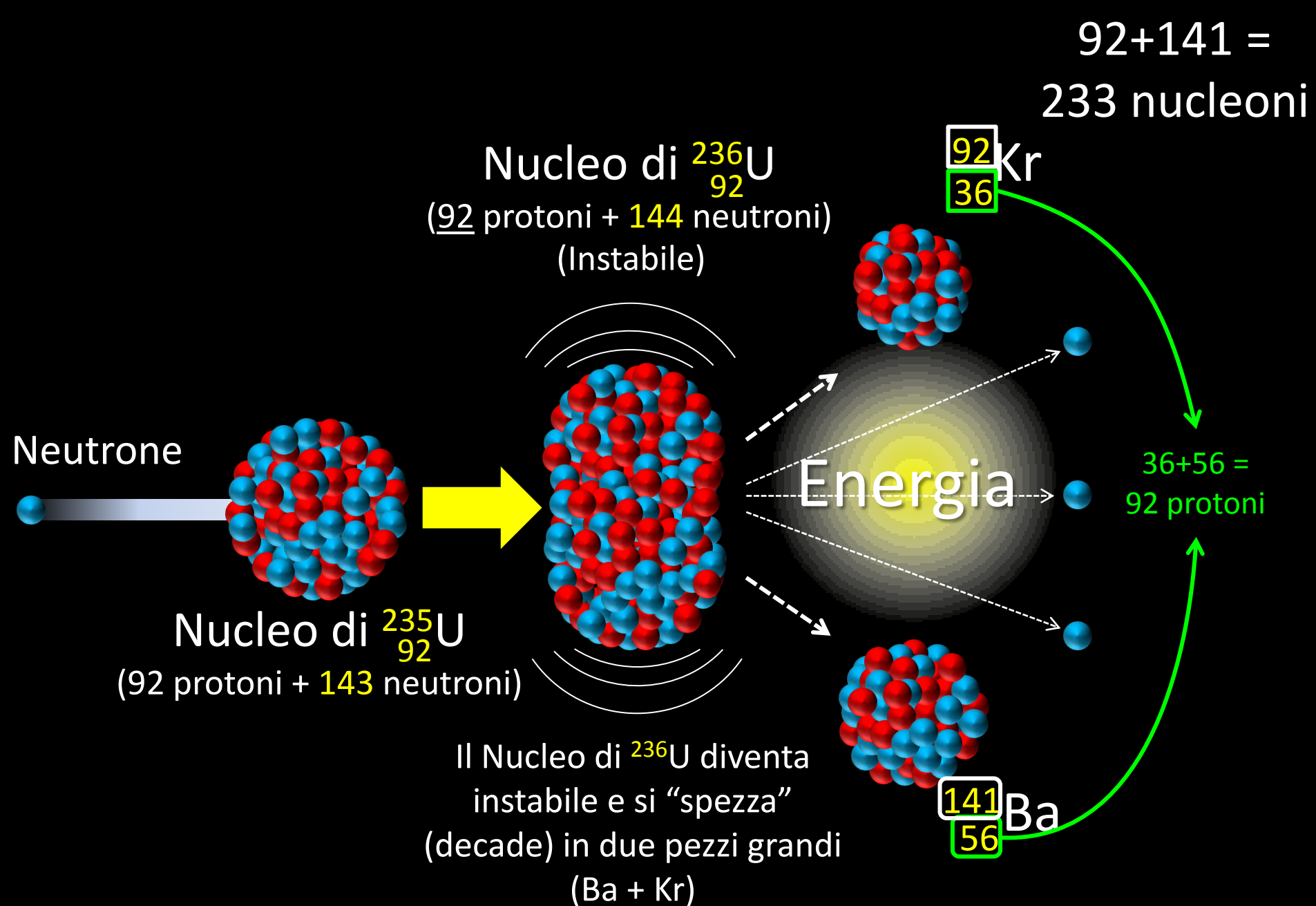


Nel 1942 Hitler è vicino alla vittoria finale.

Il 16 luglio del 1945, dopo la resa della Germania, avviene il primo esperimento con esplosione di una bomba nucleare ad Alamogordo (New Mexico).

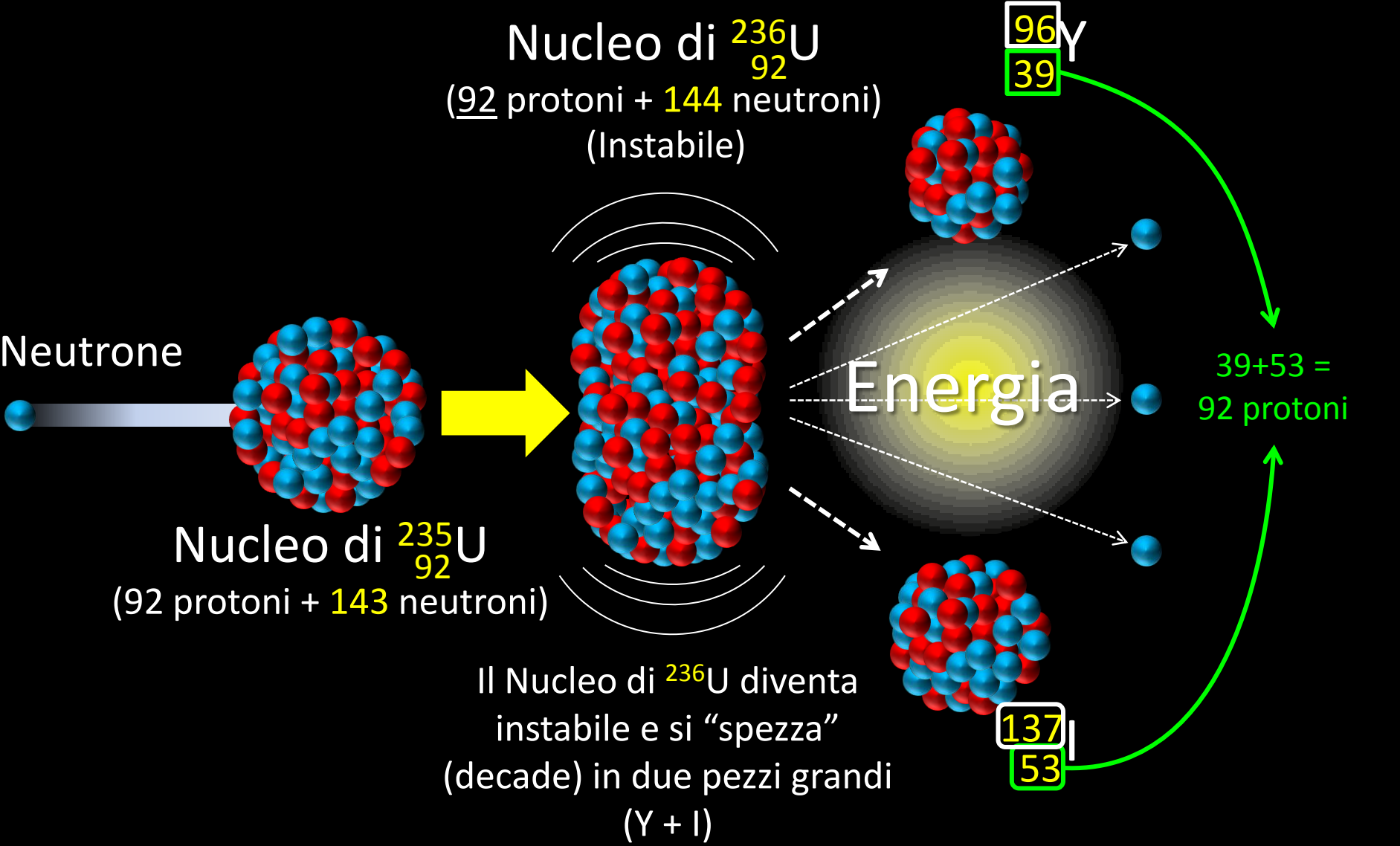
6 e 9 agosto 1945 Hiroshima e Nagasaki





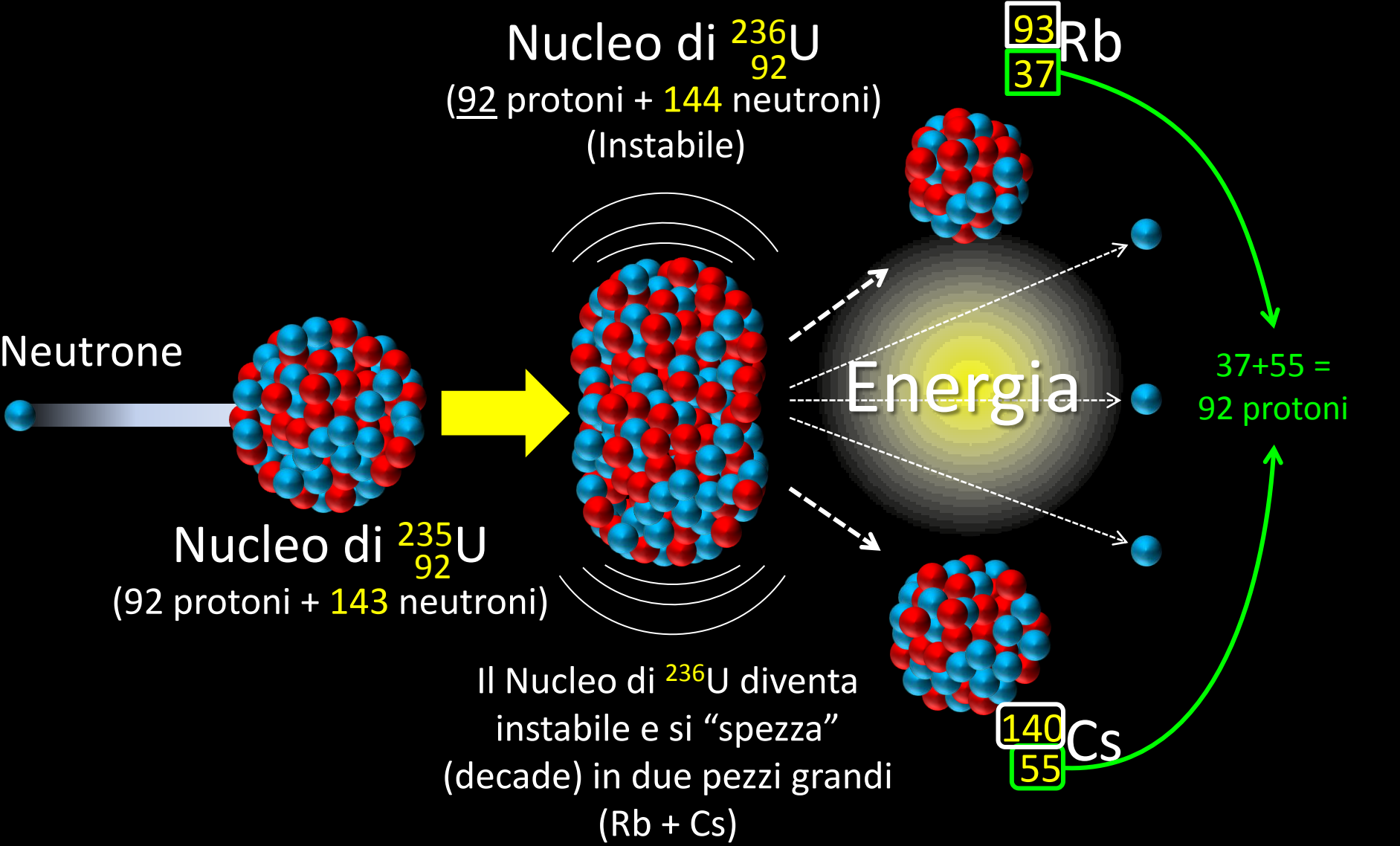
L' ^{235}U colpito da un neutrone può subire fissione in circa 40 modi diversi:

