

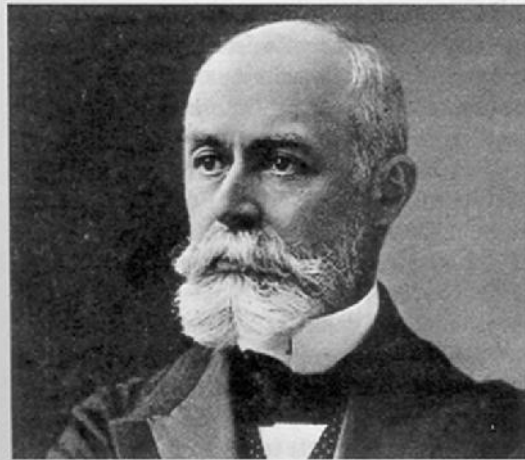
La radioattività ambientale:

- ◆ La radioattività naturale
- ◆ Uranio, Radon, Potassio 40 a casa nostra
- ◆ Effetti macroscopici
- ◆ Misurare è facile
- ◆ Tracce del passato

Perché la gente ha paura della radioattività

- ◆ Si teme ciò che non si conosce
- ◆ Si affrontano con sicurezza i rischi di cui si è ben coscienti
- ◆ Per fare una valutazione corretta occorre conoscere
- ◆ Facciamo spesso un errore : attribuiamo ai fenomeni sconosciuti pericoli ed effetti negativi
- ◆ La radioattività è la strega della nostra epoca

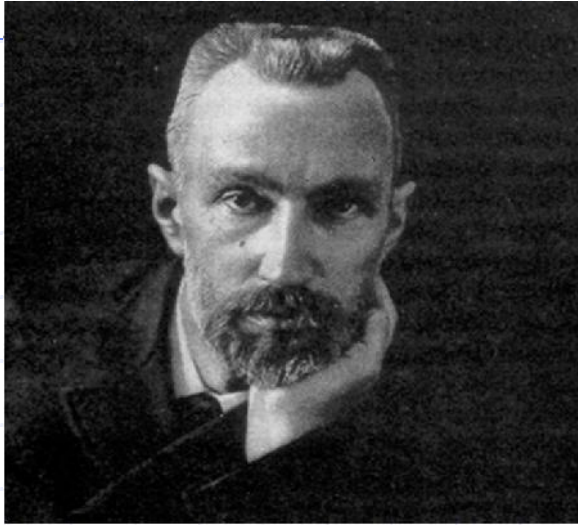
Lo scopritore della radioattività



10 - 11 - 96. Sulfate d'Uranyle d'Acide Nitrique.
Papier noir. Couvre-Boite en bois.
Exposé au jour le 12. et au jour d'après le 13. et
révéler le 14. mars.

- ◆ Henri Becquerel scoprì per caso la radioattività naturale studiando la fluorescenza dell'Uranio
- ◆ Usò come rivelatore una lastra fotografica che rimase impressionata senza essere esposta alla luce
- ◆ Le radiazioni emesse dall'Uranio attraversavano l'involucro opaco della lastra
- ◆ Era l'anno 1896, l'anno precedente Roentgen aveva scoperto i raggi X, l'anno successivo Thomson avrebbe scoperto l'elettrone

I Curie : due formidabili ricercatori



- ◆ Pierre Curie era un professore affermato, aveva studiato la piezoelettricità il magnetismo.
- ◆ Maria Skłodowska, sua moglie, si stava laureando in Fisica nel 1897. Aveva già avuto una figlia: Irene.
- ◆ Come argomento di tesi scelse lo studio del fenomeno della radioattività, appena scoperto da Becquerel.
- ◆ Maria aveva già mostrato una grande volontà e tenacia nello studio. Di origine polacca, si era trasferita a Parigi per studiare.

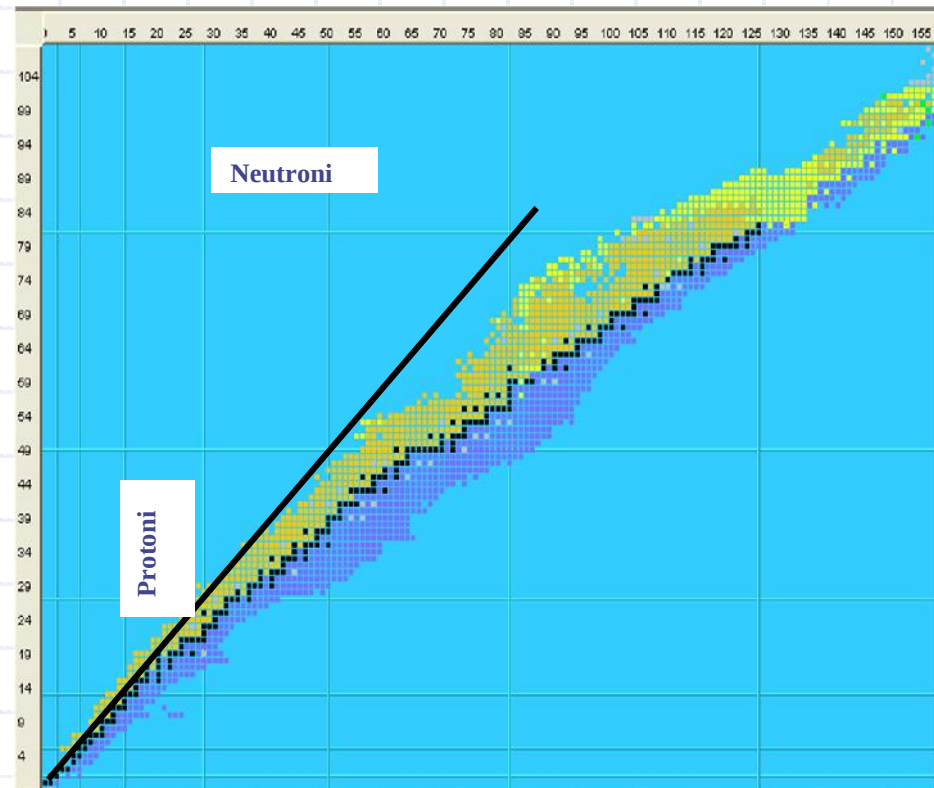
Tutto è cominciato alcuni miliardi di anni fa



- ◆ Tutta la materia presente nella Terra è stata sintetizzata all'interno di una Stella
- ◆ Il componente di partenza è l'Idrogeno
- ◆ Dalla fusione di più atomi di Idrogeno si ottiene Elio, Litio, Berillio, Boro ...
- ◆ ... e molto Ferro ($S i d h r \rightarrow O s i d e r u s$)
- ◆ Verso la fine della vita della stella vengono prodotti gli elementi più pesanti come Piombo, Torio e Uranio ...
- ◆ ... ma alcuni atomi prodotti nella stella hanno una pecca nel nucleo
- ◆ La vita di una stella si conclude con la esplosione di una Supernova
- ◆ Il materiale disperso dalla esplosione può dare origine ad un sistema Stella+Pianeti
- ◆ E' ciò che avvenne circa 7 miliardi di anni fa nel nostro sistema solare

Condizioni di stabilità

- ◆ Affinché il nucleo sia stabile è necessaria una giusta proporzione tra protoni e neutroni
- ◆ Se il numero di neutroni è in eccesso o in difetto il nucleo è instabile e tende a modificarsi : decade
- ◆ Molti nuclei prodotti nella supernova che ha dato origine al sistema solare avevano un numero sbagliato di neutroni e sono decaduti nel tempo
- ◆ Ma non tutti i nuclei instabili sono decaduti, molti sono sopravvissuti sino ai nostri giorni



Radioisotopi naturali

- ◆ Si trovano sulla Terra (e su tutti i Pianeti del sistema solare) molti radioisotopi naturali
- ◆ Tutti i radioisotopi naturali attualmente presenti sulla Terra hanno tempi di dimezzamento paragonabili alla vita del sistema solare : circa $6 \cdot 10^9$ anni
- ◆ I radioisotopi naturali con tempi di dimezzamento molto più brevi sono completamente decaduti

