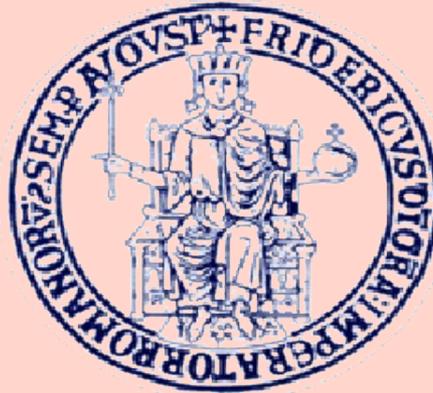


Università degli Studi di Napoli “Federico II”
Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali



Il sistema di trigger dimuonico nell'esperimento ATLAS

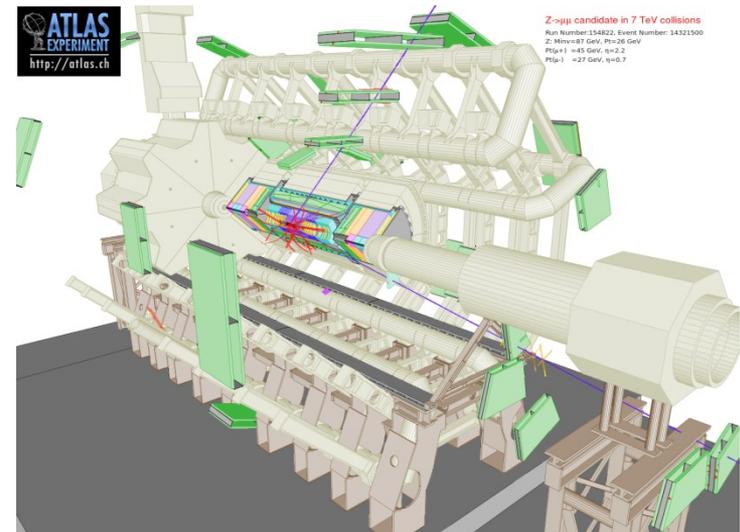
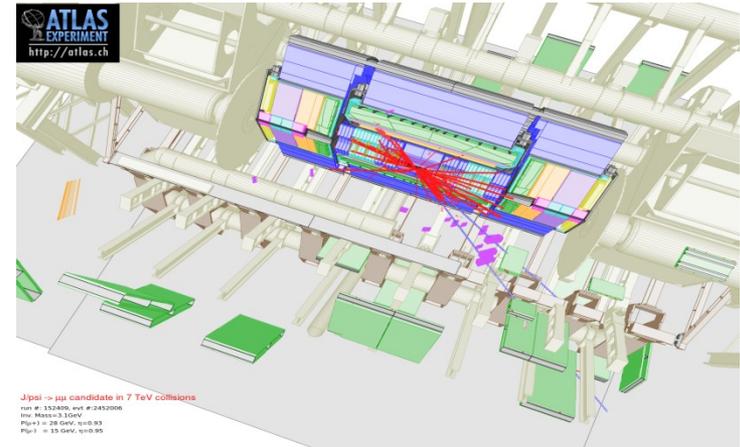
Tesi di Laurea Triennale in Fisica
Anno Accademico 2010/2011

Candidata
Calace Noemi
N85/058

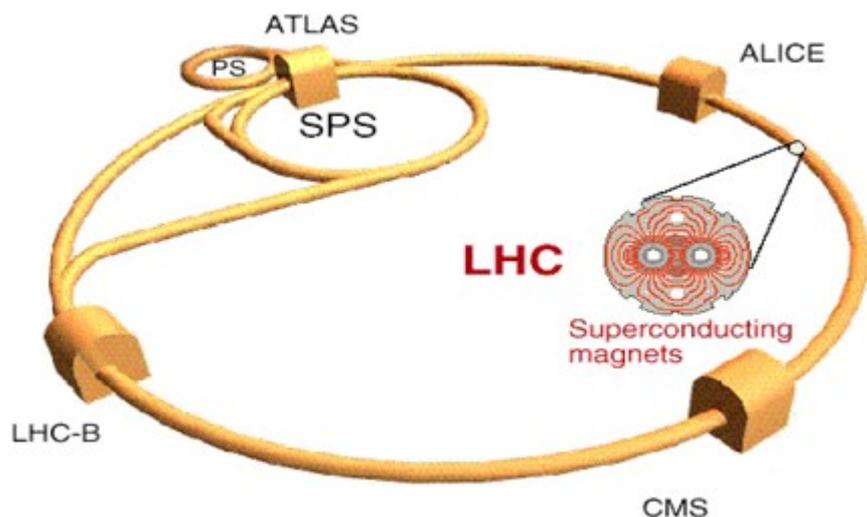
Relatori
Prof.ssa Alviggi Mariagrazia
Dr. Conventi Francesco

Sommario

- Esperimento ATLAS @ LHC
- ATLAS
- Il sistema di trigger di ATLAS
- Campione di dati
- Efficienza di trigger:
Metodo del Tag & Probe
- Il trigger dimuonico
- Conclusioni e prospettive



Esperimento ATLAS @ LHC



$$N = L \cdot \sigma$$

N → Numero di eventi per interazione nell'unità di tempo

σ → Sezione d'urto del processo

L → Luminosità dell'acceleratore

$$\sigma_{pp} \sim 100 \text{ mb}$$

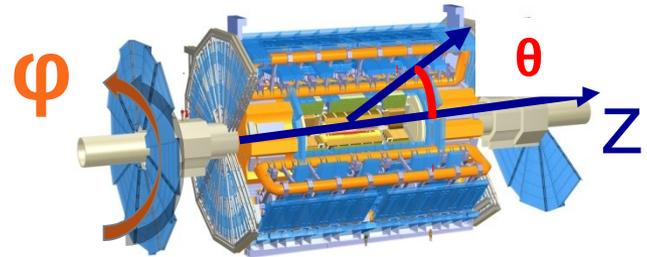
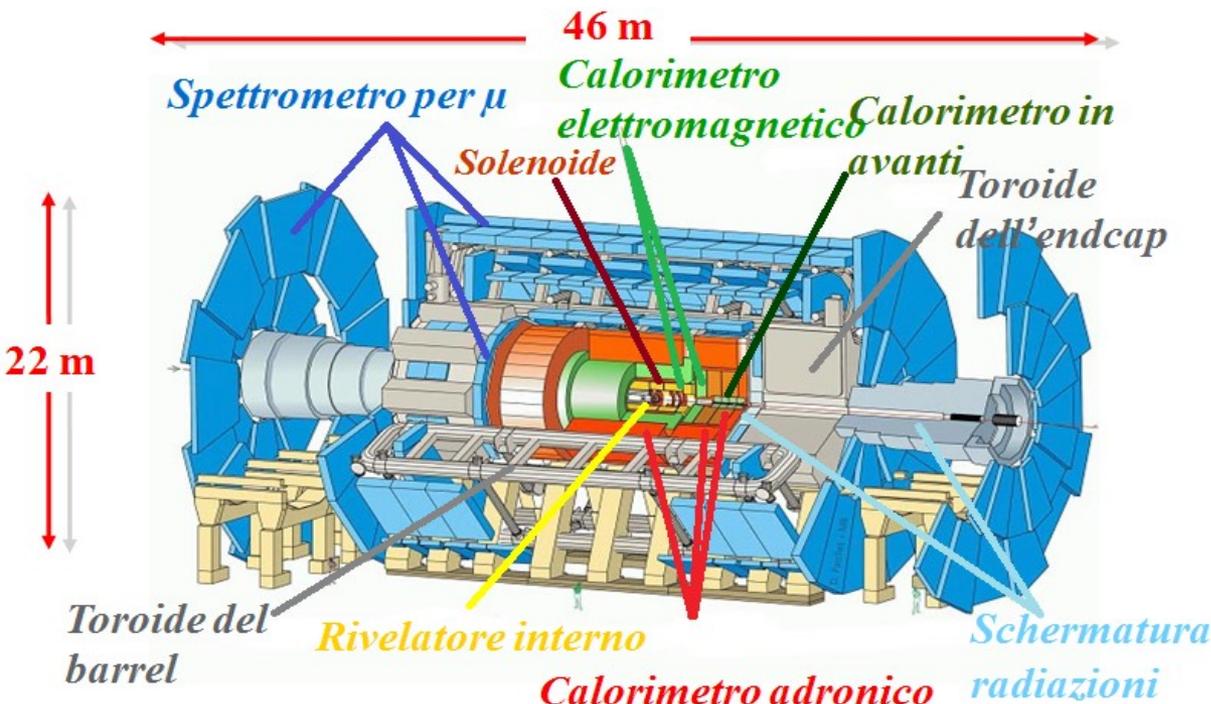
Il programma di ricerca della collaborazione ATLAS comprende:

- ★ Ricerca del bosone di Higgs
- ★ Teorie oltre il Modello Standard (SUSY)
- ★ Misure di precisione
- ★ Fisica dei mesoni B

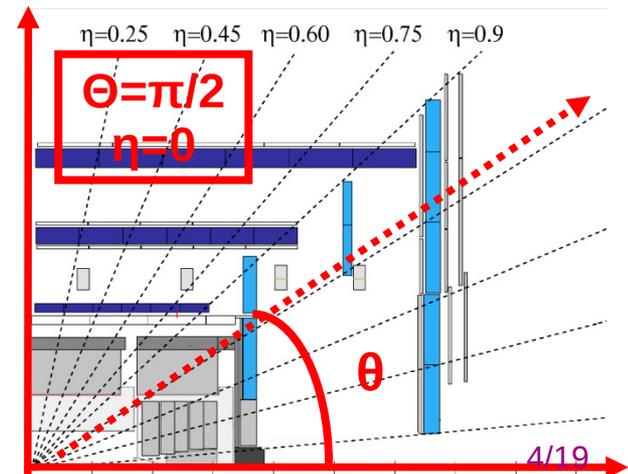
LHC Radius	4.2 km
Circumference	~27 km
Energy	14 TeV
Luminosity	$10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
bunch crossing rate	40 MHz ($t_{bc}=25 \text{ ns}$)
protons/bunch	$\sim 10^{11}$

ATLAS

Esperimento “*multi purpose*” progettato per garantire ottima risoluzione ed identificazione di particelle in un ampio spettro di energia. Il rivelatore ATLAS (*A Toroidal LHC ApparatuS*) è caratterizzato dalla presenza di un grande sistema magnetico che produce un campo toroidale di 0.5 T nella regione dello spettrometro a muoni.