$96+137 = 233$ nucleoni



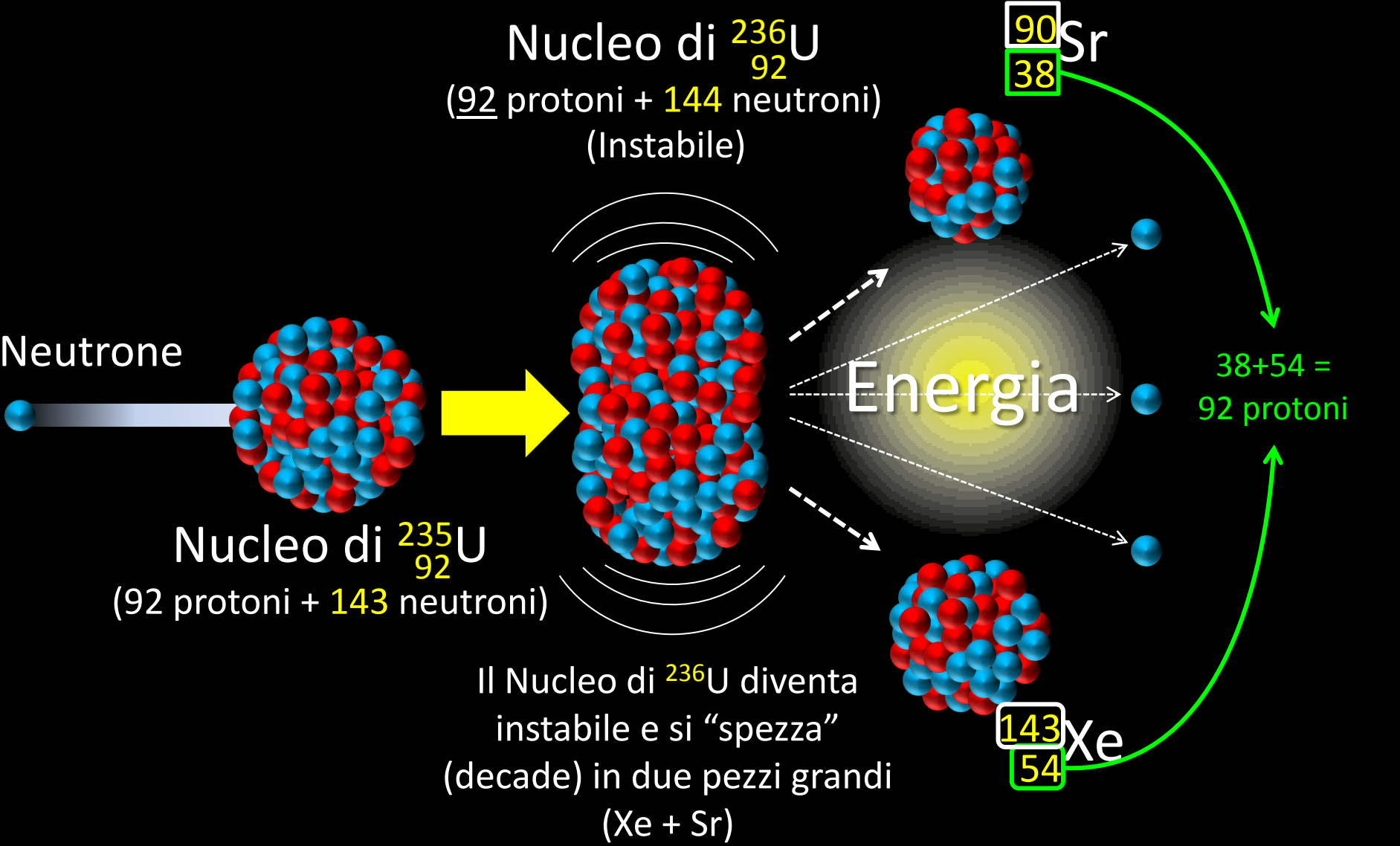
L' ^{235}U colpito da un neutrone può subire fissione in circa 40 modi diversi:

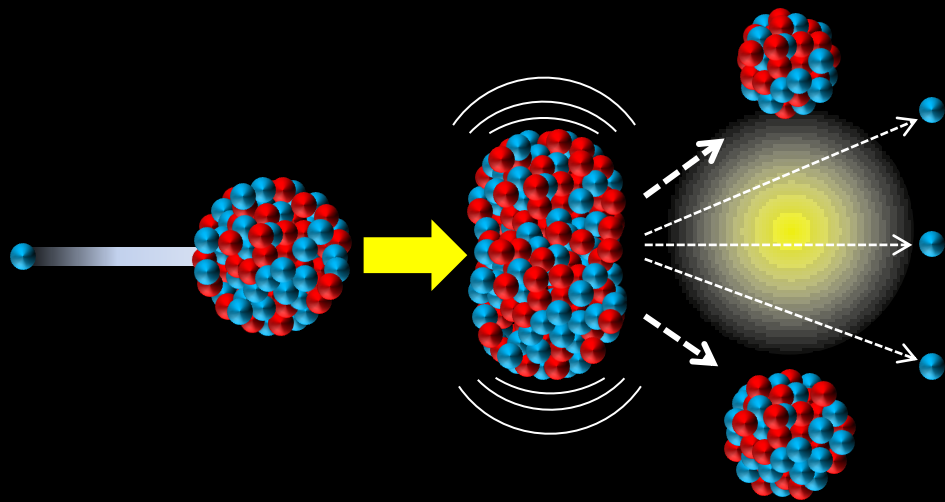
$93+140 = 233$ nucleoni



L'²³⁵U colpito da un neutrone può subire fissione in circa 40 modi diversi:

90+143 =
233 nucleoni



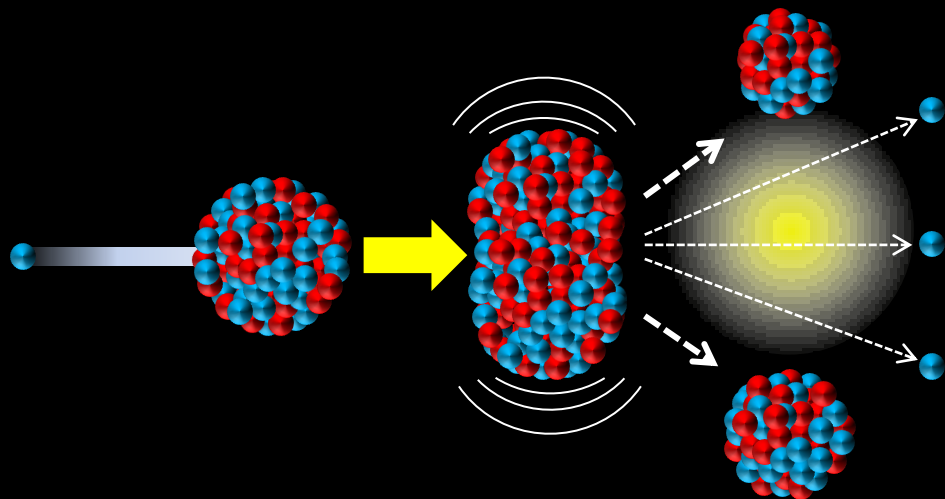


Per ogni atomo di ^{235}U che decade vengono generati tre “proiettili” (neutroni).

Se c'è un sufficiente numero di isotopi di ^{235}U si avranno altri decadimenti e generazione di energia dando origine a quella che viene definita “**Reazione a Catena**”.

Normalmente nell'U normale il contenuto di ^{235}U è molto basso (0,72%). Il 99.28% dell'U è ^{238}U .

Bisogna allora “arricchire” l'U aumentando il quantitativo di ^{235}U , producendo quello che viene definito “**Uranio Arricchito**” con contenuti di ^{235}U che arrivano al 3-5%.



Per ogni atomo di ^{235}U che decade vengono generati tre “proiettili” (neutroni).

Naturale Centrali nucleari

0,7% 3-5%

Bomba nucleare

90%



Bisogna allora “arricchire” l’U aumentando il quantitativo di ^{235}U , producendo quello che viene definito “**Uranio Arricchito**” con contenuti di ^{235}U che arrivano al 3-5%.

Perché l' ^{235}U è fissile?

Perché l' ^{238}U non è fissile?



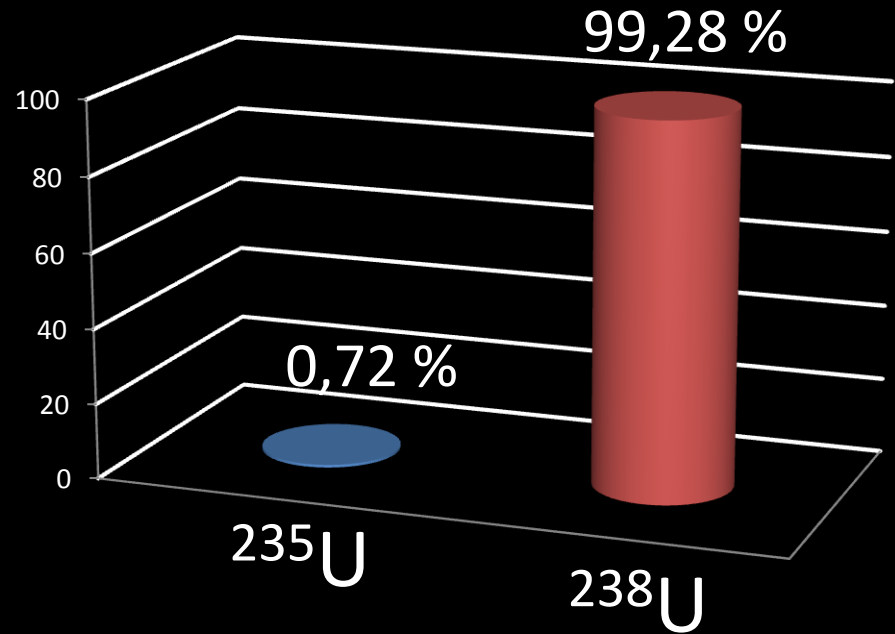
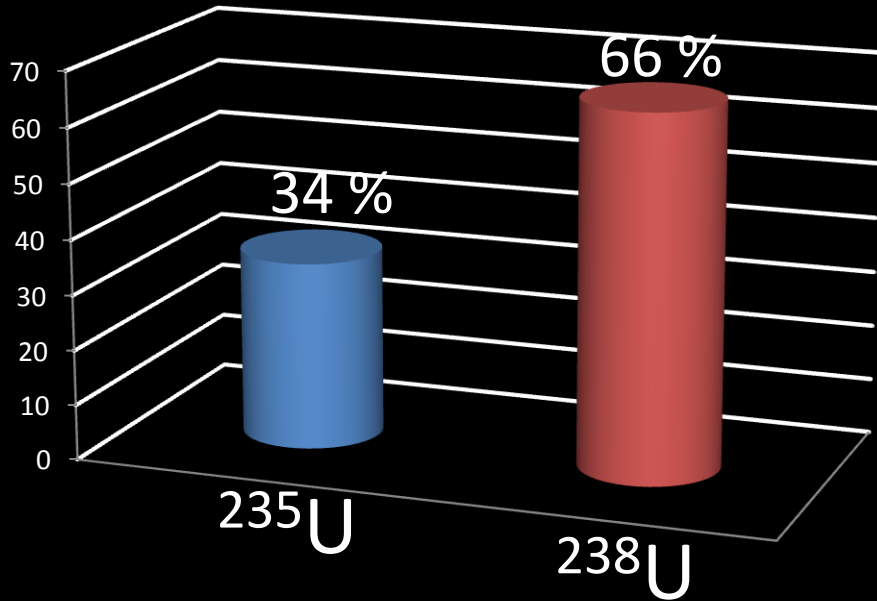
L' ^{235}U è fissile anche quando viene bombardato da neutroni a bassa energia (velocità)

