

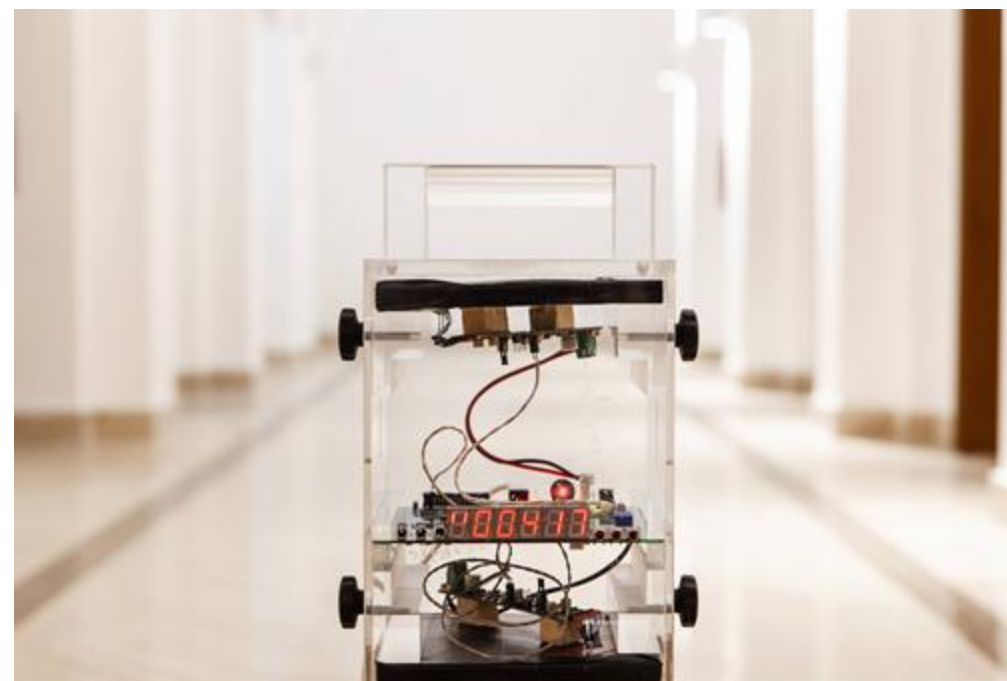
| EEE

Liceo "Scacchi" - Bari



LICEO SCIENTIFICO STATALE
ARCANGELO SCACCHI

COSMIC BOX



2026

LICEO SCACCHI



STUDIO
DELL'ATTENUAZIONE DEI
MUONI COSMICI IN UN EX
BUNKER ANTIAEREO CON LA
COSMIC BOX

EEE

Liceo “Scacchi”- Bari

OBIETTIVO GENERALE

Realizzare un'indagine fisica e archeologica in un ex bunker antiaereo utilizzando una Cosmic Box del progetto EEE (Extreme Energy Events) per misurare il flusso di muoni cosmici in diversi punti e stimare la densità e lo spessore dei materiali sovrastanti.



dipartimento
Architettura
Costruzione
Design



Extreme
Energy
Events
Science inside Schools



ASPETTATIVE
E
RISULTATI



Parallelamente, un gruppo di studenti dell'indirizzo storico-architettonico, effettuerà un rilievo archeologico e strutturale del bunker per correlare i dati fisici con le caratteristiche costruttive.





*Il piano al di sotto del livello strada della nostra scuola ospita
un ex bunker antiaereo*

*La mappatura topografica mediante rilievi sul campo sarà
oggetto di una specifica attività degli studenti dell'indirizzo
storico-architettonico del nostro Liceo*

CONTESTO E MOTIVAZIONE

*Il progetto unisce fisica
sperimentale, analisi
dati e archeologia
contemporanea*

