



Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione

JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure

Angolo di
Incidenza
Presenza Dati
Luce omogenea

Risultati

Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

Caratterizzazione dell'ottica di Fresnel di EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Università degli Studi di Torino

Anno Accademico 2014/2015

Tutor Accademico: Mario Bertaina
Tutor Aziendale: Peter Von Ballmoos



Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

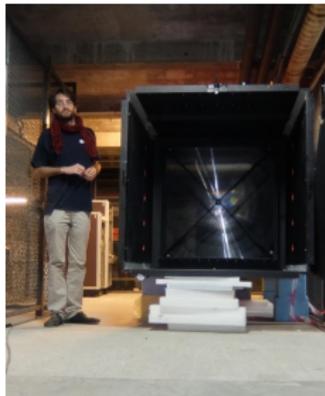
Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure
Angolo di
Incidenza
Presi Dati
Luce omogenea

Risultati
Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

Ho svolto lo stage nei mesi di Giugno e Luglio 2015 a Tolosa, presso l'Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP), grazie ad una borsa Erasmus Traineeship.





JEM-EUSO

Extreme Universe Space Observatory on the Japanese Experiment Module

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione

JEM-EUSO
EUSO-Balloon

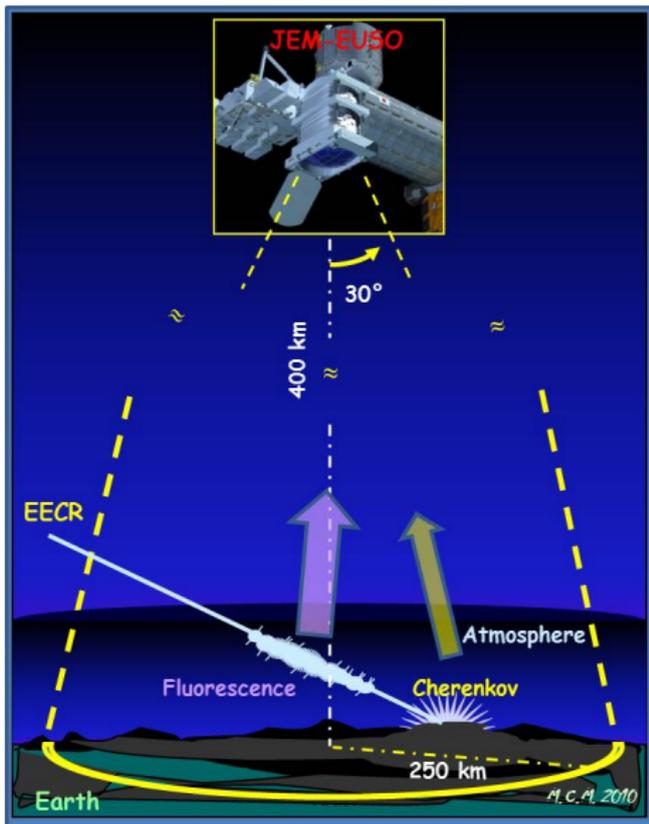
Obiettivo dello
Stage

Misure

Angolo di
Incidenza
Presi Dati
Luce omogenea

Risultati

Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni



- Telescopio composto da 2 lenti di Fresnel (2,5m) e da un piano focale di fotomoltiplicatori
- Studierà CR di energia superiore al limite GZK ($> 5 \times 10^{19}$ eV)
- Osserverà la Terra dall'ISS cercando radiazioni UV ($\lambda=290-430\text{nm}$) prodotte da interazioni di CR in atmosfera



JEM-EUSO

Principale obiettivo

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione

JEM-EUSO
EUSO-Balloon

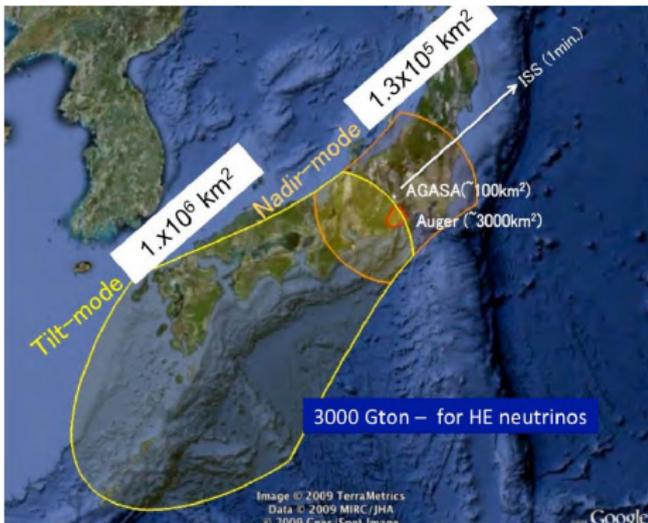
Obiettivo dello
Stage

Misure

Angolo di
Incidenza
Presenza Dati
Luce omogenea

Risultati

Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni



- 200 eventi/anno, e dopo i 3-5 anni di misure previsti potrà mappare le direzioni di arrivo dei raggi cosmici
- Poiché CR di tali energie non vengono deflessi dai campi magnetici galattici, dalla mappa si potrà risalire alle sorgenti

$$\phi(E > 5 \times 10^{19}) \text{eV} = 1 \text{evento}/\text{km}^2/\text{secolo}$$



