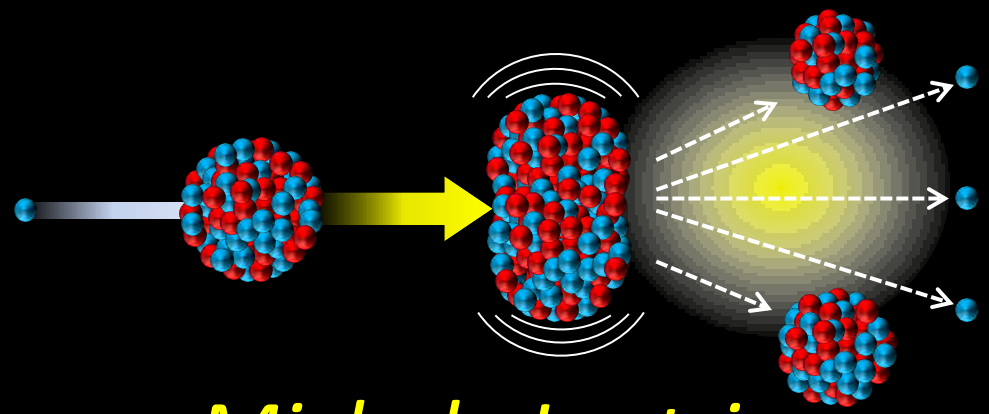
La chimica dei fantasmi, la pistola neutronica e altre storie invisibili

Introduzione alla radioattività e radiazioni ionizzanti



Michele Lustrino

Dipartimento di Scienze della Terra
Sapienza Università di Roma

Museo Universitario di Scienze della Terra
Sapienza Università di Roma

Grazie a Enrica Marie Mascia, Daniele Coltellacci, Giovanni Battimelli, Daniele Proietti e Claudio Tuniz

Marie Curie
Otto Frisch
Pierre Curie
Hulk
Stan Lee
$^{239}_{94}Pu$
Uomo Ragno
Glenn Seaborg
A. Henri Becquerel
Frederick Soddy
Hans Geiger
Franklin D. Roosevelt
Ida Noddack
Niels Bohr
$^{235}_{92}U$
Ernest Rutherford
Robert Oppenheimer
Enrico Fermi
Adolf Hitler
Lise Meitner
Otto Hahn
Fritz Strassmann
Benito Mussolini
W. Conrad Röntgen
Papa Francesco
Stuart
Bob

La combustione di 1 atomo di C sviluppa ~4,2 eV *(~6,7*10^{-19} J)*.

Nella combustione il numero degli atomi di C e O non viene modificato.

La fissione di 1 atomo di ^{235}U sviluppa ~200 MeV *(~3,2*10^{-11} J)*.

Nei reattori nucleari il combustibile si trasforma in altri elementi completamente differenti.

La fissione di 1 atomo di ^{235}U sviluppa ~50 milioni di volte più energia di una reazione chimica.

1 kg di ^{235}U produce la stessa energia di ~2,400 Ton di C

Densità ^{235}U = 19 g/cm^3 1 lattina di ^{235}U = 6,3 kg

Densità ^{12}C = 1,9 g/cm^3 1 lattina di C = 0,63 kg

1 lattina di ^{235}U = ~8.300 m^3 di ^{12}C

>90 autoarticolati pieni di carbone (carico 90 m^3)

→ Le centrali nucleari non utilizzano ^{235}U puro.

Michele Lustrino 1 dicembre 2017 –DST, Roma

Per far funzionare per un giorno una centrale da 1 GWe:

mezza lattina piena di ^{235}U

8.000 Ton di carbone

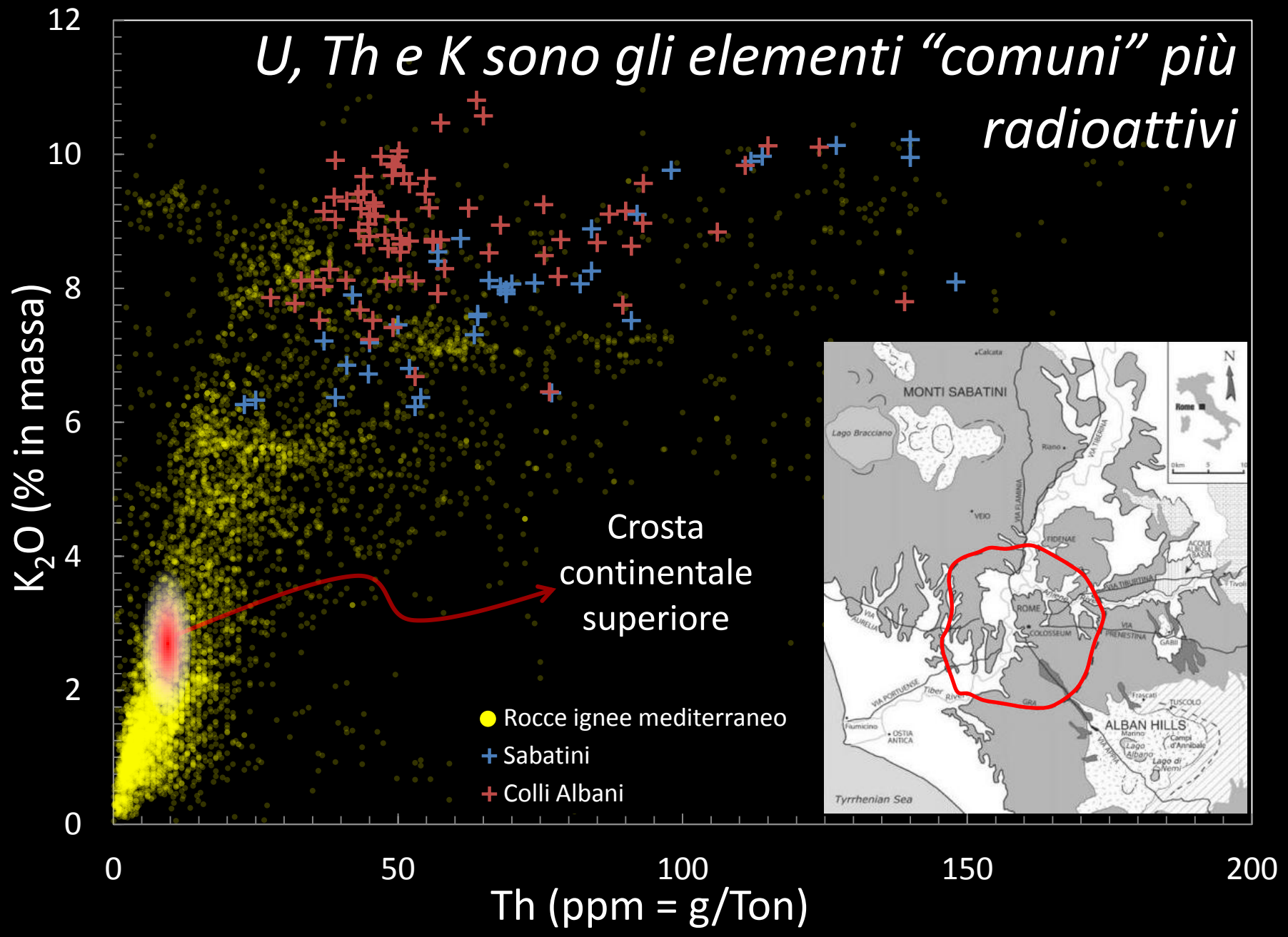
(treno con ~100 vagoni)

Definizione

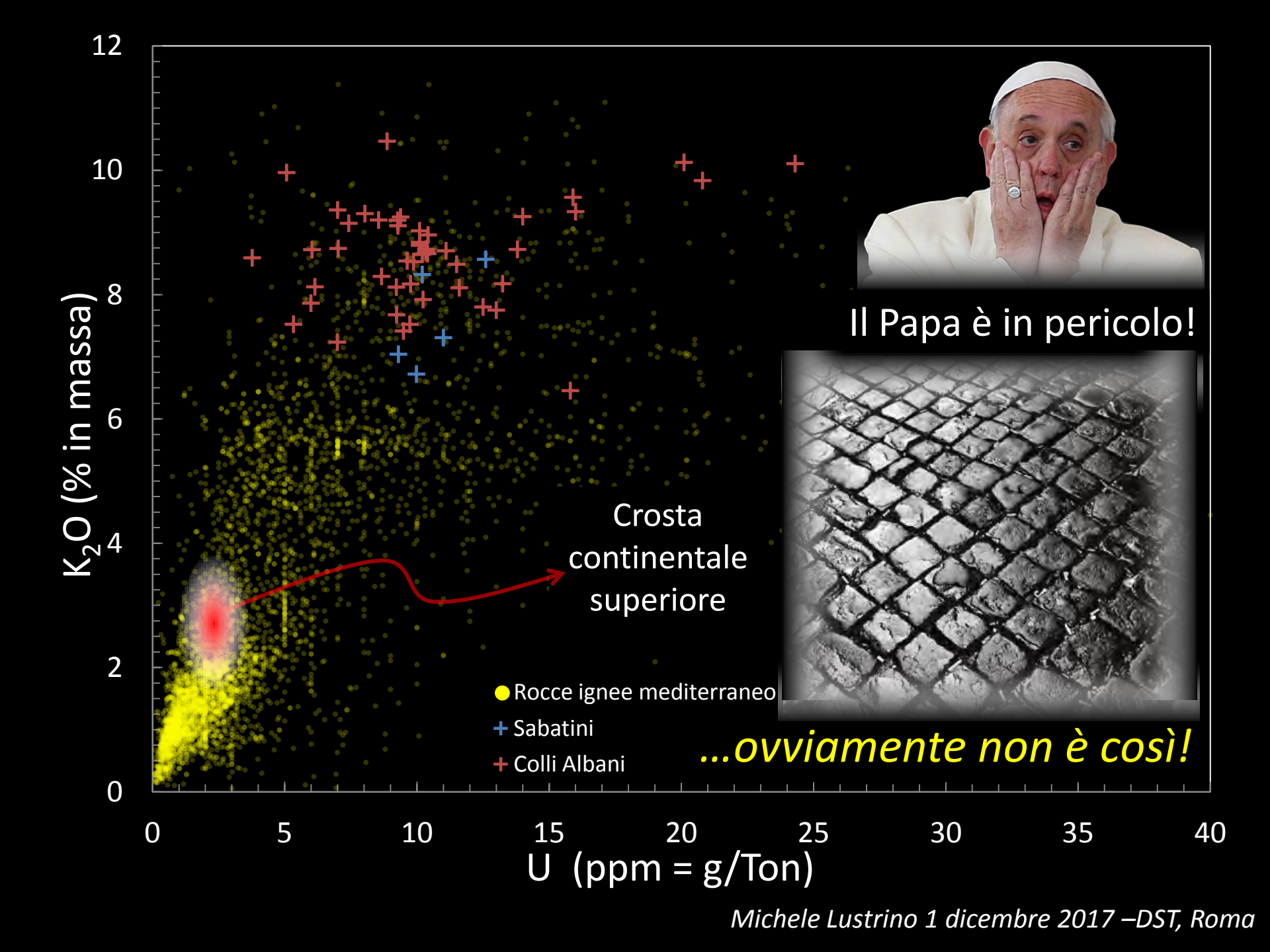
Radioattività (o “decadimento radioattivo” o “decadimento nucleare” o “attività”):

1) Caratteristica che hanno alcuni elementi naturali di trasformarsi in altri elementi.
2) Durante questa trasformazione naturale, si ha emissione di energia in diverse forme.
3) La radioattività non è stata inventata dall’uomo.
4) L’uomo però può anche indurre la radioattività e ha imparato a sfruttare l’emissione di energia associata a questo processo.
5) Non si può impedire a un elemento radioattivo di emettere energia.

