

Presentazione del dott. Matteo Battisti
Dottorato di Ricerca in Fisica - XXXIV Ciclo
Università degli Studi di Torino

Titolo della tesi: A study of Mini-EUSO performance in orbit and the development of EUSO-SPB2 in view of future space-based missions devoted to the study of Ultra-High Energy Cosmic Rays

Durante il triennio di dottorato il dott. Matteo Battisti ha seguito e sostenuto l'esame relativo ai seguenti corsi della Scuola:

- Cherenkov detectors for particle and astroparticle physics
- Python in the Lab
- Big Data Science and Machine Learning
- Case Studies in the History of Physics
- Experiment design in particle physics
- Calorimetry in particle physics experiments

L'attività di ricerca del Dott. Matteo Battisti ha riguardato lo studio della performance dell'esperimento spaziale Mini-EUSO a bordo della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) e lo sviluppo della logica di trigger per la missione su pallone stratosferico EUSO-SPB2.

Il lavoro si inserisce nel contesto del programma JEM-EUSO: Joint Experiment Missions for Extreme Universe Space Observatory, che consiste in un esteso programma di missioni da terra, su pallone stratosferico e dallo spazio finalizzato alla realizzazione di una missione spaziale per l'osservazione dei raggi cosmici ad energie intorno al Greisen-Zatsepin-Kuzm' in cut-off (UHECR, $E > 5 \times 10^{19}$ eV) con una esposizione istantanea 1-2 ordini di grandezza superiore a quanto attualmente fattibile con esperimenti da terra quali il Pierre Auger Observatory. La realizzazione di una missione con questi obiettivi scientifici e' particolarmente challenging da un punto di vista tecnologico in quanto richiede di realizzare uno strumento con limiti stringenti in potenza, data budget e massa ma con prestazioni il piu' possibile comparabili a quanto ottenuto da apparati a terra nonostante la distanza degli sciami atmosferici estesi (EAS) sia almeno 10 volte superiore (tipicamente 400-500 km di distanza) rispetto ai 20-40 km di distanza per un esperimento a terra. La motivazione di tale sviluppo risiede nella possibilità di monitorare grandi campi di vista accumulando in breve tempo una statistica molto elevata di eventi e di poter avere una copertura full-sky, e cioè di poter monitorare l'intera volta celeste, situazione che e' attualmente preclusa agli esperimenti a terra.

Dovendo fare un imaging di notte delle tracce di luce di fluorescenza emessa dagli sciami atmosferici estesi, tale telescopio può monitorare qualsiasi fenomeno luminoso naturale o di origine antropogenica che emette in atmosfera nel range di frequenze degli EAS (300 – 400 nm) e con durata comparabile (50 – 150 μ s). Inoltre, acquisendo anche su scale tempi piu' lunghe, tale telescopio può misurare fenomeni atmosferici e non, di durata temporale maggiore diventando uno strumento fortemente multi-disciplinare.

In questo contesto dall'Agosto 2019 e' stato installato sulla Stazione Spaziale Internazionale l'esperimento Mini-EUSO, un prototipo di un futuro esperimento spaziale, costituito da due lenti di Fresnel di 25 cm ad ampio campo (44° di campo di vista) che focalizzano su un piano focale costituito da 36 fotomoltiplicatori da 64 pixel ciascuno per un totale di 2304 pixel, i segnali luminosi emessi nella banda di frequenze 300 – 500 nm. Tali segnali sono acquisiti con diverse risoluzioni temporali (2.5 μ s, 320 μ s e 41 ms) permettendo di essere sensibile a fenomeni luminosi di varia natura: eventi con profili di luce ed intensità confrontabili con quelli previsti da UHECR ad energie $E > 10^{21}$ eV, flashers, Transient Luminous Events quali

gli elve, meteore, transienti luminosi associati a modulazioni dell'airglow, monitoraggio della copertura nuvolosa, nonché transienti o luci fisse di origine antropogenica quali flashers, luci di città, barche dedicate alla pesca. Infine, Mini-EUSO può occuparsi di ricerca di eventi anomali dovuti a Macros (macroscopic dark matter), ANITons (eventi anomali osservati dall'esperimento su pallone ANITA), dust grains, osservazione di detriti spaziali.

Mini-EUSO è stato disegnato con una risoluzione per pixel di $\sim 0.8^\circ$, cioè circa 100 volte più grande di quanto previsto per un esperimento spaziale dedicato ai raggi cosmici di altissima energia quale JEM-EUSO così da avere lo stesso rate di conteggi per pixel per fenomeni diffusi quali nightglow, airglow, luci di città, fulmini, nuvole, etc. In questo modo è possibile avere una corrispondenza realistica del segnale atteso da JEM-EUSO potendone pertanto prevedere la performance e testare la risposta della sensoristica in un range dinamico simile.

