



Relazione fine anno: XXXI Ciclo I Anno

dott. Filippo Errico
Tutor: Anna Colaleo

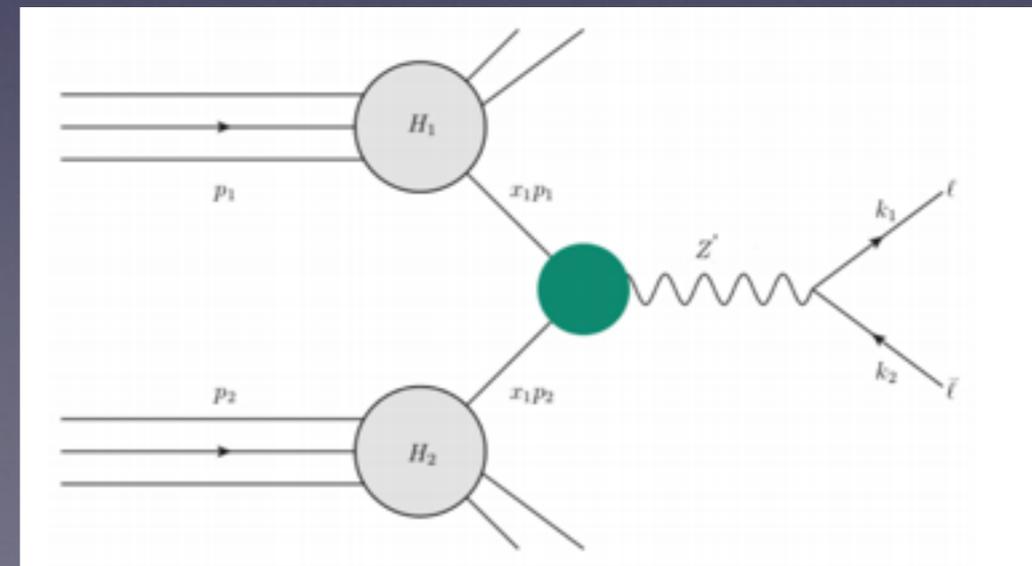


Sommario

- Studi svolti nel primo anno di dottorato
- Organizzazione del lavoro per i successivi anni
- Corsi seguiti ed esami svolti

Ricerca di nuova fisica

- Problematiche legate al Modello Standard:
 - * non include la forza di Gravità
 - * non ha un candidato per la materia oscura
 - * neutrini senza massa
 - * costanti di accoppiamento non convergenti ad alte energie $O(10^{16} \text{ GeV})$
- Molti modelli teorici cercano di risolvere queste problematiche. Di particolare successo sono:
 - ♦ Supersimmetrie (SUSY)
 - ♦ Teoria della Grande Unificazione (GUT)
 - ♦ Warped Extra Dimensions (WED)
 - ♦ Sequential Standard Model (SSM)
- All'interno di questi modelli si introducono nuovi bosoni sia neutri che carichi. In particolare nel corso del primo anno di dottorato mi sono occupato della ricerca del bosone neutro Z' .



Ricerca del bosone Z'

Ricerca del bosone Z' nel canale dimuonico con il detector CMS ad LHC:

$$Z' \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

- Ricostruzione del bosone a partire da due muoni; ogni muone deve aver superato la selezione cioè deve avere le seguenti caratteristiche:
 - ★ informazione dal Tracker e dal Sistema a muoni
 - ★ l'impulso trasverso (p_T) > 53 GeV/c
 - ★ la distanza della traccia dal vertice primario < 0.2 cm
 - ★ isolamento < 0.1 (rapporto fra la somma dei p_T delle tracce contenute in cono di raggio 0.3 cm e il p_T del muone)
 - ★ almeno un hit nel sistema a Pixel e almeno 6 hits nell'intero Tracker
 - ★ informazioni da almeno due stazioni del sistema a muoni
 - ★ errore relativo sul p_T ($\delta p_T / p_T$) < 0.3
- Per la coppia di muoni si richiede che:
 - * il vertice primario abbia $|r| < 2$ cm e $|z| < 24$ cm rispetto al punto di interazione e un χ^2 di ricostruzione < 20
 - * l'angolo fra i due muoni deve essere $< \pi - 0.02$ rad

Ricerca del bosone Z'

Ricerca del bosone Z' nel canale

Selezione del muone consigliata per ottenere la migliore efficienza di ricostruzione

- Ricostruzione del bosone Z' che, per aver superato la selezione cioè deve avere le seguenti caratteristiche:
 - ★ informazione dal Tracker e dal Sistema a muoni
 - ★ l'impulso trasverso (p_T) > 53 GeV/c
 - ★ la distanza della traccia dal vertice primario < 0.2 cm
 - ★ isolamento < 0.1 (rapporto fra la somma dei p_T delle tracce contenute in cono di raggio 0.3 cm e il p_T del muone)
 - ★ almeno un hit nel sistema a Pixel e almeno 6 hits nell'intero Tracker
 - ★ informazioni da almeno due stazioni del sistema a muoni
 - ★ errore relativo sul p_T ($\delta p_T / p_T$) < 0.3
- Per la coppia di muoni si richiede che:
 - * il vertice primario abbia $|r| < 2$ cm e $|z| < 24$ cm rispetto al punto di interazione e un χ^2 di ricostruzione < 20
 - * l'angolo fra i due muoni deve essere $< \pi - 0.02$ rad

Ricerca del bosone Z'

Ricerca del bosone Z' nel canale dimuonico con il detector CMS ad LHC:

$$Z' \rightarrow \mu^+ \mu^-$$

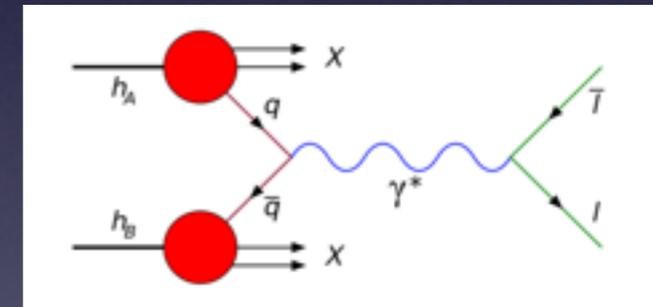
- Ricostruzione del bosone a partire da due muoni; ogni muone deve aver superato la selezione cioè deve avere le seguenti caratteristiche:
 - ★ informazione dal Tracker e dal Sistema a muoni
 - ★ l'impulso trasverso (p_T) > 53 GeV/c
 - ★ la distanza della traccia dal vertice primario < 0.2 cm
 - ★ isolamento < 0.1 (rapporto fra la somma dei p_T delle altre tracce nel raggio 0.3 cm e il p_T del muone)
 - ★ almeno un hit nel sistema a Pixel e almeno 6 hits nel sistema a strip
 - ★ informazioni da almeno due stazioni del sistema a muoni
 - ★ errore relativo sul p_T ($\delta p_T / p_T$) < 0.3
- Per la coppia di muoni si richiede che:
 - ★ il vertice primario abbia $|r| < 2$ cm e $|z| < 24$ cm rispetto al punto di interazione e un χ^2 di ricostruzione < 20
 - ★ l'angolo fra i due muoni deve essere $< \pi - 0.02$ rad

Per il ridurre il fondo dovuto ai raggi cosmici

Ricerca del bosone Z'

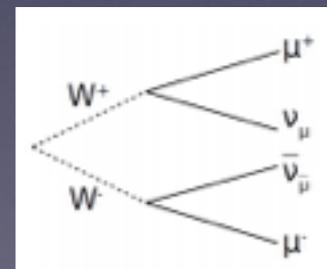
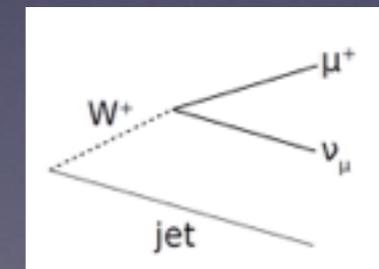
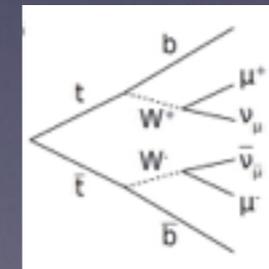
- Analisi dell'efficienza della selezione:
 - $N - 1$ plots \rightarrow efficienza misurata come rapporto fra il numero degli eventi che superano tutta la selezione e il numero degli eventi che superano tutta la selezione tranne il taglio che si vuole studiare.
- Analisi effettuata usando i dati raccolti nella prima metà del 2016 a 13 TeV: RunB, C e D pari a 6.3 fb^{-1} (**Analysis Note - CMS EXO-16-031**)
- Finalizzazione in corso dell'analisi con l'intera statistica del 2016. (Nota in preparazione)

- Le simulazioni Monte Carlo usate sono:
 - ★ DrellYan con massa da 50 a $6000 \text{ GeV}/c^2$
 - ★ Eventi di decadimento leptonic di top-antitop
 - ★ Eventi tipo Diboson: ZZ, WZ e WW
 - ★ W + jets, W + top e W + antitop
 - ★ QCD

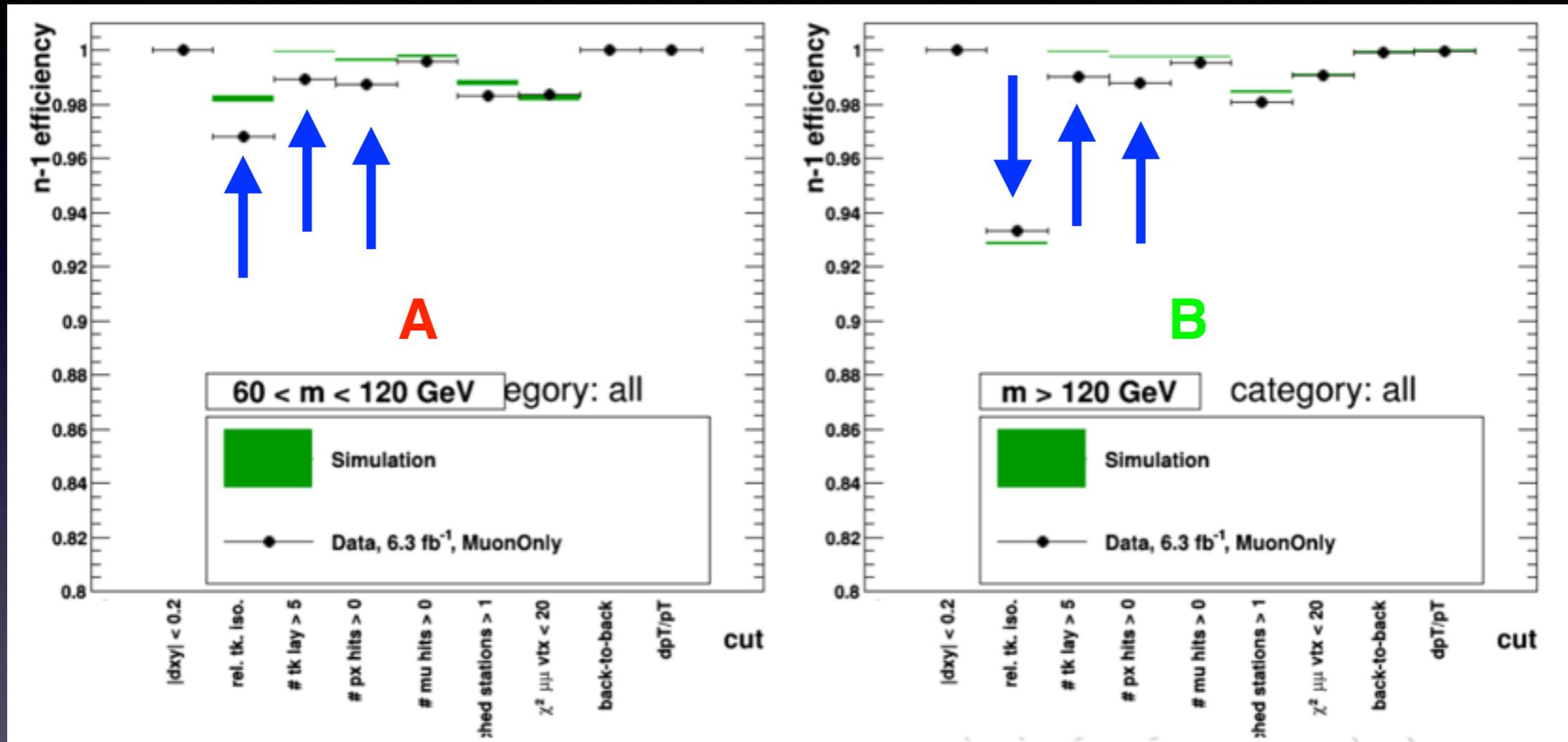


- Analisi svolta in due regioni di massa indipendenti:

- A. $60 < \text{massa} < 120 \text{ GeV}/c^2$ (regione intorno al picco del bosone Z)
- B. $\text{massa} > 120 \text{ GeV}/c^2$ (regione con massa superiore al picco della Z)



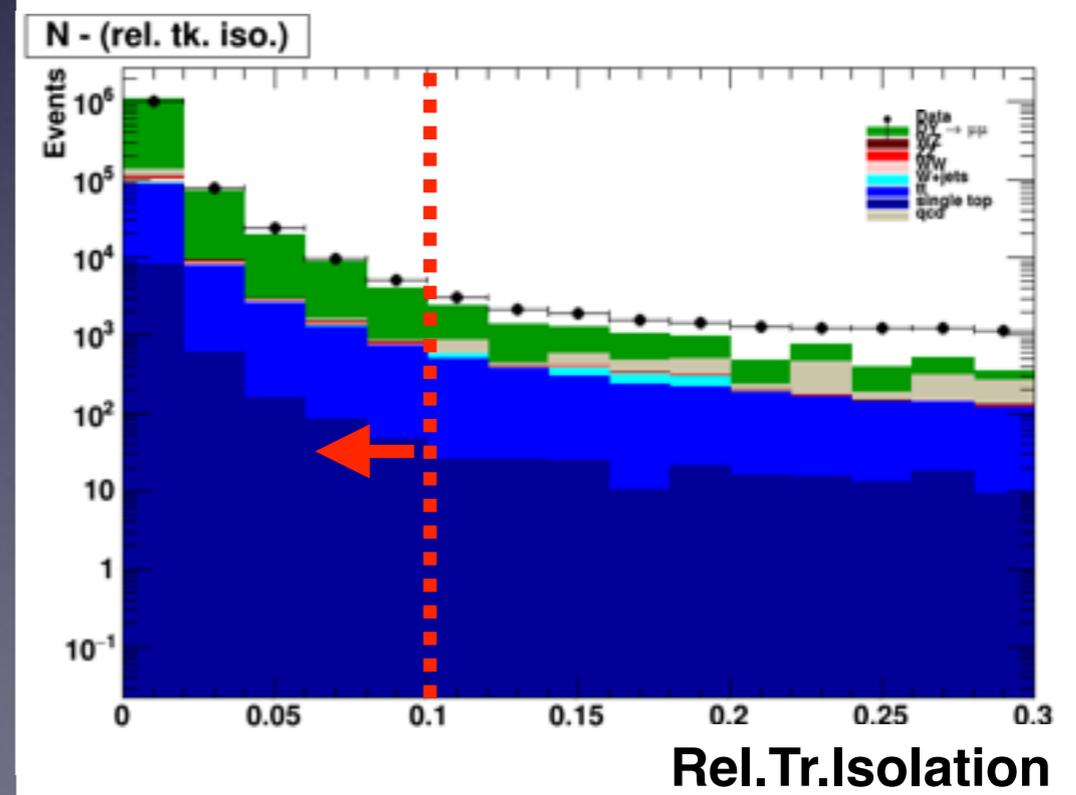
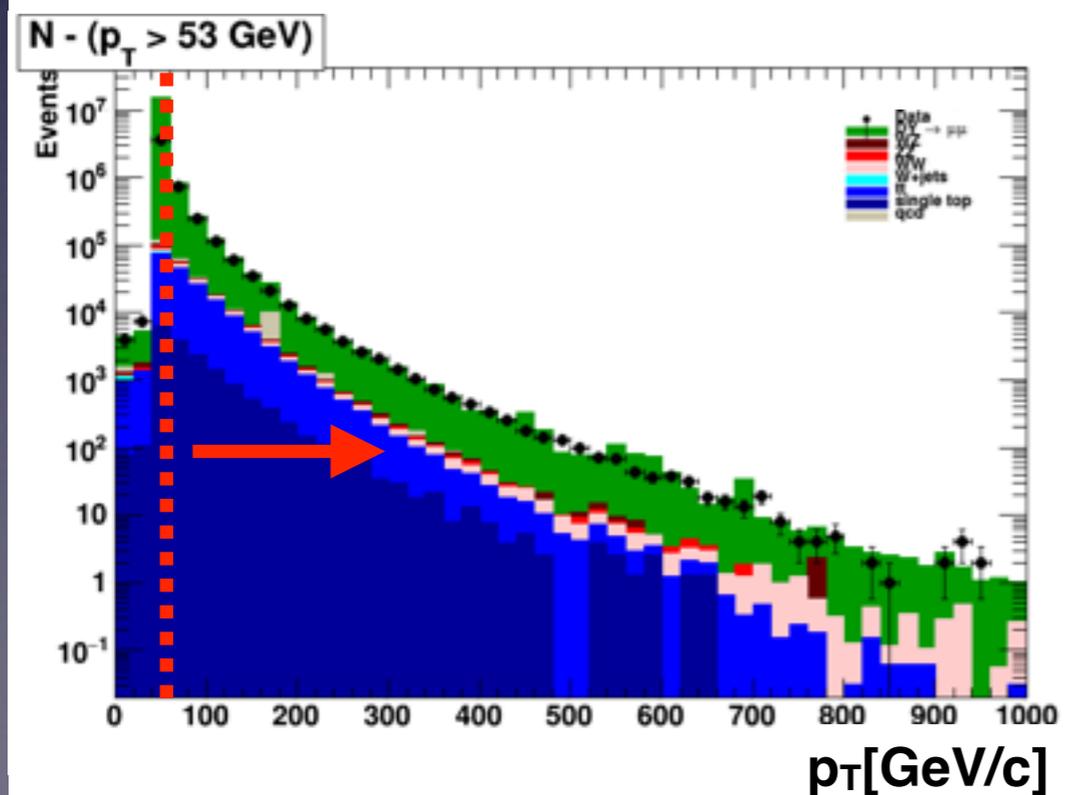
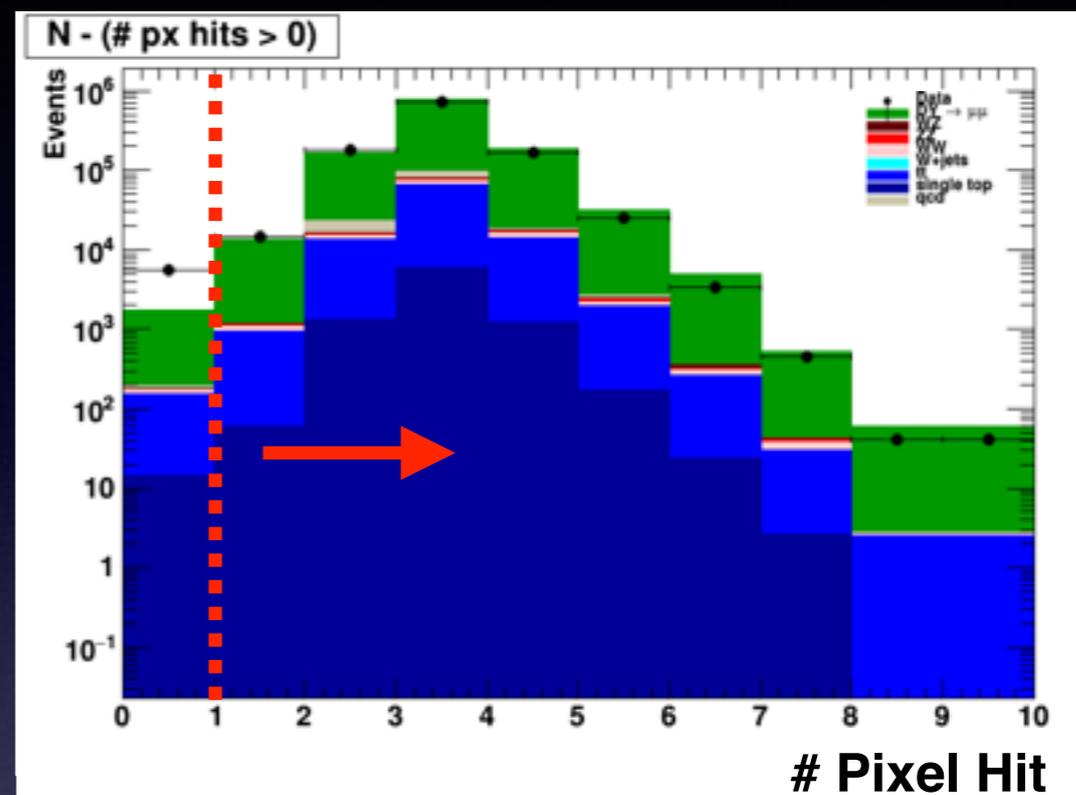
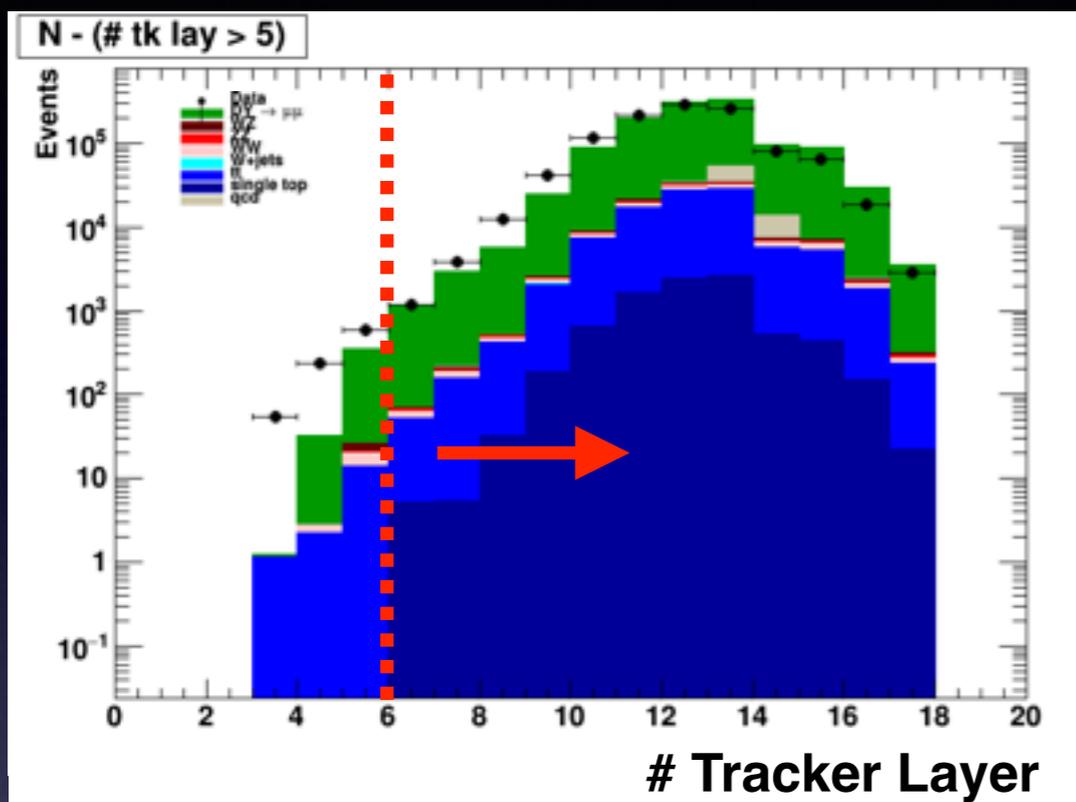
N-1 plots