U, Th e K sono gli elementi "comuni" più radioattivi



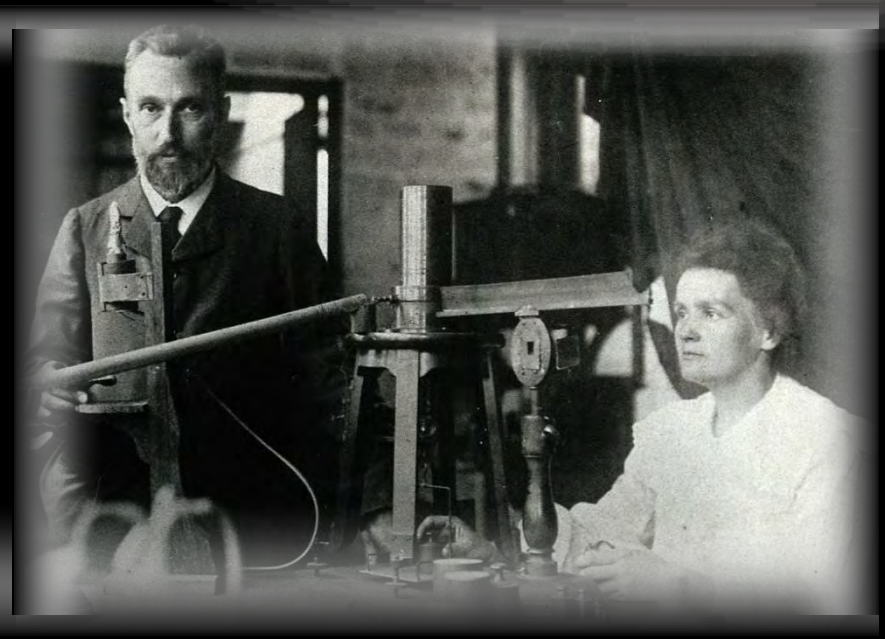
Michele Lustrino 1 dicembre 2017 –DST, Roma



Michele Lustrino 1 dicembre 2017 –DST, Roma

La radioattività è stata scoperta (non inventata) da Henri Becquerel nel 1896.

Avvenuta un anno dopo la scoperta dei raggi X (ad opera di Wilhelm Conrad Röntgen).



Molto abbiamo capito grazie agli studi dei coniugi Marie e Pierre Curie

(2 premi nobel Marie, 1 Pierre e 1 la figlia Irène…)

All'inizio del 1896 si conoscevano due tipi di raggi prodotti in laboratorio:

- Raggi CATODICI

Conosciuti dal 1869

Con massa — *Carica elettrica*

Generati in un tubo a vuoto applicando una elevata tensione elettrica.

Sono poco penetrativi.

→ Flusso di elettroni *(J.J. Thompson, 1897)*.

- Raggi X

Scoperti nel 1895

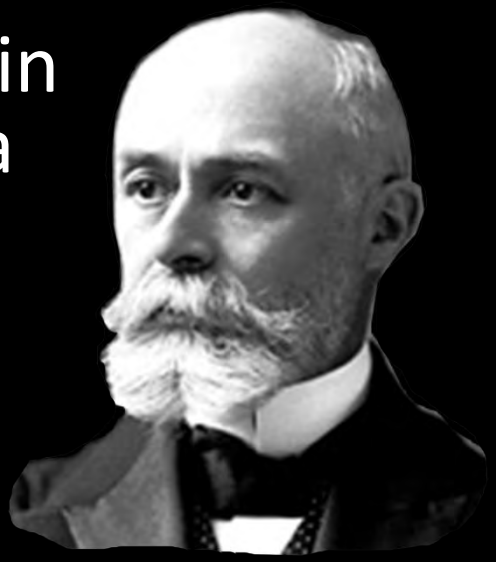
Generati in associazione con i raggi catodici.

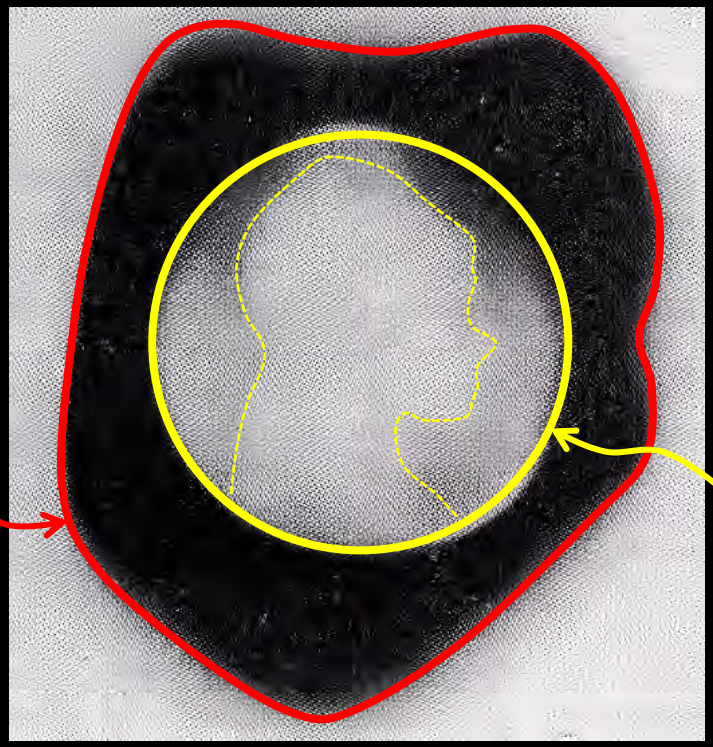
Molto penetrativi.

Radiazione elettromagnetica come la luce visibile ma con λ inferiore.

Per generare raggi X è necessario generare prima un flusso di raggi catodici.

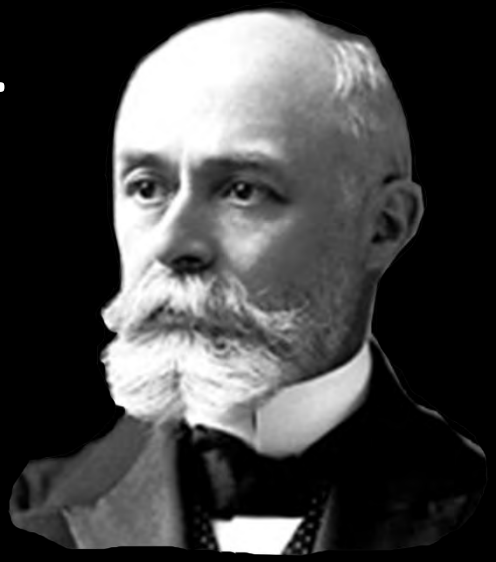
Becquerel inserì una lastra fotografica in una busta chiusa. Poi vi pose sopra una moneta e un campione ricco in U [Geschieberite = $K_2(UO_2)(SO_4)_2*2H_2O$]

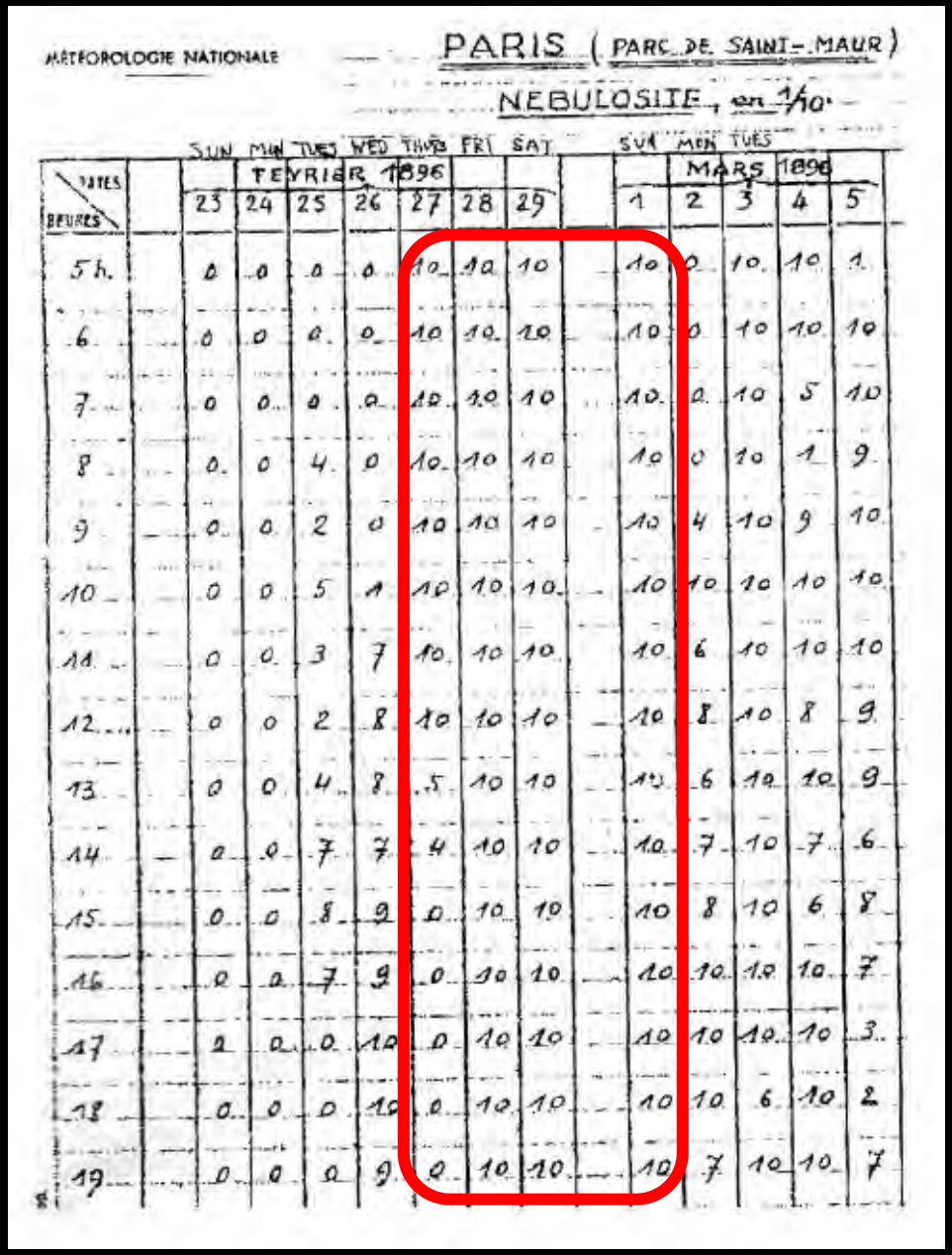




Lasciò il tutto davanti la finestra del suo laboratorio.

Becquerel volle ripetere l'esperimento.





