



**Attribuzione - Non commerciale -
Condividi allo stesso modo 4.0
Internazionale (CC BY-NC-SA 4.0)**

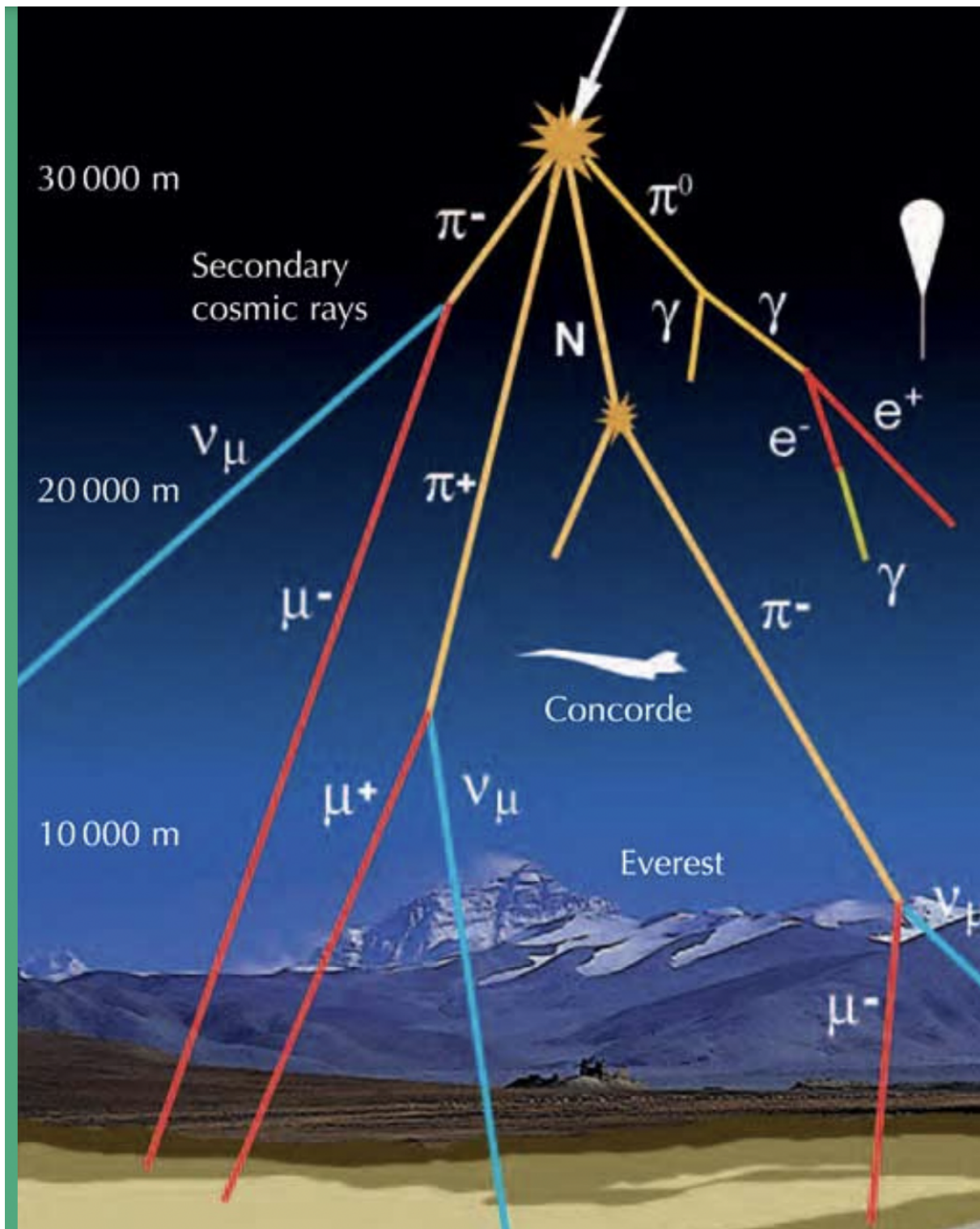
Lisa Rea 4GS, Federico Previtali 5BS, Riccardo Andreotti 5C, Matteo Doneda 5C
progetto BergamoScienza 2022

I MUONI

I raggi cosmici sono una pioggia di particelle ad alta energia (per la maggior parte protoni) che quando interagisce con la materia crea sciami di particelle secondarie. I raggi cosmici primari (che derivano dallo spazio), possono essere originati da esplosioni di supernove, regioni centrali di particolari galassie, dette “Nuclei Galattici Attivi”, le quali rilasciano grandi quantità di energia quando la materia di gas interstellare e di stelle disgregate precipita verso giganteschi buchi neri.

