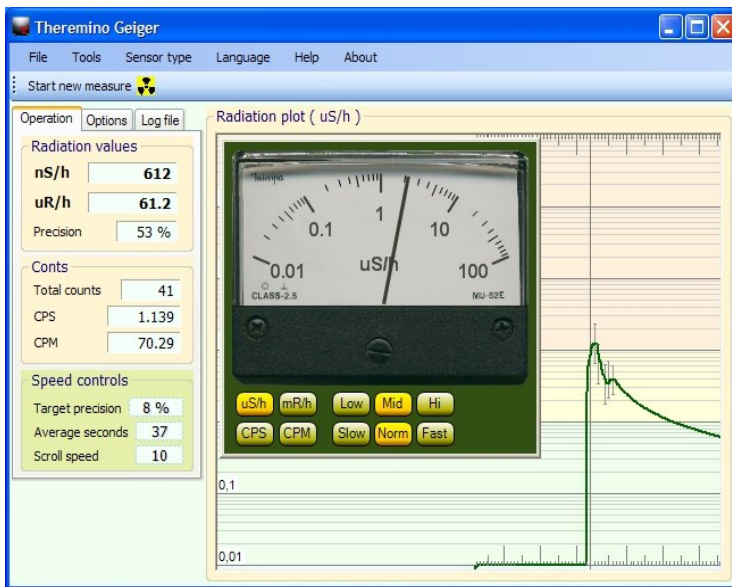


Un Geiger da laboratorio, sensibile e poco costoso



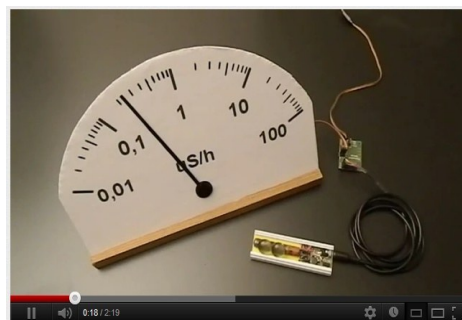
Basato su un hardware semplice e affidabile, questo strumento dispone di un software sofisticato (e open source) che lo trasforma in uno strumento professionale di tipo "Rate-meter", con caratteristiche irraggiungibili dai "soliti" contatori Geiger. La possibilità di fare medie su tempi lunghissimi permette di effettuare misure di precisione anche usando tubi Geiger a basso costo.

Con meno di 50 Euro è possibile mettere insieme uno strumento incredibilmente sensibile, in grado di distinguere un pezzetto di pietra pomice da uno di pietra normale.

Questo strumento è ottimo per l'apprendimento, e permette anche a scuole e istituti tecnici, con un budget limitato, di effettuare analisi professionali "da laboratorio", quali la determinazione della radioattività naturale delle ceramiche e dei materiali edili.

Un video del Geiger al lavoro

In questo video si vede un tubo Geiger SI-29BG che, sfruttando la modularità del sistema Theremino, manda il risultato delle misure ad un servocomando che, a sua volta, muove l'ago di una scala analogica. In questo esempio il tubo Geiger, i moduli di InOut, il software e la scala analogica sono vicini tra loro, ma potrebbero anche trovarsi in località diverse e comunicare via Internet.



Nella prima parte non sono presenti campioni radioattivi, poi vengono aggiunte due palline di vetro all'uranio e infine una bustina contenente Torio ricavato dalle reticelle delle lampade da campeggio. (per conoscere le caratteristiche di queste sostanze di test, vedere l'appendice 1)

Sensori di radiazioni con tubo Geiger

Misurare le radiazioni ionizzanti con i tubi Geiger è un metodo semplice e preciso. Purtroppo i contatori Geiger in commercio (generalmente strumenti portatili), pur costando cifre considerevoli, non hanno un software adatto alle misurazioni "da laboratorio". I veri strumenti da laboratorio hanno prezzi a quattro o cinque cifre e sono quindi fuori dalla portata di noi, poveri mortali.

I tubi Geiger

Questi sono i tubi Geiger che consiglio, sono i migliori e li ho provati a lungo. I prezzi tra parentesi sono solo indicativi, si tratta del prezzo che si trova normalmente su eBay (che è il posto migliore per acquistarli in piccole quantità)

STS-5 (15 euro)



SBM-20 (20 euro)



SI-29BG (30 euro)



LND 712 (60 euro)



LND 7312 (100 euro)

Per misurare le radiazioni "Beta" e "Gamma" si usano gli STS-5, SBM-20, o i piccoli SI-29BG, per misurare anche le radiazioni "Alfa" si devono usare gli LND712 o LND7312.