L' ^{238}U diventa fissile solo se bombardato da neutroni a altissima energia (velocità)

Attualmente il rapporto

^{238}U e ^{235}U è:

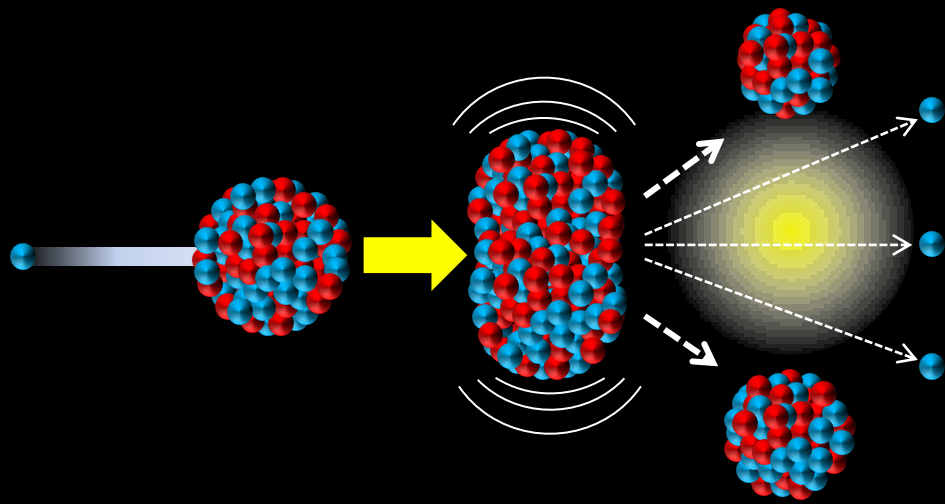
$$^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 138$$



4,56 miliardi di anni fa il rapporto ^{238}U e ^{235}U era:

$$^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 2$$

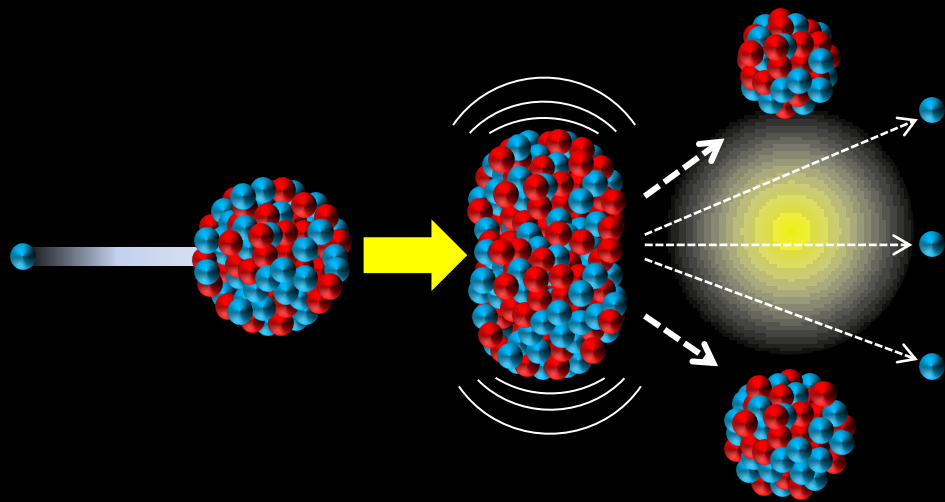
In natura sono esistiti dei reattori nucleari spontanei (es. Oklo, Gabon).



Per ogni atomo di ^{235}U che decade vengono generati tre “proiettili” (neutroni).

Questa “**Reazione a Catena**” deve essere regolata, altrimenti lo sviluppo di energia diventerebbe ingestibile, con rischio di aumento rapido della temperatura e fusione del nocciolo del reattore nucleare.

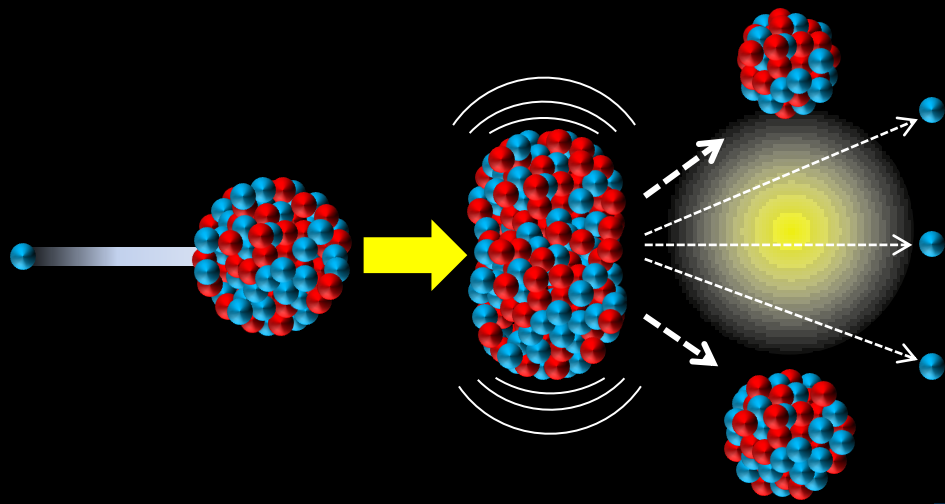
Per questo motivo nei reattori si inseriscono dei cilindri con sostanze (es. cadmio) che possono assorbire i neutroni in eccesso, ritardando e limitando i decadimenti dell' ^{235}U .



Per ogni atomo di ^{235}U che decade vengono generati tre “proiettili” (neutroni).

Inoltre vengono inserite delle barre di grafite per rallentare la velocità dei neutroni (e aumentare quindi la probabilità di uno scontro con un nucleo dell' ^{235}U).

Questa procedura (inserimento di barre di cadmio e grafite) è il principale risultato del gruppo di Enrico Fermi che il 2 dicembre 1942 diede origine alla prima reazione di fissione nucleare controllata della storia
(primo reattore nucleare).



Per ogni atomo di ^{235}U che decade vengono generati tre “proiettili” (neutroni).

Nelle bombe atomiche questa reazione non è limitata e viene generata un'immensa quantità di energia in brevissimo tempo.

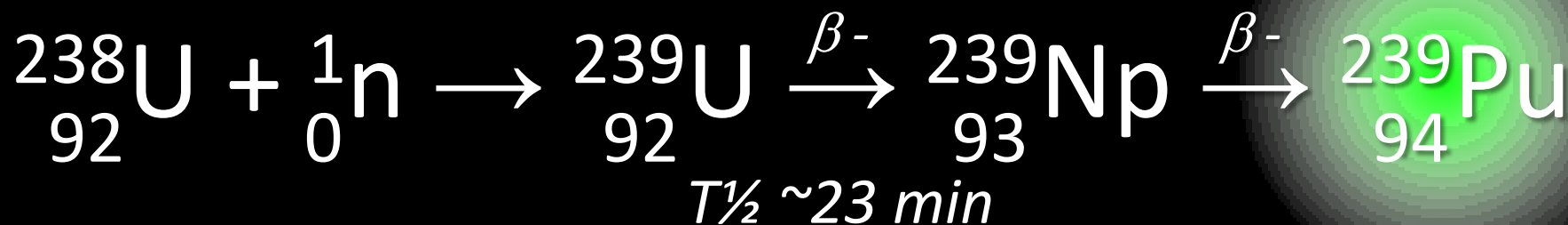


La fissione nell'altro isotopo dell'U (^{238}U), di gran lunga quello più abbondante, avviene solo raramente.

Quindi circa il 95-98% dell'U delle centrali nucleari non sviluppa calore (quindi energia elettrica).

Inoltre il bombardamento con neutroni (derivati dalla fissione dell' ^{235}U) produce

gravi effetti collaterali:

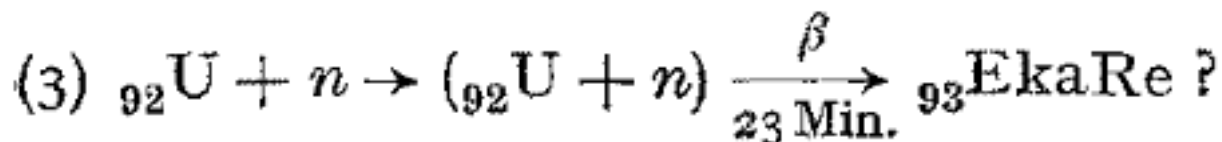


Questa era la radioattività osservata da Hahn, Meitner e Strassman nel 1938. Nessuno di loro capì a quale isotopo fosse associata.

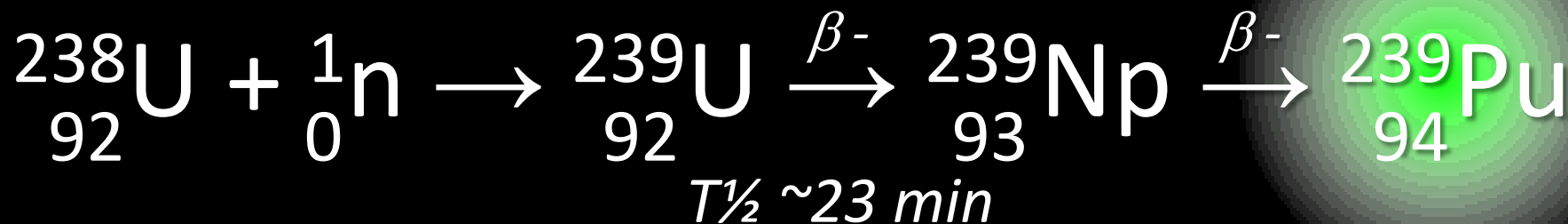
Una nuova trasformazione in un prodotto durevole nella serie transuranica

Ein neues langlebiges Umwandlungsprodukt in den Trans-Uranreihen¹.