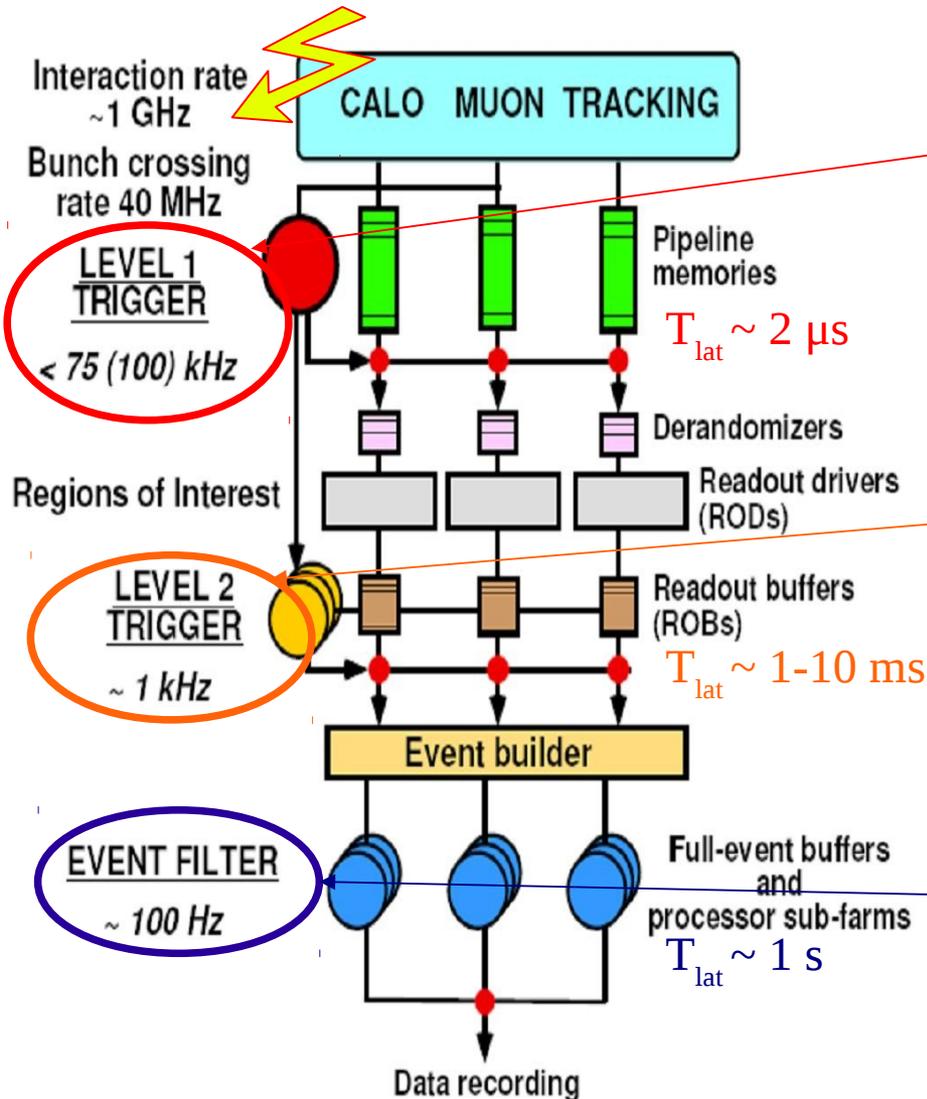
$$\eta = -\ln \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$$



Regione di Barrel (BR)	$ \eta < 1.05$
Regione di Endcap (ER)	$1.4 < \eta < 3$
Regione di Transizione	$1.05 < \eta < 1.4$

Il sistema di trigger di ATLAS

3 livelli di trigger



LVL1 (L1MU0, L1MU6, L1MU10)

- Interamente hardware.
- Riceve informazioni dai calorimetri e dallo spettrometro per i muoni.
- Individua le RoI (Region of Interest).

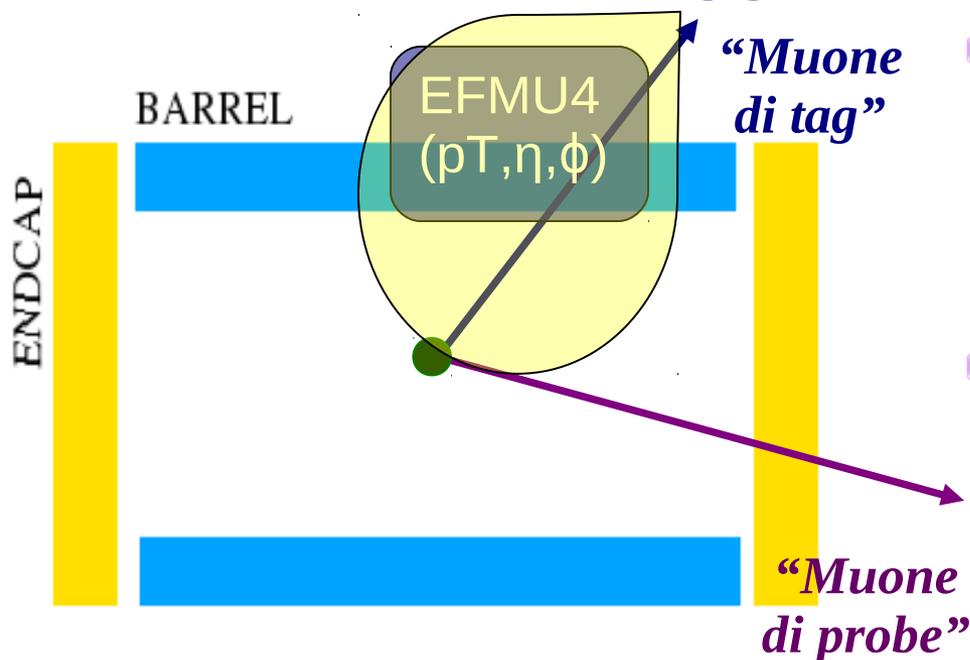
LVL2

- Basato su algoritmi di selezione software.
- Processa i dati contenuti nelle RoIs.
- Utilizza i dati provenienti da tutti i sottorivelatori

EVENT FILTER (EFMU6, EFMU10, EFMU20)

- Migliora la selezione del LVL2 utilizzando le informazioni provenienti da tutti i sottorivelatori

