

HERD: un rivelatore innovativo per nuovi orizzonti energetici nella rivelazione diretta dei raggi cosmici

Pietro Betti per la collaborazione HERD
IFAE 2024
Firenze 3-5 Aprile 2024



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



Introduzione

HERD: High Energy cosmic-Radiation Detection facility

L'esperimento HERD è un esperimento innovativo per la rivelazione diretta di raggi cosmici di alta energia che sarà installato sulla stazione spaziale cinese nel 2027.



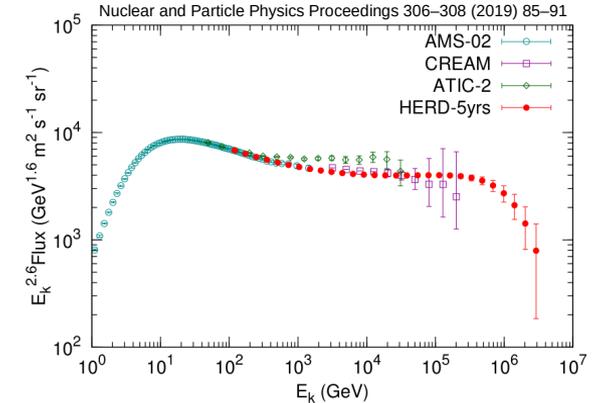
- Rivelatore basato su un calorimetro sferico
- Principali obiettivi scientifici: estendere le misure dirette di raggi cosmici di alta energia, cercare possibili segnali indiretti di materia oscura e costituire un osservatorio per i raggi gamma

Obiettivi scientifici – Protoni e Nuclei

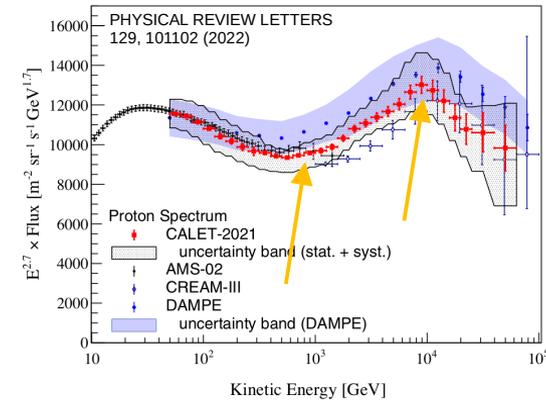
- Estendere le misure di protoni e nuclei fino al $\sim \text{PeV}/n$
- Prima misura diretta del *ginocchio* dei raggi cosmici

Misurare i flussi dei nuclei ad alta energia è fondamentale

- Misurare il rapporto tra le abbondanze di diverse specie (come B/C) per studiare la propagazione dei raggi cosmici
- Misurare hardening e softening (variazioni dell'indice spettrale) negli spettri dei nuclei e studiare la loro origine
- Cercare nuove strutture nello spettro
- Osservazione fino la Ferro ed oltre



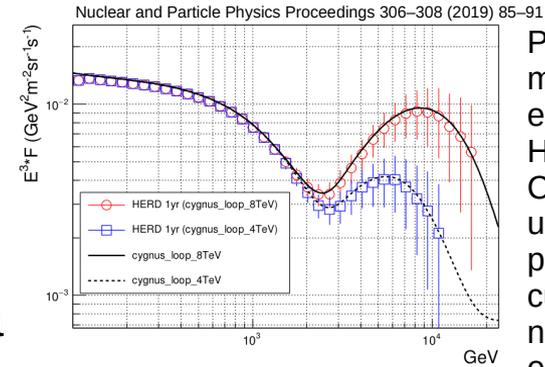
Previsioni per la misura del flusso di protoni dopo 5 anni di presa dati



