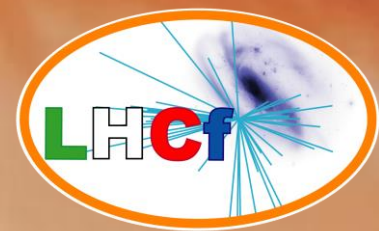


# MISURA DELLA PRODUZIONE DI MESONI $\eta$ IN AVANTI CON IL RIVELATORE LHCF-ARM2 AD LHC



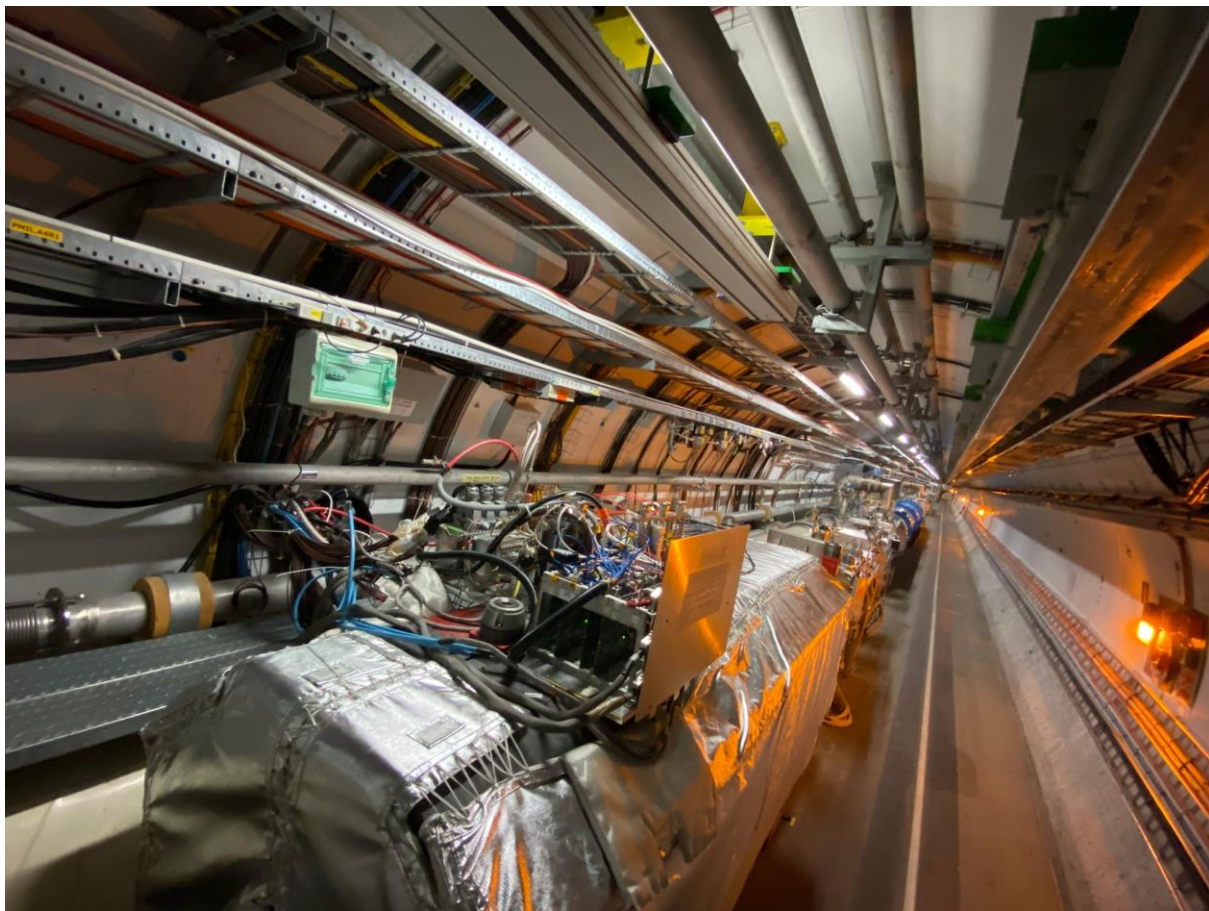
Giuseppe Piparo<sup>1,2,3</sup> in rappresentanza della collaborazione LHCf

1. INFN Sezione di Catania
2. Università degli studi di Catania
3. Centro Siciliano di Fisica Nucleare e Struttura della Materia (CSFNSM)

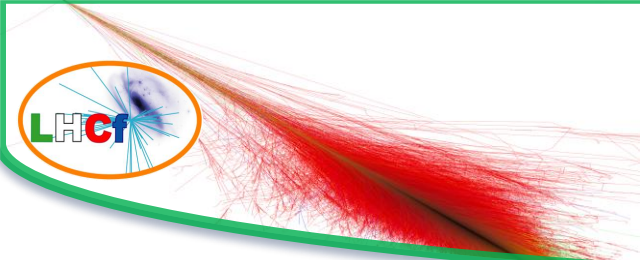
INCONTRI DI FISICA DELLE ALTE ENERGIE, CATANIA, 12-14 APRILE 2023



# LHCf: STUDIANDO I RAGGI COSMICI A LHC

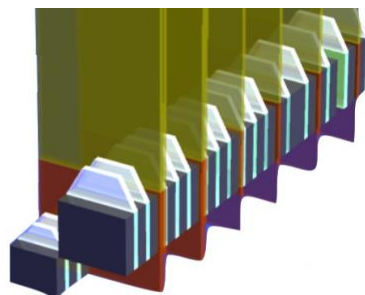


- Il **Large Hadron Collider forward** (LHCf) è il più piccolo degli esperimenti presenti al LHC.
- È dedicato alla fisica dei raggi cosmici ultra-energetici.
- I dati raccolti permettono di calibrare i **modelli di interazione adronica** utilizzati nelle simulazioni degli 'extensive atmospheric showers'.