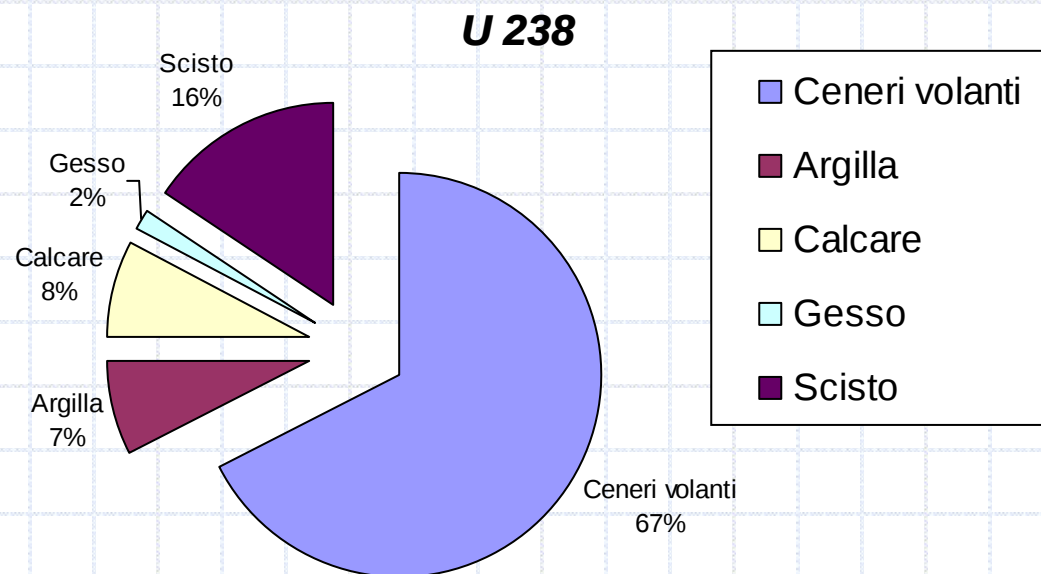
Alcuni radioisotopi naturali

Radioisotopo	Tempo di dimezzamento
K 40	$1.3 \cdot 10^9$ anni
Rb 87	$5.0 \cdot 10^{10}$ anni
Th 232	$1.4 \cdot 10^{10}$ anni
U 235	$7.1 \cdot 10^8$ anni
U 238	$4.5 \cdot 10^9$ anni

Quanto Uranio c'è sulla Terra ? E quanto in casa nostra ?

- ◆ La abbondanza frazionaria dell'Uranio sulla crosta terrestre è di 3 ppm
- ◆ In altri termini ogni 1000 kg di terra o roccia contiene 3 grammi di Uranio
- ◆ Anche i materiali da costruzione sono radioattivi
- ◆ Quanto Uranio possediamo a casa nostra? Da 100 g sino a qualche kg, dipende dalle dimensioni e dai materiali impiegati
- ◆ Il cemento è particolarmente radioattivo a causa di un additivo ...

Uranio 238 nel cemento



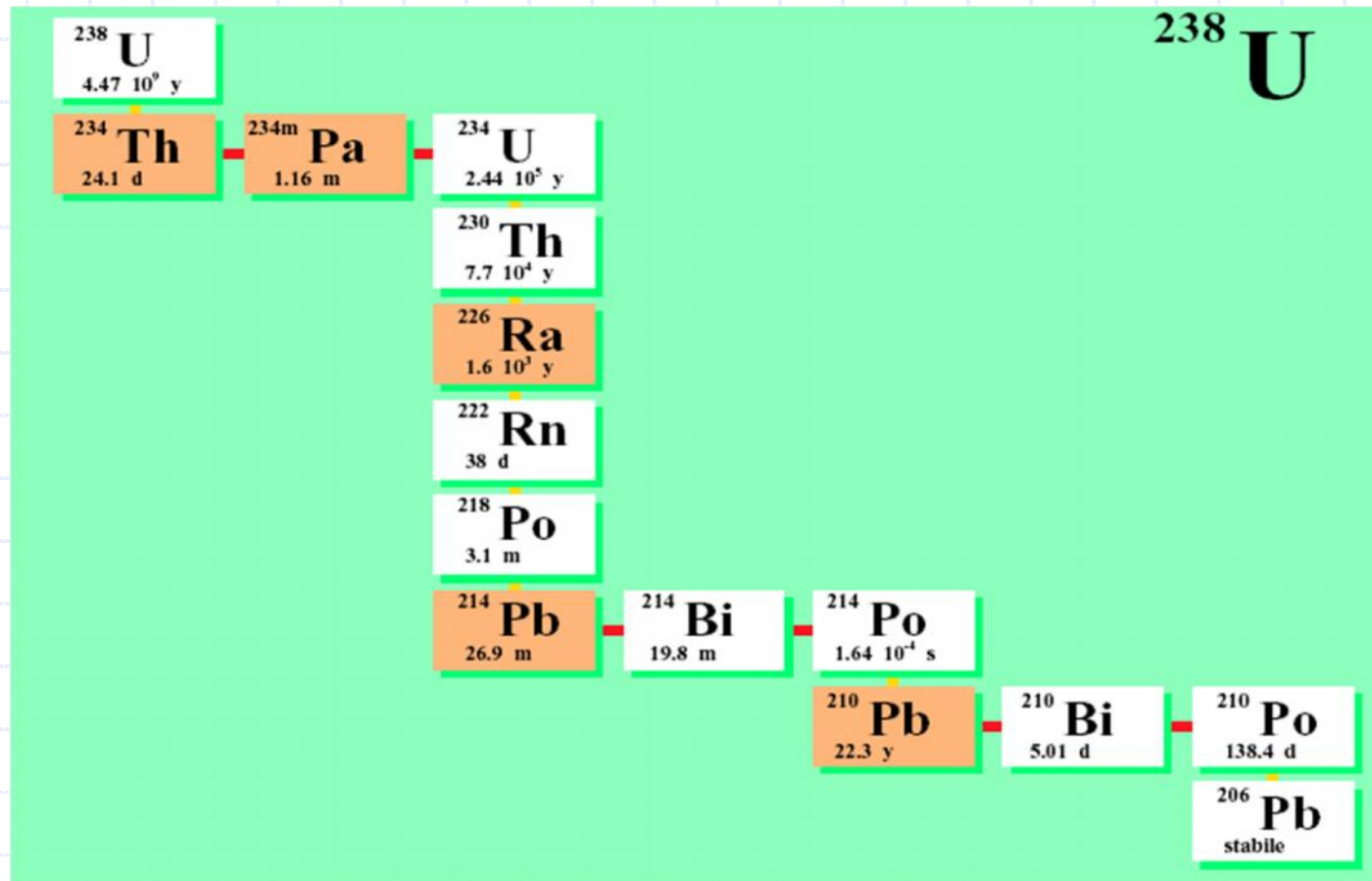
La radioattività e dappertutto

- ◆ La casa in cui abitiamo è (debolmente) radioattiva
- ◆ L'aria che respiriamo è (...) radioattiva per la presenza del Radon
- ◆ L'acqua di sorgente è radioattiva, a causa del Radon disciolto : un tempo era considerato un pregio!
- ◆ Anche noi siamo un po' radioattivi a causa del K-40 che entra nel nostro metabolismo; il C-14 non ci preoccupa ...

Le famiglie radioattive

- ◆ Un nucleo radioattivo può decadere dando origine ad un nucleo stabile oppure ad un nucleo a sua volta instabile, il quale a sua volta decade in un altro nucleo instabile.....
- ◆ È quanto accade nel caso del U 238, del U 235 e del Th 232, tre radioisotopi naturali più comuni.
- ◆ La sequenza dei radioisotopi prodotti a partire dal capostipite prende il nome di famiglia radioattiva.
- ◆ L'ultimo discendente di una famiglia radioattiva è un isotopo stabile.
- ◆ Per i tre radioisotopi indicati i discendenti stabili sono rispettivamente Pb206 Pb207 e Pb208

La famiglia radioattiva dell'Uranio 238



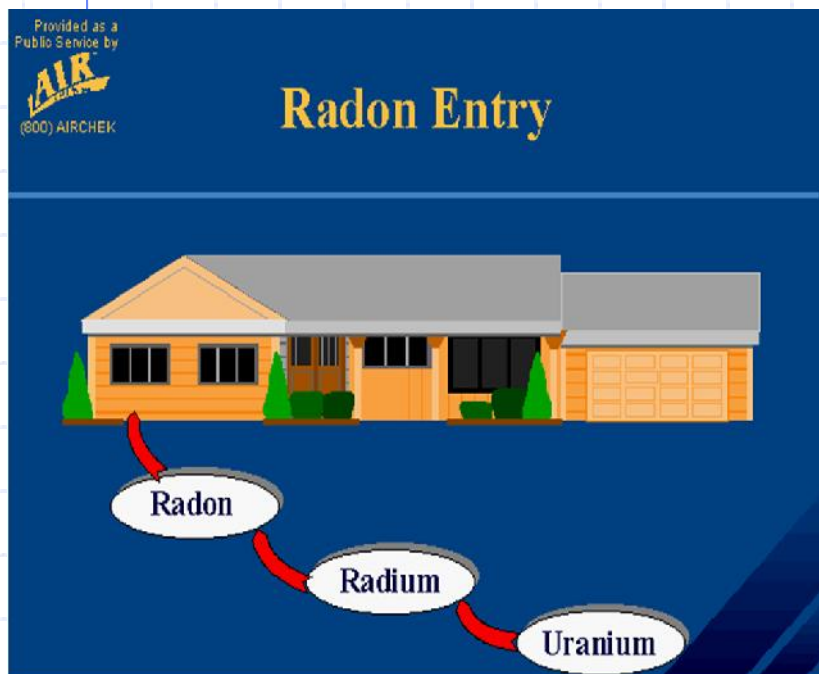
Tutti i figli dell'U238 : $Q_{\text{tot}} = 51.63 \text{ MeV}$