Von O. HAHN, L. MEITNER und F. STRASSMANN, Berlin-Dahlem.



In pratica il gruppo aveva già identificato il primo elemento transuranico (${}^{239}\text{Np}$), ma non approfondì lo studio.



Questa era la radioattività osservata da Hahn, Meitner e Strassman nel 1938. Nessuno di loro capì a quale isotopo fosse associata.

Il Plutonio è quindi un elemento prodotto dall'uomo, come tutti gli elementi "transuranici" ossia con >92 protoni.

Il ^{239}Pu è un isotopo più fissile dell' ^{235}U .

Il ^{239}Pu ha una bassa probabilità di fissione spontanea (10 fissioni al secondo/kg). Questo lo rende un metallo **relativamente stabile**.

Il ^{240}Pu (ossia il ^{240}Pu che ha assorbito un neutrone) ha una elevatissima probabilità di fissione spontanea (415.000 fissioni al secondo/kg). Questo lo rende **altamente instabile** (e pericoloso da maneggiare).

Circa $2/3$ dell'energia prodotta nelle centrali nucleari proviene dalla fissione dell' ^{235}U , mentre $1/3$ proviene dalla fissione del ^{239}Pu .

Il Plutonio è quindi un elemento prodotto dall'uomo, come tutti gli elementi "transuranici" ossia con >92 protoni.

Grosso dilemma con il Plutonio:

Per ottimizzare l'uso dell' ^{235}U fissile bisogna tenere le barre di U molto tempo nelle centrali nucleari.

Elevato tempo = elevato flusso di neutroni = elevata probabilità che il ^{239}Pu (prodotto dall' ^{238}U) si trasformi in ^{240}Pu (quasi impossibile da maneggiare).

Per questo motivo si preferisce di sostituire le barre di U anche quando ci sarebbe altro ^{235}U da utilizzare.

Il Plutonio è quindi un elemento prodotto dall'uomo, come tutti gli elementi "transuranici" ossia con >92 protoni.

Grosso dilemma con il Plutonio:

Più o meno quello che succede con il Thè



Il Plutonio è quindi un elemento prodotto dall'uomo, come tutti gli elementi "transuranici" ossia con >92 protoni.

Il ^{239}Pu si trasforma, tramite radiazione α , in ^{235}U .

Nelle centrali nucleari il ^{239}Pu viene quindi continuamente prodotto e continuamente bruciato.

In pratica viene prodotta energia da: ^{235}U originale + ^{239}Pu (ottenuto dal ^{238}U) + ^{235}U (ottenuto dal ^{239}Pu).

Il Pu da scoria radioattiva potrebbe addirittura essere rivalutato in combustibile nucleare (MOX = Mixed Oxide).

Le scorie nucleari sono tipicamente costituite da:
1% ^{235}U , 95% ^{238}U , 1% ^{239}Pu , 3% altri prodotti di fissione.

Il Plutonio è quindi un elemento prodotto dall'uomo, come tutti gli elementi "transuranici" ossia con >92 protoni.

La priorità degli americani cambiò nel 1941:

Da prodotto di scarto il ^{239}Pu divenne l'elemento più richiesto e ricercato per la costruzione della bomba nucleare.

La produzione di energia elettrica nelle centrali nucleari che usavano U divenne un sottoprodotto della produzione di ^{239}Pu .

Glenn Theodore Seaborg fu il primo a isolare il ^{239}Pu (Nobel 1951) per la costruzione di un altro tipo di bomba nucleare. Scoprì (creò) dieci elementi transuranici.



1912-1999

Il Plutonio è quindi un elemento prodotto dall'uomo, come tutti gli elementi "transuranici" ossia con >92 protoni.

Lo scienziato tedesco **Werner Heisenberg** (premio nobel in fisica a 31 anni) scrisse nel 1942 a una platea di ufficiali nazisti:

"In the transmutation of the uranium in the machine [reattore], a new substance comes into existence, element 94, which is very probably, just like ^{235}U , an explosive of equally unimaginable force. This substance is much easier to obtain from Uranium than ^{235}U , however, since it can be separated from Uranium by chemical means".



Il Plutonio è quindi un elemento prodotto dall'uomo, come tutti gli elementi "transuranici" ossia con >92 protoni.

Il Plutonio è utilizzato anche negli ordigni nucleari, perché è più facile produrre ^{239}Pu che ^{235}U .

La bomba che distrusse Nagasaki il 9 agosto 1945 era una bomba al Pu.

Conteneva 6 kg di ^{239}Pu in un volume di una lattina di Coca-Cola.



Fat Man

Il Plutonio è quindi un elemento prodotto dall'uomo, come tutti gli elementi "transuranici" ossia con >92 protoni.

Il Plutonio è utilizzato anche negli ordigni nucleari, perché è più facile produrre ^{239}Pu che ^{235}U .

La bomba che distrusse Nagasaki il 9 agosto 1945 era una bomba al Pu.

Conteneva 6 kg di ^{239}Pu in un volume di una lattina di Coca-Cola.

1 mg di ^{239}Pu = tumore al polmone.

Sei milioni di casi.

I vari esperimenti nucleari hanno rilasciato ~10 Ton di Pu nell'atmosfera.

Il Plutonio è quindi un elemento prodotto dall'uomo, come tutti gli elementi "transuranici" ossia con >92 protoni.

Le centrali nucleari hanno prodotto fino ad ora ~2500 Ton di Pu.

Poi ci sono ~150 Ton di Pu di qualità militare (^{239}Pu estremamente puro).

1 mg di ^{239}Pu = tumore al polmone.

Sei milioni di casi.

I vari esperimenti nucleari hanno rilasciato ~10 Ton di Pu nell'atmosfera.

Cosa fa avvenire la detonazione di una bomba all'U o al Pu?

1) Presenza di un emettitore di neutroni

2) Raggiungimento della massa critica

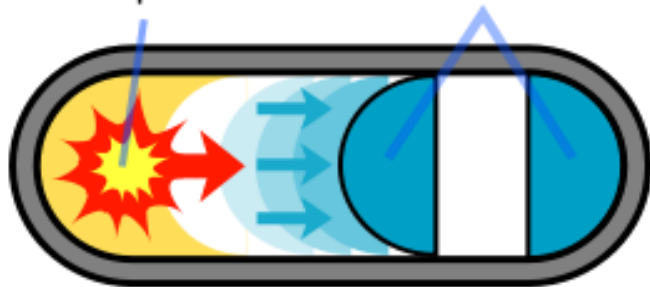
Perché avvenga una reazione a catena i neutroni generati da una fissione devono poter colpire altri atomi fissili (^{235}U o ^{239}Pu).

→ si deve raggiungere una massa che è di poco superiore alla distanza media percorsa dai neutroni.

Come si fa a far esplodere la bomba solo in un particolare momento?

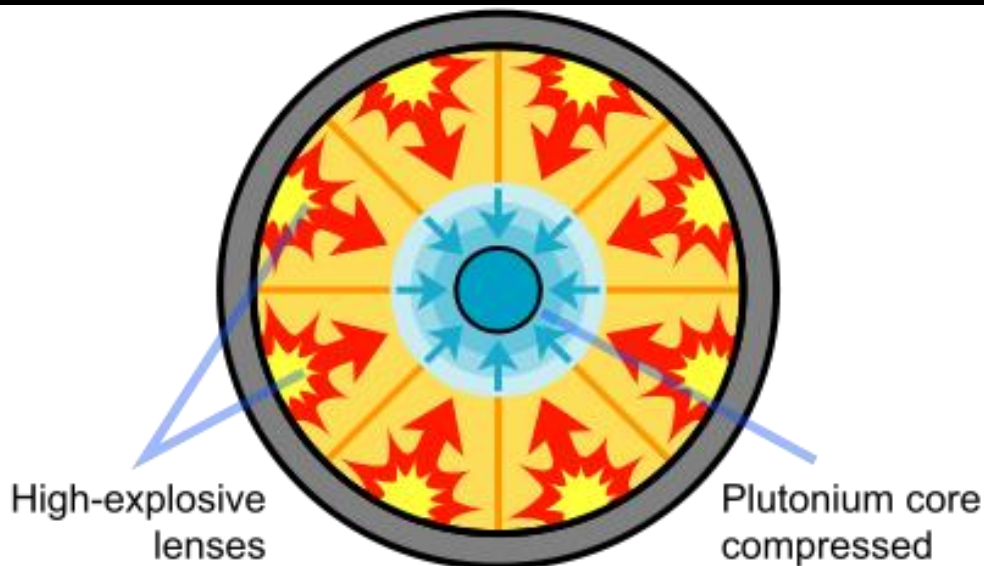
Cosa fa avvenire la detonazione di una bomba all'U o al Pu?

Conventional chemical explosive Sub-critical pieces of uranium-235 combined



Gun-type assembly method

<http://nuclearweaponarchive.org/Nwfaq/Nfaq8.html#nfaq8.1.1>



Implosion assembly method

Nel momento dell'esplosione il volume aumenta e si scende sotto la massa critica.

~il 98% dell' ^{235}U e ~l'80% del ^{239}Pu nelle bombe di Hiroshima e Nagasaki non si è fissato.

Il Plutonio è quindi un elemento prodotto dall'uomo, come tutti gli elementi “**transuranici**” ossia con >92 protoni.

Le nuove centrali nucleari (se mai verranno costruite) utilizzeranno i prodotti di scarto delle attuali centrali: ^{239}Pu e ^{238}U .

Al momento attuale le centrali nucleari utilizzano circa l'1-3% dell'U inserito.

Il quantitativo di ^{238}U e ^{239}Pu accumulato in 60 anni di energia nucleare potrebbe generare energia per migliaia di anni, senza dovere estrarre nuovo U.

Da dove proviene l'energia associata
alle radiazioni emesse dagli isotopi
radioattivi?

$$E = mc^2$$

Durante la trasformazione una parte della loro
massa (m) viene convertita in energia (E).

La differenza di massa tra l'isotopo radioattivo e i
prodotti del decadimento (altri isotopi di altri
elementi) è piccolissima, ma va moltiplicata per il
quadrato della velocità della luce ($\sim 300.000.000$ m/s).

Da dove proviene l'energia associata
alle radiazioni emesse dagli isotopi
radioattivi?

$$E = mc^2$$

Questa energia viene trasformata in

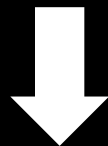
CALORE

aumentando la temperatura (ossia l'energia
cinetica media degli atomi dei corpi).



Il deficit di massa tra l' ${}^{236}\text{U}$ e la somma dei due isotopi ${}^{141}\text{Ba}$ e ${}^{92}\text{Kr}$ è circa il **20% della massa del protone.**

Come si calcola l'energia liberata dalla fissione di un singolo atomo di ${}^{235}\text{U}$?

$$E = mc^2 = \underbrace{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}_{\text{Massa del protone}} * \underbrace{(300 \cdot 10^6 \text{ m/s})^2}_{\text{Velocità della luce}} = 1,50 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$


$$\text{Il 20\% di } 940 \text{ MeV} = 188 \text{ MeV} \qquad = 940 \text{ MeV}$$

La fissione di ogni atomo di ${}^{235}\text{U}$
genera $\sim 200 \text{ MeV}$

*Energia del
protone*

Un altro modo per produrre energia dall'atomo è l'opposto della fissione:
la **FUSIONE NUCLEARE**

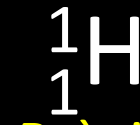
Siamo già riusciti a produrre energia dal processo di fusione nucleare sin dal 1952.