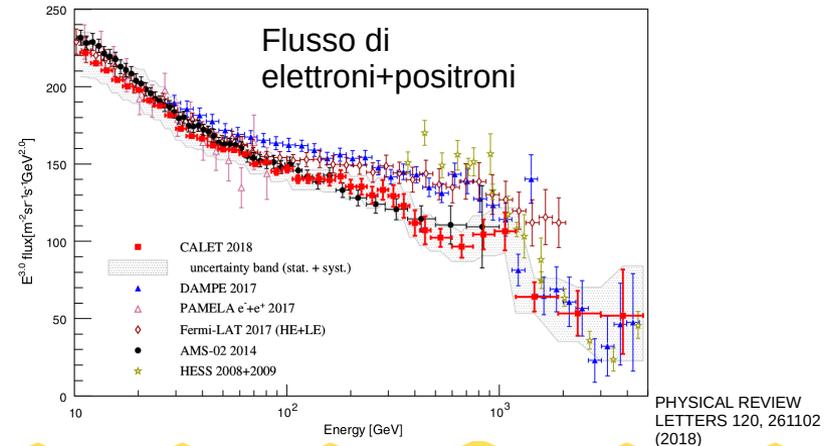
Flusso di protoni

Obiettivi scientifici – Elettroni+Positroni

- Cercare sorgenti locali di elettroni/positroni
 - Strutture nello spettro
 - Anisotropia
- Cercare possibili segnali indiretti di materia oscura
 - Strutture nello spettro
 - No anisotropia
- Misura più accurata del flusso e^+e^- ad alte energie, risolvere il problema della discrepanza di misure diverse nella regione energetica 100GeV–1TeV

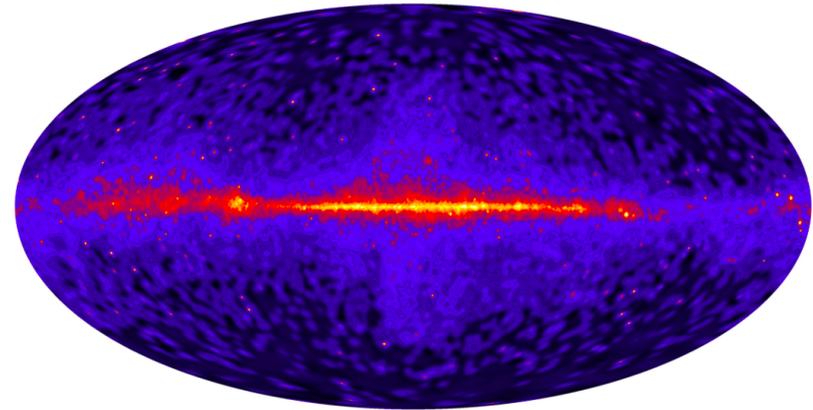


Previsione della misura del flusso di e^+e^- misurato da HERD se la SNR Cygnus loop fosse una sorgente locale, per due differenti cut-off energetici nell'accelerazione di e^+e^-



Obiettivi scientifici – Raggi Gamma

- Cercare possibili segnali indiretti di materia oscura
 - Coppie $\gamma\gamma$ dall'annichilazione di coppie particella-antiparticella di DM
 - Può produrre una struttura nello spettro dei raggi gamma
- Osservatorio di raggi gamma
 - Multi-messenger astronomy
 - Cercare sorgenti di raggi gamma
 - Investigare l'emissione diffusa di raggi gamma



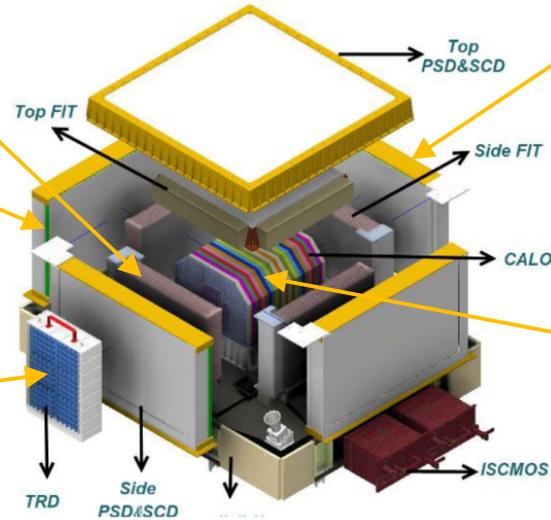
Nuclear Physics B - Proceedings Supplements
Volumes 243–244, October–November 2013, Pages 58-63