MÉTÉOROLOGIE NATIONALE — PARIS (PARC DE SAINT-MAUR)

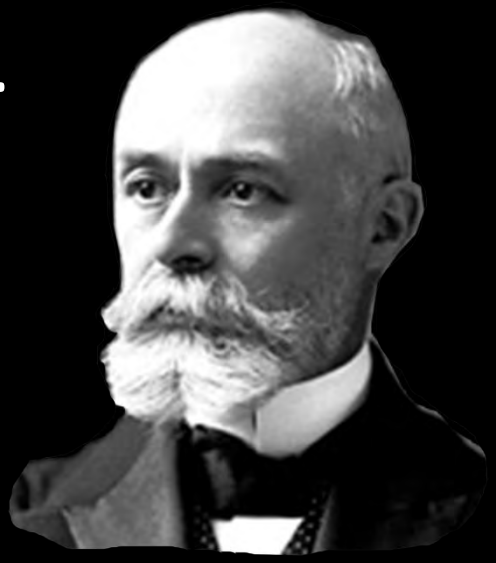
NEBULOSITÉ, en 1/10

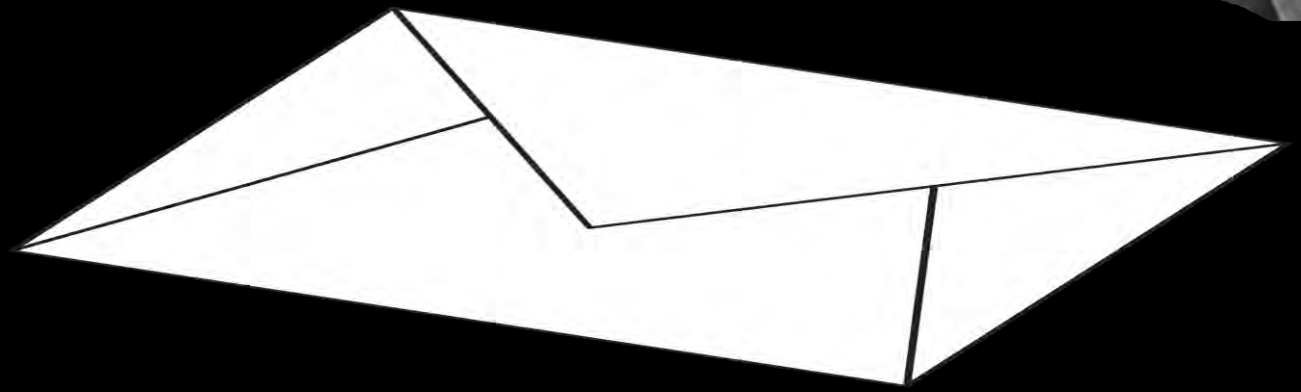
DATES / HEURES	SUN	MON	TUES	WED	THUR	FRI	SAT	SUN	MON	TUES			
	FEVRIER 1896							MARS 1896					
	23	24	25	26	27	28	29	1	2	3	4	5	
5 h.	0	0	0	0	10	10	10	10	0	10	10	1	
6	0	0	0	0	10	10	10	10	0	10	10	10	
7	0	0	0	0	10	10	10	10	0	10	5	10	
8	0	0	4	0	10	10	10	10	0	10	1	9	
9	0	0	2	0	10	10	10	10	4	10	9	10	
10	0	0	5	1	10	10	10	10	10	10	10	10	
11	0	0	3	7	10	10	10	10	6	10	10	10	
12	0	0	2	8	10	10	10	10	8	10	8	9	
13	0	0	4	8	5	10	10	10	6	10	10	9	
14	0	0	7	7	4	10	10	10	7	10	7	6	
15	0	0	8	9	0	10	10	10	8	10	6	8	
16	0	0	7	9	0	10	10	10	10	10	10	7	
17	0	0	0	10	0	10	10	10	10	10	10	3	
18	0	0	0	10	0	10	10	10	10	6	10	2	
19	0	0	0	9	0	10	10	10	7	10	10	7	

L'inverno a Parigi era spesso nuvoloso. Previsioni del tempo: Nuvolosità 10/10

Becquerel volle ripetere l'esperimento.

Adagiò due minerali ricchi in U, uno direttamente sulla busta, l'altro sulla croce di Malta.





Lasciò la busta nella scrivania per tre giorni.

Sviluppò la lastra fotografica e trovò un risultato che avrebbe cambiato il corso dell'umanità: la lastra fotografica era annerita.

Il processo di annerimento si verificava quindi anche senza esposizione alla luce dell'uraninite.

Nel giro di due anni non scrisse più articoli sull'argomento.

Propose l'esistenza di raggi invisibili (come i raggi X) che lui definì Raggi Uranici (poi definiti Raggi di Bequerel).

I fisici tedeschi Julius Elster e Hans Geitel fecero un altro esperimento due anni dopo (1898):

Lasciarono un campione di uraninite in una miniera a 850 m di profondità per 48 ore.

L'attività non era diversa da quella osservata in superficie.

L'attività dell'uranio non dipendeva dall'esposizione al sole.

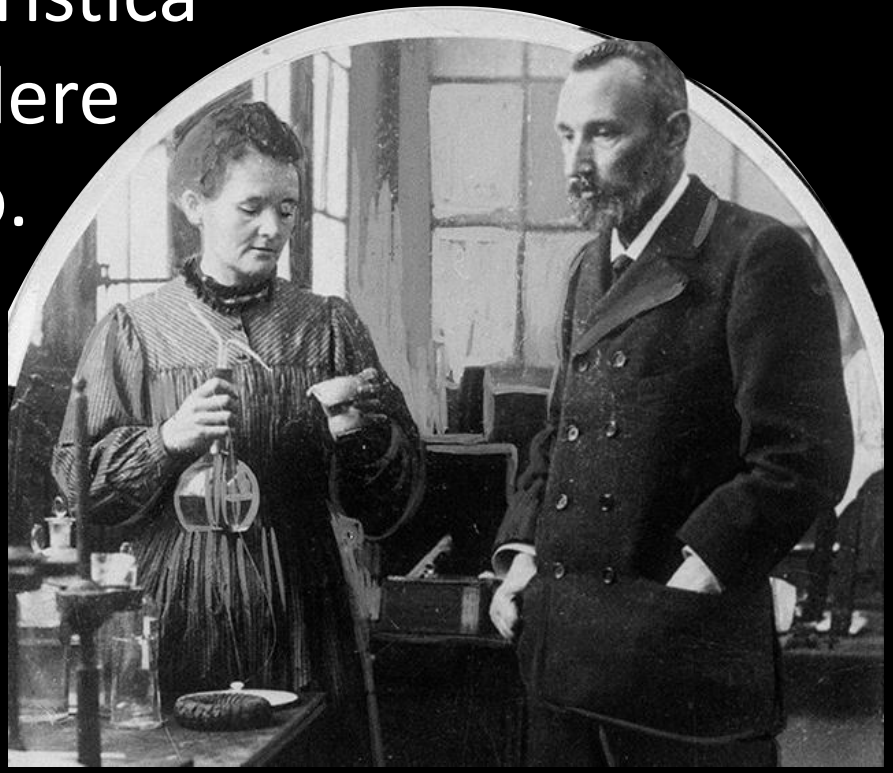
La scoperta di Becquerel interessò una giovane laureata polacca, da poco arrivata a Parigi.

Maria Salomea Sklodowska

Marie Curie

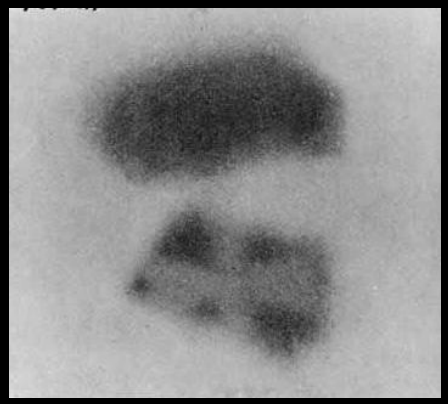
La radioattività è una caratteristica di alcune sostanze a prescindere dal loro stato fisico o chimico.

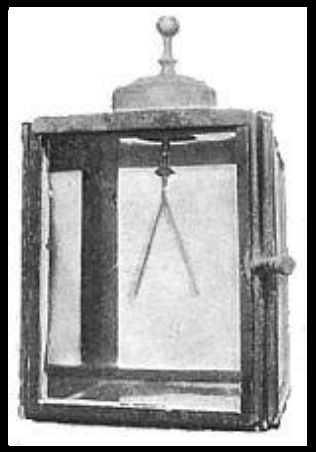
Nel 1898 i Curie definirono "radioattività" il potere di alcune sostanze (associate all'uranio) di emettere i "Raggi di Becquerel".



Per misurare l'attività:

Misure qualitative: *(Lastre fotografiche)*





Scarica dell'elettroscopio con l'avvicinamento del Ra.

Misure semi-quantitative: *(elettroscopio)*

Misure quantitative sugli effetti elettrici: *(Elettrometro Curie)*

Misure quantitative sul tasso e tipo di decadimento: *(Contatore Geiger-Muller)*

Misure quantitative sull'energia di emissione: *(Spettrometria gamma)*

La radioattività

Conosciuta anche come "Chimica dei fantasmi"

Elementi radioattivi riconosciuti per gli effetti, ma difficili da identificare.

Non si vede
Non si può toccare
Non si può odorare
Non si può assaporare
Non si può sentire
Non si può eliminare

Michele Lustrino 1 dicembre 2017 –DST, Roma

La radioattività è pericolosa ma…
È pericoloso anche:

La radioattività di gran moda fino agli anni '30

Prodotti per bellezza

Concentrati di Radio e Torio da bere

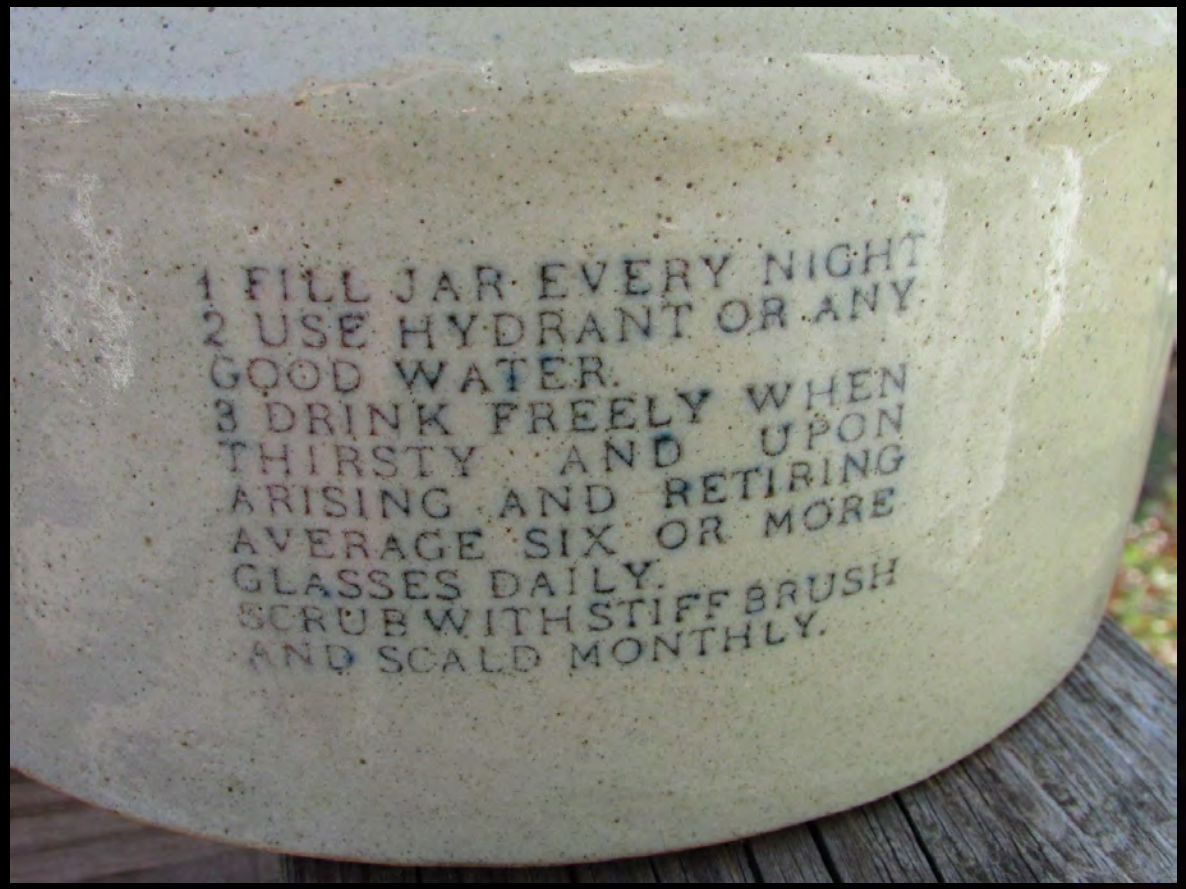
Sigarette radioattive

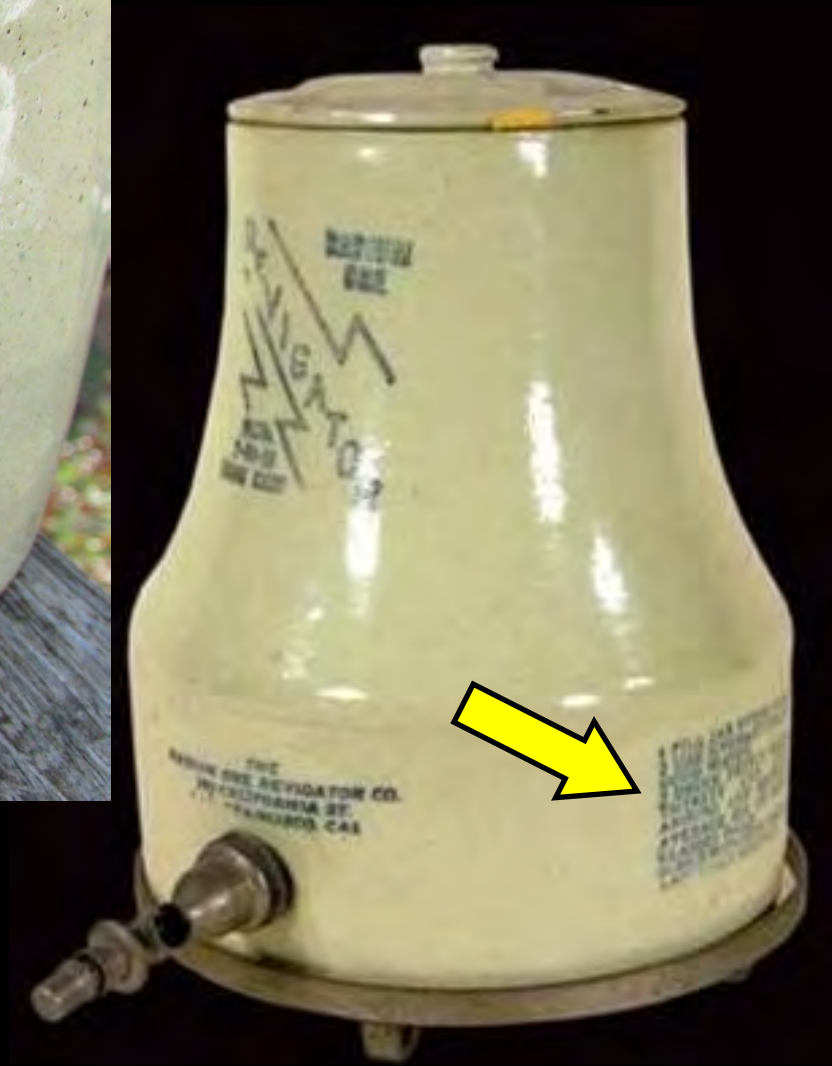
Dentifrici radioattivi

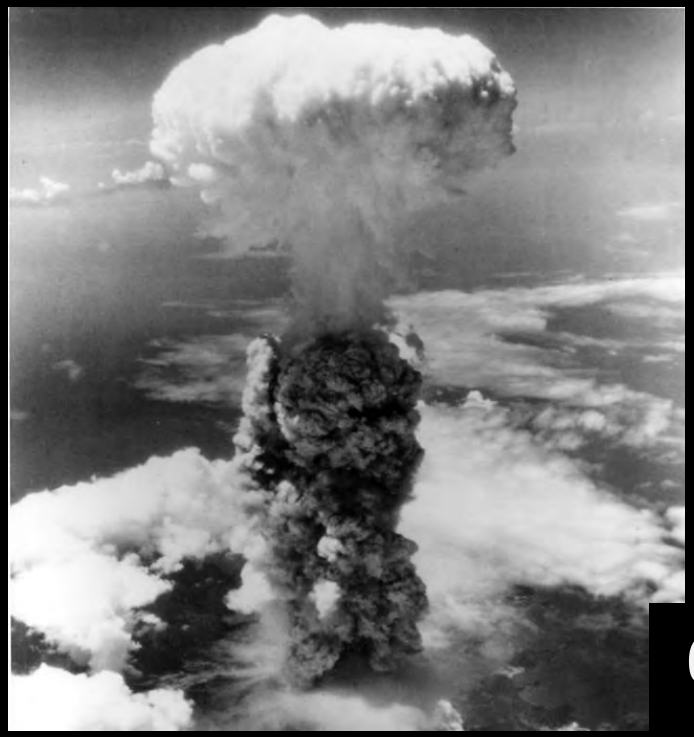
Linea di prodotti radioattivi per la bellezza

Michele Lustrino 1 dicembre 2017 –DST, Roma

Contenitore con carnotite $[K_2(UO_2)2V_2O_83(H_2O)]$ per rendere radioattiva la normale acqua







6 e 9 agosto 1945

~260.000 morti

Michele Lustrino 1 dicembre 2017 –DST, Roma

Numero totale di morti nella Seconda Guerra Mondiale:

~72.500.000

Morti italiani ~500.000

Morti Unione Sovietica ~25.000.000

6 e 9 agosto 1945

~260.000 morti

~72 milioni di morti in ~72 mesi di guerra = ~1 milione di morti al mese.

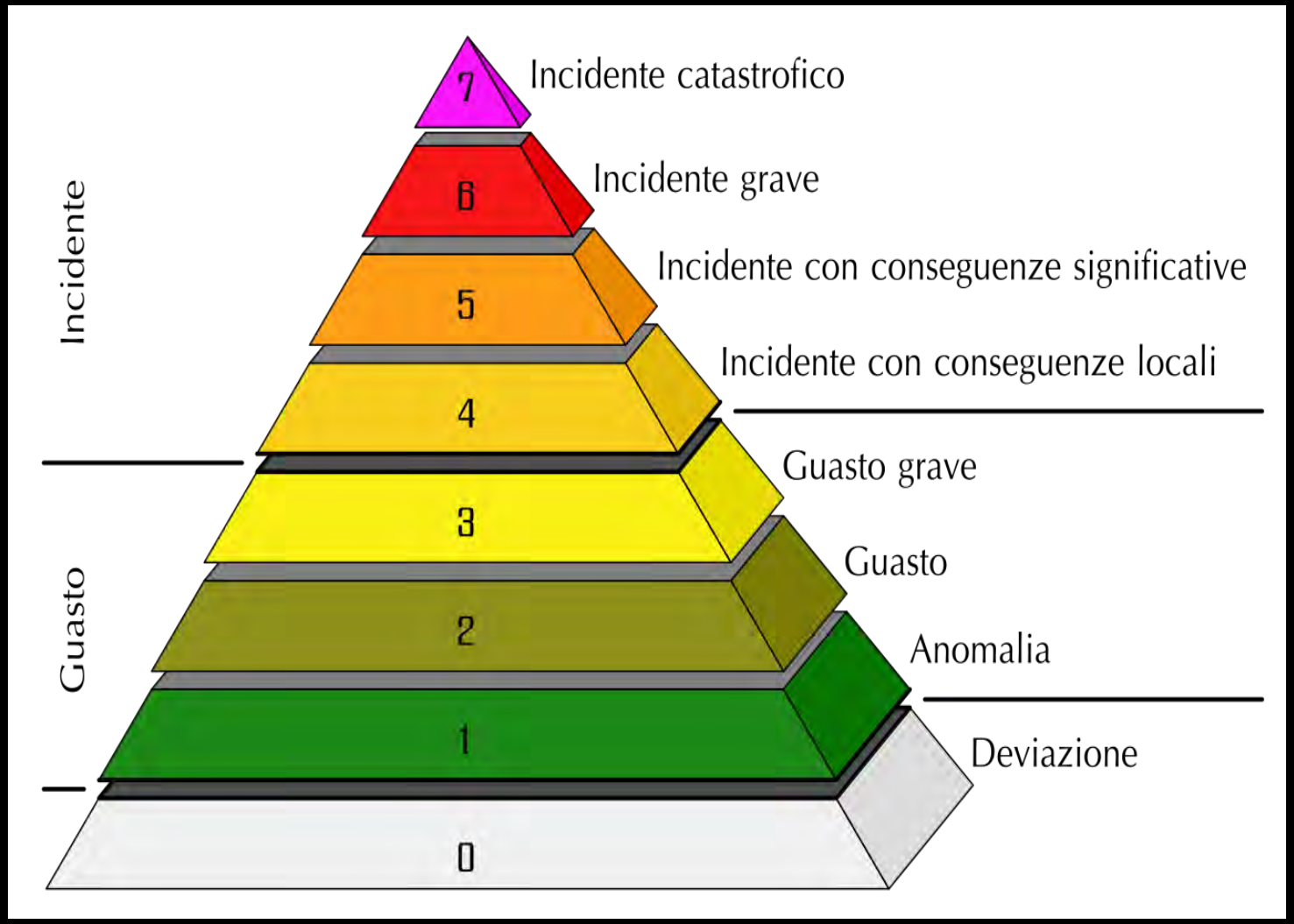
E' stato veramente un abominio l'uso di bombe nucleari sul Giappone?

Centrale nucleare di Fukushima 11 marzo 2011

- Nessun decesso per radiazioni.
- Stime per futuri decessi per radiazioni: da zero a ~100.
- 16.000 morti per il terremoto e tsunami.

