



Università degli Studi di Ferrara

Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra

Corso di Laurea in Fisica

# Un percorso multidisciplinare sulla radioattività naturale con il contatore Geiger

Relatore:

Prof. Fabio Mantovani

Correlatore:

Dott. Matteo Albéri



Laureando:

Antonio Simoni

Anno Accademico 2023 – 2024

# Sommario

- Introduzione.
- Il contatore Geiger come strumento multidisciplinare.
- RockyRad: un contatore Geiger per la didattica.
- Un percorso strutturato in 4 esperienze.



# Motivazioni

- La **radioattività è un fenomeno naturale** che fa parte della nostra vita quotidiana. È presente nelle rocce, nell'aria, negli alimenti e persino nel nostro corpo ma spesso viene **percepita con timore** o associata a situazioni pericolose.
- La radioattività terrestre è dovuta principalmente a elementi radioattivi presenti in natura con **tempi di dimezzamento paragonabili all'età della Terra**.
- Il **potassio-40** e i radioisotopi appartenenti alle catene di decadimento dell'**uranio** e del **torio** emettono radiazioni ionizzanti rilevabili con un contatore Geiger.

Elemento	Radioisotopo	Abbondanza Isotopica	Tempo di dimezzamento	Abbondanza tipica
Potassio	$^{40}\text{K}$	0.012%	$1.3 \times 10^9$ anni	0.02 g/g [2%]
Uranio	$^{238}\text{U}$	99.3 %	$4.5 \times 10^9$ anni	3 $\mu\text{g/g}$ [3 ppm]
Torio	$^{232}\text{Th}$	100 %	$14.1 \times 10^9$ anni	10 $\mu\text{g/g}$ [10 ppm]

## Come possiamo spiegare la radioattività in modo chiaro e coinvolgente ai ragazzi?

L'approccio sperimentale è la chiave per superare i preconcetti e sviluppare un pensiero critico. Utilizzando strumenti come il contatore Geiger, gli studenti possono rilevare la radioattività, misurarla e analizzandola in diversi contesti.



# Il contatore Geiger come strumento multidisciplinare

## Scienze della Terra

- Radioattività naturale nelle rocce e nei minerali.
- Relazione tra composizione geochimica delle rocce e radioattività.

## Statistica

- Analisi della distribuzione dei conteggi nel tempo.
- Propagazione delle incertezze.
- Compatibilità tra misure.

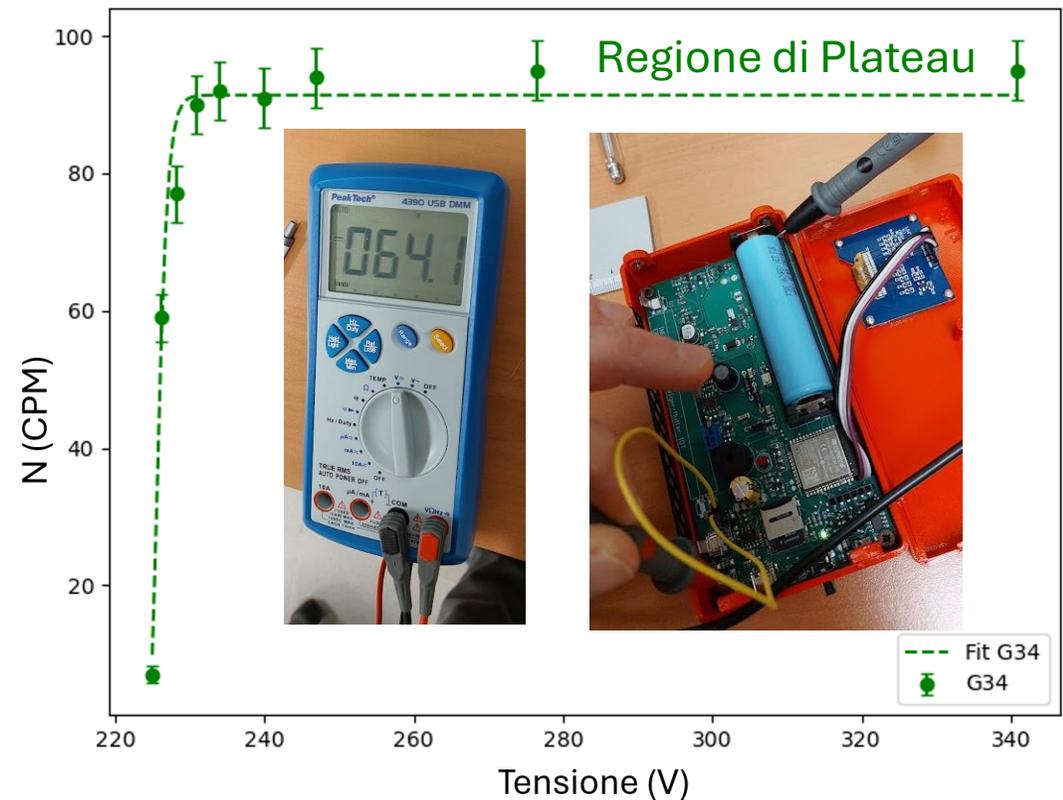
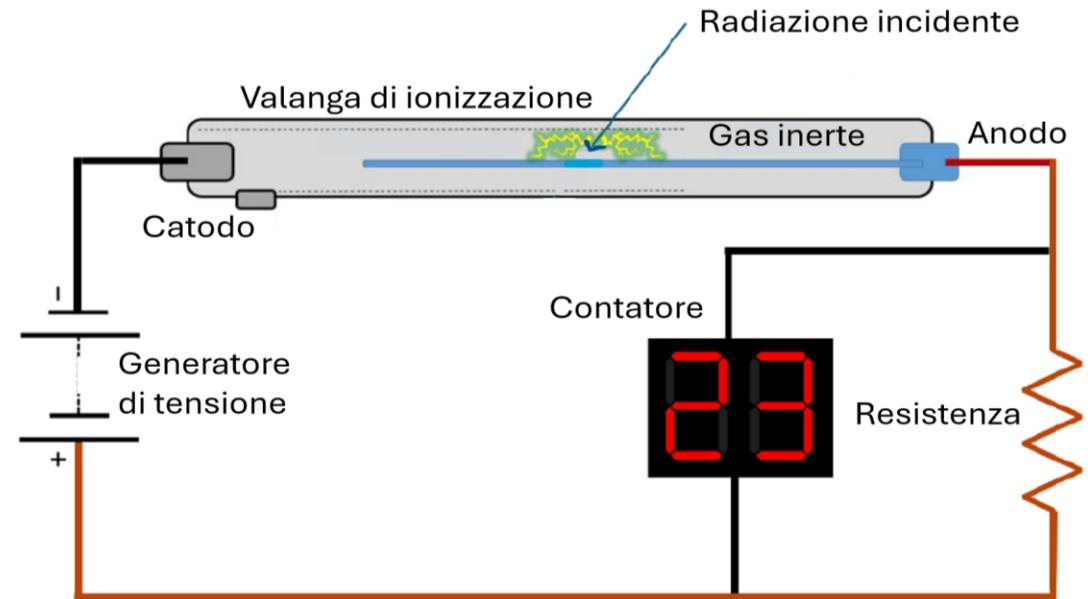
## Fisica

