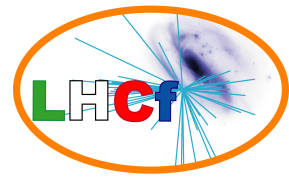


Misura della sezione d'urto di produzione dei mesoni η e π^0 in collisioni protone-protone a 13 TeV con il rivelatore LHCf



Pietro Betti per la collaborazione LHCf

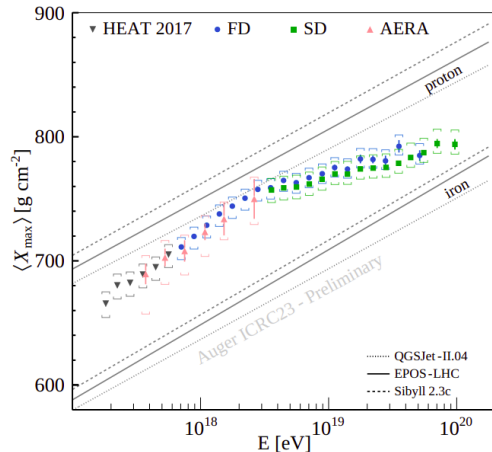
IFAE 2024

Firenze 3-5 Aprile 2024



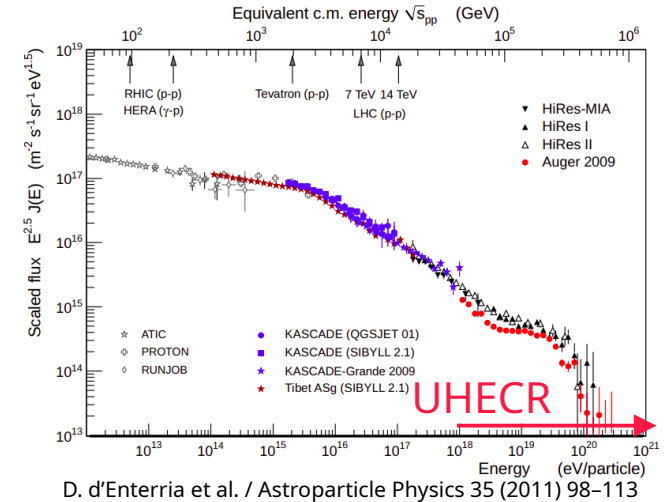
Introduzione

- Raggi cosmici di altissima energia (UHECR): punto di vista unico nello studio dell'universo e delle particelle elementari
- UHECR misurati a terra tramite esperimenti indiretti
- Misura di flusso e composizione in funzione dell'energia



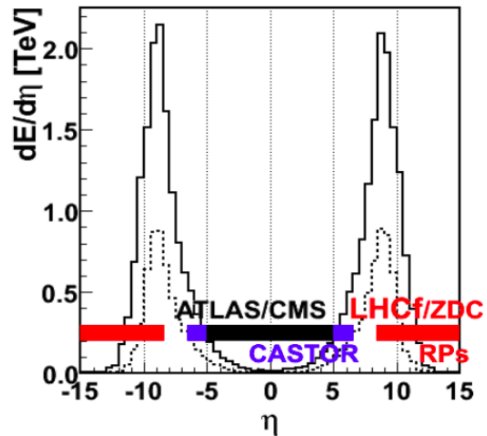
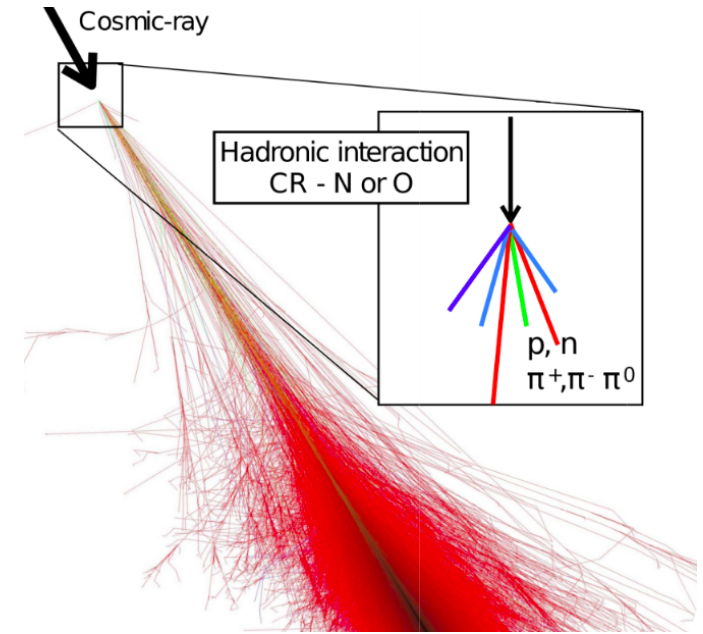
PoS(ICRC2023)016

