

Metodo di selezione rapida di muoni per IACT



cherenkov
telescope
array

L. Di Venere¹, G. Giavitto³, R. Lopez Coto⁴, R. Pillera^{1,2}
per conto del CTA Consortium⁵

¹INFN Bari, ²Università degli Studi di Bari, ³DESY, ⁴INFN Padova,
⁵Vedesi www.cta-observatory.org

ABSTRACT

I muoni atmosferici sono un'importante fonte di calibrazione per l'efficienza ottica degli IACT (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes). È quindi necessario un metodo per il riconoscimento e la selezione sia a livello di trigger che per una preselezione offline. In questo lavoro sono state studiate diverse tecniche per due telescopi di CTA: GCT (Gamma Cherenkov Telescope) con CHEC (Compact High Energy Camera) e LST (Large Sized Telescope) con LSTcam.



1 CTA

Il Cherenkov Telescope Array sarà il più importante osservatorio per l'astronomia gamma ad altissima energia dei prossimi decenni. Coprirà un range energetico dai 20 GeV ai 300 TeV e avrà prestazioni superiori agli esperimenti esistenti in termini di campo visivo, sensitività e risoluzione angolare. Sono previsti un primo array nell'emisfero nord con 19 telescopi e un secondo nell'emisfero sud con 99 telescopi di diverse dimensioni. Vi saranno i Large-Sized Telescopes (LST), i Medium-Sized Telescopes (MST) e gli Small-Sized Telescopes (SST) progettati rispettivamente per le basse, medie e alte energie.

2 Calibrazione attraverso muoni

I muoni sono un'importante fonte di calibrazione assoluta per stimare il "light throughput" di telescopi Cherenkov a terra. I muoni prodotti negli sciami atmosferici originati da raggi cosmici generano, nei telescopi Cherenkov, immagini di anelli se la loro traiettoria è approssimativamente parallela all'asse ottico del telescopio. Questi sono detti muoni locali e, essendo essenzialmente tutti al minimo di ionizzazione, la loro energia e di conseguenza la luce Cherenkov emessa è costante. Degli esempi di simulazioni sono mostrati in Fig. 1. Le dimensioni di tali anelli dipendono dalle caratteristiche del telescopio e della camera. Dai parametri geometrici di queste immagini si può calcolare analiticamente la quantità di luce Cherenkov assoluta emessa dal muone. Il confronto tra la luce misurata e l'aspettazione teorica costituisce una tecnica standard per la calibrazione dell'efficienza ottica dei telescopi Cherenkov. [1]

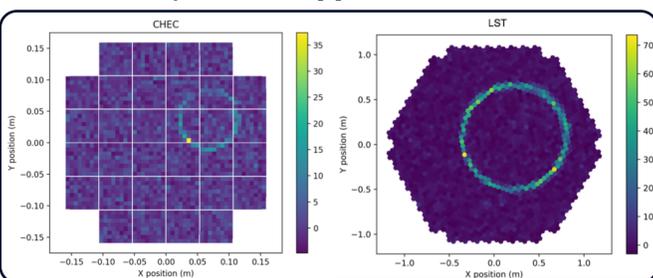


Fig. 1: immagini di muoni locali simulati visti con CHEC e LST. La scala a lato è in nr. di fotoelettroni.

3 Riconoscere i muoni

Per telescopi di piccole dimensioni, come gli SST, la probabilità di osservare un muone locale è molto bassa. Risulta necessario un trigger a livello di camera server. Per SST si richiede di riconoscere il 90% degli anelli completi di muoni con energia superiore ai 20 GeV ad una velocità compatibile con il readout della camera. GCT (Gamma Cherenkov Telescope) è uno dei prototipi per SST e la sua camera è CHEC (Compact High Energy Camera). In questo lavoro è stato studiato un metodo che soddisfi tali condizioni. Per i telescopi di grandi dimensioni come LST non è necessario un trigger dedicato, poichè all'interno dei dati è presente un numero di muoni adeguato, data l'altissima frequenza di osservazioni (10 kHz). Tuttavia, gran parte degli eventi sono protoni ed è necessario avere un rapido algoritmo che selezioni i muoni. Una soluzione è la preselezione offline di potenziali muoni.

Ringraziamenti

Si ringrazia il supporto finanziario delle agenzie e organizzazioni qui elencate:
www.cta-observatory.org/consortium_acknowledgments

4 Un muon trigger per CHEC

Per la realizzazione del trigger sono stati studiati un metodo di fit circolare con il metodo di Taubin [2], il riconoscimento tramite machine learning utilizzando una rete neurale e il majority che consiste nell'individuare una soglia nel numero di pixel di trigger. Ne è stato studiato il comportamento in termini velocità e i risultati sono mostrati in Tab. 1. La velocità del readout è ca. 1kHz. Il fit risulta troppo lento per funzionare da trigger e, a parità di performance, si preferisce il majority alla rete neurale data la semplicità. In Fig. 2a sono mostrate le distribuzioni di simulazioni di protoni e muoni. Sono state studiate efficienza e purezza al variare del rumore di fondo notturno (NSB, night sky background), come mostrato in Fig. 2b. A parità di soglia, l'efficienza non cala all'aumentare del fondo. Si può concludere che l'identificazione dei muoni con il majority funziona e rappresenta un ottimo metodo per il muon trigger di CHEC.