Nelle misure normali le radiazioni "Alfa" sono poco importanti e spesso falsano anche le misure, pertanto io consiglierei, tranne in casi particolari, di lasciarle perdere e di usare tubi STS-5 o SBM-20 che hanno una buona sensibilità e costano poco. Il tubo SI-29BG è poco sensibile e costa abbastanza, lo sconsiglio tranne in applicazioni nelle quali si preferisca un tubo molto piccolo.

I tubi STS-5, SBM-20 e SI-29BG vanno a 400 Volt mentre gli LND vanno a 500 Volt, quando si compra il GeigerAdapter si deve decidere se prendere il modello GA-400 o il GA-500. I due modelli differiscono solo per il valore degli zener e potrebbe anche essere possibile sostituirli e cambiare tensione a piacere.

Alimentatore e adattatore di segnale

Questo "GeigerAdapter" può essere usato per tutti i tubi Geiger di produzione russa o americana che richiedono da 300 a 550 volt di alimentazione. I modelli più usati sono il GA-400 e il GA-500.



La tensione di alimentazione può variare tra 3.5 volt e 6 volt per cui possono essere alimentati dai normali connettori di Input-Output del sistema Theremino. Il segnale di uscita è compatibile con gli ingressi di tipo Counter (solo per bassi livelli di radiazione) o meglio FastCounter che funziona bene a tutti i livelli, fino al massimo misurabile con i tubi Geiger.

Per mezzo di un circuito ben progettato (che pensavo di brevettare ma che infine ho deciso di rendere pubblico) sono riuscito a raggiungere un'ottima efficienza di conversione pur trattando tensioni alte (centinaia di volt) e correnti debolissime (pochi nanoAmpere).

A differenza dell'alimentatore del famoso "Gamma scout", che va in crisi con alte correnti, questo circuito "regge" fino ai massimi livelli di radiazione misurabili con i tubi Geiger, e fornisce al tubo una tensione perfettamente stabilizzata che permette la massima precisione di misura. Sempre a differenza dell'alimentatore del famoso "Gamma scout" questo circuito è autonomo (non richiede la collaborazione di un microprocessore per funzionare)

Il consumo di corrente è di circa 10 uA quando si misurano livelli di radiazione normali (intorno a 0.1 micro Sievert per ora) e cresce fino a 6 mA quando la radiazione è pari alla massima misurabile con i tubi Geiger (circa 10 milli Sievert per ora) Questo circuito non ha niente a che vedere con i penosi circuiti di alimentatori per Geiger che si trovano in rete, ho impiegato molti mesi di lavoro per progettarlo e potrebbe stare acceso per anni alimentandolo con una piccola batteria, composta da un solo elemento al litio da 4.2 volt (quelle normali degli aeromodelli)

Per quanto siano presenti tensioni elevate, maneggiare questo adattatore è perfettamente sicuro, la sua limitazione di corrente a 25 micro ampere è così efficace che può essere toccato a mani nude, in ogni punto, senza alcun pericolo, e senza avvertire la più minima sensazione di fastidio.

I "GeigerAdapter" GA-400 e GA-500 si possono comprare qui:

<http://www.theremino.com/contacts/price-list>

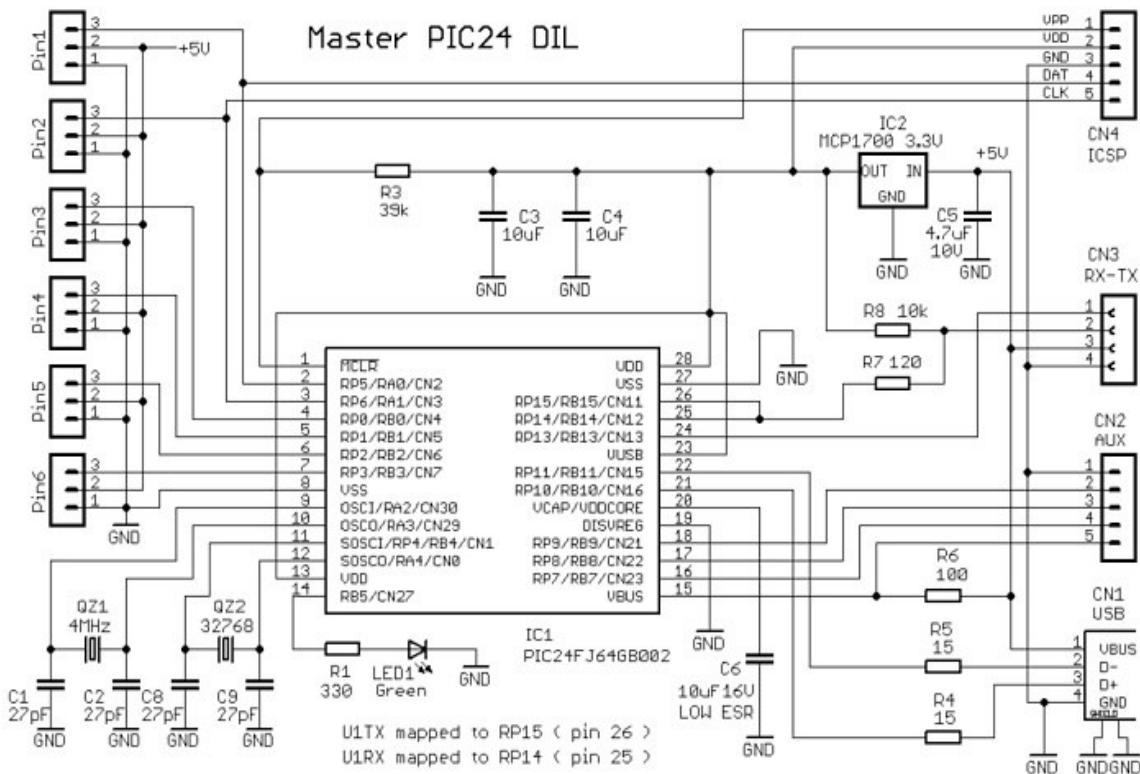
Sconsiglio vivamente l'autocostruzione di questo adattatore, non per tenere segreto il suo schema (che e' facilissimo ricavare anche solo dalla foto) ma perché tutti i suoi componenti sono difficili da reperire e costosi. Qualche esempio: gli zener della serie MMSZ52xx che devono essere comprati negli USA e che fanno 18 euro di sola spedizione e, purtroppo, non hanno equivalenti con correnti di perdita così basse (meno di 10 nano Ampere fino a 90 gradi Centigradi) Poi ci sono gli RS1KL (diodi da 800 Volt con 8 nano Ampere di perdita e soli 10pF di capacità) Infine i condensatori ceramici SMD da 630 Volt, il transistor MMBTA42 da 300 Volt, la bobina e il connettore SMD. Solo con la produzione industriale si può farlo costare poco e renderlo affidabile.

Connessione con il PC

Per connettere l'adattatore al PC, via USB, si usa un modulo "Master" che può essere acquistato sul sito www.theremino.com oppure costruito "do-it-yourself" con le istruzioni seguenti:

[MasterDIL_DIY.zip](#)

Il file ZIP contiene i progetti completi del PCB (in formato Eagle) e del firmware (MpLab) con schemi e immagini in 3D.



