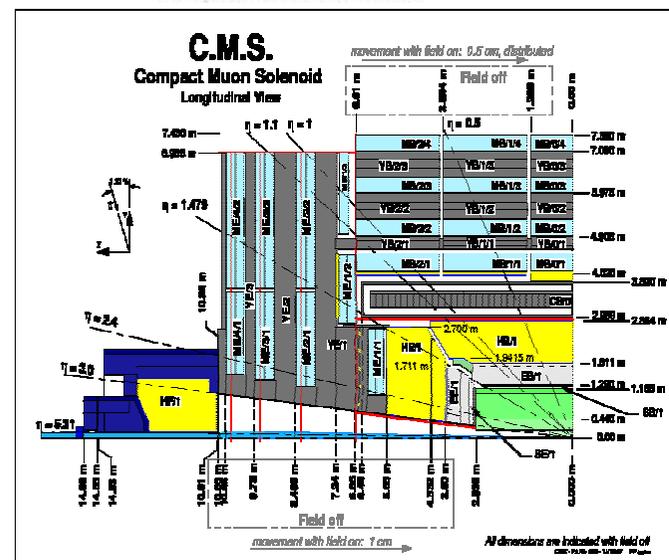
CMS = COMPACT MUON SOLENOID

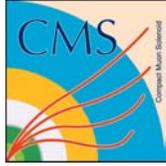
- Detector progettato per misurare con precisione il momento delle particelle cariche
- **Magnete da 4T** (compattezza e alto campo magnetico richiesti per migliorare la risoluzione del momento dei muoni)
- 4 "stazioni" di misura per i muoni: **DT** nella regione del barrel, **CSC** e **RPC** negli endcap



All'interno del solenoide:

- **Tracker**: 10 layer di microstrip e 3 di pixel (silicio)
- La calorimetria E.M. (**ECAL**), utilizza cristalli di $PbWO_4$, nella regione $|\eta| < 3$
- Calorimetro Adronico (**HCAL**) in ottone/scintillatori nella regione fino a $|\eta| < 5$



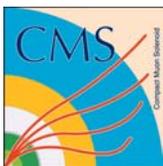


Studio sulla cinematica $M(H)=150 \text{ GeV}$

Studio preliminare sulle variabili a livello generatore per stabilire una strategia di analisi basata su tagli.

➤ Generazione degli eventi per il segnale ($H_{150} \Rightarrow ZZ^* \rightarrow 2\mu 2e$), $t\bar{t}$, ZZ con Pythia (processo hard LO + QCD parton shower + adronizzazione), generazione del fondo $Zb\bar{b}$ con il generatore CompHep e successiva parton shower + adronizzazione con Pythia.

$gg(VV) \rightarrow H \rightarrow ZZ \rightarrow 2\mu 2e$	$N_{gen} = 2 \cdot 10^5$	$\sigma_{gen} = 2.917 \text{ fb} (M_H = 150 \text{ GeV})$ CMKIN(45)-CMKIN(48)=(12.,-1,12,-1)
$ZZ^{(*)}(\gamma^* \gamma^*) \rightarrow 2\mu 2e$	$N_{gen} = 4 \cdot 10^5$	$\sigma_{gen} = 3.53 \text{ fb}$ CMKIN(41)-CMKIN(44)=(5.,150.,5.,150.)
$t\bar{t} \rightarrow bW^+ \bar{b}W^- \rightarrow \mu^+ \mu^- e^+ e^- X$	$N_{gen} = 7 \cdot 10^5$	$\sigma_{gen} = 2.29 \cdot 10^3 \text{ fb}$
$Zb\bar{b} \rightarrow \mu^+ \mu^- e^+ e^- X$	$N_{gen} = 4 \cdot 10^5$	$\sigma_{gen} = 2.67 \cdot 10^3 \text{ fb}$



Filtro in generazione

Gli eventi generati sono stati filtrati in modo da ottenere nello stato finale:

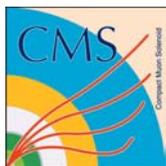
- $\mu^+ \mu^- e^+ e^- + X$
- muoni nell'intervallo $|\eta| < 2.5, p_T > 3 \text{ GeV}$
- elettroni nell'intervallo $|\eta| < 2.7, p_T > 10 \text{ GeV}$

I tagli in generazione sono stati scelti in maniera che i leptoni nello stato finale potessero essere rilevati dalle stazioni di misura dei muoni e da ECAL

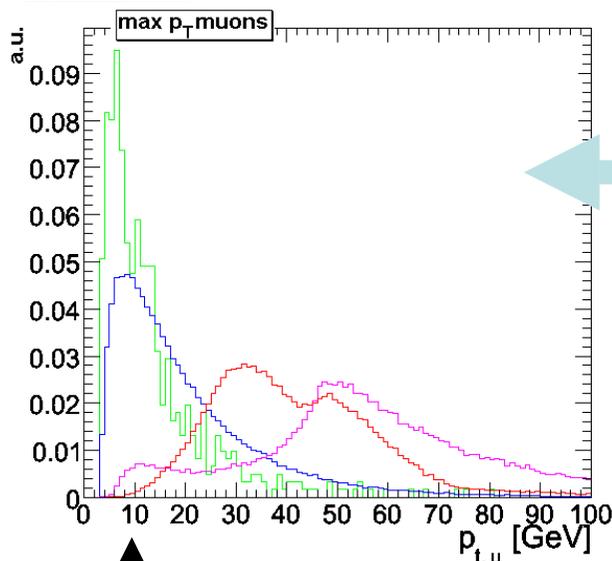
ϵ (leptoni "visibili") $\sim 55 \%$ per il segnale

Samples	Segnale	ZZ	tt	Zbb
Frazione di eventi "visibili"	0.552	0.397	0.0090	0.0020
Incertezza sull'efficienza	0.001	0.001	0.0003	0.0002

$$\sigma_\epsilon = \sqrt{\frac{\epsilon(1-\epsilon)}{N}}$$



Studio della cinematica



Processes

- Zbb2mu2e
- tt2mu2e
- ZZ2mu2e
- H150ZZ2mu2e

Plot

lla

$M(H)=150$ GeV

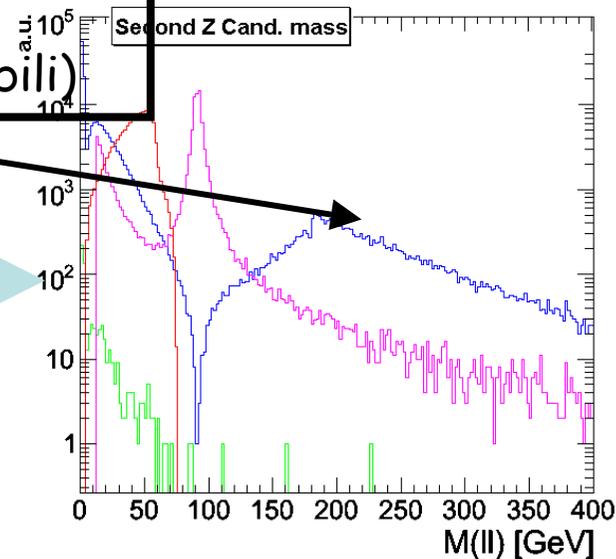
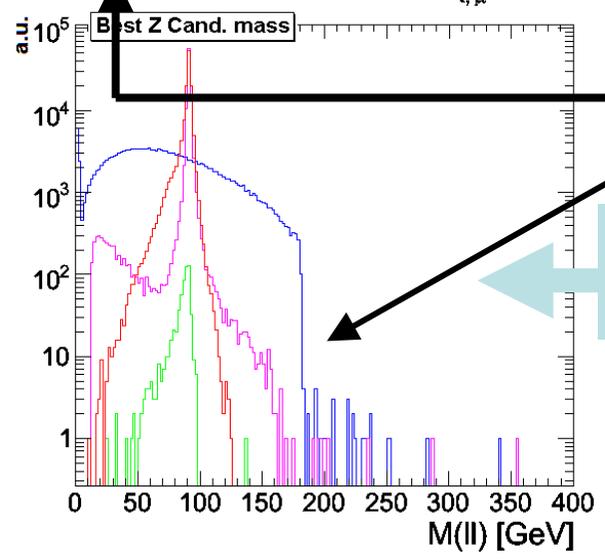
Alcune variabili cinematiche per tagli standard:

- p_T dei leptoni
- masse invariante dei dileptoni

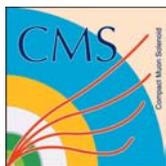
Tagli su massa inv. di coppie di leptoni (massa della Z)

Possibilità di tagli su p_T max

Reiezione leptoni (reiezione fondi riducibili)



Plot normalizzati alla sezione d'urto



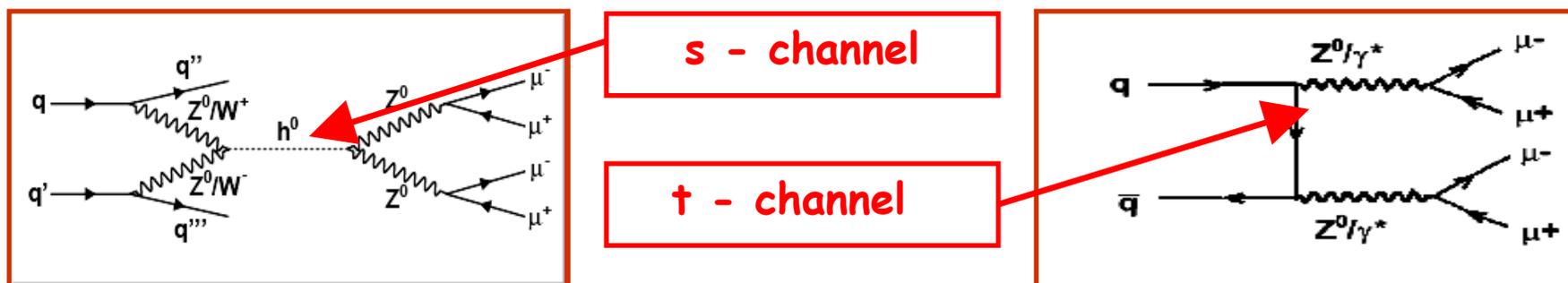
Reiezione di $ZZ^{(*)}$

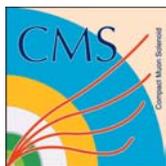
Dallo studio sui generati:

- Zbb e tt rigettati mediante tagli in **massa invariante** e p_T dei leptoni (+ isolamento)
- ZZ non è sensibile ai tagli in isolamento, e la cinematica di ZZ non è sufficientemente diversa dal segnale da poter utilizzare i tagli in p_T