Pathfinders

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione

JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

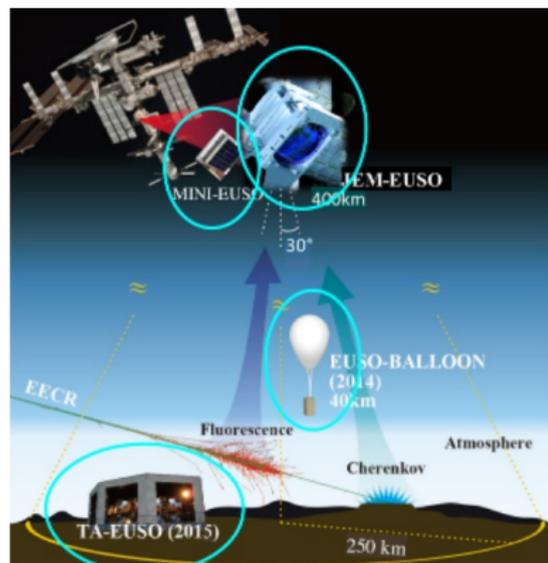
Misure

Angolo di
Incidenza
Presi Dati
Luce omogenea

Risultati

Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

- 1 EUSO-Balloon
1st balloon flight from
Timmins, Canada, (2014)
- 2 TA-EUSO
Ground Detector at Telescope
Array site (2015)
- 3 EUSO-SPB (Spring 2017)
- 4 MINI-EUSO (Autumn 2017)
- 5 JEM-EUSO (<2020)





EUSO-Balloon

Pathfinder project di JEM-EUSO

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

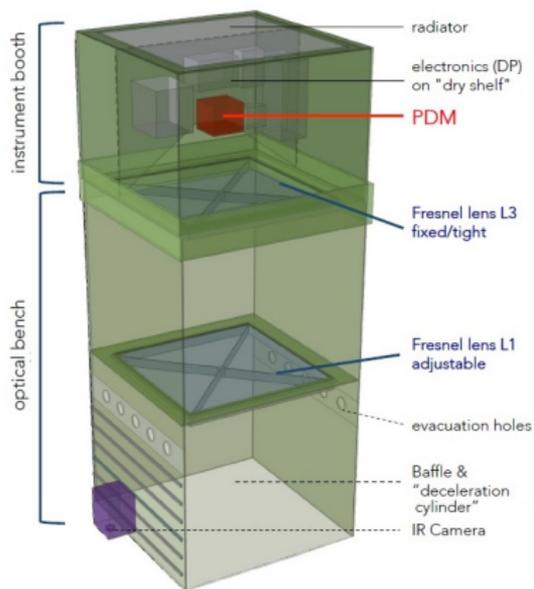
Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure
Angolo di
Incidenza
Presi Dati
Luce omogenea

Risultati
Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

- Telescopio costituito da 2 lenti di Fresnel di $1\text{m} \times 1\text{m}$, piano focale composto da 36 fotomoltiplicatori (stesso design di JEM-EUSO), montato su pallone
- Fotomoltiplicatori composti da 8×8 pixels con risoluzione di 3mm
- Già effettuato un volo in Canada, Agosto 2014, della durata di una notte
- Monitora un'area di 70 km^2 (Field of View: $\pm 5.5^\circ$)





EUSO-Balloon

Obiettivi

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione

JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

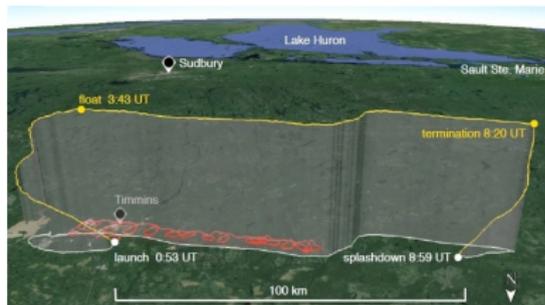
Misure

Angolo di
Incidenza
Presi Dati
Luce omogenea

Risultati

Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

- Test completo di tecnologie e strumentazione di JEM-EUSO
- Determinazione sperimentale del background UV terrestre e atmosferico a 38km di altezza: analisi di background a diverse ore, posizioni e condizioni meteorologiche
- Rivelazione air shower artificiali (segnali inviati da elicottero che volava a 3km di altezza)
- (Individuazione di sciame prodotti da raggi cosmici)