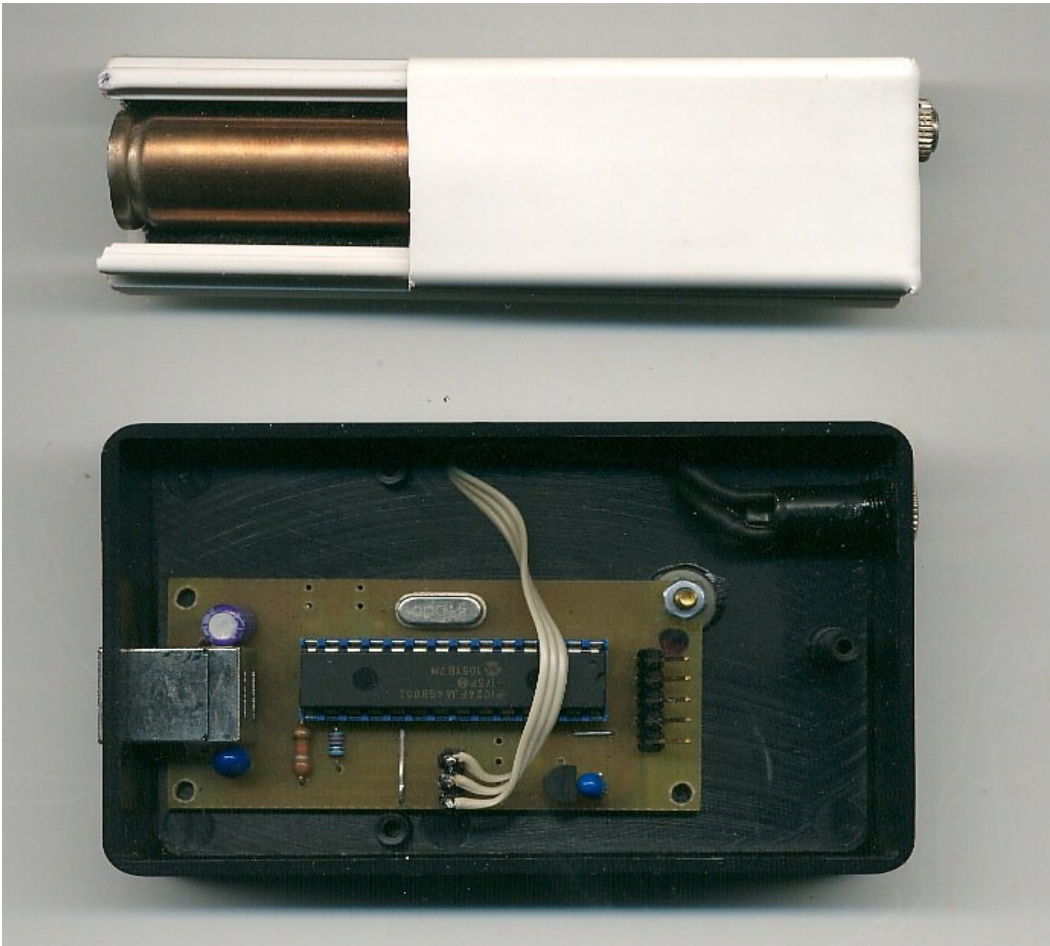
Costruire questo modulo non è facilissimo, alcuni componenti sono difficili da reperire e costosi, si deve disporre di un programmatore come, ad esempio, un PicKit2 o meglio un PicKit3 e si finisce per spendere il triplo che a comprarlo montato... però la soddisfazione e la possibilità di imparare valgono tutto questo.

In caso di problemi o dubbi scrivetemi a: livio@freetw.net

Realizzazione dell'hardware

Qui si vede una possibile realizzazione, semplice e affidabile.

Il tubo Geiger e il suo adattatore sono inseriti in un pezzo di canalina da impianto elettrico. Con un altro pezzo di canalina, qui non mostrato, si ottiene anche un comodo coperchio, che può essere facilmente sfilato e infilato, per proteggere il tubo quando non lo si usa.



Il software di misura



Qui sopra si vede la misura del fondo radioattivo, una analisi "difficile". In poco più di un minuto, e con una media calcolata su soli 32 eventi, la misura si stabilizza e linee fiduciarie convergono verso il valore di 100 nS/h che è il normale fondo radioattivo presente nel mio laboratorio.



Questo è lo strumento analogico, utile per chi è più a suo agio con i vecchi contatori Geiger e le unità di misura CPS e CPM. Lo strumento analogico è meno preciso della scala principale, ma ha una risposta più rapida.

Lo strumento analogico può essere "docked" (agganciato) al programma principale che serve per le misure su tempi lunghi e che agisce anche come "scaler" e come "ratemeter" in modo da poter misurare livelli di radioattività bassissimi con grande precisione.

Per mezzo di medie mobili, medie FiniteResponse e tecniche matematiche per la riduzione del rumore, si ottiene una lettura utile e precisa anche con bassi livelli di radiazioni e tubi poco sensibili.

Il software (in Open Source, con sorgenti completi) è scaricabile dalla pagina:

<http://www.theremino.com/downloads/uncategorized>

Caratteristiche del software

- Tempo di integrazione regolabile da 1 fino a 9999 secondi (quasi tre ore)
- Integrazione di tipo "finite response" basata su FIFO seguita da una media mobile
- Readout del livello di radiazione in micro-Sieverts e milli-Roentgen
- Continuo aggiornamento della precisione di misura basata sulla quantità di eventi
- Continuo aggiornamento dei conteggi al secondo, al minuto, dei totali e del tempo trascorso
- Grafico in uS/h con candle-sticks di Min-Max (linee fiduciarie)
- Display analogico tarato in uS/h, mR/h, CPS e CPM utile per le analisi "veloci"
- Regolazione di velocità del grafico
- Grafico con memoria che può essere "zoommato"
- Regolazioni di "sensitivity", "background" e "dead time" per ogni modello di sensore
- Modularità e completa integrazione con il sistema Theremino attraverso gli SLOT (Nota1)
- Possibilità di trasmettere i dati via SLOT, IP, OSC, Rete locale e Internet (Nota2)
- Sintetizzatore di suoni regolabile che riproduce realisticamente il tipico "click" dei Geiger
- Suoni caratteristici per l'allarme e la segnalazione degli eventi
- LOG particolareggiato e regolabile da un dato al secondo fino a uno ogni dieci minuti
- Check lists (procedure) per le analisi semplici, background e controlli iniziali.
- Possibilità di fare anche semplici analisi qualitative (Nota3)
- Localizzazione nelle principali lingue