⇒ $ZZ^{(*)}$ è un fondo irriducibile

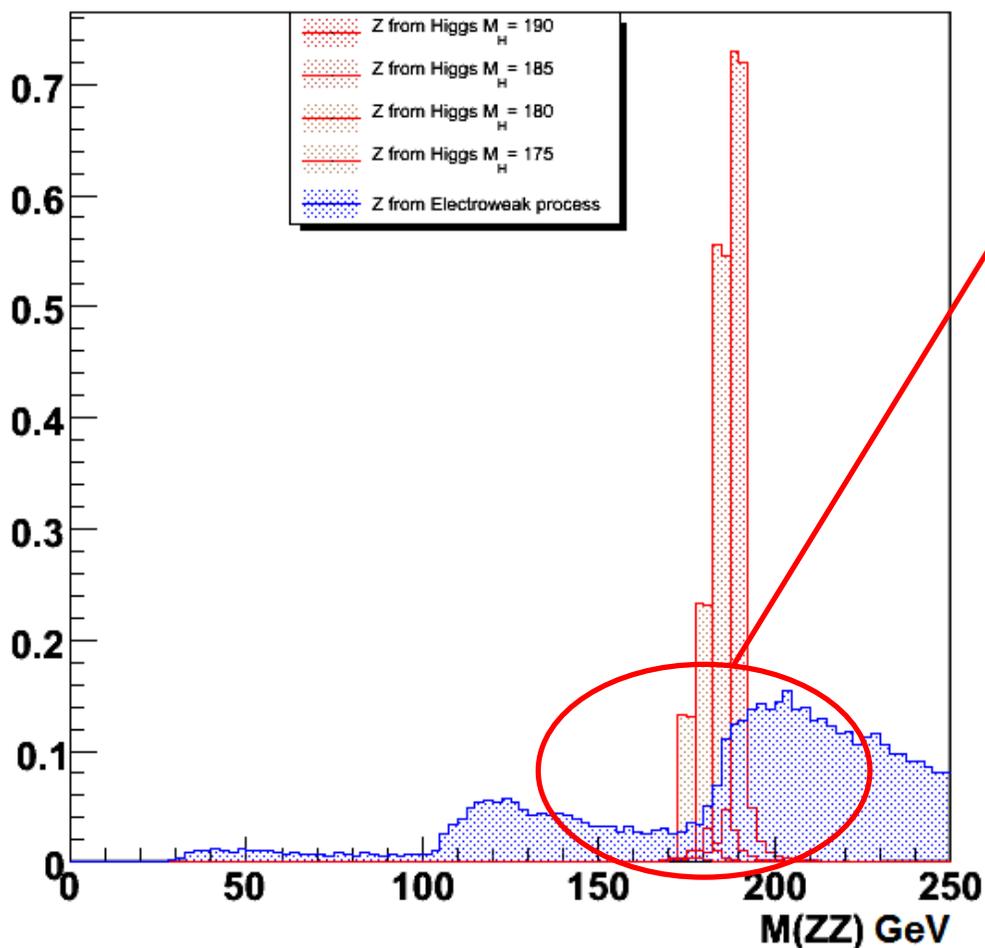
Tuttavia il processo ZZ evolve in **canale t**, mentre il segnale è in **canale s**, per cui ci aspettiamo che una variabile angolare aiuti a rigettare questo tipo di fondo.





Distribuzioni in massa invariante

2-pairs (ZZ) inv. Mass

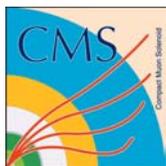


Il fondo elettrodebole
"picca" nella regione intorno
ai 200 GeV

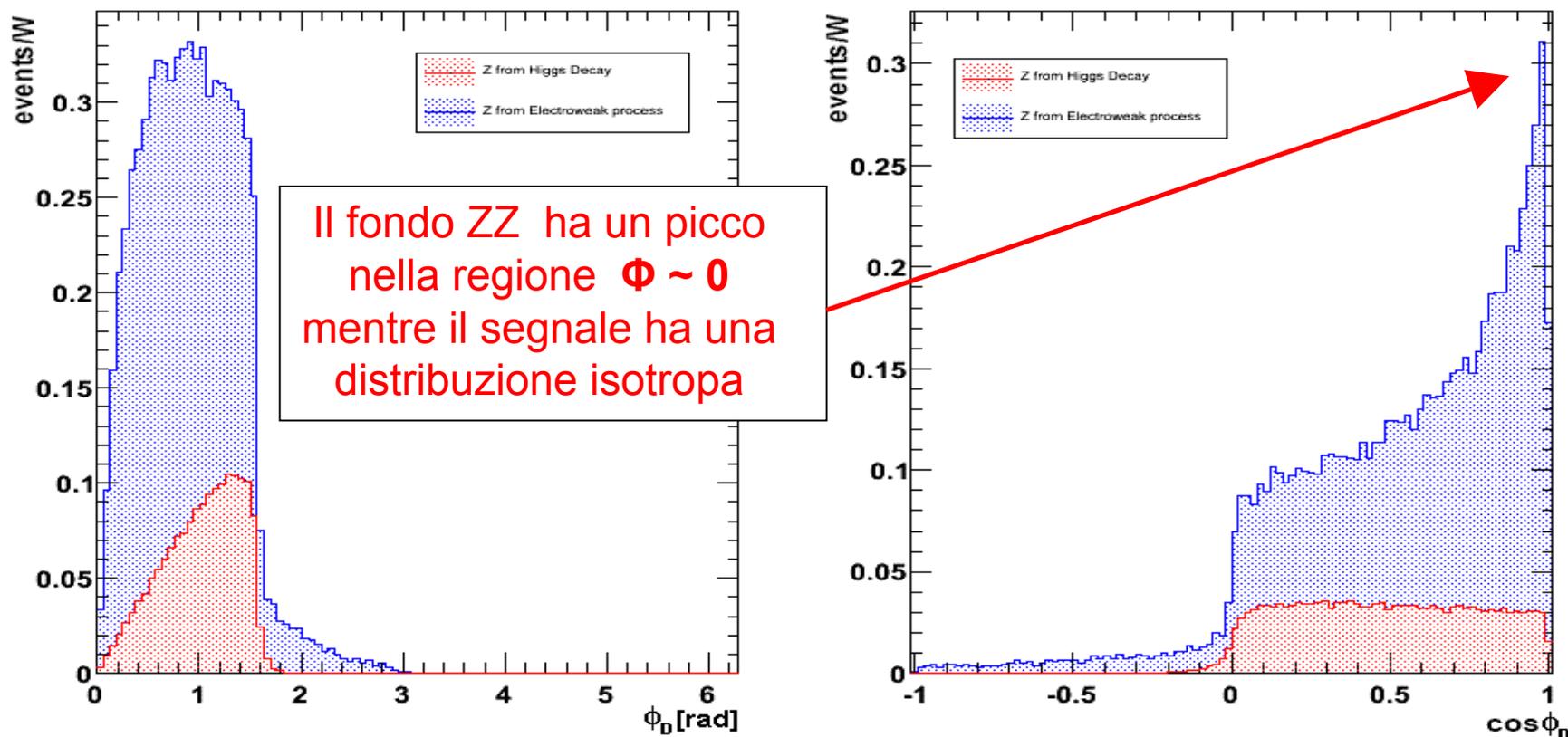
se $M_{\text{higgs}} > 190$ GeV il segnale
è sufficientemente grande
che $M(\text{ZZ})$ discrimina fra
segnale e fondo

Potrebbe essere conveniente
studiare una variabile
angolare alternativa ad
 $M(\text{ZZ})$ per $M(H) < 190$ GeV

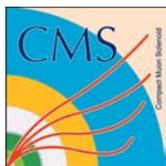
I plot che seguono si
riferiscono a $M(H) = 190$ GeV



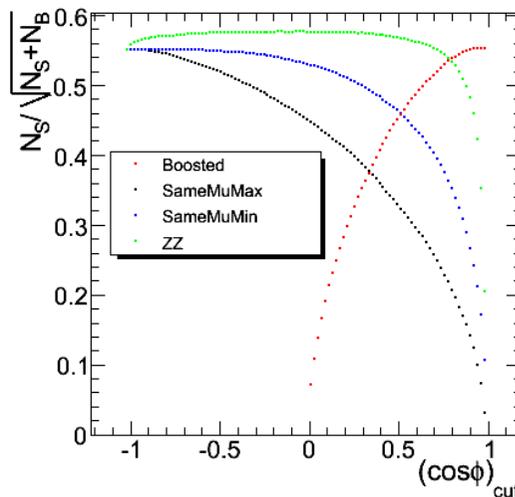
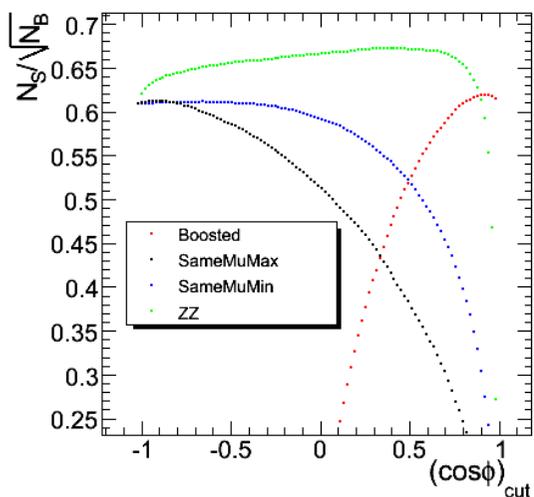
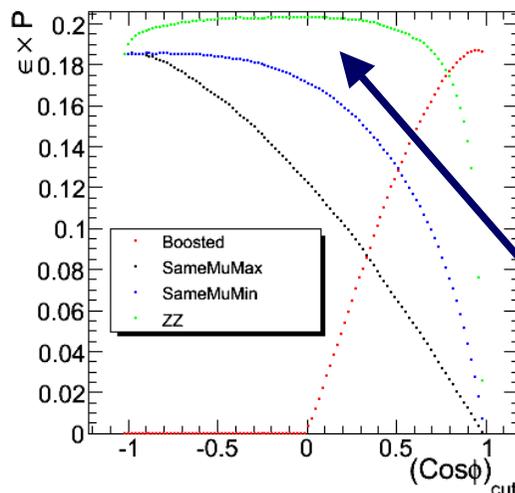
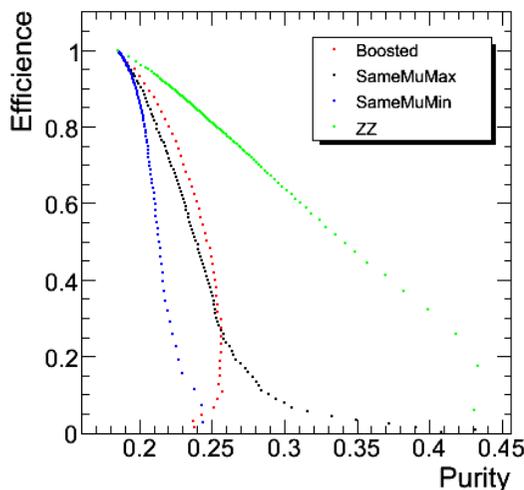
Variabili angolari (Higgs RF)



Il plot si riferisce all'angolo $\Phi(Z,H)$ tra il momento della Z più energetica, calcolato nel sistema di riferimento a riposo dell' "Higgs" e la direzione del boost dell' "Higgs" ricostruito.
Il quadrimomento dell'Higgs o dello "pseudo-Higgs" è calcolato sommando quadrimomenti delle Z "ricostruite"



Ottimizzazione della selezione

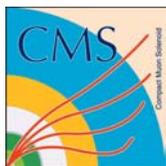


• La variabile che discrimina meglio è quella che ha i valori maggiori del prodotto efficienza * purezza in funzione del taglio.