EUSO-Balloon

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione

JEM-EUSO
EUSO-Balloon

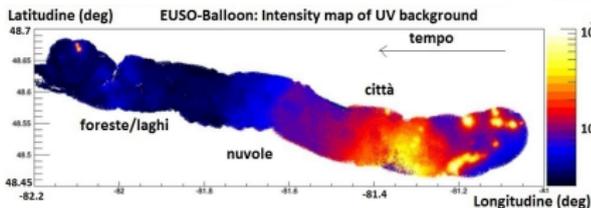
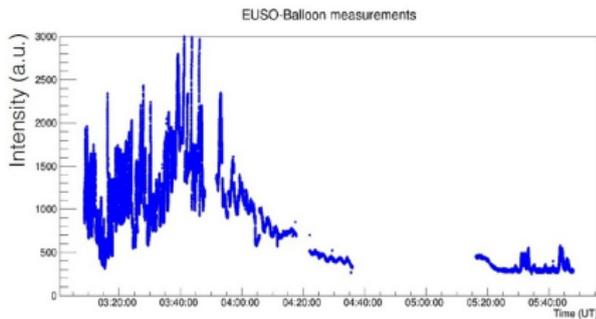
Obiettivo dello
Stage

Misure

Angolo di
Incidenza
Presi Dati
Luce omogenea

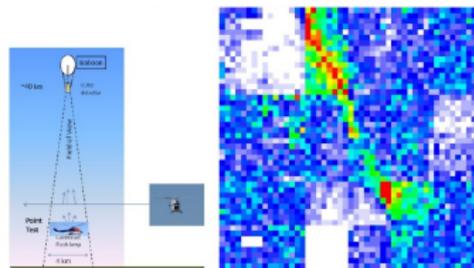
Risultati

Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni



$$I_{BG} = \frac{N_{Pe}}{\langle A_{eff} \rangle \cdot \Omega_{pix} \cdot t_{GTU}}$$

$$A_{eff}(\lambda) = A_0 \cdot \epsilon_{opt}(\lambda) \cdot \epsilon_{PMT}(\lambda) \cdot T_{filt}(\lambda)$$



- variazione del background in funzione del tempo e della posizione, in unità arbitrarie
- tracce dei segnali inviati dall'elicottero

→ necessaria una calibrazione

A_{eff} : area effettiva

ϵ_{opt} : efficienza dell'ottica



Obiettivo dello Stage

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure
Angolo di
Incidenza
Presi Dati
Luce omogenea

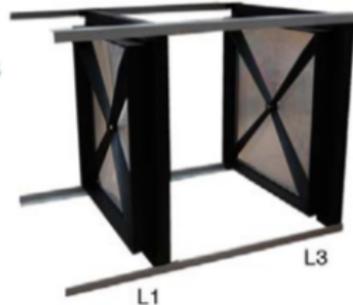
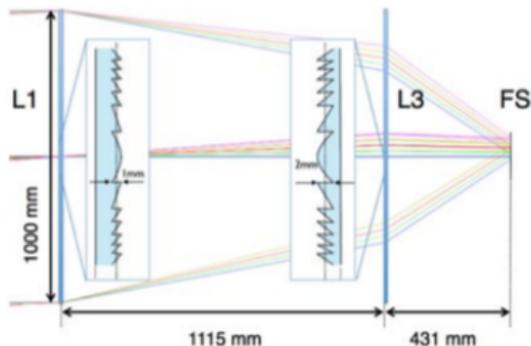
Risultati
Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

- Dimensione del fuoco: FWHM di Point Spread Function necessaria per la rivelazione e la ricostruzione delle tracce dei laser e per la risoluzione spaziale del background
- Efficienza: frazione di energia incidente contenuta nel fuoco necessaria per la stima dell'energia delle tracce
- Throughput: frazione di energia incidente contenuta nel piano focale necessario per lo studio del background

$$f(\theta, \lambda)$$

$$\theta: 0.1^\circ, 2.3^\circ, 3.3^\circ, 4.5^\circ$$

$$\lambda: 313\text{nm}, 334\text{nm}, 365\text{nm} \text{ e } 405\text{nm}$$





Apparato Sperimentale

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure

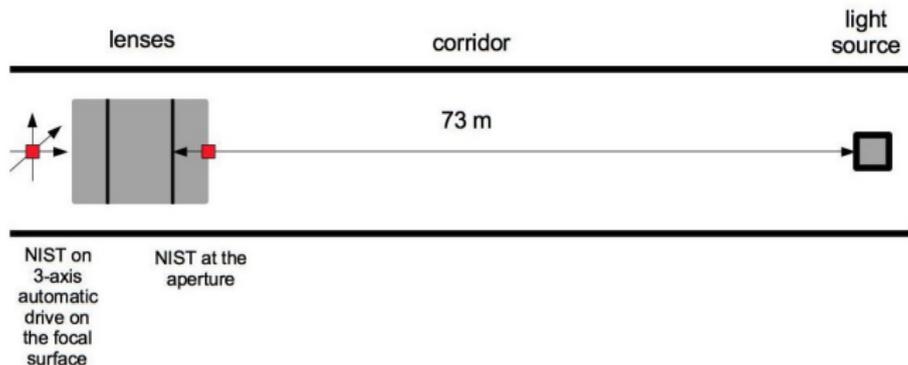
Angolo di
Incidenza
Presi Dati
Luce omogenea

Risultati

Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

Tutte le misure sono state effettuate nel corridoio del sotterraneo dell'IRAP: si è scelto di lavorare alle estremità di un corridoio di 73m per avere la sorgente a distanza "infinita".