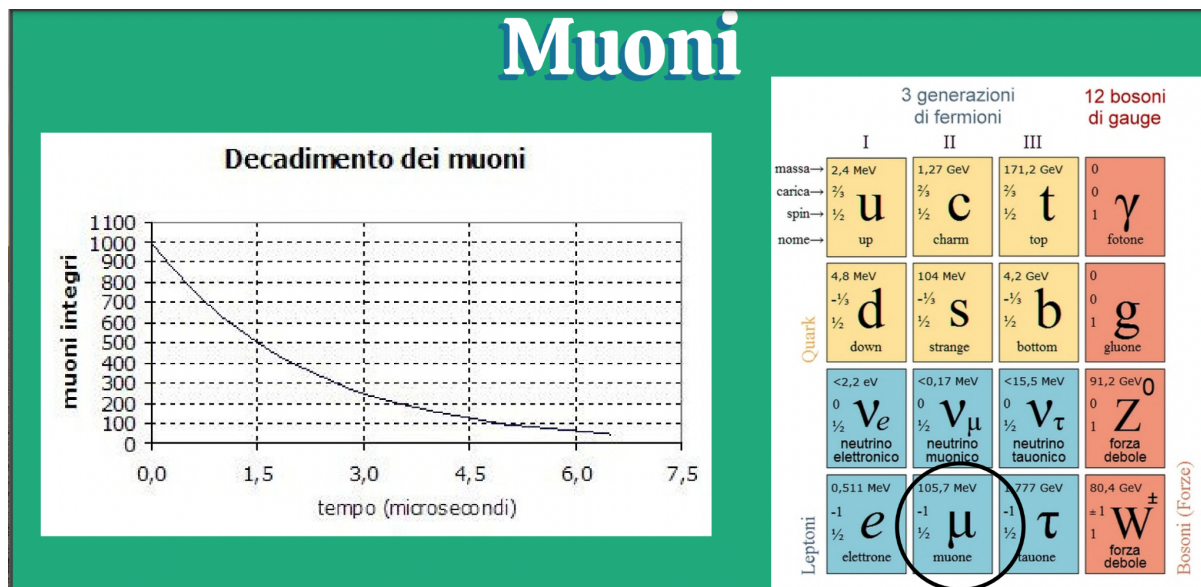
Una recente ricerca ha riscontrato la scoperta dei cosiddetti “lampi gamma”, risultati di esplosioni cosmiche ancora più potenti delle supernove, il che fa di loro gli oggetti più lontani mai visti dalla terra.

L'interazione tra i raggi cosmici primari e l'atmosfera genera i raggi cosmici secondari, che raggiungono la superficie terrestre e possono essere rivelati. Questi sono composti da diversi tipi di particelle, tra cui elettroni, fotoni e muoni.



I muoni sono raggi cosmici che a loro volta sono una pioggia di particelle ad alta energia, per la maggior parte protoni, che quando interagiscono con la materia crea sciame di particelle secondarie. I raggi cosmici primari arrivano dallo spazio e possono essere originati dall'attività stellare, e questi arrivano alla nostra atmosfera. L'interazione tra i raggi cosmici primari e l'atmosfera genera i raggi cosmici secondari, che raggiungono la superficie terrestre e possono essere rivelati. Questi sono composti da diversi tipi di particelle, tra cui elettroni, fotoni e muoni.