• La miglior scelta per il taglio è determinata prendendo il punto corrispondente al massimo della curva.

• L'angolo $\Delta\theta(ZZ)$ tra le 2 Z nel sistema di riferimento del laboratorio massimizza il prodotto efficienza-purezza in funzione del taglio.

• La variabile Φ nel sistema di riferimento dell' "Higgs" è la seconda migliore scelta



Conclusioni sui tagli angolari

• Fondo irriducibile

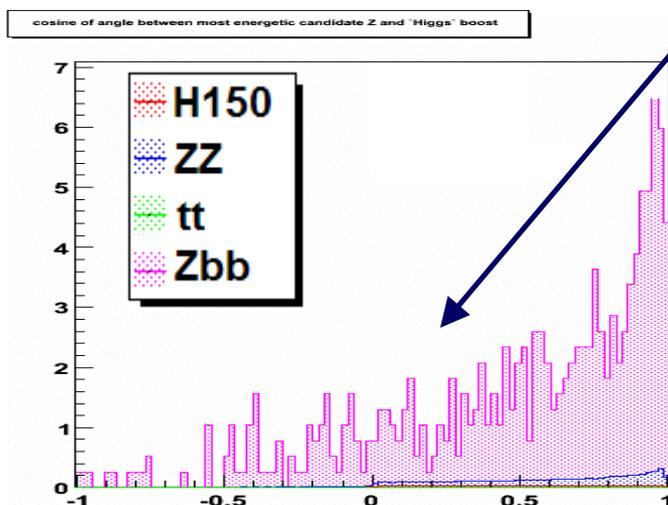
- $\Delta\theta(ZZ)$ è la migliore scelta
- Si penserebbe che la variabile "boostata" discriminasse meglio un processo in canale t da uno in canale s, per via degli eventi molto "in avanti" nella distribuzione relativa a ZZ.

Perchè?

Il filtro in generazione in $|\eta| < 2.5$ esclude gli eventi con muoni forward e backward

Angolo Φ dopo taglio cinematico sulla massa invariante della prima candidata Z

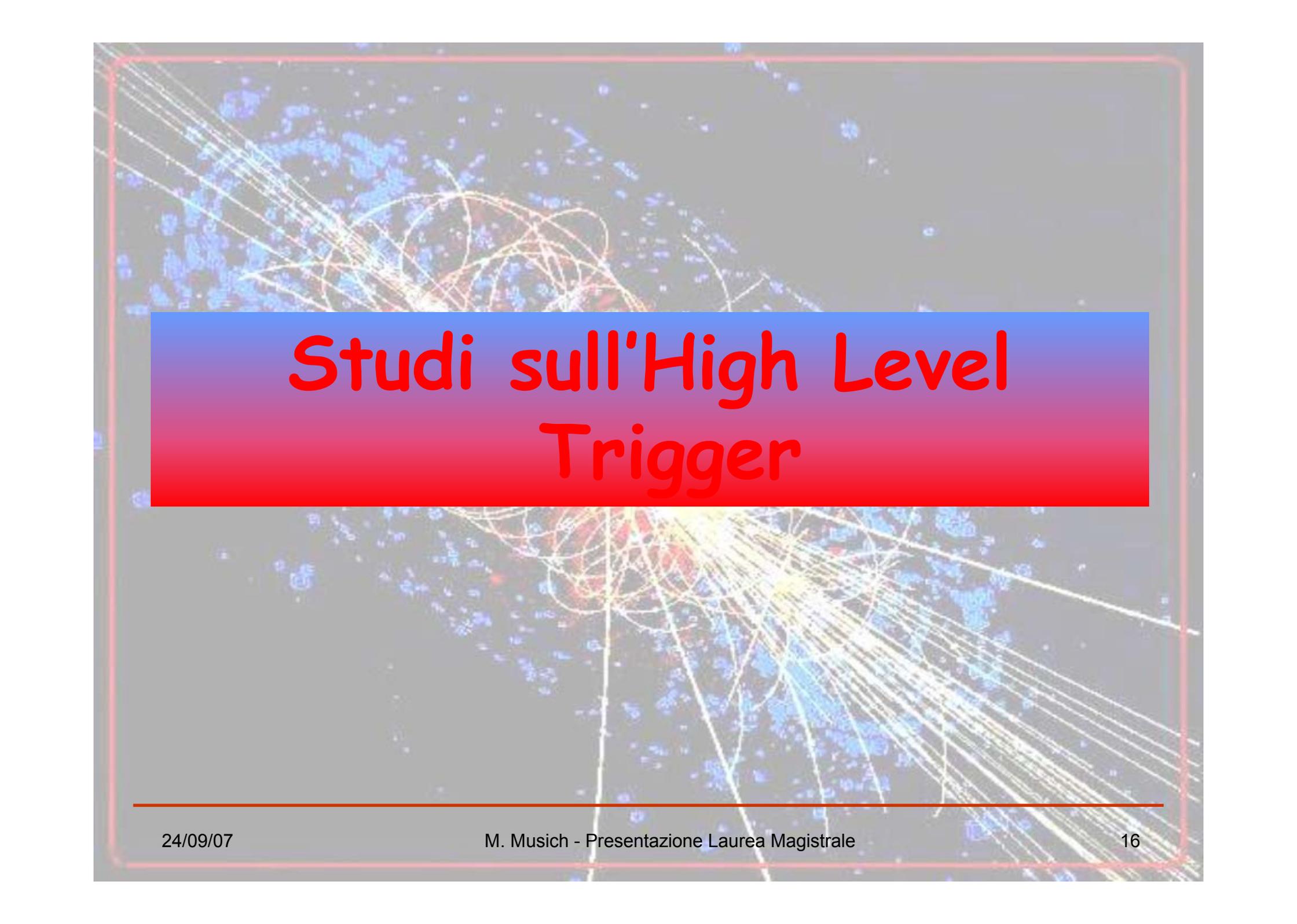
Effetto dei fondi riducibili: **tt, Zbb**



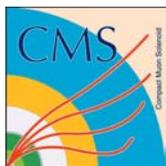
Non ci sono 2 Z -> definizione di "Z" (non tutte e due le coppie risuonano)

tt nessuna coppia risuona

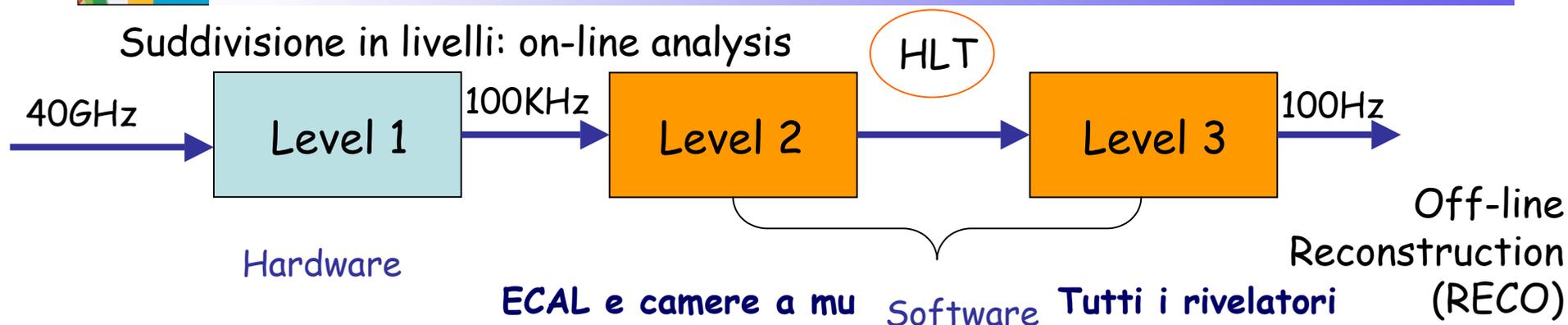
Z bb una coppia risuona -> necessari altri tagli cinematici

The background of the slide is a complex visualization of particle detector data. It features a dense network of thin, light-colored lines (tracks) that originate from a central point and spread outwards. Interspersed among these tracks are numerous small, blue, irregularly shaped clusters or blobs. The overall appearance is that of a high-energy particle collision event being analyzed. A semi-transparent rectangular box with a blue-to-red gradient is overlaid in the center, containing the title text.

Studi sull'High Level Trigger



High Level Trigger



L1- hardware (emulato in CMSSW), produce dei seed usati dall 'HLT

HLT (software) stesso codice che girerà sui dati reali.

Diversi trigger-paths considerati (elettroni-muoni):

- Muoni (muone singolo/doppio, isolato/non-isolato)
- Elettroni (elettrone singolo/doppio isolato/non-isolato, fotone singolo/doppio)

Variabili di selezione di HLT (p_T, η, τ_k isolamento, isolamento in ECAL, HCAL)

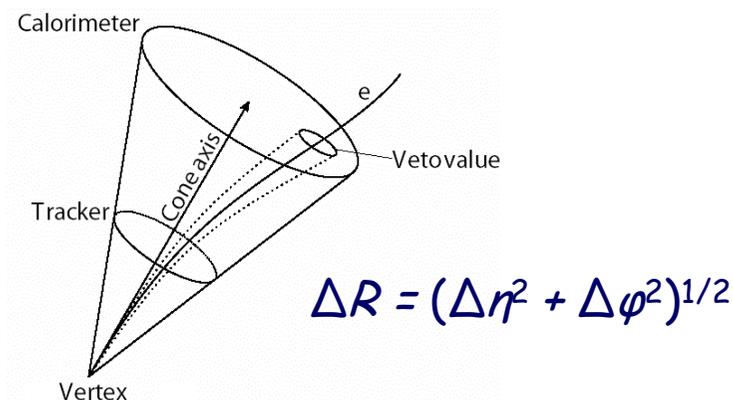
segnale: 10K evt prodotti da INFN T-2 BARI con il filtro $2\mu 2e$ in generazione

HLT e/γ

Seed di L1 e tagli in energia trasversa per i vari trigger-paths degli elettroni/fotoni:

Scenario considerato: Bassa Luminosità $L = 2 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