Taubin fit	188 Hz
rete neurale	63 kHz
majority	130 kHz

Tab. 1: velocità dei metodi

CHEC (Compact High Energy Camera)
• fotoni di energie da 1 a 300 TeV
• campo visivo ~ 9°
• 2048 pixel quadrati
• dimensioni 50 x 50 cm²
• readout ~ 1 kHz



GCT è un prototipo di camera per SST che ha uno specchio principale di 4 m di diametro. [3]

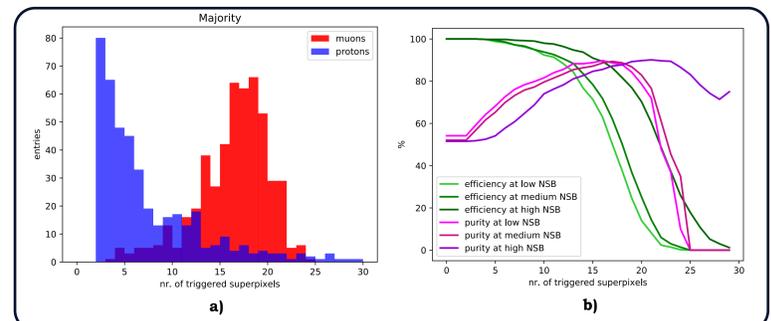


Fig. 2: a) distribuzione del numero di pixel di trigger di muoni e protoni a NSB basso, b) curve di efficienza e purezza a diversi NSB. I superpixel sono gruppi 2x2 di pixel che costituiscono il trigger.

5 Preselezione dei muoni per LST

La calibrazione di LST avviene offline. Come accennato nel paragrafo 3, per fare calibrazione è necessario analizzare le immagini con una procedura di fit dell'anello. Tale procedura risulta inefficiente se applicata a tutti gli eventi registrati, in quanto la maggior parte di essi sono raggi cosmici. Si cerca quindi di applicare il metodo del majority per preselezionare i potenziali muoni. In questo caso la variabile di discriminazione è il numero totale di fotoelettroni nell'immagine (size). In Fig. 3a sono mostrate le distribuzioni di simulazioni di protoni e muoni e in Fig. 3b le curve di efficienza e purezza. Studiando il parametro di completezza dell'anello (ringcompleteness), è possibile selezionare i muoni con un certo grado di completezza al variare della soglia di fotoelettroni, come mostrato in figura 3c.

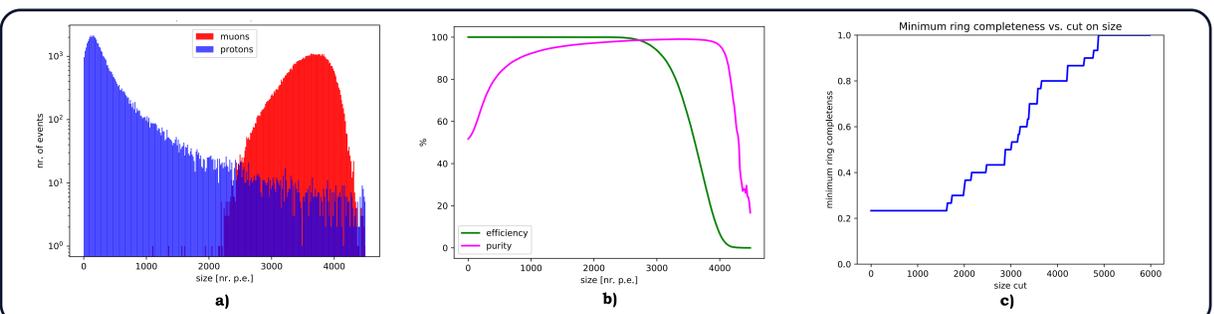


Fig. 3: a) distribuzione del numero della dimensione in fotoelettroni di immagini di muoni e protoni, b) curve di efficienza e purezza, c) parametro di completezza minimo al variare della soglia.

6 Conclusioni

Il majority si è rivelato essere un metodo veloce, efficiente e versatile per la selezione dei muoni. Il passo successivo è il test su dati reali.

Referenze

- [1] Vacanti G. et al., Muon ring images with an atmospheric Cherenkov telescope *Astroparticle Physics* 2 (1994) 1-11
- [2] Maccarone M.C. et al., Pre-selecting muon events in the camera server of the ASTRI telescopes for the Cherenkov Telescope Array *Proc. of SPIE 9913 Software and Cyberinfrastructure for Astronomy IV*, 99132E (2016)
- [3] White R. (for the CTA GCT project), CHEC: A Compact High Energy Camera for the Cherenkov Telescope Array
- [4] Large Size Telescope Technical Design Report

LSTcam

- fotoni di energie da 20 a 200 GeV
- campo visivo ~ 4.5°
- 1855 pixel esagonali
- dimensioni 2 x 2 m²
- readout ~ 10 kHz

LSTcam è la camera di LST che ha uno specchio di 23 m diametro. [4]