Pietro Betti



- Interpretazione misure fortemente correlata a simulazioni e modelli adronici
- Modelli adronici con grandi incertezze (mancanza di dati per calibrazione **in avanti** ad alte energie)

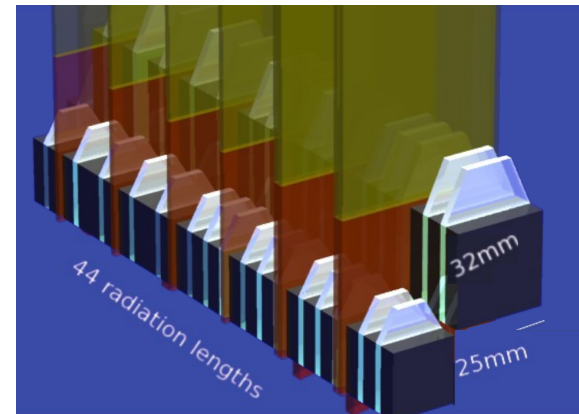
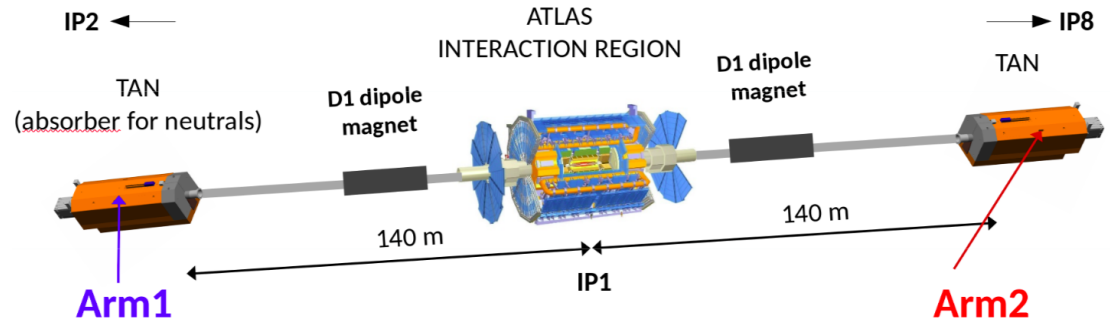
- LHC ambiente unico per studio interazioni adroniche di interesse per UHECR
 - Prima interazione raggio cosmico con atmosfera
 - p-p a $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV} \rightarrow E_{\text{LAB}} = 10^{17} \text{ eV}$



- Esperimento LHCf: misurare la produzione di particelle neutre nella regione **in avanti** nelle collisioni ad LHC

Il rivelatore LHCf

- Due rivelatori (Arm1 e Arm2) installati nel tunnel di LHC a circa 140 m di distanza da IP1 in entrambe le direzioni
- Calorimetro a campionamento e imaging
 - 22 piani di tungsteno ($44 X_0$)
 - 16 scintillatori di GSO
 - 4 x-y 160 μm Si microstrip (\rightarrow poster*)
- Per fotoni di energia $> 100 \text{ GeV}$:
 - Risoluzione energetica $< 2\%$
 - Risoluzione di posizione $< 40 \mu\text{m}$



*Elena Gensini
Calibrazione dei piani a microstrisce di silicio dell'esperimento LHCf

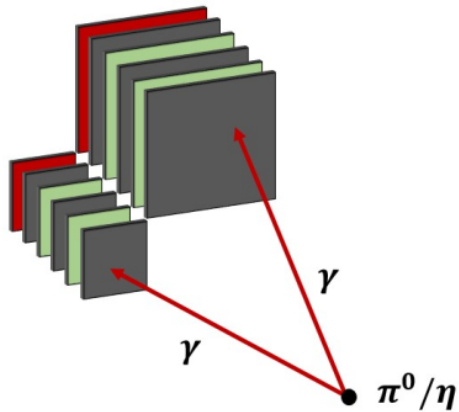
Presca dati

- Presca dati durante il Run 2 di LHC (12 - 13 Giugno 2015)
- Fill dedicato con bassa luminosità
 - $L \sim 10^{28} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, $\beta^* = 19 \text{ m}$
- Due dataset differenti con luminosità integrata rispettivamente di 0.194 nb^{-1} and 1.938 nb^{-1}
- Circa 8.4 milioni di eventi di trigger