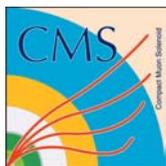
	Low Lumi (Soglia E_T)
Singolo elettrone	26
Doppio elettrone	12
Doppio elettrone No Iso	19
Singolo fotone	80
Doppio fotone	30, 20
Doppio fotone No Iso	30, 20



$$\Delta R = (\Delta \eta^2 + \Delta \phi^2)^{1/2}$$

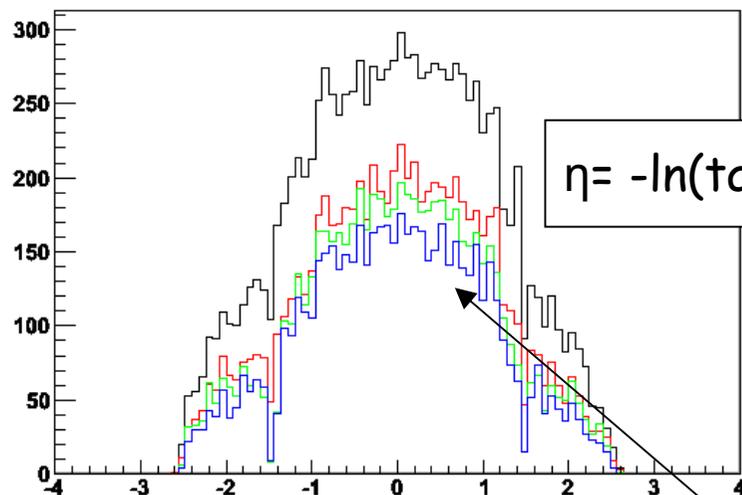
Altri tagli implementati negli algoritmi di HLT:

- Pseudorapidità
- Isolamento nel tracker
- Isolamento nei calorimetri
- E/p nel barrel e negli endcap

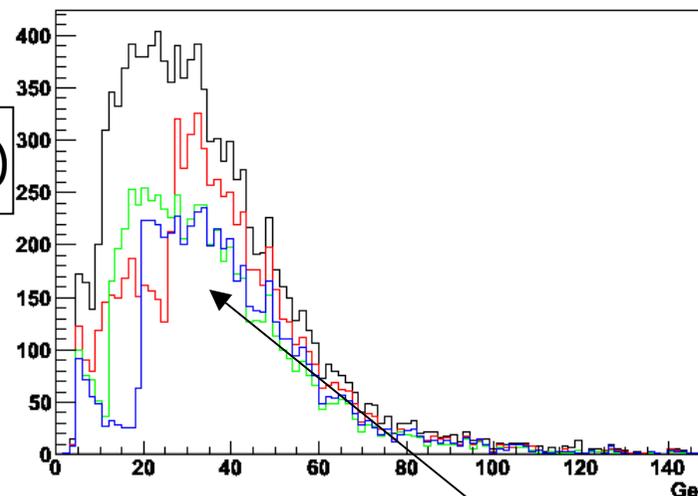


Variabili di selezione HLT e/ γ

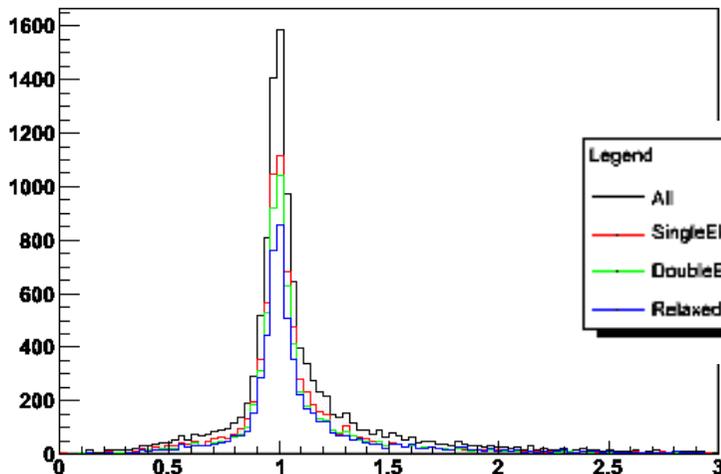
electrons η (filt.)



electrons E_T (filt.)



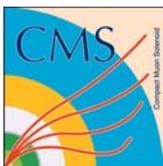
electrons E/p (filt.)



Crack in η di ECAL

Taglio $E_T > 20\text{GeV}$

Plot per i vari trigger-path sugli elettroni per alcune variabili di selezione: η , E_T , E/p



Efficienze HLT e/ γ

	Low Lumi (Soglia E _T)
Singolo elettrone	26
Doppio elettrone	12
Doppio elettrone No Iso	19
Singolo fotone	80
Doppio fotone	30, 20
Doppio fotone No Iso	30, 20

$$\epsilon = \frac{\text{eventi (L1 + HLT + } 2\mu 2e)}{\text{eventi (} 2\mu 2e)}$$

$$\delta\epsilon = \sqrt{\frac{\epsilon(1-\epsilon)}{N_{gen}}}$$

ϵ (at least 1 path) = 83.9 ± 0.3 %

Gli eventi **ricostruiti** sono ulteriormente filtrati richiedendo **almer** Il path di *singolo elettrone* e^- (nece è il più efficiente sul canale).

$$\epsilon \text{ (single-} e \text{ Iso)} = 67.0 \pm 0.4 \%$$

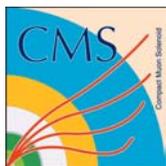
$$\epsilon \text{ (double-} e \text{ Iso)} = 59.8 \pm 0.4 \%$$

$$\epsilon \text{ (double-} e \text{ NoIso)} = 53.4 \pm 0.4 \%$$

$$\epsilon \text{ (single-} \gamma \text{ Iso)} = 0.05 \pm 0.02 \%$$

$$\epsilon \text{ (double-} \gamma \text{ Iso)} = 28.9 \pm 0.5 \%$$

$$\epsilon \text{ (double-} \gamma \text{ No Iso)} = 37.9 \pm 0.04 \%$$



HLT muoni

Single Muon

DiMuon

N
O
I
S
O

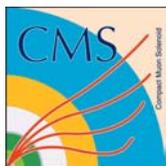
	L2 Cuts	L3 Cuts
Max Eta	2.5	2.5
Min n. hits	0	0
Max Dr (cm)	no cut	0.02
Max Dz (cm)	no cut	no cut
MinPt(GeV)	37	37
NSigma Pt	3.9	2.2

	L2 Cuts	L3 Cuts
Max Eta	2.5	2.5
Min n. hits	0	0
Max Dr (cm)	no cut	0.02
MaxDz (cm)	no cut	no cut
MinPt(GeV)	10	10
NSigma Pt	3.9	2.2

I
S
O
L
A
T
E
D

	L2 Cuts	L3 Cuts
Max Eta	2.5	2.5
Min n. hits	0	0
Max Dr (cm)	no cut	0.02
MaxDz (cm)	no cut	no cut
MinPt(GeV)	19	19
NSigma Pt	3.9	2.2

	L2 Cuts	L3 Cuts
Max Eta	2.5	2.5
Min n. hits	0	0
Max Dr (cm)	no cut	0.02
MaxDz (cm)	no cut	no cut
MinPt(GeV)	7	7
NSigma Pt	3.9	2.2



HLT Combinato μ - e/γ

Efficienze di trigger
L1+HLT per path
combinati e/γ - μ

$M_H = 150 \text{ GeV}$

$$\varepsilon = \frac{\text{eventi}(L1 + \sum_i \text{HLT}_i + 2\mu 2e)}{\text{eventi}(2\mu 2e)}$$

	Single-e	Double-e	Double-e Noiso	Double- γ	Double- γ
Single- μ Iso	0.956	0.943	-	0.891	-
Double- μ Iso	0.909	0.844	-	0.791	-
Double- μ NoIso	-	-	0.856	-	0.797

OR logico di tutti i path di leptone singolo o doppio

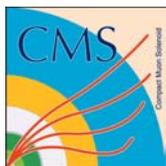
$$\varepsilon (dMu \ || \ sMu \ || \ dE \ || \ sE) = 0.980 \pm 0.004$$

Trigger	Cuts	$1\mu 1e$	$2\mu 2e$
e/γ	L1seed	0.921	0.803
e/γ	E_T	0.785	0.704
e/γ	HCAL Iso	0.779	0.701
e/γ	Pixel match	0.761	0.638
e/γ	E/p	0.695	0.623
e/γ	Tk Iso	0.673	0.599
μ	L1Seed	0.963	0.960
μ	L2pre	0.924	0.778
μ	L2Iso	0.903	0.775
μ	L3Pre	0.861	0.685
μ	L3Iso	0.837	0.684

Risultati presentati al CERN
per l'Higgs WG di CMS

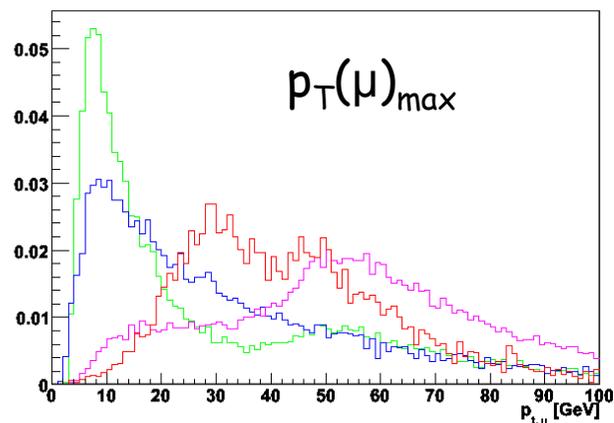


Prospettive per l'analisi

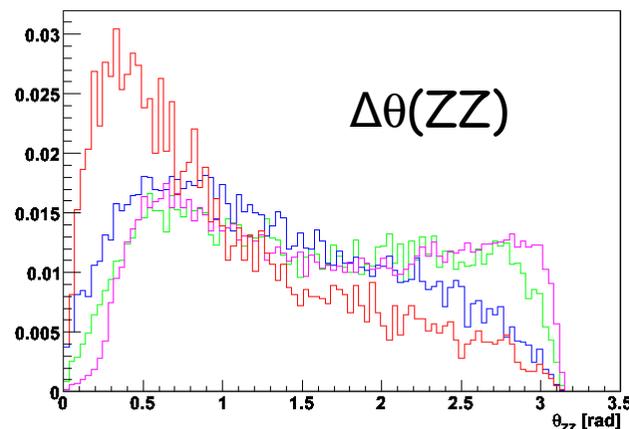


Variabili ricostruite

muons max p_t



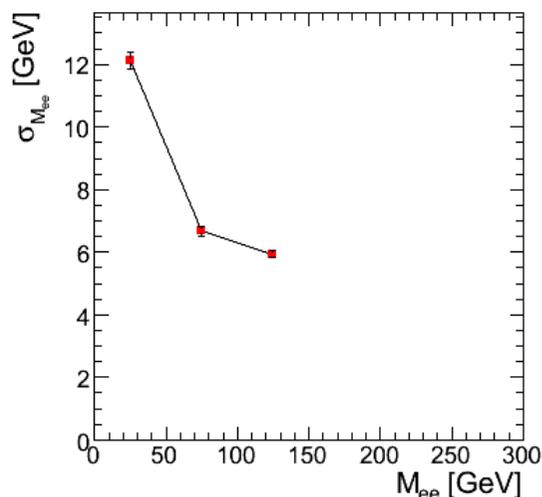
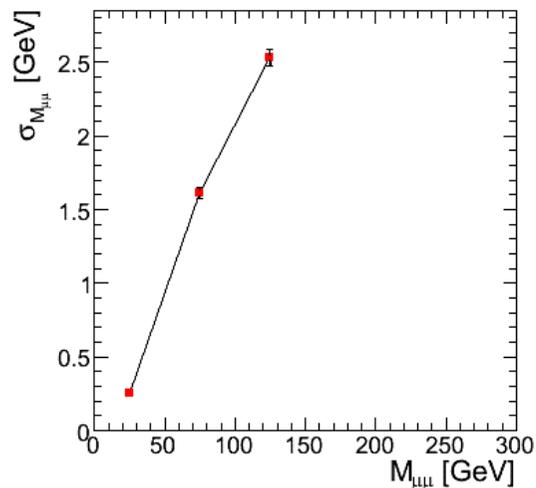
Angle between 2 Z cand.



