Istituto Tecnico Industriale e Liceo Scientifico "Luigi Pietrobono" di Alatri

Prof.ssa Pia Astone, Dr. Fausto Casaburo, Prof. Augusto Cerica, Prof. Catello D'Auria,

Prof.ssa Francesca di Mauro, Prof.ssa Annamaria Di Vico

a.s. 2021/22

Alunni : Agostini Vanessa, Arcese Beatrice, Ascani Niccolò, Caperna Serena, Deda Daniel, Frasca Luciano, Galuppi Gaia, Giovannetti Gabrile, Ludovici Gaetano, Martone Leonardo, Marucci Benedetta, Mizzoni Luca, Moriconi Aurora, Pietrobono Aurora, Pongelli Francesco, Severa Filippo, Vona Danile

Data 19/03/2022

Misura del flusso di Raggi Cosmici

Obiettivo dell'esperimento:

Lo scopo dell'esperimento è di misurare il flusso di raggi cosmici con un telescopio per muoni basato su ArduSiPM.

Richiami teorici:

Le osservazioni effettuate tra la fine del 1700 e gli inizi del 1900 portarono alla scoperta di radiazioni, costituite da particelle di alta energia, che penetrano nell'atmosfera: i Raggi Cosmici. Essi sono costituiti per l'85% da protoni, 12% da particelle α, 2% da elettroni e il restante 1% da altre particelle quali fotoni, nuclei atomici e neutrini. La loro composizione varia durante il tragitto fino alla Terra. Di conseguenza, si distinguono i raggi cosmici primari, ossia particelle di origine extraterrestre e i raggi cosmici secondari, prodotti dalla collisione dei raggi cosmici primari con i nuclei che compongono l'atmosfera terrestre. Le ipotesi riguardanti i siti di accelerazione riguardano sorgenti galattiche (es. supernovae) ed extragalattiche (es. Pulsar, Nuclei Galattici attivi o Gamma Ray Bursts). Il flusso diminuisce al crescere dell'energia; in particolare, l'andamento è descritto dalla legge di potenza:

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-\gamma} \qquad 1$$

dove $\gamma \approx 3$ è detto indice spettrale.

Quando una particella dei raggi cosmici entra in atmosfera, interagisce con essa producendo uno sciame di particelle secondarie, di cui è possibile distingue tre componenti:

- Elettromagnetica ($e^{\pm}$,γ),
- Muonica ($\mu^{\pm}$)
- Adronico ($p,\pi^{\pm,0}$)

Poiché i muoni interagiscono poco con l'atmosfera è possibile misurarne il flusso a Terra anche con semplici strumenti didattici. Detto θ l'angolo Zenith, l'andamento del flusso di muoni a terra è descritto, per angoli $\theta < 75°$, dalla legge:

$$F(\theta) = F_0(\cos\theta)^2 \qquad 2$$

Sperimentalmente, è possibile misurare il flusso di muoni variando l'angolo di inclinazione del rivelatore (Fig. 1a).

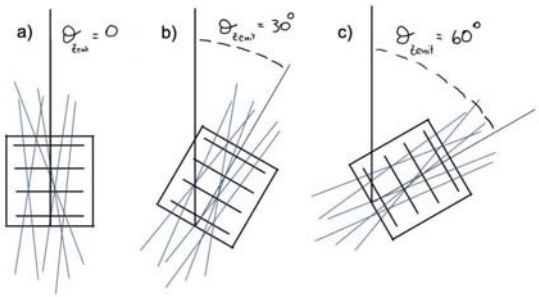
Strumenti utilizzati:

Per l'esecuzione dell'esperimento, è stato utilizzato un telescopio per muoni (Fig. 1b) costituito da due ArduSiPM, un accelerometro GY-521 e un supporto meccanico rotante. ArduSiPM è un detector di particelle sviluppato dalla sezione INFN Roma e costituito da:

- Arduino DUE.
- Schield per Arduino DUE.
- Scintillatore plastico Saint Gobain di dimensioni $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 5\text{mm}$.
- SiliconPhotoMultiplier (SiPM) Hamamatsu S13360-1325CS.

Gli scintillatori, sono stati posti sul supporto meccanico rotante a una distanza $d = (7{,}1 \pm 0{,}1)\ \text{cm}$.

- ***Schema dell'esperimento:***



(a)

(b)

Fig. 1: (a) Schema della dipendenza del flusso dall'angolo Zenith. (b) Setup sperimentale.

Acquisizione dati:

Ognuno dei due ArduSiPM misura il numero di muoni che colpiscono lo scintillatore e sono rilevati dal SiPM ad esso collegato. Il tempo di DataAcquisition (DAQ), il numero di eventi misurati singolarmente da ognuno dei due ArduSiPM e il numero di eventi in coincidenza temporale tra i due rivelatori viene letto tramite un M5Stack. L'angolo di inclinazione degli scintillatori, anch'esso letto sull'M5Stack è misurato tramite l'accelerometro (Fig. 2).

Fig. 2: Esempio di misura letta sul'M5Stack.