Note

(1) SLOT = metodo di Interprocess Communication, usato nel sistema Theremino, che permette di rendere il software modulare come il LEGO

(2) E' quindi possibile, ad esempio, collocare il sensore in Giappone, il software in Italia e ripetitori meccanici di scala in altri laboratori sparsi per il mondo. Tutto questo non è una possibilità teorica, ma immediatamente realizzabile, con il software che ho scritto (tutto Open Source), scaricabile dal menu di download: www.theremino.com/downloads

(3) L'analisi qualitativa (spettrometria gamma) permette di misurare l'energia dei raggi gamma e quindi di distinguere gli isotopi radioattivi (come il Potassio40, il Cesio137, l'Uranio238 e il Torio232) uno dall'altro. Teoricamente con i tubi geiger questo tipo di analisi non è possibile perché i tubi Geiger sono dispositivi ON-OFF e non danno informazioni sulla energia ma, con un metodo molto semplice da me studiato, è possibile misurare l'energia media data dalla somma delle energie di tutti i materiali del composto sotto misura. La procedura passo-passo per questa analisi è nel menu "Help / Procedures" e spiegata nella Appendice 2 di questo documento.

Misurare oggetti comunemente ritenuti non-radioattivi

Sono pochi i Geiger commerciali in grado di misurare con precisione livelli di radioattività molto bassi ma, per mettere veramente alla prova uno strumento, si devono fare i test con materiali solo leggermente più radioattivi del fondo naturale in cui siamo costantemente immersi.

Immagino che pochi di voi sappiano che la pietra pomice è radioattiva, ma quasi nessuno sa che il sale dietetico a basso contenuto di sodio e' ancora più radioattivo della pomice, perché contiene, insieme al potassio stabile, anche tracce del suo isotopo K40.

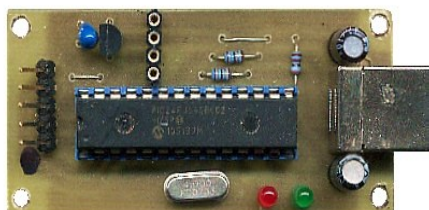


Fondo radioattivo normale (nel mio laboratorio)	circa 100 nS/h	
Fondo + Pietra pomice	150 - 180 nS/h	(U-238 + Th-232)
Fondo + Piastrella in ceramica (solo alcune piastrelle sono radioattive)	200 - 300 nS/h	(U-238 + Th-232)
Fondo + Sale dietetico gemma (bustina da 10 grammi)	300 - 500 nS/h	(K-40 "Potassio")

Sorpresi?

Lo ero anch'io all'inizio, soprattutto dal sale dietetico, che molti mangiano tutti i giorni. Ma non spaventatevi, anche noi conteniamo potassio e siamo leggermente radioattivi. E' sempre stato così, ma non lo sa quasi nessuno perché, per fare queste misure, normalmente sono necessari apparecchi da oltre mille euro, e qualche centinaio di chili di schermature in piombo.

Cominciamo col farci una idea delle dimensioni del piccolo pezzo di pomice che stiamo per misurare, confrontandolo con un modulo "Master"



Nella prossima pagina vedremo i risultati delle misure sulla pomice, il sale dietetico non lo proviamo nemmeno perché è fin troppo facile, lascio a voi il piacere di misurarlo.

Una analisi veramente difficile

Ecco qui l'analisi più difficile di tutte, distinguere un piccolo pezzo di pietra pomice dal fondo radioattivo.



La prima misura, a sinistra, è stata fatta con la pomice a contatto del tubo geiger (un SI-29BG che tra l'altro è uno dei tubi meno sensibili) Dopo pochi minuti la linea verde (la media) si è stabilizzata a un valore di circa 170 nS/h e le linee grigie "fiduciarie" si sono ridotte di altezza indicando una buona precisione della misura.