•Manca la normalizzazione dei fondi (efficienza di HLT)

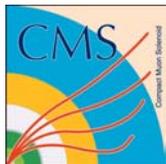


Analisi qualitativa sulle variabili di selezione (consistente con gli studi in generazione)



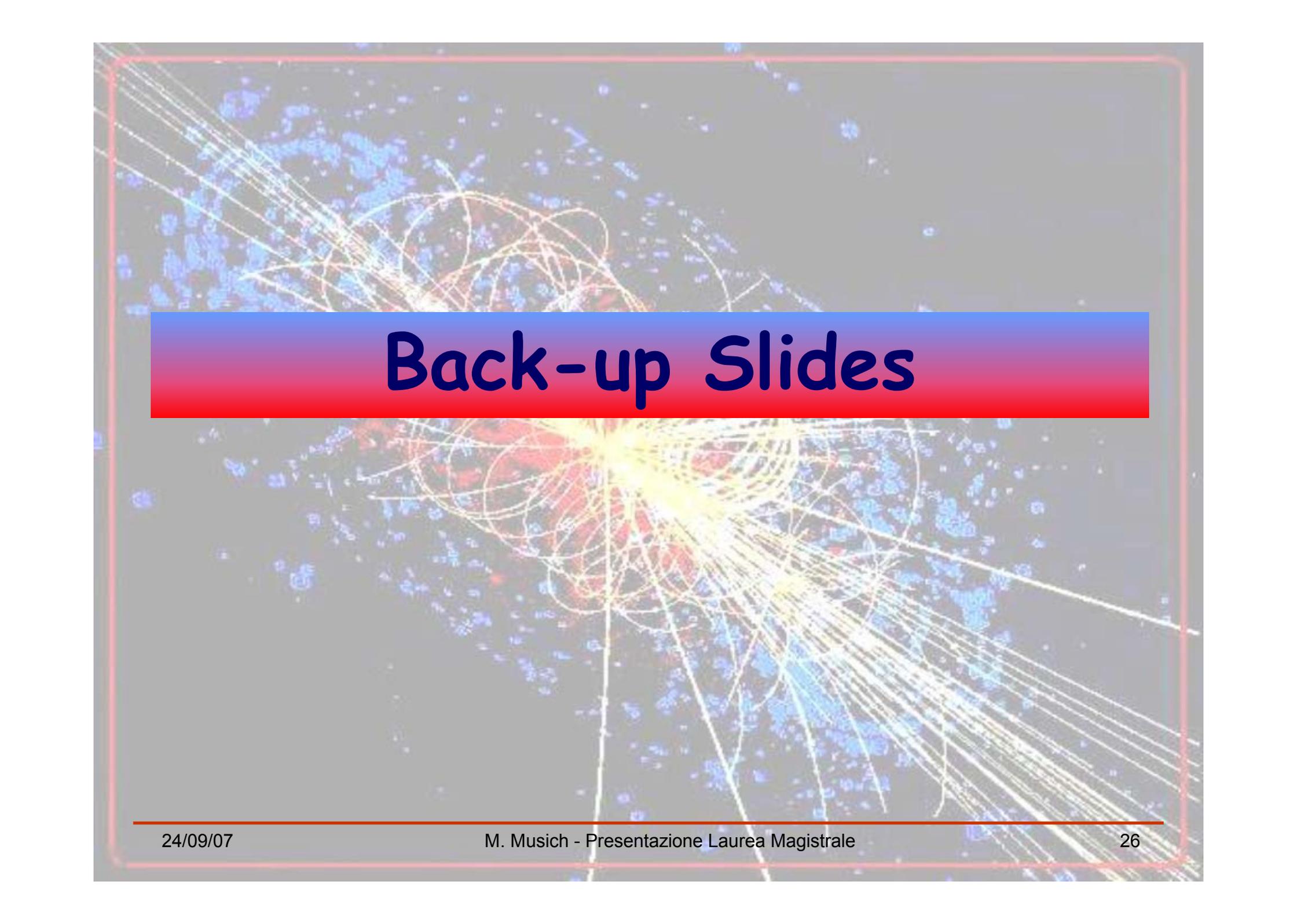
La risoluzione in massa invariante per i muoni

($\sigma_{M(\mu\mu)} \sim 2.5 \text{ GeV}$)
diminuisce all'aumentare della massa invariante, mentre quella degli elettroni ($\sigma_{M(ee)} \sim 8 \text{ GeV}$) aumenta.

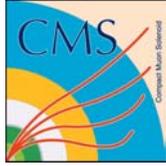


Sommario

- Studi sulla cinematica del canale $H \rightarrow ZZ \rightarrow 2\mu 2e$
 - tagli cinematici standard per individuare una particella "pesante":
 p_T , massa di-leptone per i fondi riducibili sembrano funzionare
 - tagli angolari per discriminare il fondo irriducibile
confermati a livello ricostruito
- Esercizio sull'efficienza di trigger per il canale $H \rightarrow ZZ \rightarrow 2\mu 2e$
 - efficienze dei paths di elettroni e fotoni
 - efficienze dei paths combinati elettroni/fotoni + muoni
 - individuazione di un possibile trigger per la presa dati



Back-up Slides



EWSB nel Modello Standard

Lagrangiana di interazione:

$$L_{gauge} = -\frac{1}{4} W_{\mu\nu}^i W_i^{\mu\nu} - \frac{1}{4} B^{\mu\nu} B_{\mu\nu} + L_{fermions} = \bar{L} i \gamma^\mu (\partial_\mu + i \frac{g}{2} B_\mu Y + i \frac{g}{2} \tau_i W_\mu^i) L + \bar{R} i \gamma^\mu (\partial_\mu + i \frac{g'}{2} B_\mu Y) R$$

$$W_{\mu\nu}^i = \partial_\nu W_\mu^i - \partial_\mu W_\nu^i + g \epsilon^{ijk} W_\mu^j W_\nu^k \quad \mathbf{SU(2)_L} \quad \otimes \quad \mathbf{U(1)} \quad B_{\mu\nu} = \partial_\nu B_\mu - \partial_\mu B_\nu$$

mancano termini di massa del tipo

$$\frac{1}{2} m_W^2 W_{\mu\nu}^i W_i^{\mu\nu} + \frac{1}{2} m_B^2 B_{\mu\nu} B^{\mu\nu} \quad - m_l (\bar{l}_R l_L + \bar{l}_L l_R) = -m_l \bar{l} l$$

che violerebbero l'invarianza di gauge locale della teoria



Potenziale scalare ($\lambda > 0, \mu < 0$) $V(\Phi) = \mu^2 |\Phi^+ \Phi| + \lambda (|\Phi^+ \Phi|)^2$

doppietto scalare complesso di SU(2) $\Phi = \begin{pmatrix} \phi^+ \\ \phi^0 \end{pmatrix}$

Dopo la rottura spontanea di simmetria e la scelta del gauge unitario:

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v+h \end{pmatrix}$$

$$Z^\mu = \frac{-g' B_\mu + g W_\mu^3}{\sqrt{g^2 + g'^2}}$$

$$M_W^2 = \frac{1}{4} g^2 v^2$$

$$W_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}} (W_\mu^1 \mp i W_\mu^2)$$

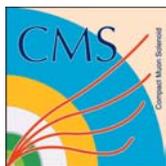
$$M_Z^2 = \frac{1}{4} (g^2 + g'^2) v^2$$

$$A^\mu = \frac{-g B_\mu + g' W_\mu^3}{\sqrt{g^2 + g'^2}}$$

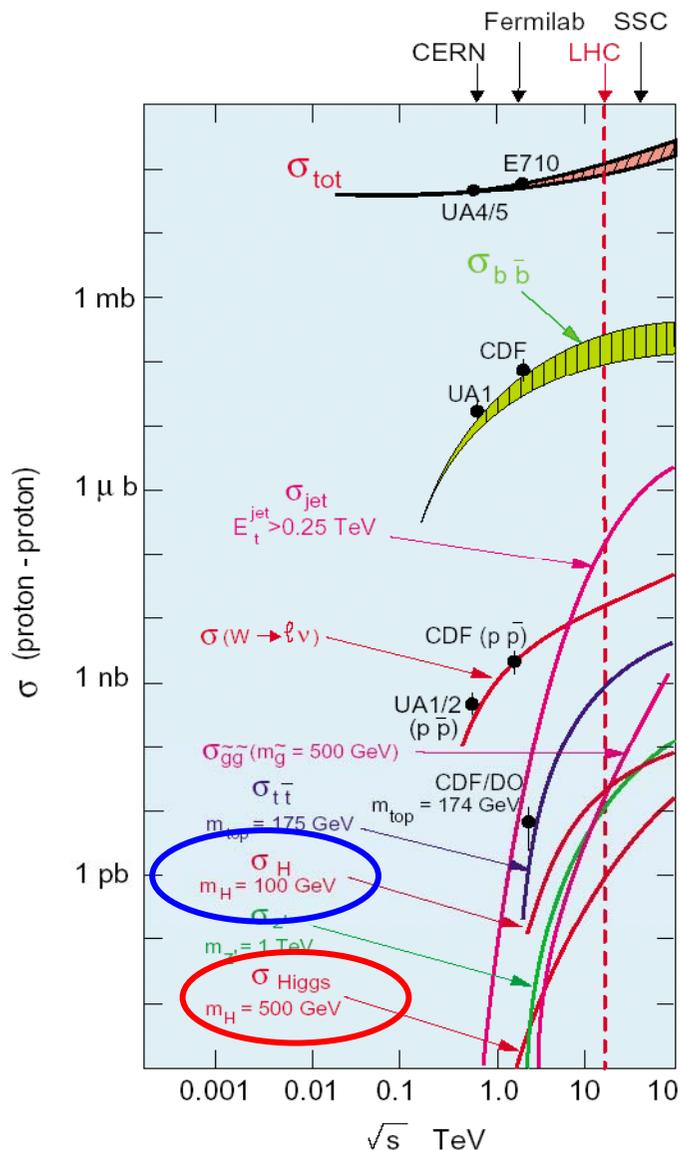
$$M_A^2 = 0$$

Restano

4 campi vettoriali
di cui 1 massless



LHC e il bosone di Higgs



- Collisioni pp a 14 TeV nel C.M.