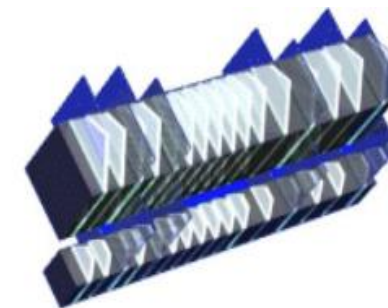
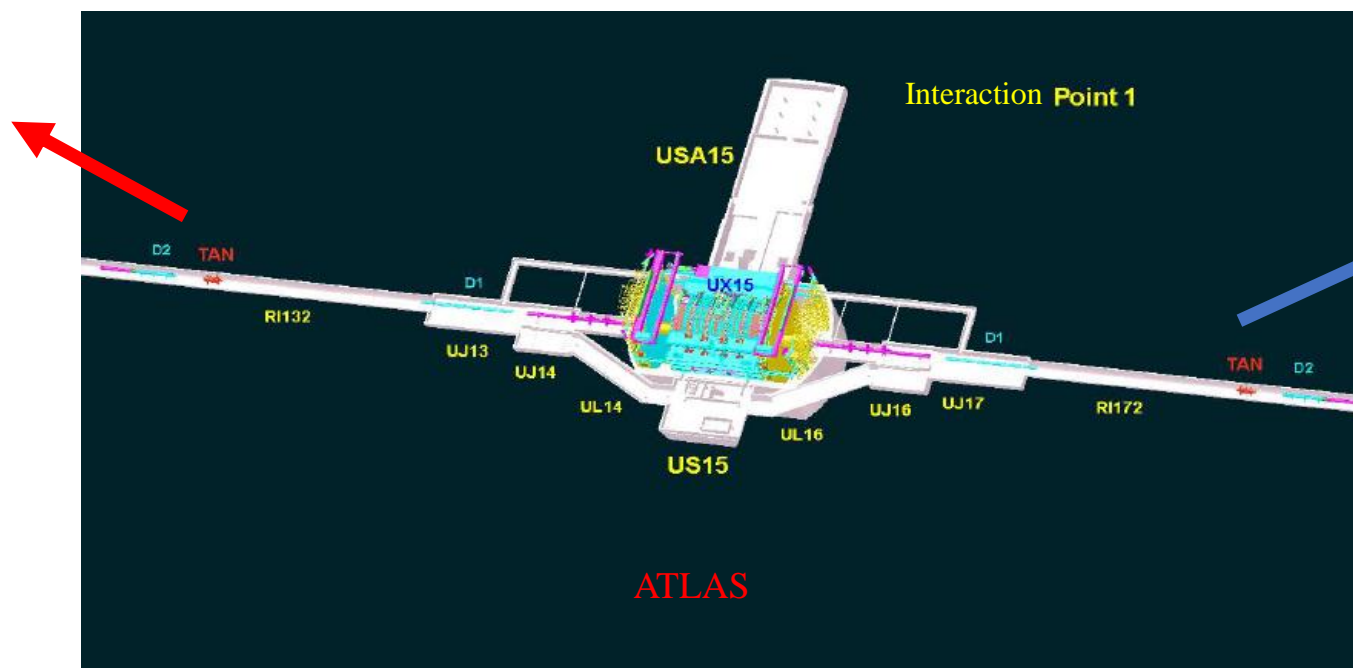


# L'ESPERIMENTO LHCf

- L'esperienza LHCf consiste in due **calorimetri a campionamento** dotati di rivelatori di posizione.
- Realizzati in Tungsteno e fibre scintillanti in GSO, i due rivelatori hanno diversi sistemi di tracciatura, **barre di GSO** per Arm1 e piani di **microstrisce di silicio** per Arm2.
- I due apparati sono collocati a circa 140 m dal Punto di Interazione 1 (IP1) del LHC.
- In questa posizione, è possibile osservare le **particelle neutre prodotte in avanti** nelle collisioni adroniche.

