

L'apparato
sperimentale

*Il telescopio per
la rivelazione
dei raggi
cosmici*

21/11/2023

Davide Serini

Discover Cosmic Particles

INTERNATIONAL COSMIC DAY

November 21 | 2023

davide.serini@ba.infn.it

I Raggi cosmici secondari

- I raggi cosmici primari non riescono a raggiungere la superficie terrestre perché interagiscono (si scontrano) con gli atomi dell'atmosfera creando una cascata di particelle secondarie.
- Tra le particelle cariche che arrivano a terra, i **muoni (μ)** sono quelli più facilmente misurabili perché riescono a penetrare spessori di materiali assorbenti anche molto spessi.
- I muoni, nonostante risultino invisibili all'occhio umano, vengono "visti" dai ricercatori utilizzando dei rivelatori ("detector" in inglese) che registrano il passaggio di queste particelle con la materia sensibile.
- Anche altre particelle compongono i raggi cosmici secondari (ad esempio **elettroni**, **fotoni**, **protoni** ecc..) ma questa componente (detta molle) è capace di attraversare solo pochi millimetri / centimetri di materiale prima di essere assorbita.



Con il nostro apparato sperimentale misureremo il passaggio dei muoni.

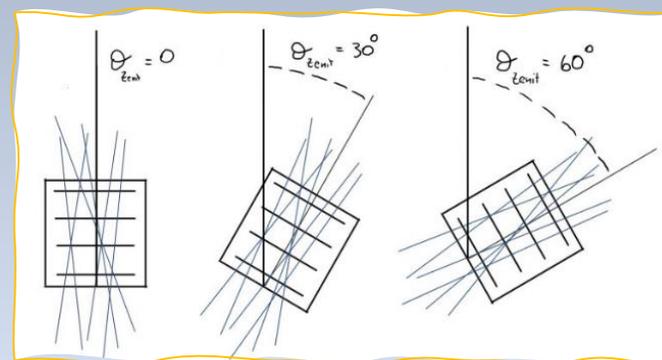
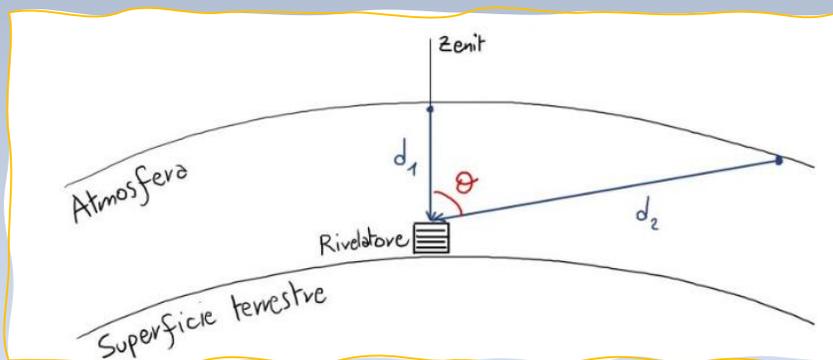
Il flusso di muoni a terra non è uniformemente distribuito.

- Analizzando le direzioni di arrivo di queste particelle in funzione dell'angolo che esse formano con lo zenit locale, si scopre che il flusso (numero di particelle nell'unità di tempo e di superficie) è:
 - massimo per $\theta=0^\circ$ (particelle che arrivano perpendicolarmente alla superficie terrestre);
 - diminuisce continuamente all'aumentare dell'angolo tra la direzione di incidenza e lo zenit;
 - è minimo per $\theta=90^\circ$;
- Durante questa giornata misureremo il rate R di particelle che interagiscono con il nostro rivelatore a diversi angoli:

$$R = \frac{N}{\Delta t}$$

dove

- R è il rate osservato che indica quindi la frequenza di muoni intercettata dal nostro apparato sperimentale;
- N i conteggi misurati ossia il numero di particelle che il nostro rivelatore ha registrato;
- Δt è il tempo di osservazione, ossia la durata della nostra misura



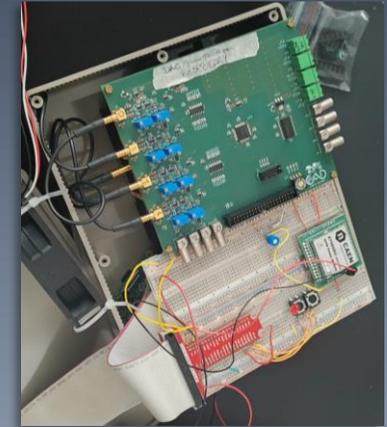
Dimostreremo che la distribuzione dei valori misurati può essere descritta usando una funzione $\cos^2(\theta)$