Il rivelatore

FIT (Fiber Tracker):
- tracciatore

PSD (Plastic Scintillator Detector):
- sistema di anticoincidenza
- misura di carica

TRD (Transition Radiation Detector):
- calibrazione



SCD (Silicon Charge Detector):
- misura di carica
- tracciatore

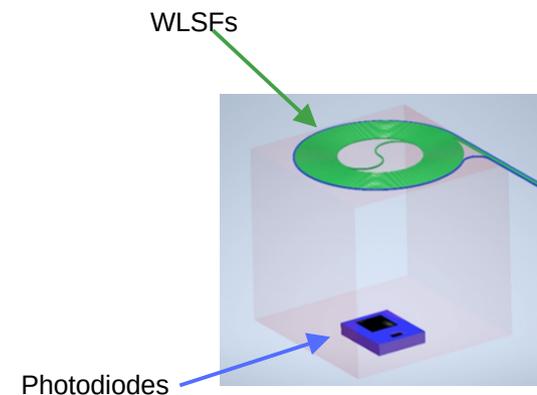
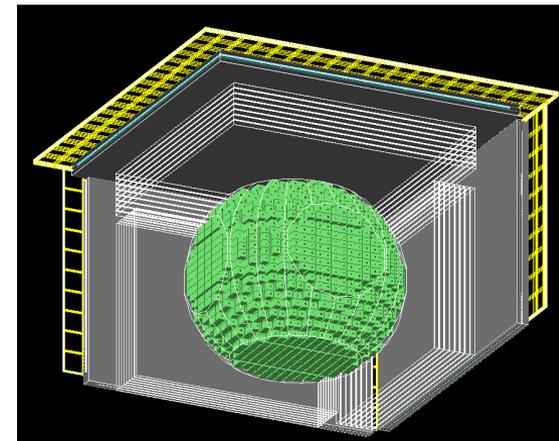
CALO (CALOrimeter):
- misura di energia
- discriminazione e-h

PoS(ICRC2023)097

Fattore geometrico efficace oltre un ordine di grandezza superiore a quello degli esperimenti attualmente in orbita!

Il rivelatore - Calorimetro

- Geometria innovativa:
 - Finemente segmentato (~7500 cristalli cubici scintillanti di LYSO di lato 3 cm)
 - Profondo ($55 X_0$, $3 \lambda_I$)
 - Omogeneo
 - 3D
 - Isotropo
 - Sferoidale
 - Grande fattore geometrico (~2.4 m²sr per elettroni, ~1 m²sr per protoni)
 - Buona risoluzione energetica (~2.5% per elettroni, <30% per protoni)
- Doppio sistema di lettura:
 - Wavelength Shifting fibers accoppiate a Intensified Scientific CMOS
 - Sistema a doppio fotodiode
 - Maggior controllo sulla scala dell'energia
 - Trigger indipendenti
 - Ridondanza



Il rivelatore - Calorimetro

- Doppio sistema di lettura:
 - Range dinamico di ogni canale estremamente alto: $>10^7$
 - Numero di canali oltre 20 volte maggiore di quello degli esperimenti attualmente in orbita
- Wavelength Shifting fibers read-out:
 - Due differenti IsCMOS: alto e basso guadagno → estendere il range dinamico
 - No segnali elettrici all'interno del calorimetro
 - Sistema innovativo mai stato usato nello spazio
- Sistema a doppio fotodiode:
 - Due PDs con aree attive diverse → estendere il range dinamico
 - FEE con selezione automatica del guadagno (high gain / low gain ≈ 20) → estendere il range dinamico
 - Sensori simili già utilizzati nello spazio

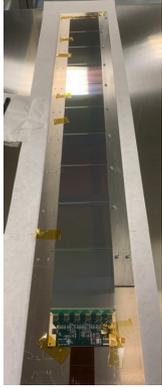


Large Photodiode
(25 mm²)