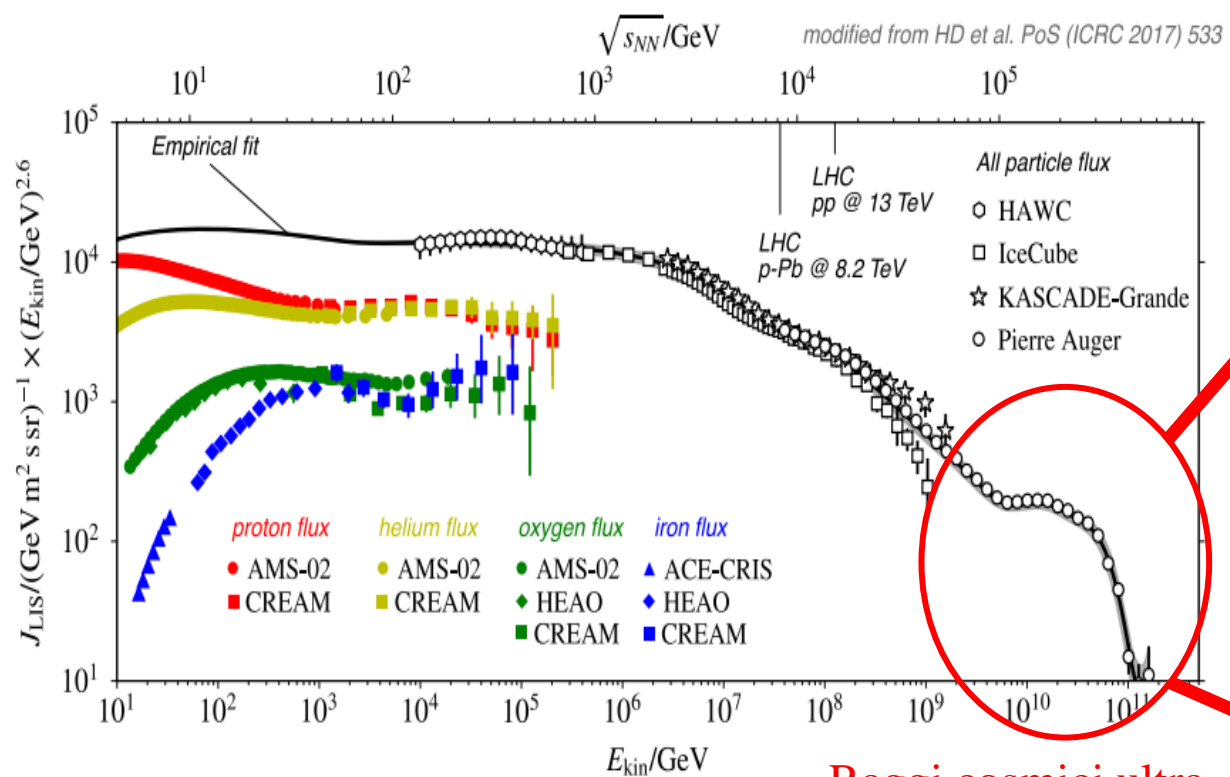


LHCf-ARM2

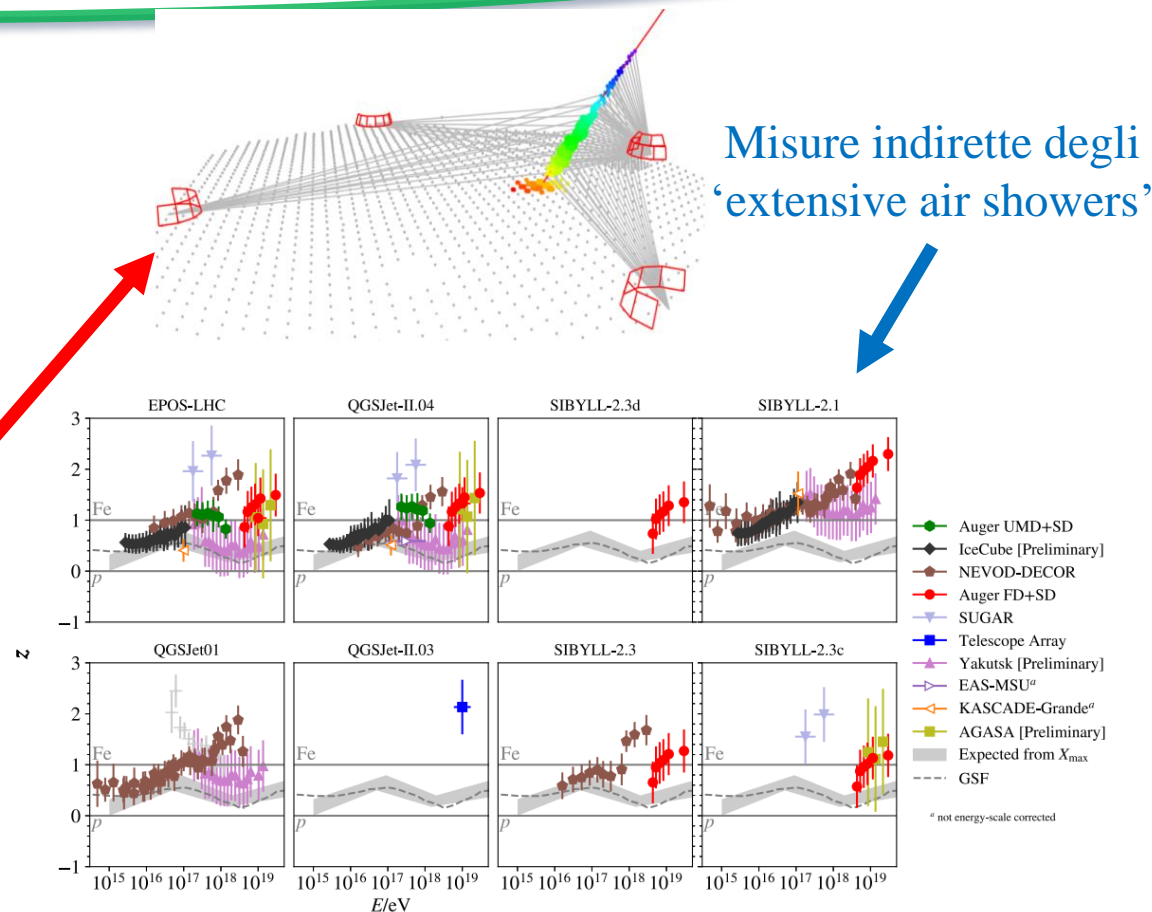


LHCf-ARM1

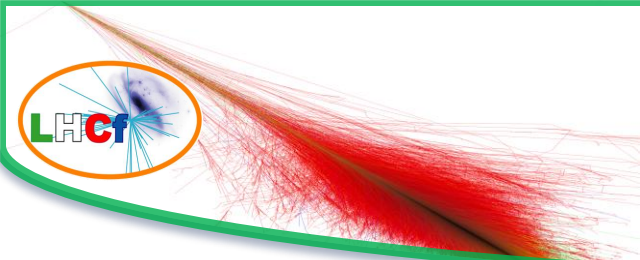
# RAGGI COSMICI ULTRA-ENERGETICI IN ATMOSFERA



Raggi cosmici ultra-energetici



Il 'Muon puzzle' nella misura della composizione

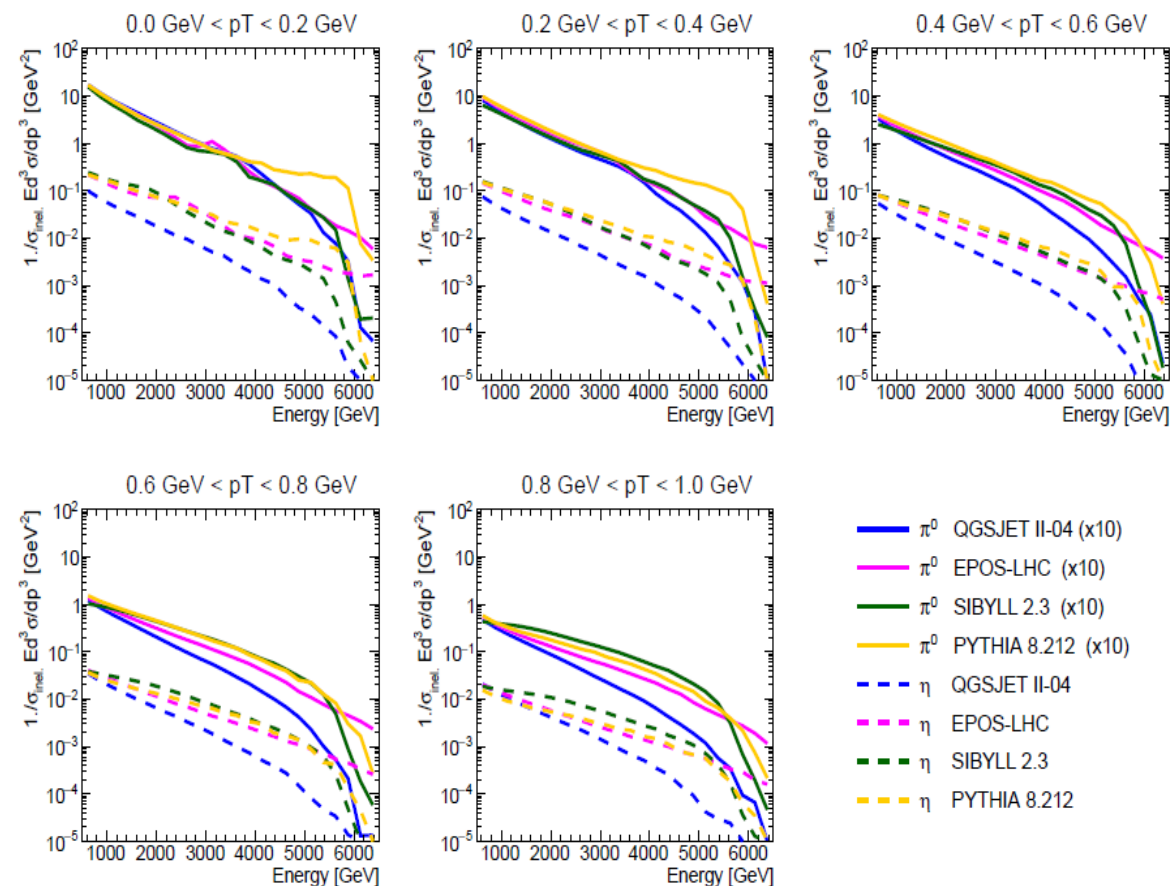


# RISULTATI DI LHCf

- L'obiettivo principale delle analisi dati di LHCf è la misura degli spettri in energia e impulso trasverso di particelle neutre prodotte a piccolo angolo.
- Con queste informazioni posso essere effettuate calibrazioni e test dei principali **modelli in interazione adronica**.
- Attualmente sono state effettuate le analisi di fotoni, neutroni e pioni neutri.

	$\gamma$	neutron	$\pi^0$	$\eta^0$
<b>Detector Calibration</b>	NIM A, 671, 129 (2012) JINST 12 P03023 (2017)	JINST 9 P03016 (2014)		
<b>p+p 510 GeV (RHICf)</b>	...submitted to PLB		Phys. Rev. Lett. 124, 252501 (2021)	
<b>p+p 900 GeV</b>	Phys. Lett. B 715, 298 (2012)			
<b>p+p 7 TeV</b>	Phys. Lett. B 703, 128 (2011)	Phys. Lett. B 750 (2015) 360-366	Phys. Rev. D 86, 092001 (2012) Phys. Rev. D 94 032007 (2016)	
<b>p+p 2.76 TeV</b>			Phys. Rev. C 89, 065209 (2014) Phys. Rev. D 94 032007 (2016)	
<b>p+Pb 5.02TeV</b>				
<b>p+p 13 TeV</b>	PLB 780 (2018) 233-239	JHEP 11 (2018) 073 JHEP 07 (2020) 16	<b>Analysis ongoing</b>	<b>Almost complete</b>