In tale contesto il Dott. Battisti ha partecipato alla riduzione dei dati e alla loro calibrazione con tecniche di flat fielding on board e con la realizzazione di un sistema di flasher a Terra per la calibrazione end-to-end di Mini-EUSO nonché ha condotto in prima persona lo studio della performance della logica di trigger sulla scala dei tempi dei μs per la validazione della logica di trigger pensata per i raggi cosmici. Il dott. Battisti si è anche occupato della classificazione ed analisi degli eventi acquisiti con questa modalità dedicandosi alla ricerca di EAS-like events e di eventi anomali, eventi di cosmici diretti, nonché a fenomeni atmosferici e antropogenici che triggeravano l'apparato in questo range temporale quali elve e più in generale fulmini. Da ultimo ha studiato gli eventi provenienti da flashers a terra, tipicamente in presenza di aeroporti ma non solo. Parte delle analisi hanno richiesto inoltre l'utilizzo dei dati del rivelatore ASIM (Atmosphere-Space Interactions Monitor) a bordo della ISS per una correlazione temporale degli eventi di fulmini.

Dal momento che Mini-EUSO può osservare eventi di EAS ad energie $E > 10^{21}$ eV, la collaborazione JEM-EUSO sta sviluppando una missione (EUSO-SPB2) a bordo di pallone stratosferico di tipo Super Pressure Balloon (SPB) sviluppato dalla NASA con campagna di lancio prevista per marzo-maggio 2023 dalla base di Wanaka in Nuova Zelanda. Questo pallone costituisce il terzo di una campagna di missioni su pallone stratosferico sviluppate all'interno della collaborazione JEM-EUSO di cui le prime due sono state EUSO-Balloon (2014) ed EUSO-SPB1 (2017). L'obiettivo principale di EUSO-SPB2 è provare la capacità osservativa di un esperimento spaziale montando a bordo una strumentazione simile a quanto presente in Mini-EUSO. L'energia di soglia di EUSO-SPB2 è $\sim 3 \times 10^{18}$ eV tale per cui il rate di eventi attesi è dell'ordine di ~ 1 evento/notte che è confrontabile con il rate di eventi attesi per una missione spaziale. L'osservazione di eventi da pallone e con il rate previsto, permetterebbe quindi di scalare la performance attesa anche a livello di missione spaziale.

In questo contesto, il Dott. Battisti si è occupato di riadattare la logica di trigger di Mini-EUSO al caso di EUSO-SPB2. È importante sottolineare che la differente distanza degli EAS dal pallone rispetto a Mini-EUSO comportano una velocità di attraversamento del campo di vista del pixel 20 volte superiore. Pertanto lo schema è stato fortemente modificato, partendo però dallo stesso hardware (tipologia di fotomoltiplicatore, ASIC di front-end ed FPGA per il trigger). In questo contesto il Dott. Battisti si è occupato dello studio delle caratteristiche delle tracce di EAS, dello sviluppo della logica di trigger e della sua implementazione su FPGA.

Durante la sua attività di tesi, il dott. Matteo Battisti ha mostrato un'ottima attitudine alla ricerca, ed una solida preparazione di base. La sua velocità nell'apprendere le tecniche di calcolo, sia relativi agli aspetti tecnico-elettronici che all'analisi statistica dei risultati, è senza dubbio notevole. Seguendo le indicazioni fornite durante le discussioni comuni, ha mostrato autonomia nella realizzazione pratica di quanto richiesto e inventiva nell'implementare test e controlli diversi prima di procedere alle conclusioni. Oltre al lavoro di analisi, il dott. Battisti ha partecipato alla vita degli esperimenti partecipando a campagne di test della strumentazione

per EUSO-SPB2 e di sviluppo e partecipazione alle campagne di test del flasher di Mini-EUSO sia al TurLab che su campo. Il Dott. Battisti ha inoltre contribuito attivamente ai meeting generali di collaborazione, nei quali ha mostrato di saper ben presentare il suo lavoro e di avere buona capacità di discussione. Da ultimo il Dott. Battisti è stato correlatore di 6 tesi di laurea triennale in Fisica e ha partecipato anche ad attività di outreach con studenti delle scuole superiori nell'ambito dell'alternanza scuola lavoro (PCTO).

Pertanto si esprime grande apprezzamento per il lavoro svolto dal Dott. Matteo Battisti durante il triennio del Dottorato di Ricerca.

Torino, 29 settembre 2021



Il tutore
(Prof. Mario Edoardo Bertaina)

Partecipazione a scuole

- ISAPP school 2019 @ the Pierre Auger Observatory - Malargue (Argentina)
- Giornate di Studio sui Rivelatori – Scuola F. Bonaudi - Cogne (AO)

Partecipazione a conferenze

- Partecipazione alla conferenza International Cosmic Ray Conference ICRC 2021 - Online 12–23 Luglio 2021
- Lavoro presentato: "Overview of the Mini-EUSO μ s trigger logic performance"
- Partecipazione alla conferenza European Geoscience Union EGU 2021 - Online 19–30 Aprile 2021
- Lavoro presentato: "Estimation of the global occurrence rate of elves with Mini-EUSO"
- Partecipazione alla conferenza 43rd COSPAR Scientific Assembly COSPAR 2021 - Online 28 Gennaio – 4 Febbraio 2021
- Lavori presentati: "Results from the analysis of Mini-EUSO collected data by means of the cosmic-ray-oriented trigger logic" e "Design and implementation of EUSO-SPB2 cosmic-ray-oriented fluorescence trigger logic"
- Partecipazione alla conferenza European Geoscience Union EGU 2020 - Online 4–8 Maggio 2020
- Lavoro presentato: "High-speed UV imaging of elves and lightning from space: first simultaneous detection from the Mini-EUSO and ASIM instruments"