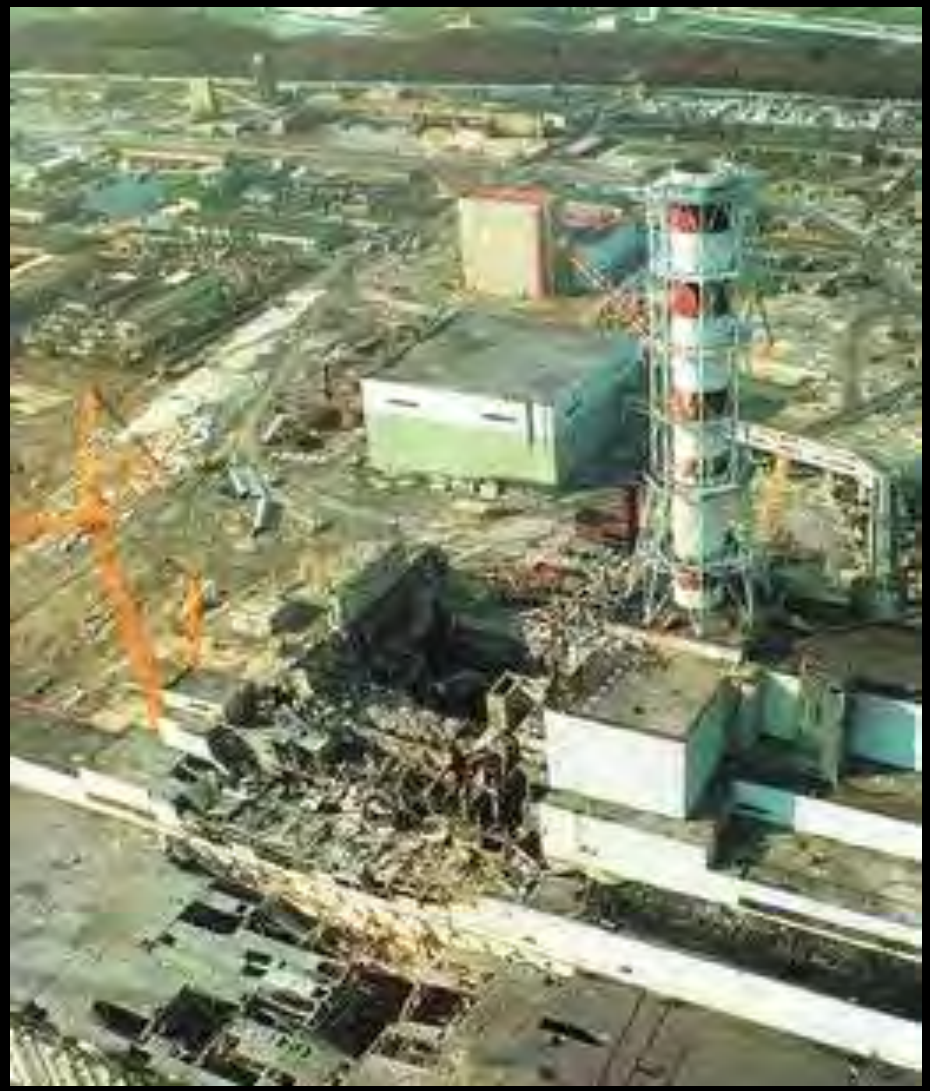
Michele Lustrino 1 dicembre 2017 –DST, Roma

Classificato come livello 7 nella scala INES
(International Nuclear and radiological Event Scale)



Classificato come livello 7 nella scala INES

(International Nuclear and radiological Event Scale)

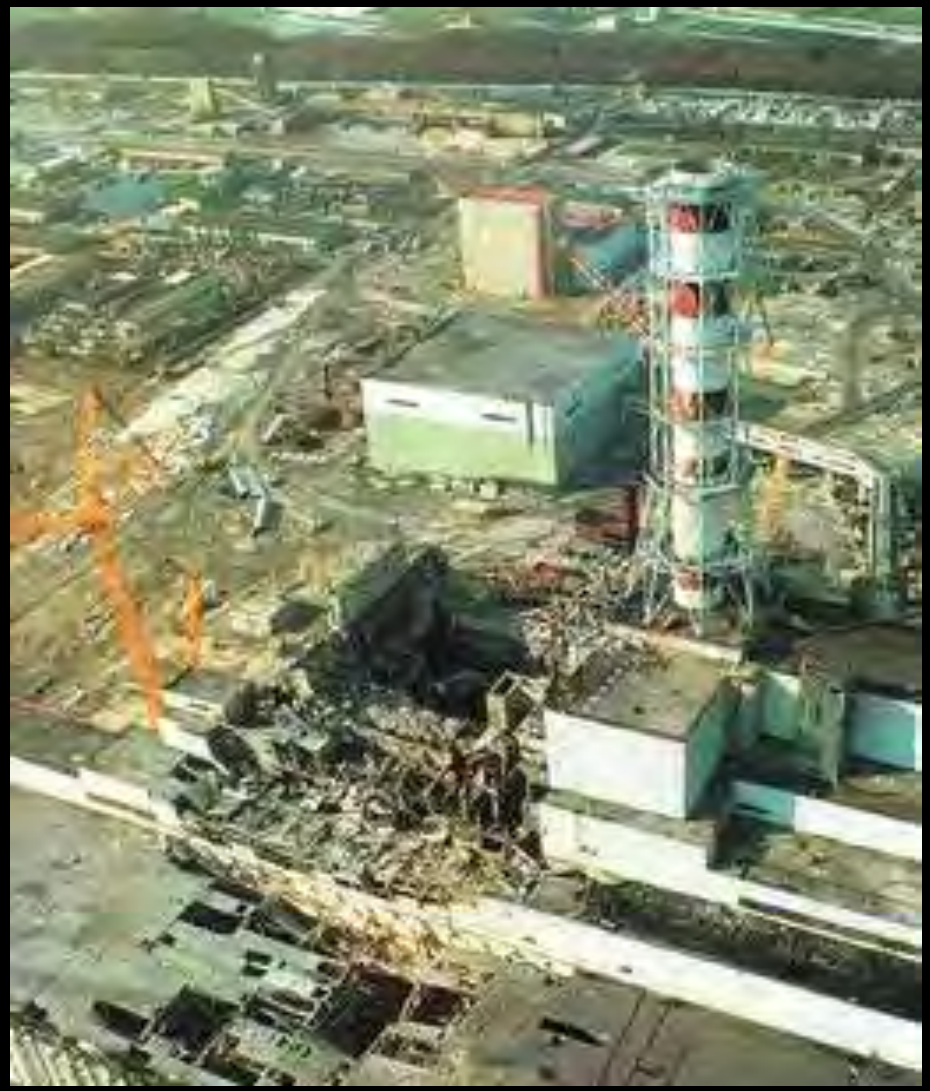


Centrale nucleare di Chernobyl (Ucraina)

26 aprile 1986

Stime di decessi ufficiali (IAEA): 4.000

Classificato come livello 7 nella scala INES
(International Nuclear and radiological Event Scale)



Emesso in atmosfera materiale radioattivo equivalente a 400 bombe di Hiroshima

Radioattivo è il nostro corpo

Le nostre ossa e cellule contengono ^{40}K e ^{14}C

Radioattivo è il cibo che mangiamo

Le banane!

Radioattiva è l'aria che ci circonda

Siamo immersi in una doccia di radiazioni cosmiche

Radioattivi sono i luoghi in cui viviamo

In particolare Toscana, Lazio e Campania

Orvieto e Viterbo due volte più radioattive di Roma.

Radioattivi sono alcuni mezzi diagnostici

Es. PET (ma considerate anche radiografie e TAC).

La vita ha avuto origine 3,7 Ga

La radioattività naturale era 3-4 volte superiore a quella attuale.

Strato ancora sottile di atmosfera per schermare le radiazioni cosmiche.

Sostanze radioattive particolarmente abbondanti.

Essenziale per le mutazioni genetiche, alla base del processo di evoluzione biologica.

X-MEN I Mutanti

1963

Jack Kirby:

“Radiation, if it is beneficial, may create mutants that’ll save us instead of doing us harm”

1962

CAPTAIN ATOM
1960

1961

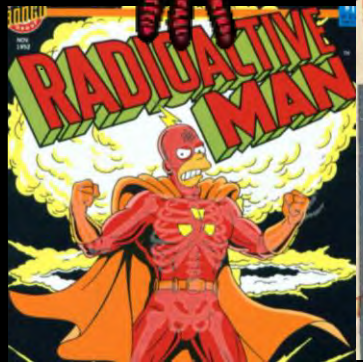
Negative Man
JOHN BYRNE
DOUG HAZLEWOOD
1963
NEGATIVE REINFORCEMENT!

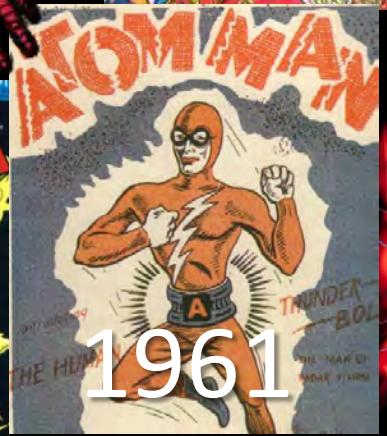
1962

FIRESTORM
The NUCLEAR MAN
EXPLOSIVE FIRST ISSUE!
1970

THE SENSATIONAL
SHE-HULK
I'M IN CHARGE NOW!
1980

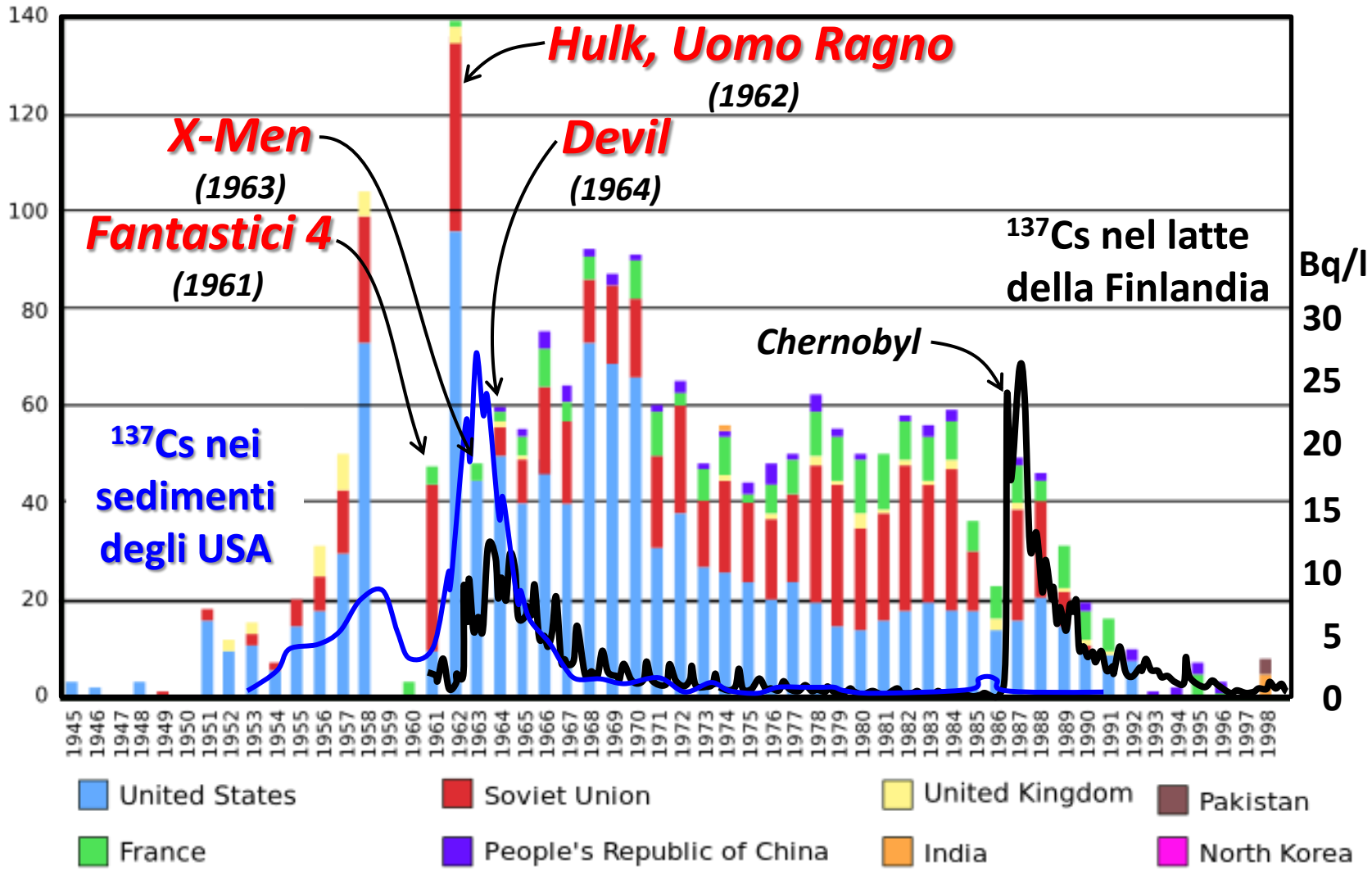
1963
Radioactive Man


RADIOACTIVE MAN


ATOM MAN
THUNDER BOLT
1961

1964

Esperimenti con esplosioni nucleari 1945-2000



Nuclear Testing Chronology

From 1945 until 1998, there have been over 2,000 nuclear tests conducted worldwide.

