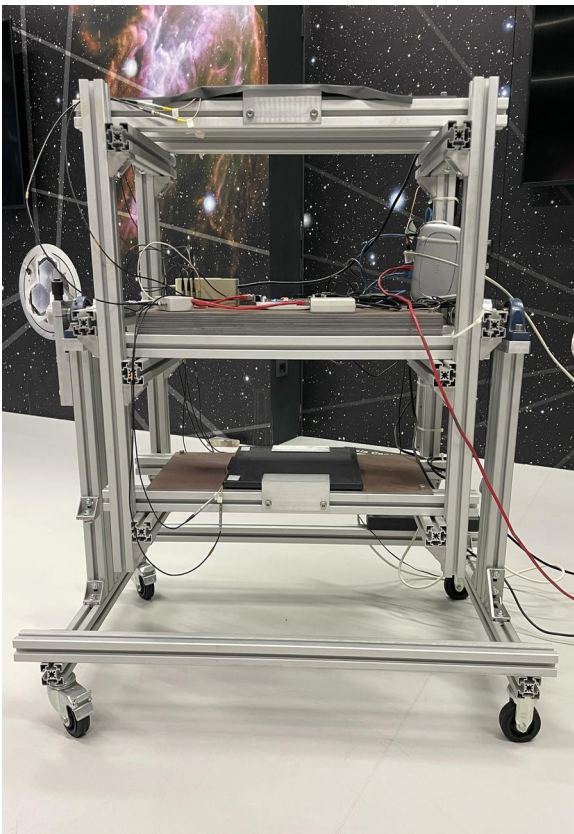


TELESCOPIO PER MUONI DI LNL

Il telescopio per muoni a LNL è uno strumento sensibile ai raggi cosmici secondari prevalenti che arrivano a livello del mare, i muoni.

Il suo funzionamento per la rivelazione dei muoni si basa sull'uso di scintillatori plastici, che producono un segnale luminoso al passaggio delle particelle nella loro struttura e di SiPM, i Silicon Photo Multiplier, dispositivi a stato solido che consentono di convertire il segnale luminoso in un segnale elettrico.

L'uso principale, ma non l'unico, di questo strumento è di permettere la misurazione del flusso di muoni in funzione dell'angolo di inclinazione dello strumento rispetto ad un asse verticale sulla superficie terrestre.



LE COMPONENTI BASE DEL TELESCOPIO: SCINTILLATORI E SIPM

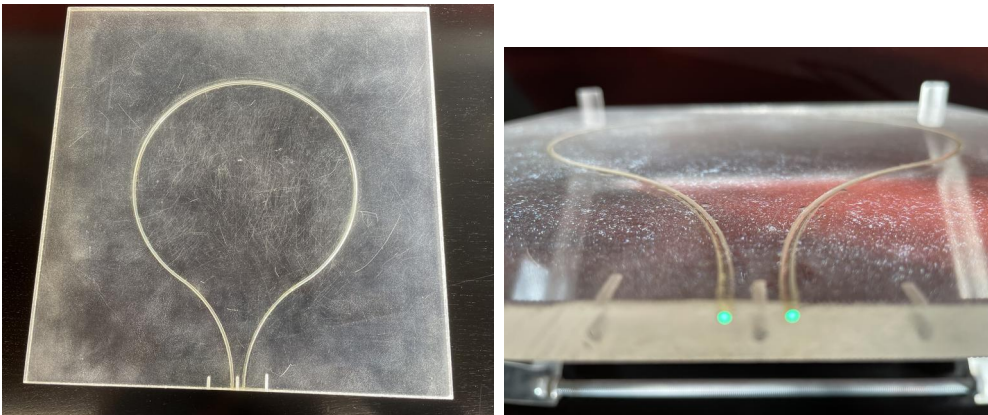
Gli scintillatori sono lastre di materiale plastico speciale (Scionix EJ-200, poliviniltoluene, drogato con dei fluorofori) di dimensioni di 30.0×30.0 cm con spessore di 0.5 cm.

Il materiale di cui è composto lo scintillatore è molto sensibile anche alla luce visibile e va quindi schermato con una copertura opaca per evitare che la luce ambientale disturbi gli effetti dell'interazione che più interessa: quella tra il materiale plastico e i muoni che lo attraversano.

Il passaggio dei muoni attraverso gli scintillatori dà luogo a emissione di luce, ovvero di fotoni nello spettro della luce visibile, nella gamma del colore blu.

La luce prodotta dagli scintillatori viene raccolta da una fibra ottica Saint Gobin BCF-92 immersa nella piastra (si veda figura qui di seguito) e guidata verso i due terminali posti su una faccia laterale dello scintillatore. Nella fibra ottica la

luce “blu” raccolta viene “riemessa” a frequenza un po’ più bassa, come luce “verde”, che è la gamma di luce a cui i SIPM sono più sensibili.



I SiPM (Silicon Photomultiplier) sono fotomoltiplicatori al silicio. Questi componenti elettronici sono costituiti da una matrice di fotodiodi (diodi sensibili alla luce) del tipo a valanga.