Small Photodiode
(1.6 mm²)



Il rivelatore - Sottorivelatori

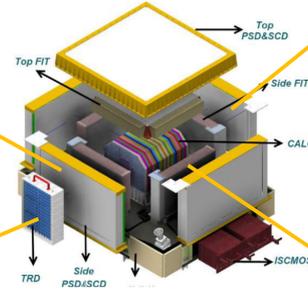
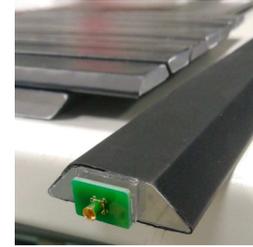


Silicon Charge Detector:

- Misura di carica (per Z 1-26) e traccia
- Silicio a microstrip (300 μm di spessore, 60 μm implantation pitch)

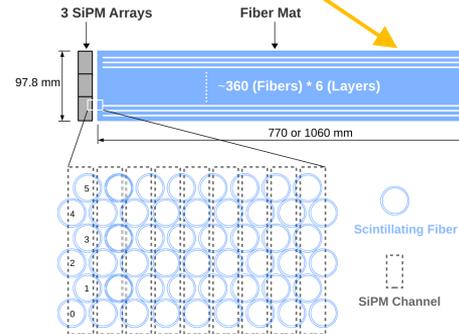
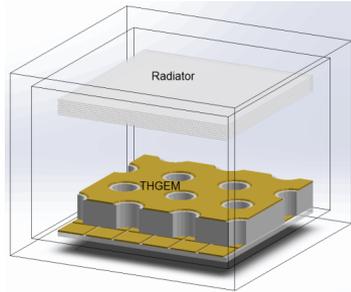
Plastic Scintillator Detector:

- Misura di carica (per Z 1-26) e sistema di anticoincidenza
- Barre a sezione trapezoidale lette da SiPMs



Transition Radiation Detector:

- Selezione protoni al TeV per calibrazione del calorimetro
- Basato su una Thick-Gas Electron Multiplier (Ar/CO₂, 93:7)

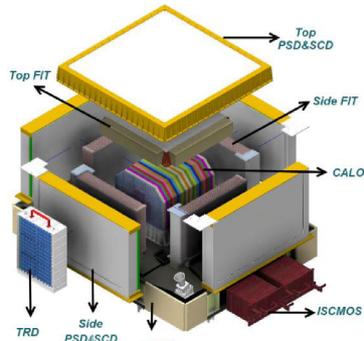


Fiber Tracker:

- Misura di traccia (risoluzione spaziale di $\sim 40 \mu\text{m}$)
- Fibre di scintillatore plastico di 250 μm di diametro, lette con SiPMs

Summary

- Installazione HERD sulla stazione spaziale cinese nel 2027
- Estendere misure dirette dei flussi di protoni e nuclei ad alte energie per studiare il *ginocchio* dei raggi cosmici e i meccanismi di propagazione
- Estendere misure dirette del flusso di elettroni+positroni ad alte energie per cercare possibili segnali indiretti di materia oscura e sorgenti locali
- Misurare raggi gamma ad alte energie per cercare possibili segnali indiretti di materia oscura, sorgenti di raggi gamma e monitorare fenomeni transienti (multi-messenger astronomy)



- Calorimetro e geometria del rivelatore innovativi
- Stato attuale: finalizzazione dei rivelatori e spazializzazione

Grazie per l'attenzione!