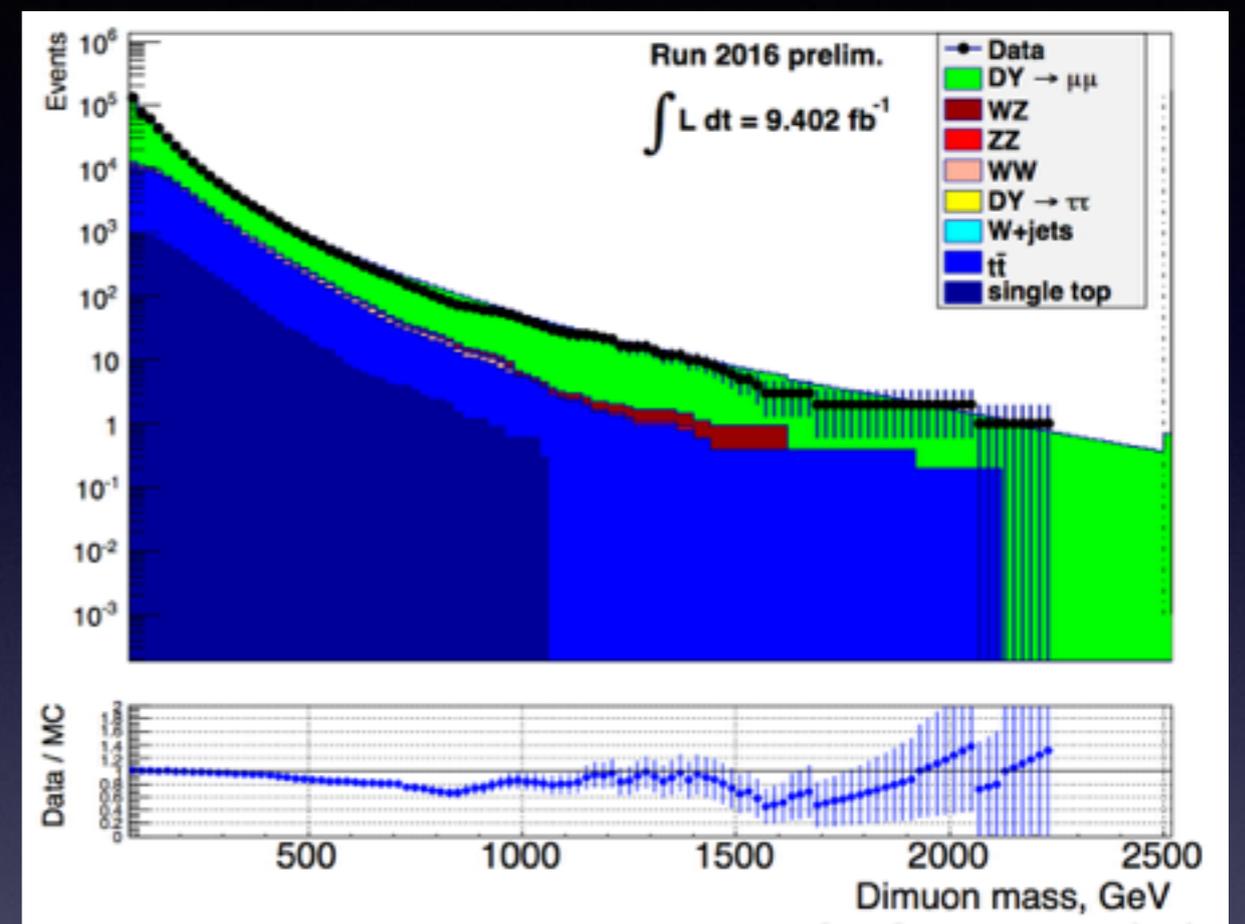
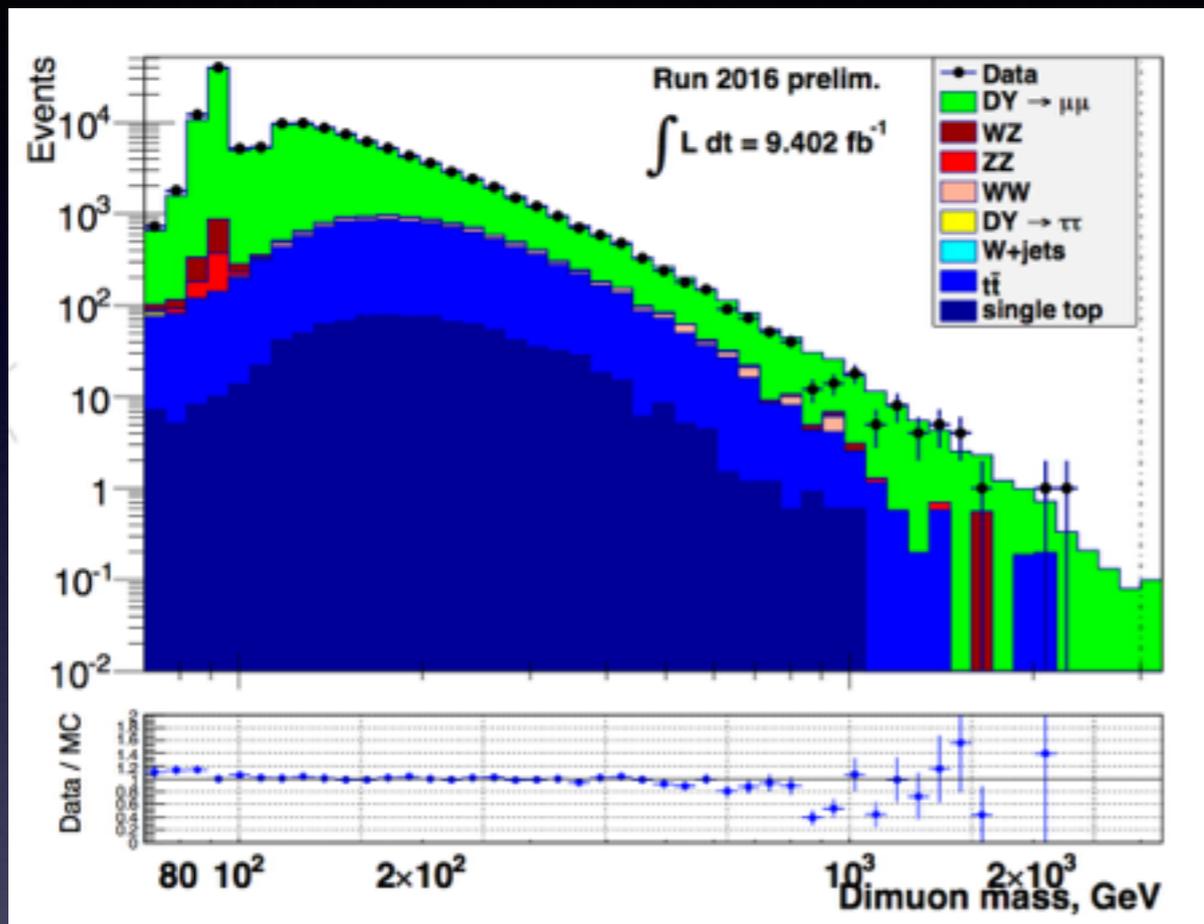
Buon accordo dati / Montecarlo ad eccezione dell'isolamento (noto) e dei tagli sul tracker (problema dovuto alle particelle altamente ionizzanti che rendevano inefficiente il detector con il loro rilascio di carica: problema risolto a partire dal RunG).

- A. Regione intorno al picco del bosone Z)
- B. Regione con massa superiore al picco della Z) 8

Distribuzioni N - 1



Distribuzione di Massa



**Buon accordo Dati -
Monte Carlo**

Distribuzione integrata della massa invariante del sistema dimuonico: asse Y numero di eventi per cui la massa è maggiore del rispettivo valore sull'asse X

N - 1 plots: categorie

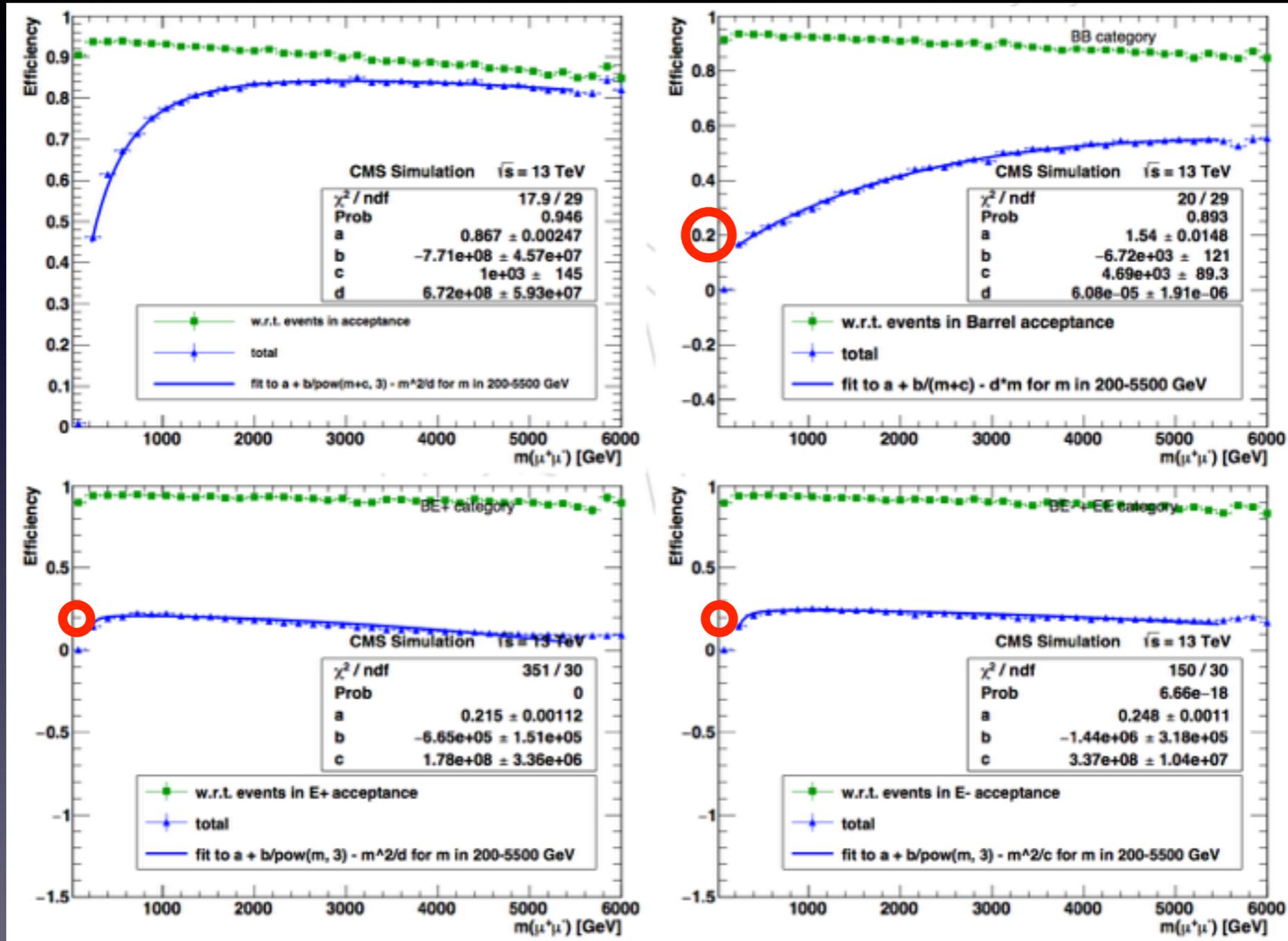
Al fine di aumentare l'efficienza di selezione ed isolare problemi o errori di misura che inficerebbero l'analisi, si è scelto di eseguire l'analisi in tre regioni di pseudorapidità ($\eta = -\log(\tan(\theta))$).