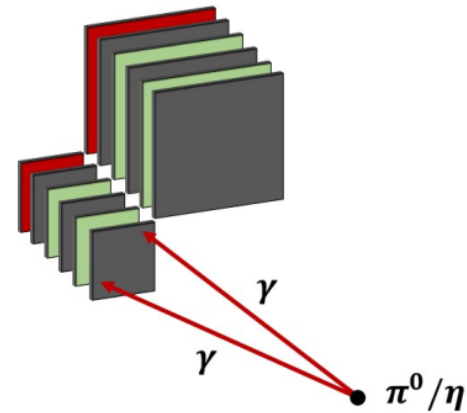
Selezione degli eventi per l'analisi di η e π^0

TYPE I



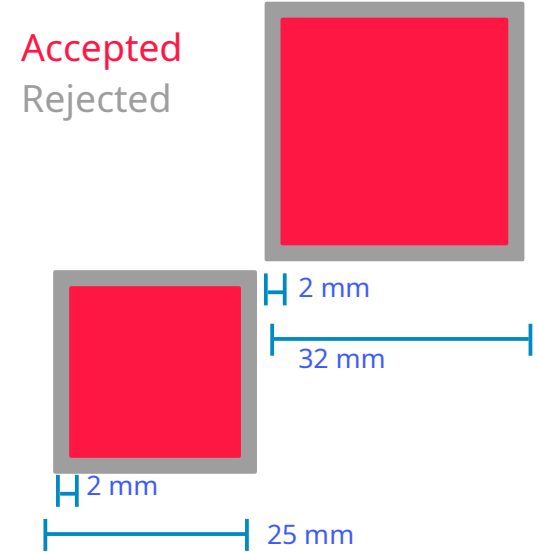
Due fotoni in due torri diverse

TYPE II

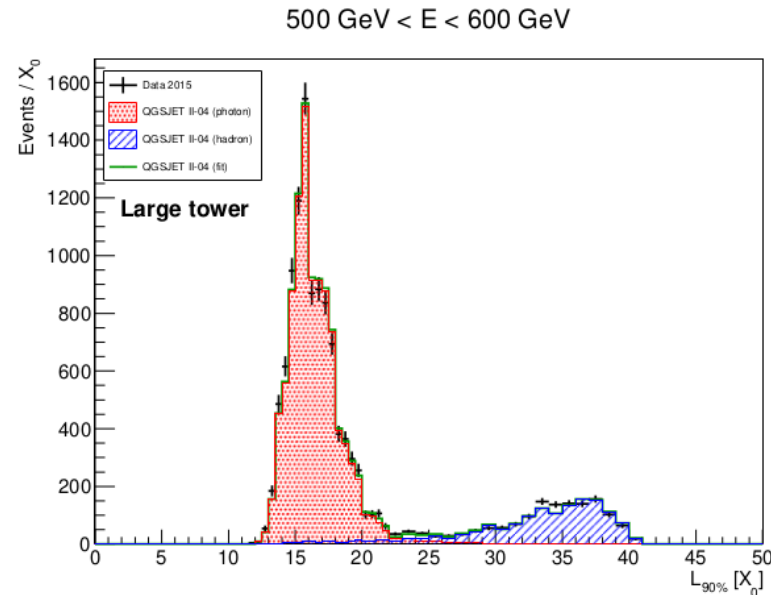


Due fotoni nella stessa torre

- Tipo di evento: solo eventi di tipo I per le η , tipo I e tipo II per i π^0
- Selezione della posizione: correzione accurata del leakage laterale