<b>p+Pb 8.1TeV</b>	Analysis ongoing			

- Uno dei parametri chiave dei modelli di interazione adronica è **la produzione di stranezza**, che può essere testata misurando la sezione d'urto di produzione di mesoni  $\eta$  e K.
- Le differenze nella produzione di stranezza tra i modelli inducono **forti discrepanze** nella determinazione della sezione d'urto di produzione, maggiori rispetto a quelle osservate per i pioni neutri.
- In questa presentazione mostreremo i risultati della misura del rate di produzione di mesoni  $\eta$  in collisioni protone-protone a  $\sqrt{s} = 13$  TeV.





# STRATEGIA DI ANALISI DATI

Ricostruzione di coppie di fotoni nel rivelatore LHCf-Arm2

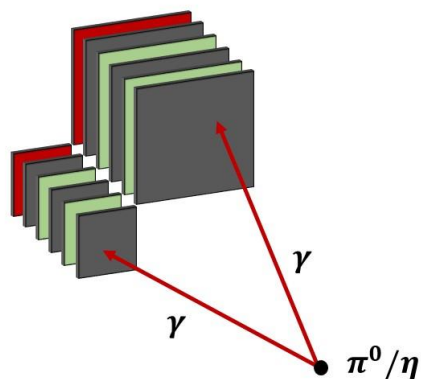
Selezione di mesoni  $\eta$  e sottrazione del background

Correzioni per effetti sperimentali

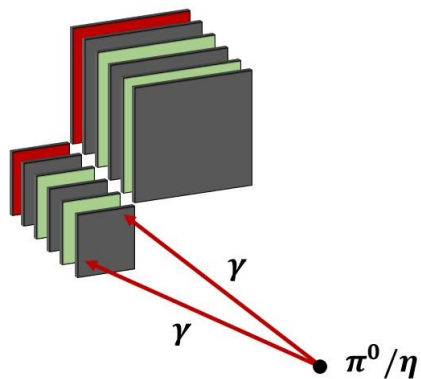
Stima delle incertezze

Calcolo del rate di produzione di mesoni  $\eta$  e confronto con i modelli teorici

TYPE I



TYPE II



- I mesoni  $\eta$  vengono osservati rivelando i **due fotoni** prodotti nel decadimento  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$  (B.R. 39.41%).
- Gli eventi possono essere di **Tipo I** (un fotone per torre) o di **Tipo II** (due fotoni in una sola torre).