I muoni sono particelle elementari altamente energetiche che sono in grado di attraversare la materia senza perdere troppa energia. Riescono a penetrare spessori di materiali assorbenti come ferro e piombo di oltre un metro. Hanno una carica negativa uguale a quella dell'elettrone ma hanno una massa circa 200 volte superiore. Vivono pochissimo, circa 2 millesimi di millesimi di secondo, ma noi li possiamo rivelare perchè viaggiando velocissimi, il loro tempo di vita dilata.



Tutte queste caratteristiche rendono i muoni adatti alla creazione di tomografie, simili a quelle a raggi x, ma con il vantaggio di poter indagare anche strutture di grandi dimensioni, grazie alla loro grande capacità penetrativa.

NUVOLE

Come sappiamo i raggi cosmici sono composti da particelle cariche, principalmente muoni, che hanno forte carica positiva.

Questo causa interazioni elettromagnetiche (forze di Coulomb) tra le particelle cosmiche e quelle dell'aria: gli elettroni delle molecole d'aria vengono attratte dai muoni che passano vicino, rendo così l'intera molecola carica positivamente. Questo processo è chiamato ionizzazione. Gli ioni attraggono le particelle d'acqua sospese nell'aria creando così le nuvole.

UTILIZZO PRATICO DELLA SCIENZA DEI MUONI NELLA RADIOGRAFIA DI GRANDI STRUTTURE

Proprio come i raggi X, i raggi cosmici formati da Muoni sono in grado di penetrare i materiali rilasciando energia. A differenza dei primi, tuttavia, che riescono ad attraversare solo pochi metri di roccia, i muoni sono in grado di attraversare anche alcuni chilometri poiché sono,

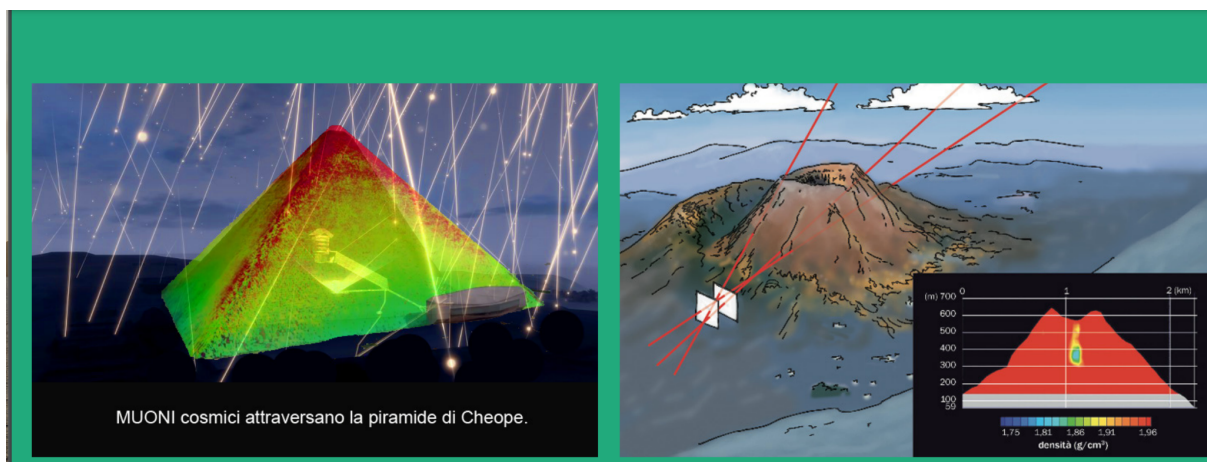
insieme ai neutrini, tra le particelle più penetranti che vengono prodotte durante le interazioni dei raggi cosmici con l'atmosfera.

Questa capacità dei muoni permette di utilizzarli per fare radiografie di strutture di grandi dimensioni (chiamate muonografie), attraverso l'uso di rivelatori muonici, i quali vengono posti dietro alle strutture da radiografare e vanno a rivelare con grande precisione la direzione di provenienza delle particelle.