- Decadimenti radioattivi.
- Interazione radiazione e materia.
- Principio di funzionamento del tubo Geiger-Müller.



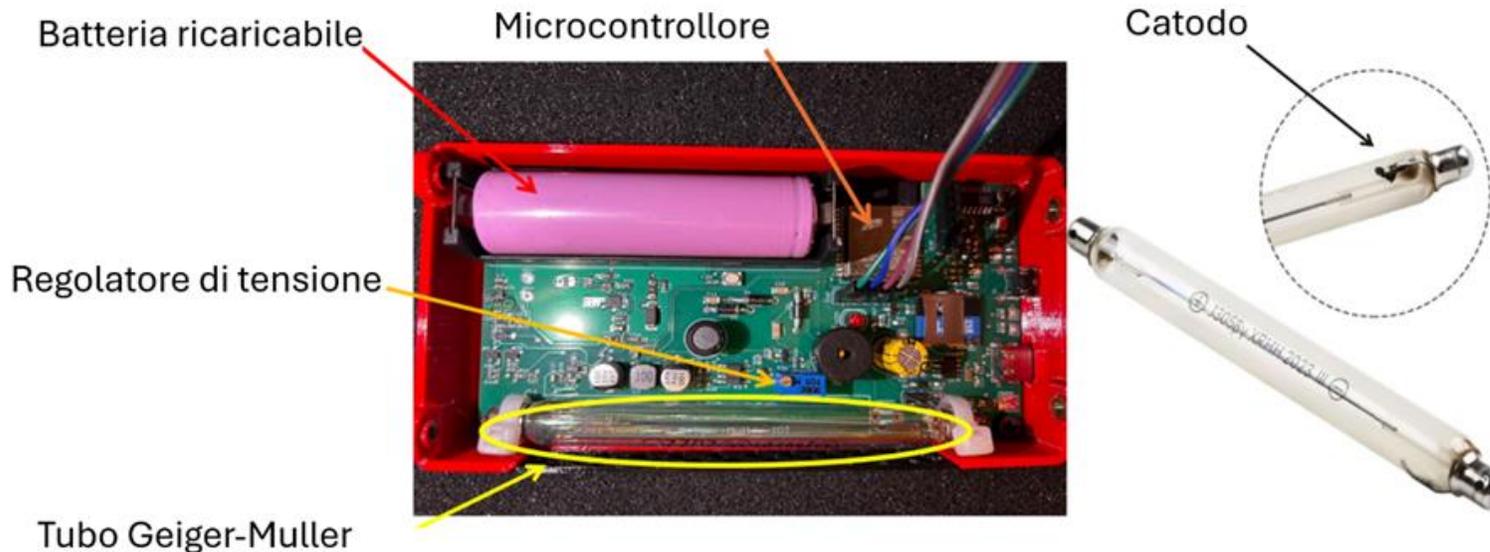
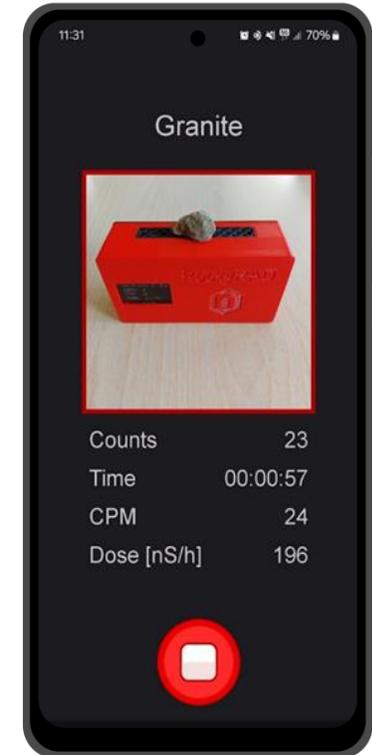
# Principio di funzionamento

- Il rivelatore è costituito da un tubo riempito con gas inerte e un filo sottile centrale (**anodo**), circondato da un **catodo** metallico
- Un'**alta tensione** ( $\sim 350$  V) viene applicata tra anodo e catodo per creare un campo elettrico.
- Quando una **particella ionizzante** attraversa il tubo, ionizza il gas al suo interno, generando coppie **elettrone-ione**.
- Gli elettroni liberi vengono accelerati dal campo elettrico, innescando un **processo di amplificazione a valanga** che produce un **impulso elettrico misurabile**.
- Per garantire una risposta stabile il rivelatore deve operare in una **regione di tensione di Plateau** in cui il numero di impulsi rilevati rimane costante al variare della tensione applicata.
- Ogni **impulso** generato corrisponde a un evento di ionizzazione rilevato.
- Il contatore Geiger **non distingue** il tipo di particella rilevata e la sua energia.