La campagna del 2014, prima del volo, è stata invece effettuata usando un collimatore con un led di 390 nm posto nell'oculare di un telescopio Newtoniano.





Apparato Sperimentale

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione

JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

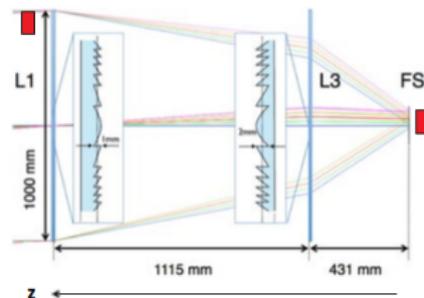
Misure

Angolo di
Incidenza
Presenza Dati
Luce omogenea

Risultati

Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

- Lampada Hg (100W) con filtri passa banda (313nm, 334nm, 365nm e 405nm) in corrispondenza delle linee spettrali della lampada
- Al posto dei fotomoltiplicatori è stato utilizzato un fotodiodo calibrato in maniera assoluta (NIST), in grado di spostarsi automaticamente dietro ad L3 in un volume di 300mm x 100mm x 100mm (x: asse orizzontale; y: asse verticale; z: asse ottico)
- NIST fisso all'apertura
- La superficie di raccolta del NIST è 1cm^2 , ma sul NIST sul piano focale è stato applicato un diaframma di 1,4mm di diametro per avere risoluzione migliore del pixel





Misura dell'angolo di incidenza

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

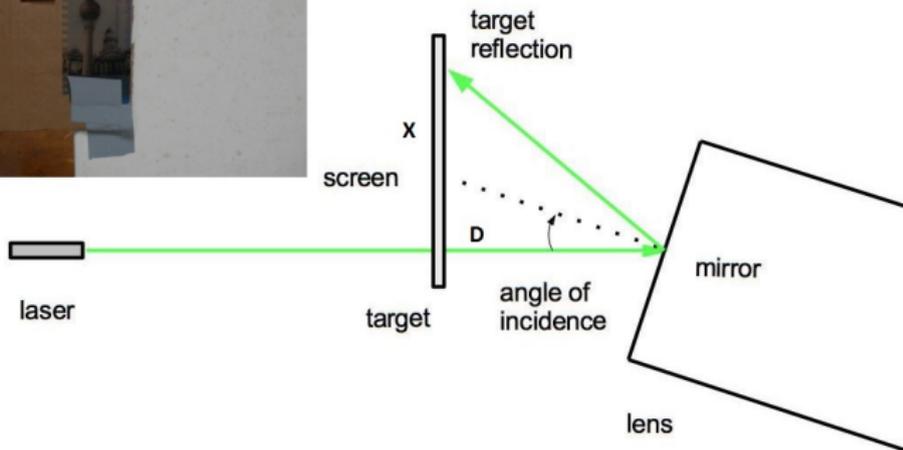
Misure

Angolo di
Incidenza

Presi Dati
Luce omogenea

Risultati

Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni



$$\theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{x}{D}\right)$$



Descrizione della Presa Dati

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione

JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure

Angolo di
Incidenza

Preso Dati

Luce omogenea

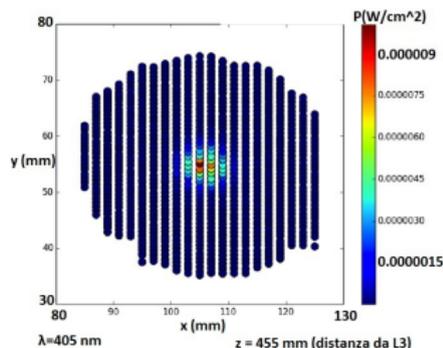
Risultati

Dimensione del
fuoco

Efficienza

Conclusioni

- Il flusso di luce ricevuta da L1 e L3 viene registrato dal NIST sul piano focale, mentre il flusso di luce all'apertura viene registrato dal secondo NIST
- Il NIST sul piano focale si muove in modo continuo sull'asse y , ed a step discreti lungo gli altri 2 assi (i range e gli step sono decisi all'inizio della presa dati)
- A x e z fissati, y si muove per 100 mm prendendo dati ad incrementi di meno di 1mm; terminato il range si sposta z allo step successivo e y ricomincia la scansione; terminato il range di z si sposta x , e si ripete la procedura fino ad esaurire il range di x