La tomografia muonica, a differenza della radiografia, è una tecnica di analisi non invasiva che non coinvolge l'uso di fonti radioattive e per questo è possibile eseguirla in ogni luogo, dal momento che i raggi cosmici colpiscono l'intera superficie terrestre. Inoltre, grazie alla poca interazione delle particelle con la materia attraversata, la tomografia muonica può essere eseguita su strutture di grandi dimensioni e su oggetti di materiali che schermano le radiazioni ionizzanti.

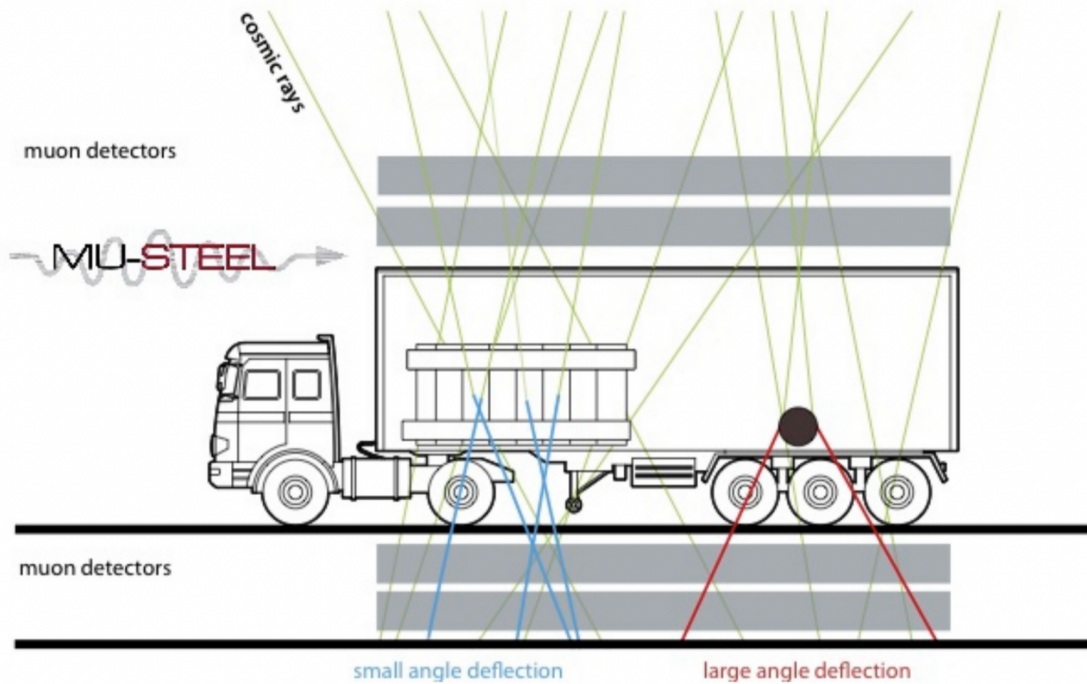
Contando quanti muoni provengono da ciascuna direzione e confrontando questi conteggi con quanto ci si aspetta nel caso ci fosse solo l'aria tra il rivelatore e l'alta atmosfera, si può avere una misura precisa della quantità e della densità della materia attraversata.

La muografia fu applicata per la prima volta alla fine degli anni '60 per risolvere un importante enigma archeologico. Gli archeologi si chiedevano infatti se all'interno della piramide di Chefren esistessero altre camere non ancora esplorate. Il premio Nobel Luis Alvarez propose allora di effettuare una muografia alla piramide e l'esperimento dimostrò che non vi era alcuna cavità.



Le applicazioni più recenti della radiografia muonica interessano in particolar modo i vulcani e permettono di avere informazioni sulla loro struttura interna. Recenti misure sono state fatte in particolare sul vulcano Asama prima e dopo l'eruzione del 2009, mostrando significative differenze. Alcune stazioni permettono di effettuare continuamente muografie allo scopo di identificare eventuali segnali precursori di eruzioni.