Il numero di conteggi misurati in funzione dell'angolo inclinazione degli scintillatori e del tempo di acquisizione, sono riportati nella Tabella 1. L'incertezza associata al numero di conteggi è stata calcolata applicando la statistica Poissoniana quando se il numero di conteggi misurato è risultato <30 e Gaussiana altrimenti.

Tab. 1: Conteggi misurati dal telescopio per muoni.

$\boldsymbol{\theta \cdot 10^{-1}}$ **(rad)**	$\boldsymbol{T}$ **(s)**	***Conteggi***
$0{,}00 \pm 0{,}17$	3220 ± 5	35 ± 6
$1{,}75 \pm 0{,}17$	3275 ± 5	34 ± 6
$3{,}49 \pm 0{,}17$	3950 ± 5	36 ± 6
$5{,}24 \pm 0{,}17$	5020 ± 5	38 ± 6
$6{,}98 \pm 0{,}17$	5380 ± 5	32 ± 6
$8{,}73 \pm 0{,}17$	5440 ± 5	21^{+6}_{-5}
$10{,}47 \pm 0{,}17$	7205 ± 5	20^{+6}_{-5}

Analisi dati e Risultati:

Dal numero di conteggi C e dal tempo di acquisizione T riportati in Tab. 1 è stato calcolato il flusso:

$$F[\mathrm{s}^{-1}] = \frac{C}{T} \qquad 3$$

e l'incertezza associata:

$$\sigma_{F[\mathrm{s}^{-1}]} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{C}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_T}{T}\right)^2} F \qquad 4$$

Dopodichè, il flusso è stato espresso in rate/minuto, i cui valori sono riportati in Tab. 2:

$$F[\mathrm{min}^{-1}] = 60F[\mathrm{s}^{-1}] \qquad 5$$

con incertezza associata:

$$\sigma_{F[\mathrm{min}^{-1}]} = 60\sigma_{F[\mathrm{s}^{-1}]} \qquad 6$$

Tab. 2: Flusso misurato dal telescopio per muoni.

$\boldsymbol{\theta \cdot 10^{-1}}$ **(rad)**	$\boldsymbol{F \cdot 10^{-1}}$ $\mathbf{(min^{-1})}$
$0{,}00 \pm 0{,}17$	$6{,}5 \pm 1{,}1$
$1{,}75 \pm 0{,}17$	$6{,}2 \pm 1{,}1$
$3{,}49 \pm 0{,}17$	$5{,}45 \pm 0{,}91$
$5{,}24 \pm 0{,}17$	$4{,}54 \pm 0{,}74$
$6{,}98 \pm 0{,}17$	$3{,}57 \pm 0{,}63$
$8{,}73 \pm 0{,}17$	$2{,}32^{+0{,}62}_{-0{,}50}$
$10{,}47 \pm 0{,}17$	$1{,}67^{+0{,}46}_{-0{,}37}$

I dati riportati in Tab. 2 sono stati interpolati con l'Eq. 2 (Fig. 3), ottenendo:

$$F_0 = (6{,}23 \pm 0{,}43) \cdot 10^{-1}\mathrm{min}^{-1}$$

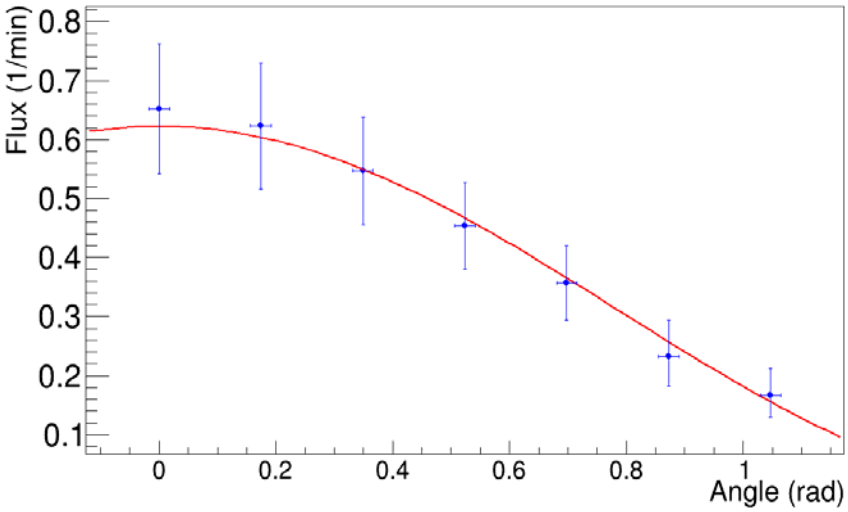


Fig. 3: Interpolazione dati.

Conclusioni:

Grazie alle analisi effettuate attraverso l'utilizzo di strumenti innovativi, realizzati dalla sezione INFN Roma, abbiamo avuto l'opportunità di conoscere, anche se in minima parte, la fisica delle particelle e delle astroparticelle. Un viaggio che ci ha condotto verso la scoperta di argomenti extra-didattici

(quali particelle subatomiche, relatività e detector), facendoci appassionare alla fisica sperimentale. In particolare, abbiamo avuto la possibilità di misurare il flusso di muoni sulla Terra in funzione dell'angolo d'incidenza, verificandone la dipendenza da quest'ultimo.