Event type	Type I
Number of hits	single-hit for each tower
Incident position	Within 2 mm from the edge of calorimeter
Energy threshold	$E > 200$ GeV
PID	Photonlike [ $L_{90\%} < f_{L_{90\%}}(E)$ ]

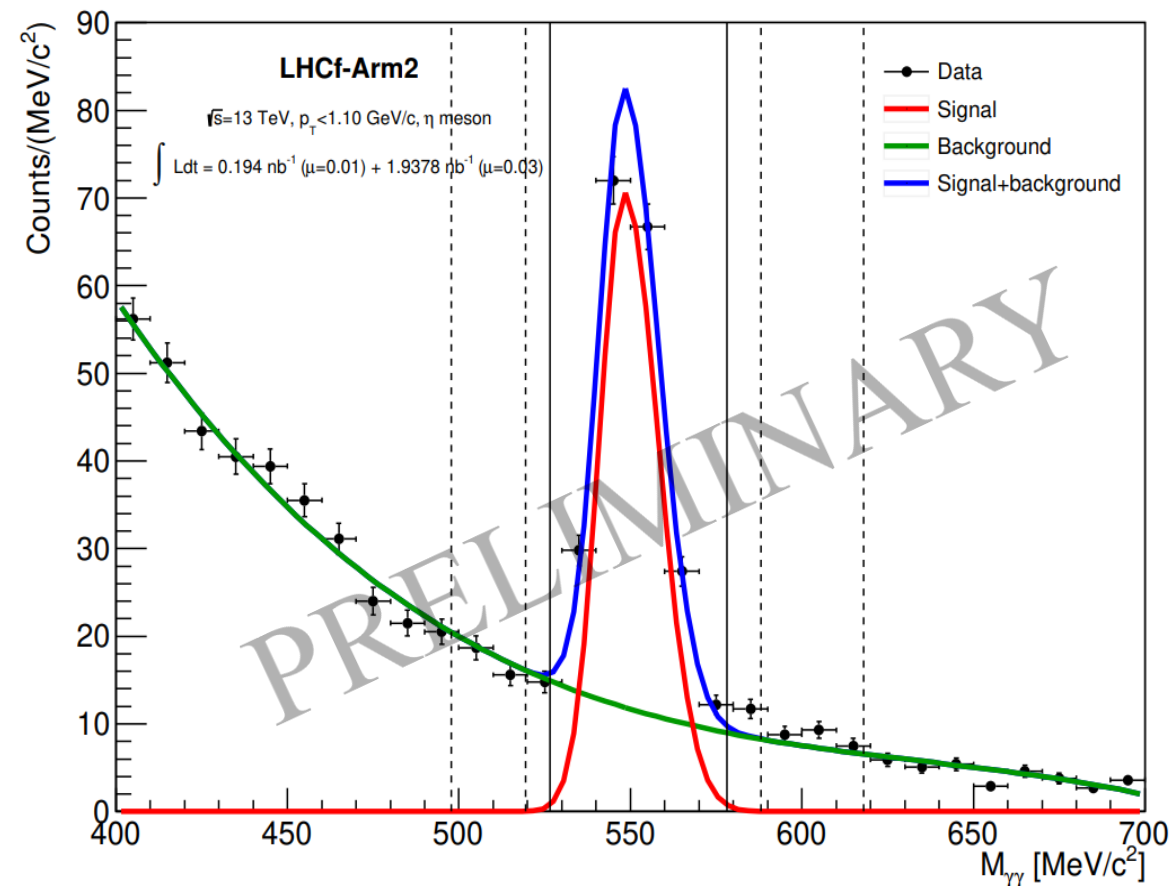
- Vengono applicati vari tagli ai dati raccolti per selezionare un campione puro di coppie di fotoni di Tipo I.
- Gli eventi di Tipo II hanno una bassa statistica nel rivelatore LHCf-Arm2, pertanto sono stati scartati.





# SELEZIONE DI MESONI $\eta$ E SOTTRAZIONE DEL BACKGROUND

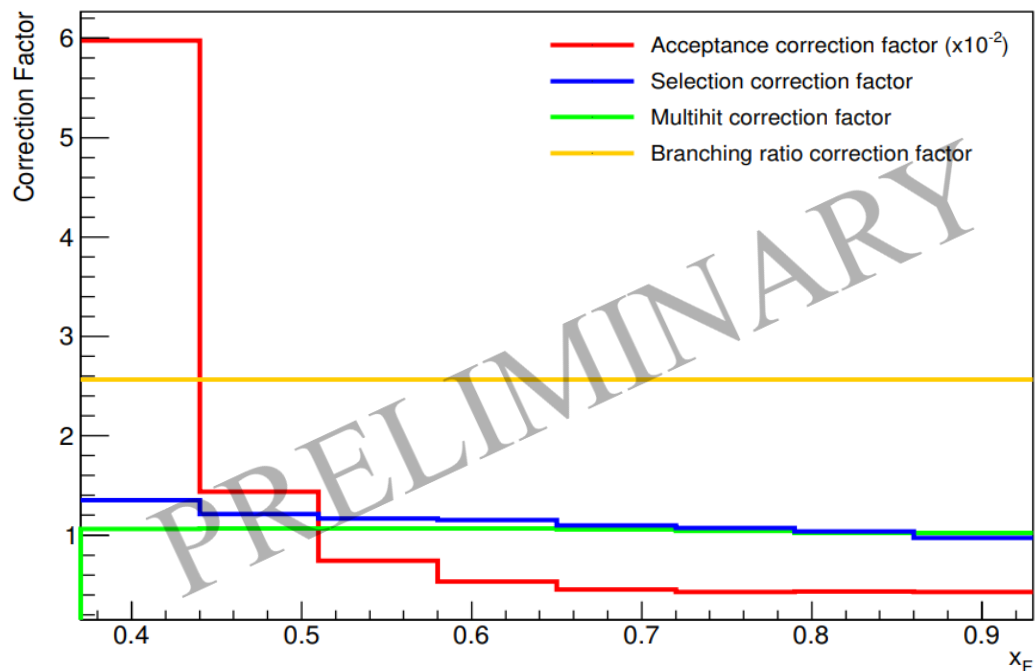
- I mesoni  $\eta$  vengono ricostruiti utilizzando il caratteristico picco nella distribuzione in **massa invariante** di due fotoni.
- Gli eventi vengono selezionati e separati dal background usando un **metodo sideband**.
- Con questo metodo sono state trovati circa **1500 mesoni  $\eta$** .
- Il picco nella distribuzione originale è stato spostato artificialmente aumentando l'energia dei fotoni del 2.65%, al fine di riportare il centroide del picco intorno al valore della massa a riposo dei mesoni  $\eta$  ( $M_\eta = 547.862 \pm 0.018 \text{ MeV}/c^2$ ).