Isotopo	Dec	T	Q(MeV)	Isotopo	Dec	T	Q(MeV)
U 238	a	$4.7 \cdot 10^7 \text{ a}$	4.27	Po218	a	3.05 min	6.11
Th234	b	24.1 g	0.20	Pb214	b	26.8 min	1.03
Pa234	b	6.7 h	2.21	Bi 214	b	19.9 min	3.27
U 234	a	$2.5 \cdot 10^5 \text{ a}$	4.84	Po214	a	165 ms	7.83
Th230	a	$7.5 \cdot 10^4 \text{ a}$	4.77	Pb210	b	22.3 a	0.06
Ra226	a	$1.6 \cdot 10^3 \text{ a}$	4.87	Bi 210	b	5.01 g	1.16
Rn222	a	3.83 g	5.59	Po210	a	138.4 g	5.41
				Pb206		stabile	

Effetti prodotti dalla energia emessa dall'U 238 e discendenti : $Q_{\text{tot}} \times \text{Numero atomi}$

- ◆ La abbondanza frazionaria dell'U238 è di 3 ppm
- ◆ Un kg di roccia contiene circa 3 mg di U 238
- ◆ 3 mg di U 238 corrispondono a $3 \cdot 10^{-3} / 238 N_{\text{AV}}$ atomi di U 238
- ◆ Complessivamente $7.59 \cdot 10^{18}$ atomi di U 238
- ◆ Energia complessivamente irradiata : $7.59 \cdot 10^{18} \times 51.63 \cdot 10^6 \text{ eV} = 3.92 \cdot 10^{26} \text{ eV} \times 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 6.27 \cdot 10^7 \text{ J} = \mathbf{15\ 000\ kcal !}$
- ◆ Ovviamente questa energia viene liberata su tempi molto lunghi ... miliardi di anni
- ◆ Ma se non c'è modo di smaltire questa energia, la roccia si scalda sino a fondere
- ◆ **L'interno della Terra è caldo a causa della radioattività naturale, le eruzioni vulcaniche sono un effetto della radioattività !**

Il Radon

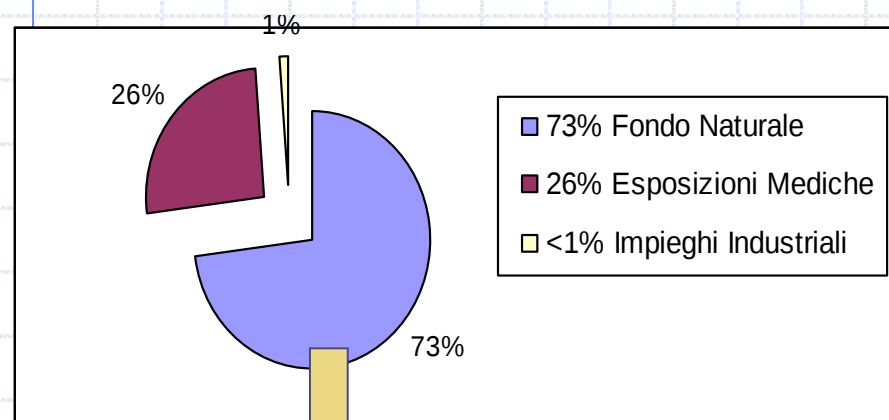


- ◆ Il Radon è un gas radioattivo prodotto dal decadimento del Radium (il quale a sua volta è prodotto dall'Uranio 238)
- ◆ Il Radon è un gas inerte, non forma composti, la molecola è mono-atomica e quindi molto piccola.
- ◆ Penetra attraverso il suolo all'interno delle abitazioni.
- ◆ Il Radon respirato può decadere all'interno dei polmoni emettendo particelle α , dannose per l'organismo.
- ◆ Attualmente il Radon naturale rappresenta la maggior fonte di rischio di tipo radioattivo.

Il Radon nell'acqua di sorgente

1. Il gas Radon è facilmente solubile in acqua
2. Il Radon emesso dalle rocce si concentra nelle acque delle falde
3. L'acqua di alcune sorgenti contiene una elevata concentrazione di Radon
4. Poiché il Radon decade in pochi giorni, dopo circa due settimane la radioattività è scomparsa
5. L'acqua dei bacini di raccolta non contiene Radon in quantità significative

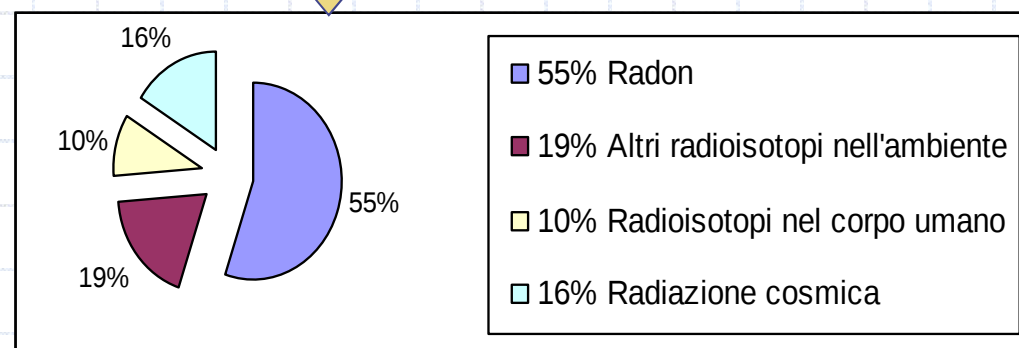
Le varie fonti di rischio da esposizione alle radiazioni



Il maggior contributo alla dose da radiazioni è dovuto alla radioattività naturale

C'è un forte impegno per ridurre le radiazioni in campo medico

Perciò il contributo in termini percentuali del fondo naturale è in aumento



Il Radon contribuisce per oltre il 50% del fondo naturale

Dose

I danni causati dalla radiazioni dipendono dalla quantità di energia assorbita dal corpo irraggiato. Per quantificare il danno prodotto si utilizza la Dose:

Dose – è quantità di energia assorbita per unità di massa.

$$1\text{Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{Kg}}$$

Per valutare i danni prodotti nell'organismo si utilizza la Dose Efficace misurata in Sievert (Sv)

Dose da radiazione, alcuni esempi. Valori indicativi espressi in mSv (milliSievert)

Radiografia	0.5 – 5 mSv
Un anno in una casa di mattoni	1 mSv
Un anno in una casa di granito	2 mSv
Volo intercontinentale	0.1 mSv
2 settimane nel cosmo	200 mSv
Limite di legge annuo per il pubblico	1 mSv
Limite di legge annuo lavoratori esposti	20 mSv
Dose mortale al 50% entro un mese	5000 mSv

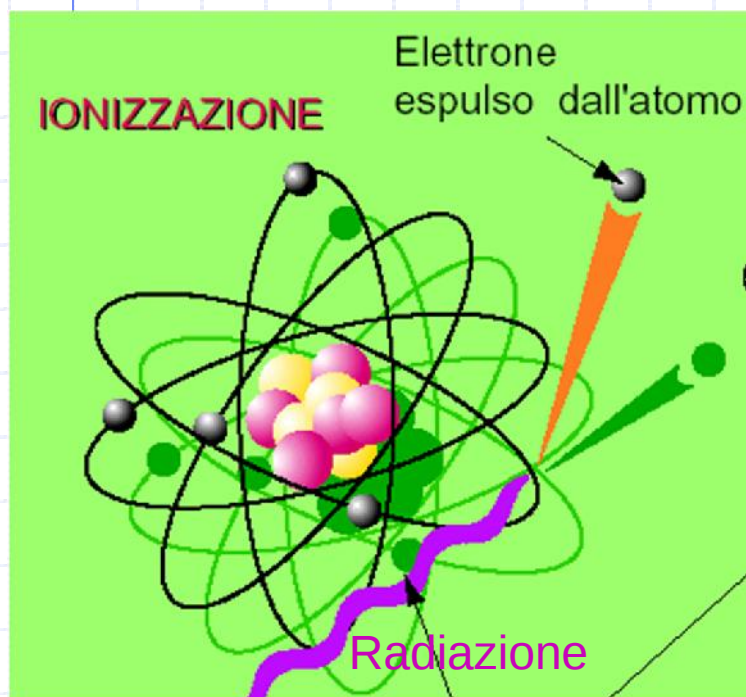
Gli astronauti ricevono dosi molto alte ma sopravvivono anche dopo mesi di permanenza nel cosmo