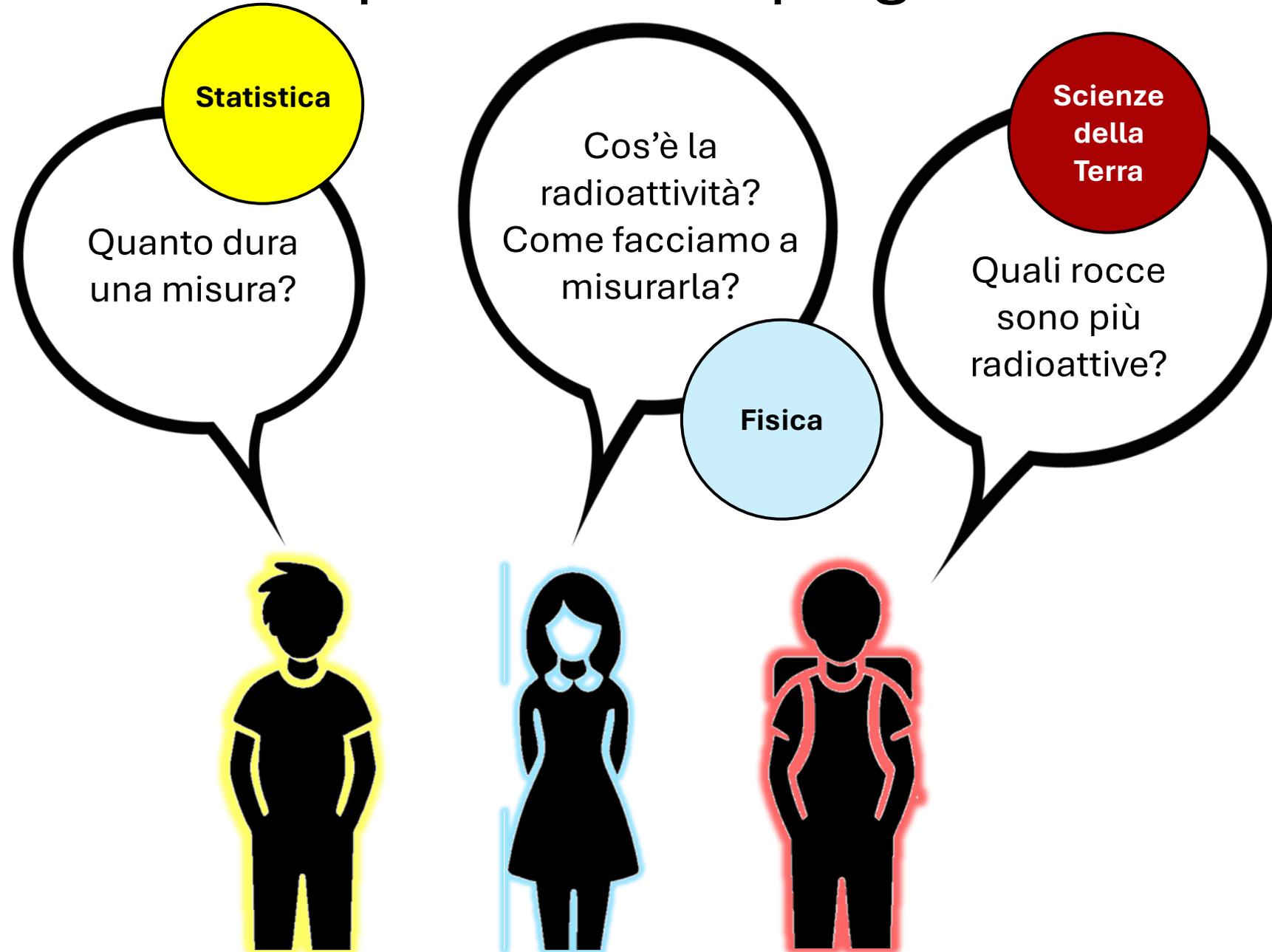
# RockyRad: un contatore geiger per la didattica

- Utilizza un tubo in vetro sensibile alle radiazioni  $\beta$  e  $\gamma$ .
- Mostra sul display il numero di **conteggi per minuto** (CPM) e la dose ambientale in nSv/h.
- Permette il collegamento con dispositivi mobili attraverso **bluetooth**.
- Ha una **app Android** dedicata che consente la visualizzazione in tempo reale su smartphone e l'archiviazione e la **condivisione** dei dati.
- I valori registrati possono essere esportati in formato **CSV**, facilitando l'analisi successiva con software di elaborazione.



# Un percorso didattico esperienziale e progressivo

- Sono state programmate quattro **esperienze didattiche progressive**, ogni laboratorio parte da una **domanda specifica**.
- Il percorso è progettato per costruire gradualmente le competenze degli studenti.
- Le attività sono modulabili in base al livello di istruzione: **dalla scuola secondaria**, dove si introduce la radioattività naturale, fino ai **laboratori universitari**, in cui si approfondiscono l'analisi dei dati e la statistica dei conteggi.