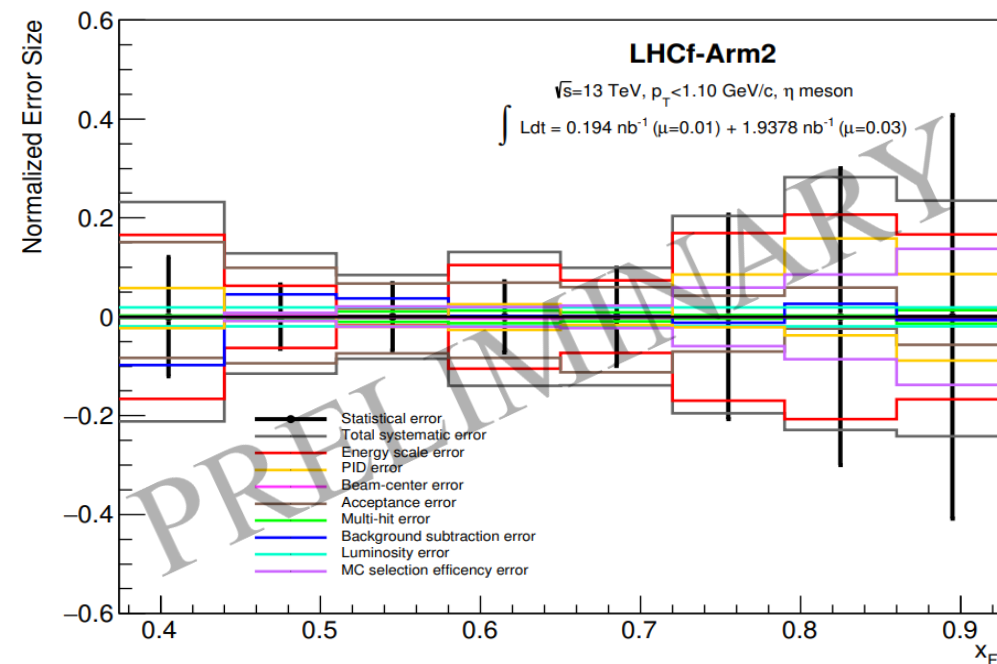


# CORREZIONI ED STIMA DELLE INCERTEZZE

## CORREZIONI SPERIMENTALI



## INCERTEZZE STATISTICHE E SISTEMATICHE

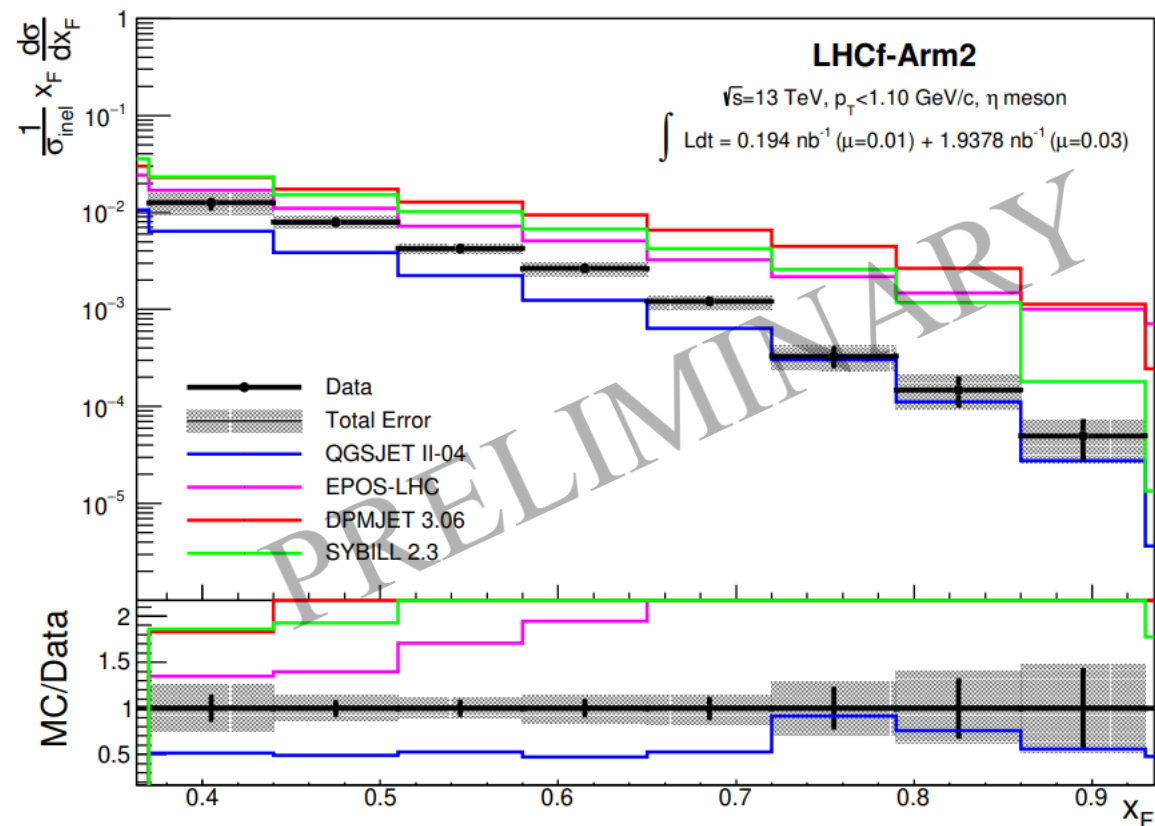


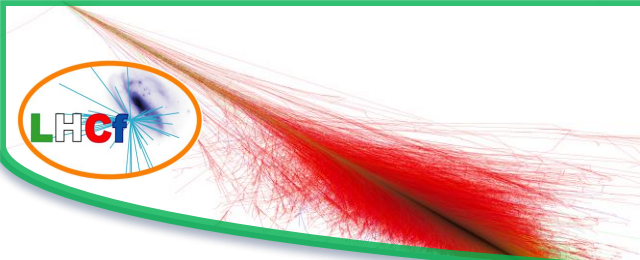
# RATE DI PRODUZIONE DI MESONI $\eta$

➤ Il rate di produzione in funzione di  $x_F$  dei mesoni  $\eta$ , misurato col rivelatore LHCf-Arm2, è stato confrontato con le previsioni di quattro modelli di interazione adronica:

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

➤ Nessuno dei modelli è in grado di riprodurre correttamente la distribuzione sperimentale nell'intero range di  $x_F$ . QGSJETII-04 mostra il migliore accordo, specialmente ad alto  $x_F$ , ma sostanziali differenze sono visibili a basso  $x_F$ .

