

Misure di radioattività in materiali di uso comune mediante la scheda Arduino

Introduzione.

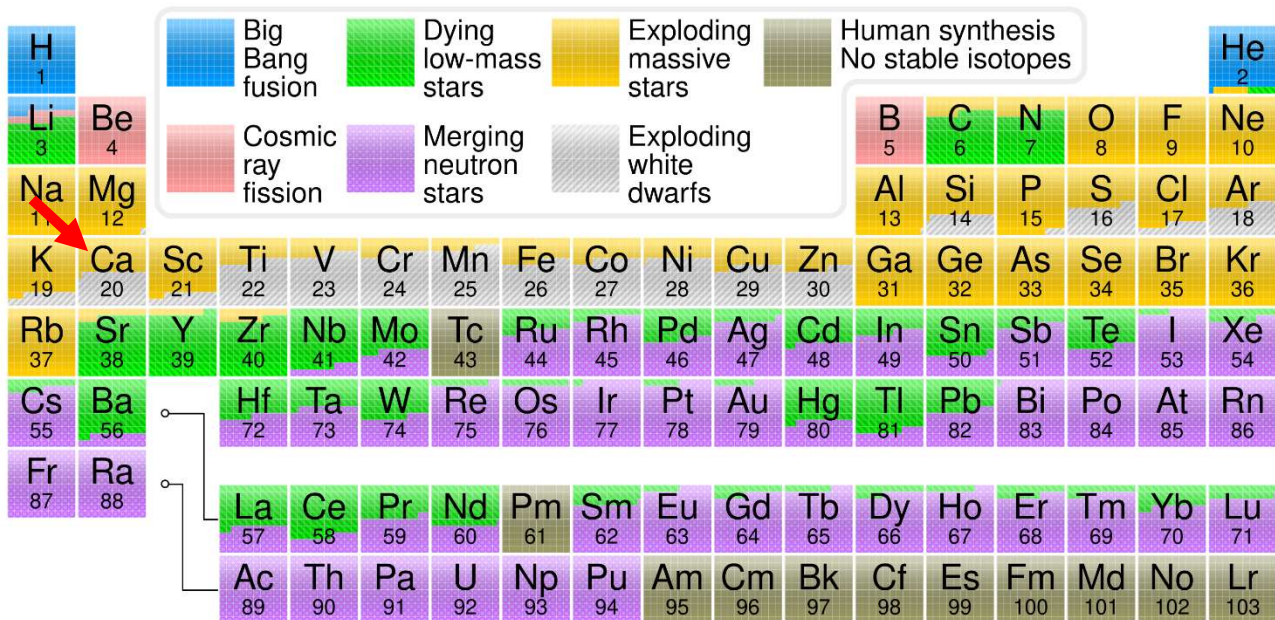
La radioattività è da sempre associata a qualcosa di negativo. Ci fa pensare all'incidente di Chernobyl, ai bombardamenti su Hiroshima e Nagasaki, agli avvelenamenti da polonio dei dissidenti russi. Nella migliore delle ipotesi essa viene associata agli esami diagnostici e alle terapie oncologiche negli ospedali. Quello che pochi sanno è che elementi radioattivi, a partire dall'Uranio e dal Torio, sono presenti nella crosta terrestre, dai tempi della sua formazione, 4.5 miliardi di anni fa. Vi sono circa 3 grammi di Uranio in una tonnellata di crosta terrestre, quattro volte superiore è invece la concentrazione del Torio. Altri elementi radioattivi, meno conosciuti, possono essere trovati in oggetti di uso comune, come materiali da costruzione, ceramiche, vetri, o addirittura i cibi. Anche noi stessi conteniamo isotopi radioattivi: in una persona di 80 kg, si possono misurare 3700 decadimenti radioattivi al secondo. Come se cioè non bastasse, siamo continuamente bombardati da radiazione proveniente dagli strati più alti dell'atmosfera (muoni, pioni, elettroni ad alta energia, ma anche neutroni e altre particelle pesanti). Questa radiazione è prodotta dai raggi cosmici, cioè protoni ad altissima energia provenienti dal Sole e dalle altre stelle.