Limiti di legge per la dose

Categorie	Limiti di dose al corpo intero	Limiti di dose a particolari organi
Lavoratori esposti	20 mSv in 1 anno	150 mSv per il cristallino 500 mSv per la pelle 500 mSv per mani e piedi
Lavoratori non esposti e persone del pubblico	1 mSv in 1 anno	15 mSv per il cristallino 50 mSv per la pelle

Radiazioni ionizzanti

Le sorgenti radioattive emettono in genere radiazioni di elevata energia che possono produrre la scissione delle molecole e la ionizzazione degli atomi. Per questo motivo sono dette radiazioni ionizzanti



Radiazioni emesse durante i decadimenti radioattivi:

- Particelle α e β
- Radiazioni γ

Radiazioni emesse da altre sorgenti:

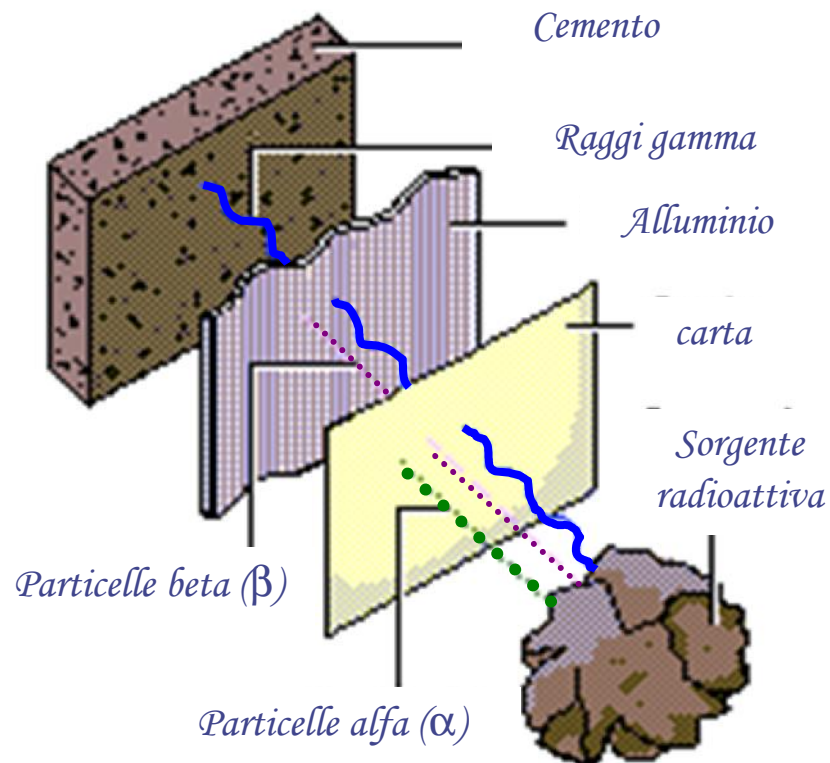
- Raggi X
- Raggi ultravioletti

Tutte queste radiazioni sono ionizzanti e come tali possono produrre danni agli organismi viventi.

Gli effetti prodotti dalle radiazioni ionizzanti

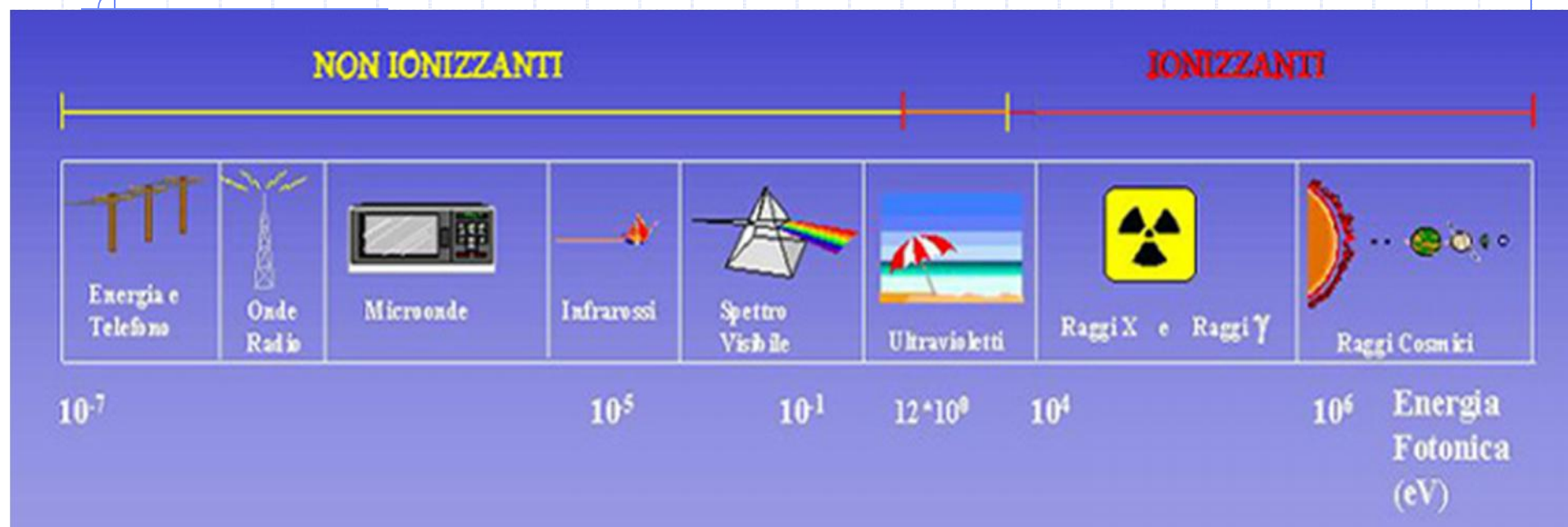
- ◆ Le radiazioni emesse da un nucleo che decade sono di energia elevata, da pochi keV ad alcuni MeV.
- ◆ Bastano pochi eV per produrre la ionizzazione di un atomo e quindi la rottura di un legame molecolare.
- ◆ Se viene deteriorata la molecola del DNA si può indurre un processo che porta alla duplicazione incontrollata della cellula (neoplasia).
- ◆ Le radiazioni α e i neutroni sono più pericolosi, in quanto danneggiano con maggiore efficacia le cellule.
- ◆ Le radiazioni γ sono meno efficaci nel produrre un danno localizzato ma sono difficilmente schermabili.

Potere di penetrazione delle radiazioni



- I raggi alfa sono i meno penetranti, vengono fermati da pochi centimetri d'aria o da un foglio di carta
- I raggi beta sono più penetranti degli alfa, vengono fermati da un foglio di alluminio
- I raggi gamma sono i più penetranti e possono attraversare notevoli spessori di materiale di elevata densità.

Radiazioni elettromagnetiche



Le radiazioni luminose hanno energie

tra 1.5 e 3 eV

I raggi ultravioletti

tra 3 e 20 eV

I raggi X usati per le radiografie, tra

tra 20.000 e 100.000 eV (20 - 100 keV)

I raggi gamma emessi dal Cesio 137

circa 662.000 eV (662 keV)

Radiazioni pericolose e radiazioni innocue

- ◆ Possiamo definire radiazioni pericolose quelle in grado di modificare i legami molecolari dei componenti dell'organismo
- ◆ Per rompere i legami tra gli atomi delle molecole presenti sulla Terra occorrono energie di molti eV
- ◆ Sicuramente più di 3 eV, che corrisponde alla energia massima delle radiazioni luminose : la luce distruggerebbe le molecole
- ◆ Le radiazioni ultraviolette trasportano energie tra 5-10 eV e oltre: le radiazioni UV sono pericolose (le lampade abbronzanti dovrebbero essere proibite!)
- ◆ Raggi X, gamma, particelle alfa, beta, neutroni sono radiazioni pericolose perché trasportano energie elevate
- ◆ Onde radio, microonde non sono pericolose perché non scindono le molecole
- ◆ Campi elettromagnetici degli elettrodotti ... leggende metropolitane

Effetti prodotti dalle microonde

- ◆ Le microonde di una particolare frequenza, intorno a 2.5 GHz, producono il riscaldamento dei corpi contenenti acqua.
- ◆ La molecola d'acqua ha una frequenza di oscillazione tipica intorno a 2.5 GHz
- ◆ Le microonde mettono in oscillazione le molecole d'acqua : agitazione termica
- ◆ Non si ha altro effetto oltre il riscaldamento
- ◆ Ovviamente un riscaldamento eccessivo produce danni all'organismo ... ma anche il riscaldamento prodotto in altri modi porta alle stesse conseguenze.
- ◆ La legislazione riguardante le onde elettromagnetiche è estremamente severa : Campo elettrico e campo magnetico terrestre sono fuori legge !