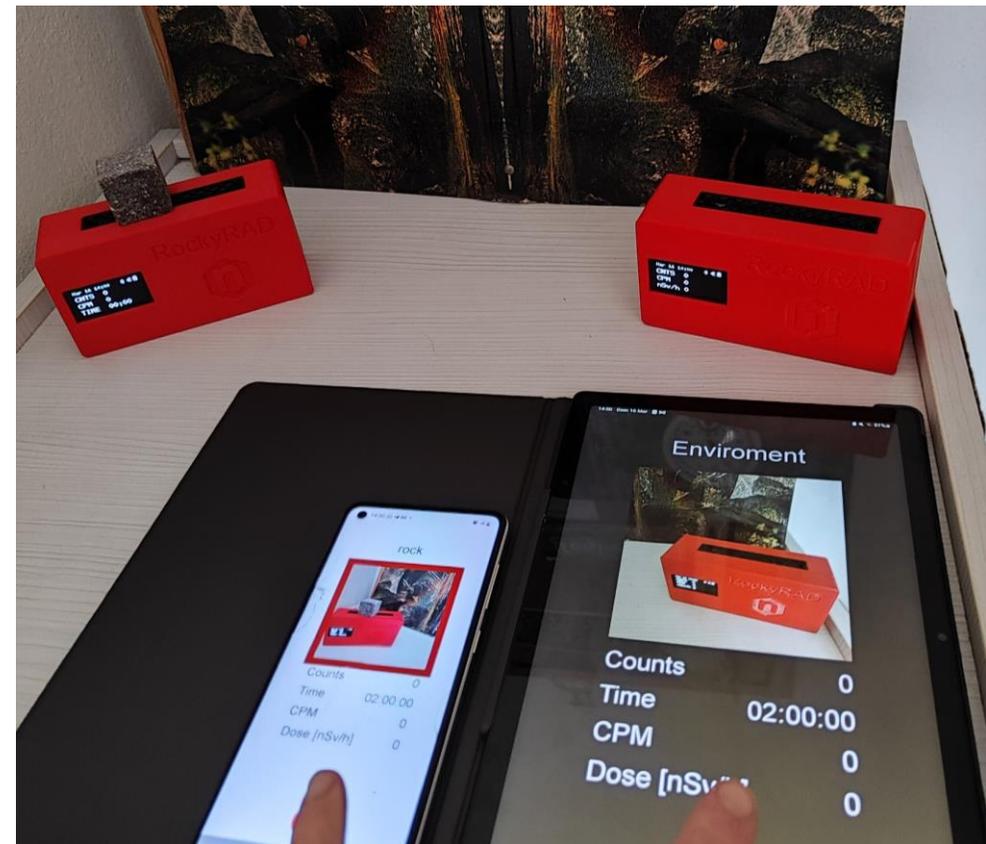
# Misuriamo la radioattività col contatore Geiger



# Quanto dura una misura?

## Strumenti e metodi:

- Acquisizione **simultanea** del **fondo** e di un **campione di roccia** per intervalli di tempo crescente: 10, 30, 60, 120 minuti.
- Studio della **distribuzione del rate di conteggi**, attraverso la costruzione di istogrammi.
- Analisi dell'andamento **dell'incertezza relativa in funzione del tempo** di acquisizione.
- **Calcolo dei conteggi netti** per isolare il segnale della roccia rispetto al fondo ambientale.

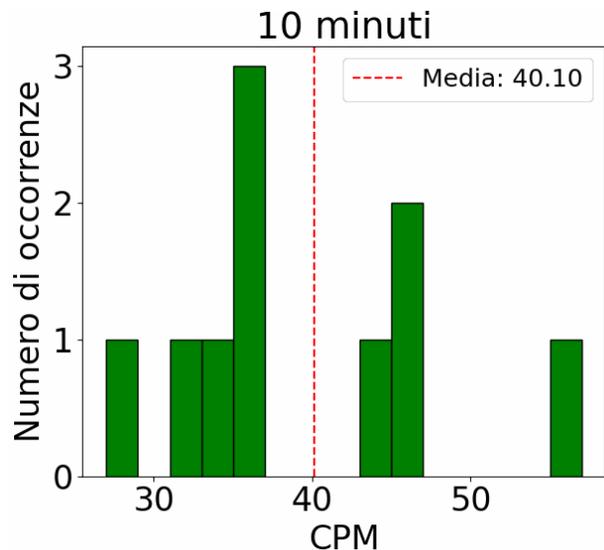


# Risultati e conclusioni

La distribuzione di Poisson tende a una distribuzione normale

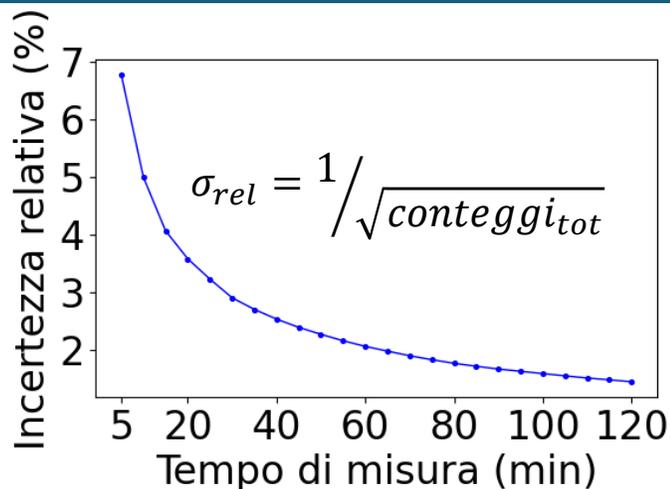


$$\sigma_G = \sqrt{N}$$



T [min]	N (CPM)	Mediana (CPM)	Dev. St.	$\sigma$ Poisson
10	40.1	37.0	8.2	6.3
30	39.5	39.0	7.5	6.3
60	39.1	39.0	6.8	6.3
120	39.5	39.0	6.3	6.3

L'incertezza diminuisce progressivamente con l'aumentare del tempo di acquisizione



	Misura	T [min]	N (CPM)	$\sigma$
	Misura di fondo	120	28.0	0.5
	Roccia	120	39.5	0.5