L'apparato sperimentale che utilizzeremo oggi è un telescopio per la rivelazione di raggi cosmici basato su **scintillatori plastici e SiPM**

- Il telescopio è costituito da due **scintillatori plastici** di $10 \times 10 \times 0.5 \text{ cm}^3$ letti lateralmente da sensori chiamati **silicon photomultiplier (SiPM)**
- Una **struttura meccanica** costituita da profilati di alluminio e supporti stampati 3D permette di ruotare il telescopio per cambiarne l'orientazione
- Una **scheda elettronica** dedicata permette di leggere i segnali dei sensori e restituire un segnale «digitale» di coincidenza che rileva il passaggio dei muoni su entrambi gli scintillatori
- Un **micro-controllore** (RaspberryPi) permette di contare e registrare le coincidenze (segnali digitali)
- Un **circuito elettronico esterno** su breadboard permette la comunicazione tra la scheda e la RaspberryPi e contiene un led che si accende ad ogni passaggio registrato... **rendendo così "visibile" a tutti il passaggio dei muoni.**



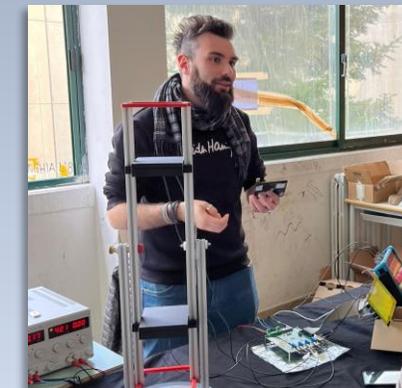
Telescopio per la rivelazione di raggi cosmici



Elettronica di Front-end



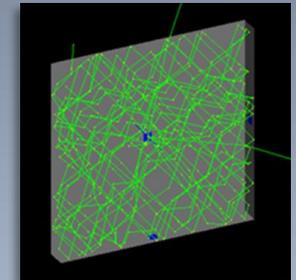
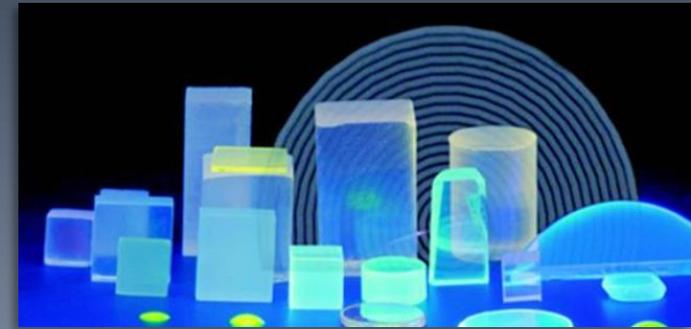
Micro-controllore RaspberryPi



Esposizione dell'oggetto in funzione

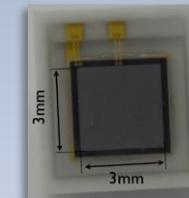
Scintillatori plastici

- Gli scintillatori possono essere usati per la rivelazione di particelle cariche di alta energia
- Quando uno scintillatore viene attraversato da una particella **emette un debole lampo luce**
- La luce viene quindi letta da sei sensori (SiPM) per poter essere osservata



SiPM

- Sono fotomoltiplicatori a stato solido.
- Questi componenti sono costituiti da una matrice di fotodiodi a valanga (microcelle) che permettono di contare i singoli fotoni
- Il SiPM trasforma la luce in un segnale elettrico
- Le dimensioni tipiche di un SiPM sono da 1mm x 1mm fino a 3mm x 3mm mentre le singole microcelle hanno dimensioni tipiche che vanno dai 20x20 μm ai 50x50 μm .