Country	1945-49	1950-59	1960-69	1970-79	1980-89	1990-99	Total
United States	6	188	428	232	155	21	1,030
Russia/USSR	1	82	232	227	172	1	715
United Kingdom	0	21	5	5	12	2	45
France	0	0	31	69	92	18	210
China	0	0	10	16	7	10	43
India	0	0	0	1	0	6	7
Pakistan	0	0	0	0	0	6	6
Totals	**7**	**291**	**706**	**550**	**438**	**64**	**2,056**

~6 bombe al mese per 10 anni

Crollo del muro di Berlino

Oltre 50 anni di “esperimenti” nucleari.

Oltre 2000 bombe atomiche esplose!

Tutti gli elementi sono radioattivi?

Circa un elemento ogni quattro è radioattivo in qualche modo.

Molti di questi hanno una radioattività molto bassa.

Molti elementi possono diventare radioattivi in particolari condizioni e in associazione con altri elementi.

Cosa sono le radiazioni ionizzanti?

1) Radiazioni elettromagnetiche o
2) Radiazioni corpuscolari

Sono capaci di produrre “ioni”, ossia di rimuovere elettroni da atomi o molecole.

Gli ioni non sono quindi elettricamente neutri (ma vogliono ridiventarlo).

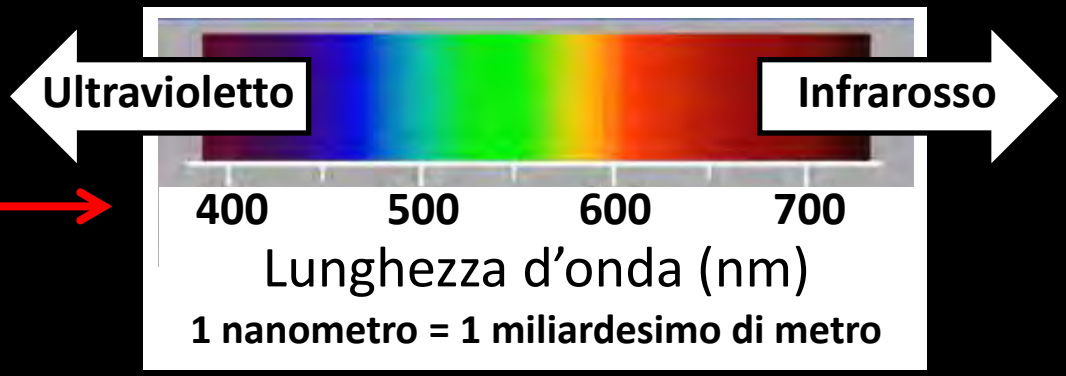
Per questo motivo gli ioni sono estremamente reattivi con l’ambiente circostante.

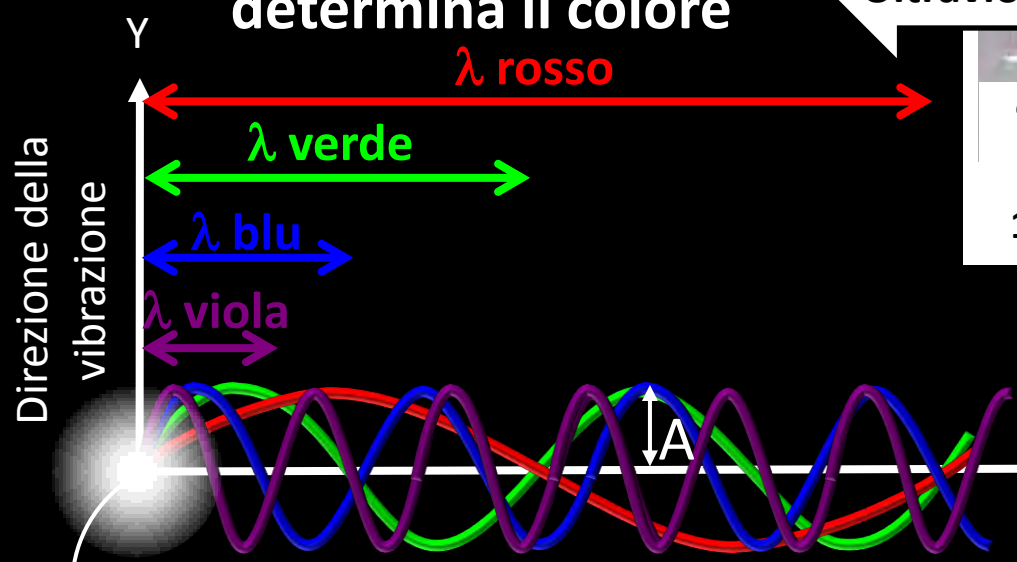
Cosa sono le radiazioni ionizzanti?

1) Radiazioni elettromagnetiche

La luce visibile rappresenta una piccola porzione dello spettro elettromagnetico con lunghezze d'onda da ~390 a ~770 nm

La lunghezza d'onda (λ) determina il colore





Onda di luce

Direzione della propagazione

X

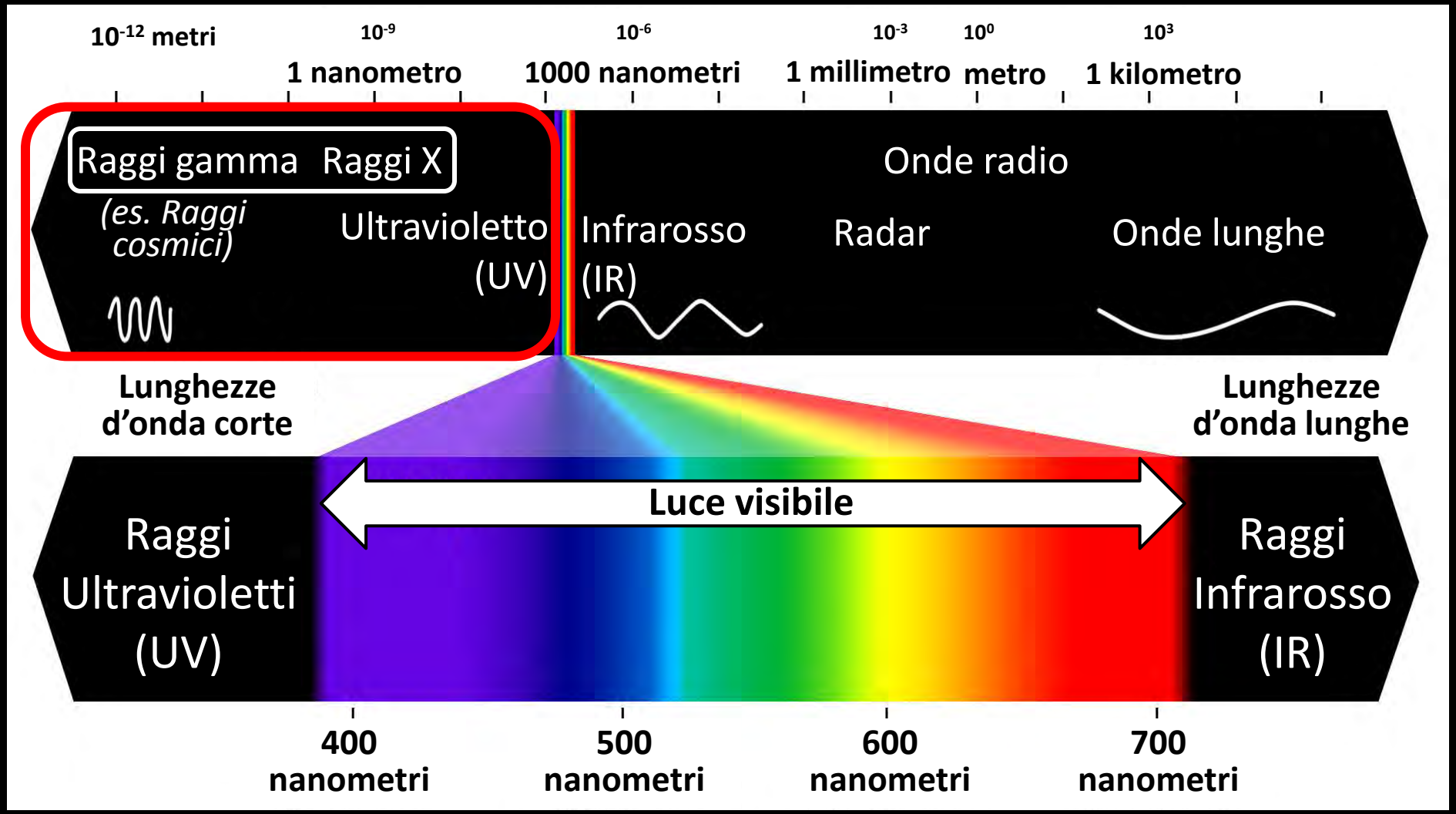
v = velocità dell'onda di luce:
*~3*10^5 km/sec (>1 miliardo di km/h)*

L'ampiezza (A) determina l'intensità

Sorgente di radiazioni elettromagnetiche (es. lampadina)

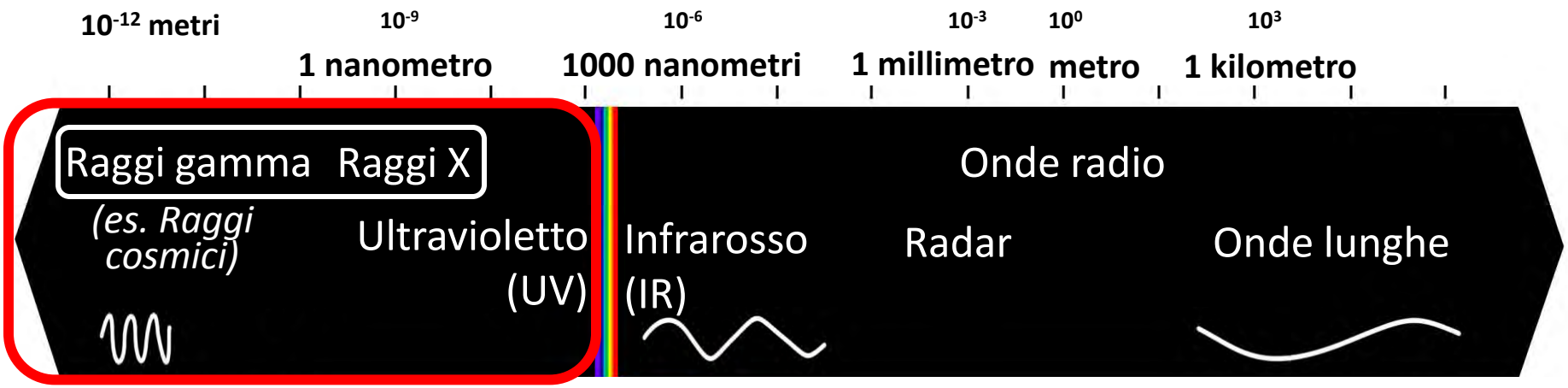
Cosa sono le radiazioni ionizzanti?