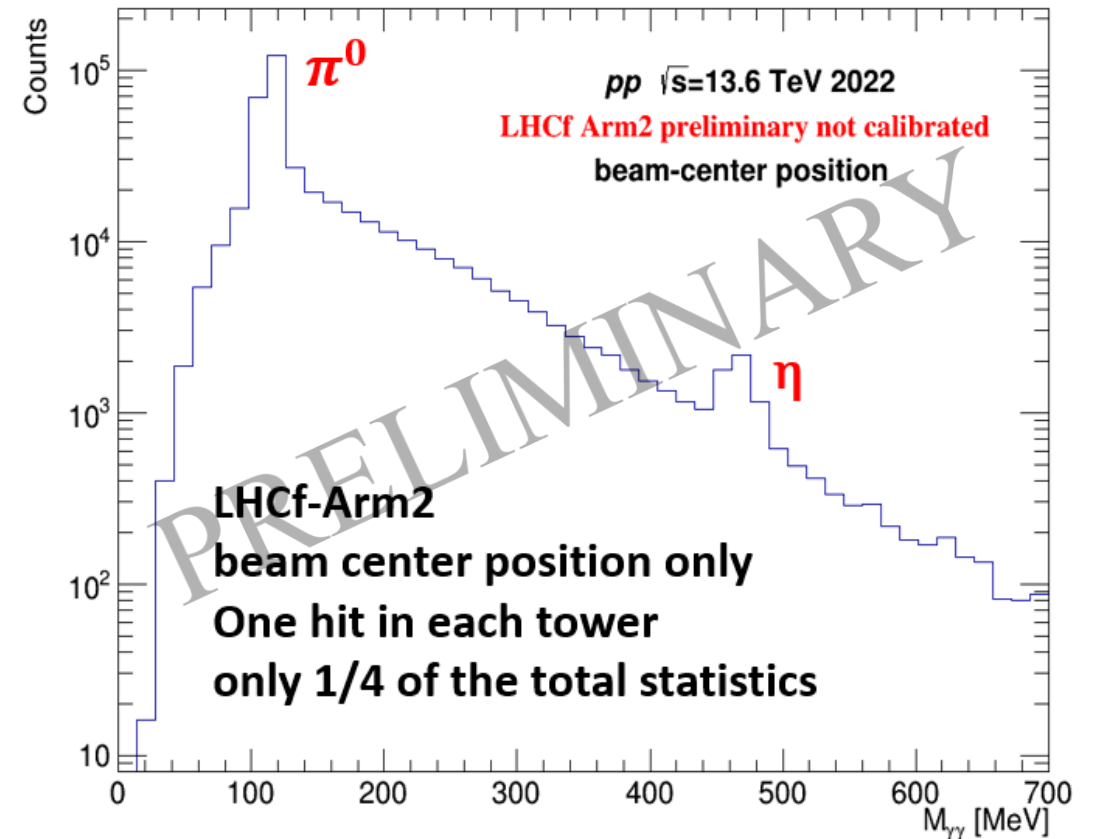


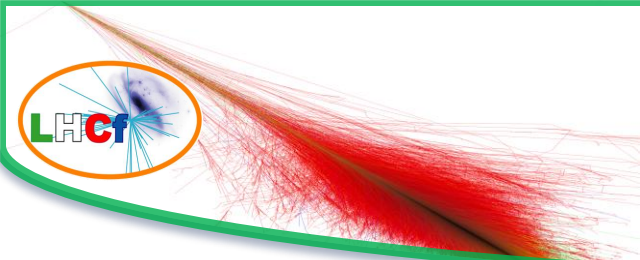


# PROSPETTIVE

- **La statistica limitata di mesoni  $\eta$  nel dataset analizzato porta alcune problematiche all'analisi:**
  - Grandi incertezze statistiche e sistematiche.
  - Necessità dell'utilizzo del metodo sideband per la sottrazione del background.
  - Limitazione della misura a un solo bin di impulso trasverso.
- I dati acquisiti durante la recente **campagna di presa dati di LHCf**, svolta a Settembre 2022, in collisioni protone-protone a  $\sqrt{s}=13.6$  TeV, permetteranno di estendere l'analisi e superare/mitigare le problematiche presenti, **grazie a un incremento della statistica di circa un fattore 8.**

Di-photon invariant mass

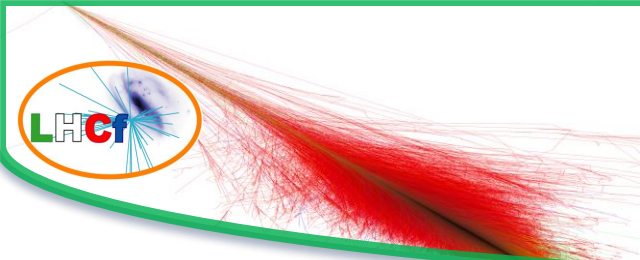




# CONCLUSIONI

- **L'esperimento LHCf ha effettuato la misura della produzione di mesoni  $\eta$  in avanti, in collisioni protone-protone a  $\sqrt{s}=13$  TeV.**
- **Per la prima volta i mesoni  $\eta$  sono stati misurati nella regione in avanti ad alte energie.**
- I risultati dell'analisi sono stati confrontati con le predizioni di diversi modelli di interazione adronica.
- **Nessuno dei modelli è in grado di riprodurre perfettamente i dati sperimentali.** QGSJETII-04 presenta il migliore accordo.
- La bassa statistica accumulata ha portato dei limiti all'analisi, che verranno mitigati grazie ai dati acquisiti recentemente da LHCf in **collisioni protone-protone a  $\sqrt{s}=13.6$  TeV.**