La seconda misura è stata fatta con il solo fondo radioattivo ed ha confermato quanto già sapevo, cioè che il fondo, nel mio laboratorio, è di circa 100 nS/h

La differenza tra le due misure è netta. Abbiamo accertato che in pochi minuti si può distinguere la pomice dalla pietra normale. Misurare il sale dietetico è ancora più facile, bastano 60 secondi. Con tempi più lunghi si può aumentare la precisione a piacere e misurare qualunque sostanza.

Le piccole differenze che si possono notare tra lo strumento analogico (circa 95 nS/h) e quello digitale (104 nS/h), sono dovute al fatto che lo strumento analogico è meno preciso perché usa medie più brevi per rispondere più rapidamente.

Appendice 1 - Campioni radioattivi di test

Piastrelle in ceramica (100..200 nS/h) Qualche piastrella è leggermente radioattiva, altre non lo sono per niente, rovistando in soffitta tra le vecchie piastrelle ne ho trovate un po' di buone.

Pozzolana (150..200 nS/h) Roccia di origine vulcanica costituita da silice, alluminio ed alcali. In edilizia trova impiego per la composizione di malte e intonaci. I livelli di radioattività devono essere dichiarati dal produttore e risultare nei limiti di legge.

Pomice (150..200 nS/h) Materiale naturale di origine vulcanica, molto leggero e poroso. In edilizia trova impiego come isolante termico e acustico. Occorre controllare i livelli di radioattività che non devono superare quelli ammissibili per legge.

Sale dietetico iposodico (200..500 nS/h) Contiene cloruro di potassio che sostituisce il 50% del cloruro di sodio ed aiuta a combattere l'ipertensione arteriosa. Circa lo 0.012% del potassio è costituito dall'isotopo K40 per cui questo sale e' debolmente radioattivo.

Vetro all'uranio ("Vaseline glass") (500..1000 nS/h) Materiale prodotto per smaltire uranio radioattivo e venderlo sotto forma di oggetti decorativi o gocce da circa un centimetro di diametro da usare nell'edilizia, con il cemento. L'uranio viene diluito in una quantità di vetro sufficiente a far scendere la radioattività sotto ai limiti di legge. Il contenuto in uranio è intorno all'uno per cento. Si può stimare la percentuale di uranio con luce ultravioletta, più è fluorescente e più alto è il contenuto di uranio.

Da qui si comincia a misurare in microSievert - Maneggiare con precauzione

Pastiglie di Americio (4.5 uS/h di Beta/Gamma e oltre 500 uS/h di Alfa) Queste pastiglie si ottengono smontando i rivelatori di fumo del tipo "a ionizzazione" facilmente reperibili su eBay per meno di dieci euro. Contengono esattamente 1 microcurie di isotopo Am241 che emette principalmente raggi alfa ma anche un po' di beta e di gamma.

Reticelle per lampade a gas da campeggio ("Mantles") (da 20 a 50 uS/h) Queste reticelle contengono Torio (isotopo Th232) che ionizza l'aria aumentando di molto la luce prodotta dalle lampade a gas. Le reticelle di produzione recente non contengono più il torio e fanno poca luce. Su eBay è ancora molto facile trovare reticelle con il torio.