Father	Symbol	Decay Mode	Daughter	Half-life (y)	Isotope Fraction	Universe Fraction
Hydrogen3	${}^3_1\text{H}_2$	BetaDecay	Helium3	12.32	0.	0.
Carbon14	${}^{14}_6\text{C}_8$	BetaDecay	Nitrogen14	5.7×10^3	0.	0.
Potassium40	${}^{40}_{19}\text{K}_{21}$	BetaDecay	Calcium40	1.248×10^9	0.00011700	3.5×10^{-10}
Rubidium87	${}^{87}_{37}\text{Rb}_{50}$	BetaDecay	Strontium87	4.81×10^{10}	0.2783	2.78×10^{-9}
Strontium90	${}^{90}_{38}\text{Sr}_{52}$	BetaDecay	Yttrium90	28.90	0.	0.
Indium115	${}^{115}_{49}\text{In}_{66}$	BetaDecay	Tin115	4.41×10^{14}	0.9571	2.9×10^{-10}
Tellurium130	${}^{130}_{52}\text{Te}_{78}$	DoubleBetaDecay	Xenon130	$5. \times 10^{23}$	0.3408	3.1×10^{-9}
Iodine131	${}^{131}_{53}\text{I}_{78}$	BetaDecay	Xenon131	0.021987	0.	0.
Cesium137	${}^{137}_{55}\text{Cs}_{82}$	BetaDecay	Barium137	30.08	0.	0.
Lanthanum138	${}^{138}_{57}\text{La}_{81}$	BetaPlusDecay	Barium138	1.02×10^{11}	0.0009000	1.8×10^{-12}
Neodymium144	${}^{144}_{60}\text{Nd}_{84}$	AlphaEmission	Cerium140	2.29×10^{15}	0.238	2.38×10^{-9}
Samarium147	${}^{147}_{62}\text{Sm}_{85}$	AlphaEmission	Neodymium143	1.06×10^{11}	0.1499	7.5×10^{-10}
Lutetium176	${}^{176}_{71}\text{Lu}_{105}$	BetaDecay	Hafnium176	3.76×10^{10}	0.0259	2.59×10^{-12}
Rhenium187	${}^{187}_{75}\text{Re}_{112}$	BetaDecay	Osmium187	4.1×10^{10}	0.6260	1.3×10^{-10}
Osmium186	${}^{186}_{76}\text{Os}_{110}$	AlphaEmission	Tungsten182	2.0×10^{15}	0.0159	4.8×10^{-11}
Radon222	${}^{222}_{86}\text{Rn}_{136}$	AlphaEmission	Polonium218	0.0104753	0.	0.
Radium226	${}^{226}_{88}\text{Ra}_{138}$	AlphaEmission	Radon222	1.6×10^3	0.	0.
Thorium232	${}^{232}_{90}\text{Th}_{142}$	AlphaEmission	Radium228	1.40×10^{10}	1.	$4. \times 10^{-10}$
Uranium235	${}^{235}_{92}\text{U}_{143}$	AlphaEmission	Thorium231	7.04×10^8	0.0072040	1.4×10^{-12}
Uranium238	${}^{238}_{92}\text{U}_{146}$	AlphaEmission	Thorium234	4.47×10^9	0.992742	2.0×10^{-10}

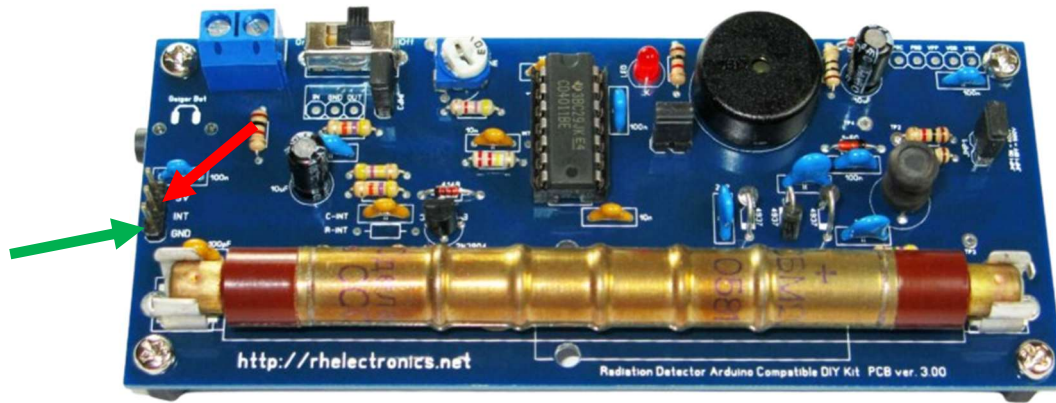
In natura esistono oltre 40 tipi di decadimento radioattivo, i principali sono il decadimento β nei quali viene prodotto un leptone carico (elettrone o positrone) e un neutrino e il decadimento α , nel quale viene prodotto un nucleo di elio (o particella α).