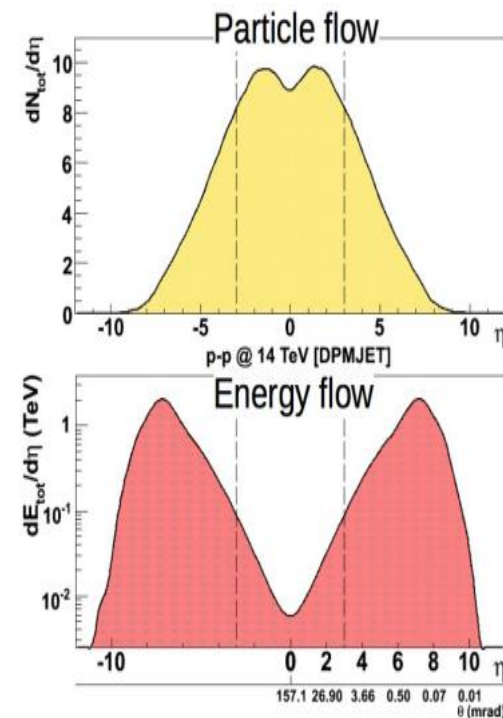
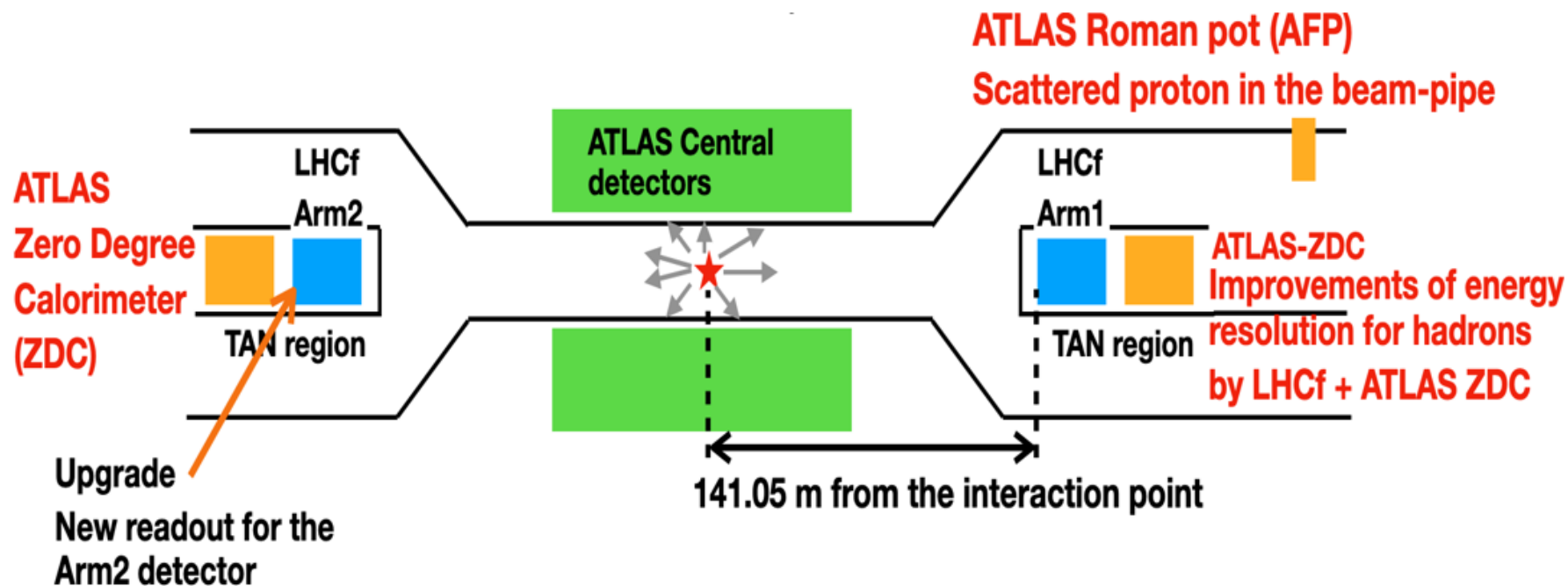
**GRAZIE PER L'ATTENZIONE!**



# SLIDES DI BACK UP

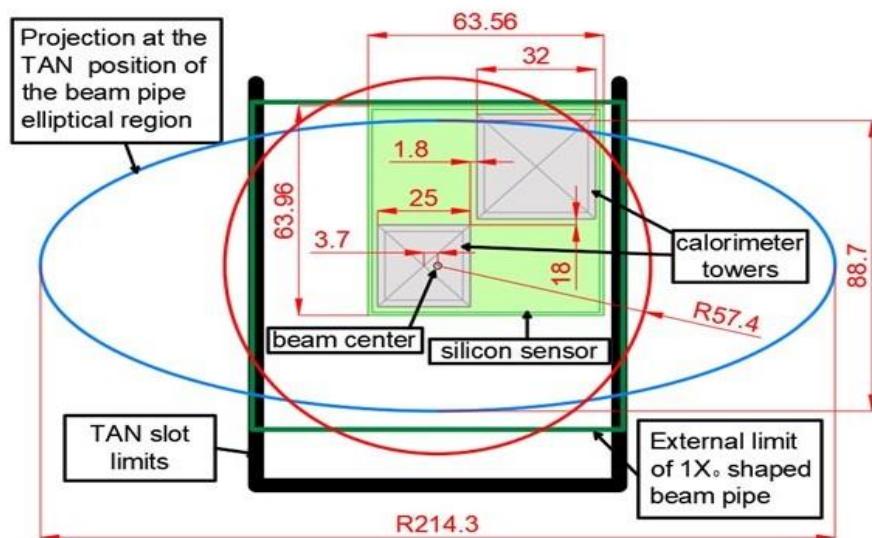


# SETUP DELLE PRESE DATI DI LHCF

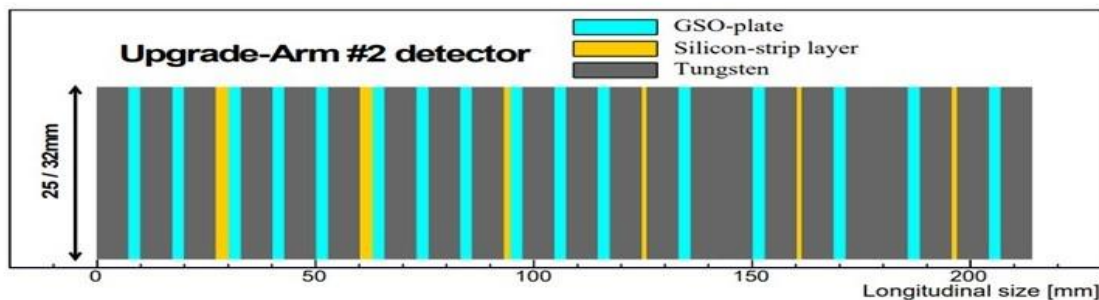




# IL RIVELATORE LHCF-ARM2



Vista longitudinale



Vista trasversale



# MAPPE DI ACCETTAZZA DI MESONI $\eta$