L’effetto “a valanga” che si produce nei SIPM all’arrivo di un fotone nell’area fotosensibile consente di amplificare segnali luminosi molto piccoli e produrre correnti elettriche sufficienti per l’elaborazione elettronica successiva, con la sensibilità necessaria a rivelare i singoli muoni.

I SIPM sono installati a contatto con i terminali della guida d’onda, nell’area verde della seconda foto, per ricevere il flusso di fotoni raccolti nello scintillatore e spostati “sul verde”.

Nel telescopio di LNL su ciascuno dei due scintillatori sono installati due SIPM, uno su ciascuna delle due terminazioni della fibra ottica.

LA RIVELAZIONE DEI MUONI

Nel telescopio di LNL i due scintillatori sono disposti orizzontali, uno sopra l’altro a distanza di 72 cm e tra loro è interposta una lastra di ferro, che ha lo scopo di fermare eventuali altre particelle a bassa energia.

Nel telescopio i due rivelatori a scintillazione funzionano “in coincidenza”, vengono cioè rilevate le particelle che attraversano entrambi i rivelatori e danno quindi luogo emissione di fotoni e al conseguente impulso elettrico dai SIPM, su entrambi i rivelatori, “quasi” nello stesso istante (in una finestra di tempo molto piccola, di 50 ns). Se tutti e 4 i SiPM rilevano un impulso “contemporaneamente”, una coincidenza, si deduce che l’evento è stato il passaggio di un muone. La velocità media dei muoni anche all’arrivo al livello del mare è infatti elevatissima, poco meno della velocità della luce e bastano quindi pochi nanosecondi per il transito attraverso entrambi gli scintillatori.

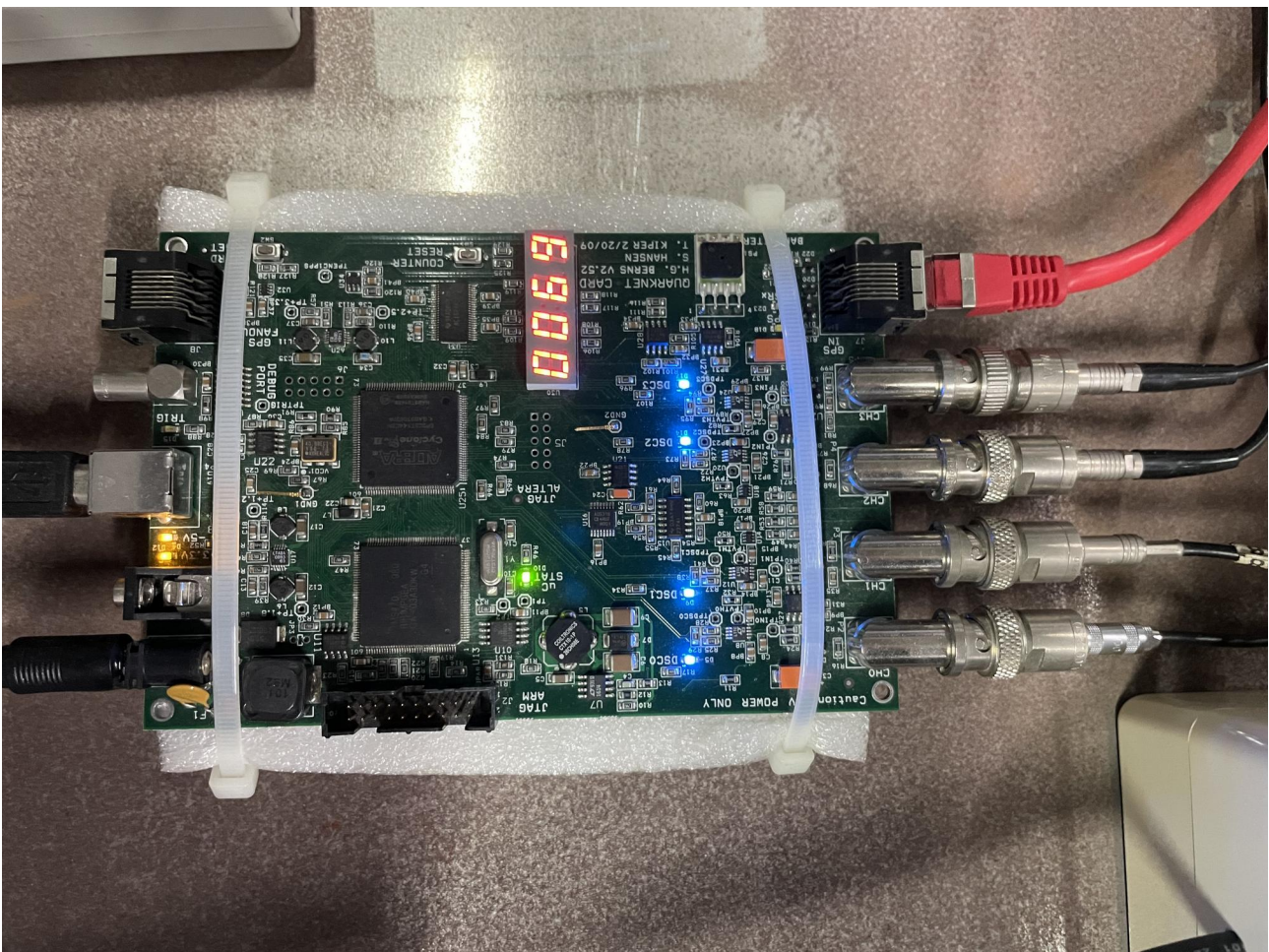
LA SCHEDA DI "FRONT-END"