Purtroppo questa energia non è ancora ben governabile e al momento è stata utilizzata solo nelle bombe all'idrogeno (o bombe termonucleari).

Per innescare una bomba H ci vuole
al suo interno come innesco una
bomba al ^{239}Pu .

La bomba all'H è costituita da deuteriuro di litio (LiH).

L'idrogeno ha tre isotopi:



Pròzio
99,988%

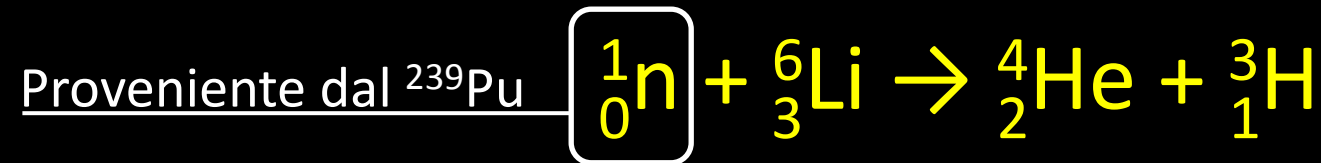


Deuterio
0,011%

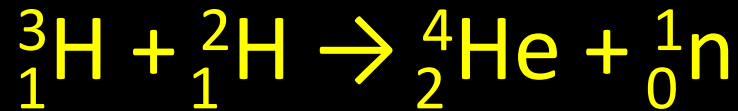


Trizio
Prodotto in laboratorio

Viene prima innescata la fissione del ${}^{239}\text{Pu}$, che libera una grande quantità di neutroni. Questi poi:



Il trizio generato si fonde poi con il deuterio (del deuteriuro di litio) generando energia e altri neutroni:



Questi neutroni sono molto energetici e possono attivare anche l' ${}^{238}\text{U}$, producendo ulteriore energia.

In pratica si parte da una reazione di fissione, si produce una reazione di fusione la quale genera altre reazioni di fissione.

Come ci si può difendere dalle radiazioni ionizzanti?

1) Minimizzando il tempo di esposizione.

Esempio (sbagliato) abbronzatura/ustione.

2) Aumentando la distanza dalla sorgente.

Inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

@ 1 m = 100 rad.

@ 2 m = $100/4 = 25$ rad.

@ 5 m = $100/25 = 4$ rad.

3) Schermendo la sorgente.

Es. islandola in contenitori di Pb.

Come si misura quanto sono (radio)attivi gli elementi?

1) % di isotopi instabili in un certo elemento.

Solo lo 0.012% del K è radioattivo (^{40}K)

Il 100% del Th è radioattivo (^{232}Th)

2) Dipende dalla velocità del decadimento.

Più breve è il tempo di dimezzamento, maggiore è il numero degli atomi che decadono nell'unità di tempo (ma più presto scompare).

3) Dipende dalla massa dell'isotopo.

Maggiore è la massa, minore è il numero di isotopi che si trasforma per unità di massa.

4) Tipo di radiazione emessa.

Le particelle α e β e le radiazioni γ hanno diverso potere di penetrare la materia.

Effetti delle radiazioni ionizzanti:

- Danni deterministici (*early effects*).
- Danni stocastici (*late effects*).

Danni deterministici

Effetti che si verificano solo a partire da una certa soglia di esposizione, generalmente elevata (es. abbronzatura → ustione solare).

Effetti che si verificano dopo poco l'esposizione (*early effects*).
Si riscontrano per dosi $>0,25$ Sv tramite test del sangue (emogramma).

Per dosi >1 Sv i sintomi sono evidenti.

*1000-1500 volte la
dose annuale media
totale*

Per dosi >5 Sv le possibilità di vita sono il 50% (dose letale).

Per dosi >7 Sv è morte sicura.

Effetti delle radiazioni ionizzanti:

- Danni deterministici (*early effects*).
- Danni stocastici (*late effects*).

Danni stocastici

Effetti per i quali non esiste una soglia di pericolosità.

Es. in un ambiente con elevate dosi di radiazione è più probabile ammalarsi di tumore.

Gli effetti si possono registrare anche dopo molti anni e non tutta la popolazione risponde allo stesso modo.

Ancora non si riesce a quantificare questo tipo di danni.

Effetti delle radiazioni ionizzanti:

- Danni deterministici (*early effects*).
- Danni stocastici (*late effects*).

Danni stocastici

Il rischio di cancro per una dose di 10 mSv è 0,05%

↳ Cinque persone ogni 10.000 esposte a questa dose svilupperanno il cancro.

Questo è lo stesso rischio di mortalità di morire cadendo dalle scale (5 ogni 10.000 persone).

Come paragone, la statistica dice che 16 persone ogni 10.000 moriranno in un incidente di auto.

Negli USA, la statistica dice che 28 persone ogni 10.000 moriranno in un incidente con armi da sparo.

Effetti delle radiazioni ionizzanti:

- Danni deterministici (*early effects*).
- Danni stocastici (*late effects*).

Danni stocastici

Modo di ragionamento dell'approccio stocastico:

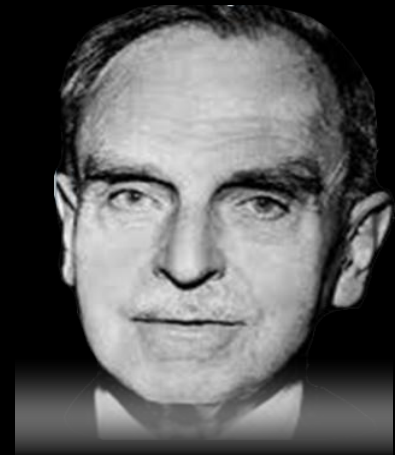
Un'aspirina può far bene.

100 aspirine prese da una sola persona ne causano la morte.

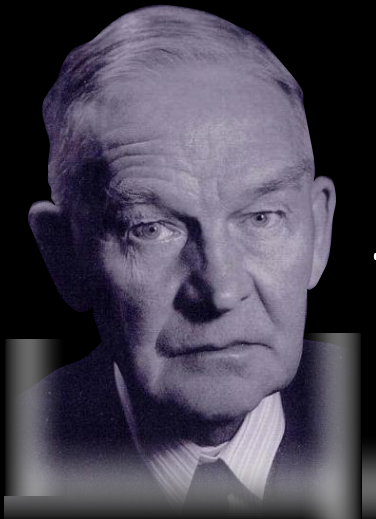
100 aspirine prese da 100 persone causeranno la morte in una di queste?



Marie Curie muore a
67 anni



Otto Hahn muore a
89 anni

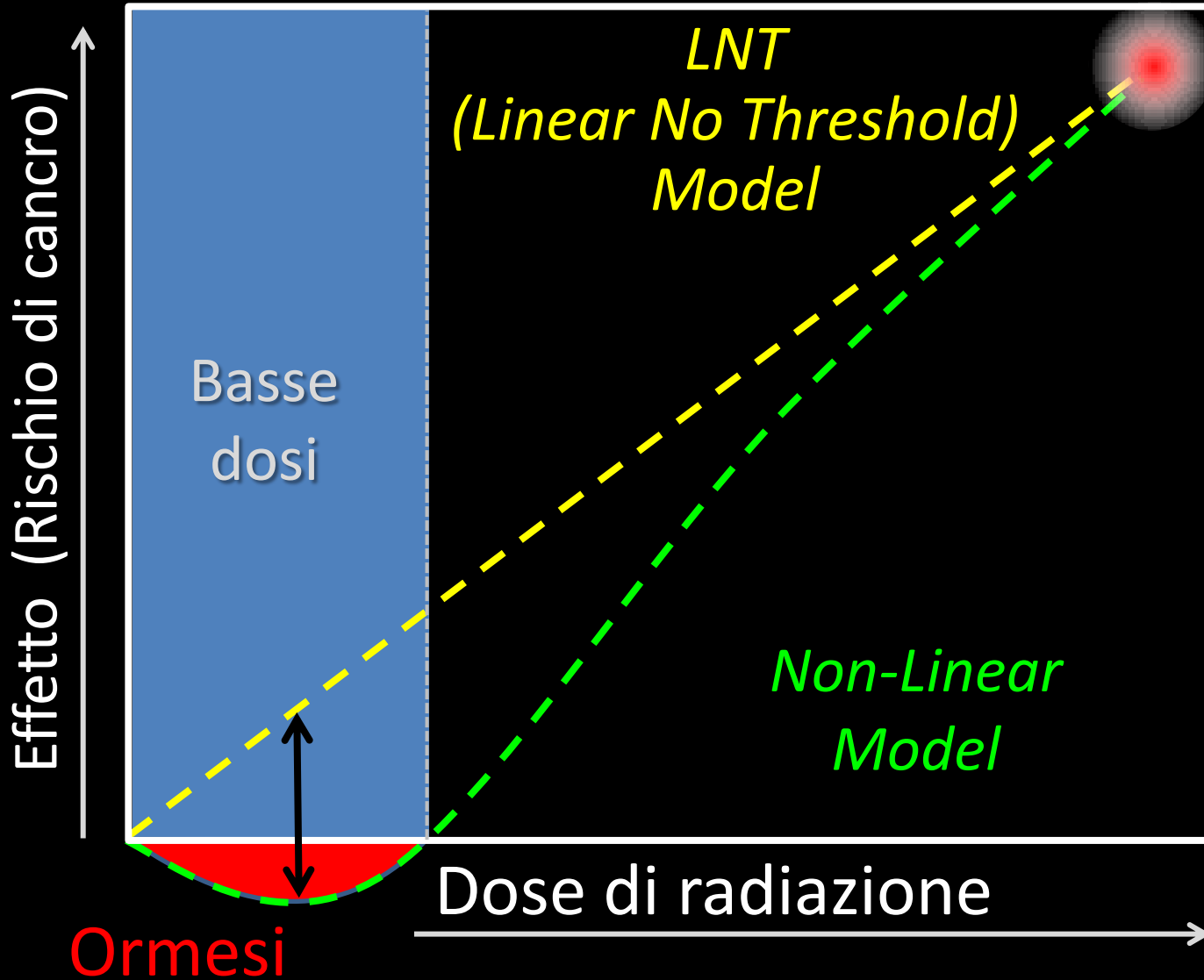


Frederick Soddy muore a
79 anni



Lise Meitner muore a
90 anni

Due modelli per gli effetti delle radiazioni ionizzanti:



A dosi elevate
i modelli
convergono

Gli effetti dei
due modelli
differiscono di
molto a basse
dosi

EFFECTS OF COBALT-60 EXPOSURE ON HEALTH OF TAIWAN RESIDENTS SUGGEST NEW APPROACH NEEDED IN RADIATION PROTECTION

W.L. Chen □ National Yang-Ming University, 155 Li-Nong Street, Sec. 2, Pei-tou, 112 Taipei, Taiwan

□ The conventional approach for radiation protection is based on the ICRP's linear, no threshold (LNT) model of radiation carcinogenesis, which implies that ionizing radiation is always harmful, no matter how small the dose. But a different approach can be derived from the observed health effects of the serendipitous contamination of 1700 apartments in Taiwan with cobalt-60 ($T_{1/2} = 5.3$ y). This experience indicates that chronic exposure of the whole body to low-dose-rate radiation, even accumulated to a high annual dose, may be beneficial to human health. Approximately 10,000 people occupied these buildings and received an average radiation dose of 0.4 Sv, unknowingly, during a 9-20 year period.