La preparazione.

Lo scopo di questo esperimento è quello di misurare la radioattività contenuta in un campione di polvere di gesso. Il comune gesso utilizzato in edilizia è principalmente composto da solfato di calcio bi-idrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Il calcio è un elemento molto comune nella crosta terrestre (al 3.47%) e, al pari di tutti gli elementi, è prodotto dalle Stelle, attraverso la fusione o nelle fasi esplosive successive a questi processi.

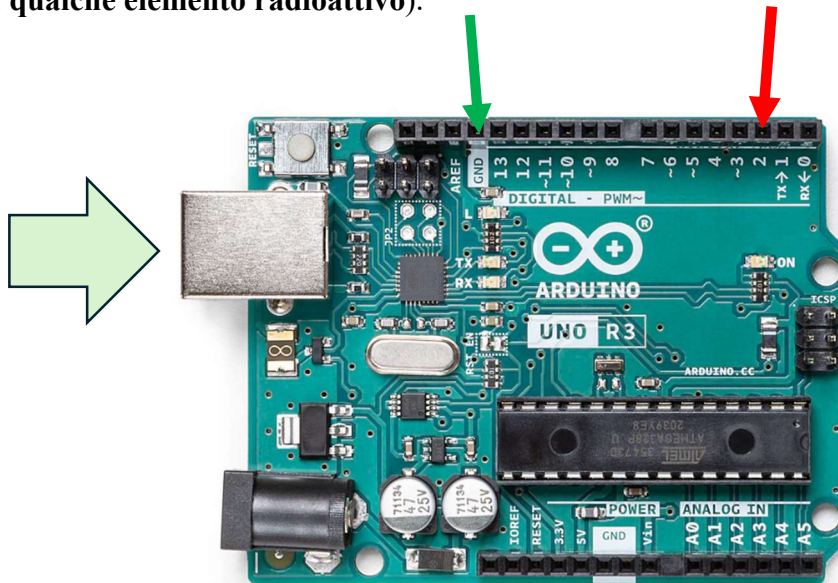


In particolare, a seguito di un'esplosione stellare di una stella massiva o di una nana bianca si può creare il $^{40}_{20}\text{Ca}_{20}$, contenuto nel comune gesso del muratore. Oltre alla nucleosintesi, il $^{40}_{20}\text{Ca}_{20}$ può essere prodotto in modo radiogenico, cioè dal decadimento radioattivo del $^{40}_{21}\text{K}_{19}$. Oltre al potassio, la comune polvere di gesso può contenere altri isotopi radioattivi a lunghissima vita media, provenienti dalla fissione dell'Uranio, come il Lantanio, il Neodimio, l'Indio, etc. Tutto questo fa sì che una parte cospicua della radiazione che subiamo ogni giorno proviene proprio dalla parete di fronte a noi! Un elemento radioattivo emette sempre particelle cariche (elettroni o nuclei di elio), ma può emettere anche radiazione elettromagnetica (così detta radiazione γ). Questa ha una grande capacità di penetrare i materiali, ionizzando l'aria e gli altri elementi che attraversa, producendo elettroni. Il tubo Geiger (in primo piano nella figura sottostante) è un cilindro metallico o di vetro rivestito di metallo, che funziona da catodo. Al centro, c'è un filo sottile che agisce da anodo. Il tubo è riempito con un gas inerte (come argon o neon) a bassa pressione. Quando un fotone γ entra nel tubo, interagisce con il gas, ionizzando gli atomi presenti, liberando cioè elettroni. Questi elettroni sono attratti verso l'anodo, creando una scarica elettrica che viene registrata come un impulso.