Regioni di η in cui si è suddivisa l'analisi:

- eventi con entrambi i muoni nella parte centrale (Barrel) ($|\eta| < 1.2$): **BB**
- eventi con almeno un muone nel tappo (Endcap) negativo ($-2.4 < \eta < -1.2$): **E-**
- eventi con almeno un muone nell'Endcap positivo se il secondo non è in quello negativo ($1.2 < \eta < 2.4$): **E+**

Questa particolare suddivisione è stata dettata dal voler isolare la regione BB dalle regioni E affette da problemi di allineamento.

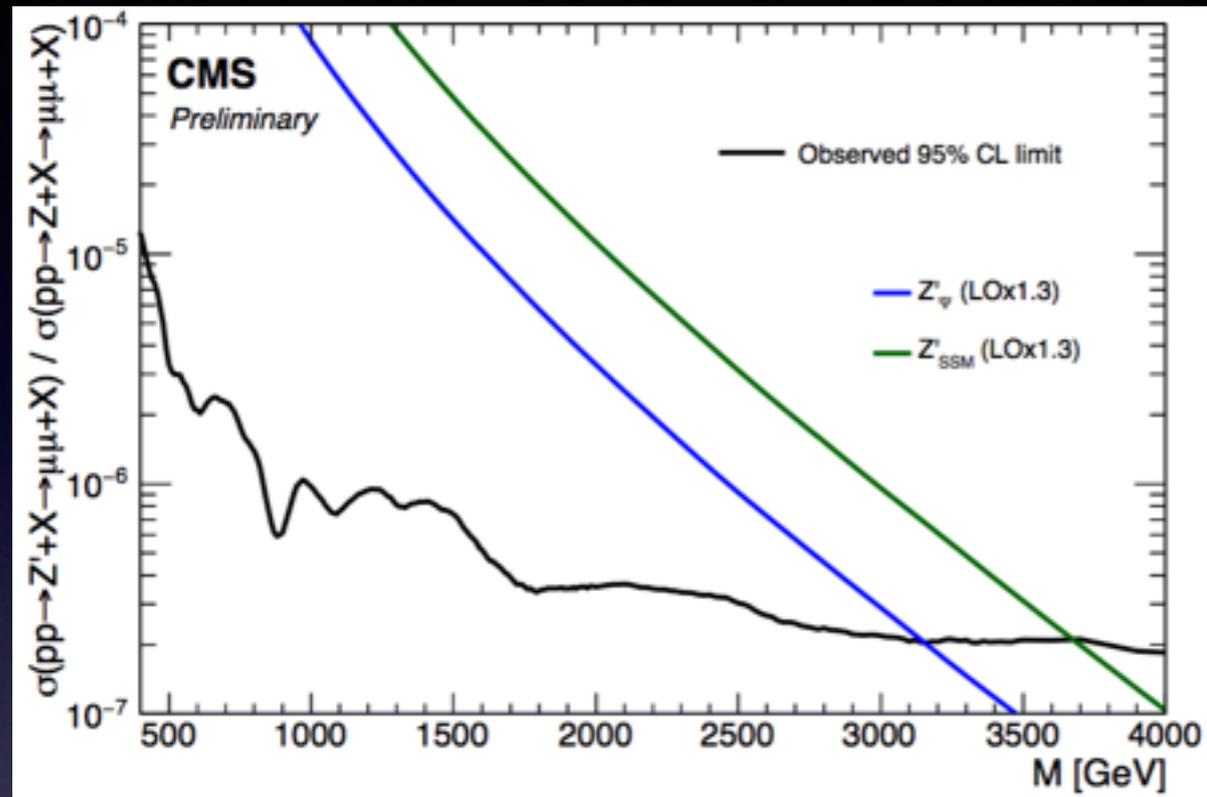
Efficienza globale



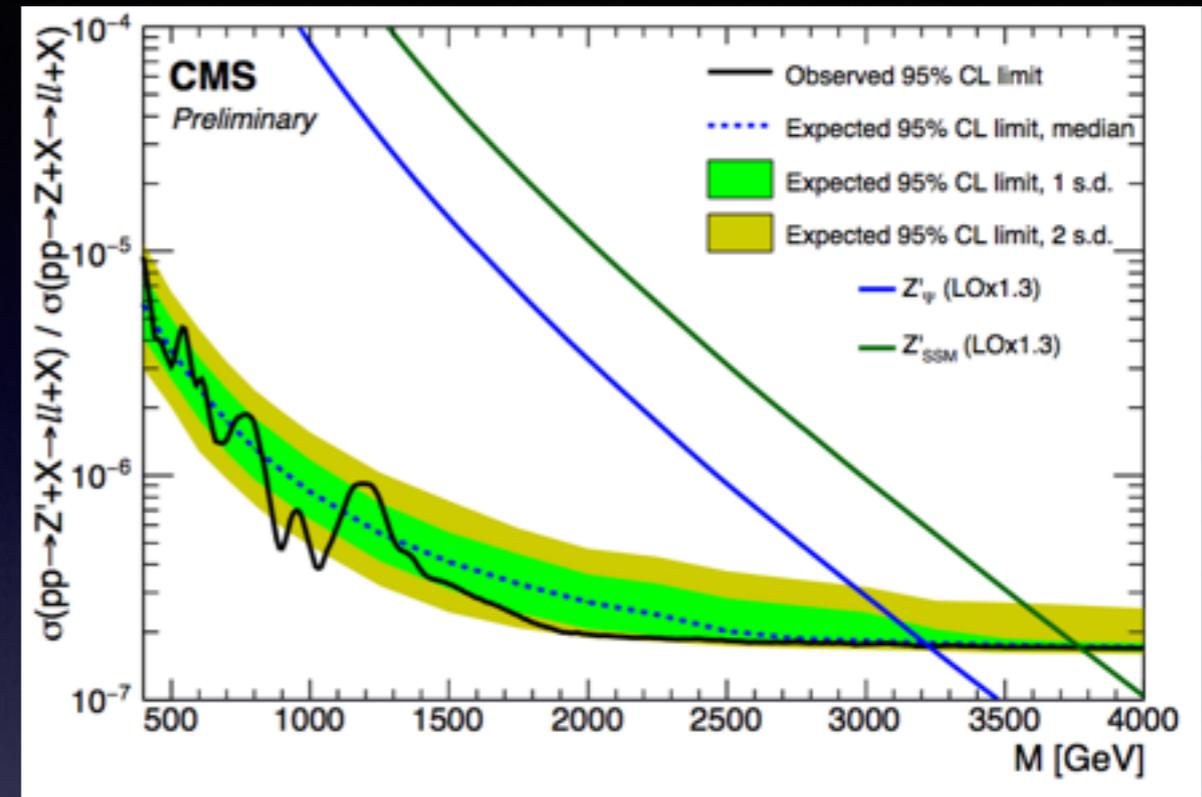
Efficienza di selezione

Efficienza di selezione x accettazione

Limiti di esclusione



Limiti di esclusione per il canale
 $Z' \rightarrow \mu\mu^+$



Limiti di esclusione combinando i
 canali
 $Z' \rightarrow \mu\mu^+$ e $Z' \rightarrow e e^+$

I limiti escludono una Z'_ψ (modello GUT) con massa minore di 3.3 TeV e una Z'_{SSM} con massa minore di 3.8 TeV.

Questi limiti superano quelli ottenuti con i dati del 2015: 2.60 TeV per la Z'_ψ e 3.15 TeV per la Z'_{SSM}

Piano per i prossimi anni

- Estensione dell'analisi a tutto il dataset del 2016
- Studio degli errori sistematici
- Estrapolazione dei limiti in previsione delle prossime conferenze invernali
- Studio di muoni prodotti, lontano dal vertice di interazione primario, dal decadimento di particelle massive con lunga vita media [$O(\text{ns} - \text{ps})$] previste in modelli oltre il Modello Standard (SUSY e WED).

Corsi seguiti ed esami

Nome	Corsi seguiti	
	Crediti	Esito
Management and knowledge of European research model and promotion of research results	2	Superato
How to prepare a technical speech in English	2	Superato
Python course	2	Superato
Standard model and beyond	2	Superato
Experimental Data Analysis and Comparisons to Theoretical Models	2	consegnato
Innovative Particle detectors	2	Superato
Fundamentals in advanced programming	4	consegnato
Gaseous Detectors	2	(15/12/2016)

Publicazioni e conferenze

Analysis Note:

- ★ “*Search for High-Mass Resonances Decaying to Muon Pairs in pp Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with 2016 data.*” The Zprime-dileptons Group, CMS AN- 2016/197

Publicazioni:

1. “*Physics Studies for the CMS muon system upgrade with triple-GEM detectors*”, NIMA, Volume 824, 11 Luglio 2016, Pagine 521-525.
2. “*Fiber Bragg Grating (FBG) sensors as flatness and mechanical stretching sensors*”, NIMA, Volume 824, 11 Luglio 2016, Pagine 493-495.
3. “*Development and performance of triple-gem detectors for the upgrade of the muon system of the CMS experiment*”, Nuovo Cimento della Societa` Italiana di Fisica C, Volume 39, Issue 1, Gennaio- Febbraio 2016.
4. “*Impact of the GE1/1 upgrade on CMS muon system performance*” Nuovo Cimento della Societa` Italiana di Fisica C, Volume 39, Issue 1, Gennaio- Febbraio 2016.
5. “*Design of a constant fraction discriminator for the VFAT3 front-end ASIC of the CMS GEM detector*”, Journal of Instrumentation, Volume 11, Issue 1, 14 Gennaio 2016.
6. “*Physics motivations and expected performance of the CMS muon system upgrade with triple-GEM detectors*” [CMS Collaboration]. The European Physical Society Conference on High Energy Physics - Vienna 22-29 July 2015.

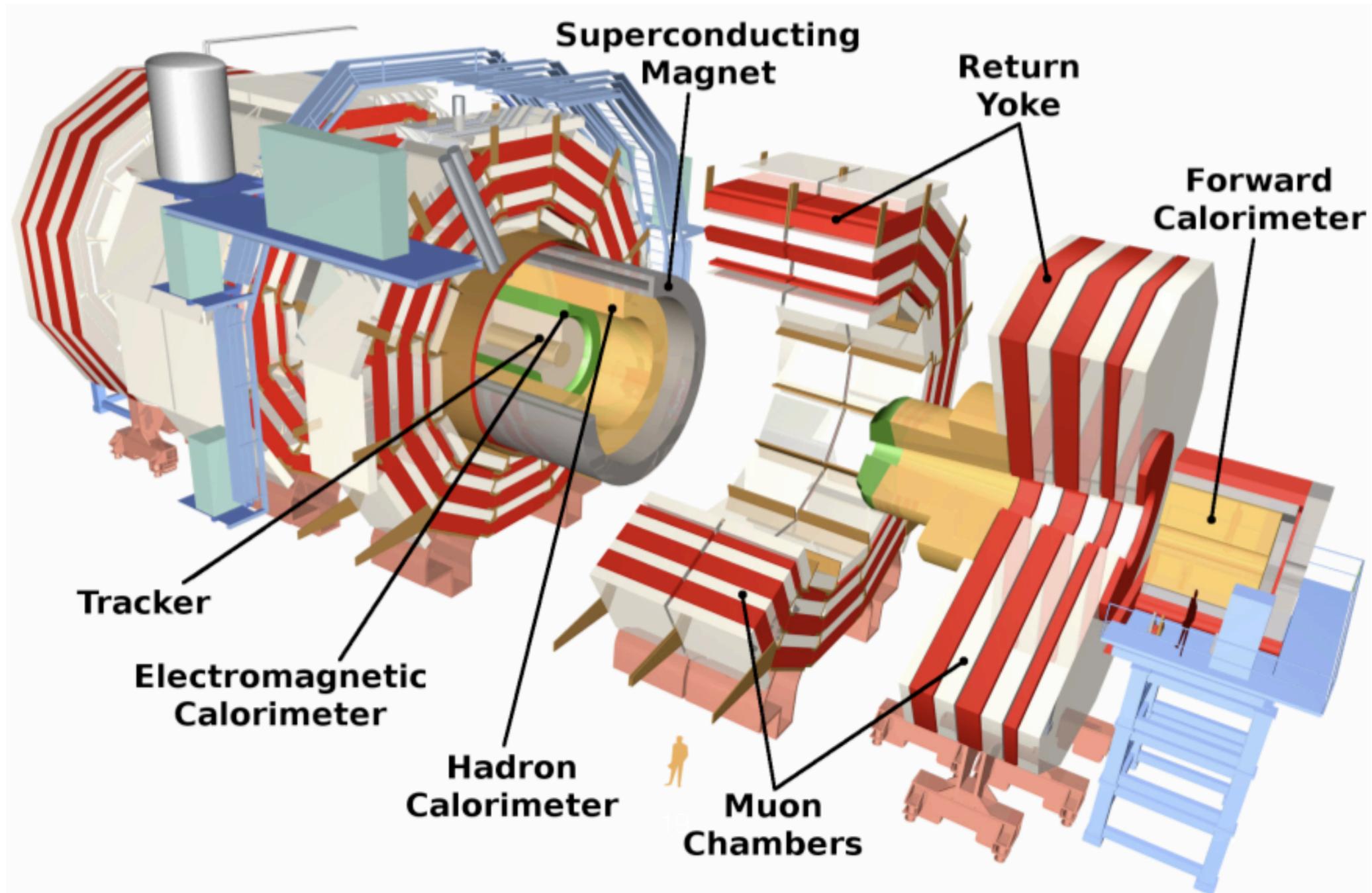
Conferenze:

- “Giornate di Studio sul Piano Triennale”, 3 - 4 Dicembre 2015, Catania
- VII Workshop LCHpp Italia, 15 - 18 Maggio 2016, Pisa
- XXVIII Scuola di Otranto, 4 - 11 Giugno 2015, Otranto

Grazie per l'attenzione

Backup

CMS Detector



Analisi statistica

Esistenza o assenza di segnale stabili con il metodo della Unbinned Maximum Likelihood.

Risultati interpretati in funzione rapporto delle sezioni d'urto:

$$R_{\sigma} = \frac{\sigma(\text{pp} \rightarrow Z' + X \rightarrow \mu^+ \mu^- + X)}{\sigma(\text{pp} \rightarrow Z + X \rightarrow \mu^+ \mu^- + X)} = \frac{N(Z' \rightarrow \mu^+ \mu^-)}{N(Z \rightarrow \mu^+ \mu^-)} \times \frac{A(Z \rightarrow \mu^+ \mu^-)}{A(Z' \rightarrow \mu^+ \mu^-)} \times \frac{\epsilon(Z \rightarrow \mu^+ \mu^-)}{\epsilon(Z' \rightarrow \mu^+ \mu^-)}$$

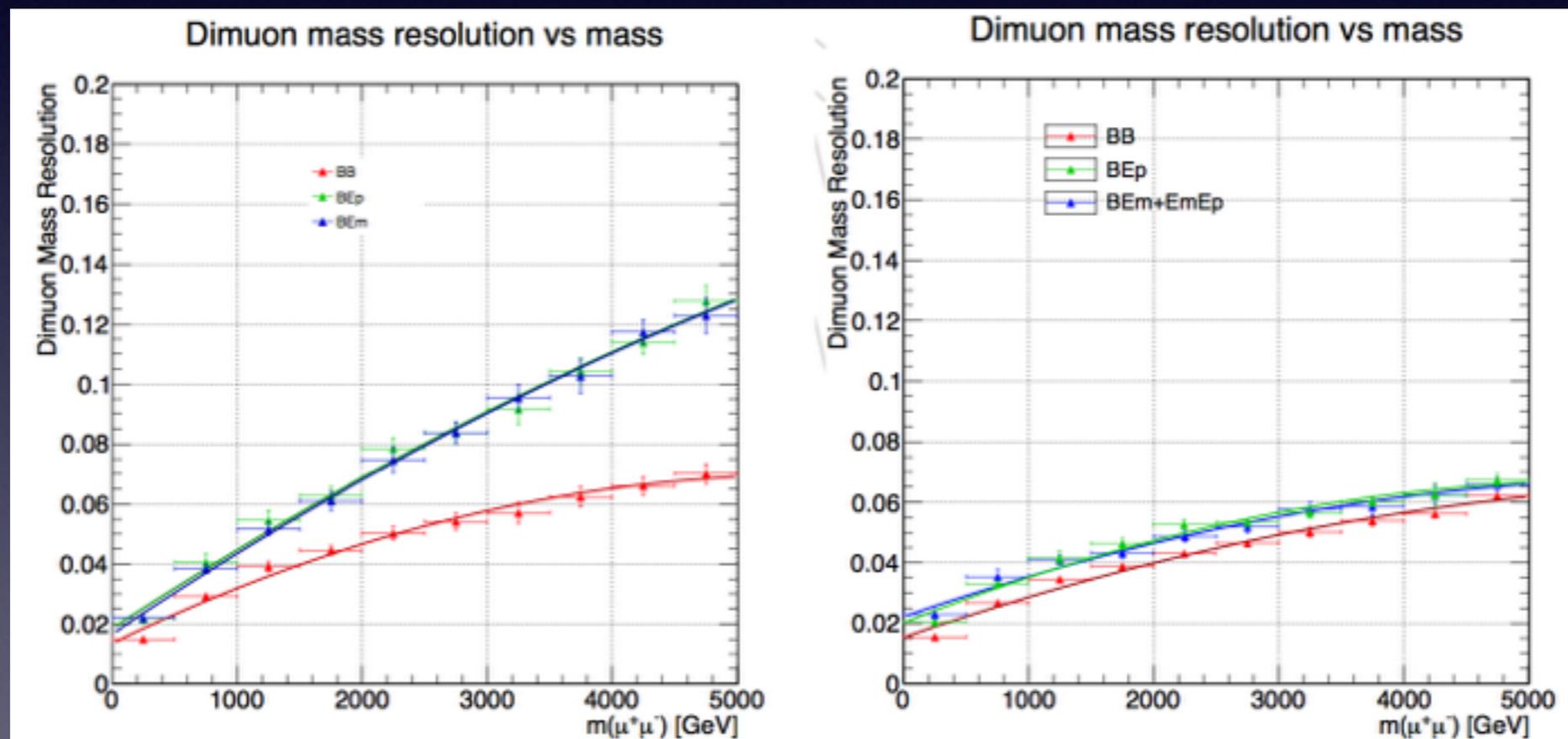
In questo modo tutti i termini indipendenti dalla massa si cancellano.

Il **segnale** viene parametrizzato come la convoluzione di una Breit - Wigner e di una Crystal Ball (descrive bene la coda da Bremsstrahlung dei muoni)

Il **fondo** invece è stato stimato approssimando la distribuzione della massa invariante del sistema dimuonico.

Risoluzione della massa

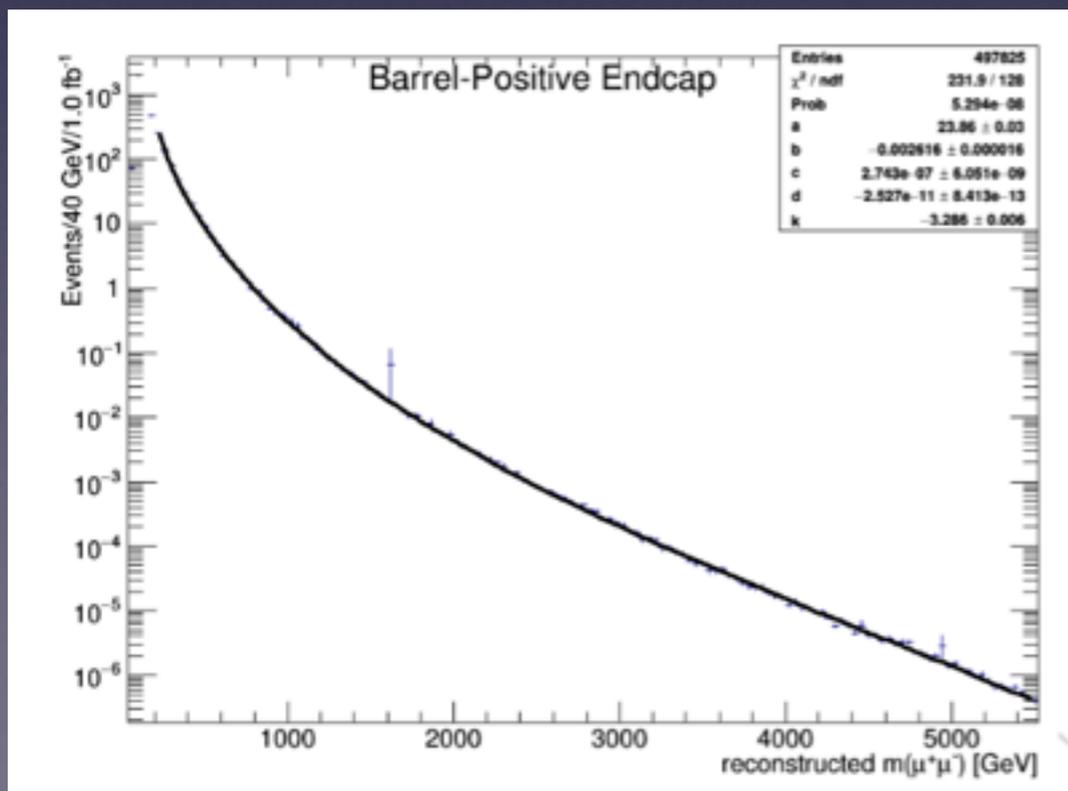
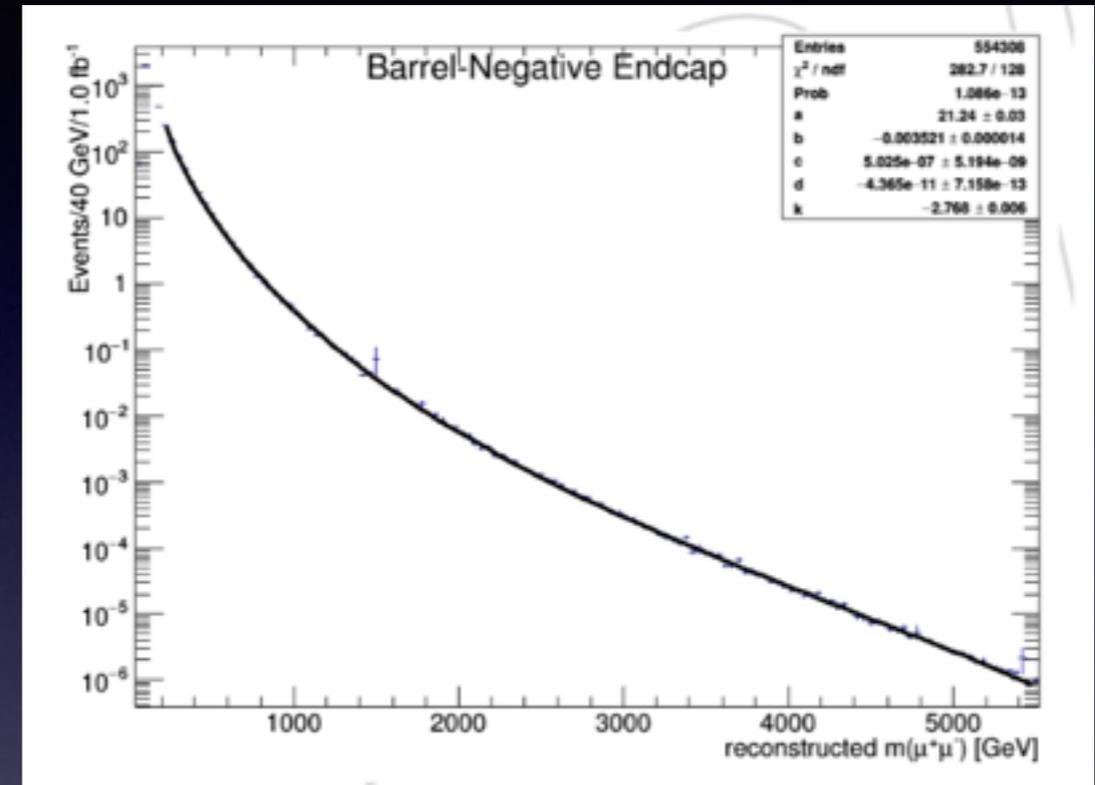
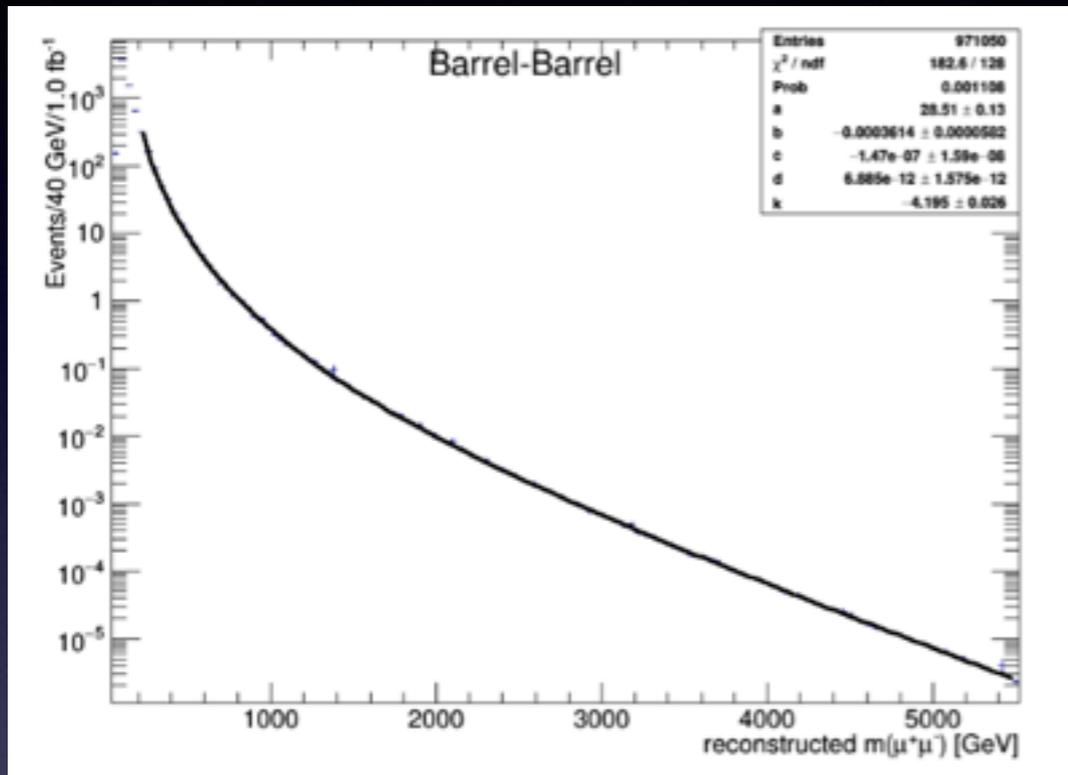
Definita come la deviazione standard della Crystal-Ball diviso il suo valore più probabile.