They did not suffer a higher incidence of cancer mortality, as the LNT theory would predict. On the contrary, the incidence of cancer deaths in this population was greatly reduced—to about 3 per cent of the incidence of spontaneous cancer death in the general Taiwan public. In addition, the incidence of congenital malformations was also reduced—to about 7 per cent of the incidence in the general public. These observations appear to be compatible with the radiation hormesis model. Information about this

Dose di radiazioni assorbita:

Rapporto tra energia assorbita da un corpo (misurata in J) e la massa del corpo (misurata in kg).

$J/Kg = Gy$ **Gray** DOSE ASSORBITA

Il Gy si esprime in unità di tempo (Gy/h; Gy/a) oppure come dose (durata dell'esposizione).

A parità di energia, le radiazioni α , β , γ e **neutroni** hanno effetti diversi sulla materia (hanno poteri penetrativi diversi).

DOSE EQUIVALENTE

Dipende dal tipo di radiazione.

Si misura in

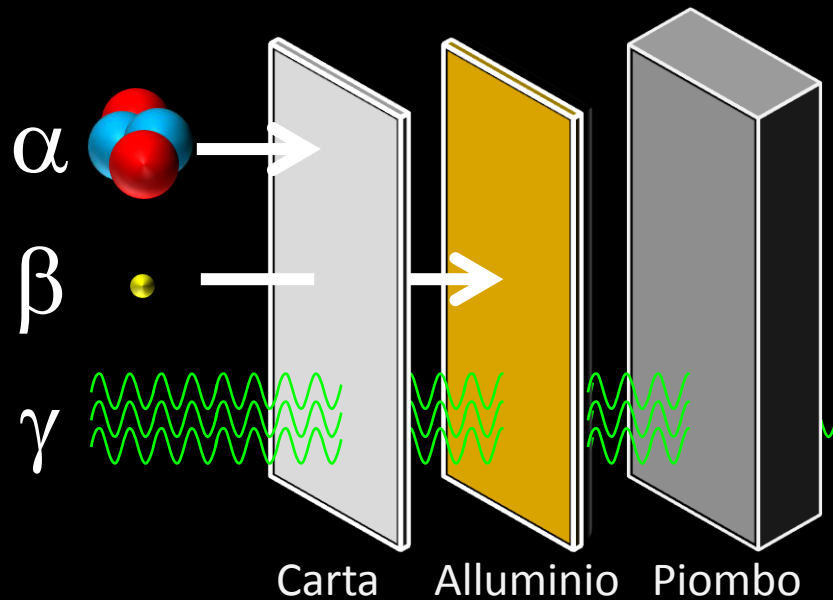
Sievert (Sv)

1 Gy di radiazione β o γ = 1 Sv.

1 Gy di radiazione di neutroni = 10 Sv.

1 Gy di radiazione α = 20 Sv.

Perché le radiazioni α causano effetti più gravi per la salute rispetto a quelle β e γ ?



Perché le radiazioni α , se ingerite, concentrano il loro potere ionizzante su un percorso molto limitato.

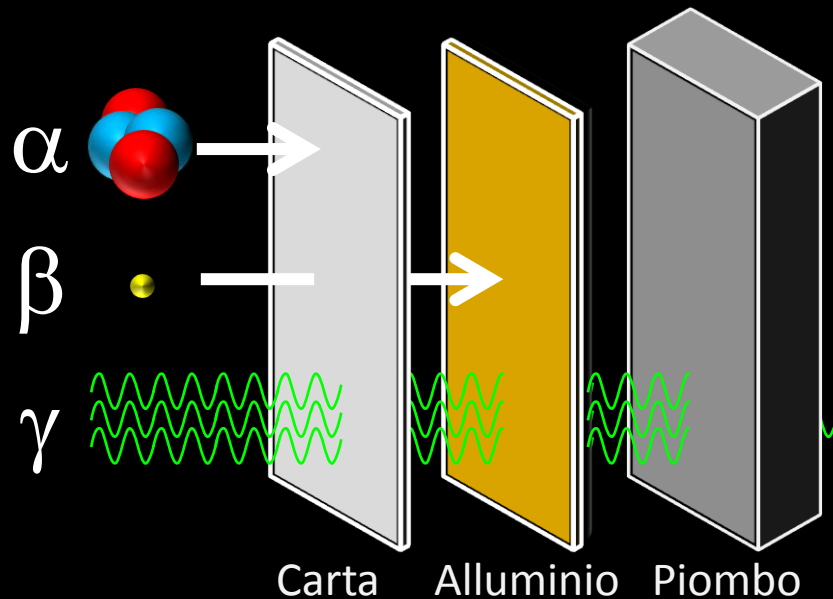
➡ Rn!

1 Gy di radiazione β o γ = 1 Sv.

1 Gy di radiazione di neutroni = 10 Sv.

1 Gy di radiazione α = 20 Sv.

Perché le radiazioni α causano effetti più gravi per la salute rispetto a quelle β e γ ?



...D'altro canto è vero che dalle radiazioni β e γ è più difficile schermarsi (in particolare le γ).

La ionizzazione delle radiazioni α , β e γ consiste nel trasformare gli atomi degli elementi e delle molecole (elettricamente neutri) in ioni (elettricamente carichi).

La ionizzazione è proporzionale alla carica ed è inversamente proporzionale alla velocità della radiazione.

Una particella α da 3 MeV produce 4000 paia di ioni per ogni millimetro di percorso.

Una particella β da 3 MeV produce solo 4 paia di ioni per ogni millimetro di percorso.

Il passaggio tra decadimenti al secondo (es. **Bq**) o altre unità di misura, tipo il roentgen **Rt**) all'energia assorbita (es. **Gy**) o agli effetti sul corpo umano (es. **Sv**) è difficile.

- *Tipo di radiazione ionizzante (α , β , γ o altro);*
- *Materiale su cui viene depositata l'energia;*
- *Energia della radiazione (es. β da 5 keV \neq γ da 1 MeV).*

Questo vuol dire che le misure di un contatore Geiger (Rt) non indicano necessariamente la pericolosità della radiazione.

Il passaggio tra decadimenti al secondo (es. **Bq**) o altre unità di misura, tipo il roentgen **Rt**) all'energia assorbita (es. **Gy**) o agli effetti sul corpo umano (es. **Sv**) è difficile.

Inoltre, considerando che un certo nuclide radioattivo può emettere vari tipi di radiazioni di vari tipi generando vari tipi di isotopi a loro volta radioattivi, emerge chiaro che il calcolo dei veri danni che possono essere causati dall'esposizione a una sorgente radioattiva sono difficilmente quantificabili.

Trasformazione dalla dose di energia (**Gy**) alla dose equivalente (**Sv**):

	Per ottenere i Sv moltiplicare i Gy per:
Fotoni, tutte le energie	1
Elettroni e muoni, tutte le energie	1
Neutroni con energia < 10 keV	5
con energia 10 keV - 100 keV	10
con energia > 100 keV - 2 MeV	20
con energia > 2 MeV - 20 MeV	10
con energia > 20 MeV	5
Protoni, esclusi i protoni di rinculo, con energia > 2 MeV	2
Particelle alfa	20

Fattori di peso per ottenere la dose effettiva (Sv):

Midollo osseo

Colon

Polmoni

Stomaco

Petto

Gonadi

Vescica

Fegato

Esofago

Tiroide

~20 g

~0,02-0,03% della
massa di una persona

Ossa

Pelle

Cervello

Ghiandole salivari

Tutti gli altri organi o tessuti

0,12

0,08

0,04

0,01

0,12

Totale

1,00

4% sul fattore di rischio
(ossia più di 100 volte il
suo contributo nella
massa del corpo)

~70% della massa di una
persona, ma solo il 12%
del fattore di rischio (ossia
non comprende organi
sensibili alle radiazioni)

Fattori di peso per ottenere la dose effettiva (Sv):

Midollo osseo	}	0,12	Un lavoratore riceve una dose di radiazione di 20 mSv sulle mani. Qual è la dose effettiva che ha ricevuto?
Colon			
Polmoni			
Stomaco			
Petto			
Gonadi	}	0,08	
Vescica			
Fegato	}	0,04	Si deve moltiplicare la dose equivalente per il fattore di rischio per le mani:
Esofago			
Tiroide			
Ossa	}	0,01	Pelle (0,01)
Pelle			
Cervello	}	0,01	
Ghiandole salivari			
Tutti gli altri organi o tessuti		0,12	
Totale		1,00	$20 \text{ mSv} * 0,01 = 0,2 \text{ mSv}$

Un flusso non trascurabile di radiazioni viene dallo spazio.

Maggiore è l'altitudine, minore è la protezione dell'atmosfera ai raggi cosmici

Roma è bombardata annualmente da 0,28 mGy.

A 1000 m di quota il flusso arriva a 0,45 mGy.

A 10.000 m di quota il flusso arriva a 44 mGy.

A questi flussi c'è da aggiungere la radioattività del terreno.

Una superficie di 10 x 15 cm viene bombardata da ~150 particelle al minuto.

Protoni (~85%)

Nuclei di He - particelle α (~12%)

Nuclei più pesanti dell'He (~3%)

Fotoni γ e X (~1%)



Dose assorbita in viaggio a/r da Marte
(500 giorni): ~ 1000 mSv



La radioattività di fondo naturale in Italia è:
2,4-3,3 milliSievert/anno (mSv/a)

Dosi dovute alle radiazioni ionizzanti artificiali:

Fall-out esplosioni nucleari 1945-1980: 0,005 mSv

Radiografia ai denti: 0,005-0,01 mSv

Radiografia al torace: 0,02-0,1 mSv

Fall-out Fukushima in Italia dopo 1 anno: 0,03 mSv

Mammografia: 0,4-0,5 mSv

Fumare per 1 anno 1 pacchetto al giorno: 1 mSv

Fall-out Chernobyl (in 20 anni): 1,6 mSv

TAC: 2-15 mSv

<http://www.xkcd.com/radiation/>

Dose da avvelenamento: 500 mSv = 0,5 Sv

Rischio morte: 2000-4000 mSv = 2-4 Sv

Morte sicura: 8000-10.000 mSv = 8-10 Sv

Cosa vuol dire questo?

Una radiografia ai denti dura 1 secondo.

Durante questo tempo assorbiamo 0,01 mSv/sec.

Radiografia ai denti: 0,005-0,01 mSv

Se durasse 30 secondi (es. ortopantomica)
assorbiremmo $0,01 \text{ mSv} * 30 = 0,30 \text{ mSv}$.