Radon : rischio percepito e rischio reale

Public health impact and public perception of selected environmental health risks in Italy

Exposure	Disease	Expected cases/year	Public health relevance	Public perception of risk
Radon	Lung cancer*	2.200-5.100 ⁽¹⁾	+++	+
Benzene	Leukaemia**	16-275 ⁽²⁾	++	++
EMF	Leukaemia**	3 ⁽³⁾	+	+++

* Estimated total lung cancer cases per year @ 32.000

** Estimated total leukaemia cases per year @ 5.000

(1) Estimates based on published literature

(2) Italian National Toxicological Committee estimates

(3) WHO, 1997

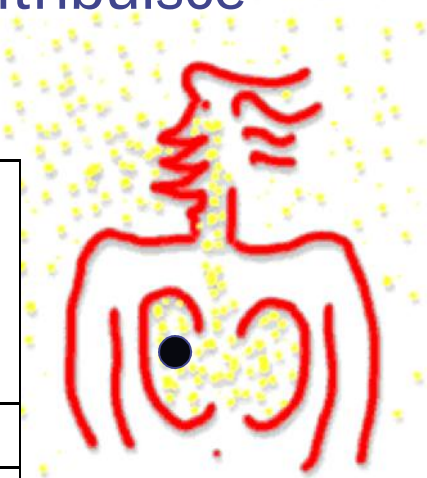
WHO European Centre for Environment and Health, Rome Division



Radon : effetti sulla salute

- ◆ Il principale effetto sanitario è un aumento di rischio di tumore polmonare.
- ◆ il radon rappresenta, dopo il fumo, la seconda causa di morte per tumore polmonare. Esso contribuisce all'incirca al 10% dei tumori polmonari:

	Popolazione	Casi/anno totali di tumori polmonari	Concentrazioni medie annuali Bq/m3	Stima di tumori polmonari attribuiti a Radon
USA	220.000.000	157000	46	15000
UK	57.700.000	40000	20	2000
SVEZIA	8.700.000	3000	100	900
ITALIA	57.100.000	36000	80	4000



Radon : legislazione attuale

- ◆ Direttiva [96/29/EURATOM](#) in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti
- ◆ Il Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 241 impone la misura di concentrazione di Radon in alcuni ambienti sotterranei (gallerie, cunicoli, sottovie, terme ...)
- ◆ Entro 5 anni (il 31/12/2005 ??) le Regioni devono individuare le zone in cui intervenire anche in superficie
- ◆ Quasi tutte le nazioni europee hanno già indicato i livelli di intervento per effettuare le bonifiche :

Radon : i limiti in alcune nazioni

	Limiti Raccomandati		Limiti imposti
	Case esistenti	Case future	
<u>Unione Europea</u>	<u>400</u>	<u>200</u>	
WHO	200 ÷ 600		
Italia	?	?	
Australia	200		
Austria	400	200	
Belgio	400		
Canada	800		
Finlandia	400	200	
Germania	250		1000

Concentrazione di Radon nelle abitazioni Italiane (Indagine ENEA-ISS 1990)

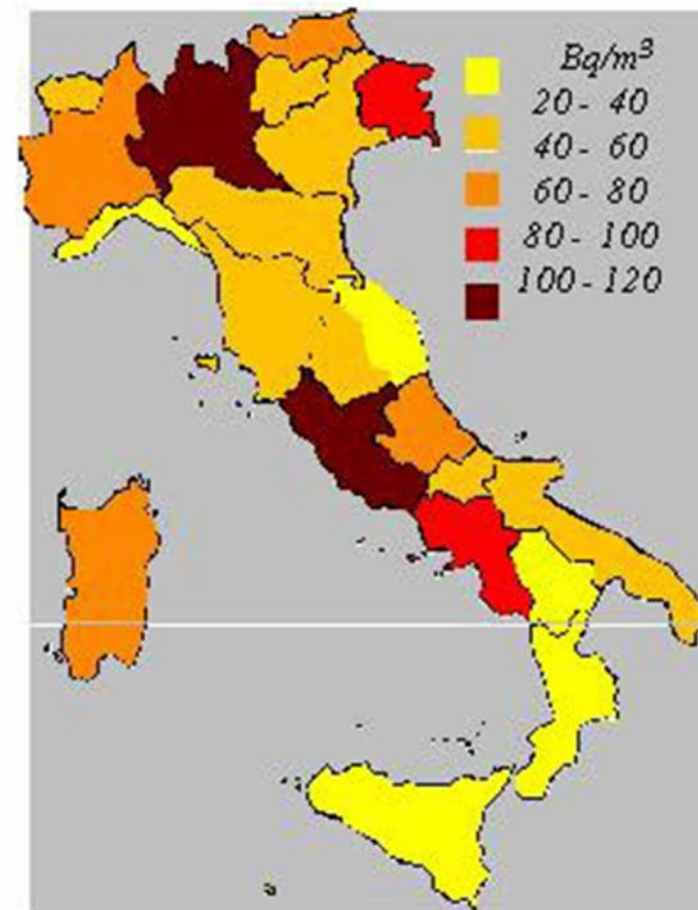
Dati in dagine

No. di abitazioni	5361
No. di città	232
Valore massimo	1036 Bq/m ³
4,1 %	> 200 Bq/m ³
0,9 %	> 400 Bq/m ³

Dati estrapolati

(abitazioni totali $\approx 20.000.000$)

≈ 800.000	> 200 Bq/m ³
≈ 200.000	> 400 Bq/m ³



Strumenti per la rivelazione del Radon

Strumenti attivi o dosimetri passivi ?

1. Lo strumento attivo ha un costo elevato ma fornisce una risposta rapida
2. Il dosimetro passivo ha un costo contenuto ma necessita di strumentazione di laboratorio per la lettura della informazione

I rivelatori a tracce

Solidi inorganici (mica) ; Solidi organici (policarbonato, CR39)

Durante il periodo di esposizione le particelle alfa emesse dal Radon perforano il rivelatore



Con un attacco chimico si allargano i forellini sino a renderli visibili al microscopio



Il CR39 (Poli Allil Diglicol Carbonato)

Vantaggi dei dosimetri a CR39

Economici e di piccole dimensioni

Bassa soglia di rivelazione

Indipendenza della misura dalle condizioni ambientali

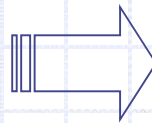


Rivelatori CR39

Rivelatori passivi a tracce nucleari

Elemento sensibile = Materiale Plastico CR39

Misure a lungo periodo



Concentrazione media



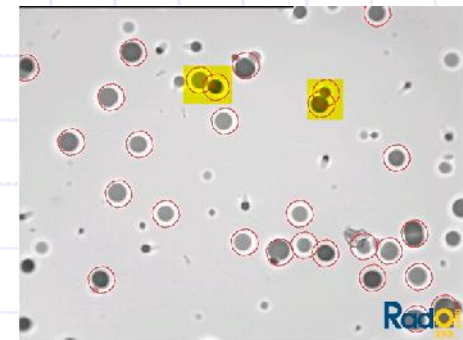
Fotografia dei rivelatori utilizzati



Schema di funzionamento dei rivelatori utilizzati



Esempio di rivelatore con tante tracce (alta concentrazione)



*Il kit CR39 del progetto didattico LABORAD
INFN: collaborazione CA-CT-MI-NA-TS*

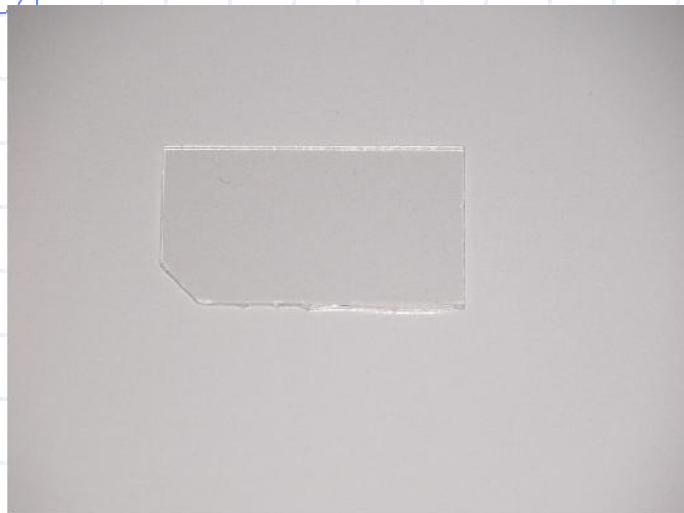
Notate la friggitrice!