Parametrizzata con una polinomiale del secondo ordine:

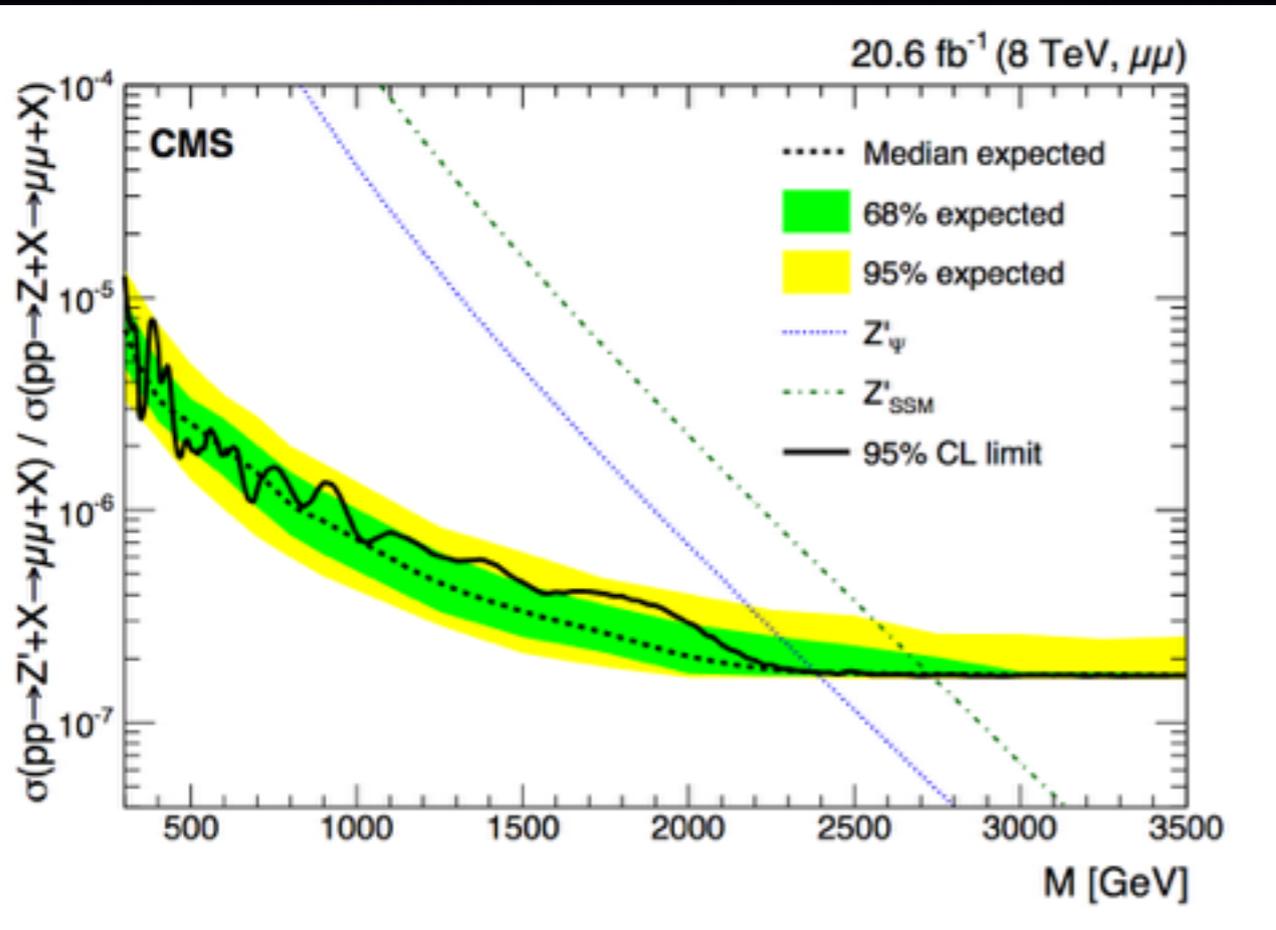
$$\sigma = a + b \times m + c \times m^2$$

Fit del fondo

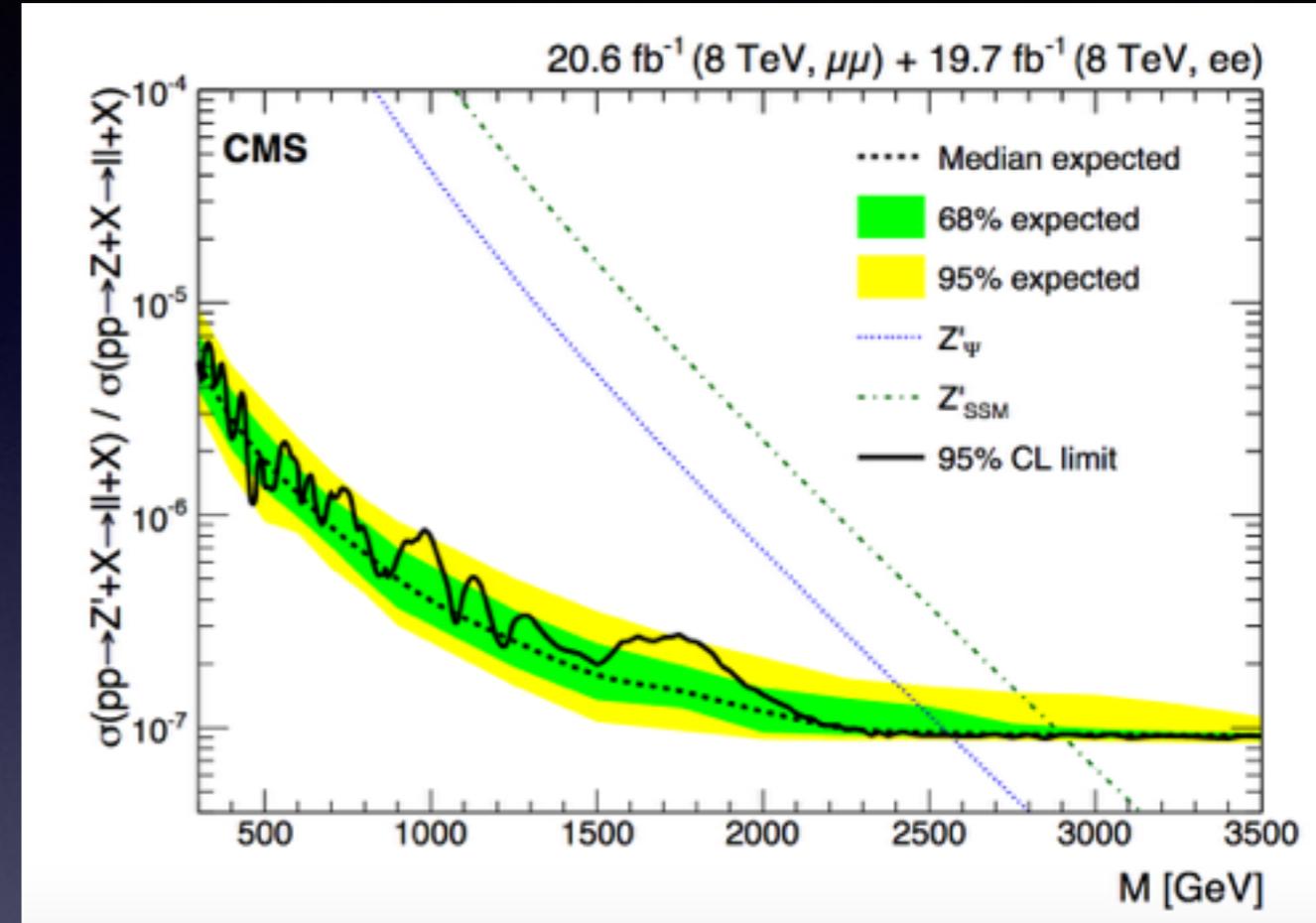


$$f_{bkg}(m | a, b, c, d, k) = e^{a+b \times m + c \times m^2 + d \times m^3} m^k.$$