1) Radiazioni elettromagnetiche



Cosa sono le radiazioni ionizzanti?

1) Radiazioni elettromagnetiche



$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Elevata frequenza
=
Elevata energia

$$\nu = \frac{E}{h}$$

ν = Frequenza

c = velocità della luce

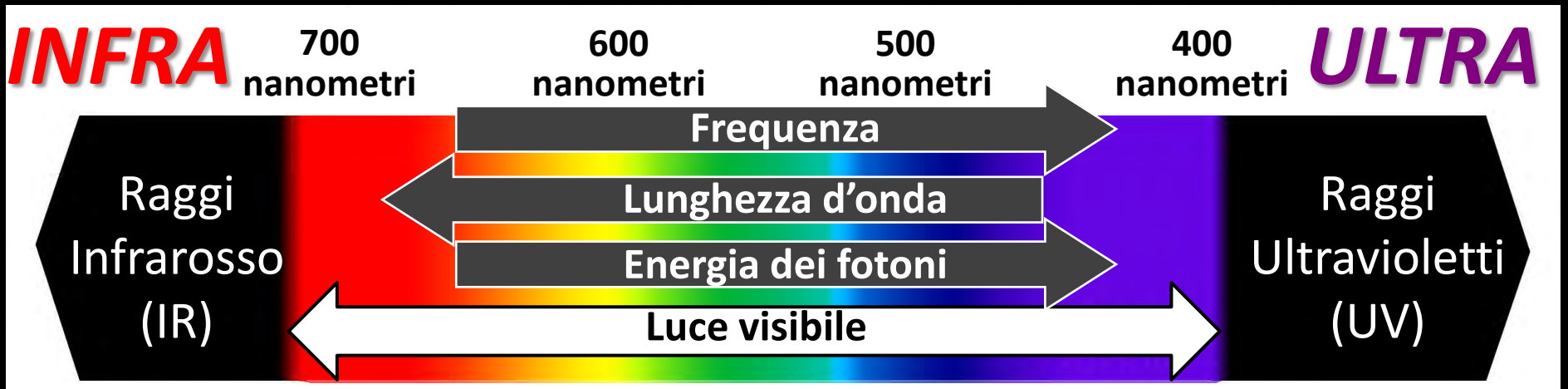
λ = Lunghezza d'onda

E = Energia

h = Costante di Plank

Cosa sono le radiazioni ionizzanti?

1) Radiazioni elettromagnetiche



$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Elevata frequenza = Elevata energia

$$\nu = \frac{E}{h}$$

ν = Frequenza

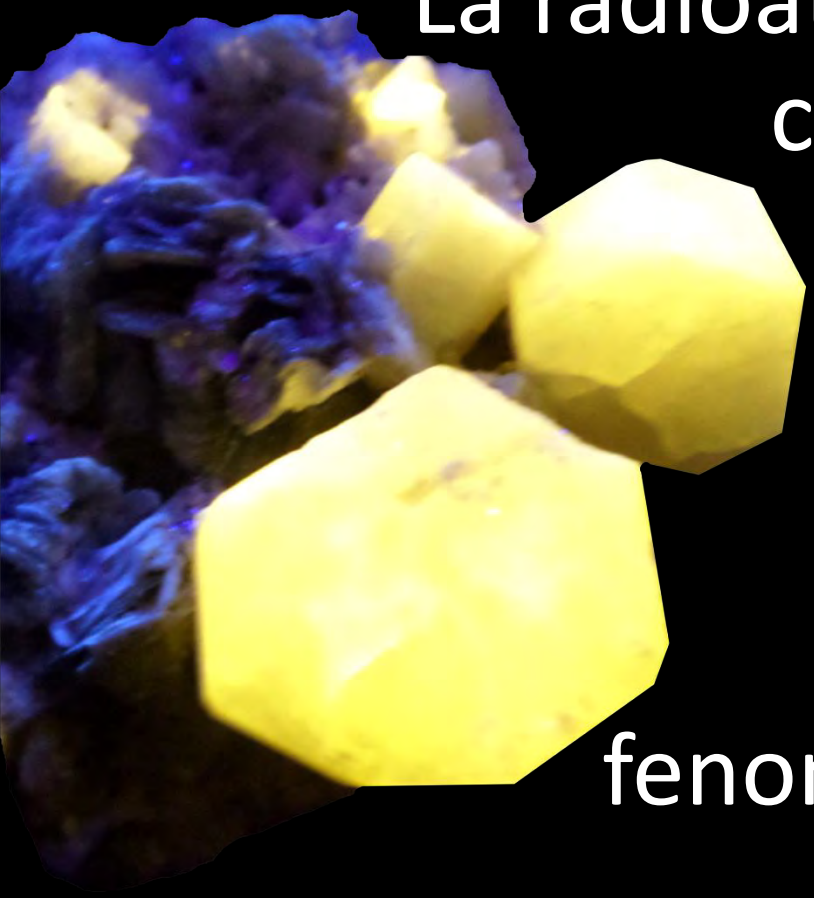
c = velocità della luce

λ = Lunghezza d'onda

E = Energia

h = Costante di Plank

I raggi X sono stati identificati per gli effetti della fluorescenza su particolari sostanze (es. solfuro di zinco = ZnS – sfalerite – e minerali contenenti uranio).



La radioattività è stata identificata cercando di capire meglio l'origine dei raggi X.

Quindi si può dire che la radioattività è stata identificata partendo dal fenomeno della fluorescenza.

Fluorescenza

Vedere la luce invisibile...

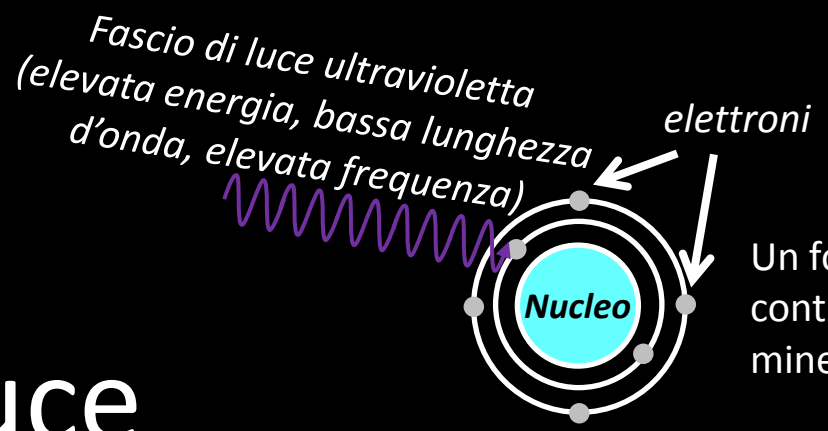
Eccitazione degli elettroni con:

Raggi catodici (*Crookes*)

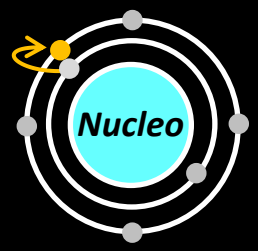
Raggi X (*Röntgen*)

Raggi γ (*Becquerel*)

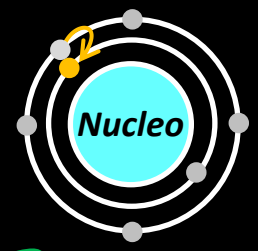
Raggi UV (*noi qui*).



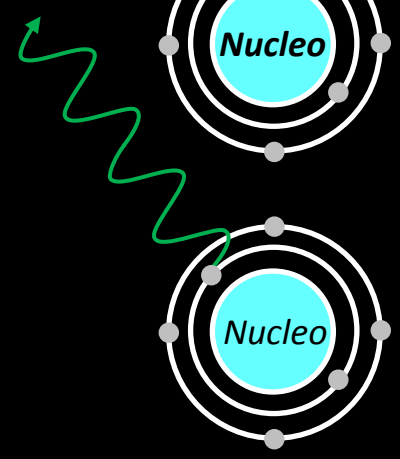
Un fotone impatta contro un elettrone del minerale.



L'energia dell'impatto eccita l'elettrone e lo spinge verso un orbitale più distante dal nucleo.



L'elettrone eccitato tende a ritornare nella sua posizione.



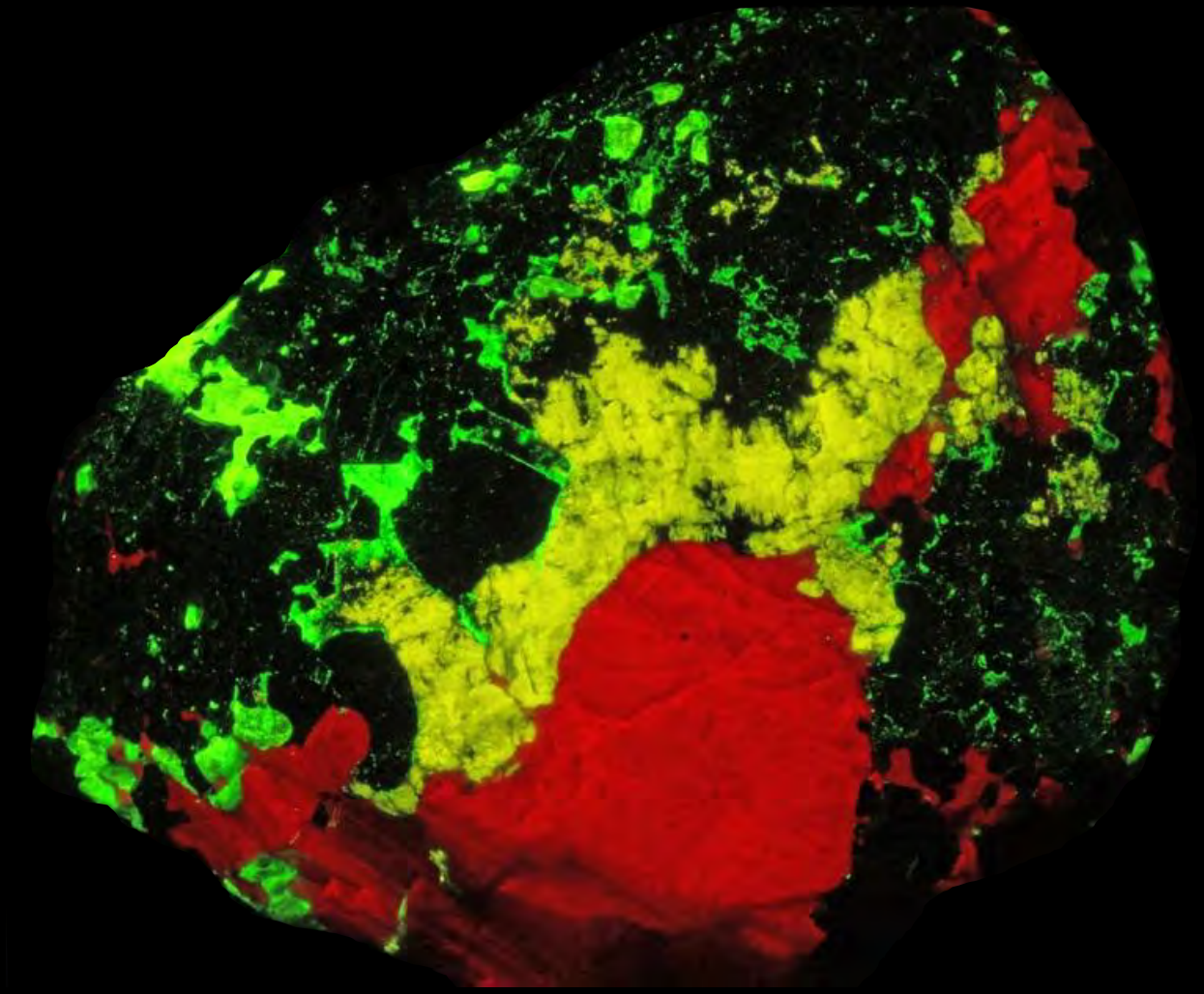
Durante il suo ritorno nella situazione originale l'elettrone perde parte dell'energia acquisita emettendo un fotone con lunghezza d'onda più lunga (ad energia più bassa).