Strumenti principali :
microscopio + telecamera USB e
friggitrice (ovvero bagno termostatico)



Il rivelatore è alloggiato sotto il tappo della camera di diffusione



Attacco chimico

Parametri:

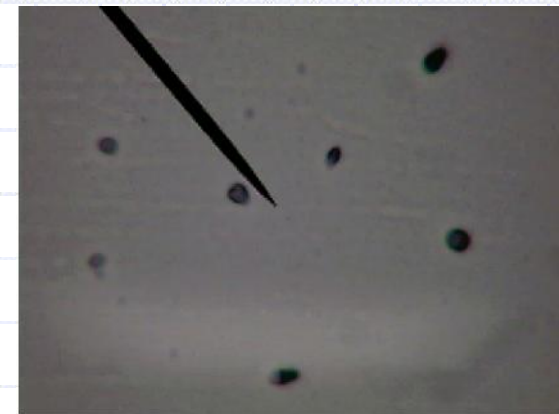
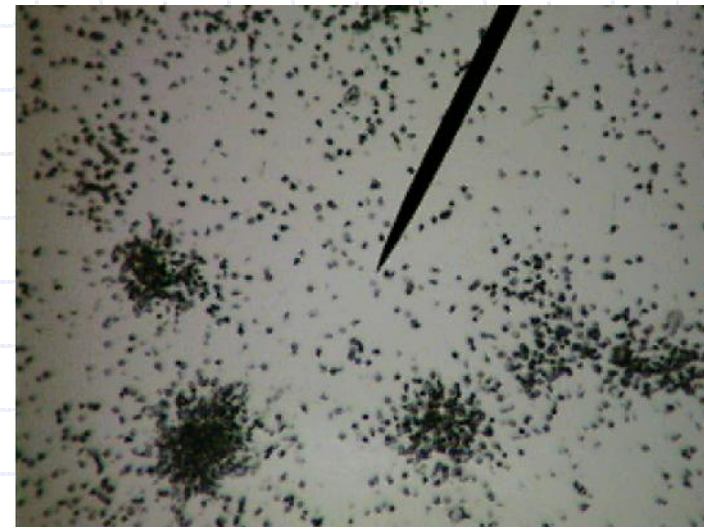
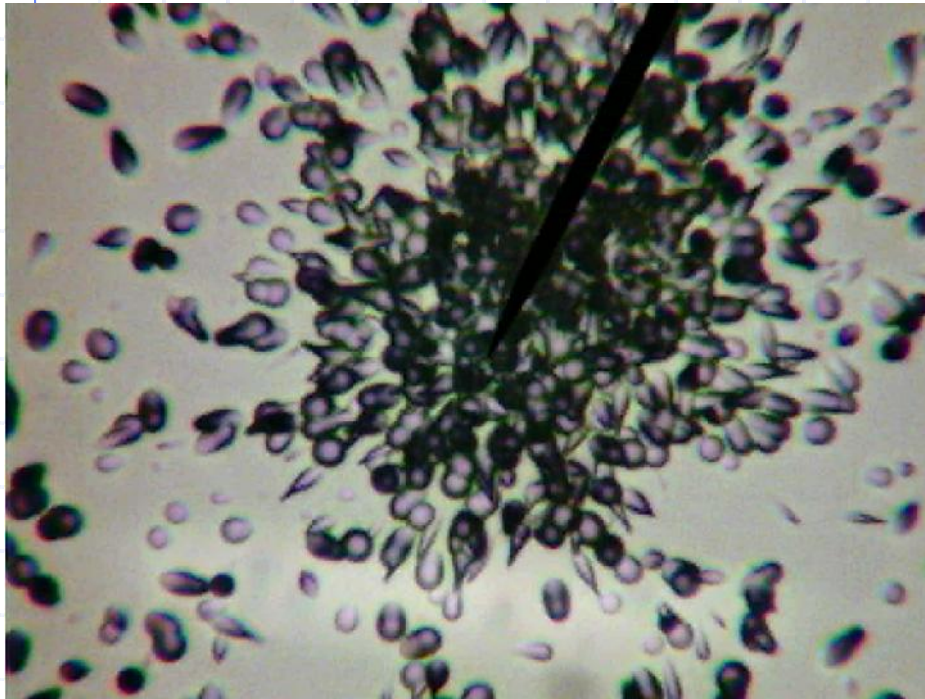
1. Temperatura del bagno termostatico (70 °C – 90 °C)
2. Durata del processo (8h – 5h)

Accessori:

1. Strumento per il bagno termostatico
2. Griglia per dosimetri
3. Soda caustica (NaOH)
4. Contenitore in vetro per la soluzione
5. Occhiali per la sicurezza



Tracce di particelle alfa viste al microscopio a diversi ingrandimenti



La radioattività nei graniti



I campioni e i dosimetri sono a disposizione delle Scuole che ne fanno richiesta

- ◆ Nel progetto Laborad è previsto lo studio della radioattività nei graniti, a solo scopo didattico
- ◆ Vengono forniti alcuni campioni di granito provenienti da varie zone e tagliati a misura
- ◆ La analisi è effettuata con rivelatori CR39 di dimensioni uguali ai campioni
- ◆ Dopo circa una settimana di esposizione si analizzano i rivelatori al microscopio

Ed ecco il risultato

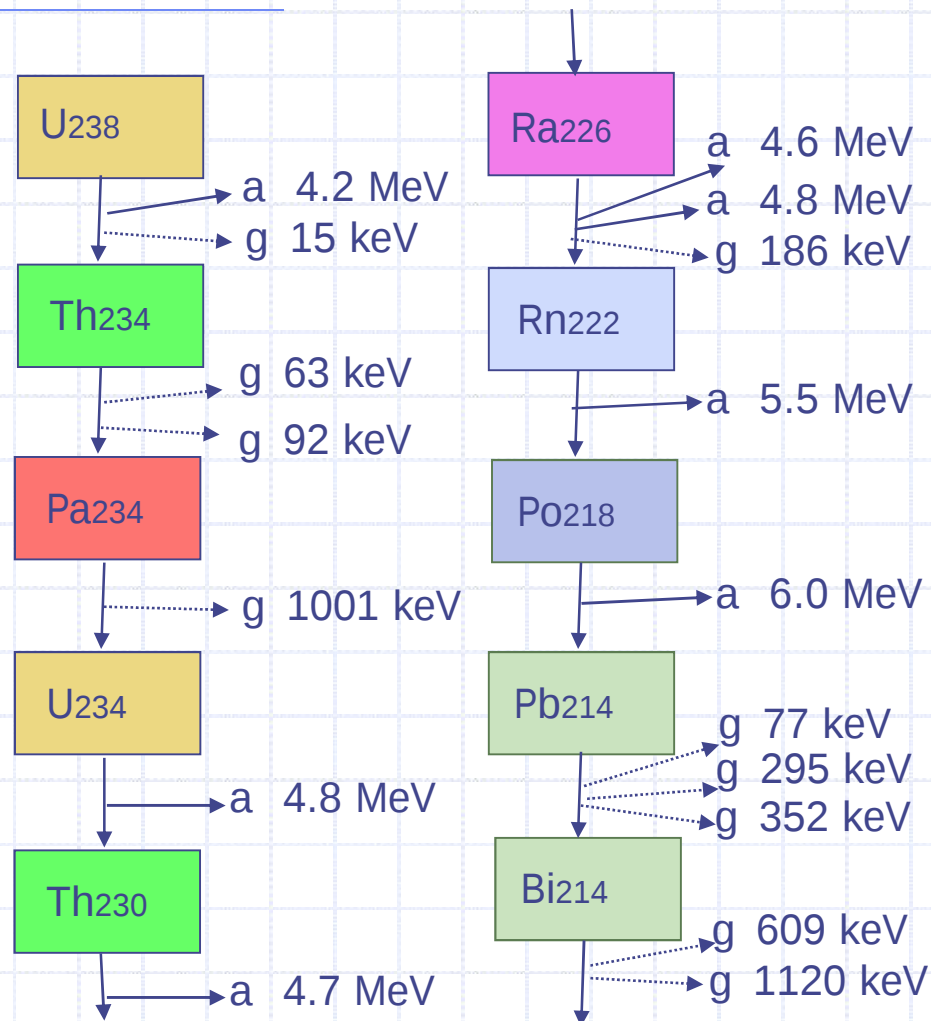


- ◆ Una porzione del campione vista al microscopio
- ◆ Ingrandimento 40 x



- ◆ Sovrapponendo il rivelatore (che è trasparente) al campione di granito si osservano le tracce lasciate dalle particelle alfa
- ◆ Il granulo scuro risulta particolarmente radioattivo