Efficienza di trigger: Metodo del Tag & Probe

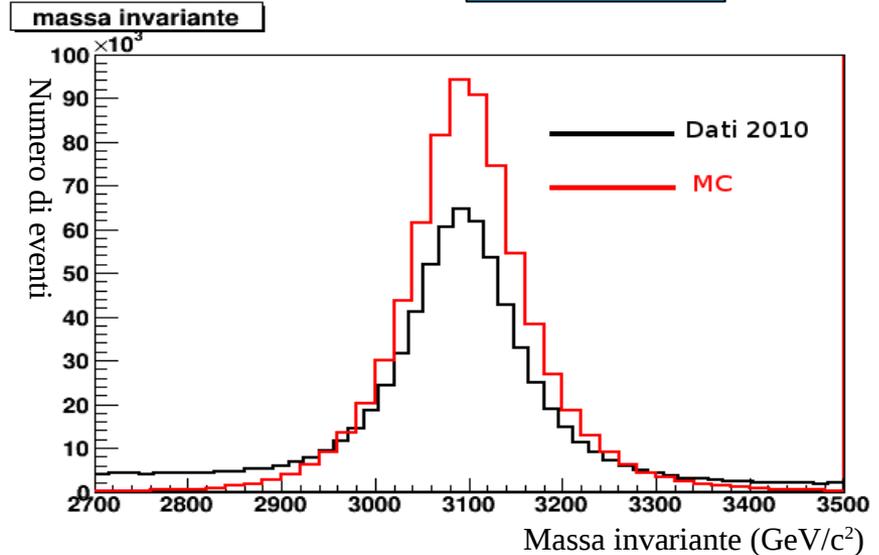
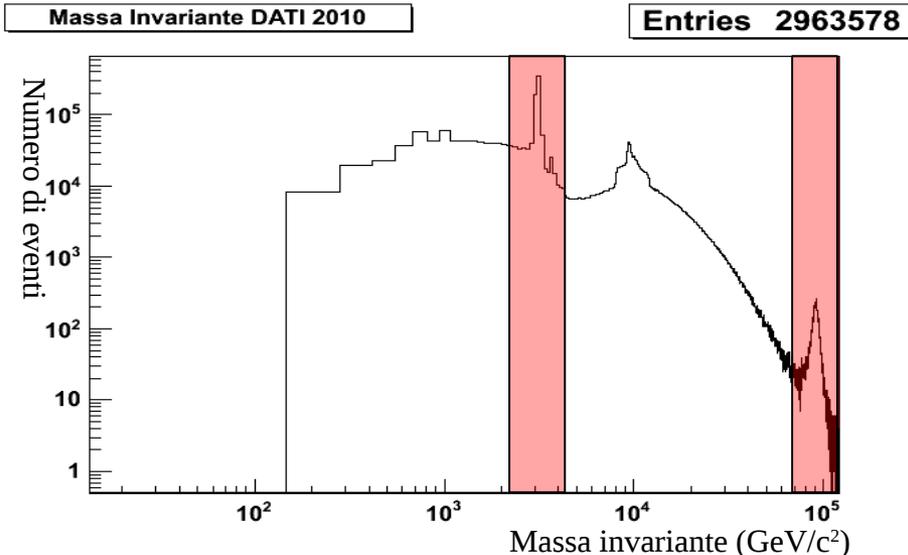
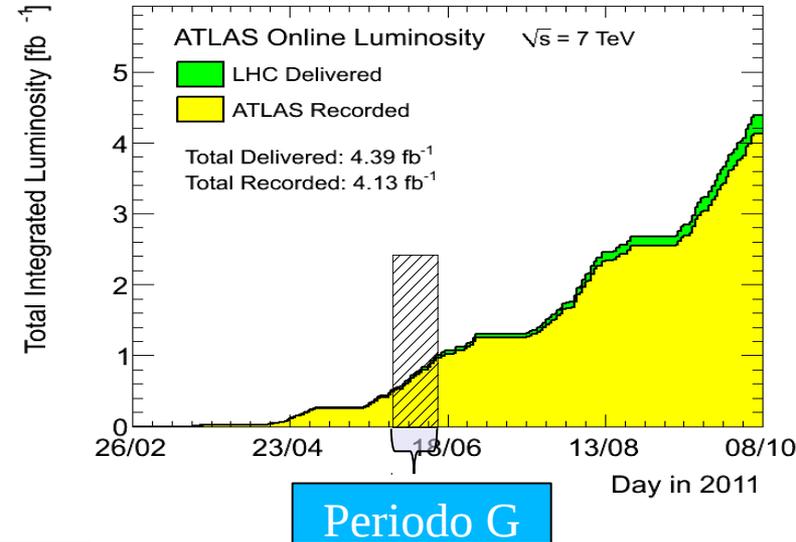


- Si utilizza un campione di eventi con 2 muoni “combinati” nello stato finale la cui massa appartiene ad un intervallo opportunamente scelto.
- Ad uno dei due muoni ricostruiti offline che soddisfi criteri di qualità e a cui è inoltre possibile associare geometricamente un trigger di muone scattato viene dato il nome di “muone di tag”.
- Il secondo muone (“probe”) viene utilizzato per la misura delle efficienze. L’efficienza è definita come rapporto tra il numero di muoni di probe che sono triggerati sul numero di muoni di probe totali.

$$\epsilon = \frac{N_{\text{probetriggerati}}}{N_{\text{probe}}}$$

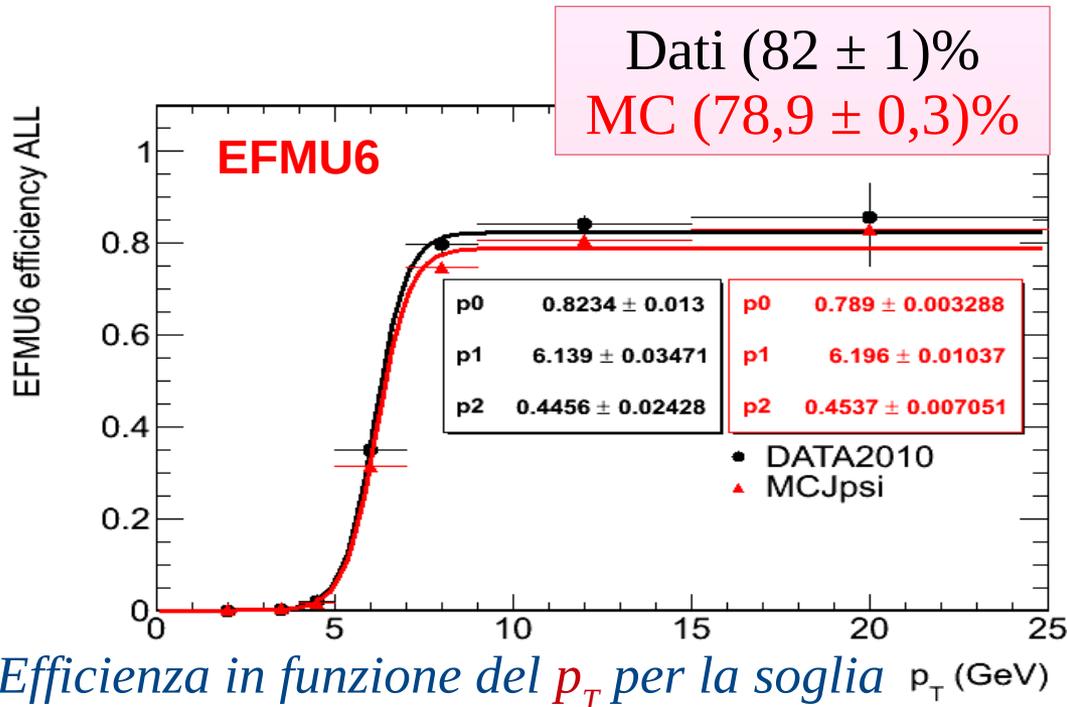
Campione di dati

- ▶ Dati da collisione protone-protone con $\sqrt{s} = 7$ TeV
 - **2010** con luminosità integrata pari a circa 40 pb^{-1}
 - **2011** con luminosità integrata pari a circa 70 pb^{-1} corrispondenti al PERIODO G (dal 27/5 al 14/6)
- ▶ Eventi simulati ottenuti con il metodo Monte Carlo relativi ai decadimenti $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ e $Z \rightarrow \mu\mu$



Selezione di basso p_T – Dati 2010

Analisi sul decadimento $J/\psi \rightarrow \mu\mu$



È stata calcolata l'efficienza di trigger rispetto alle variabili p_T , φ e η per le regioni *Barrel*, *Endcap* e per l'intero rivelatore.

L'efficienza in funzione del p_T è stata "fittata" con una funzione alla Fermi:

$$\varepsilon(p_T) = \frac{p_0}{1 + e^{-\frac{p_T - p_1}{p_2}}}$$

p_0

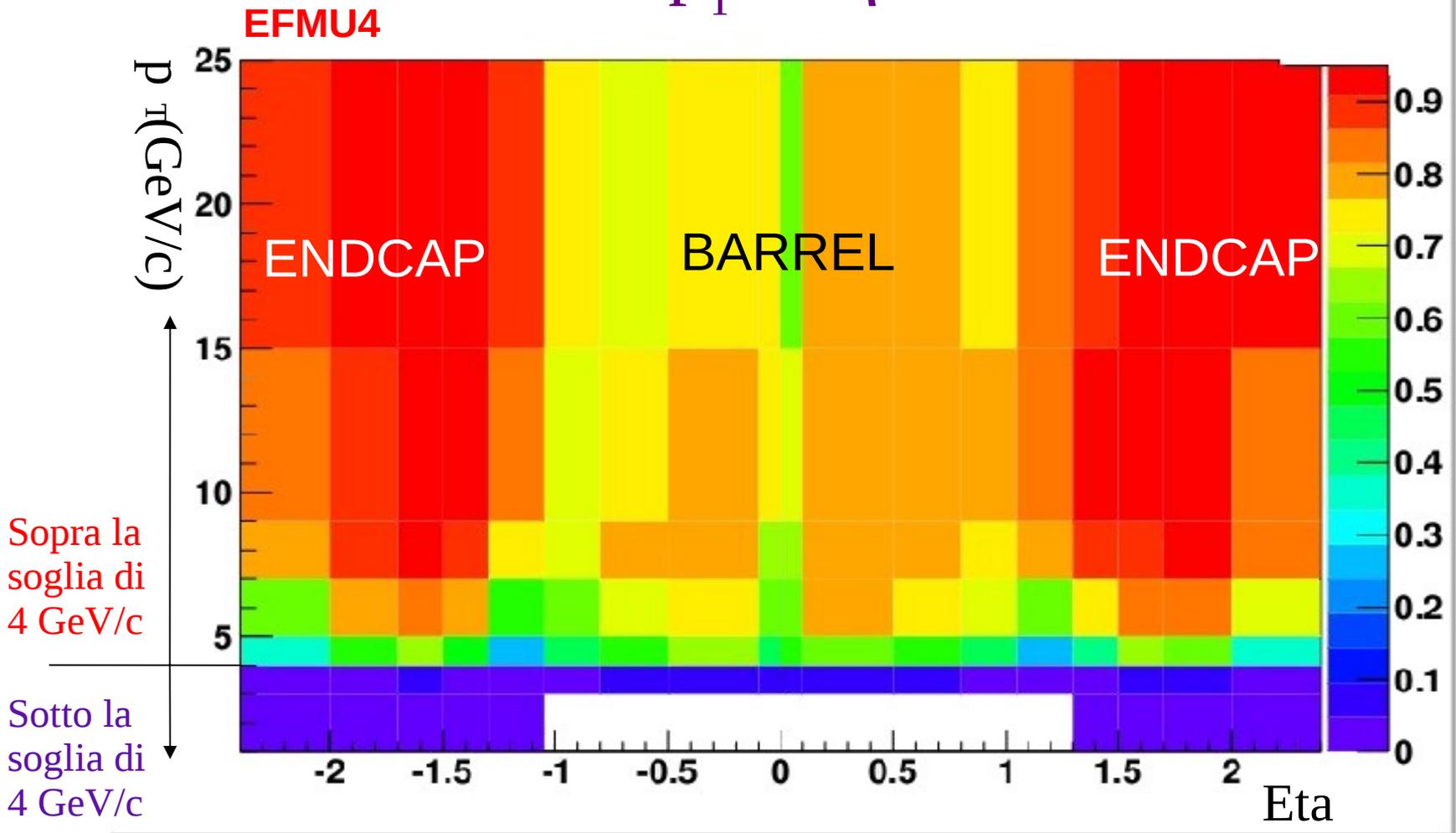


Stima dell'efficienza di trigger

Efficienza in funzione del p_T per la soglia p_T (GeV) **EFMU6** nell'intero rivelatore e confronto con l'andamento atteso.

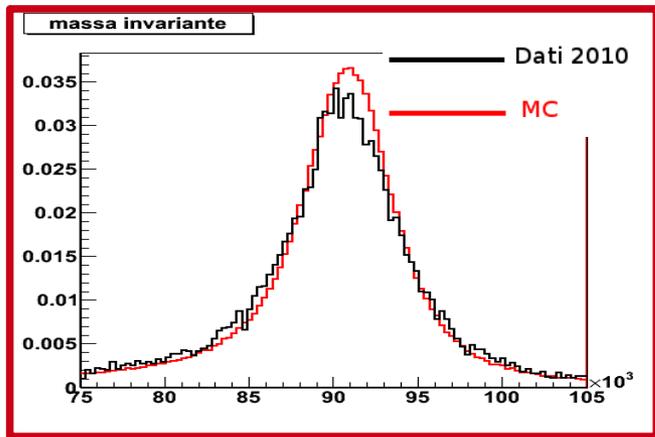
Mappa dell'efficienza per l'item EFMU4

p_T vs η

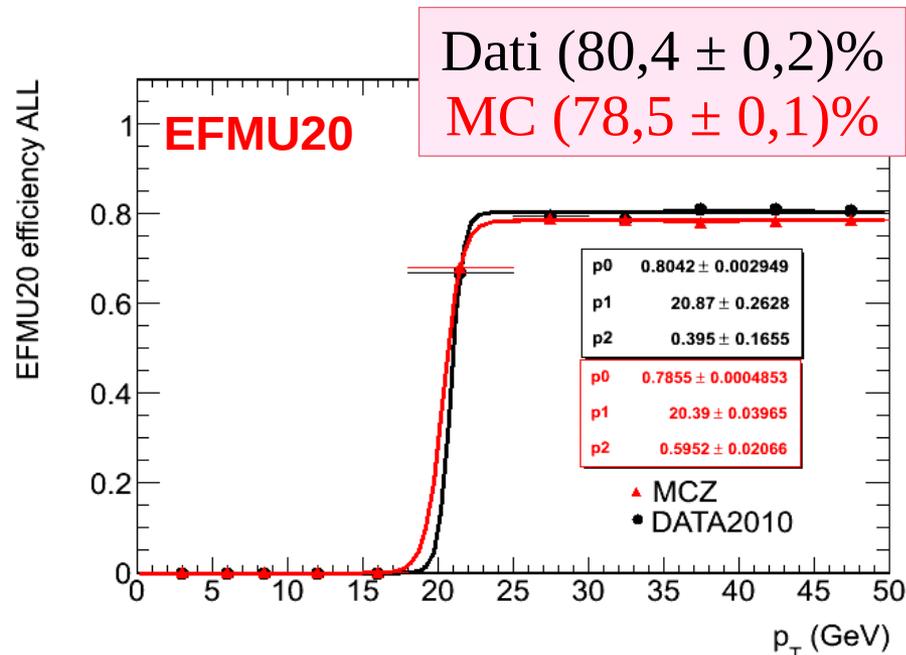
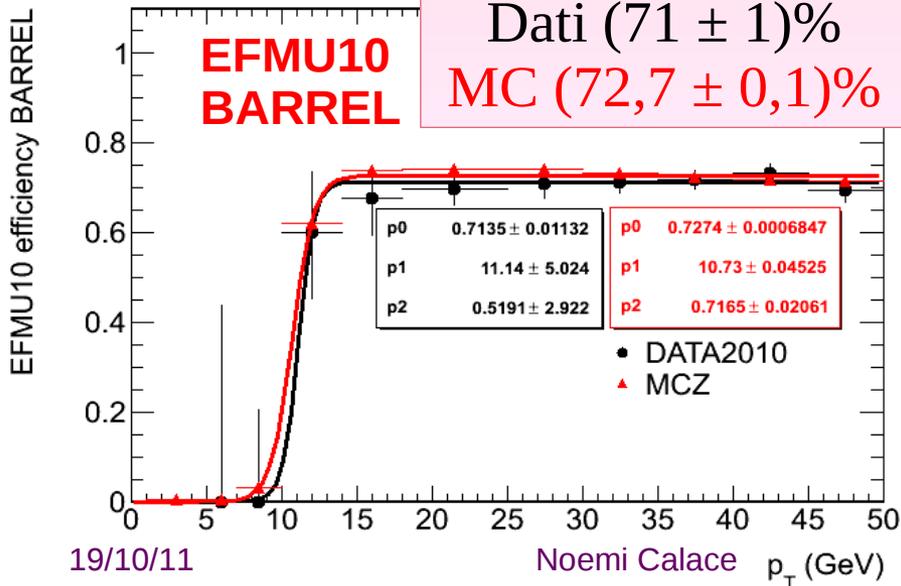
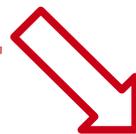


Selezione di alto p_T – Dati 2010

Analisi sul decadimento $Z \rightarrow \mu\mu$



Istogrammi normalizzati della massa invariante dei dati del 2010 e del campione Monte Carlo.

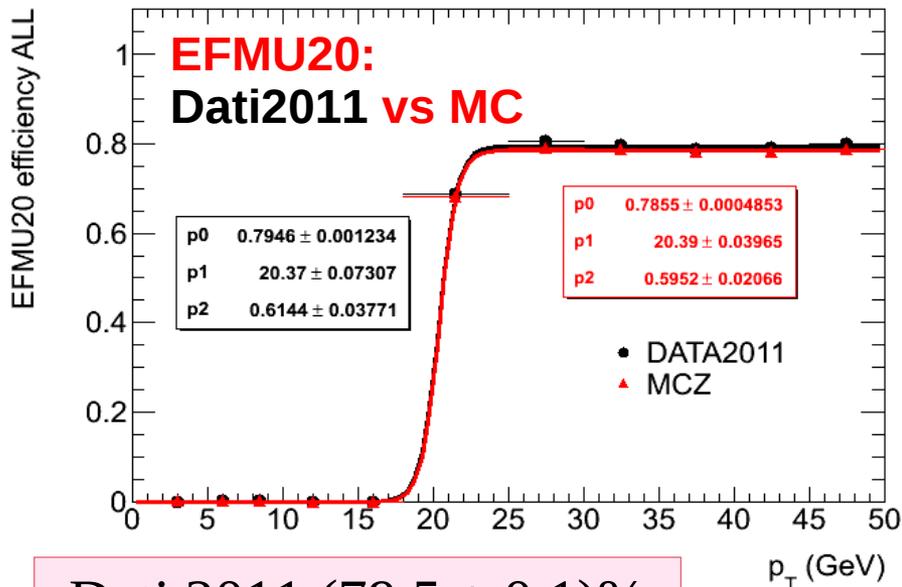


Efficienza in funzione del p_T per la soglia EFMU10 (sinistra) nel Barrel e EFMU20 (in alto) nell'intero rivelatore e confronto con l'andamento atteso.