Calcolo dei conteggi netti

Propagazione dell'incertezza

$$N_{net} = N_g - N_b = 39.5 - 28.0 = 11.5$$

$$\sigma_{net} = \sqrt{\sigma_g^2 + \sigma_b^2} = 0.7$$

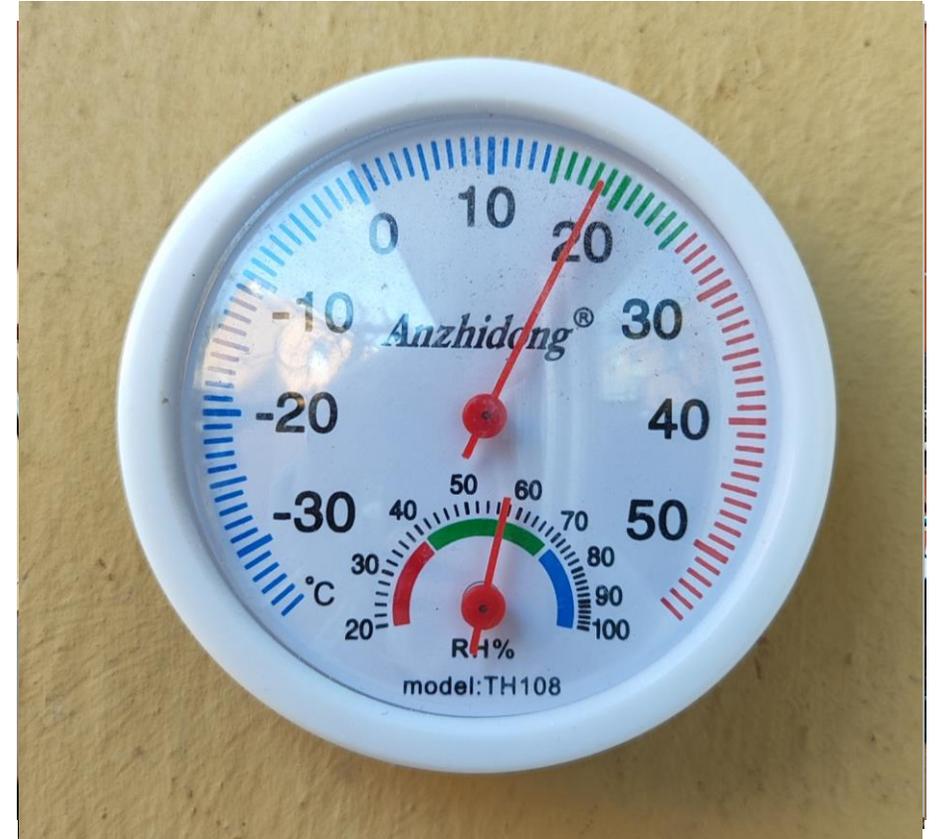
# Misuriamo il fondo ambientale

Jan 08 12:13  
CNTS 134  
CPM 24  
TIME 06:55

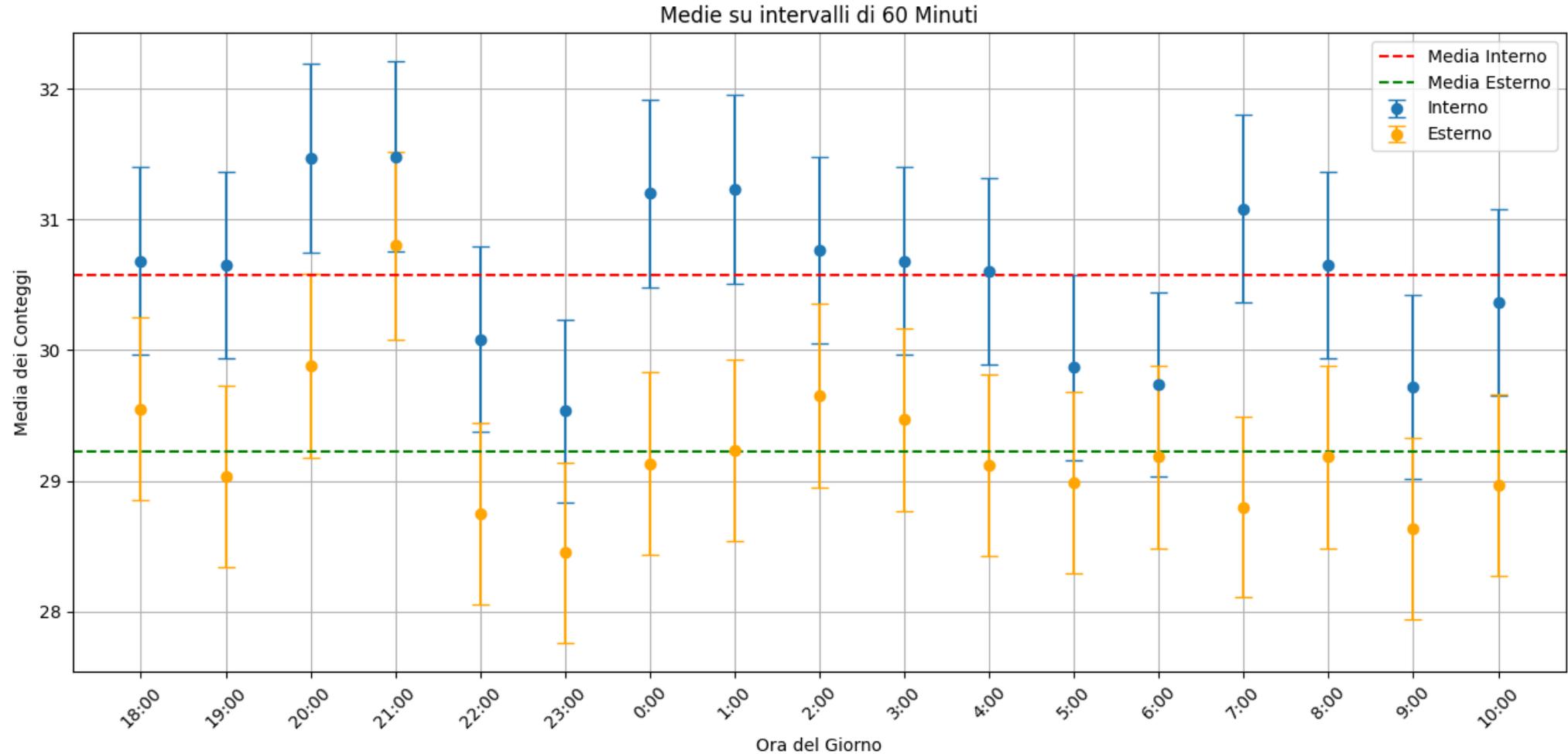
# La radioattività del fondo naturale è sempre la stessa?