- Luminosità:

Start up: $1 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Low: $2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (3 yr) $\rightarrow \sim 20 \text{ fb}^{-1} / \text{yr}$

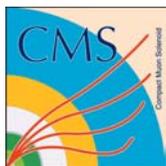
High: $1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \rightarrow \sim 100 \text{ fb}^{-1} / \text{yr}$

Uno degli scopi principali di LHC è l'osservazione del **bosone di Higgs**

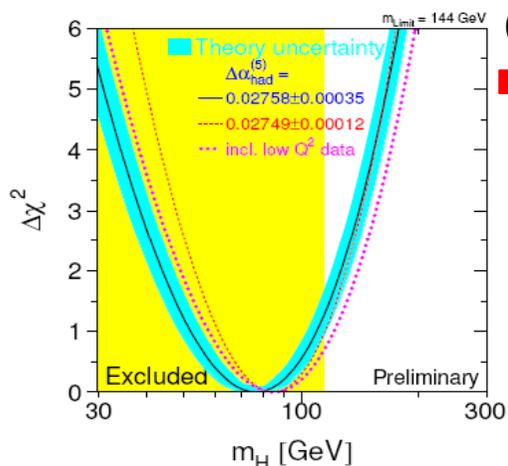
A LHC (a seconda della *massa* dell' H):

$$\sigma_H = 1 \div 10 \text{ pb}$$

$10^4 \div 10^5$ Higgs nel primo anno



Limiti sulla massa dell'Higgs



(LEP-2, Tevatron, SLC)

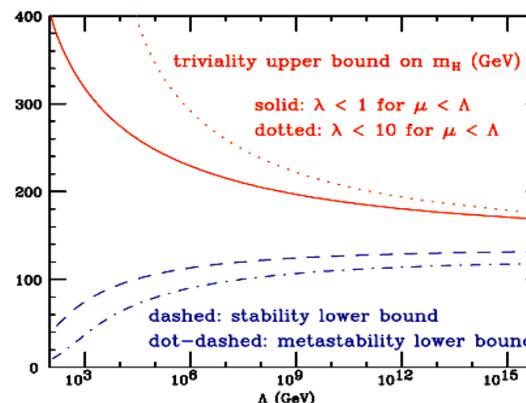
$m_H > 114 \text{ GeV}$ (ricerca diretta) 95%

$m_H < 182 \text{ GeV}$ (fit EW globale) C.L.

La ricerca dell'Higgs ad alta massa non è però esclusa:

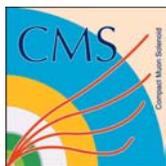
- parametri SM $\sim \log m_H$ (dipendenza debole)
- risultati fit frequentemente aggiornati.

Considerazioni di consistenza dello SM pongono limiti superiori ad inferiori a m_H , in funzione di Λ , scala di energia di validità dello SM.

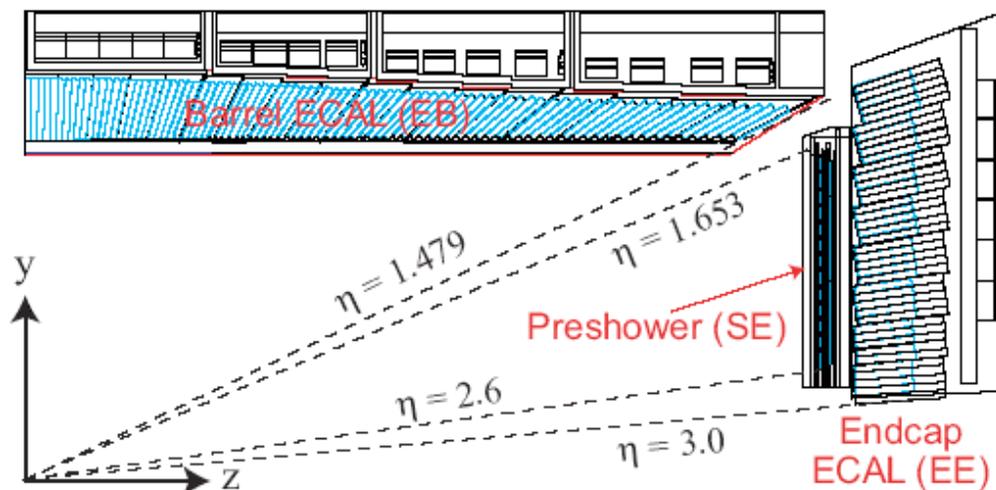


Considerazioni sulla *larghezza* dell'Higgs, pongono un limite a

$$m_H < 1.4 \text{ TeV.}$$



CMS ECAL



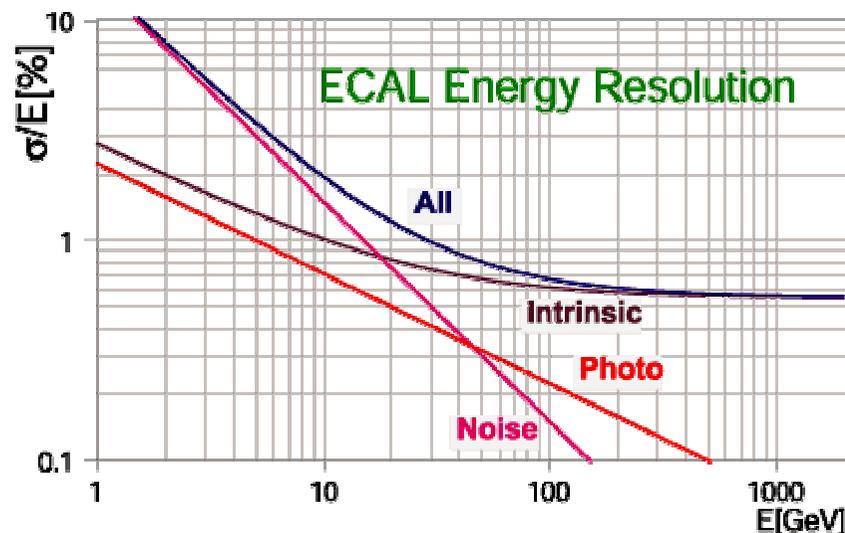
Cristalli in PbWO_4

alta densità

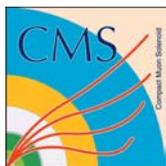
piccolo raggio di Molière

breve lunghezza di radiazione

rivelatore compatto



- termine statistico (confinamento dello sciame e fotostatistica)
- rumore elettronico + pile-up
- termine costante (risoluzione intrinseca calorimetro)



CMSSW

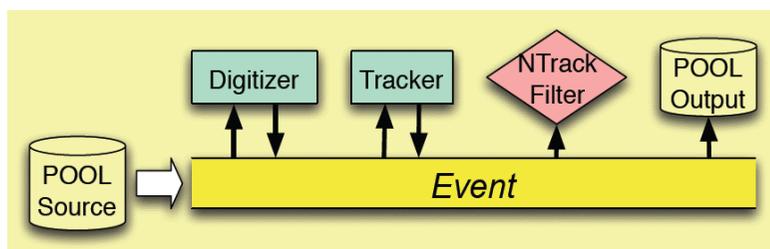
CMSSW = CMS SoftWare

CMSSW è basato sull'EDM: **EVENT DATA MODEL**

Evento = oggetto sw contenente tutte le informazioni ottenute durante un *evento fisico* triggerato

Gli eventi passano attraverso una sequenza di **moduli**

Un modulo può leggere o scrivere sull'evento a seconda della sua funzione:



I diversi moduli "parlano" tra di loro esclusivamente attraverso l'evento

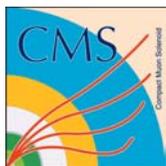
Il framework sw di CMS contiene un unico eseguibile (**cmsRun**) configurabile dall'utente (mediante un file .cfg)

Producers: (scrittura dati nell'*evento*.) *trigger*, *simulazione*, *ricostruzione*

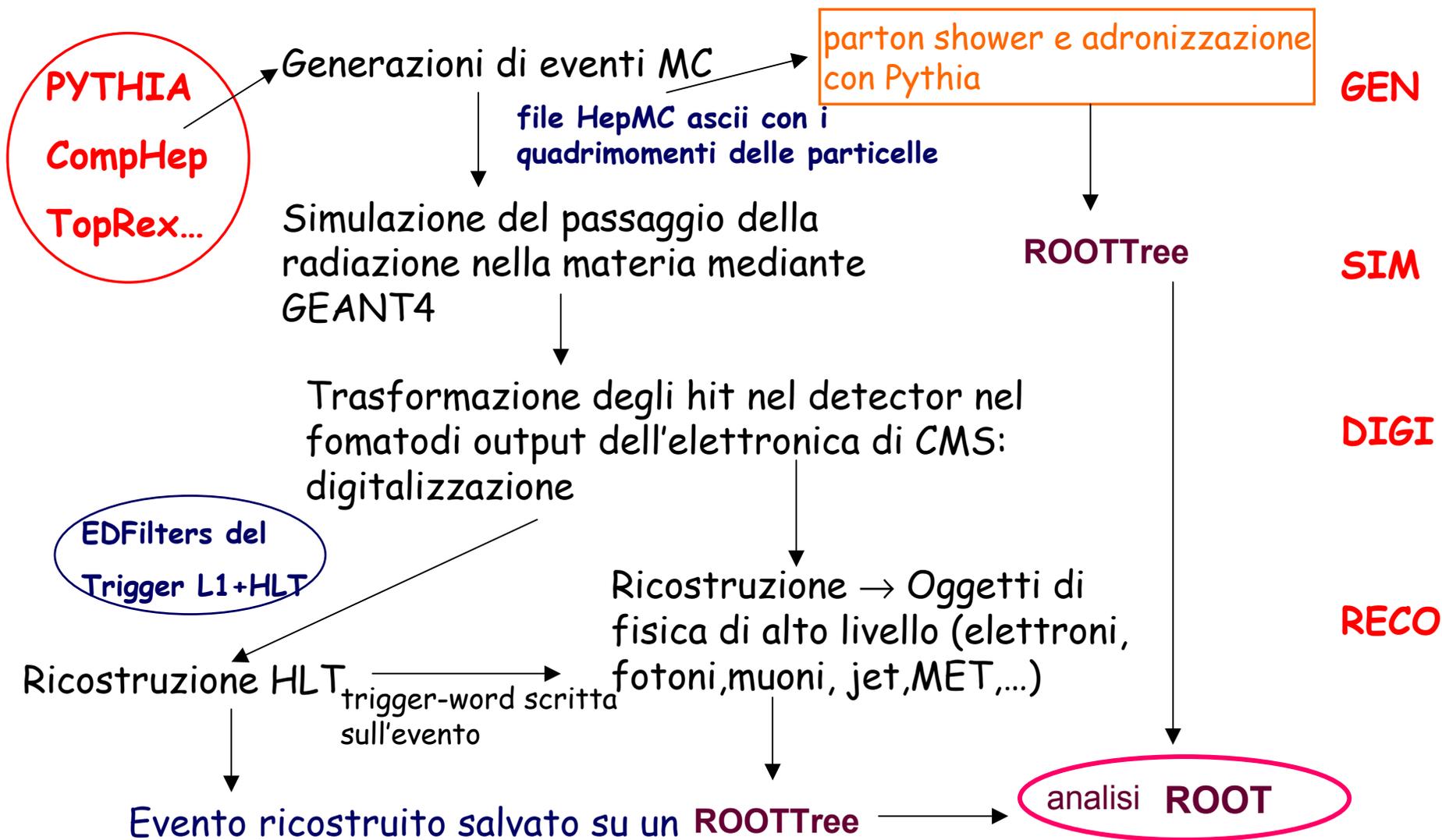
Filtri: controllo del flusso dei dati processati, utilizzati nel trigger