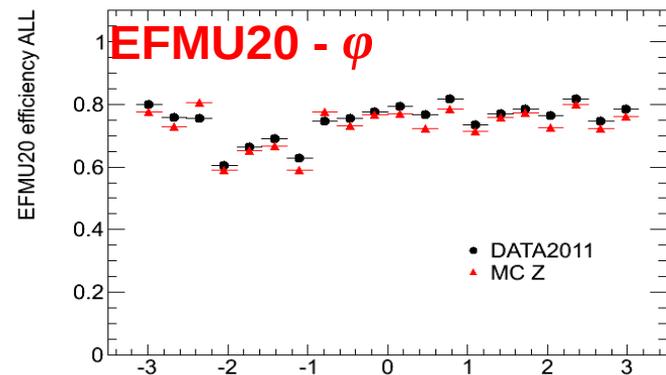
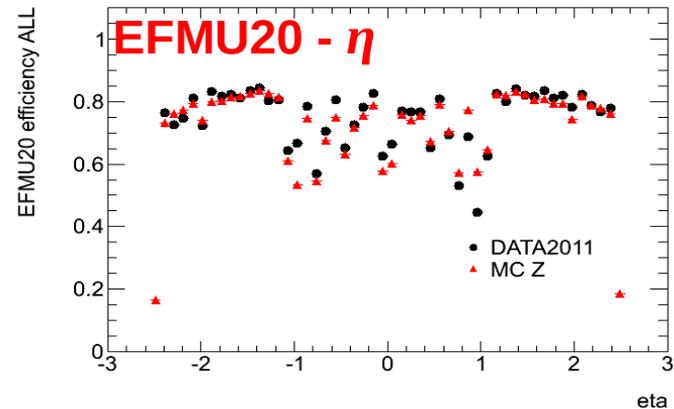
Selezione di alto p_T – Dati 2011

Analisi sul decadimento $Z \rightarrow \mu\mu$

Per i dati del 2011 è stato analizzato l'item di HLT EFMU20.



Dati 2011 ($79,5 \pm 0,1$)%
MC ($78,6 \pm 0,1$)%



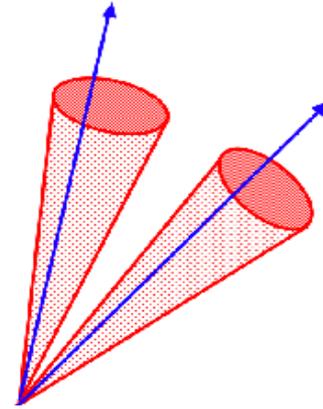
Efficienza in funzione del p_T , ϕ e η per la soglia EFMU20 nell'intero rivelatore per i dati del 2011 confrontati con il MC

Trigger dimuonico

Al fine di mantenere un'elevata efficienza di trigger per eventi con due muoni nello stato finale la collaborazione ATLAS ha sviluppato specifici algoritmi di trigger dimuonico.

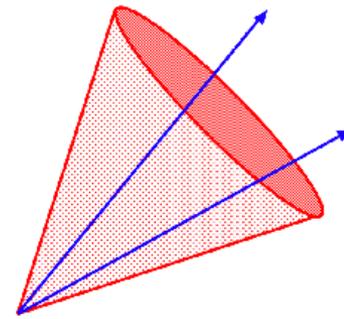
Trigger dimuonico topologico : a partire da una coppia di muoni selezionati dal trigger di Livello-1 e dalle rispettive RoI procede nel secondo e terzo livello di trigger parallelamente. I due muoni sono confermati separatamente e vengono combinati per ottenere una stima della massa invariante.

*Meno “accettante”
ma adatto a tutti i
processi di fisica*



Trigger dimuonico non topologico: a partire da un singolo muone selezionato dal Level 1 si cerca un secondo muone in una regione più ampia $\Delta\eta\text{-}\Delta\phi$ (0.7 x 0.7) nell'Inner Detector estrapolando poi la traccia fino allo spettrometro muonico. Se sono presenti regioni di attività nello spettrometro la coppia di muoni è selezionata dal trigger.

*Più “accettante”
ma non adatto a
tutti i processi di
fisica*



EFMU4_Jpsimumu



Item di trigger non topologico operante nella regione di massa invariante [2,5 ; 4,3] GeV/c²

Trigger dimuonico

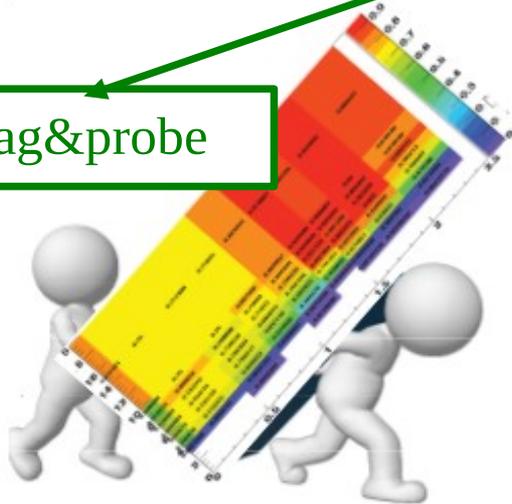
Teorema di Bayes $P(B) = \frac{P(A)P(B|A)}{P(A|B)}$

Eventi che passano ($EF_{\mu 4_Jpsimumu|EF_{\mu 4}$)

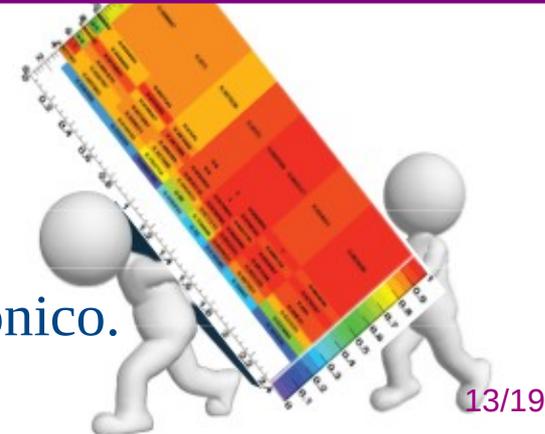
Eventi che passano ($EF_{\mu 4}$)

$$P(EF_{\mu 4_Jpsimumu}) = \frac{P(EF_{\mu 4})P(EF_{\mu 4_Jpsimumu|EF_{\mu 4})}{P(EF_{\mu 4|EF_{\mu 4_Jpsimumu})}$$

Tag&probe



Item di trigger topologico = 1
Item di trigger non topologico $\neq 1$
ed ottenuto attraverso studi su simulazioni Monte Carlo

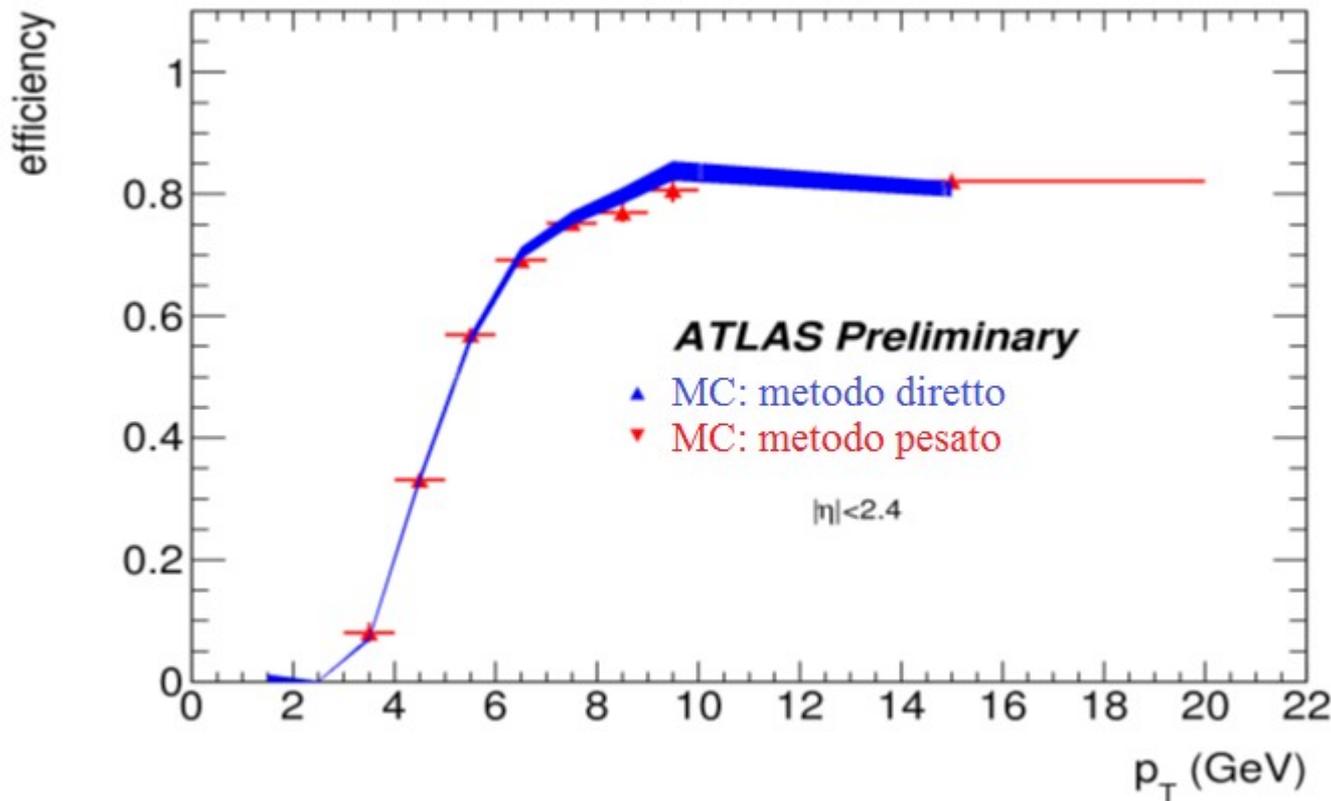


Le mappe dell'efficienza in funzione di η e p_T sono utilizzate per calcolare l'efficienza per il trigger dimuonico.