Il segnale emesso dal radioisotopo che decade



- ◆ Ogni radioisotopo che decade emette radiazioni α e/o γ caratteristiche
- ◆ La energia delle particelle α o dei fotoni γ è tipica del radioisotopo e quindi ne consente il riconoscimento
- ◆ Le particelle β hanno energia variabile e sono meno utili nella analisi
- ◆ Gli strumenti più utilizzati sono gli spettrometri α e γ ; la risoluzione è elevata

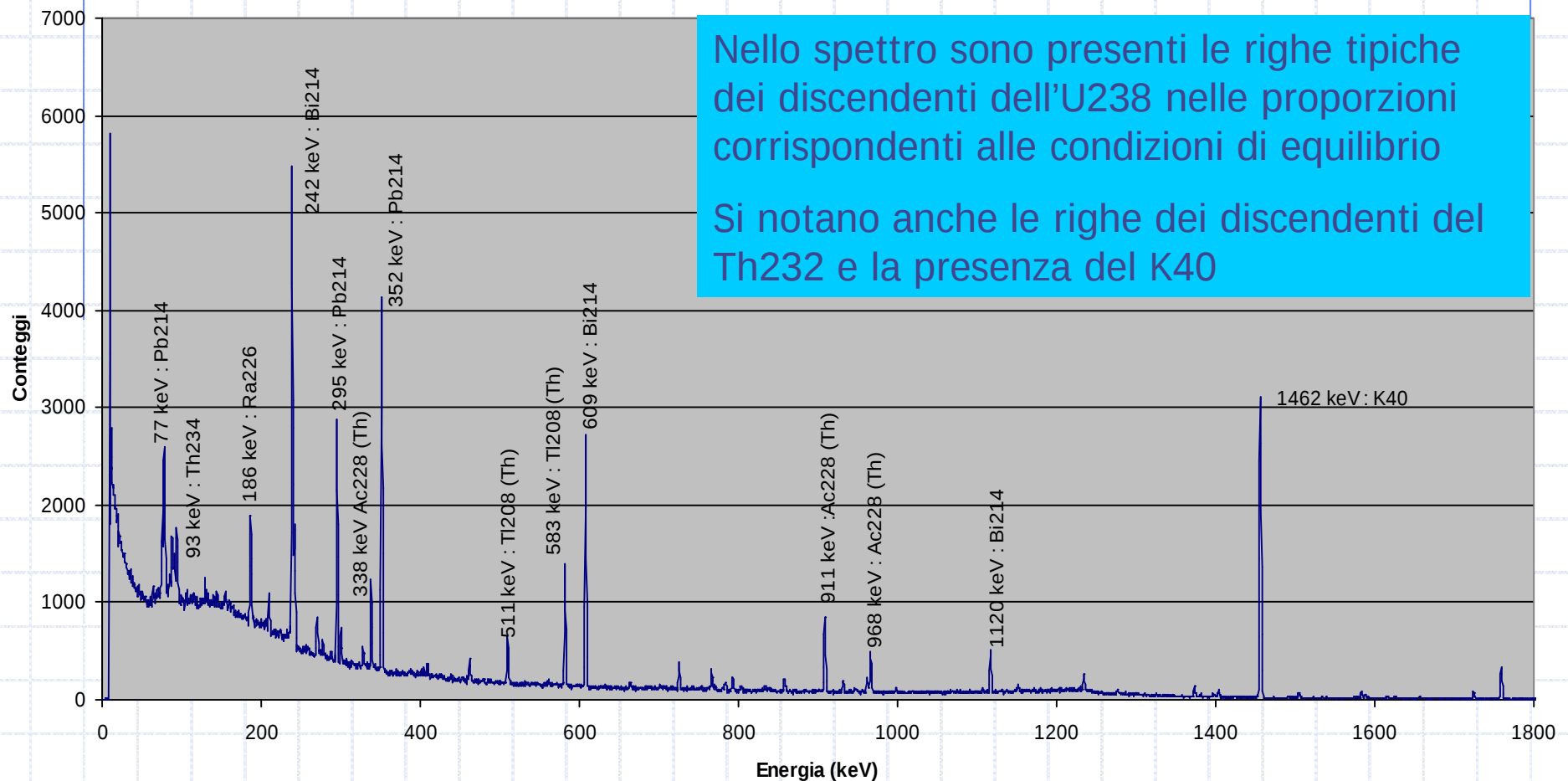
Lo spettrometro γ al Germanio HP



- ◆ Il rivelatore è costituito da un cristallo di Ge di alta purezza che produce un segnale elettrico quando cattura un fotone γ
- ◆ Il segnale ha una altezza proporzionale alla energia del fotone
- ◆ Raccogliendo i segnali e classificandoli in funzione della altezza (o energia) si ha lo spettro γ
- ◆ Il rivelatore deve essere mantenuto a bassa temperatura; un dewar riempito di Azoto liquido mantiene la temperatura del rivelatore a -200°C
- ◆ L'elettronica accessoria fornisce alta tensione (3000 V) e amplifica i deboli segnali. Un elaboratore con scheda di acquisizione crea e visualizza lo spettro
- ◆ Una grossa schermatura evita la rivelazione di segnali provenienti dall'esterno

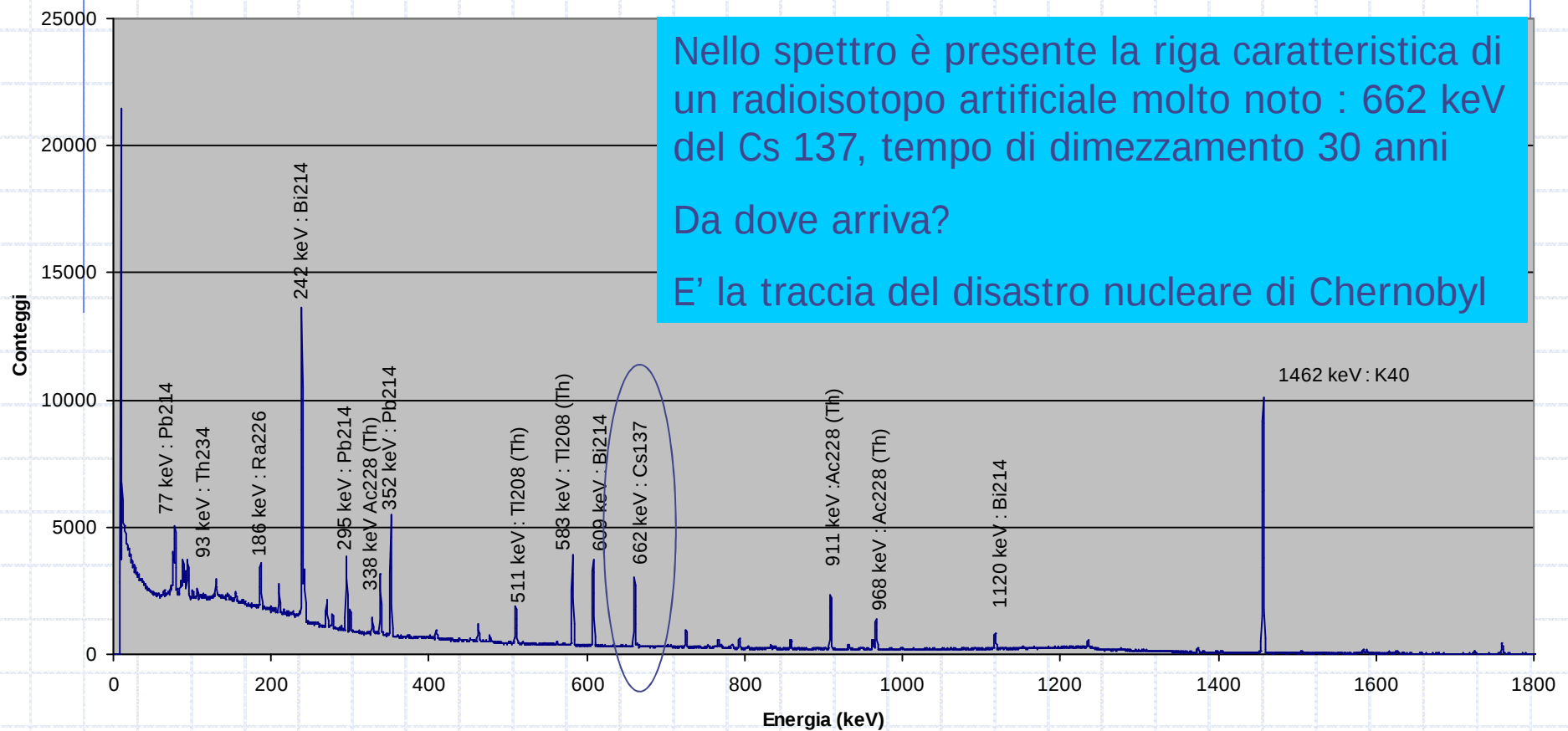
Uno spettro g in condizioni di equilibrio : campione di roccia granitica