Xi'an (CN), 16-18 Dec 2019



CHINA

Institute of High Energy Physics, CAS (IHEP)

Xi'an Institute of Optical and Precision
Mechanics, CAS (XIOPM)

Guangxi University (GXU)

Shandong University (SDU)

Southwest Jiaotong University (SWJTU)

Purple Mountain Observatory, CAS (PMO)

University of Science and Technology of China
(USTC)

Yunnan Observatories (YNAO)

North Night Vision Technology (NVT)

University of Hong Kong (HKU)

ITALY

INFN Bari and Bari University

INFN Firenze and Firenze University

INFN Pavia and Pavia University

INFN Perugia and Perugia University

INFN Pisa and Pisa University

INFN Laboratori Nazionali del Gran Sasso
and GSSI Gran Sasso Science Institute

INFN Lecce and Salento University

INFN Napoli and Napoli University

INFN Roma2 and Tor Vergata University

INFN Trieste and Trieste University

SPAIN

CIEMAT - Madrid

ICCUB – Barcellona

IFAE – Barcellona

SWITZERLAND

University of Geneva

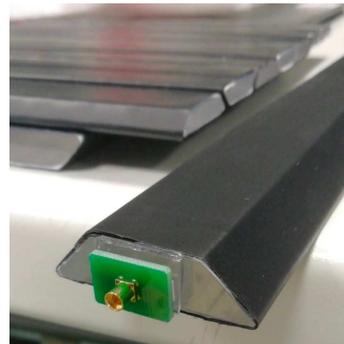
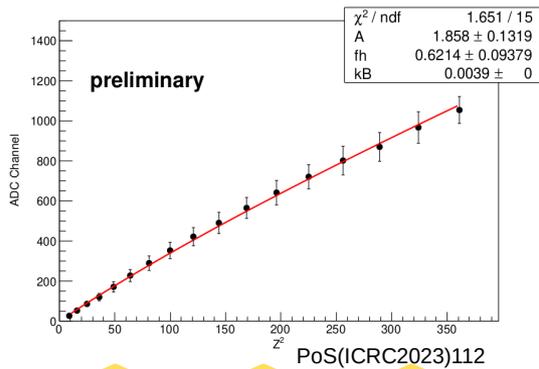
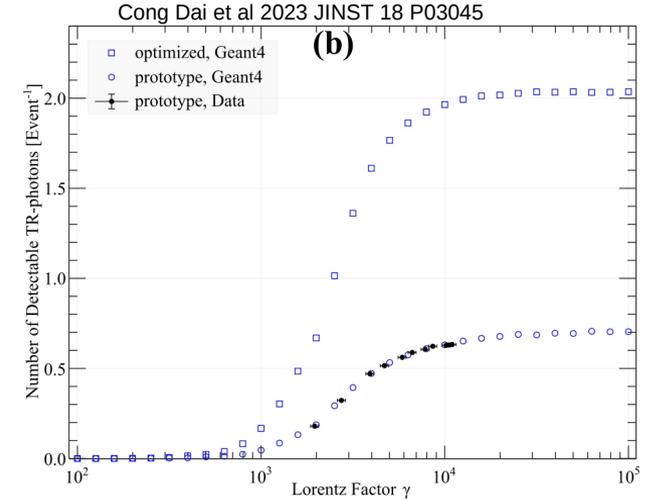
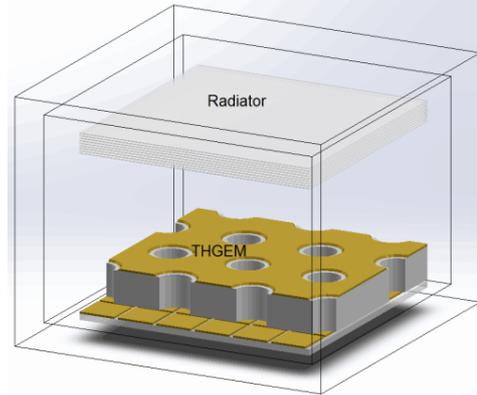
EPFL - Lausanne

Backup

Il rivelatore - Sottorivelatori

Transition Radiation Detector:

- Selezione protoni al TeV per calibrazione del calorimetro
- Basato su una Thick-Gas Electron Multiplier (Ar/CO₂, 93:7)