## Strumenti e metodi:

- Acquisizione simultanea del fondo in **due ambienti distinti: esterno e interno** per un periodo continuativo di 17 ore.
- Monitoraggio dei **fattori ambientali** (temperatura, umidità, precipitazioni) per stabilire eventuali correlazioni con la misura.
- Distinguere le **fluttuazioni sistematiche e casuali** attraverso l'analisi statistica dei dati raccolti.



# Risultati



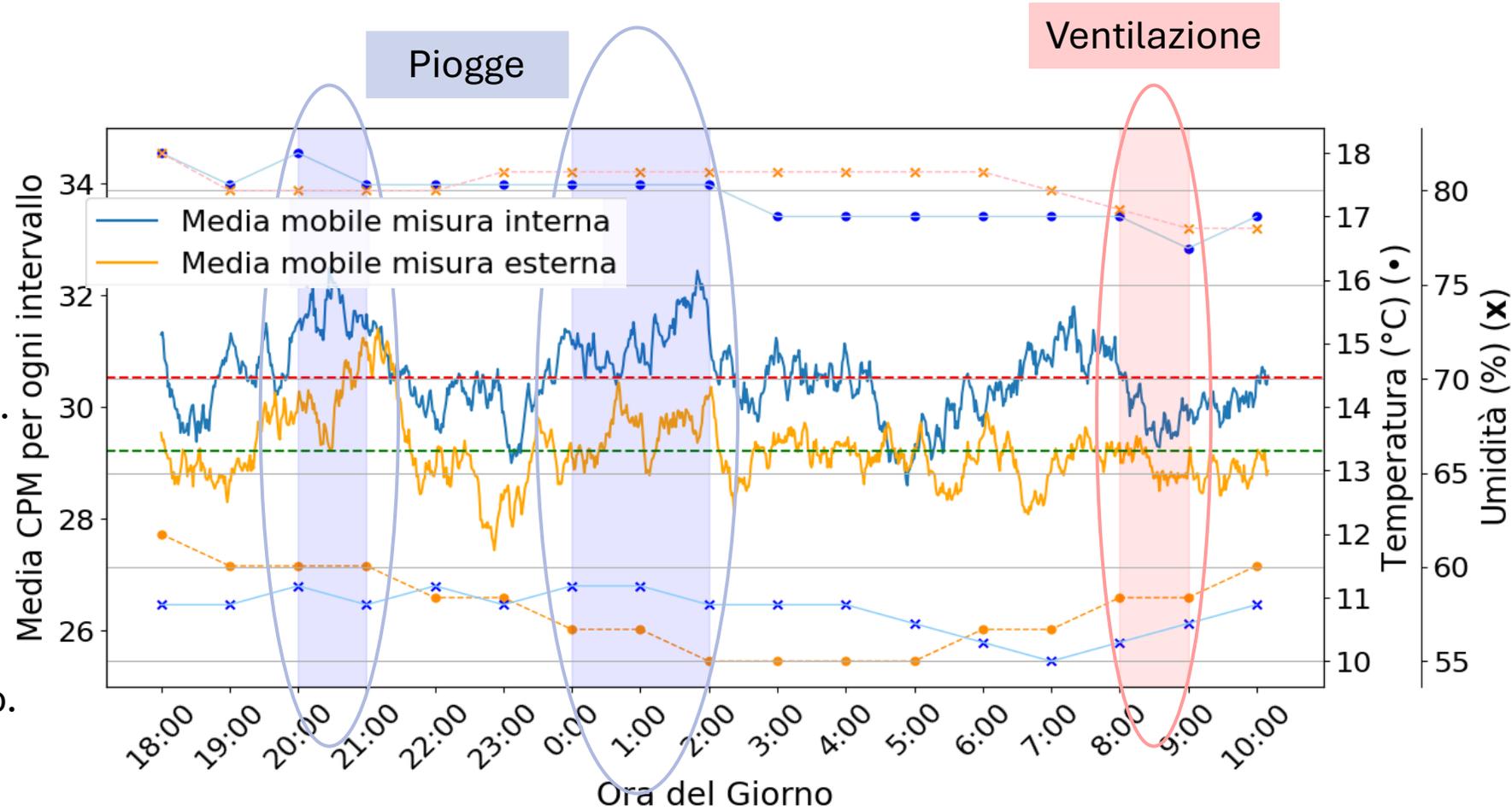
## Differenza sistemica tra interno ed esterno

- I conteggi medi risultano **più alti negli ambienti chiusi** rispetto all'esterno.
- Possibili cause: emissioni dei materiali edili, **irraggiamento omnidirezionale** e accumulo di prodotti di decadimento del radon.

# Conclusioni

## Possibile influenza dei fattori ambientali

- **Precipitazioni:** il washout atmosferico può far aumentare la radioattività esterna depositando prodotti di decadimento del radon.
- **Ventilazione:** la presenza o l'assenza di ricambio d'aria può modificare la concentrazione di radionuclidi in un ambiente chiuso.



- É possibile osservare una possibile influenza nella variazione dei conteggi dovuta a effetti ambientali
- L'analisi dei dati rappresenta un'importante occasione didattica per stimolare il ragionamento critico e la discussione scientifica.

# Alla scoperta della radioattività delle rocce e dei minerali



# Quali rocce o minerali sono più radioattivi?

## Strumenti e metodi:



- Misurazione dei conteggi medi di **5 campioni di roccia e 3 minerali** con acquisizioni da 90 minuti.
- Confronto con la misura di **fondo ambientale**.
- Individuare **correlazioni tra radioattività** dei campioni e la **tipologia di roccia o minerale**.