Spettro gamma - Roccia campione 1



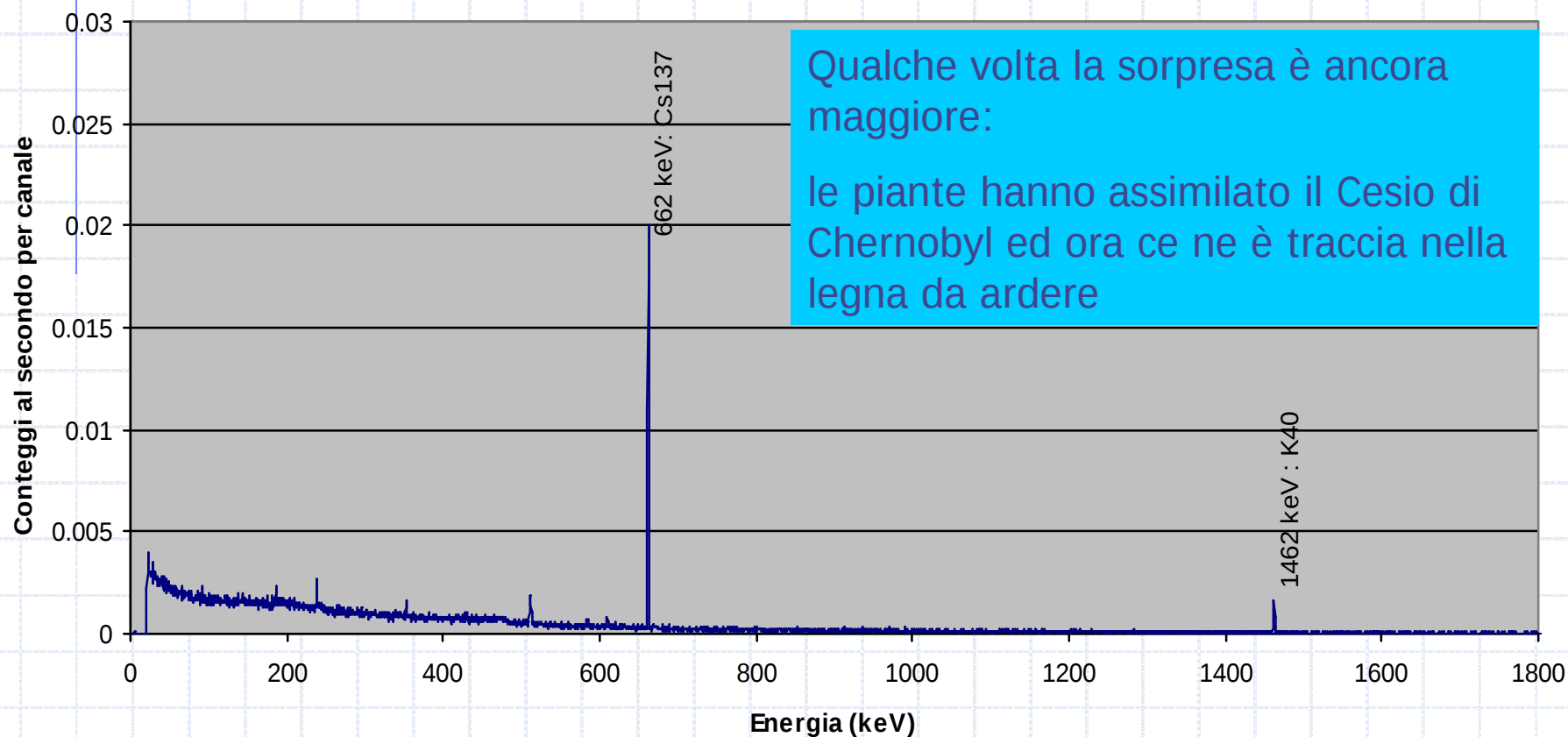
Sorprese con uno spettrometro gamma

Spettro gamma - Terra per datazione TLD

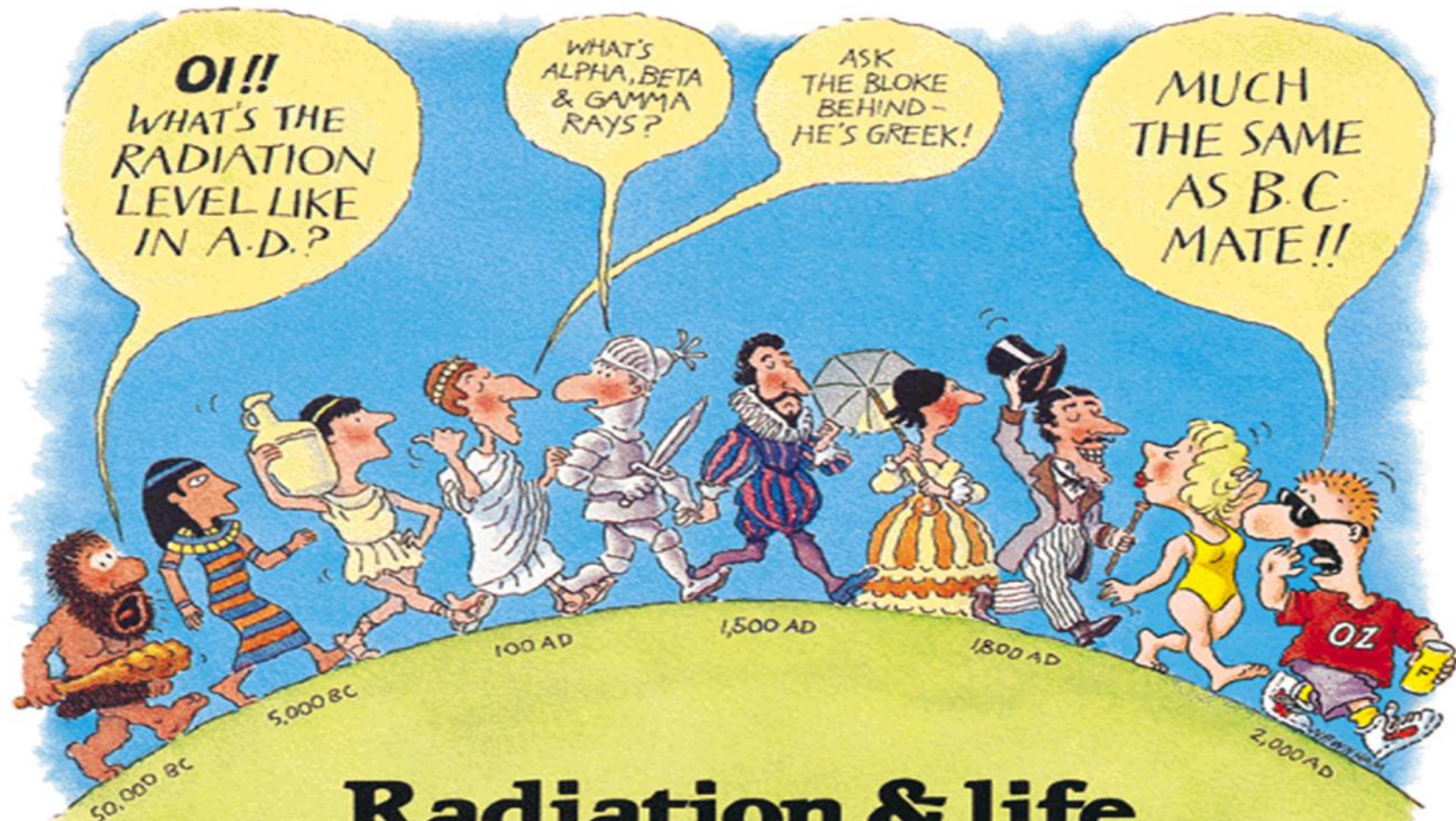


Sorprese con uno spettrometro gamma

Pellets derivati da Faggio provenienza Lituania



Radiazioni e vita



Radiation & life

"Life on earth has developed with an ever present background of radiation. It is not something new, invented by the wit of man; radiation has always been there."

Eric J Hall, Professor of Radiology, College of Physicians and Surgeons, Columbia University, New York. "Radiation and Life".