Per raggiungere dosi letali (es. 5 Sv) la
radiografia ai denti dovrebbe durare circa
500.000 secondi (8333 minuti = 138 ore, ossia
quasi sei giorni).

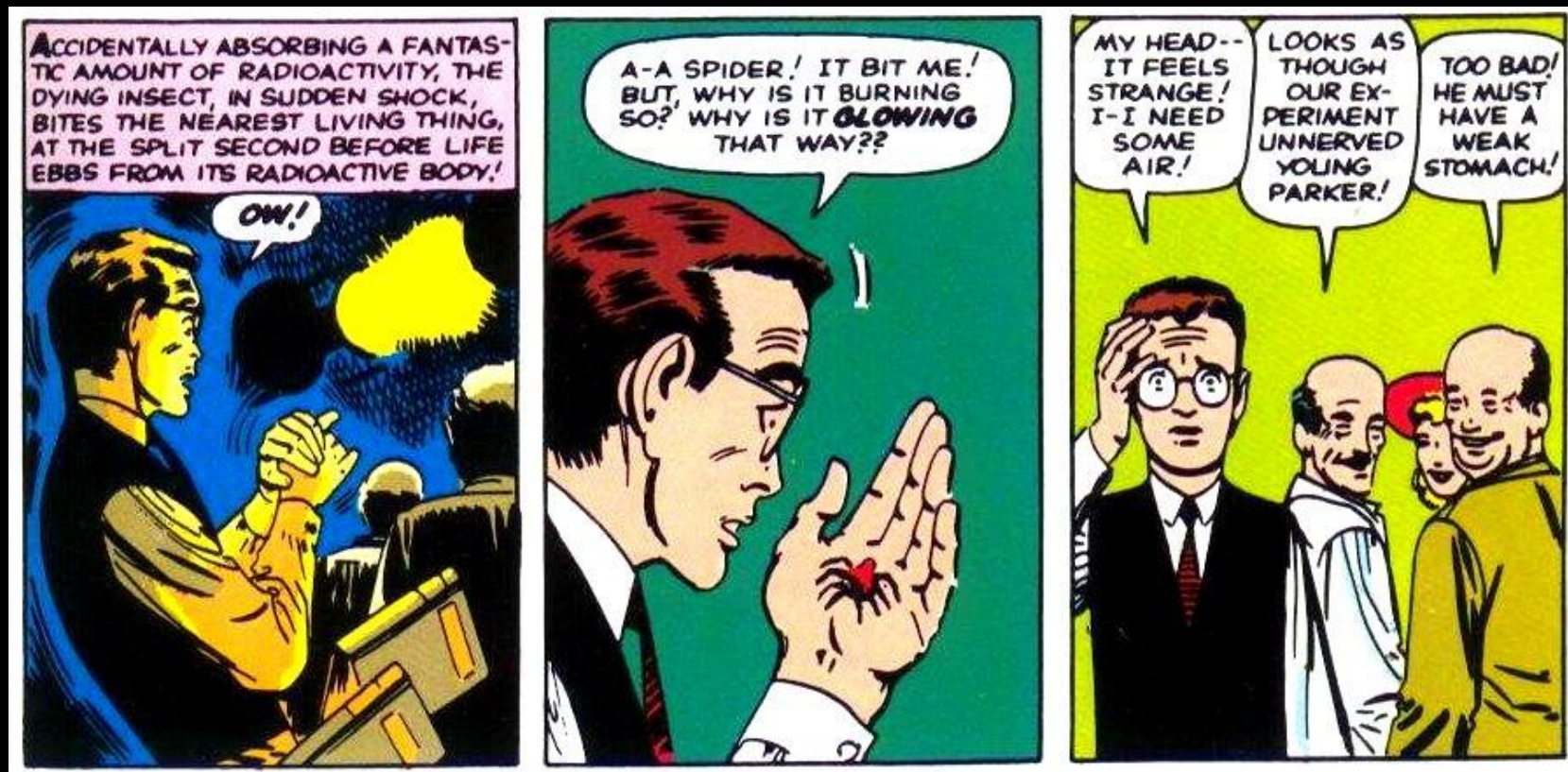
La radioattività di fondo naturale in Italia è:

2,4-3,3 milliSievert/anno (mSv/a)

0,27-0,38 microSievert/h ($\mu\text{Sv/h}$)

Le dosi letali per persone e mammiferi sono $\sim 5-10$ Sv.

La dose letale per i ragni è 1000 Sv.



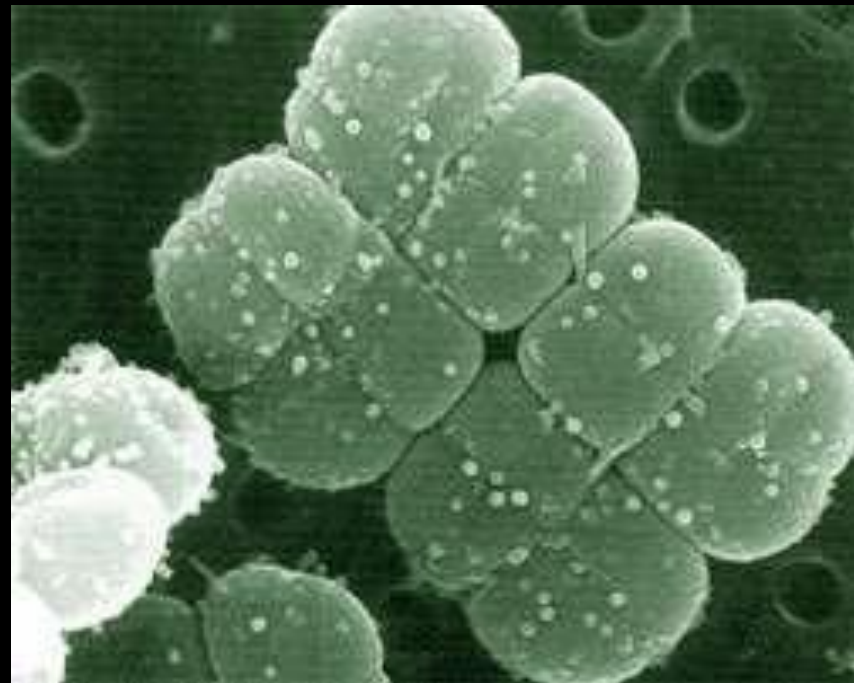
La radioattività di fondo naturale in Italia è:
2,4-3,3 milliSievert/anno (mSv/a)

0,27-0,38 microSievert/h (μ Sv/h)

Le dosi letali per persone e mammiferi sono \sim 5-10 Sv.

Il batterio *Deinococcus Radiodurans* sopravvive invece a dosi di 5.000 Sv.

Nel 37% dei casi questo batterio sopravvive a dosi > 15.000 Sv!



La radioattività di fondo naturale in Italia è:

2,4-3,3 milliSievert/anno (mSv/a)

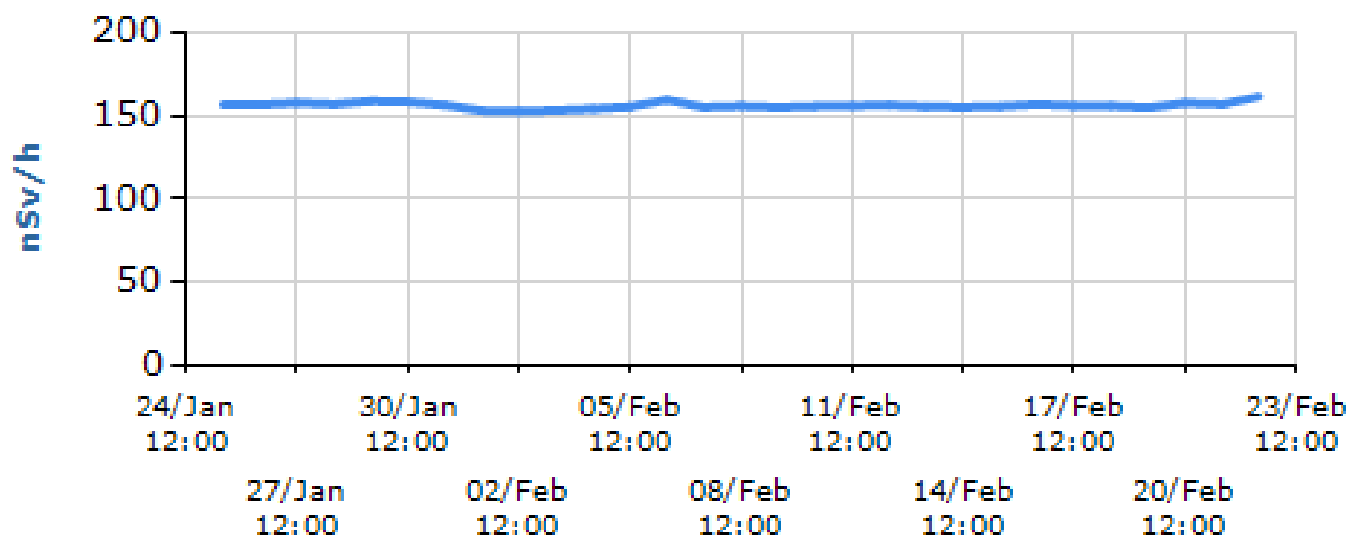
0,27-0,38 microSievert/h ($\mu\text{Sv/h}$)



Roma

$\sim 0,15 \mu\text{Sv/h}$ a Roma

Daily Average Gamma Dose Rate



Copyright © European Commission. DG. JRC, REM 2017

<https://remap.jrc.ec.europa.eu/GammaDoseRates.aspx?lat=42.6384261&lon=12.674297>

M. Lustrino 27 febbraio 2017- Dip. Scienze della Terra, Sapienza Università di Roma

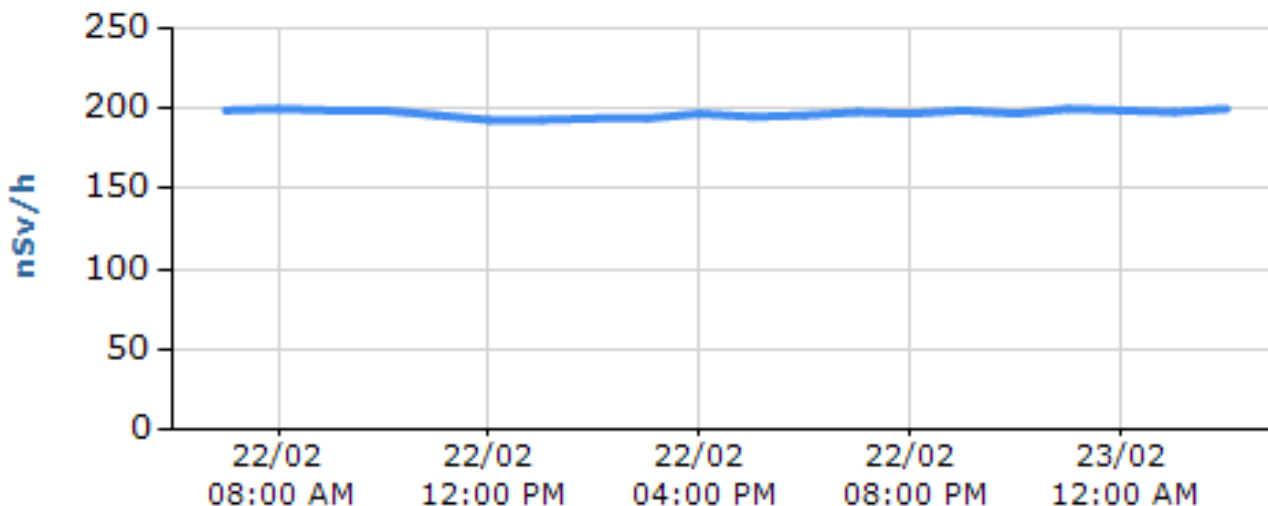
La radioattività di fondo naturale in Italia è:
2,4-3,3 milliSievert/anno (mSv/a)
0,27-0,38 microSievert/h (μ Sv/h)



Tuscania

$\sim 0,20 \mu\text{Sv/h}$ a Tuscania

Hourly Average Gamma Dose Rate



Copyright © European Commission. DG. JRC, REM 2017

<https://remap.jrc.ec.europa.eu/GammaDoseRates.aspx?lat=42.6384261&lon=12.674297>

La radioattività di fondo naturale in Italia è:
2,4-3,3 milliSievert/anno (mSv/a)
0,27-0,38 microSievert/h (μ Sv/h)

L'**UNSCEAR** (*United Nation Scientific Commission on the Effects of Atomic Radiation*) ha stabilito che al di sotto di 100 mSv/anno non ci sono correlazioni tra dose e rischio di tumore.