PoS(ICRC2023)140

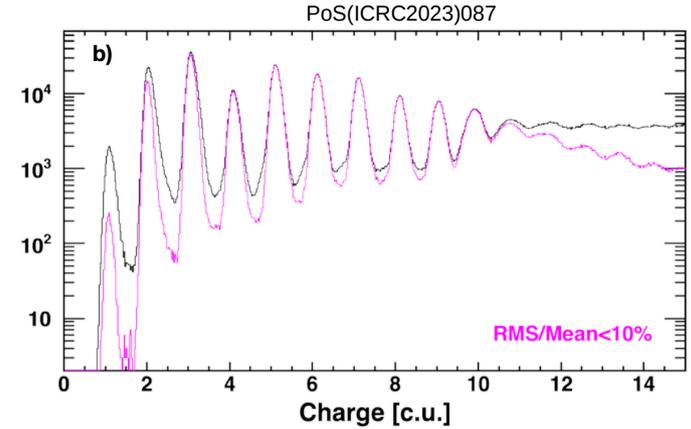
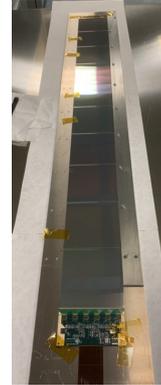
Plastic Scintillator Detector:

- Misura di carica (per Z 1-26) e sistema di anticoincidenza
- Barre a sezione trapezoidale lette da SiPMs

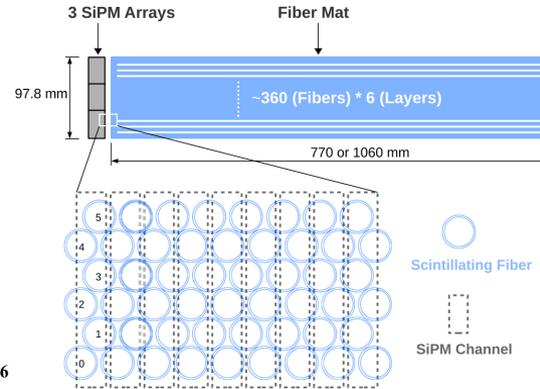
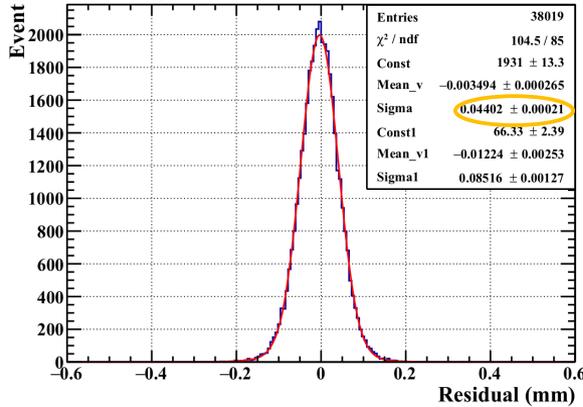
Il rivelatore - Sottorivelatori

Silicon Charge Detector:

- Misura di carica (per Z 1-26) e traccia
- Silicio a microstrip (300 μm di spessore, 60 μm implantation pitch)