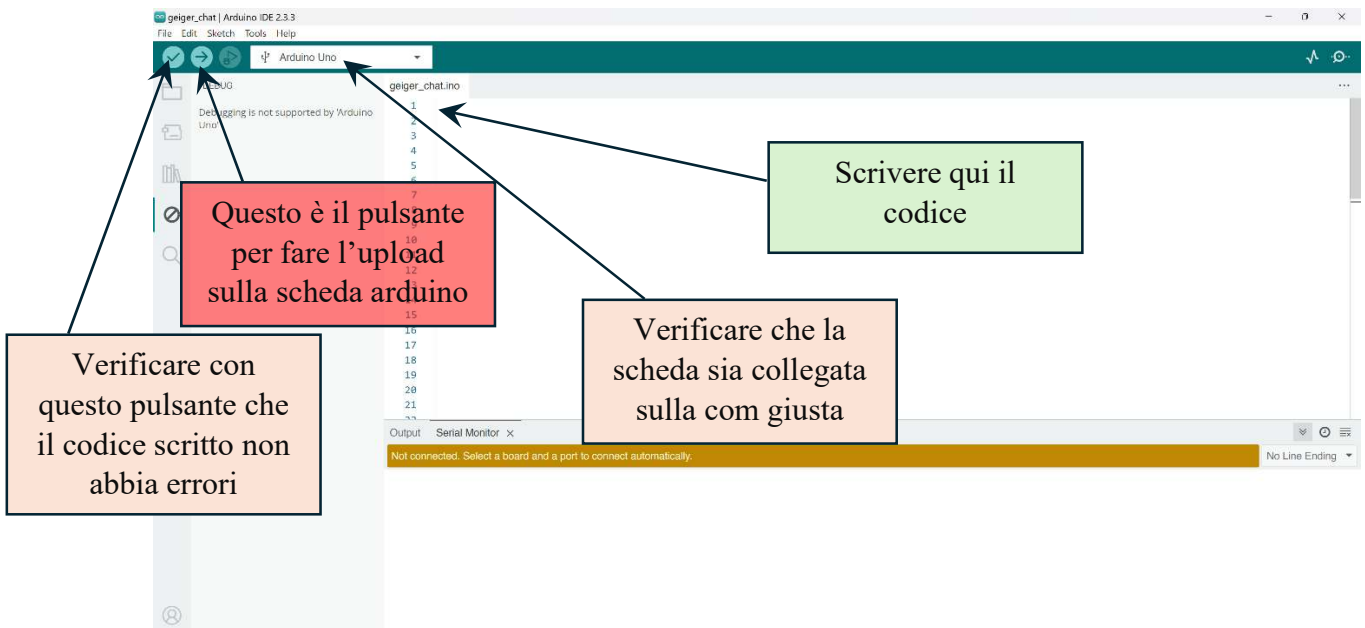


Ovviamente non tutta la radiazione emessa dalla sorgente arriverà sul tubo Geiger e non tutta la radiazione che entrerà nel tubo sarà in grado di produrre effetti ionizzanti (in realtà la probabilità di produrre un cosiddetto elettrone fotoelettrico o Compton è assai bassa). Nel nostro caso possiamo stimare questa efficienza di misura dello strumento pari a $\varepsilon = 0.1\%$, questo significa che **1 conteggio misurato dal geiger corrisponde a 1000 decadimenti nella sorgente.**

L'apparato sperimentale che utilizziamo è composto da una scheda elettronica contenente il tubo geiger, un arduino uno, le batterie per alimentare il tubo (cioè per creare l'alta tensione tra anodo e catodo) e il porta-sorgente che regge il campione contenente **100 gr di polvere di gesso** (e stimiamo **1 parte su 10^9 di isotopi radioattivi, cioè per ogni 10^9 atomi di calcio, ne possiamo stimare uno di un qualche elemento radioattivo).**



1. Dopo aver collegato i cavetti verdi al ground e al segnale, come indicato in figura, attaccare il cavo usb tra arduino e il laptop.
2. Aprire il software Arduino IDE, programmare la scheda per farle acquisire i dati. Il software va scritto nella finestra bianca che appare sotto i pulsanti.