Selezione di basso p_T

Analisi sul decadimento $J/\psi \rightarrow \mu\mu$

L'elaborazione su campioni Monte Carlo ha permesso di confermare la ragionevolezza di questo metodo per la misura dell'efficienza del trigger dimuonico.

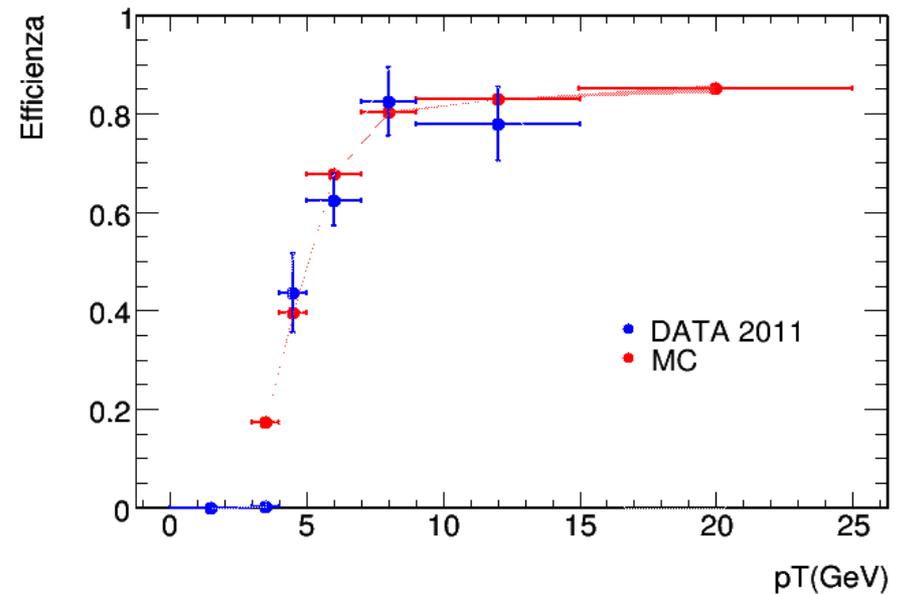
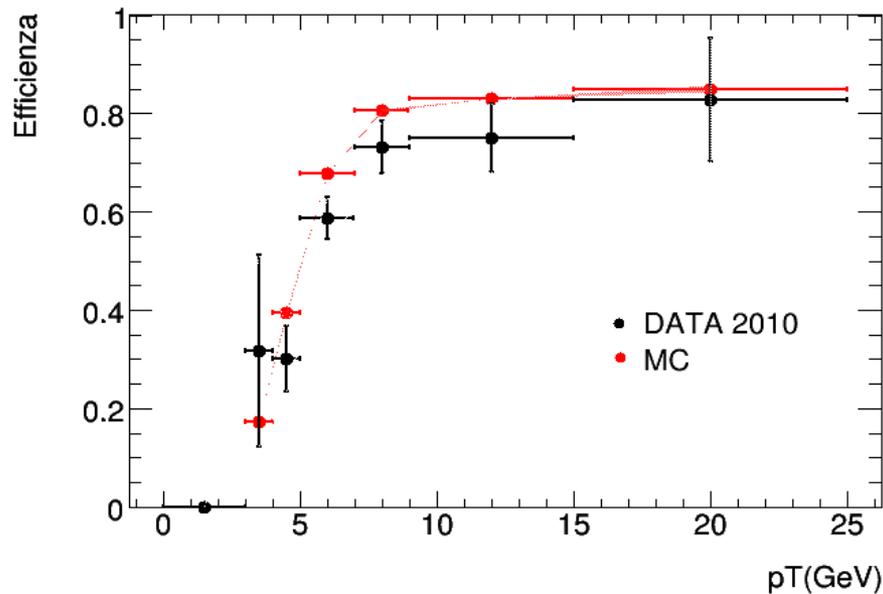


Confronto dell'efficienza del trigger dimuonico in funzione del p_T misurata con il metodo di Bayes (Bayes Method) e con il metodo diretto (Direct Matching)

Selezione di basso p_T

Analisi sul decadimento $J/\psi \rightarrow \mu\mu$

Confronto dell'efficienza in funzione del p_T del muone con impulso trasverso maggiore per i dati del 2010 e del 2011 confrontata con quella ottenuta con il Monte Carlo.

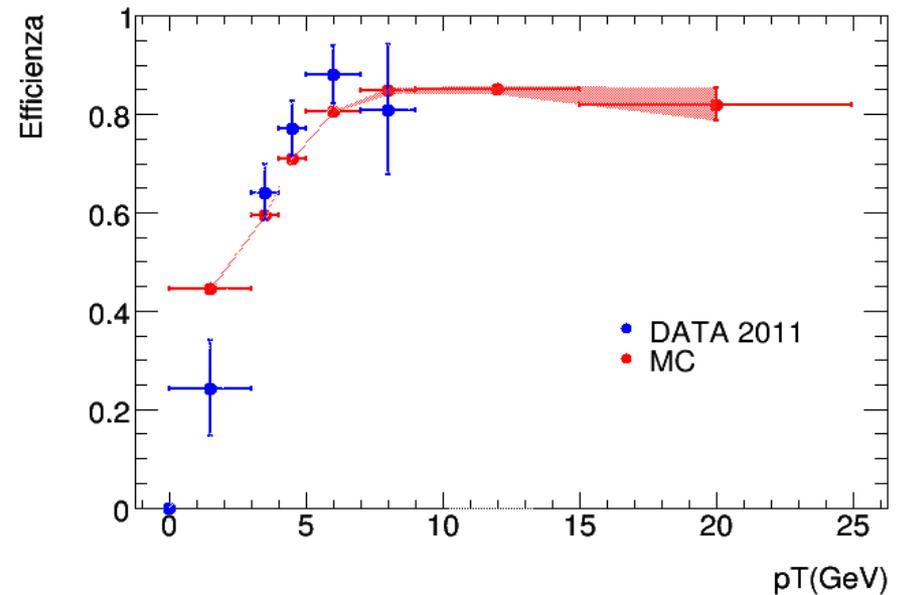
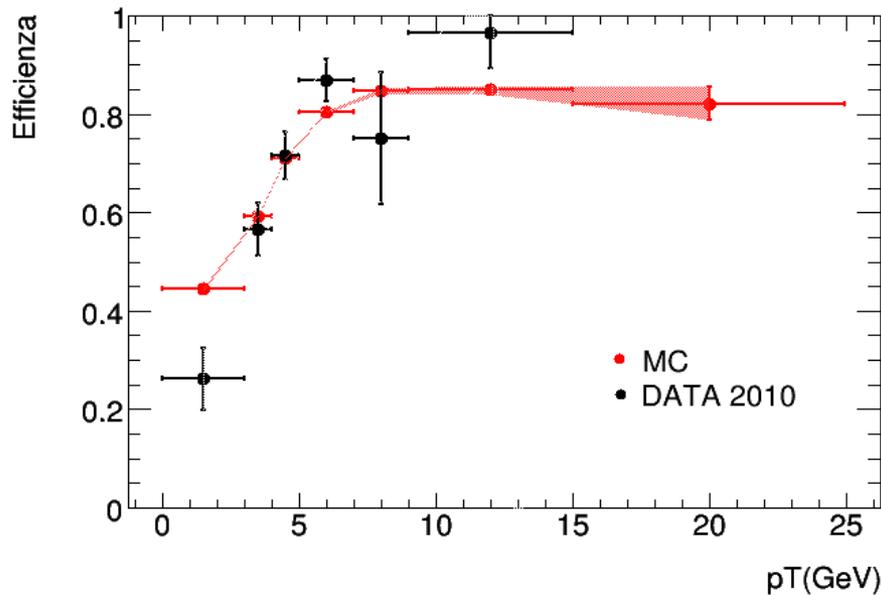


p_T del muone con impulso trasverso maggiore

Selezione di basso p_T

Analisi sul decadimento $J/\psi \rightarrow \mu\mu$

Confronto dell'efficienza in funzione del p_T del muone con impulso trasverso minore per i dati del 2010 e del 2011 confrontata con quella ottenuta con il Monte Carlo.