Campione	Tipo di roccia
Granito	Roccia magmatica intrusiva. Solidifica lentamente all'interno della crosta terrestre
Porfido	Rocce magmatiche effusive. Si formano dal raffreddamento rapido del magma in prossimità della superficie
Riolite	
Trachite	
Tefrite	
Ametista	Minerali cristallini
Calcedonia	
Pirite	

Porfido



Riolite



Granito



Trachite



Tefrite



Ametista



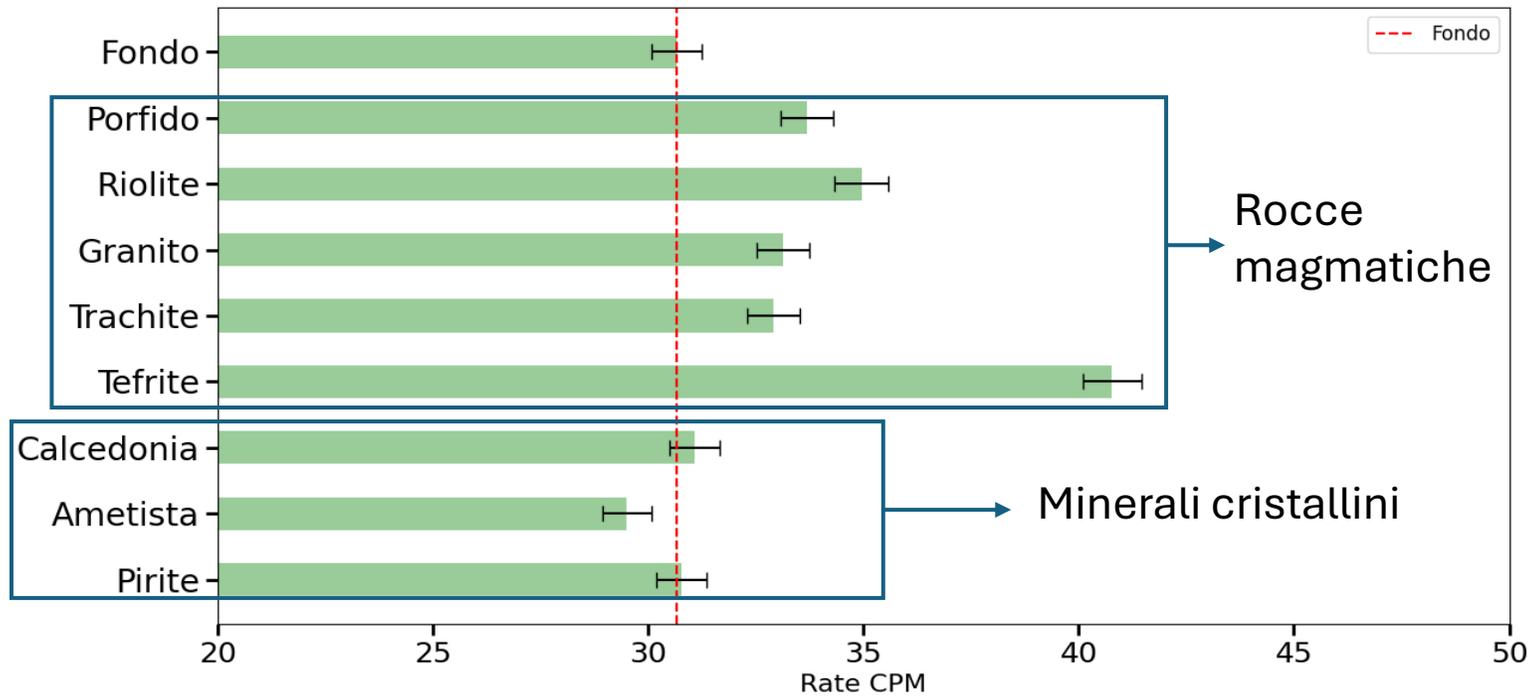
Calcedonia



Pirite



# Risultati e Conclusioni



Campione	N(CPM) ± σ
Granito	33.2 ± 0.6
Porfido	33.7 ± 0.6
Riolite	35.1 ± 0.6
Trachite	32.8 ± 0.6
Tefrite	40.8 ± 0.7
Ametista	29.5 ± 0.6
Calcedonia	31.1 ± 0.6
Pirite	30.7 ± 0.6
Fondo	30.6 ± 0.6

- Le **rocce magmatiche** hanno conteggi maggiori perché contengono minerali che ospitano U, Th, e K in concentrazioni tipicamente più alte rispetto alle altre rocce.
- La **tefrite** ha mostrato il valore più alto di conteggi. Questo è dovuto alla presenza di **minerali chiamati feldspati alcalini e feldspatoidi**, che contengono concentrazioni più alte di K.
- **Ametista, calcedonia e pirite** presentano livelli di conteggi bassi, perché sono minerali non contengono quantità significative di elementi radioattivi. Ametista e calcedonia sono varietà di quarzo ( $\text{SiO}_2$ ) mentre la pirite è costituita da Solfuro di ferro ( $\text{FeS}_2$ ).
- Questo esperimento dimostra che la **radioattività non dipende dall'aspetto visivo** di una roccia o un minerale ma dalla sua composizione.

A photograph of a mineral specimen, likely a rock or mineral fragment, exhibiting fluorescence. The specimen is dark purple and has several bright yellow-green spots scattered across its surface, indicating the presence of fluorescent minerals. The background is a solid, dark purple color.