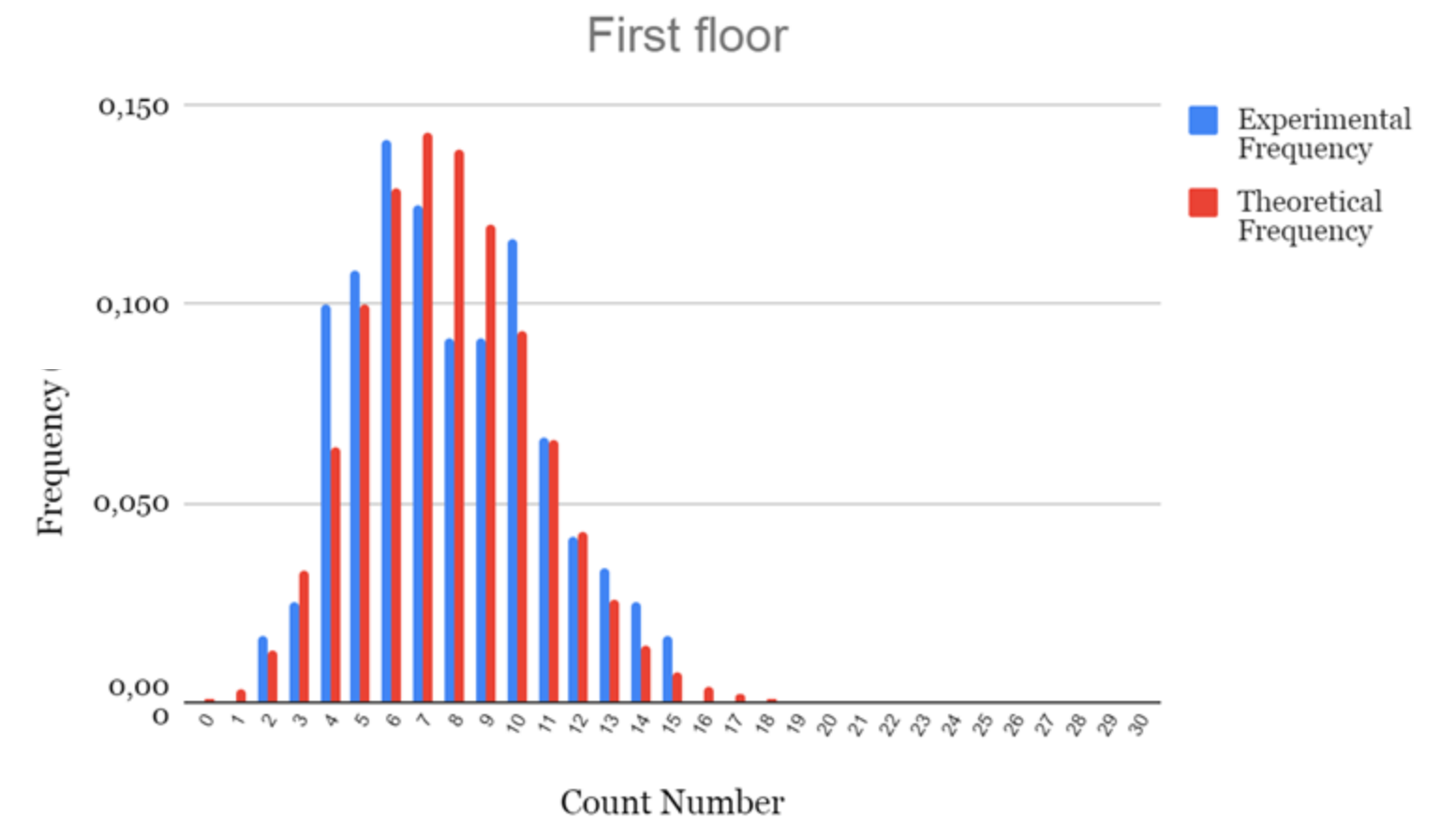