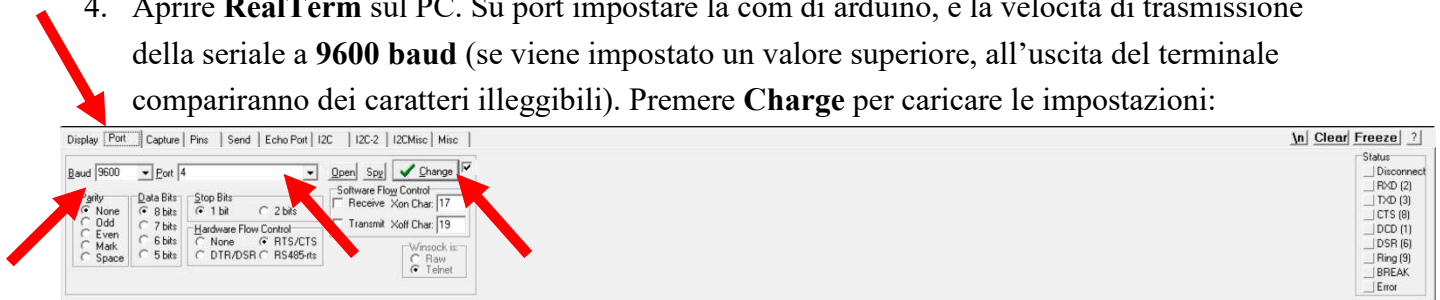


A questo punto avete 3 possibilità:

- **Provare a scrivere il software da soli, il che vi da diritto ad un bonus di 50 crediti.**
- **Ricorrere a google per trovare in rete l'esempio corretto, che vi costa 10 crediti nel computo di quelli finali.**
- **Usare chat gpt, chiedendogli *“Devo realizzare uno sketch per un geiger collegato con arduino, mi puoi aiutare?”***

Se seguite il secondo o il terzo punto, potete fare copia e incolla direttamente nel programma, come indicato in figura. Altrimenti...buon lavoro!

3. Se la procedura è stata effettuata correttamente, si è pronti per fare la misura.
4. Aprire **RealTerm** sul PC. Su port impostare la com di arduino, e la velocità di trasmissione della seriale a **9600 baud** (se viene impostato un valore superiore, all'uscita del terminale compariranno dei caratteri illeggibili). Premere **Charge** per caricare le impostazioni:



5. Andare quindi nell'opzione **Capture** e selezionare il **percorso del file di output**. **Start append** inizia la scrittura su file.



6. Quando il riquadro in basso a destra è colorato di rosso, l'acquisizione è partita. Verificare in ogni caso (aprendolo con il notepad) che il file capture.txt sia scritto correttamente e nella giusta posizione.

L'esperimento.

Quello che si deve misurare sono i numeri di decadimenti della miscela di elementi radioattivi contenuti nel nostro campione di gesso, nel tempo indicato dalla variabile `updateInterval` (o come si chiama nel vostro sketch), e indicata in ms (1000=1 s.). Questa osservabile fisica si chiama **attività** e di solito è misurata in Bq (Bequerel= 1 dec/s). Essa è direttamente proporzionale al numero di atomi radioattivi nel campione (N_0) e alla *costante di decadimento* λ . La costante di decadimento λ è la probabilità che un nucleo radioattivo decada in un sec. Sono altresì definibili le seguenti grandezze:

- **Attività:** $a = N_0 \cdot \lambda \rightarrow$ Numero di decadimenti radioattivi al secondo
- **Tempo medio:** $\tau = \frac{1}{\lambda} \rightarrow$ Tempo medio di un decadimento radioattivo
- **Vita media:** $T_{1/2} = \frac{\text{Log}[2]}{\lambda} \rightarrow$ Tempo necessario a ridurre della metà gli elementi radioattivi contenuti nel nostro campione

Lo scopo del nostro esperimento sarà proprio quello di determinare la vita media risultante della miscela di elementi radioattivi contenuti nel nostro campione.

L'analisi dati.