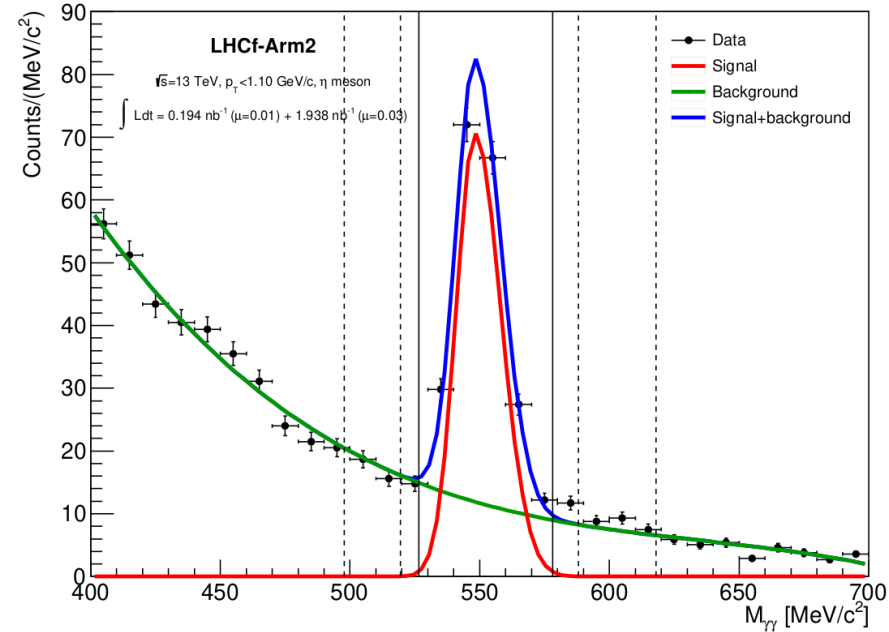
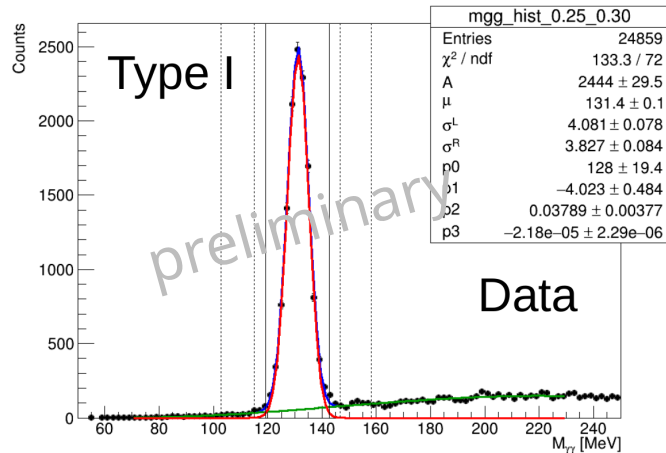
- Identificazione di particelle con variabile $L_{90\%}$



Massa invariante per i mesoni η e π^0

$$M_{YY} = \sqrt{2 E_1 E_2 (1 - \cos(\theta))}$$



- Eventi selezionati dal fondo con il metodo sideband
- Picco η spostato di $(-2.65 \pm 0.20)\%$ rispetto al valore noto
- Picco π^0 spostato di $(-2.57 \pm 0.04)\%$ rispetto al valore noto



π^0

η

Sistematico sulla scala dell'energia

- Picco η spostato di $(-2.65 \pm 0.20)\%$ e picco π^0 di $(-2.57 \pm 0.04)\%$
- Incertezza su calibrazione della scala dell'energia $\pm 2.7\%$

- Compatibili: energia dei fotoni corretta del $+2.65\%$ per far coincidere le masse di η e π^0 misurate con i valori noti

- Incertezza sistematica:
 - variazioni del fattore di correzione in funzione dell'energia minori del 1%
 - Rieseguita l'analisi variando l'energia dei fotoni di $\pm 1\%$
 - Incertezza sistematica dalla differenza con lo spettro originale