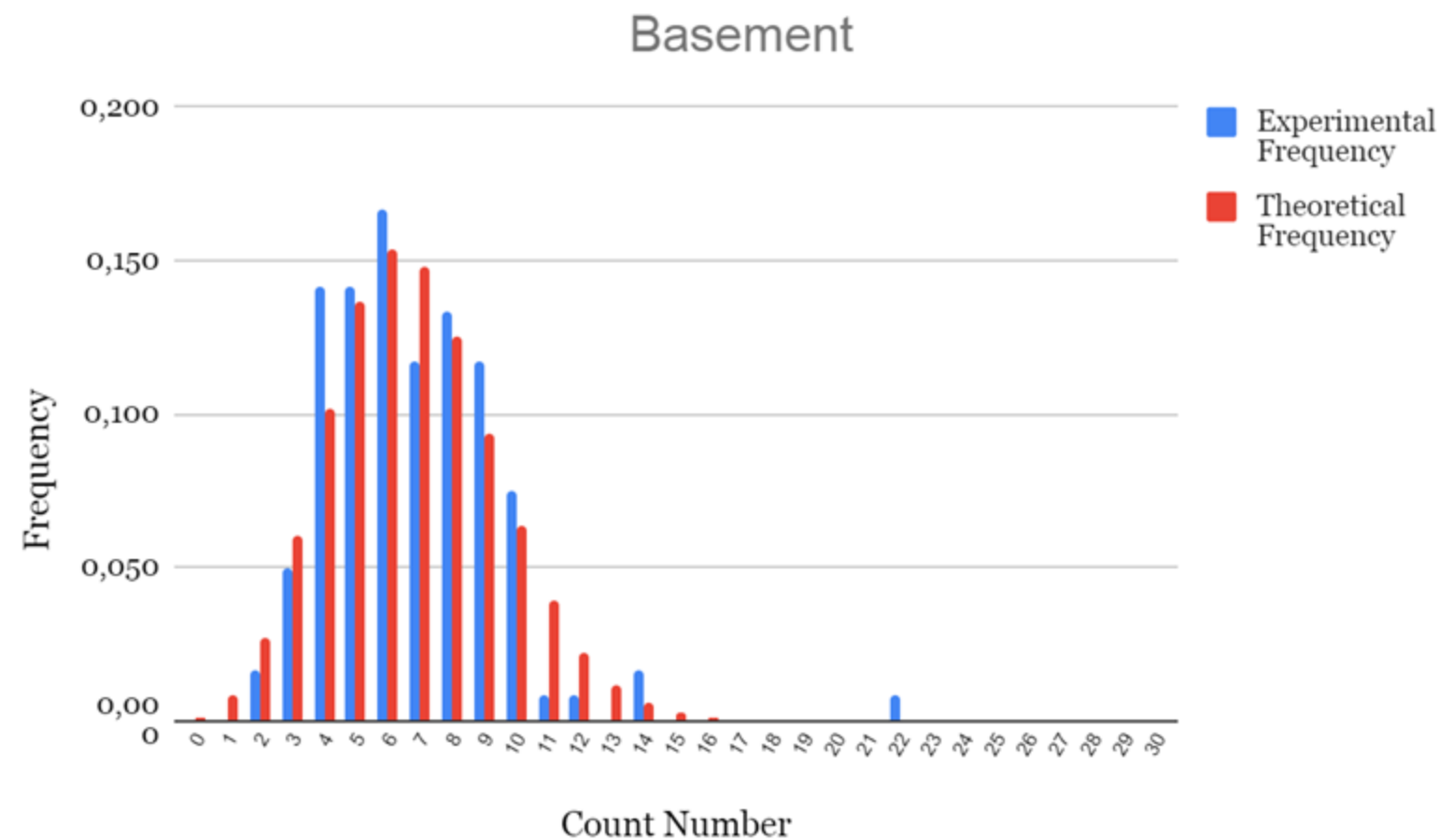