I campi di utilizzo dei muoni non si fermano qui infatti sono molto importanti anche nell'ambito della sicurezza per fare radiografie di autoveicoli o container permettendo di identificare l'eventuale trasporto di materiale radioattivo o ordigni bellici



I muoni disperdono parte della propria energia in corrispondenza del passaggio per un mezzo, quindi, tanta più è l'energia dispersa, quanto più grande è lo spessore attraversato.
 L'ArduSiPM rivela il numero di muoni che lo raggiungono, quindi, minore è il numero di collisioni, maggiori sono i muoni schermati dalla materia soprastante. Questo ci permette di calcolare la densità e la quantità di materia attraversata dal flusso di raggi cosmici.

I muoni rilasciano energia quando attraversano materiali fino ad essere completamente schermati, quindi minore sarà il numero di muoni rivelati, maggiore sarà la quantità di materia attraversata.

Da ciò a seconda dei dati ottenuti sarà possibile fare una stima dello spessore attraversato ed eventualmente dedurre la presenza di cavità nascoste nella struttura.

ARDUSIPM

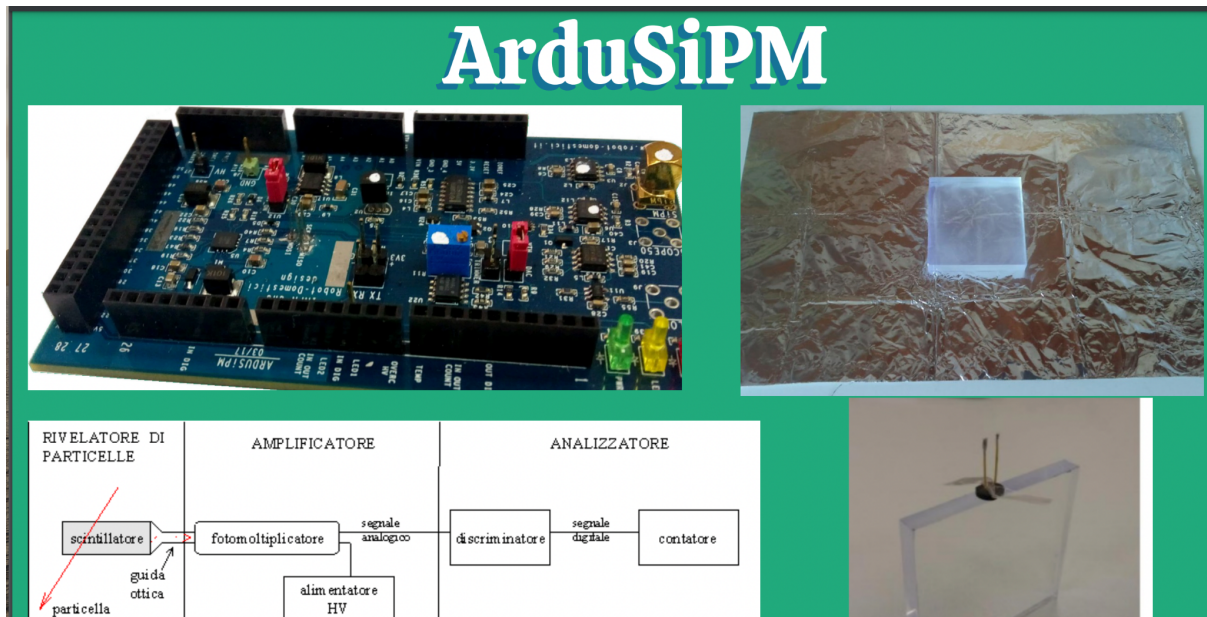
Per effettuare tali misurazioni si ricorre a dei rivelatori di raggi cosmici.

I rivelatori di raggi cosmici sono formati da una coppia di scintillatori, che, quando attraversati da un muone che cede parte della sua energia, favoriscono la formazione di fotoni. Il segnale luminoso viene raccolto da un SiPM (fotomoltiplicatore al silicio), che lo amplifica e lo traduce in un segnale elettrico. Questo viene decodificato dalla scheda ArduSiPM e inviato al computer dalla scheda Arduino Due. Il rivelatore viene alimentato da 5V di corrente fornita direttamente dal pc tramite il cavo di collegamento.

Sul computer abbiamo scaricato e settato a dovere l'ArduSipm acquisition tool che permette di acquisire, visualizzare ed esportare i dati raccolti.