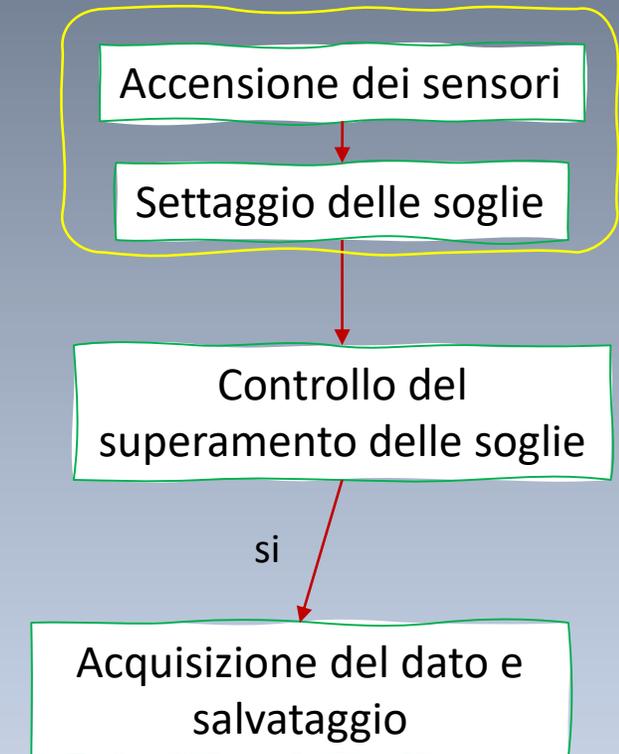


L'acquisizione dei dati

- L'acquisizione dei dati e la programmazione dell'elettronica di lettura è effettuata tramite Raspberry Pi. Si tratta di un micro-controllore, ossia un piccolo PC con sistema operativo Linux.
- I programmi di gestione dell'elettronica e dell'analisi dei dati vengono effettuati tramite script scritti in Python e una GUI per controllare il sistema.
- La scheda elettronica legge ed «elabora» il segnale dei singoli SiPM. Il programma di acquisizione permette di:
 - Accendere i SiPM
 - Settare delle **soglie** sull'ampiezza del segnale per assicurarsi che il segnale acquisito sia effettivamente un segnale «reale» e non semplicemente «rumore elettronico del sensore»
 - Se i segnali di tutti i SiPM superano le soglie stabilite, la scheda restituisce un **segnale digitale (1 logico)** che avverte la RaspberryPi del passaggio della particella
 - Un contatore incrementa il conteggio delle particelle misurate e su un file di testo vengono salvate le informazioni di:
 - Numero dell'evento
 - Tempo dall'inizio dell'acquisizione
 - Tempo relativo tra l'evento ed il precedente