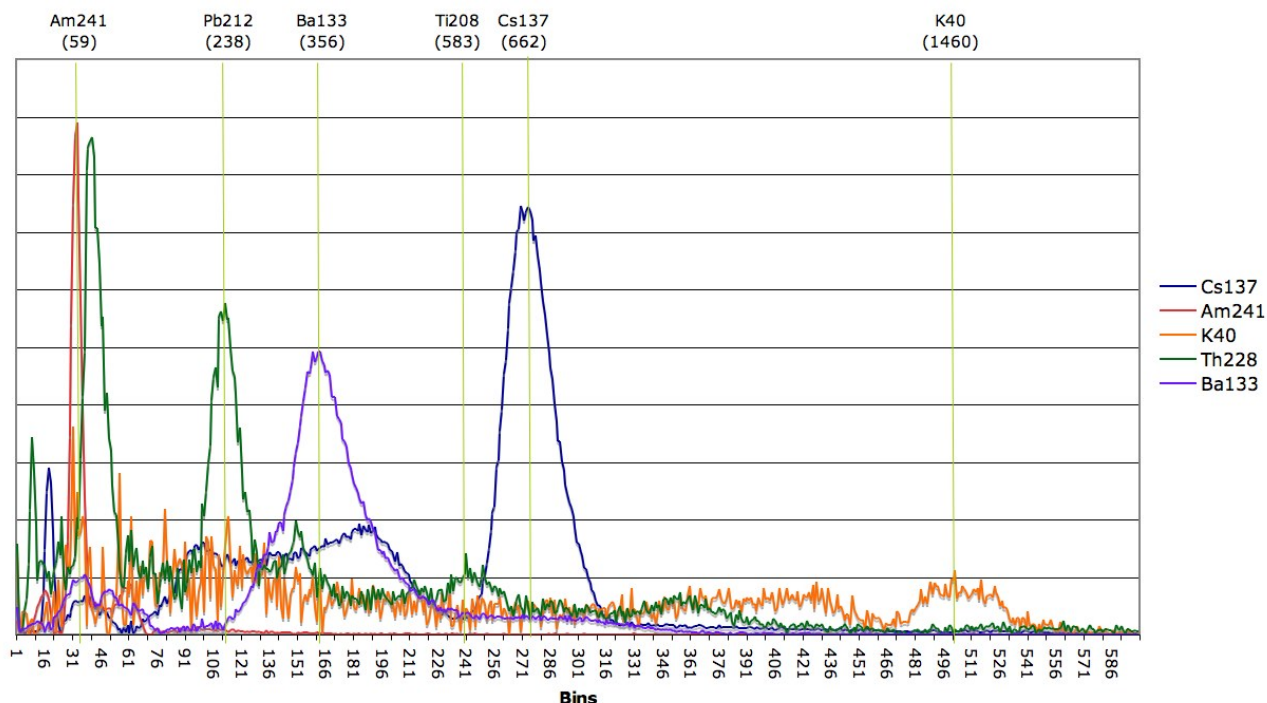
Minerali contenenti uranio ("Uranium Ore") (da 50 a 500 uS/h) In natura si trovano come: Uraninite, Autinite, Pechblenda e Weeksite. E' facile trovarli su eBay ma costano molto.

Orologi con lancette luminose (da 50 a 500 uS/h) Solo gli orologi antichi contengono trizio e sono radioattivi, quelli recenti contengono sostanze non radioattive.

Tutte queste sostanze sono facilmente reperibili su eBay, hanno un decadimento lentissimo e non cambiano in maniera misurabile in una vita intera. Le prime cinque: Piastrelle, Pozzolana, Pomice, Vetro all'uranio e Sale dietetico sono perfettamente sicure, per quanto riguarda le altre consiglieri un po' di attenzione, maneggiatele con cura, non mangiate, non respirate i frammenti, pulite con cura gli attrezzi e lavatevi le mani dopo aver finito di maneggiarle. L'aspetto di queste sostanze e' visibile nel file allegato: "Immagini Campioni Radioattivi"

Appendice 2 - La spettrometria gamma

Uno spettrometro è uno strumento in grado di separare i raggi di arrivo e contarli separatamente, a seconda della loro energia. In questo modo si possono ottenere grafici come il seguente, che permettono di "vedere" gli isotopi radioattivi uno per uno.



Purtroppo i tubi Geiger sono dispositivi on-off, quando passa un raggio danno un impulso, e l'ampiezza di questo impulso è costante, qualunque sia l'energia del raggio. Per cui normalmente si dice che, con i tubi Geiger, non si possono fare misure "qualitative", cioè distinguere un materiale radioattivo dall'altro, ma **ho trovato un modo di aggirare questo limite**.

Se ci si accontenta di conoscere l'energia media prodotta da tutte le sostanze del campione è possibile interporre una sottile lamina di alluminio o piombo e confrontare le misure di radiazione con e senza la lamina. Dato che la attenuazione dei raggi Gamma nei materiali dipende dalla loro energia, è possibile calcolare quest'ultima partendo da tre valori: 1>Il fondo radioattivo 2>La misura del campione senza alluminio 3>La misura del campione attraverso l'alluminio.

Queste, ad esempio, sono le attenuazioni, in percentuale, nel piombo, a differenti energie.

	60kVp	80kVp	100kVp	120kVp	N120kVp	N250kVp	Cs-137	Co-60
0.5 mm	99.58	97.45	95.04	93.69	89.95	39.50	6.58	4.00
1.0 mm	99.99	99.73	99.14	98.91	98.37	62.87	12.20	7.65
2.0 mm	100.00	99.99	99.95	99.94	99.84	85.80	22.30	14.35

Sto preparando un amplificatore di carica per diodi PIN che permetterà la vera Spettrometria a basso costo, ma è un argomento molto vasto, che appesantirebbe troppo questo articolo. Vorrei anche avere il tempo di corredarlo di prove e illustrarlo con la cura che merita, per cui lo pubblicherò tra qualche mese.