Partecipazione a meeting internazionali di collaborazione con contributi inerenti al progetto di tesi:

- The 29th JEM-EUSO international collaboration meeting
June 7 - 11, 2021 @Colorado School of Mines

- The 28th JEM-EUSO international collaboration meeting
November 30 - December 4, 2020 @Italy
- The 27th JEM-EUSO International Collaboration Meeting
June 15 - 19, 2020 @SINP, MSU, Moscow, Russia
- The 26th JEM-EUSO International Collaboration Meeting
December 2 - 6, 2019 @RIKEN, Wako, Japan
- The 25th JEM-EUSO International Collaboration Meeting
June 10 - 14, 2019 @Lodz, Poland
- The 24th JEM-EUSO International Collaboration Meeting
December 3 - 7, 2018 @Kobe, Hyogo, Japan
- The 23rd JEM-EUSO International Collaboration Meeting
June 11 - 15, 2018 @Mürren, Switzerland

Elenco delle pubblicazioni

- The POEMMA (Probe of Extreme Multi-MessengerAstrophysics) observatory
June 2021 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 2021(06):007
DOI: 10.1088/1475-7516/2021/06/007
- Mini-EUSO Mission to Study Earth UV Emissions on board the ISS
S. Bacholle et al 2021 ApJS 253 36
DOI: 10.3847/1538-4365/abd93d
- Performance results of the trigger logic implemented inEUSO-SPB
M.Battisti, J.Bayer, M.Bertaina, A.Cummings, J.Eser, F.Fenu,A.Jung, M.Mignone,
H.Miyamoto, K.Shinozaki, for the JEM-EUSO Collaboration
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2018.11.002>
- Pre-flight qualification tests of the Mini-EUSO telescope engineering model
F.Bisconti; H. Miyamoto et al., Submitted to "Experimental Astronomy"
The Fluorescence Telescope on board EUSO-SPB2 for the detection of Ultra High
Energy Cosmic Rays
- PoS(ICRC2021)206, G. Osteria, J. H. Adams, M. Battisti, A.S.Belov, M.E. Bertaina, F.
Bisconti, et al.
- A study on UV emission from clouds with Mini-EUSO
PoS(ICRC2021)208, A. Golzio, M. Battisti, M.E. Bertaina, K.Bolmgren, G. Cambiè, M.
Casolino, et al.
- Overview of the Mini-EUSO μ s trigger logic performance

PoS(ICRC2021)306, M. Battisti, D. Barghini, A.S. Belov, M.E. Bertaina, F. Bisconti, K. Bolmgren, et al.

- The EUSO@TurLab project in view of Mini-EUSO and EUSO-SPB2 missions
PoS(ICRC2021)318, M.E. Bertaina, H. Miyamoto, D. Barghini, M. Battisti, A.S. Belov, F. Bisconti, et al
- Simulations studies for the Mini-EUSO detector
PoS(ICRC2021)334, F. Fenu, H. Miyamoto, F. Fenu, D. Barghini, M. Battisti, A. Belov, et al.
- Observation of ELVEs with the Mini-EUSO telescope on board the ISS
PoS(ICRC2021)367, L. Marcelli, E. Arnone, M. Barghini, M. Battisti, A.S. Belov, M.E. Bertaina, et al.
- Measurement of UV light emission of the nighttime Earth by Mini-EUSO for space-based UHECR observations
PoS(ICRC2021)385, K. Shinozaki, K. Bolmgren, D. Barghini, M. Battisti, A.S. Belov, M.E. Bertaina, et al.
- Expected Performance of the EUSO-SPB2 Fluorescence Telescope
PoS(ICRC2021)405, G. Filippatos, M. Battisti, M.E. Bertaina, F. Bisconti, J. Eser, G. Osteria, F. Sarazin and L. Wiencke
- Estimation of the global occurrence rate of elves with Mini-EUSO
2021-03-04 | DOI: 10.5194/egusphere-egu21-11004
- Meteor detection from space with Mini-EUSO telescope
Dario Barghini and Matteo Battisti et al. | DOI: 10.5194/epsc2020-800
- High-speed UV imaging of elves and lightning from space: first simultaneous detections from the Mini-EUSO and ASIM instruments
M. Battisti, E. Arnone, M. Bertaina, M. Casolino, O. Chanrion, C. Fuglesang, T. Neubert | DOI:10.5194/egusphere-egu2020-15025
- Trigger developments for the fluorescence detector of EUSO-TA and EUSO-SPB2
M. Battisti, M. Bertaina, F. Fenu, H. Miyamoto, K. Shinozaki, A. Belov, F. Bisconti, M. Mignone, F. Capel, PoS(ICRC2019)426
- Space Debris Detection and Tracking with the Techniques of Cosmic Ray Physics
H Miyamoto et al. PoS(ICRC2019)253