- 1 L'attenuazione dei muoni dipende dallo spessore e dalla densità del materiale attraversato.
- 2 Misurando la variazione del flusso di muoni tra esterno ed interno del bunker, si può stimare lo spessore equivalente dei muri e/o delle volte
- 3 Gli ex bunker antiaerei sono spesso poco documentati. L'utilizzo dei muoni permette una caratterizzazione non invasiva delle strutture interne.
- 4 Questa caratterizzazione consente di integrare i rilievi archeologici.

Cosa sappiamo già

* *Precedenti misurazioni sono state effettuate, sempre mediante cosmic box, dai nostri studenti del team EEE nel 2022*

* *Queste misure, già oggetto di una presentazione durante il run meeting del maggio 2022, hanno consentito di confrontare i flussi su tre livelli del nostro istituto*

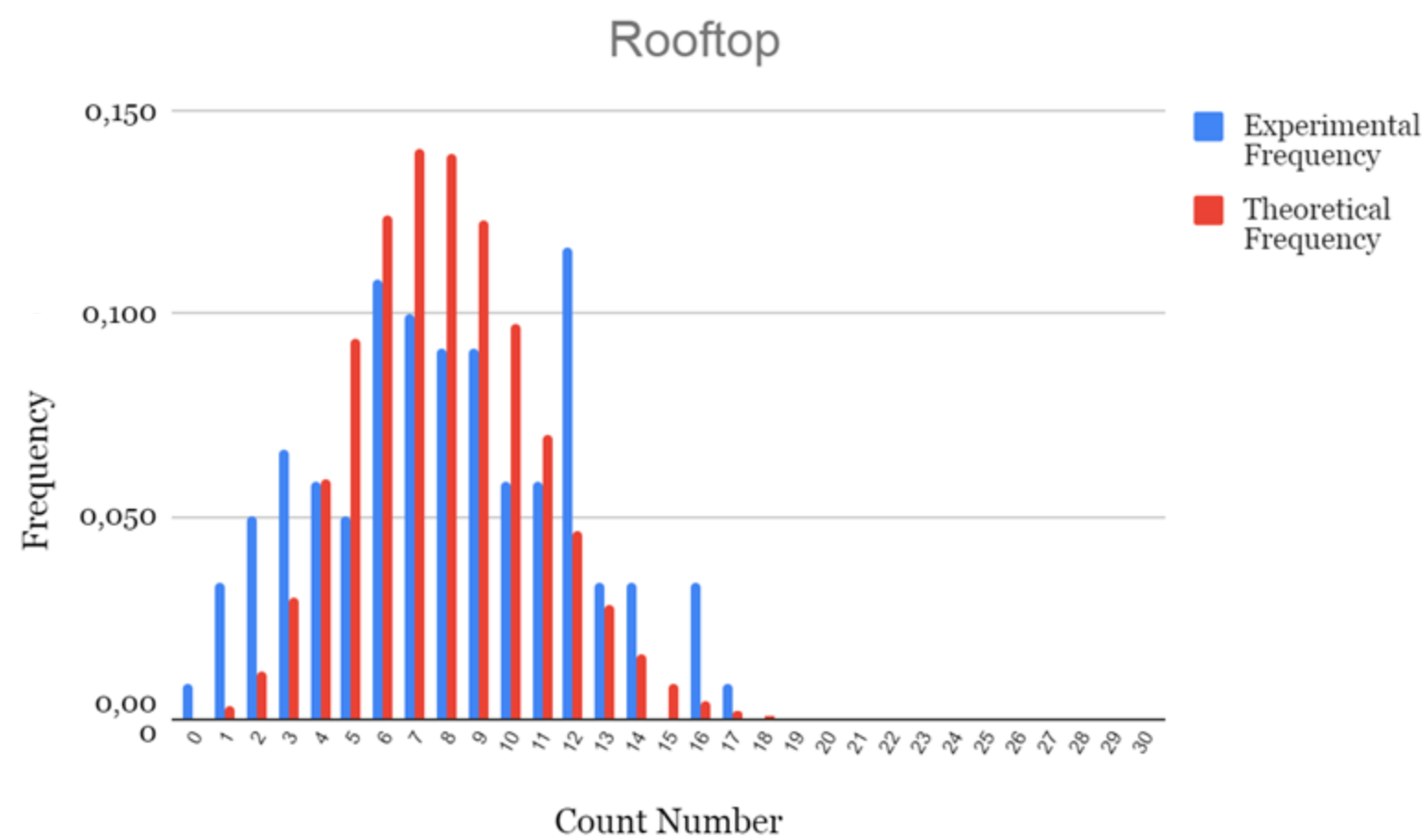


Su ciascun livello sono state acquisite 20 misurazioni per 20 secondi ciascuna

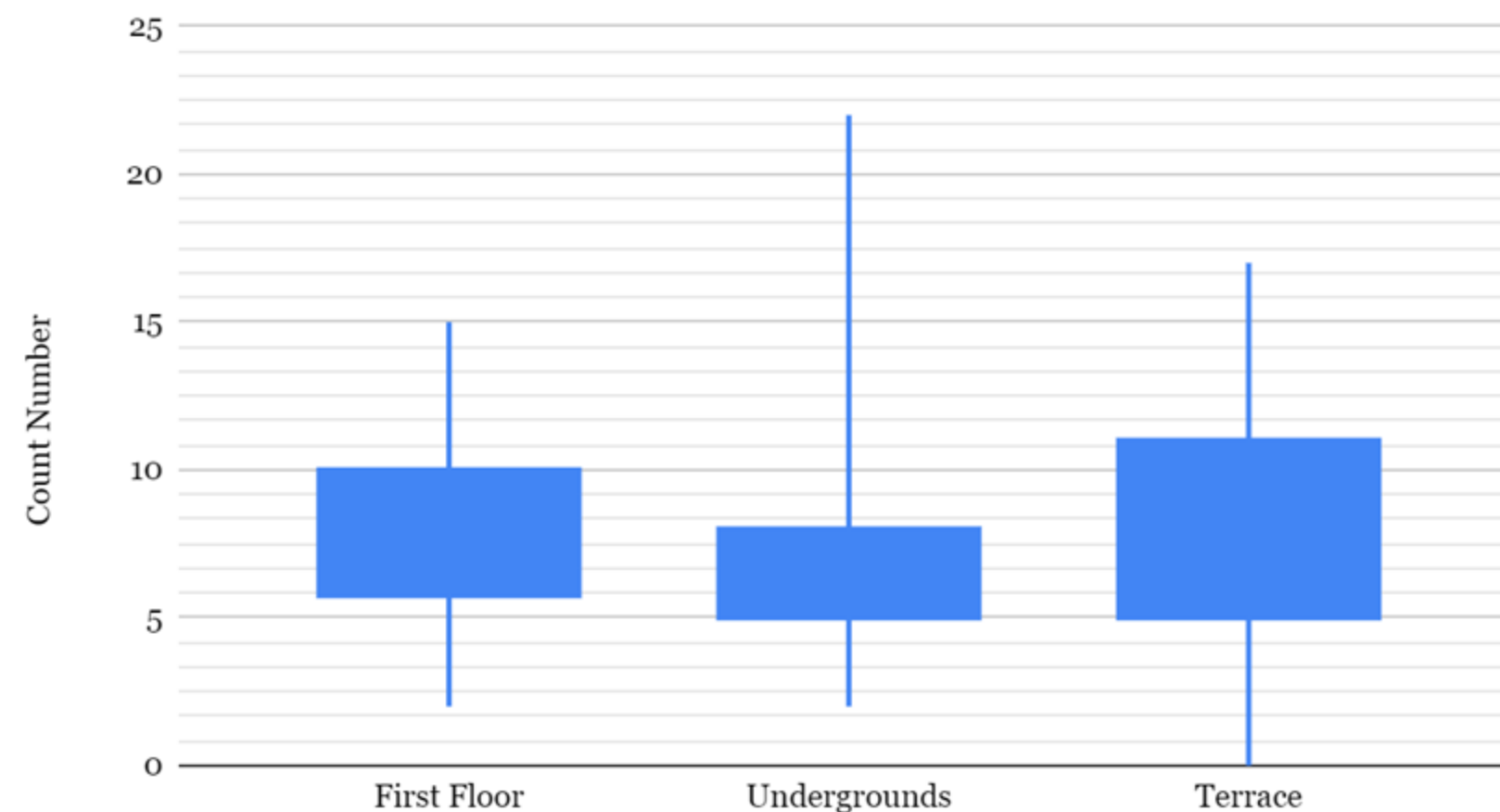
Cosa sappiamo già

Queste misurazioni costituiscono un
 * buon punto di partenza per ottimizzare la procedura di mappatura

La frequenza massima di particelle rilevate è stata misurata sul tetto, con una media di 7,93 particelle ogni 20 secondi, mentre la frequenza minima è stata ottenuta nel seminterrato, con una media di 6,75 ogni 20 secondi.