Come ottenere una luce omogenea

Caratterizzazione dell'ottica di Fresnel di EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello Stage

Misure
Angolo di Incidenza
Presenza Dati
Luce omogenea

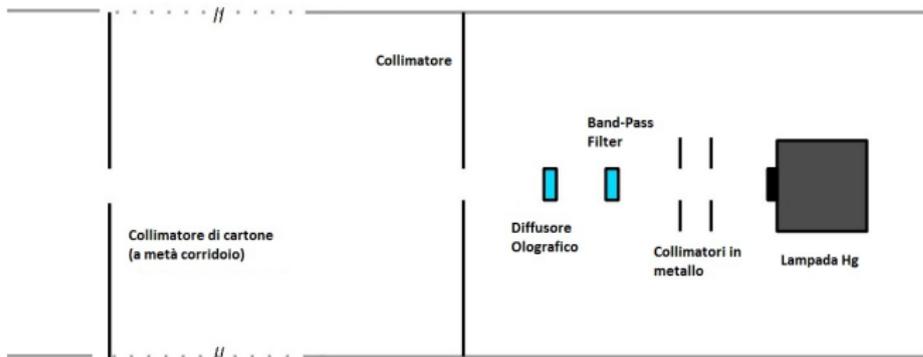
Risultati
Dimensione del fuoco
Efficienza
Conclusioni



- Per misurare l'efficienza serve conoscere il flusso totale all'apertura

$$F_{TOT} = F_{NIST} \cdot \frac{A_{lente}}{A_{NIST}}$$

- Il flusso non è però omogeneo
- Abbiamo aggiunto diversi collimatori e diaframmi davanti alla sorgente bloccare ogni luce estranea
- Diffusore olografico, 1°





La luce non è omogenea

Come ottenere una buona stima del valor medio?

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

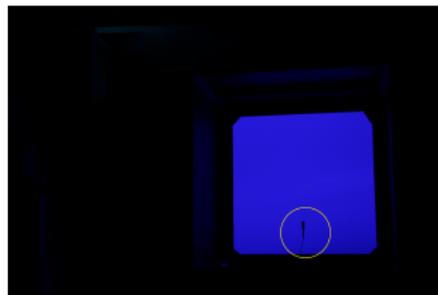
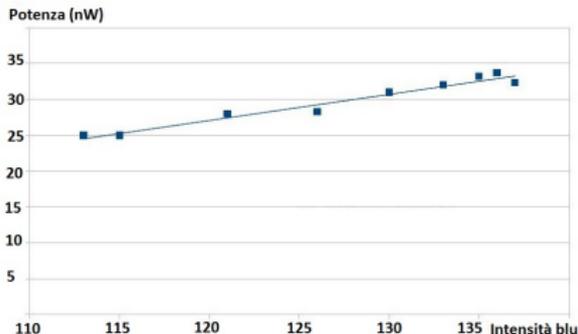
Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure
Angolo di
Incidenza
Presi Dati
Luce omogenea

Risultati
Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

- Minimo di disomogeneità: 15% circa
- È necessaria una stima del valor medio
- Schermo bianco davanti a lente, rende la luce UV visibile (blu)
- Foto a lunga esposizione per ottenere intensità media del blu
- 10 misure di intensità assoluta con il NIST, ottengo curva di calibrazione tra i due tipi di intensità





Luce all'apertura

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

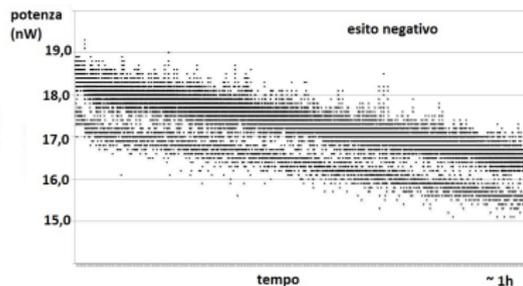
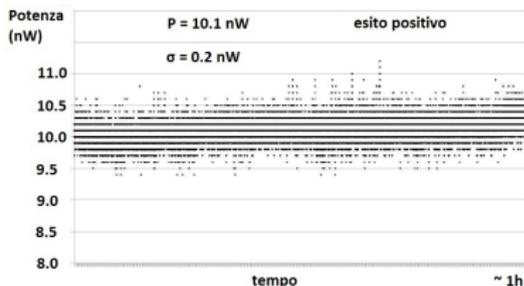
Misure
Angolo di
Incidenza
Presi Dati