<https://doi.org/10.1007/s41605-021-00262-9>

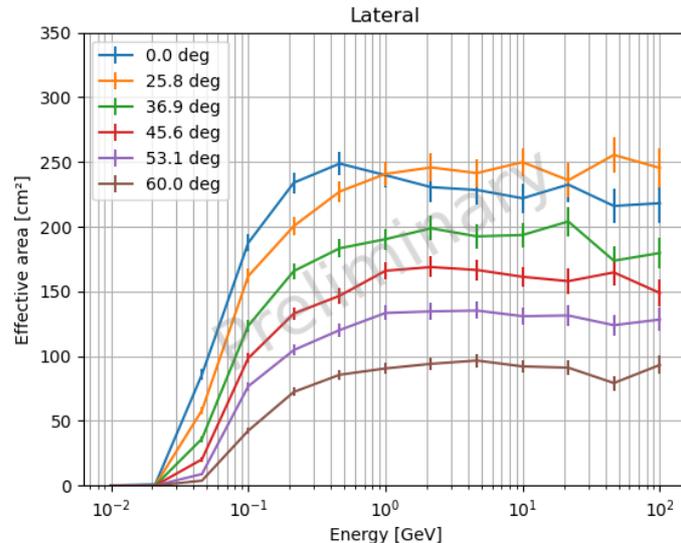
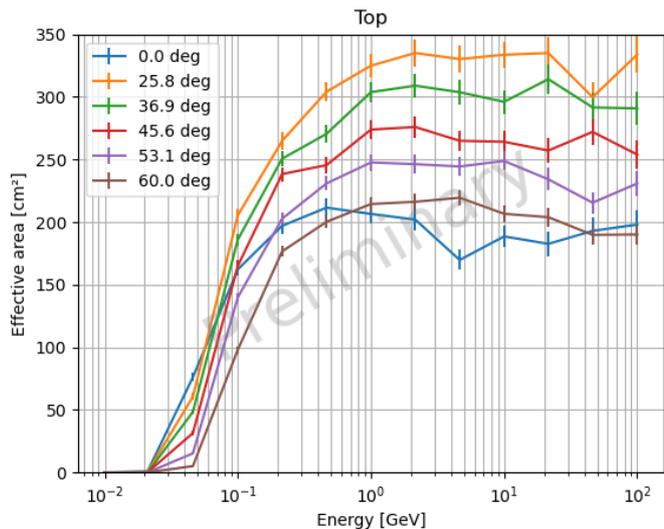


Fiber Tracker:

- Misura di traccia (risoluzione spaziale di $\sim 40 \mu\text{m}$)
- Fibre di scintillatore plastico di $250 \mu\text{m}$ di diametro, lette con SiPMs