Quando un muone attraversa lo scintillatore il materiale di cui questo è fatto emette una debole luminescenza, la quale viene poi amplificata e tradotta in segnale elettrico dal fotomoltiplicatore. Il segnale inviato alla scheda ArduSiPM viene amplificato e inviato al PC

tramite la scheda Arduino Due, dove il programma lo elabora e restituisce la frequenza degli eventi per secondo (CPS) e la loro energia.



Per rendere i risultati più precisi, si devono utilizzare due di queste apparecchiature in coincidenza, in modo che i segnali derivanti da altri eventi possano essere esclusi. Inoltre, questo ci permette di confrontare la quantità di muoni che raggiungono la struttura con quelli che effettivamente la attraversano. In questo modo è possibile determinare la quantità di muoni assorbiti e quindi la quantità di materiale che è stato attraversato, per rivelare eventuali spazi vuoti interni alla struttura esaminata.

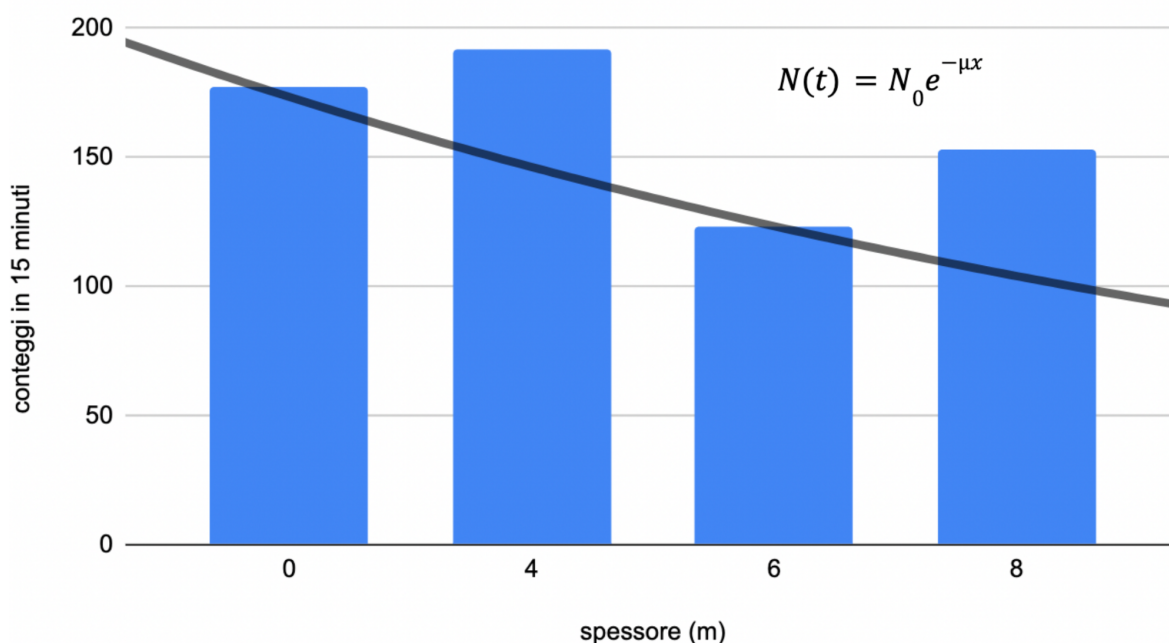
Per avere un maggior range di risultati le misure vengono effettuate contando i segnali di coincidenza per diversi settori angolari (0 gradi = in verticale/ 90 gradi= orizzontale) ogni misura ha una durata di 24 ore.

LE NOSTRE MISURE

Abbiamo fatto misure in collaborazione con il dipartimento di fisica dell'UniMi Bicocca: siamo personalmente scesi, in collaborazione con il gruppo speleologico "Le Nottole" di Bergamo all'interno delle Mura di Città Alta, più precisamente ci siamo calati nelle cannoniere della Fara dove abbiamo ottenuto questi dati: in blu sono le misure prese in 15 minuti a differenti spessori al di sotto delle mura, in nero la curva teorica.