# Minerali fluorescenti e radiazioni invisibili

# La radioattività di una roccia è uniforme?



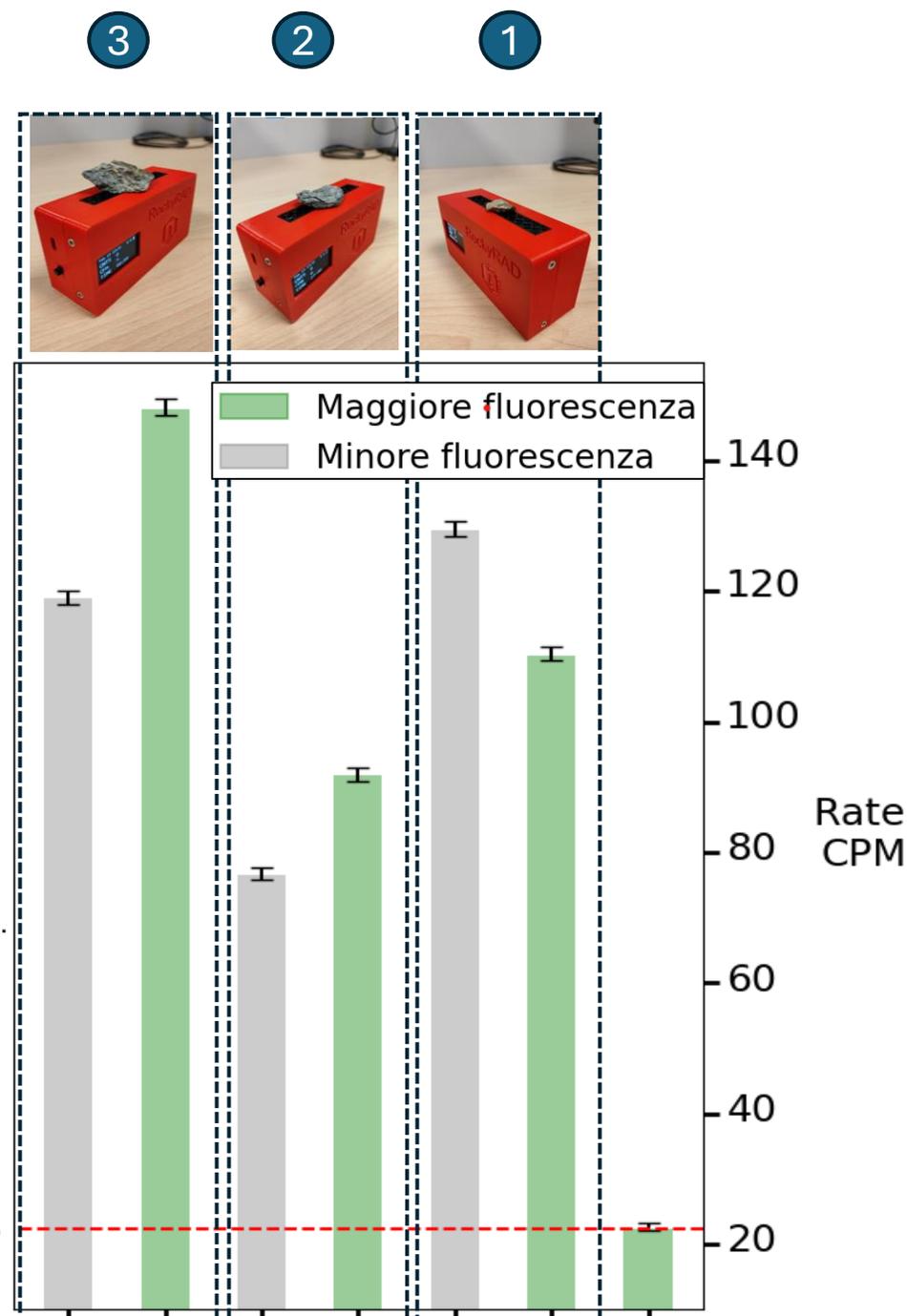
## Strumenti e metodi

- Tre campioni di **ignimbrite riolitica** caratterizzati dalla presenza di **mineralizzazioni uranifere**.
- **Lampada UV** (365 nm) per identificare le aree con ossidi di uranio fluorescenti.
- 2 misurazioni per roccia con **orientazione differente**: lato con minore fluorescenza e lato con maggiore fluorescenza.
- Durata di ogni misura: **15 minuti**.

# Risultati e Conclusioni

Campione	Maggiore fluorescenza	Minore fluorescenza
	N (CPM) $\pm \sigma$	N (CPM) $\pm \sigma$
1	110.4 $\pm$ 1.1	129.4 $\pm$ 1.5
2	91.9 $\pm$ 1.0	76.7 $\pm$ 0.9
3	148.1 $\pm$ 1.3	119.0 $\pm$ 1.1

- I conteggi cambiano a seconda dell'**orientamento** della roccia.
- Le misure con il Geiger confermano che in generale le zone interessate da una **maggiore fluorescenza** hanno **conteggi maggiori** (ad eccezione del campione 1).
- L'esperimento dimostra come un'**osservazione qualitativa** (fluorescenza) debba essere verificata attraverso **misure quantitative** (CPM).



# Conclusioni e prospettive

- Sono stati progettati **quattro laboratori propedeutici** per introdurre progressivamente la misura della radioattività con il contatore Geiger.
- Gli esperimenti hanno permesso di analizzare la radioattività in **diversi contesti**, confrontando il fondo ambientale con rocce e minerali e valutando l'incertezza delle misure.
- Ogni laboratorio ha affrontato un **aspetto specifico** della misura della radioattività.
- L'approccio sperimentale ha permesso di sviluppare il **pensiero critico** e di comprendere la radioattività attraverso misure sperimentali.
- È stata promossa una maggiore **consapevolezza** sulla radioattività

## Prospettive future

- Possibilità di **ampliare il percorso didattico** includendo altri rivelatori di radioattività come scintillatori o rivelatori passivi
- Rafforzare **l'integrazione tra discipline scientifiche** tra cui la biologia per introdurre concetti di dosimetria



”

Grazie per l'attenzione