Arrivati a questo punto, occorre analizzare i dati salvati nel file `.txt`. La vostra misura sarà stata tanto più esatta, quanti più valori sono stati determinati. Questo perchè tutte le misure di fisica nucleare sono afflitte da un errore, detto *errore statistico*, dovuto alla natura quantistica dei processi pari a $1/\sqrt{N}$, dove N è il numero dei samples raccolti. Per cui si consiglia di misurare per almeno 10 minuti, cioè di prendere almeno 600 valori, dato che il vostro sistema di acquisizione è impostato per fare una misura ogni secondo. Si tenga conto che lo strumento visualizza il numero dei conteggi al minuto, moltiplica cioè per 60 il valore letto ogni secondo. Per analizzare i dati si può usare il **Wolfram Mathematica**. Aprire Mathematica e copiarci dentro il seguente programma:

```
data=Import["C:\\Users\\Ale\\Desktop\\capture.txt", "Table"];
(*importiamo i dati, mettete il percorso dove si trova il vostro file di testo*)
datatab=Table[ToExpression[data[[k,2]]]/60, {k, Length[data]}];
(*selezioniamo i conteggi che ci servono e dividiamoli per 60, dato ci servono
al secondo*)
bin=BinCounts[datatab, {0,10,1}];
(*Facciamo il binning dei dati raccolti*)
pl1=ListPlot[Table[{k, bin[[k]]}, {k, Length[bin]}], InterpolationOrder->0,
Joined->True, PlotStyle->Black, Filling->Bottom, FillingStyle->LightOrange];
(*Grafichiamo il risultato del binning*)
f[A_, P1_, x_] := A*Exp[-P1]*P1^x/x!;
(*La distribuzione degli eventi è poissoniana...simile ad una gaussiana ma
asimmetrica, più larga a sinistra che a destra*)
fit=NonlinearModelFit[bin, f[A, P1, x], {{A, 1000}, {P1, 5}}, x];
(*Faccio il fit dei dati sperimentali*)
par=fit["BestFitParameters"];
(*Stabiliamo i parametri del fit*)
pl2=Plot[fit[x], {x, 0, 30}, PlotStyle->{Red, Thickness[0.01]}]; (*Curva di fit*)
Show[pl1, pl2]
```

Posizionarsi con il cursore qui e pigiare simultaneamente i tasti



Per eseguire il programma

```
act=par[[2,2]]; (*Estraggo l'attività dal fit*)
acteff=act/eff; (*Attività effettiva*)
(*Calcoliamo la vita media dell'isotopo*)
NA=6.02214076*10^23; (*Numero di Avogadro*)
N0=10^(-9)*(100/172.17)*NA; (*Numero di atomi di gesso*)
lmb=acteff/N0; (*Calcoliamo la costante di decadimento*)
eff=0.001; (*Efficienza dello strumento*)
Text[Style[Row[{"La vita media dell'emettitore radioattivo è :
",Round[(Log[2]/lmb)*(65*24*3600)^(-1)]," anni"}],Black,Italic,24]]
```

Spiegazione del programma:

1. Importiamo i dati dal file salvato durante l'acquisizione.
2. Estraiamo dai dati la parte numerica (cioè togliamo le scritte "CPM").
3. Grafichiamo i dati, in forma di istogramma (prima facciamo il binning, per trovare le ricorrenze).
4. La distribuzione degli eventi segue la statistica di Poisson $P[n, \mu] = \frac{e^{-\mu} \cdot \mu^n}{n!}$, dove n è il numero di eventi attesi ($P[n, \mu]$ ci dice quale sia la probabilità di misurare n decadimenti, se il numero medio dei decadimenti è μ), μ è il *numero medio di eventi atteso in 1 sec.*, cioè l'attività, che ci servirà a trovare la vita media. Facciamo quindi un fit dei dati sperimentali per trovare μ . In rosso nel grafico il risultato del fit, sui dati sperimentali.
5. Il valore di μ però è l'attività misurata non quella prodotta nella sorgente. Come si è detto occorre tener conto dell'efficienza del dispositivo di misura. Il valore dell'attività della sorgente sarà quindi $a_{source} = \mu/\varepsilon = 1000 \cdot \mu$.
6. La costante di decadimento λ può essere determinata dall'attività della sorgente, conoscendo il numero di isotopi radioattivi in essa contenuti, e cioè

$$\lambda = \frac{a_{source}}{N_0} = \frac{1000 \cdot \mu}{10^{-9} \cdot \frac{MC \cdot N_A}{PA_{Ca}}}$$

Dove $MC = 100$ è la massa del campione in grammi, N_A è il numero di Avogadro e $PA_{Ca} = 172.17$ è il peso atomico del solfato di calcio bi-idrato (in ogni molecola di $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, ci sarà un atomo di calcio).

7. Una volta determinato il valore di λ , la vita media complessiva dei nostri isotopi radioattivi è semplicemente $T_{1/2} = \frac{\text{Log}[2]}{\lambda}$.
8. Per eseguire il programma occorre posizionarsi sull'ultima riga

Il valore della vita media in anni è il risultato della misura. Tabella dei punteggi assegnati:

Errore	Punteggio
# < 2%	400
2% ≤ # < 3%	390
3% ≤ # < 5%	375
5% ≤ # < 10%	350
10% ≤ # < 20%	310
20% ≤ # < 30%	250
30% ≤ # < 50%	220
50% ≤ # ≤ 100%	175
# > 100%	100