Limiti con dati 2015

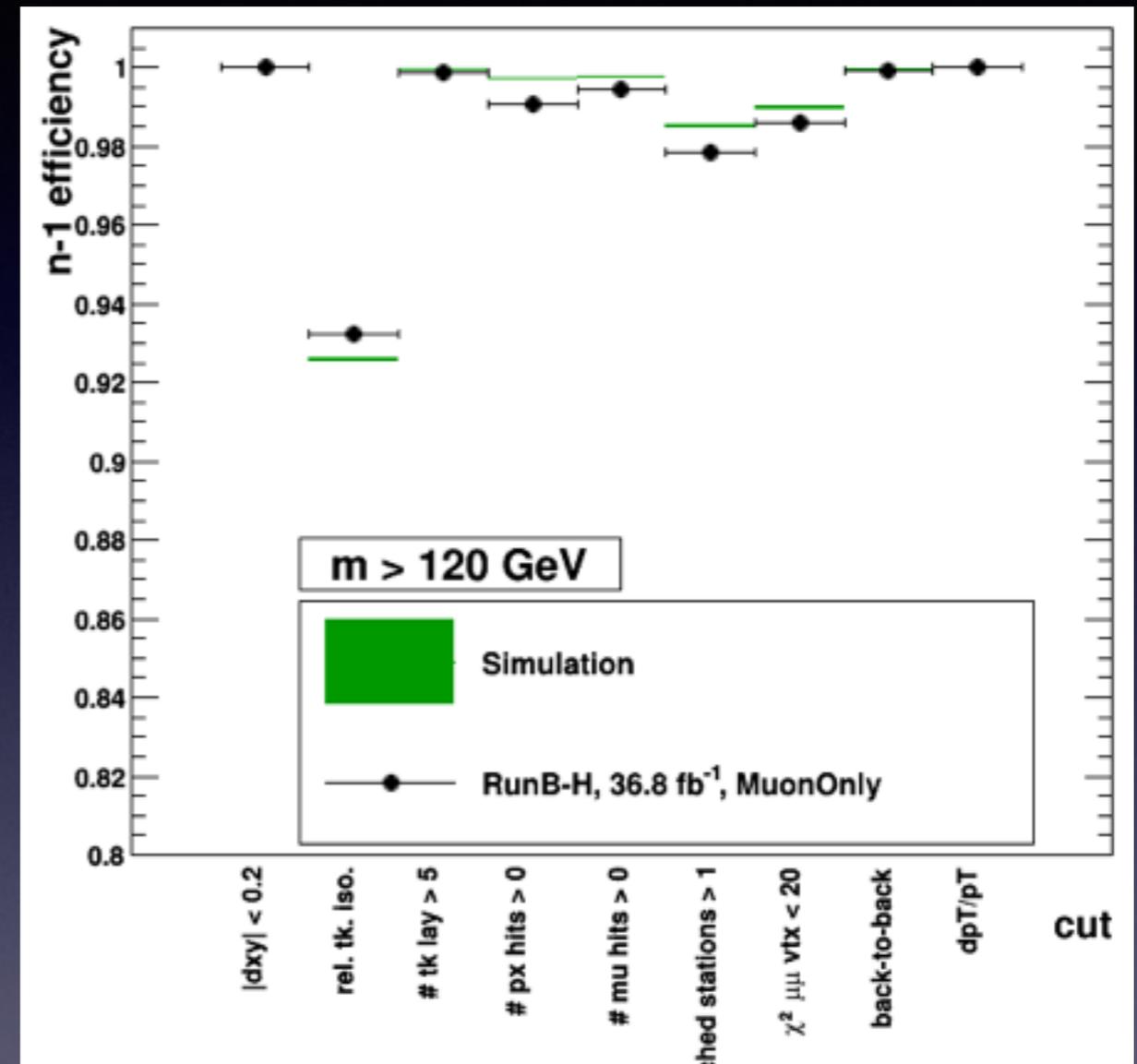
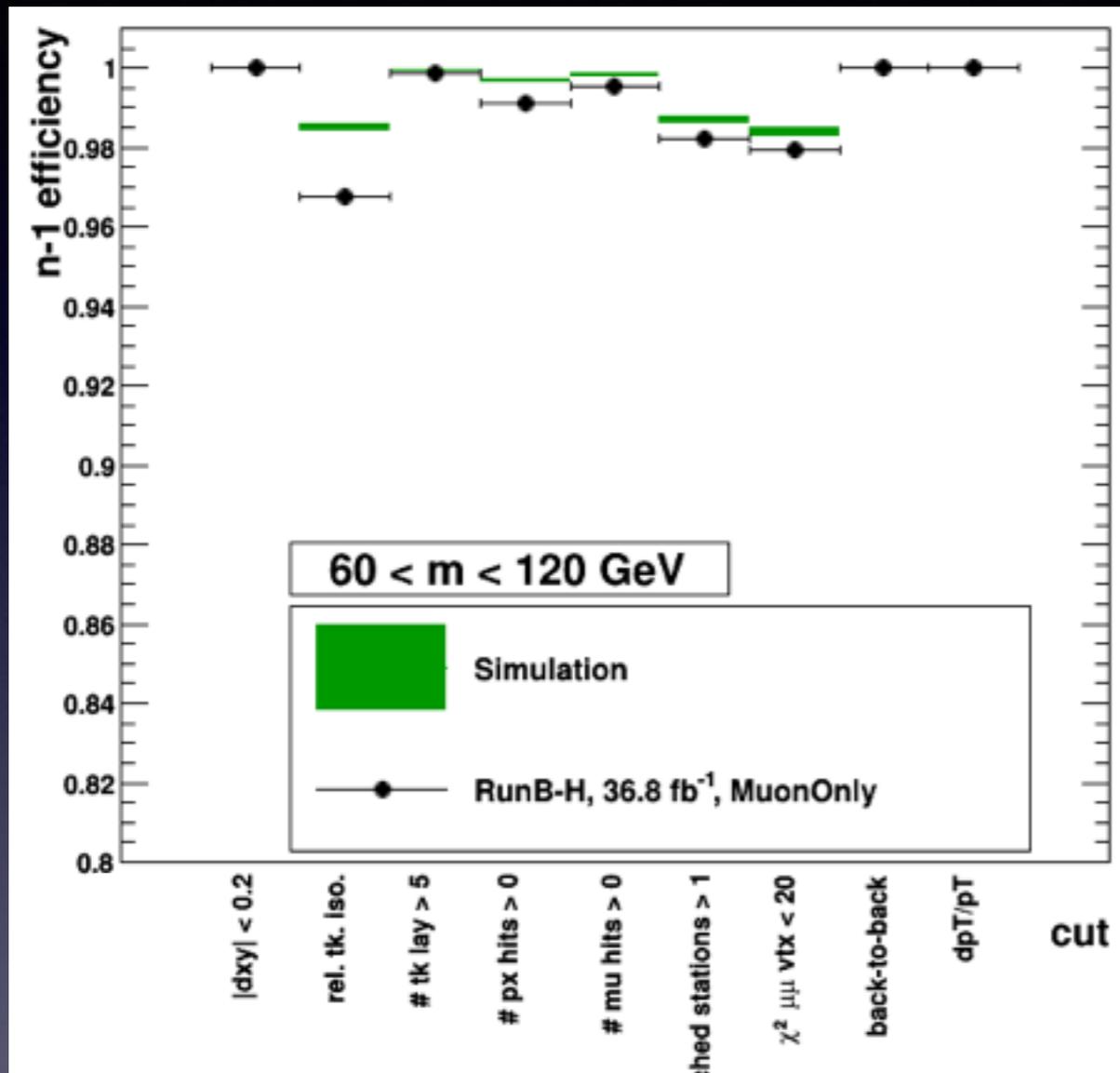


Limiti di esclusione combinando le tre categorie di η per il canale $Z' \rightarrow \mu^-\mu^+$



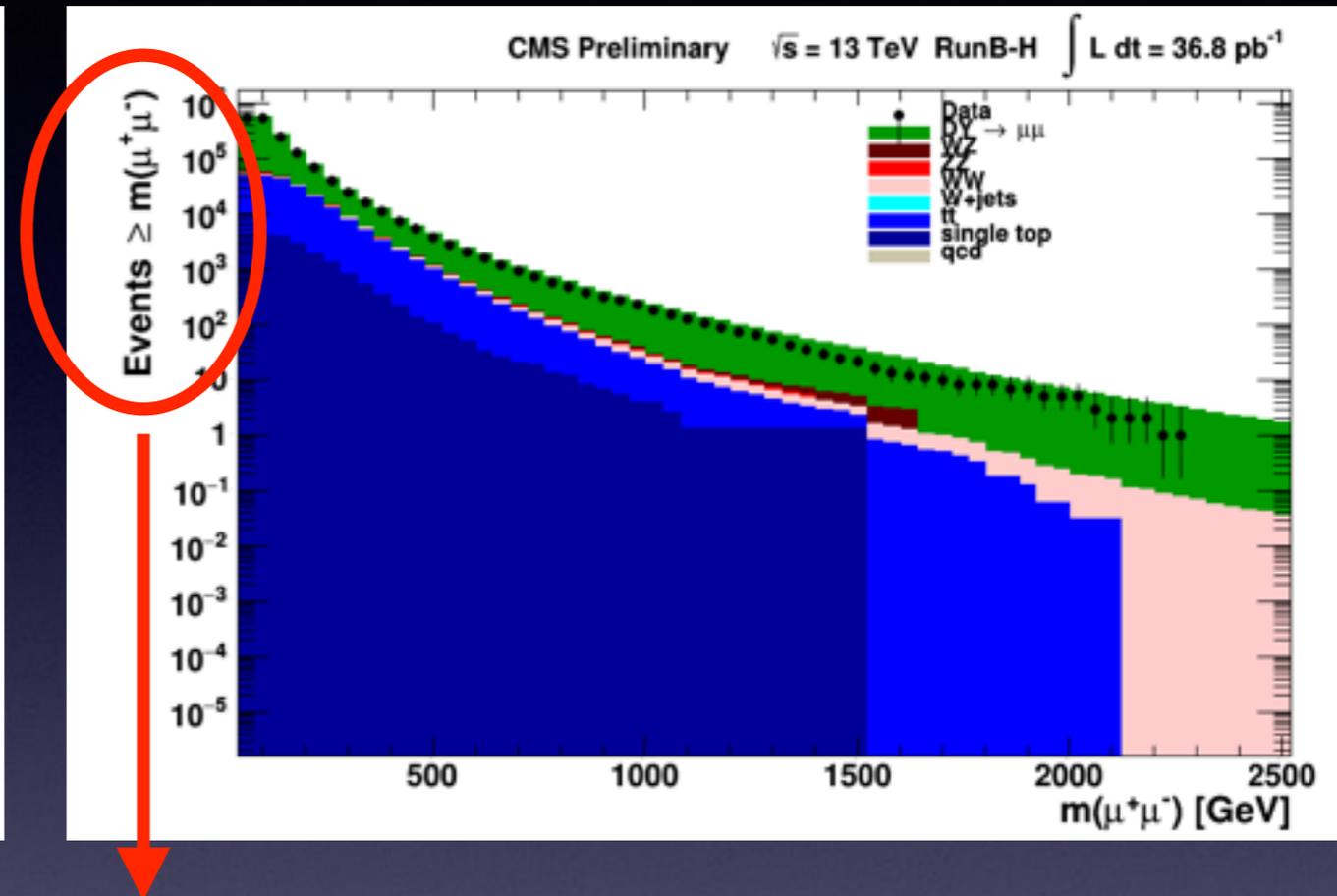
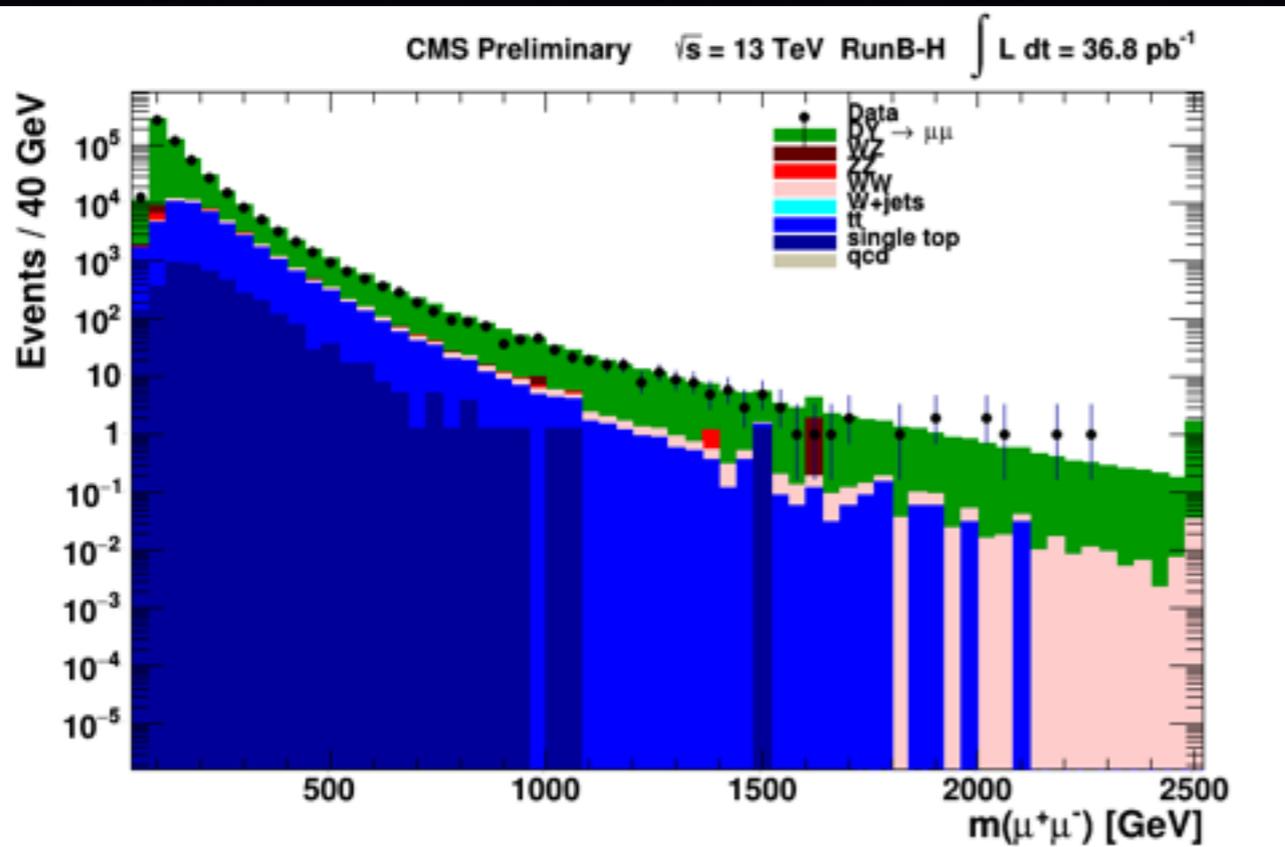
Limiti di esclusione combinando i canali $Z' \rightarrow \mu^-\mu^+$ e $Z' \rightarrow e^-e^+$