Appendice 3 - Le radiazioni ionizzanti

Un super-concentrato di informazioni raccolte in rete

Particelle alfa

Le prime nella scala delle radiazioni pericolose sono composte da un nucleo di elio, cioè due protoni p e due neutroni n, lanciato ad alta velocità. Il loro potere penetrante è debole e viene fermato ad esempio da spessori di 1/10 di millimetro di leggerissimo alluminio o da un foglio di carta da imballaggio. Non sono in grado di superare lo strato superficiale dell'epidermide. Nell'aria percorrono, libere e senza urti non più di 3 o 4 centimetri. Il loro potere ionizzante è assai elevato e ogni particella è in grado di produrre in aria 4000 coppie di ioni per ogni millimetro percorso. La loro pericolosità è assai bassa. Le particelle alfa sono pericolose solo se emesse direttamente dentro il corpo umano, ad esempio in seguito ad inalazione o ingestione di piccoli frammenti.

Particelle beta

Sono costituite da elettroni (e-) e da positroni (e+) emessi ad alta velocità. La loro energia va da pochi keV a diversi MeV con velocità vicine a quella della luce. Il loro potere di penetrazione è debole e non va oltre i pochi millimetri nell'alluminio, i decimi di millimetro nel piombo, e pochi millimetri (5 o 10) nella pelle. Bastano pochi centimetri di legno per fermare. Nell'aria percorrono non più di un metro se non sono bloccate da urti. Il loro potere ionizzante è minimo. Nell'aria una particella beta produce circa 4 coppie di ioni per millimetro. Le particelle beta sono pericolose solo se emesse dentro il corpo umano come già visto per le alfa stesse. All'esterno occorre che siano emesse vicino ad organi che sono a meno di 10 o 20 millimetri dalla cute. Solo il cervello e gli occhi quindi sono in pericolo, per sorgenti che generino queste radiazioni molto vicino alla testa; i pericoli sono quindi trascurabili per la salute umana.

Raggi gamma

Sono costituiti da onde elettromagnetiche come i fotoni o la luce, ma in pratica sono anche particelle, che arrivano una alla volta. Questi raggi hanno una frequenza che varia da elemento ad elemento radioattivo, con lunghezze d'onda comprese tra i 10^{-14} e i 10^{-11} metri. L'energia va da pochi keV a molti MeV ed è proporzionale alla loro frequenza (legge di Plank). La velocità è, nel vuoto, quella della luce. Il loro potere penetrante è fortissimo. Occorre qualche centimetro di piombo per far diminuire l'intensità del 50%. Forte è anche il loro potere ionizzante. La loro pericolosità è altissima e sono in grado fare danni enormi al corpo umano anche a grandi distanze.

Raggi X

Sono costituiti da radiazioni elettromagnetiche come i raggi gamma, ma hanno frequenze minori che vanno da 10^{-11} a 10^{-9} metri. Di regola non sono emessi, come i raggi alfa, beta e gamma, da nuclei radioattivi ma da apparecchiature elettroniche costruite appositamente. In qualche caso ci sono emissioni anche da parte di raggi beta negativi che, ad alta velocità, urtano la materia, ma è una sorgente di secondo ordine per la nostra sicurezza. In natura solo nel cosmo esistono sorgenti naturali di queste radiazioni ma, per fortuna, assai lontane. Sono emissioni quindi trascurabili dal punto di vista biologico. Le sorgenti sono quindi quasi sempre artificiali e legate a scontri tra elettroni ad alta velocità e la materia,. Un esempio semplice è il tubo di Roentgen. L'energia va da alcuni keV a molti MeV e la velocità è quella della luce. Il loro potere penetrante è molto forte e la ionizzazione altrettanto. La loro pericolosità è molto elevata, anche se inferiore a quella dei raggi gamma. Essendo sorgenti artificiali normalmente non sono un pericolo per la salute.

Neutroni

In natura praticamente non esistono liberi (ad alta energia) ma sono sempre frutto di trasformazioni atomiche o di macchinari appositamente costruiti (acceleratori). Un neutrone veloce, o ad alta energia, può essere considerato la cosa più pericolosa che ci sia nel campo delle radiazioni.

Buone misure a tutti!

Livio Cicala