PlotBox Experimental Values



Protocollo di misura

** Strumentazione*

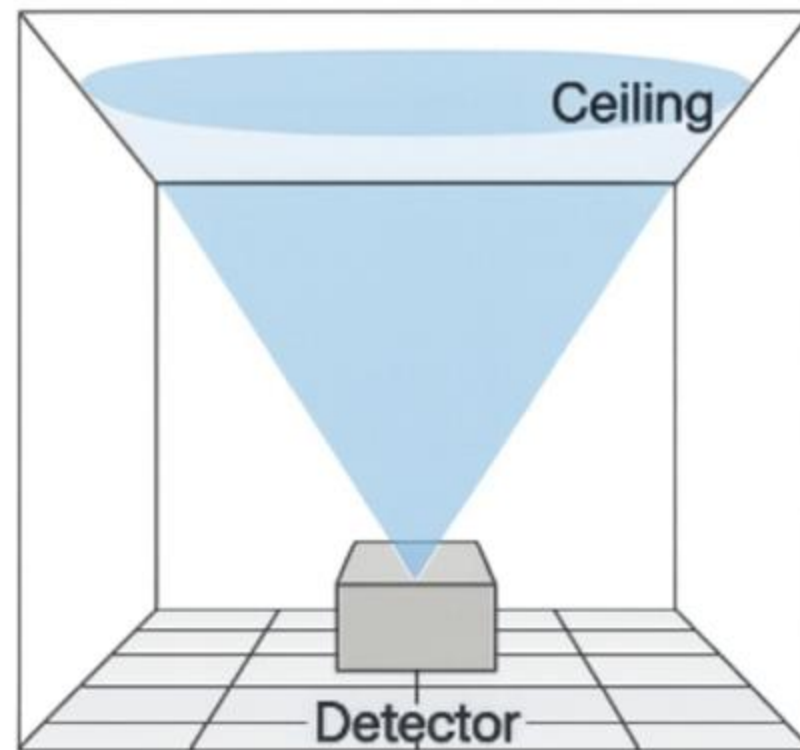
- Cosmic box
- PC per acquisizione e salvataggio dati
- GPS per timestamp e posizione
- Supporto stabile per posizionamento CB
- Sensori ambientali (temperatura, pressione, umidità...)
- Strumenti di rilievo topografico

** Calibrazione*

- Posizionare la CB all'esterno, acquisire dati per un paio d'ore.
- Registrare i parametri ambientali.
- Posizionare la CB al piano terra soprastante del Liceo e ripetere le misure di calibrazione.

Protocollo di misura

* *Misure interne*



- Posizionare la CB in punti strategici del bunker (es. centro, lati, sotto volte, presso pareti spesse).
- Una singola misura fornisce solo lo spessore equivalente medio di tutto il materiale che si trova all'interno di quel cono di accettazione.
- Creando una griglia sul pavimento si sposta il rivelatore in diverse posizioni, mantenendolo ad una altezza costante, in modo che il cono di accettazione "veda", ad esempio, il soffitto da angolazioni e posizioni diverse.
- Per ogni posizione i -esima registrare: numero di muoni N_i , tempo di misura t_i , condizioni ambientali (pressione, temperatura, umidità).
- Ogni misura deve durare almeno 30 min per garantire statistiche significative.

Protocollo di misura



Analisi dati



Calcolo della rate relativa $R_i = \text{rate interna} / \text{rate esterna}$

Calcolo dell'attenuazione percentuale

Stima dello spessore equivalente

Creazione mappa 2D del flusso relativo R_i e/o dello spessore equivalente

Correlazione con i rilievi archeologici

ANALISI DATI

Ottenere i valori di R_i

$$R_i = \frac{N_i/t_i}{N_{ext}/t_{ext}}$$

Stima dello spessore equivalente (d_{eq})

Quando non si conosce il materiale esatto si assume un materiale di riferimento, solitamente calcestruzzo $\rho = 2.3 \text{ g/cm}^3$, $\lambda = 1600 \text{ g/cm}^2$:

$$R_i = e^{-x/\lambda}$$

$$x_{eq} = -\lambda_{rif}(\ln R_i)$$

$$d_{eq} = \frac{x_{eq}}{\rho_{rif}}$$

R_i = frazione di muoni che riesce ad attraversare il materiale (tra 0 e 1).