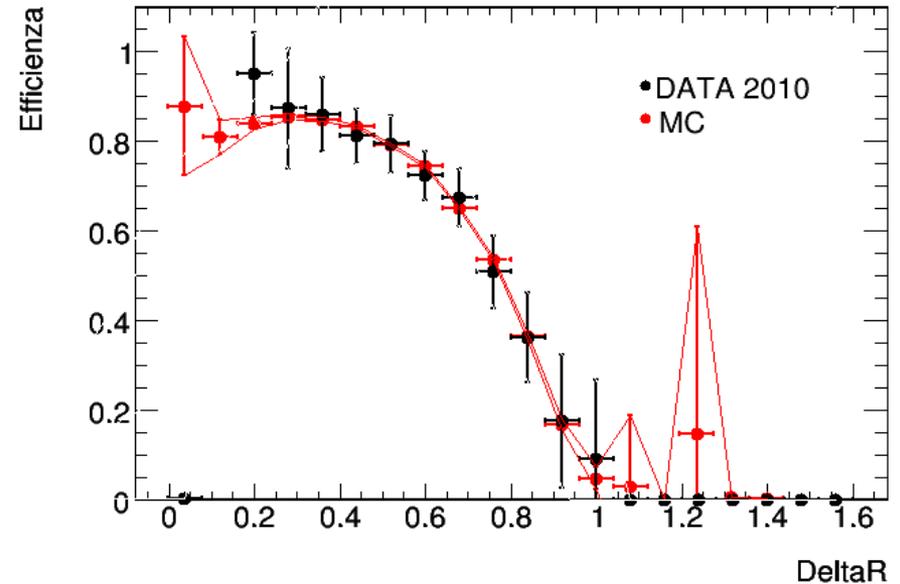
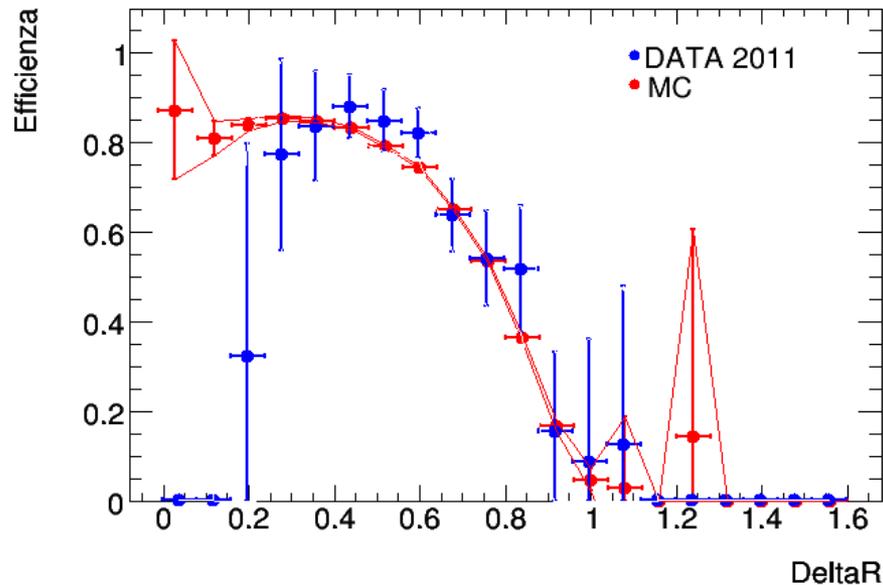


p_T del muone con impulso trasverso minore

Selezione di basso p_T

Analisi sul decadimento $J/\psi \rightarrow \mu\mu$

Confronto dell'efficienza in funzione del ΔR tra i due muoni per i dati del 2010 e del 2011 confrontata con quella ottenuta con il Monte Carlo.



ΔR

Conclusioni e prospettive

Obiettivi raggiunti:

- Efficienza del trigger di singolo muone per i dati del 2010 e del 2011 per gli item di trigger di L1 e HLT.
- Efficienza del trigger dimuonico per i dati del 2010 e del 2011 per l'item di trigger EFMU4_Jpsimumu.

Ulteriori studi:

Analisi degli effetti sistematici:

- sottrazione del fondo;
- variazione del range di massa invariante;
- algoritmi di ricostruzione dei muoni;
- condizioni di qualità sulla traccia.

Questi risultati sono necessari e sono inseriti come parte integrante per numerosi processi di fisica, in particolare della B-Physics.

- $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$ - misura della sezione d'urto
- Studi sul mesone Upsilon e misura della sezione d'urto
- Decadimenti rari del B ($B_s \rightarrow \mu\mu$)
- $H \rightarrow qq\mu\mu$
- Possibile estensione a trigger per eventi con 3 muoni per teorie oltre il modello standard



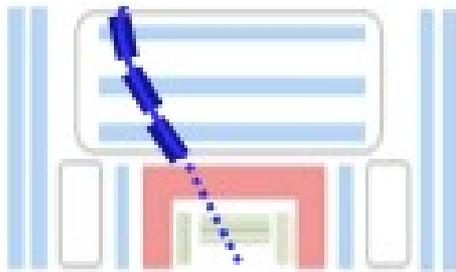
Grazie per la cortese
attenzione

Backup

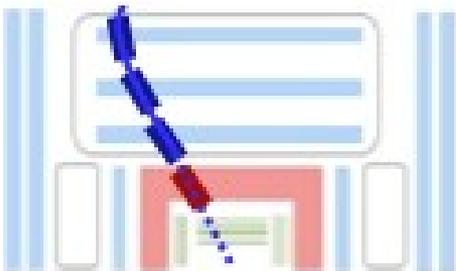
Ricostruzione dei muoni

In ATLAS sono presenti quattro tipologie di ricostruzione dei muoni

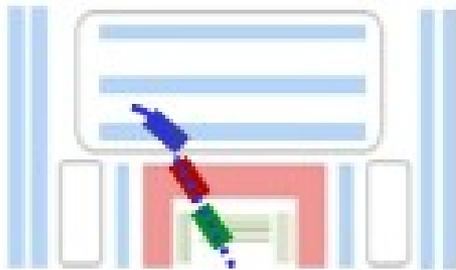
Parametri delle tracce:
 $p_T, \eta(\theta), \phi, d_0, z_0$



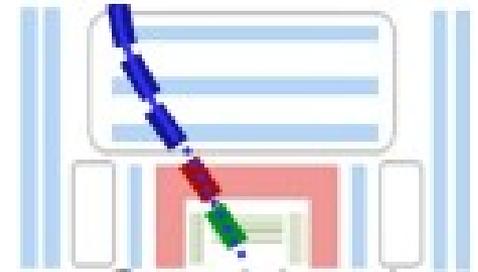
I muoni **MS** sono quelli per i quali la ricostruzione usa le sole informazioni dello spettrometro a muoni



I muoni **Standalone** sono ricostruiti a partire dagli MS ed estrapolando la traccia fino al vertice di interazione nel rivelatore interno

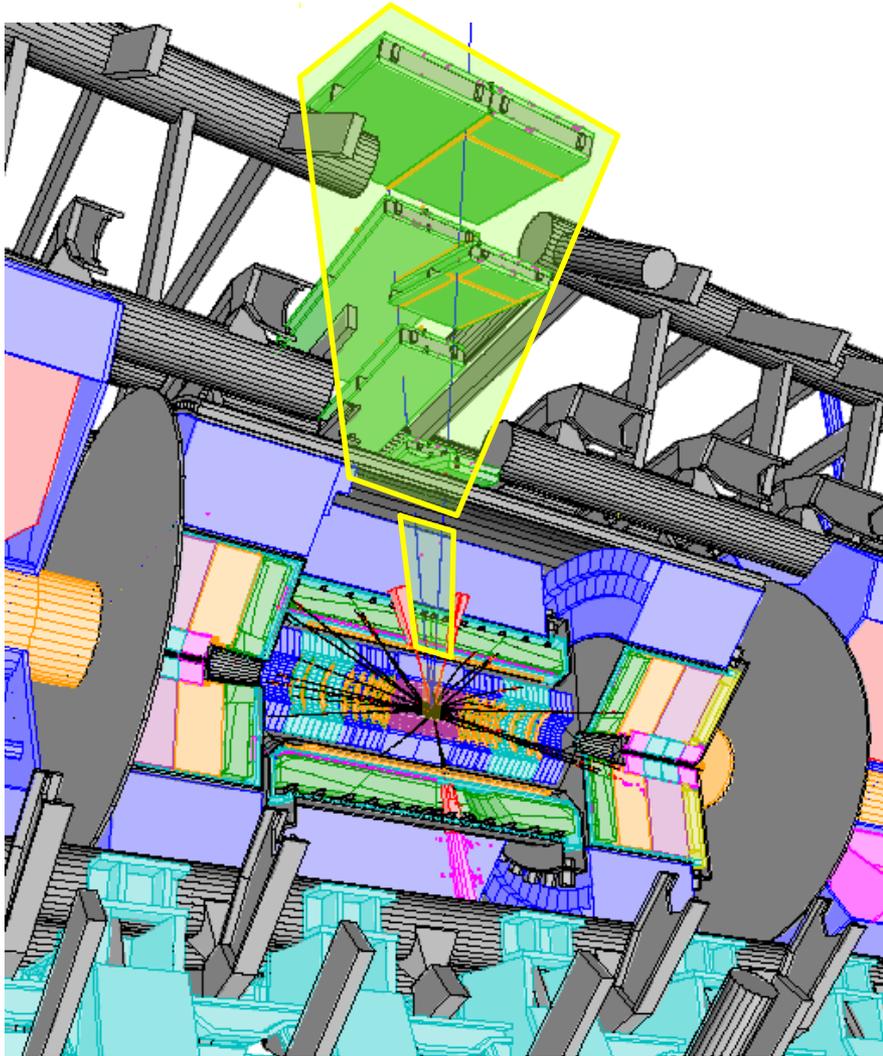


I muoni **Tagged** sono ricostruiti estrapolando una traccia del rivelatore interno fino alla prima stazione di rivelatori dello spettrometro. Sono prevalentemente muoni di basso impulso.



I muoni **Combinati** sono tracce di alta qualità ricostruite combinando statisticamente una traccia di rivelatore interno ed una traccia allo spettrometro.