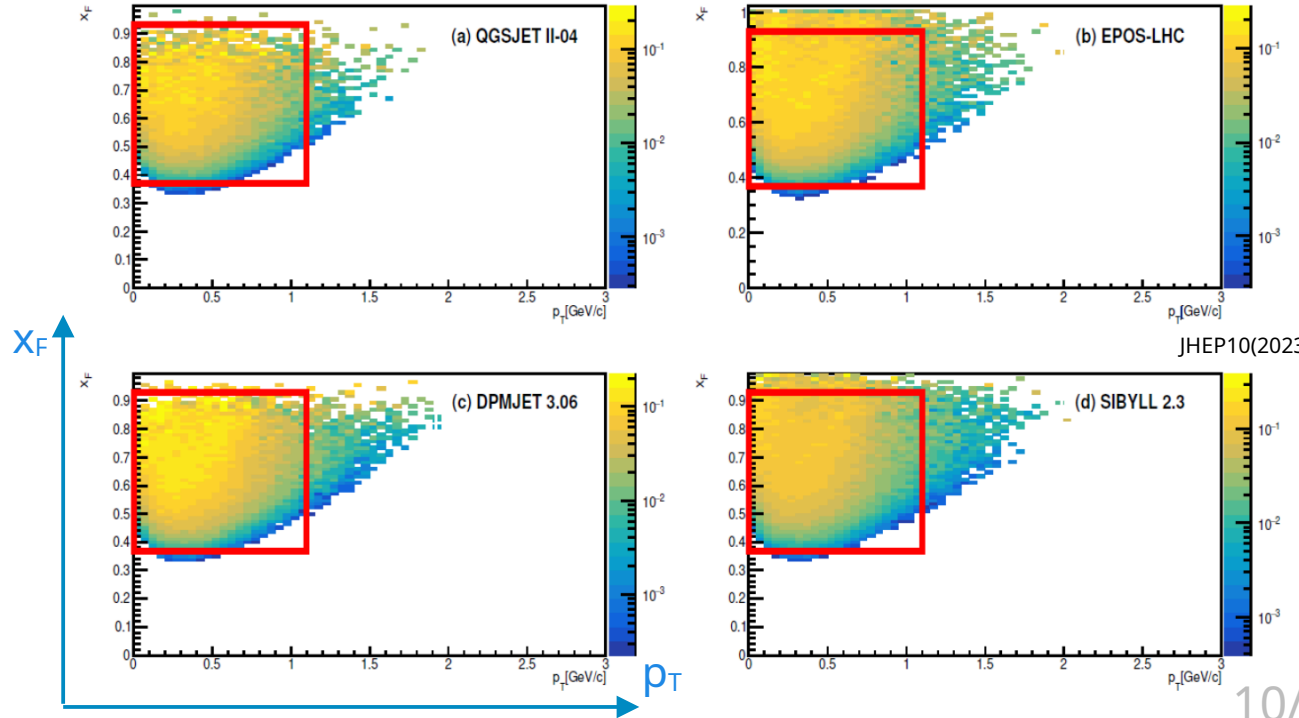
Correzioni sperimentali

- Correzione per il branching ratio ($\eta \rightarrow \gamma\gamma \sim 39.4\%$, $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma \sim 98.8\%$)
- Correzione per l'accettanza geometrica