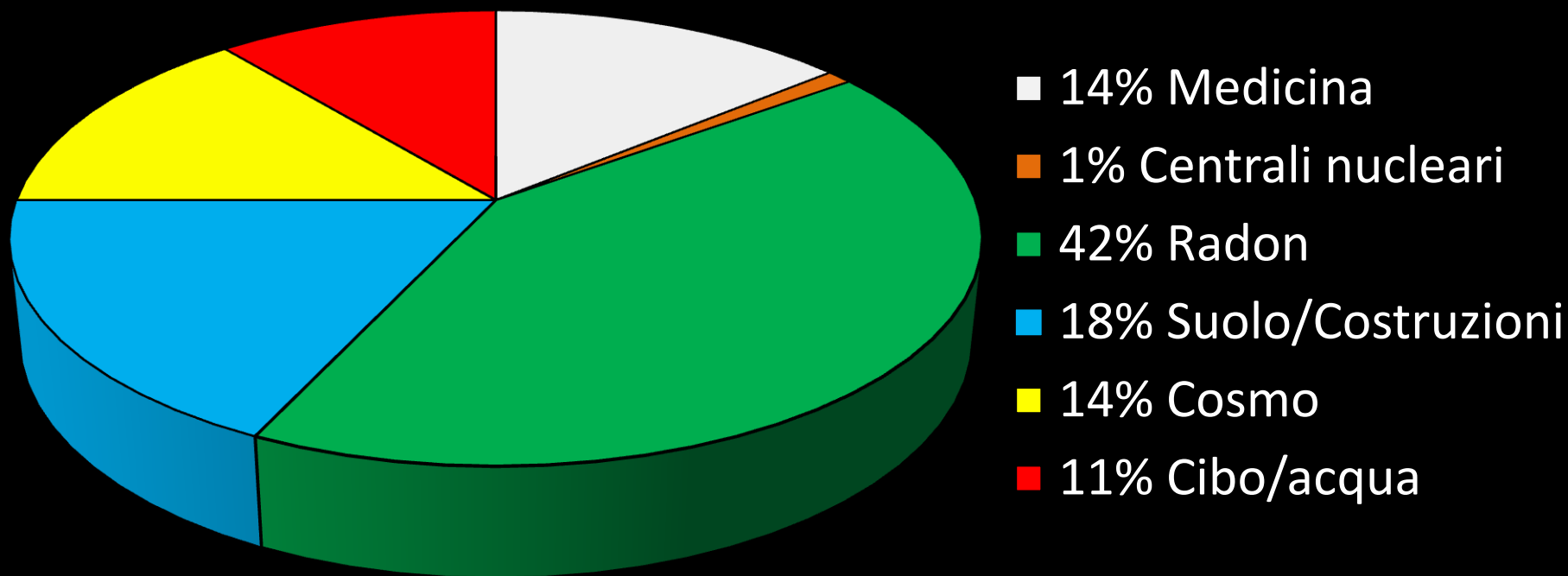
Ovviamente oltre alla dose di radiazione è **MOLTO IMPORTANTE** il tempo di esposizione a questa dose (es. 100 mSv/a o 100 mSv/ora).

La radioattività di fondo naturale in Italia è:
2,4-3,3 milliSievert/anno (mSv/a)

0,27-0,38 microSievert/h (μ Sv/h)

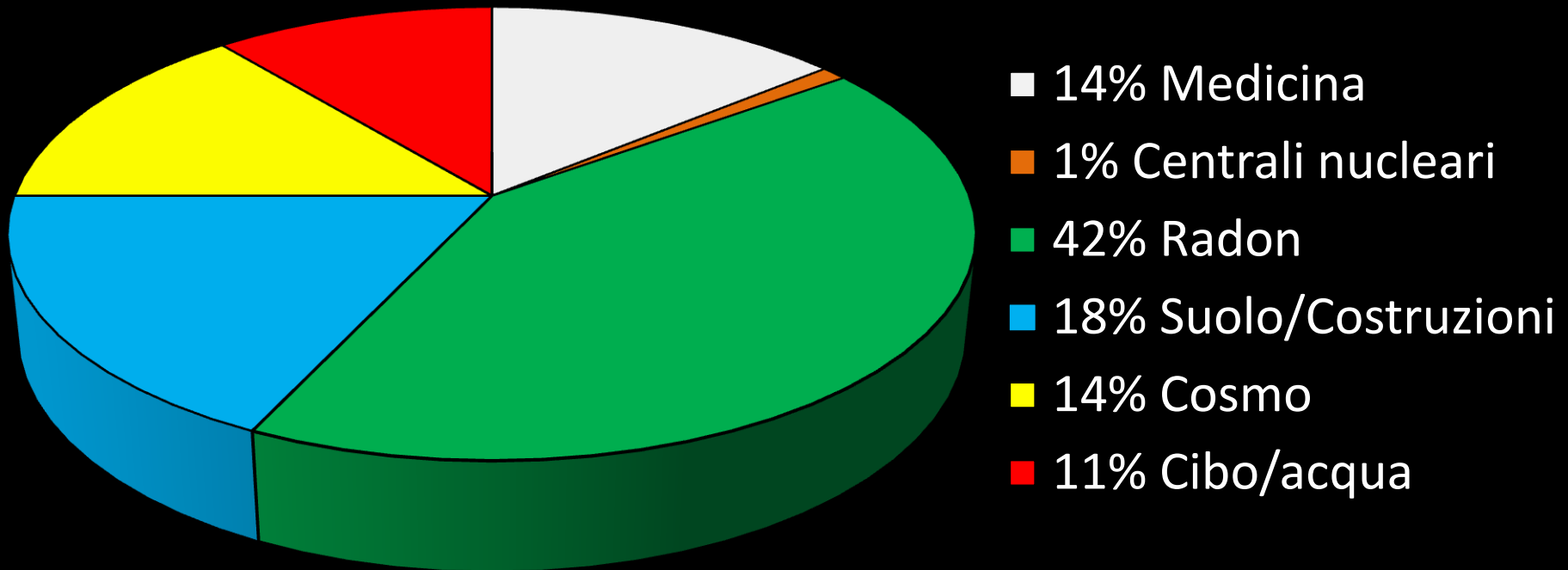
Sorgenti delle radiazioni:

(~85% di origine naturale)



I marinai dei sottomarini nucleari americani sono soggetti a una dose di radiazione molto bassa (1 mSv/a), nonostante lavorino a pochi m da un piccolo reattore nucleare.

Questo perché sono ottimamente schermati dalla radiazione naturale.



Source of exposure		Annual effective dose (mSv)	
		Average	Typical range
Cosmic radiation	Directly ionizing and photon component	0.28	
	Neutron component	0.10	
	Cosmogenic radionuclides	0.01	
<i>Total cosmic and cosmogenic</i>		<i>0.39</i>	<i>0.3–1.0^e</i>
External terrestrial radiation	Outdoors	0.07	
	Indoors	0.41	
<i>Total external terrestrial radiation</i>		<i>0.48</i>	<i>0.3-1.0^e</i>
Inhalation	Uranium and thorium series	0.006	
	Radon (Rn-222)	1.15	
	Thoron (Rn-220)	0.1	
<i>Total inhalation exposure</i>		<i>1.26</i>	<i>0.2-10^e</i>
Ingestion	K-40	0.17	
	Uranium and thorium series	0.12	
<i>Total ingestion exposure</i>		<i>0.29</i>	<i>0.2-1.0^e</i>
Total		2.4	1.0-13

Tabella 7. Effetti sanitari in Europa della produzione e dell'impiego dell'elettricità, espressi come numero di casi per terawattora prodotti (casi/TWh)

Fonte di energia	morti dovuti a incidenti	effetti dovuti all'inquinamento dell'aria	
		morti	malattie gravi
Carbone	0,12	24,5	225
Gas	0,021	2,8	30
Petrolio	0,03	18,4	161
Nucleare	0,022	0,052	0,22

Da: Pallottino, 2014 (Dedalo Ed.)

Le banane sono radioattive?



Contenuto medio di K = 0,3-0,5 g

Quanto ^{40}K ? = 0,3-0,5 g * 0,00012 = 36-60 μg ^{40}K

Le radiazioni sono anche misurate in dosi di banana (*Banana Equivalent Dose – BED*) **BED** = 0,0001 mSv

Dosi di radiazione assorbite:

Dormire vicino a una persona: ~0,5 BED

1 giorno di radiazione naturale: ~70 BED

Radiografia ai denti: ~100 BED

Radiografia a torace: ~70000 BED

TAC completa: ~40.000-150.000 BED

Dose letale: ~40.000.000 BED ~4500 *banane/ora*

Per capire la pericolosità della radioattività è utile una comparazione con l'uso di sale nella dieta.

Riceviamo radiazioni naturali per $\sim 0,007$ mSv/giorno.



Introduciamo nel nostro corpo ~ 2 g di NaCl/giorno.

Se aumentiamo di 1000 volte la dose di radiazione (7 mSv/giorno = $2,5$ Sv/anno) registreremo probabilmente effetti negativi nel giro di pochi mesi/anni.

Se aumentiamo di 1000 volte la dose di NaCl (2 kg/giorno) moriremmo sicuramente in poche ore.

Messaggio (parziale) da portare a casa:

- La radioattività è un fenomeno naturale.
- E' associata a rilascio di energia sotto varie forme (rad. ionizzanti e rad. corpuscolari).
- L'uomo ha imparato a sfruttare questa energia (es. riscaldando acqua ma...
- Viviamo su un pianeta radioattivo.
- L'Italia (in particolare il Lazio) è una nazione caratterizzata da dosi elevate di radioattività.
- Possiamo mangiare tranquillamente le banane.