Region of Interest (RoI)



La selezione del trigger di LVL1 è principalmente basata sulla localizzazione di regioni geometriche di interesse (RoI) utili alla individuazione delle parti del detector che sono state attivate dall'evento selezionato dall'algorithm di trigger.

Sui dati contenuti nelle RoI opera il LVL2 introducendo le informazioni provenienti dalle altre parti del detector.

EFMU4_Jpsimumu

Algoritmo di trigger non topologico operante nella regione di massa invariante [2,5 ; 4,3] GeV/c² basato su un trigger di L2.

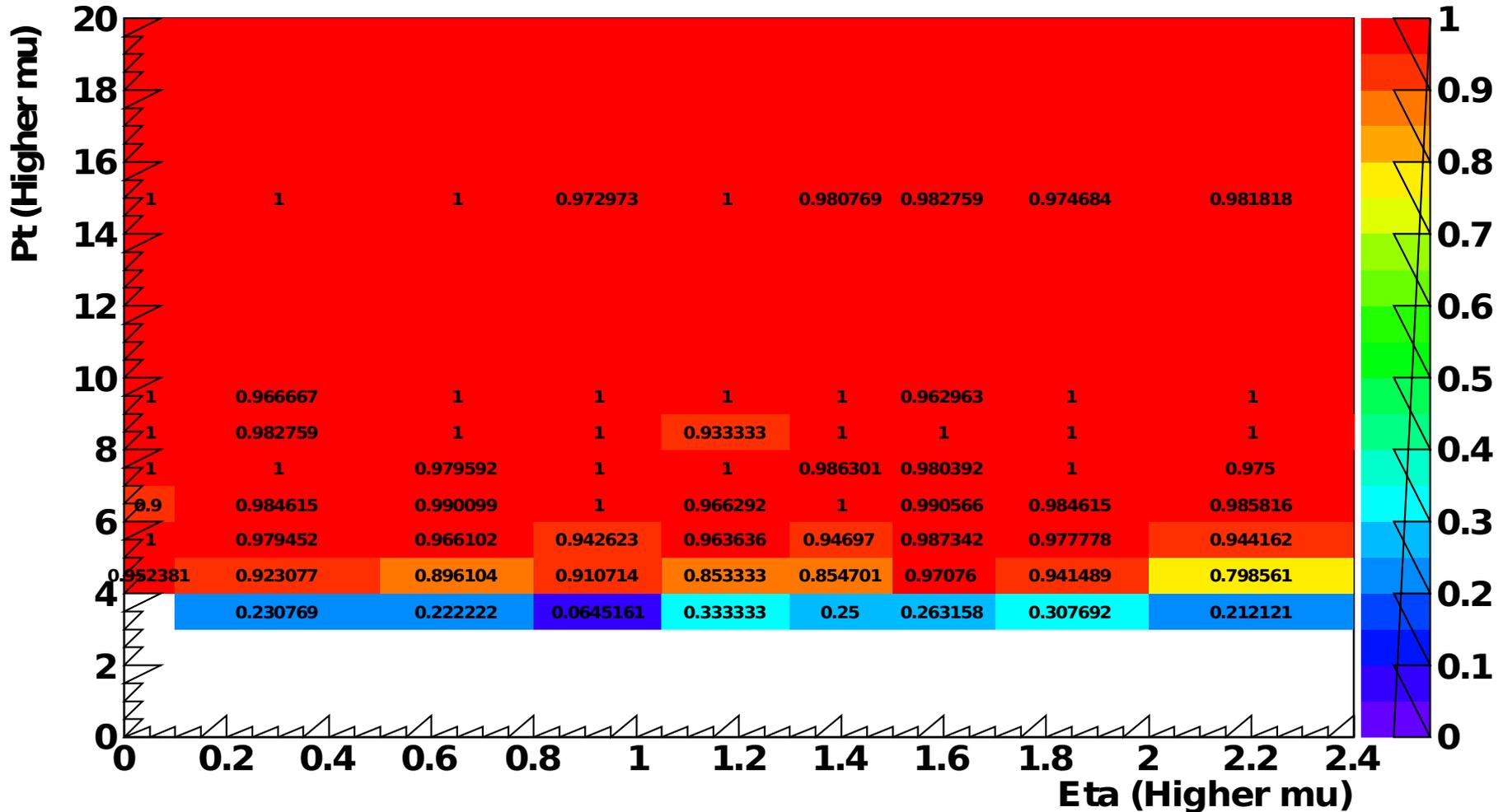
- L1MU0 cerca un muone in un'ampia regione in η e φ
- L1 RoI è confermata al L2, poi la RoI è estesa ($\Delta\eta \times \Delta\varphi = 0.75 \times 0.75$)
- Ricerca di due tracce nell'ID in Ex-RoI $\rightarrow M > 2.8$, segno opposto
- Le tracce selezionate nell'ID sono estrapolate fino allo spettrometro (MS)
- Ricerca di hit di muoni nello MS intorno alla traccia estrapolata
- Se il numero di hit nello MS è sufficiente per entrambe le tracce \rightarrow 2 Muoni
- Infine le tracce sono fittate verso un vertice comune con la seguente richiesta $\rightarrow 2.5 < M < 4.3$, $X_{\text{vtx}}^2 < 20$

Non si richiede che sia scattato l'item EFMU4

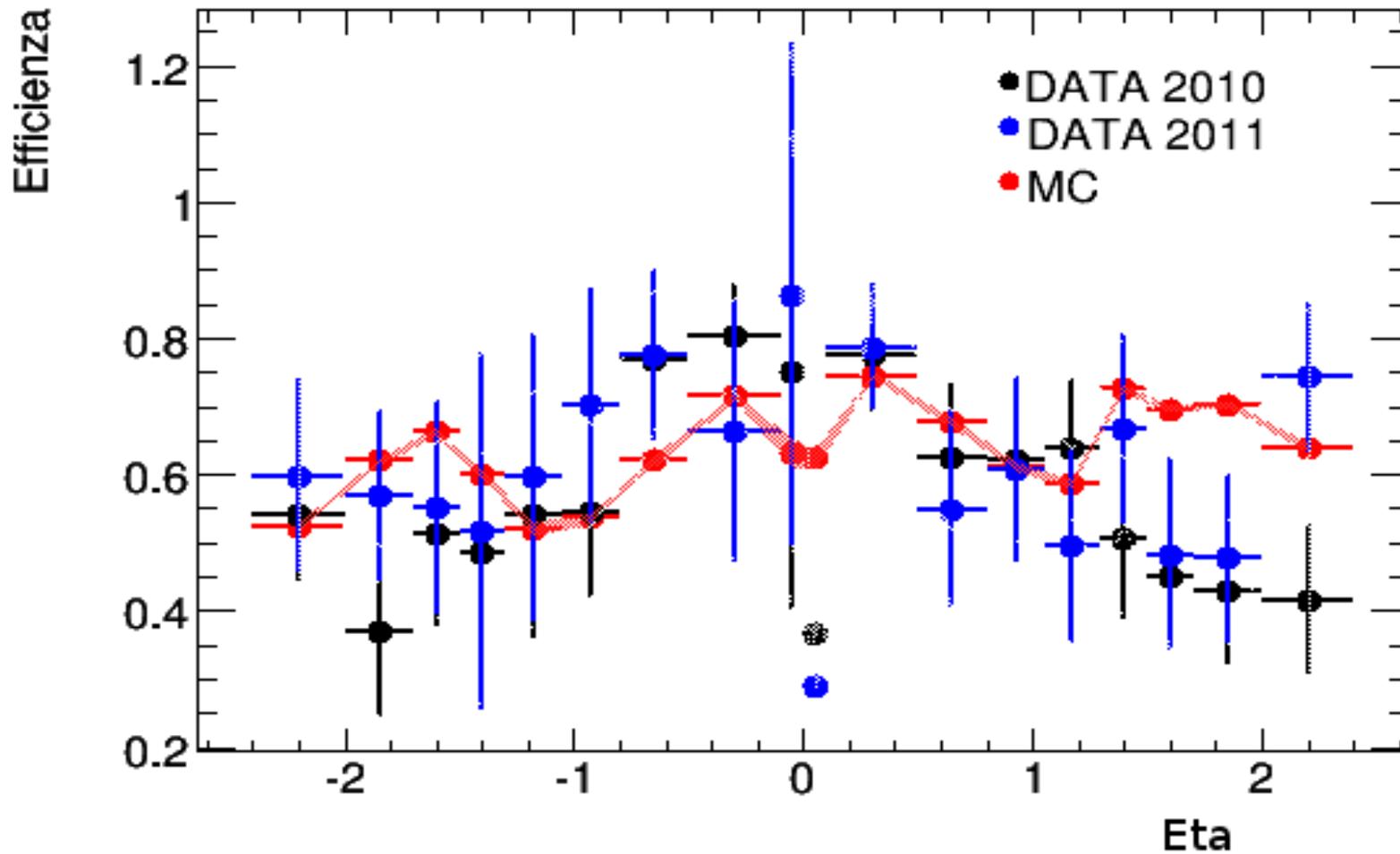
\rightarrow P(EF_mu4|EF_mu4_Jpsimumu)≠1

EFMU4_Jpsimumu

$P(\text{EF_mu4}|\text{EF_mu4_J psimumu})$



Efficienza del trigger dimuonico



η del muone con impulso trasverso maggiore

Massa invariante [2 ; 4] GeV/c²