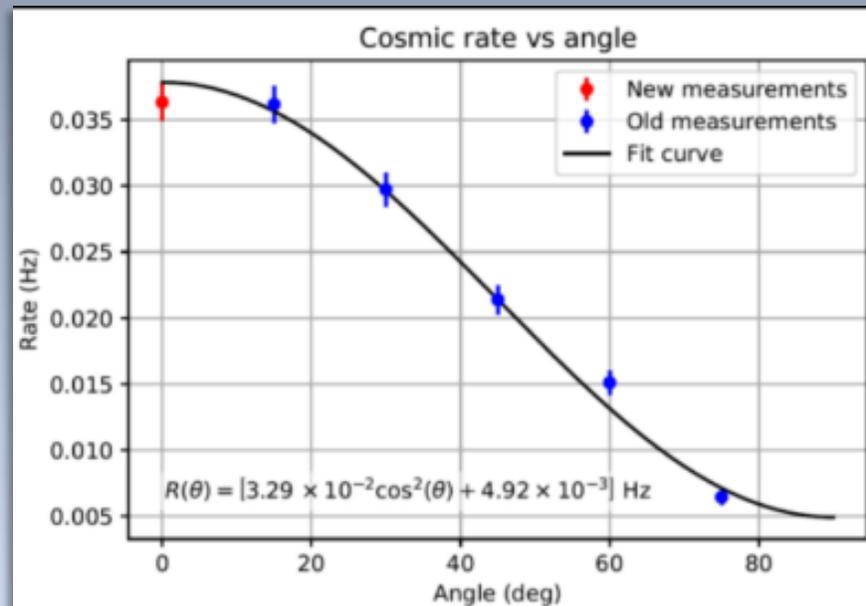


Logica del programma di acquisizione



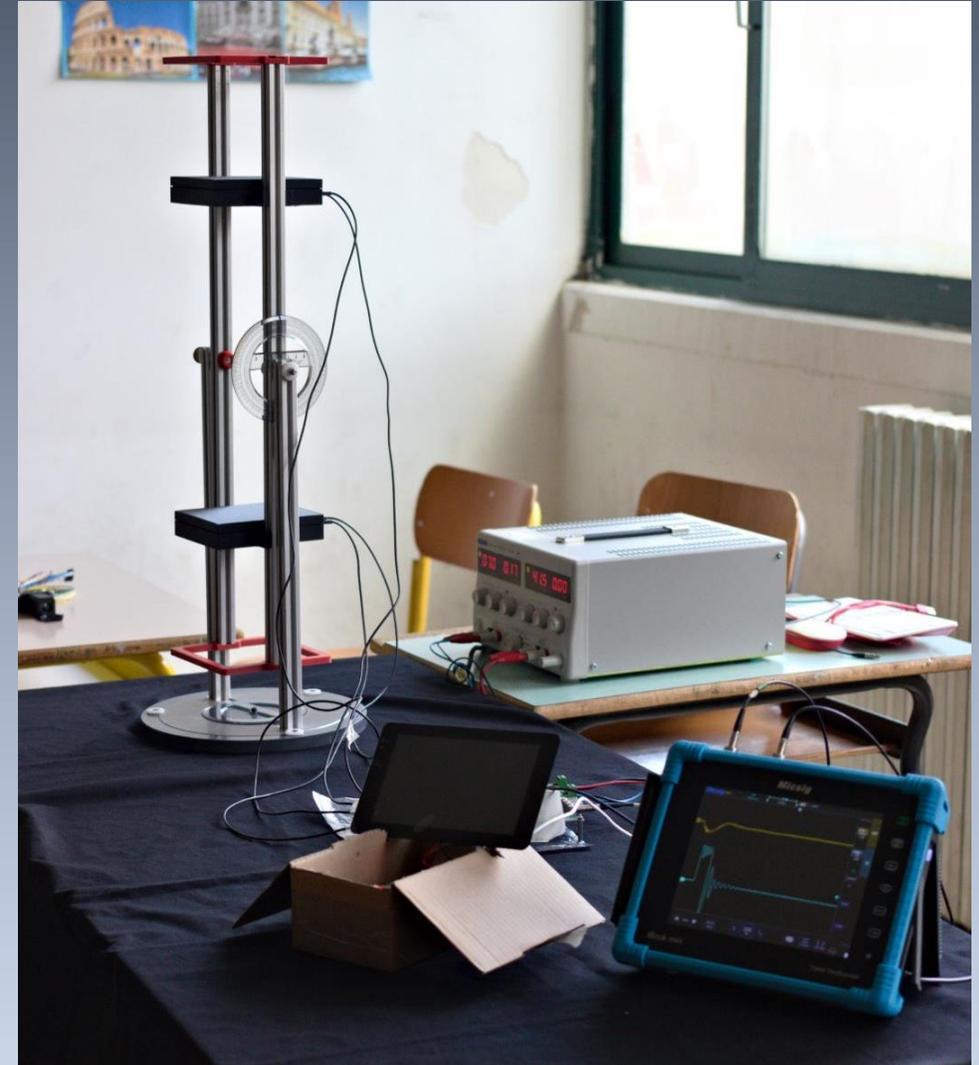
Questi dati salvati ci permetteranno di valutare il rate di raggi cosmici misurati

- Visualizzeremo i segnali generati dai SiPM tramite oscilloscopio
- Visualizzeremo il passaggio dei raggi cosmici grazie ad un led
- Acquisiremo i dati
 - **Le misure acquisite verranno analizzate mediante un «notebook» python**
 - Costruiremo un grafico del rate di arrivo dei μ in funzione dell'angolo.
 - Verificheremo la relazione tra il rate e l'angolo con la funzione $\cos^2(\theta)$



Il telescopio per la rivelazione dei raggi cosmici è stato interamente realizzato dalla sezione di Bari dell'INFN

- La progettazione e la realizzazione della scheda di elettronica a cura del servizio elettronico dell'INFN (**Ing. Francesco Licciulli**)
- Si ringrazia in particolare il supporto tecnico dell'**officina meccanica**:
 - **Maurizio Mongelli**
 - **Roberto Triggiani**
 - **Nicola Aprile Ximenes**



Il rivelatore a bordo dell'Amerigo Vespucci



<https://home.infn.it/it/news-infn/5932-infn-e-universita-di-bari-a-bordo-dell-amerigo-vespucci-imbarcato-un-rivelatore-di-raggi-cosmici-che-fara-il-giro-del-mondo>