Risultati riportati
nello spazio delle fasi

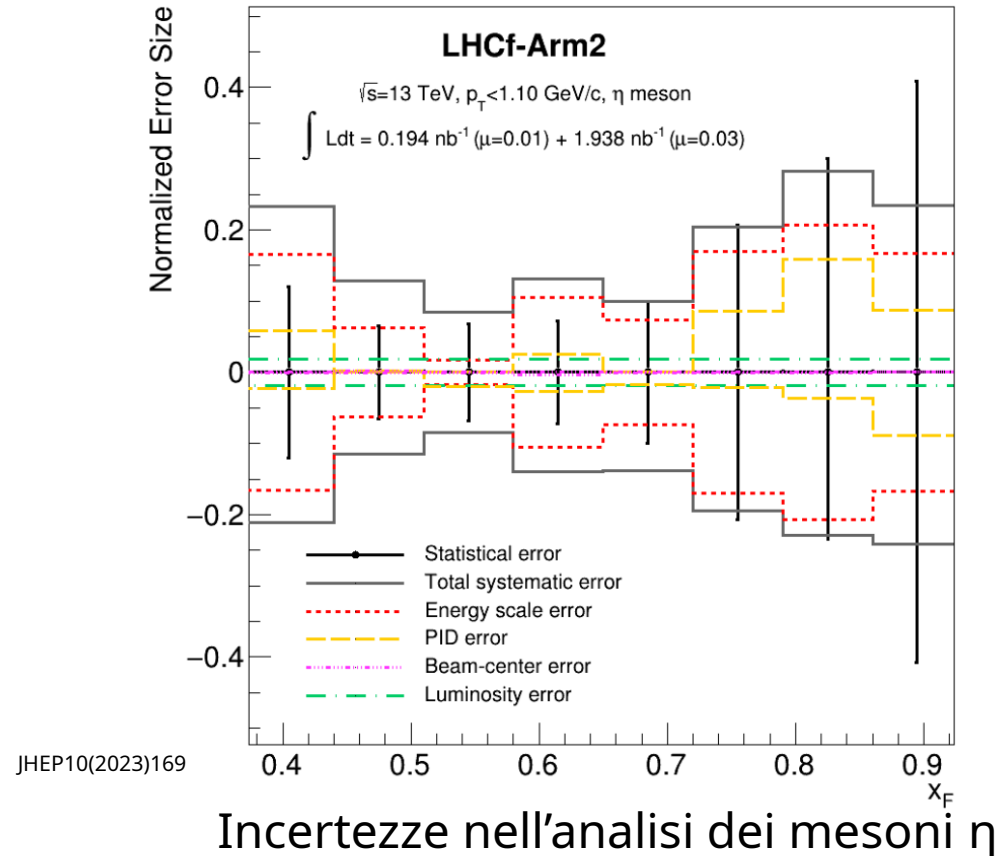
p_T - x_F

$$x_F = \frac{2 p_z}{\sqrt{s}}$$



Incertezze di misura

- Sistemático principale: scala dell'energia
- Incertezza principale: statistica
- Incertezze minori:
 - Stabilità del centro del fascio
 - Luminosità
 - Sottrazione del fondo
 - Correzioni legate al MC



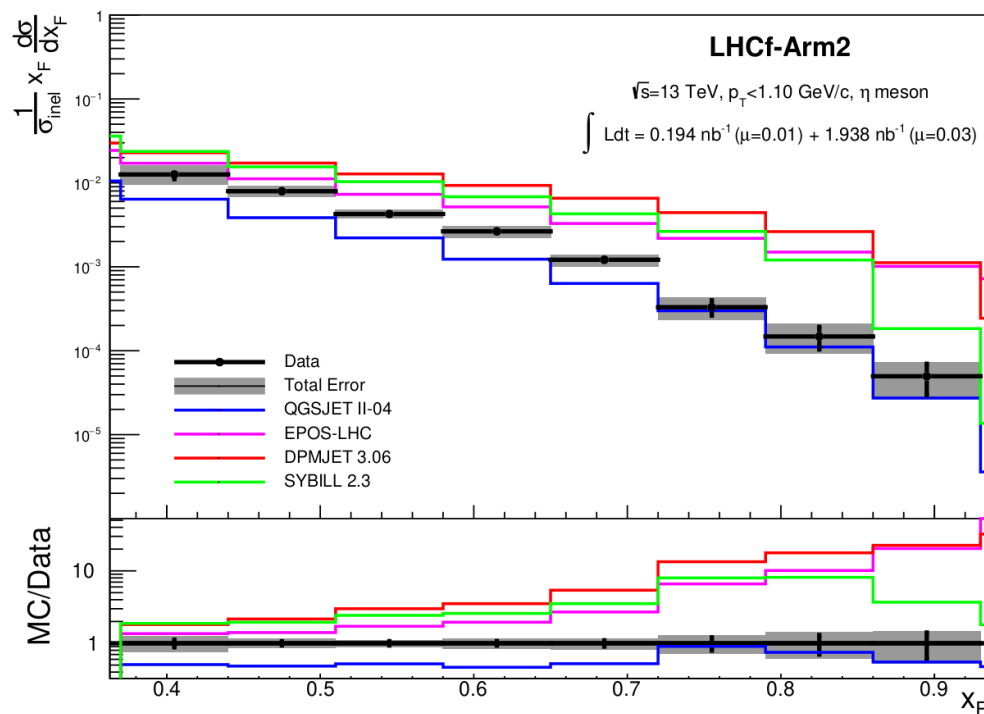
Rate di produzione in avanti dei mesoni η

- Rate di produzione dei mesoni η in funzione di x_F confrontati con i modelli adronici:

- QGSJETII-04
- EPOS-LHC
- DPMJET 3.06
- SYBILL 2.3

- Nessun modello riproduce i dati sperimentali in tutto il range di x_F

- QGSJETII-04 riproduce i risultati sperimentali ma solo ad alti x_F

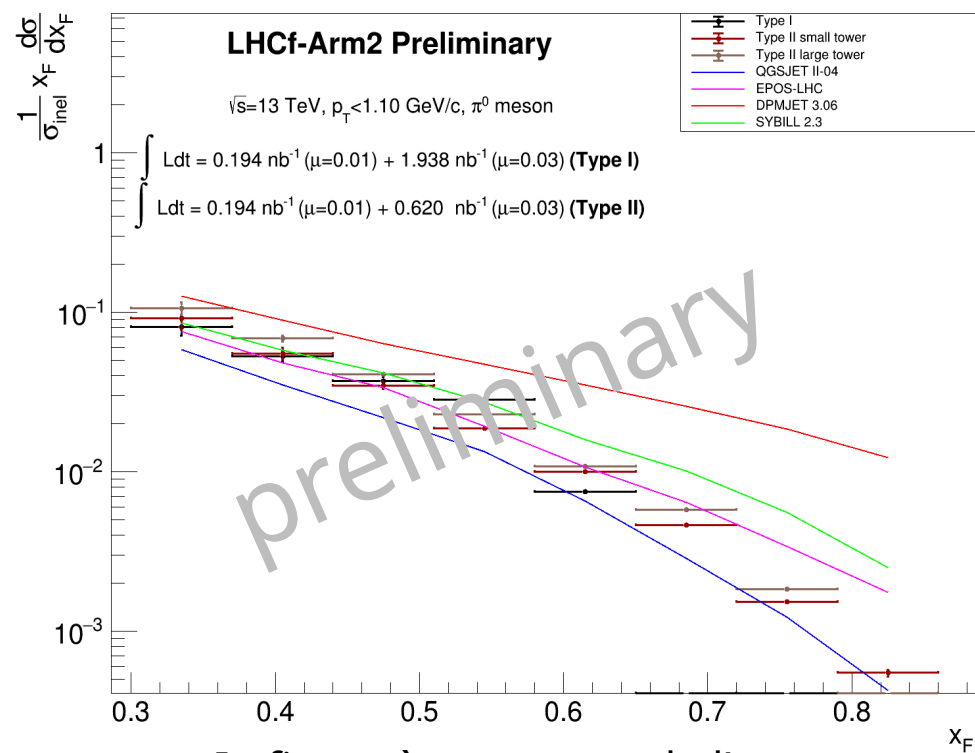


JHEP10(2023)169

$$x_F = \frac{2 p_z}{\sqrt{s}}$$

Rate di produzione in avanti dei mesoni π^0

- Rate di produzione dei mesoni π^0 in funzione di x_F confrontati con i modelli adronici:
 - QGSJETII-04
 - EPOS-LHC
 - DPMJET 3.06
 - SYBILL 2.3
- I risultati preliminari indicano un parziale accordo con alcuni modelli ma non su tutto il range di x_F



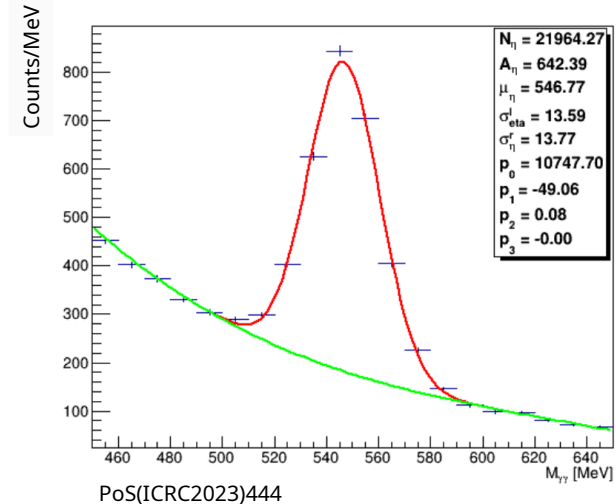
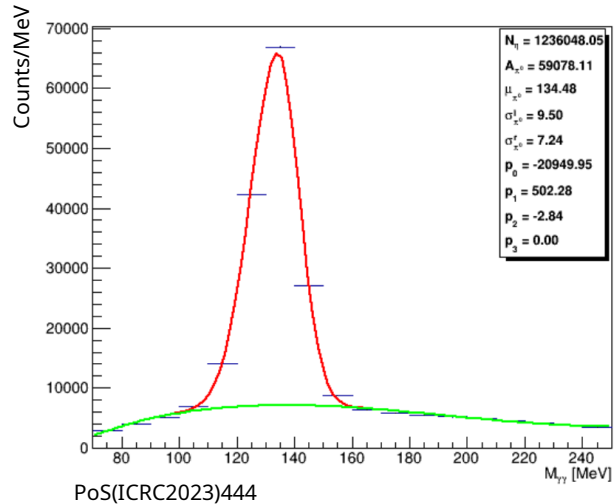
In figura è presente solo l'errore statistico