Luce omogenea

Risultati

Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

- Assieme alle 10 misure per la calibrazione si prende una misura con il NIST in posizione per la presa dati
- Si confronta questo valore con la media sul tempo del flusso all'apertura durante tutta la presa dati
- Se questi due valori differiscono si usa la differenza per scalare il valore medio del flusso incidente sulle lenti (poteva succedere che la lampada perdesse potenza durante la presa dati, che durava circa 1h)





Dimensione del fuoco

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione

JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure

Angolo di
Incidenza

Presenza Dati

Luce omogenea

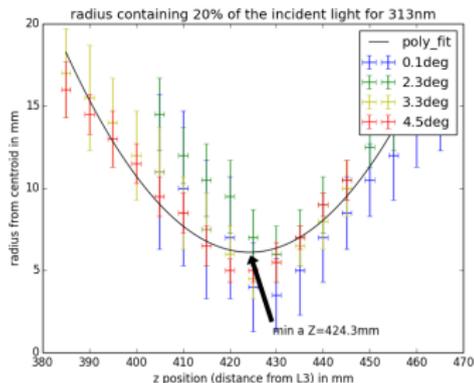
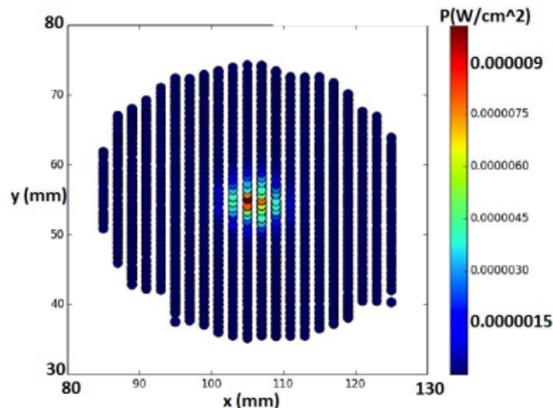
Risultati

Dimensione del
fuoco

Efficienza

Conclusioni

- Sezioni dello scan 3D del piano focale per ogni distanza L3-NIST (z costante)
- Si dividono le sezioni in anelli spessi 1mm centrati sul fuoco
- Si sommano le potenze contenute in ogni anello
- Tali potenze vengono normalizzate con il flusso totale all'apertura
- Plot di raggi che contengono il 20% della potenza incidente in funzione di z
- Dai plot definisco **Zabs** e ottengo buone informazioni sul potere focalizzante del sistema





Dimensione del fuoco

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure

Angolo di
Incidenza

Presi Dati

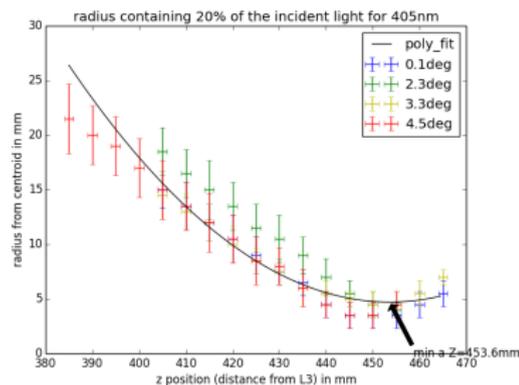
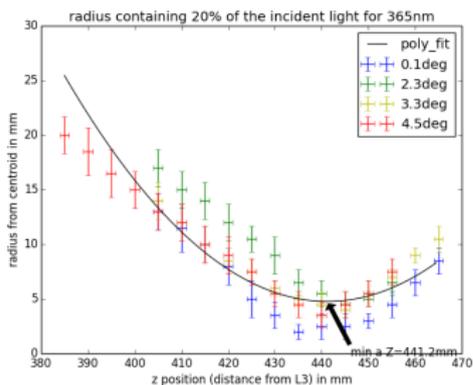
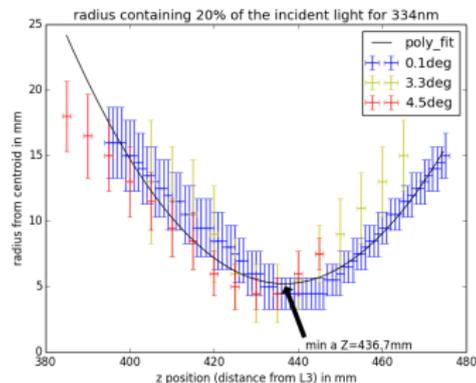
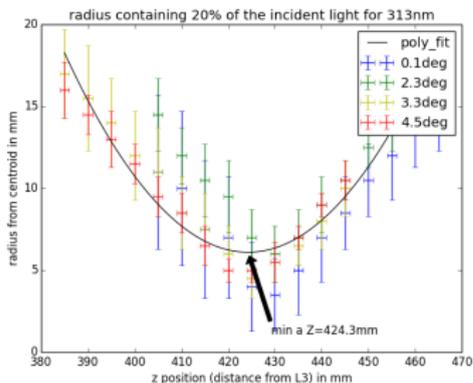
Luce omogenea