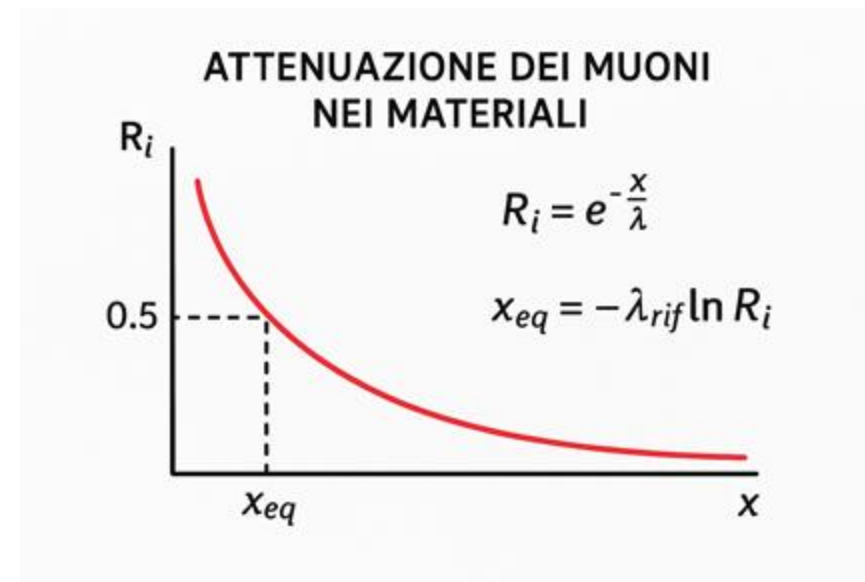
d_{eq} = spessore equivalente

λ = lunghezza di attenuazione o profondità caratteristica del materiale, cioè lo spessore in cui il numero di muoni si riduce di $1/e \approx 0.37$

Confronto e mappa del flusso (o spessore eq)

Ripetere le misure in più punti per creare una mappa 2D del flusso relativo o dello spessore equivalente
Visualizzare i dati come heatmap

- Zone con flusso più basso → più materiale o densità maggiore
- Zone con flusso più alto → cavità, condotti o pareti più sottili



IMPORTANTE

 *Nota metodologica*



In questo studio si assume uno spettro medio di muoni cosmici e un unico valore efficace di lunghezza di attenuazione (λ) per ciascun materiale di riferimento.

Non si considera esplicitamente la dipendenza dall'energia dei muoni: lo spettro energetico reale dei muoni (da centinaia di MeV a centinaia di GeV) viene riassunto nel parametro medio λ .

Questa approssimazione è adeguata per stime comparative e didattiche (mappatura relativa, identificazione di anomalie), ma limita la precisione delle stime assolute di spessore quando sono richieste valutazioni quantitative dettagliate.



CORRELAZIONE CON I RILIEVI ARCHEOLOGICI



Confrontare le mappe muoniche con il rilievo strutturale del bunker



Verificare corrispondenze tra variazioni di R_i e spessori o materiali diversi.



Identificare eventuali anomalie strutturali (vuoti, riempimenti, zone ricostruite).



RISULTATI ATTESI



Valorizzazione e futura musealizzazione del bunker come spazio di memoria storica e sperimentazione scientifica, accessibile alla comunità scolastica e cittadina

*Riduzione del flusso nei punti interni
proporzionale allo spessore*

Mappe di flusso coerenti con la morfologia del bunker

Collaborazioni

*Team EEE: gestione CB e analisi dati
Team archeologico: rilievi e documentazione
Team divulgativo: poster e materiali didattici*

Bibliografia

- Groom, Mokhov, Striganov, PDG, Muon stopping power and range tables, Atomic Data and Nuclear Data Tables, Vol. 76, No. 2, July 2001
- Lesparre et al., Geophysical muon imaging: feasibility and limits, Geophys. J. Int., 2010.
- Braucher et al., Determination of muon attenuation lengths, EPSL, 2013.
- Cecchini & Spurio, Atmospheric muons: experimental aspects, Geosci. Instrum. Meth., 2012.
- Nagamine K., Introduction to Muon Radiography, 2016.
- Saracino et al., Imaging of underground cavities with cosmic-ray muons from observations at Mt. Echia (Naples), Scientific Reports volume 7 (2017)
- G. Saracino et al., Applications of muon absorption radiography to the fields of volcanology and civil engineering —Physics of the Earth and Planetary Interiors (2018) / pubblicato su PMC.





LICEO SCIENTIFICO STATALE
ARCANGELO SCACCHI



Grazie per l'attenzione!