Conclusioni

- L' esperimento LHCf al LHC studia i rate di produzione di particelle neutre in avanti per lo studio dei modelli adronici necessari alle misure di UHECR.
- Presa dati nel Run 2 di LHC con circa 8.4 milioni di eventi di trigger.
- Rate di produzione di mesoni η non riprodotto fedelmente da alcun modello, solo ad alti x_F riprodotto da QGSJETII-04.
- Risultati preliminari: parziale accordo con alcuni modelli ma non su tutto il range di x_F

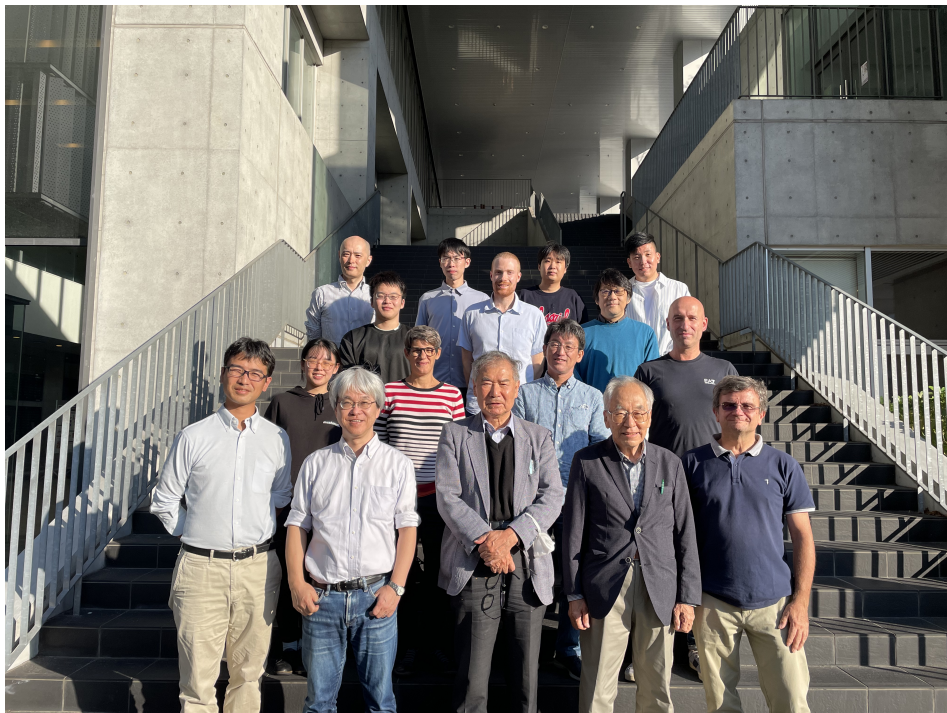
Sviluppi futuri

- Analisi dei dati acquisiti durante il Run 3 di LHC attualmente in corso, statistica di η e π^0 circa dieci volte maggiore rispetto al Run 2 \rightarrow diminuzione incertezza statistica



- Nel 2025 presa dati durante il Run protone-ossigeno al LHC

Grazie per l'attenzione



Backup

Correzioni sperimentali

- Correzione per l'accettazione usando un toy MC con differenti modelli adronici
- Correzione per le inefficienze di selezione (utilizzando simulazioni con QGSJET II-04 e EPOS-LHC)
- Correzione per le multihit (utilizzando simulazioni con QGSJET II-04 e EPOS-LHC)
- Correzione per il branching ratio ($\eta \rightarrow \gamma\gamma \sim 39.4\%$, $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma \sim 98.8\%$)

Incertezze sistematiche

- Scala energetica: stabilità del fattore di correzione del +2.65% in funzione dell'energia
- Identificazione delle particelle: confronto utilizzando tagli di PID con L_{85} e L_{95} invece di L_{90}
- Stabilità del centro del fascio: spostamento del centro del fascio di ± 0.3 mm in X e Y
- Luminosità: $\pm 1.9\%$
- Sottrazione del fondo utilizzando simulazioni con QGSJET II-04
- Correzioni legate al MC confrontando risultati con differenti modelli adronici

Pythia tuning with LHCf data