Risultati

Dimensione del
fuoco

Efficienza

Conclusioni





Encircled Energy

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

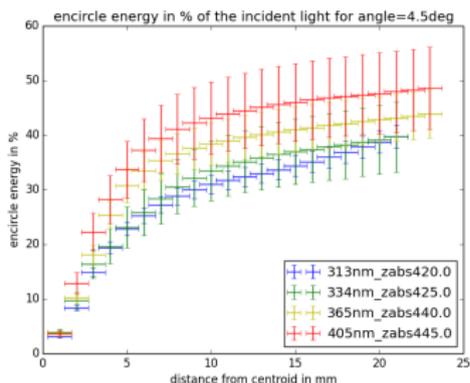
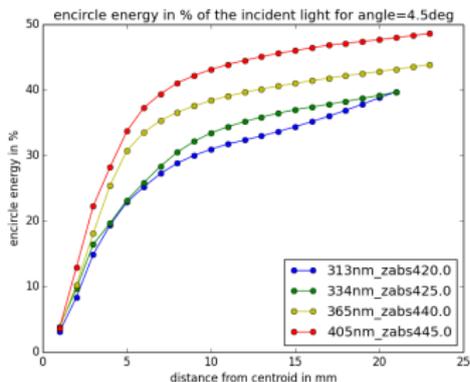
Giacomo Durando

Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure
Angolo di
Incidenza
Presenza Dati
Luce omogenea

Risultati
Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni



- L'efficienza è misurata a partire dall'encircled energy
- $EE = \frac{E_{anello}}{E_{totale}}$
(in posizione **Zabs**)
- Plot delle encircled energies per ogni anello di 1mm
- Misure fino a 24mm:
dimensione di fotomoltiplicatori
- Andamento asintotico a plateau dopo ~ 10 mm



Encircled Energy

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

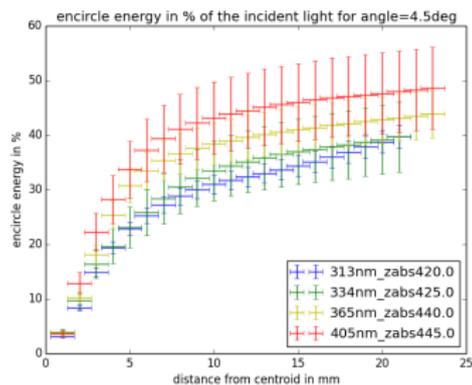
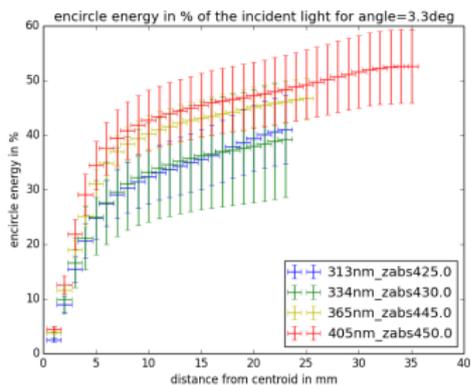
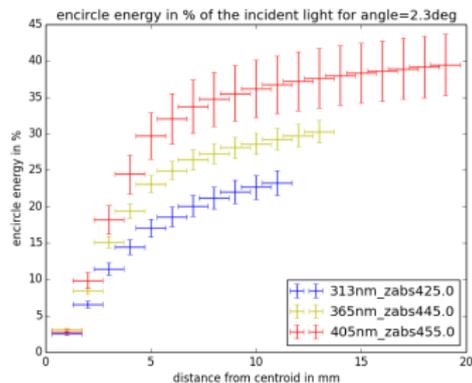
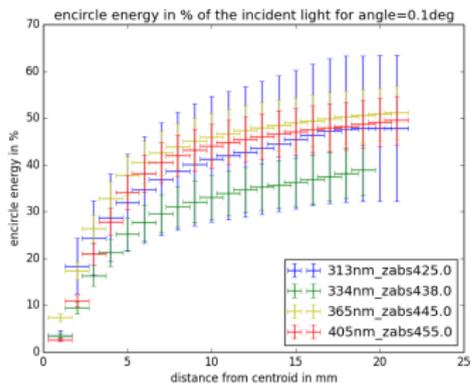
Giacomo Durando

Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure
Angolo di
Incidenza
Presenza Dati
Luce omogenea

Risultati
Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni





Efficienza

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure
Angolo di
Incidenza
Presi Dati
Luce omogenea

Risultati
Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

- Il valore dell'efficienza è la frazione di energia totale incidente contenuta in un cerchio di raggio pari alla metà della dimensione del fuoco
- È necessaria la conoscenza della dimensione del fuoco
- dalla campagna di dati prima del volo: fuoco $\rightarrow 3 \times 3$ pixels (C. Catalano, IRAP, measurements before flight)



Efficienza

Caratterizzazione dell'ottica di Fresnel di EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione

JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello Stage

Misure

Angolo di Incidenza

Presenza Dati

Luce omogenea

Risultati

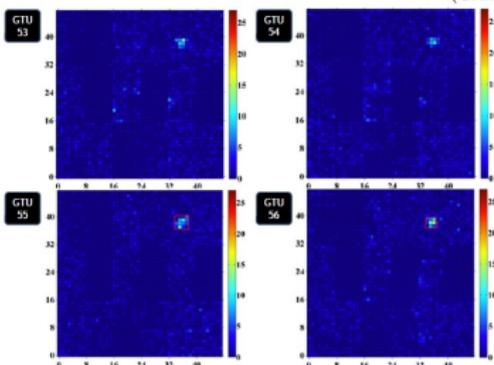
Dimensione del fuoco

Efficienza

Conclusioni

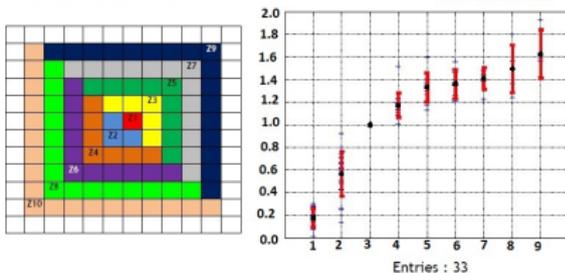
Temporal evolution of the LED spot size

M. Rouissat (Uninettuno)



Distribution of (counts-noise)/(counts-noise)_{3x3} vs size of boxes

M. Rouissat



Results more compatible with RMS spot size: $\sim 3 \times 3$ box

Dai dati presi durante il volo:

- rivelazione dei led invati dall'elicottero (bisogna isolare il background)
- entro 3×3 pixels ho circa il 67% dei conteggi che ho in 8×8 pixels (ovvero la dimensione dei PMT)
- è corretto considerare un fuoco di 3×3 pixels



Conclusioni

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure
Angolo di
Incidenza
Presenza Dati
Luce omogenea

Risultati
Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

Risultati Ottenuti

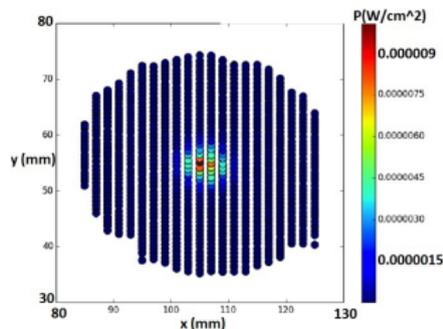
- Dati per 4 lunghezze d'onda a 4 angoli di incidenza
- Prima stima dell'efficienza usando fuoco di 3×3 pixels

Efficienze presentate all'ICRC
($\theta = 2,3^\circ \pm 0,1^\circ$)

wavelength	efficiency
313 nm	16%
365 nm	21%
405 nm	26%

Prospettive Future

- Fit Gaussiano in 3-D in posizione Zabs
- Misura precisa del fuoco (FWHM)
- Misura di valori veri dell'efficienza usando la dimensione del fuoco





International Cosmic Ray Conference

Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione

JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure

Angolo di
Incidenza
Presi Dati
Luce omogenea

Risultati

Dimensione del
fuoco
Efficienza

Conclusioni

Performance of the EUSO-Balloon optics

C. Catalano^{*}, P. von Ballmoos, B. Mot, G. Roudil, C. Smith

Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP), France

E-mail: ccatalano@irap.omp.eu

G. Durando

Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP), France

Department of Physics, University of Torino, Italy

Y. Takizawa

RIKEN, Japan

N. Sakaki

Osaka City University, Japan

for the JEM-EUSO Collaboration

EUSO-Balloon is a prototype of the JEM-EUSO detector to perform an end-to-end test of the JEM-EUSO subsystems and components to validate the entire detection chain and to measure the atmospheric and terrestrial UV background. In August 2014, the instrument was launched in collaboration with the French Space Agency CNES for its maiden flight. This article describes the optics of EUSO-Balloon, which consists of two large (1m²) Fresnel lenses made from PMMA. We also present the methods used for the alignment and characterization of the optics. The alignment of the optics was achieved with the use of a laser tracker, with tests performed using a one-meter collimator and UV light sources. The point spread function and the global efficiency, representing the performance of the optical system, are presented as functions of UV wavelength and incidence angle.

The 34th International Cosmic Ray Conference,

30 July- 6 August, 2015

The Hague, The Netherlands



Caratterizzazione
dell'ottica di
Fresnel di
EUSO-Balloon

Giacomo Durando

Introduzione
JEM-EUSO
EUSO-Balloon

Obiettivo dello
Stage

Misure
Angolo di
Incidenza
Presi Dati
Luce omogenea

Risultati
Dimensione del
fuoco
Efficienza
Conclusioni

Grazie per l'attenzione!