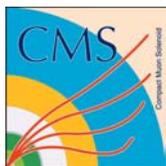
Analyzer: analisi dell'utente (istogrammi e sommari dell'evento)

Input/Output: moduli utilizzati per leggere/scrivere l'evento su supporto permanente

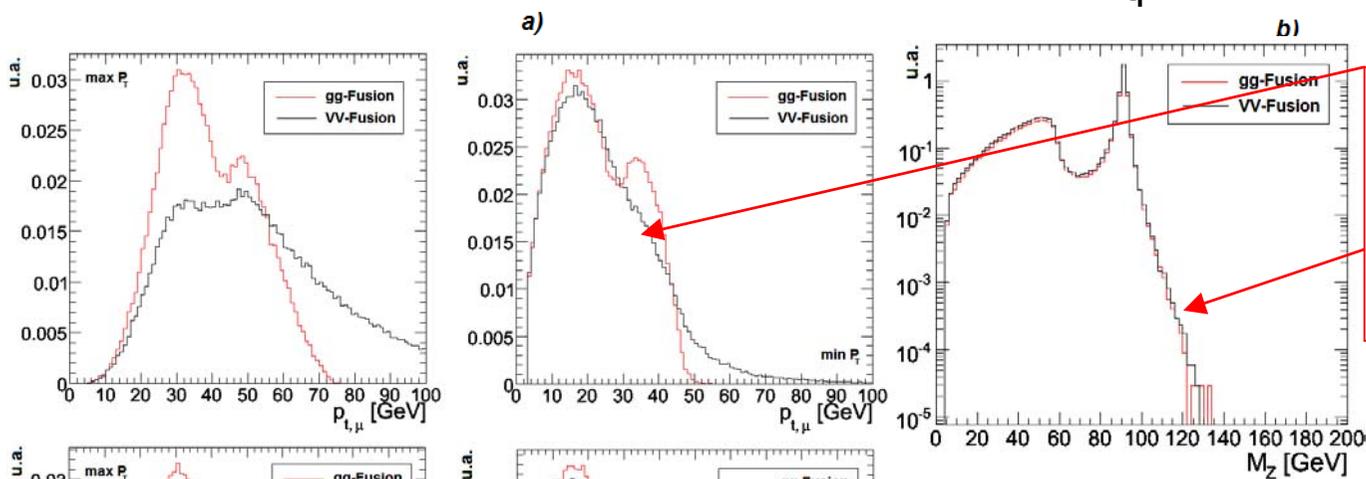
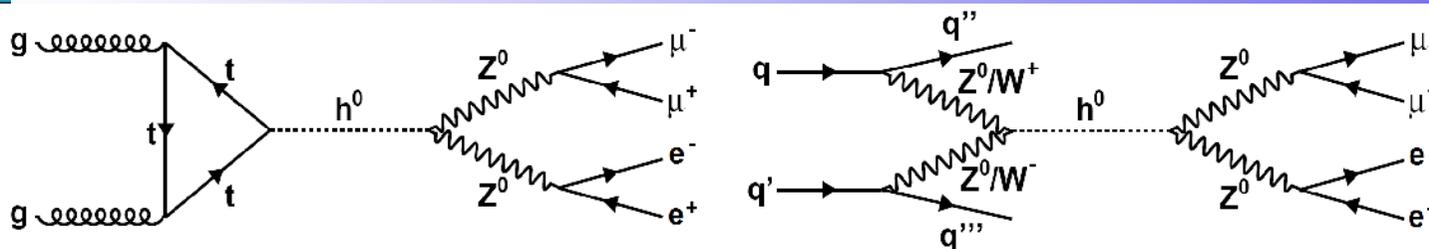


Catena di Simulazione

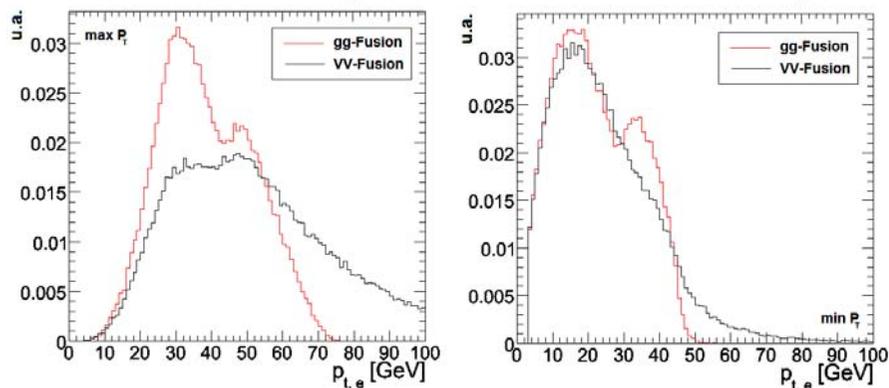




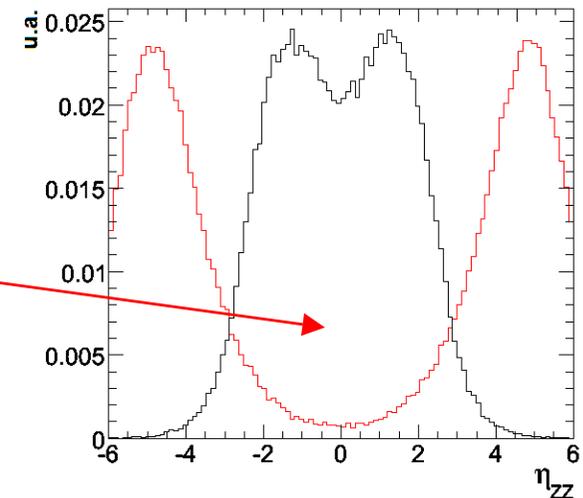
Confronto gg fusion - VV fusion

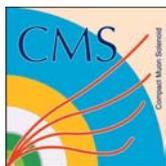


Le discrepanze non sono sufficientemente significative da giustificare analisi separate



Possibile discrimine tra i 2 meccanismi di produzione



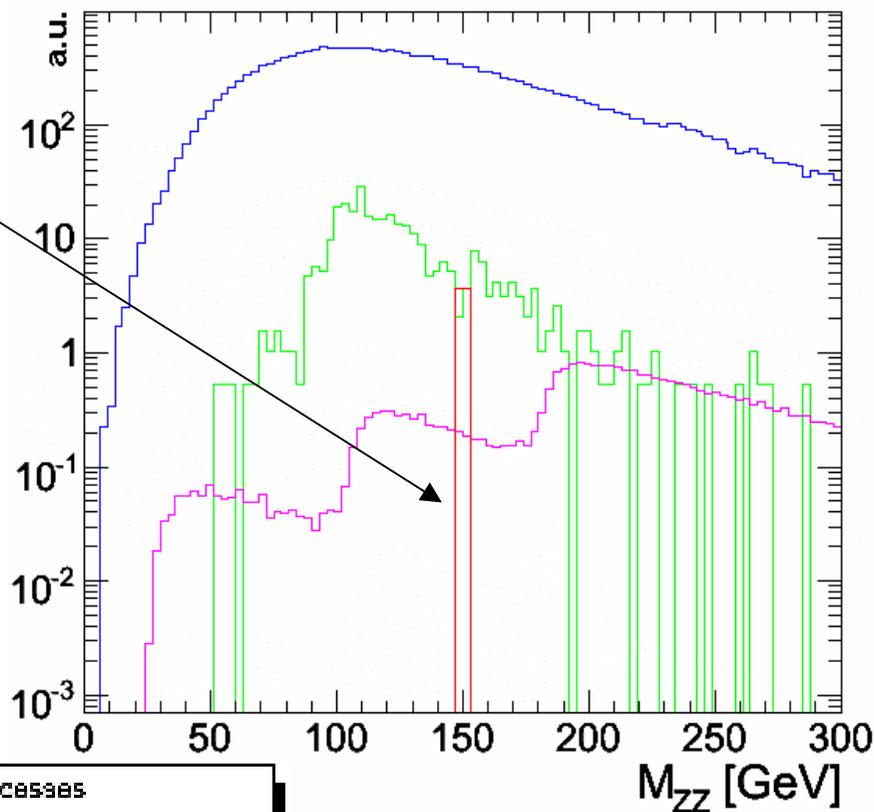
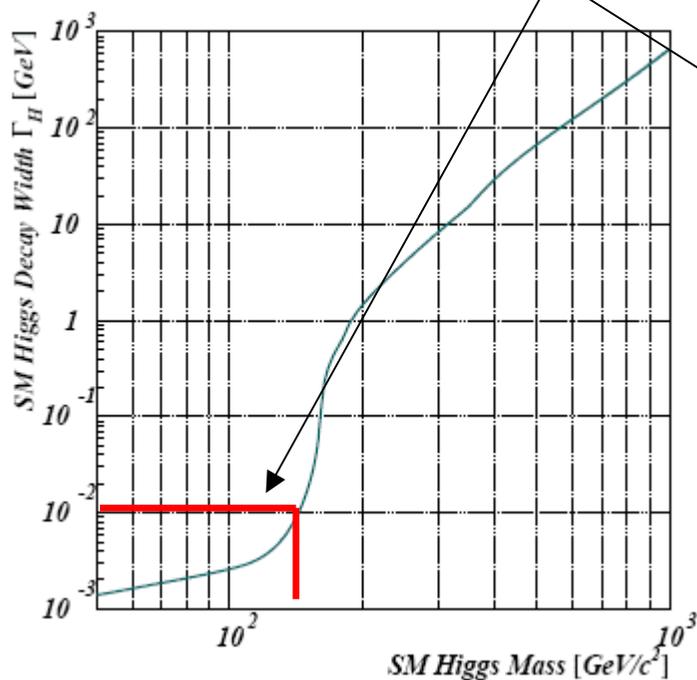


Variabili generate

Massa invariante dei 4 leptoni

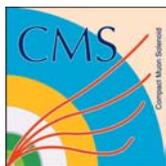
$M(H)=150 \text{ GeV}$

$$\Gamma_H(M_H=150 \text{ GeV}) \sim O(100 \text{ MeV})$$



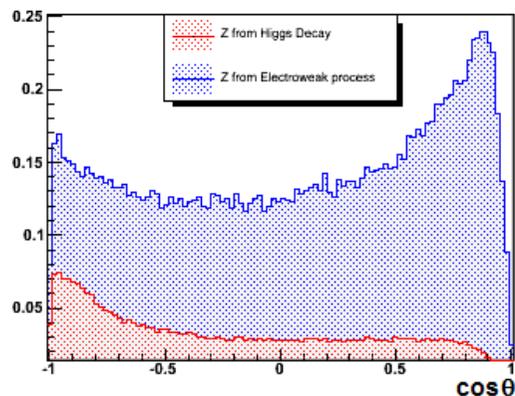
- Processes
- $Zbb2\mu2e$
 - $t\bar{t}2\mu2e$
 - $ZZ2\mu2e$
 - $H150ZZ2\mu2e$