Esperite, Calcite e Willemite (Franklin, New Jersey, USA)

www. naturesrainbows.com

Michele Lustrino 1 dicembre 2017 –DST, Roma

Esperite, Calcite e Willemite (Franklin, New Jersey, USA)



www. naturesrainbows.com

Michele Lustrino 1 dicembre 2017 –DST, Roma

Ritorniamo alle radiazioni ionizzanti

2) Radiazioni corpuscolari (ovvero dotate di massa):

Particelle alfa

Particelle beta

Naturali

Neutroni

Protoni

Positroni
(Elettroni con carica positiva)

(Anti)Neutrini
(100.000 volte più piccoli degli elettroni/positroni e senza carica)

Indotte

In chimica i simboli chimici degli elementi sono quasi sempre associati a uno o due numeri.

Numero dei protoni + neutroni (numero di massa)

$^{90}_{40}Zr$ $^{91}_{40}Zr$ $^{92}_{40}Zr$ $^{94}_{40}Zr$ $^{96}_{40}Zr$

Numero dei protoni

Siccome ad un numero di protoni corrisponde <u>unicamente</u> un singolo elemento, in genere si scrive:

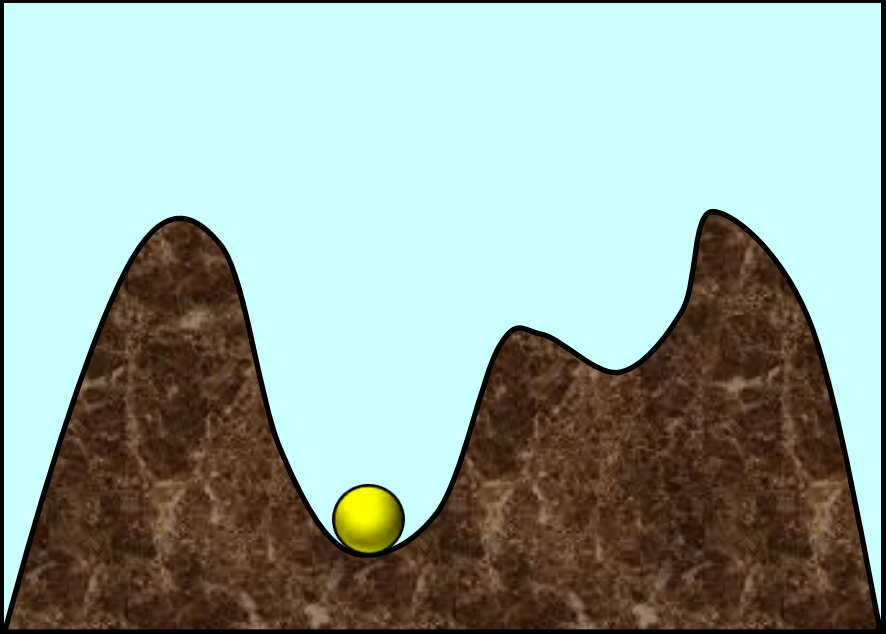
^{90}Zr ^{91}Zr ^{92}Zr ^{94}Zr ^{96}Zr

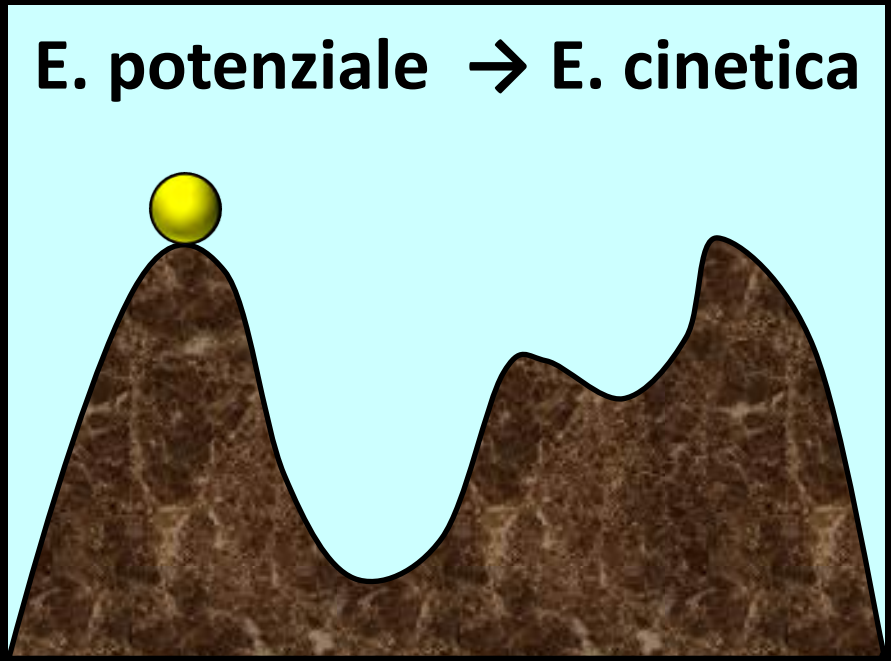
Tutti questi tipi diversi di atomi sono sempre atomi di Zirconio.

...Stesso posto = ισος τοπος *(in greco)* = isotopo

Alcuni isotopi sono stabili

La loro abbondanza non è diminuita dalla formazione del sistema solare.



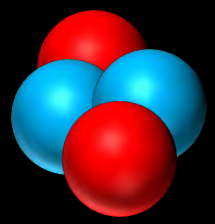


Altri isotopi sono instabili

La loro abbondanza è diminuita a partire dalla formazione del sistema solare.

Gli isotopi instabili si trasformano in atomi diversi emettendo radiazioni ionizzanti, essenzialmente:

Emissione di particella alfa α



2 protoni + 2 neutroni (un nucleo di $^{4}_{2}He$)

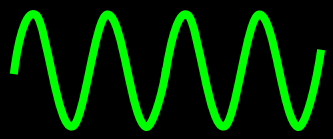
Carica 2+

Emissione di particella beta β

1 elettrone

Carica 1-

Emissione di radiazione gamma γ

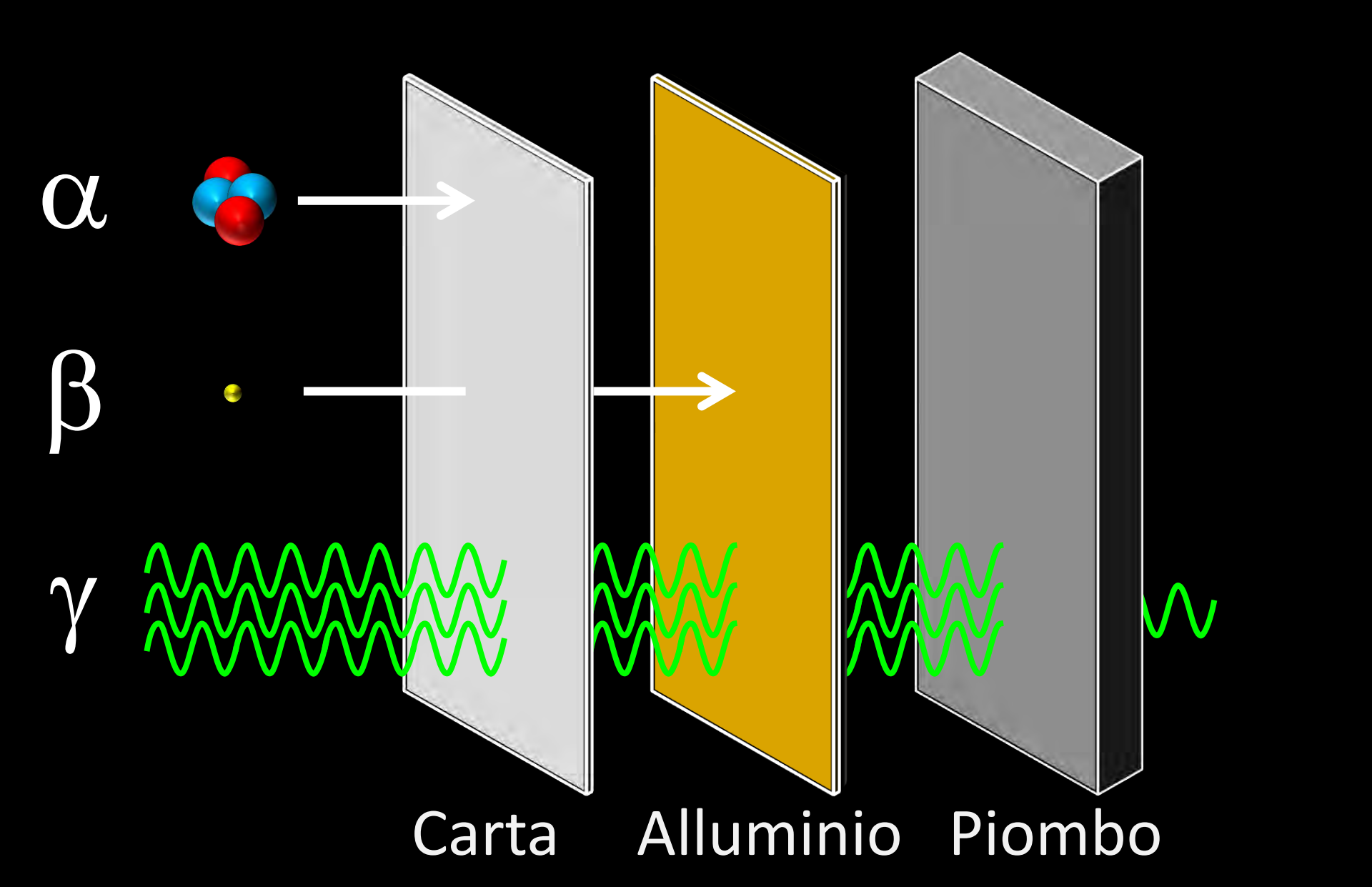


Radiazione elettromagnetica

Le radiazioni γ sono fotoni – pacchetti di energia – come quelli della "normale" luce, ma dotati di energia assai maggiore.

Ernest Rutherford
(1899)

Paul Villard
(1900)


α
β
γ
Carta
Alluminio
Piombo