La scheda elettronica che si occupa di contare gli impulsi elettrici prodotti da ciascuno dei quattro SIPM e di rilevare le "coincidenze" è stata progettata e realizzata a Fermilab, un grande laboratorio di fisica negli USA.

Alla scheda arrivano il quattro segnali elettrici prodotti dalle due coppie di SIPM sui due scintillatori e la scheda si occupa di "contare" gli impulsi da ciascuno dei quattro canali e di rilevare le "coincidenze", ovvero gli eventi che danno luogo alla presenza "contemporanea" di segnale utile su tutti i 4 canali, in una finestra temporale molto breve, di 50 ns.

Il conteggio delle coincidenze è molto inferiore a quello delle "singole" su ciascun canale, per la presenza di rumore sia sui SIPM che dagli scintillatori.

Sulla scheda sono stati integrati anche dei sensori ambientali (di temperatura locale, umidità locale e pressione atmosferica) per la misura di queste variabili ambientali che possono influenzare le misure del flusso di muoni. Infatti il funzionamento dei SIPM è molto influenzato dalla temperatura e il flusso di muoni dipende altri vari fattori e tra questi vi è anche la pressione atmosferica.



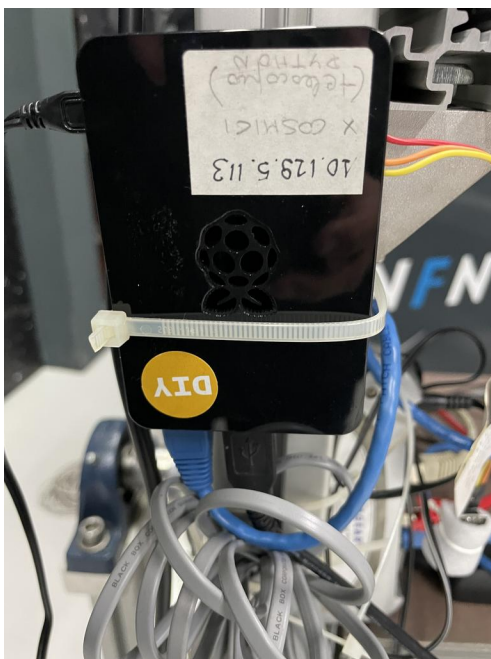
MISURA DEL FLUSSO DI MUONI IN FUNZIONE DELL'INCLINAZIONE ANGOLARE

I raggi cosmici secondari che arrivano sulla terra vengono generati dalla interazione dei raggi cosmici primari con i nuclei degli atomi in atmosfera. Questa interazione si verifica negli strati più alti dell'atmosfera, i prodotti secondari della interazione a loro volta interagiscono con i nuclei degli atomi in atmosfera (anche più volte) producendo uno "doccia" di particelle, ma di queste solo i muoni hanno le caratteristiche di velocità e vita media per arrivare in gran numero fino a livello del mare.

Il numero di muoni che arrivano al rivelatore dipende però dallo spessore di atmosfera che hanno dovuto attraversare : appare quindi ovvio che il massimo di intensità di flusso si ottiene puntando il telescopio verso lo zenit; poi il flusso va progressivamente diminuendo quando si aumenta l'inclinazione rispetto alla posizione verticale, fino a raggiungere il minimo con la disposizione orizzontale.

REGISTRAZIONE DEI DATI DI MISURA

Oltre alla scheda elettronica adibita al conteggio degli impulsi di singola e delle coincidenze (che possono essere lette sul display rosso presente sulla scheda), il telescopio fa uso di un Raspberry Pi 3 che ha il compito di registrare e memorizzare i conteggi, la temperatura e la pressione ogni minuto. Il collegamento cablato alla rete dell'INFN permette inoltre di poter accedere ai dati da remoto. Il Raspberry è connesso alla scheda di front-end attraverso un cavo USB, da cui legge ogni minuto i dati prodotti dalla scheda. In fase di accensione di tutto il sistema, il Raspberry ha anche il compito di "programmare" la scheda di front-end per l'attività di misura.



I dati registrati dal telescopio sono inoltre copiati su un sito pubblico, disponibile anche all'esterno dei LNL, con una struttura che comprende registrazioni numeriche e grafici, reperibili qui:

<http://www2.lnl.infn.it/~canella/COSMIC/WWW2/index.html>

Sono qui disponibili dati registrati dal 2020 fino ad oggi.