N - 1 plots: intero dataset 2016



Studi di efficienza aggiornati usando 36.8 fb⁻¹ corrispondenti all'intero dataset del 2016.

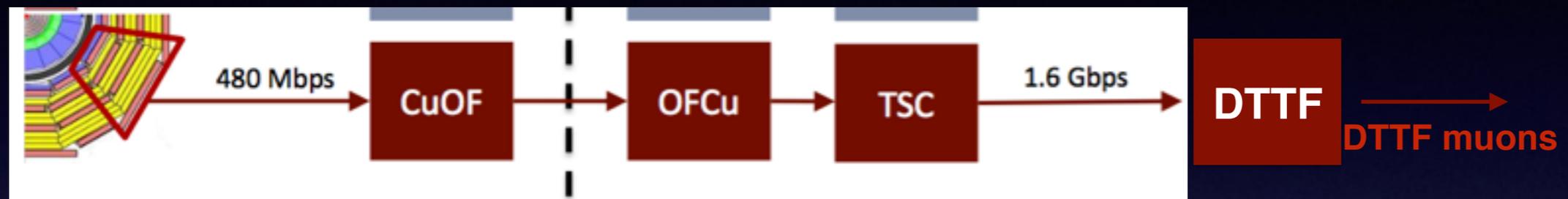
Distribuzione di Massa



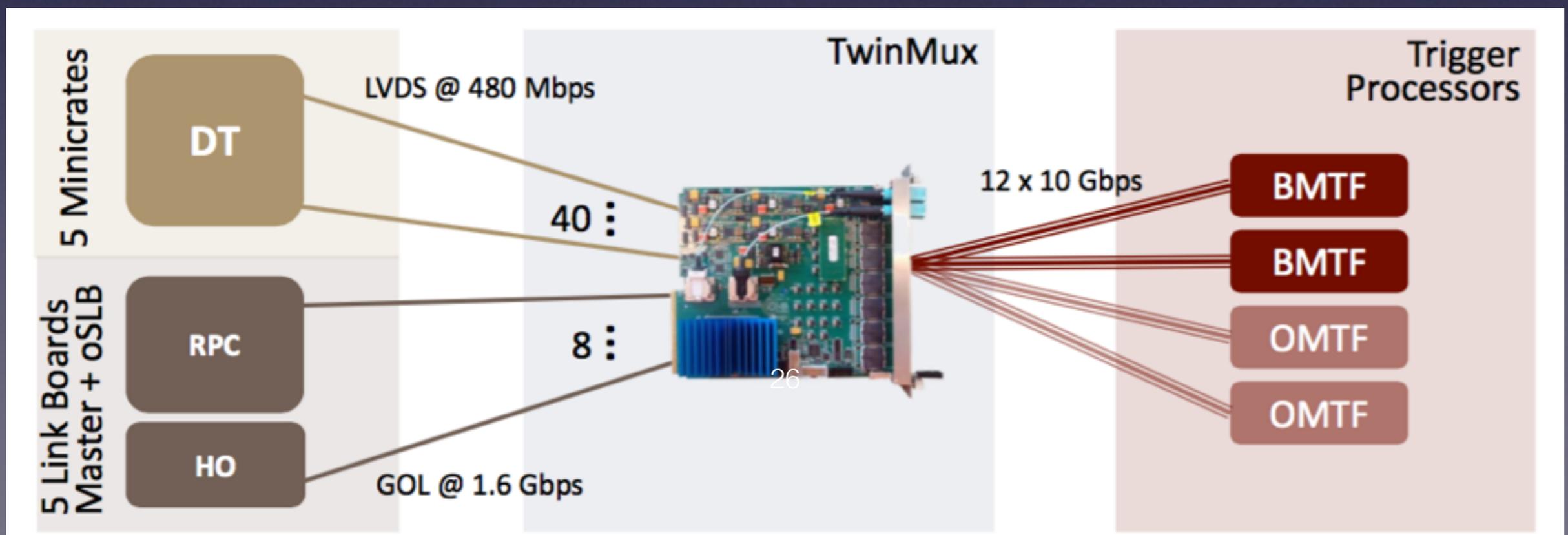
Distribuzione integrata della massa invariante del sistema dimuonico: asse Y numero di eventi per cui la massa è maggiore del rispettivo valore sull'asse X

Trigger Barrel Update

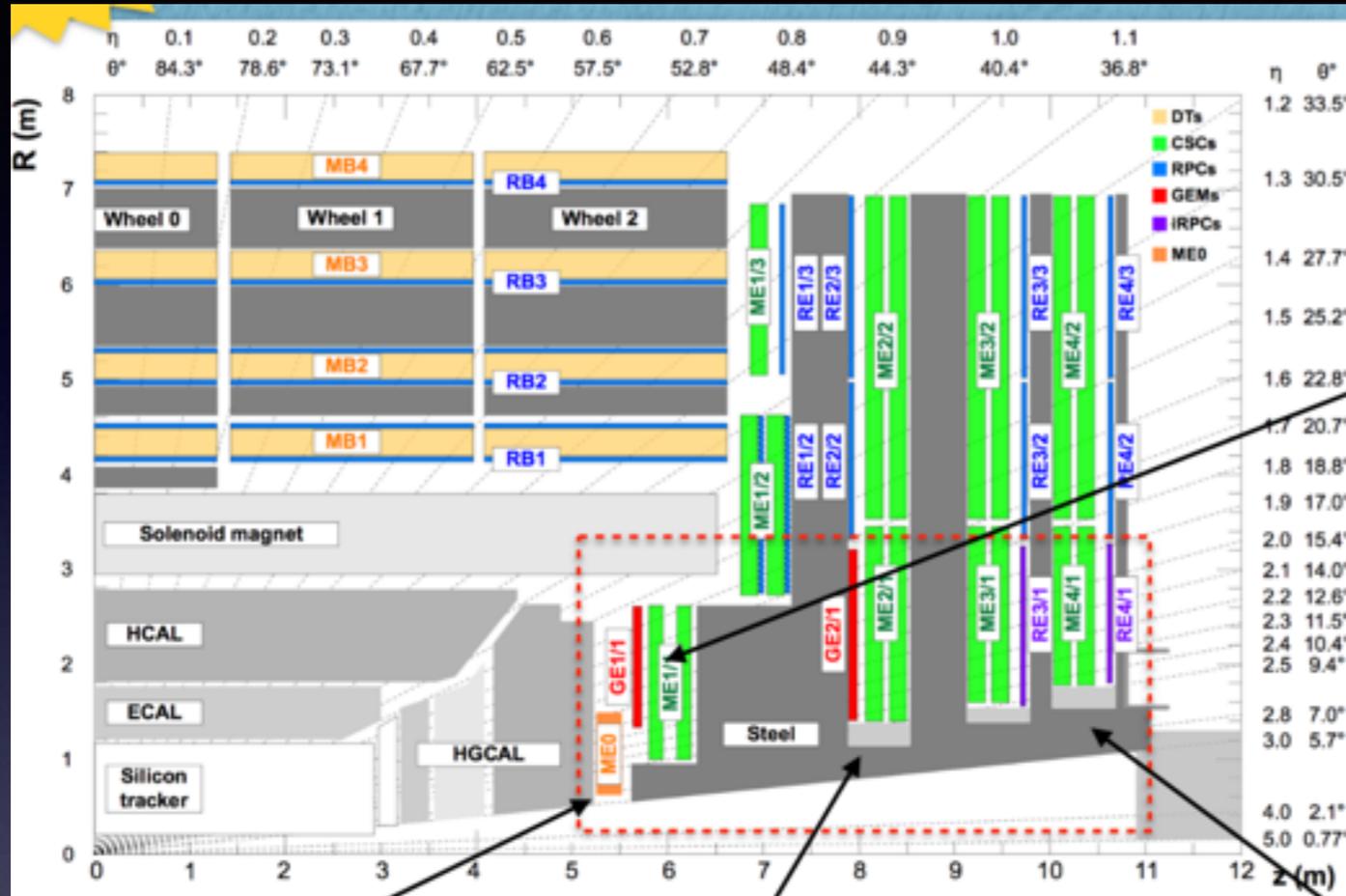
Trigger Attualmente in uso



Nuovo Trigger con scheda TwinMux



CMS upgrade



Forward muon system enhancement

Trigger and reconstruction **GE1/1**

- $1.55 < |\eta| < 2.1$
- baseline detector for GEM project
- 36 super-chambers (SC) per endcap, each super-chamber spans 10°
- One super-chamber is made of 2 back-to-back triple-GEM detectors
- Installation: LS2 (2019-20)

RE 3/1 – RE4/1

Trigger and reconstruction

- $1.8 < |\eta| < 2.4$
- 18 chambers per endcap, each chamber spans 20°
- 1 layer (per station) RPC-like technology

Further performance improvement: multi-gap provide high time resolution for background and PU rejection

MEO

- Muon trigger and reconstruction at highest η
- each chamber spans 20°
- 6 layers of GEM-like technology

Further improvement: fast timing MPGD - fully resistive multi-layer design for background and PU rejection

GE2/1

Trigger and reconstruction

- $1.55 < |\eta| < 2.5$
- 18 SC per endcap, each chamber covers 20°
- 2 layers of GEM-like technology

Further optimization: μ -R-Well as compact and low cost large detector