Plot normalizzato alla stessa luminosità integrata

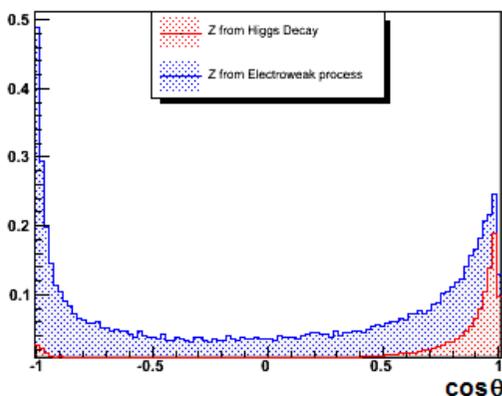


Variabili angolari (Lab)

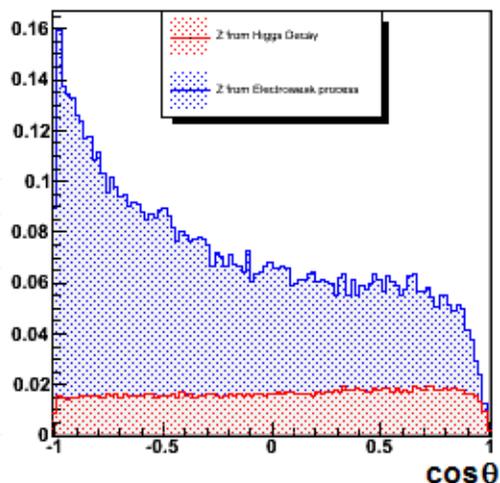
cosine of θ between two μ from a candidate Z



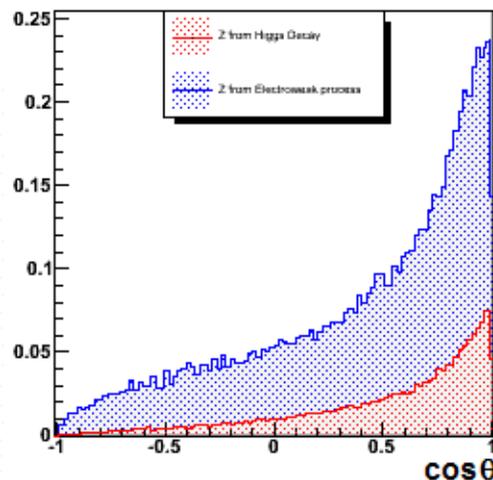
cosine of θ between two candidate Z's



cosine of θ_{\max} between two μ with same charge



cosine of θ_{\min} between two μ with same charge



Variabili angolari considerate:

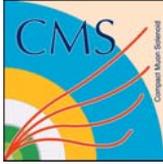
➤ $\Delta\theta(\mu^+\mu^-)$ angolo tra muoni opposite sign

➤ $\Delta\theta(ZZ)$ angolo tra le 2 candidate Z

➤ $\Delta\theta_{\max}(\mu^\pm\mu^\pm)$ angolo maggiore tra muoni opposite sign

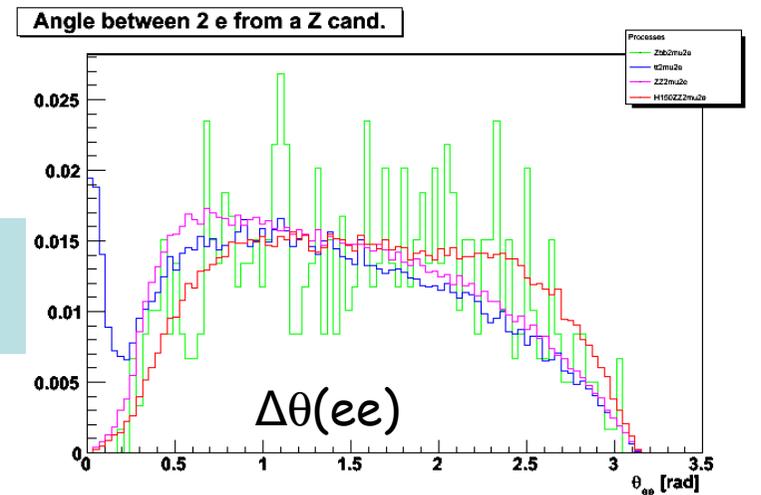
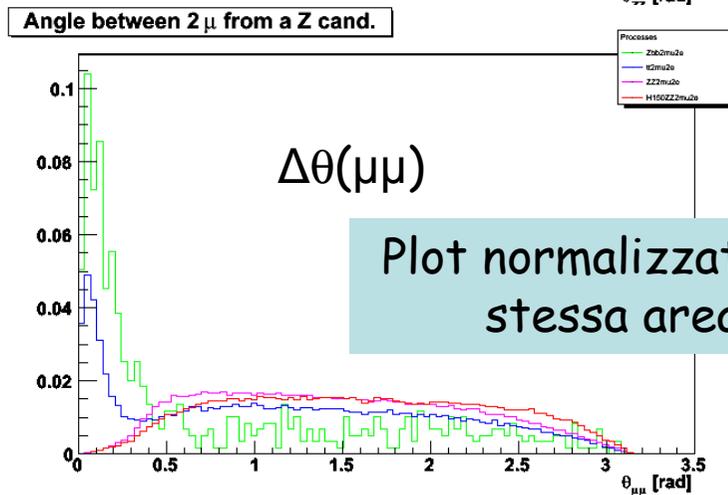
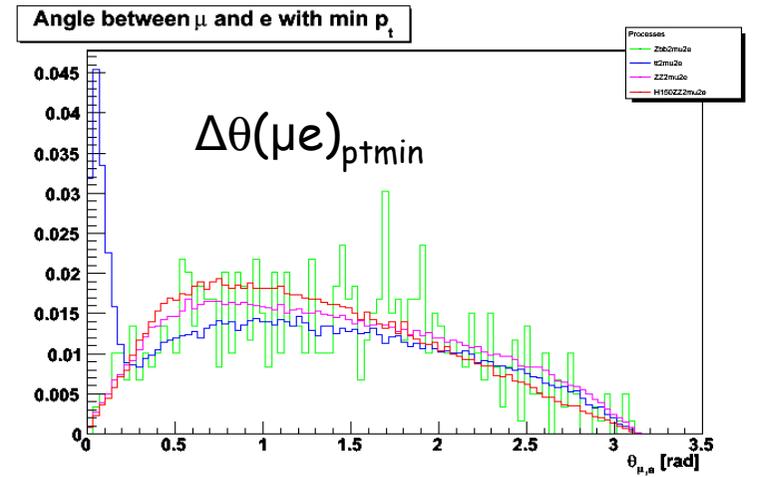
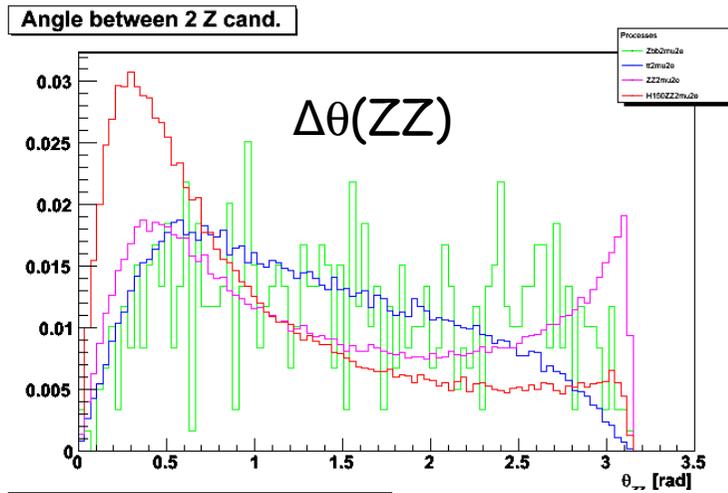
➤ $\Delta\theta_{\min}(\mu^\pm\mu^\pm)$ angolo minore tra muoni like-sign

Le Z sono "ricostruite" a partire dai muoni e non sono stati richiesti ulteriori tagli cinematici rispetto a quelli in generazione

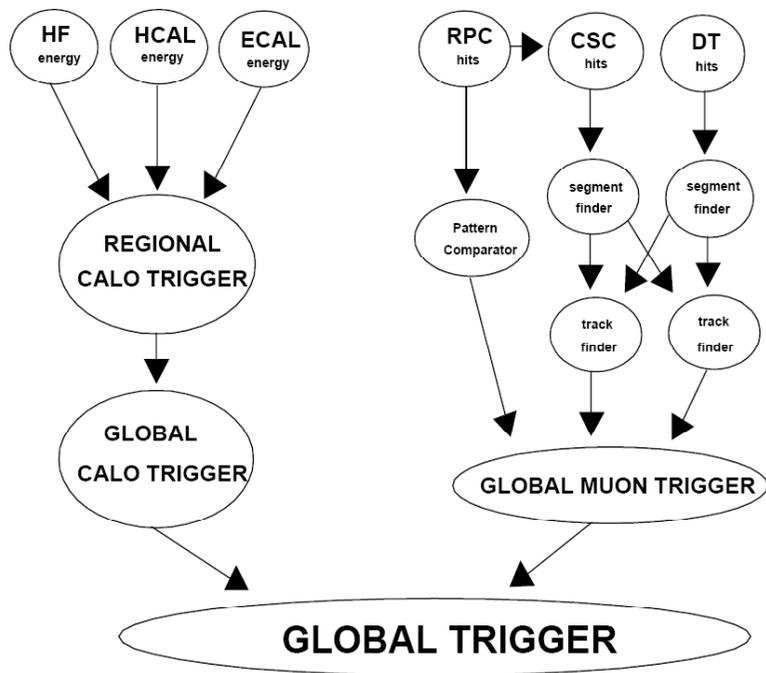


Variabili generate (Angoli)

Distribuzioni normalizzate alla stessa area



Plot normalizzati alla stessa area



Trigger	Threshold (GeV or GeV/c)	Rate (kHz)	Cumulative Rate (kHz)
inclusive isolated electron/photon	29	3.3	3.3
di-electron/di-photon	17	1.3	4.3
inclusive isolated muon	14	2.7	7.0
di-muon	3	0.9	7.9
single τ -jet	86	2.2	10.1
di- τ -jet	59	1.0	10.9
1-jet, 3-jet, 4-jet	177, 86, 70	3.0	12.5
jet * E_T^{miss}	88 * 46	2.3	14.3
electron * τ -jet	19 * 45	0.8	15.1
minimum bias (calibration)		0.9	16.0
TOTAL			16.0