Si nota che gli istogrammi ottenuti in corrispondenza delle camere a 4m e a 8 m di spessore sembrano lontani dalle previsioni teoriche, ma tali valori sono stati rilevati in presenza di cavità chiuse, dove il fondo ambientale viene ugualmente ad impressionare il rivelatore ArduSipm, che non è in grado di distinguere il tipo di particella che colpisce lo scintillatore.

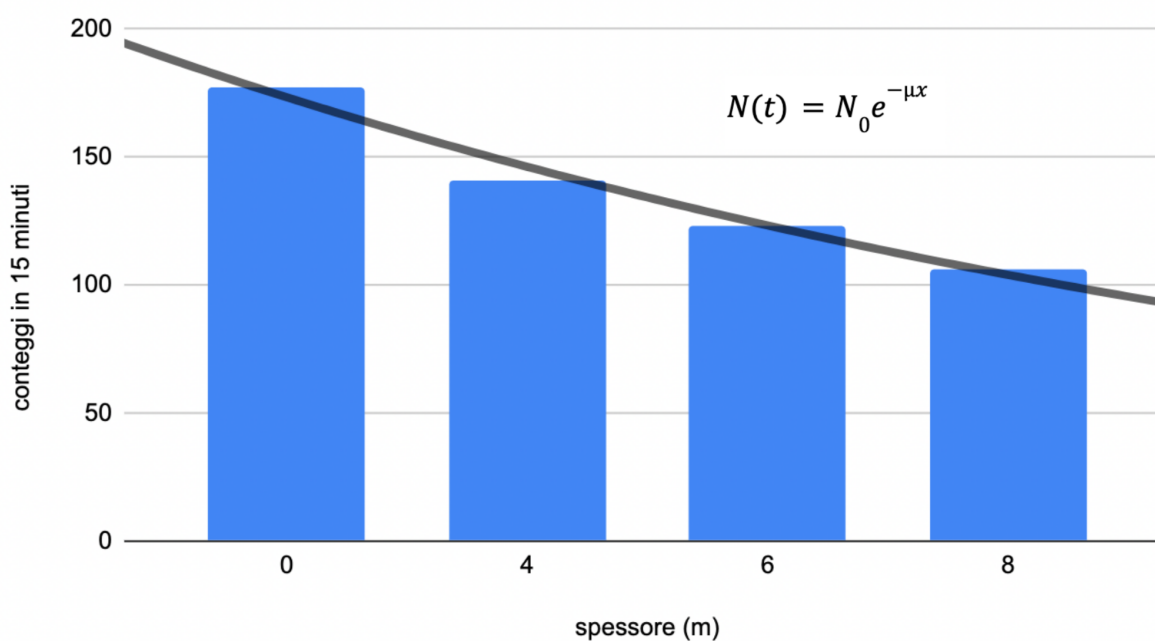
conteggi in 15 minuti/ spessore - in rosso la previsione teorica



Assunto dalle tabelle che il fondo radioattivo medio è pari a 10 Bq/m³ ovvero 10 conteggi al secondo per metro cubo,

(<https://www.arpalombardia.it/Pages/Radioattivita/Radon/Livelli%20di%20riferimento.aspx#>), stimati i volumi delle camere che ci hanno ospitato in 5 m³, se lo sottraiamo dai valori da noi ottenuti, come si vede nel grafico successivo, i dati ben descrivono le aspettative teoriche, assunto che il coefficiente di assorbimento per la roccia vale 0.6.

conteggi in 15 minuti senza fondo/ spessore



Si ringrazia per la collaborazione il prof. Pietro Govoni, la prof. Laura d'Alfonso, il dottor. Sandro Baù e il dottor Davide Rozza per gli spunti e l'assistenza tecnica offerta.

Bibliografia e sitografia:

<https://www.asimmetrie.it/>

<https://pdg.lbl.gov/2019/download/db2018.pdf>

<https://www.lngs.infn.it/it/raggi-cosmici>

<https://web.infn.it/OCRA/cosa-sono-i-raggi-cosmici/>