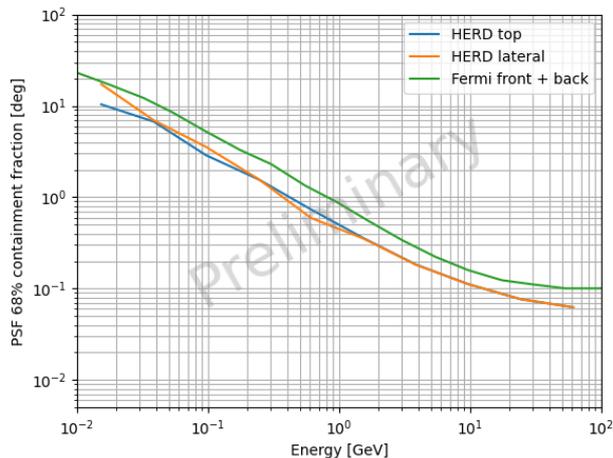
Performance di HERD per i Gamma-Ray

Effective Area



La mancanza di tungsteno è compensata dalla maggiore accettazione geometrica

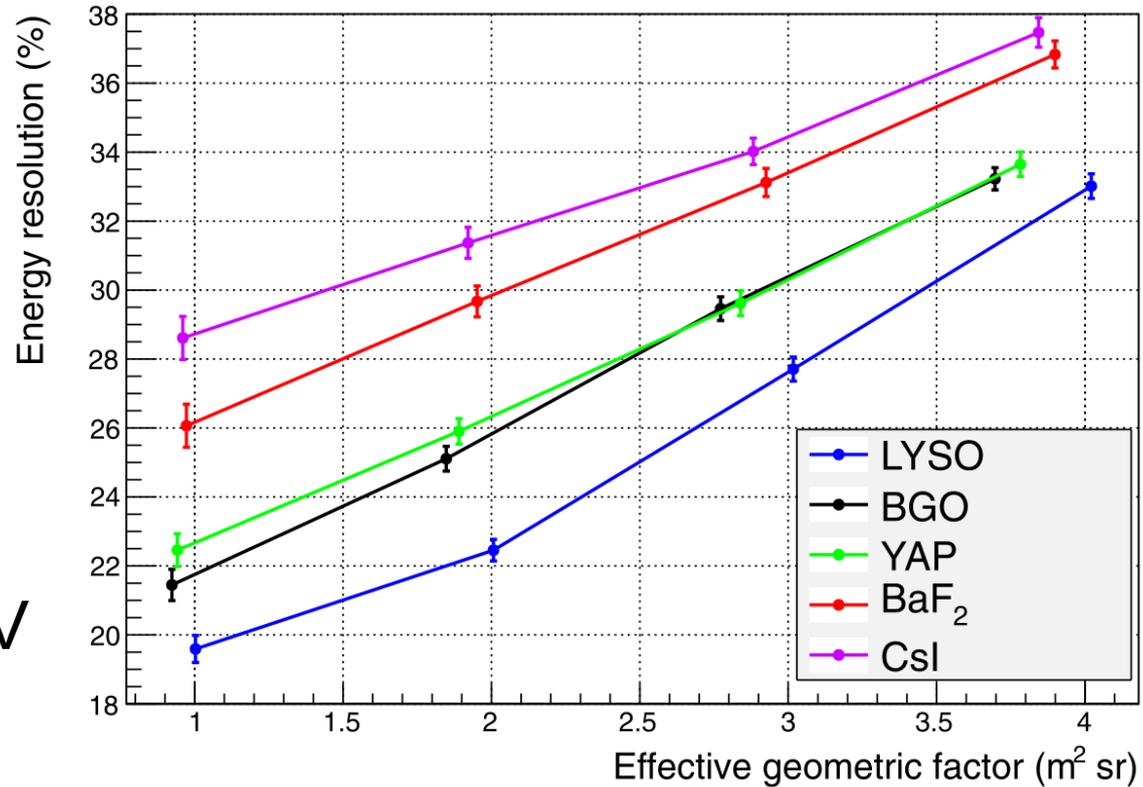
Angular Resolution



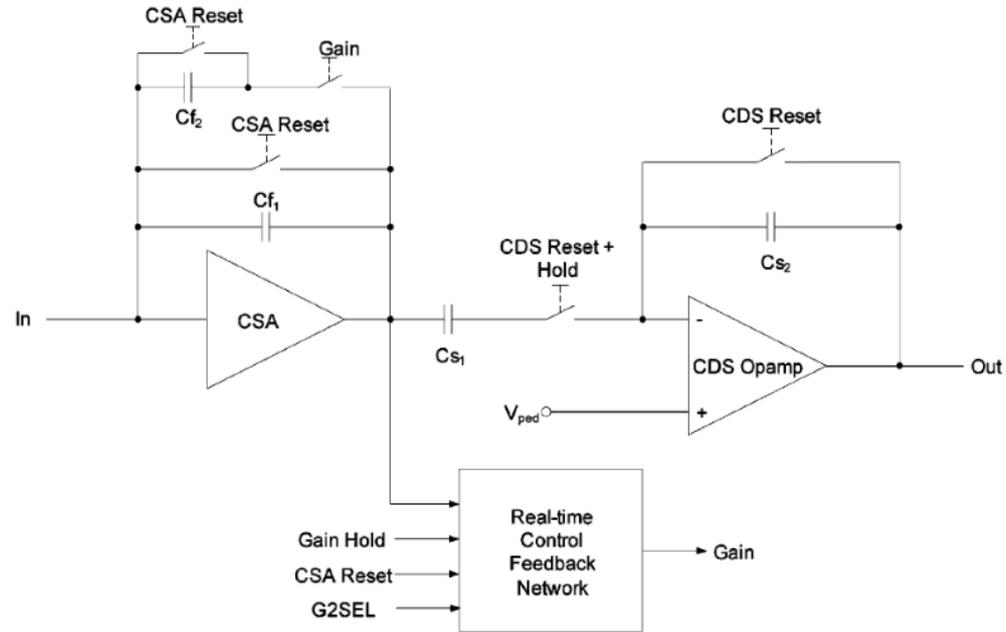
A causa della mancanza di tungsteno l'area effettiva è 10-20 più piccola rispetto a Fermi-LAT, ma la risoluzione angolare è migliore a tutte le energie

Perché il LYSO?

Protoni a 1 TeV



HiDRA2 chip



IsCMOS

