



**2005**  
Anno Mondiale  
della Fisica

## *Il nucleare non è il diavolo*



*Progetto di monitoraggio della radioattività ambientale nelle scuole  
Sezione di Torino dell'INFN e Dipartimenti di Fisica dell'Università di Torino*

### *Il problema:*

**perché le radiazioni nucleari fanno paura?**

- le radiazioni, e le *radiazioni ionizzanti*,
- nuclei, radioattività, reazioni nucleari
- Einstein, la legge  $E=mc^2$  e l'energia nucleare

 *esperimento*

- la legge del caso nelle interazioni
- la statistica di Poisson

 *EXCEL*

## *nuclei, radioattività, reazioni nucleari*

- a) le radiazioni .... note e meno note**
- b) un po' di storia (Bequerel, Curie)**
- b) reazioni nucleari e reazioni chimiche**
- c) struttura del nucleo: protoni, neutroni, isotopi**
- d) energia di massa e relazione di Einstein  $E=mc^2$**
- e) le unità di misura dell'*attività* (Bq, Ci)**
- f) la legge del caso nelle reazioni nucleari***
- g) la fissione nucleare → uranio “impoverito”***
- h) catene di decadimenti radioattivi***



*L'esperimento*  
*misure di radioattività ambientale con il Geiger*

- a) imparare a usare il Geiger ed eseguire conteggi su tempi brevi in varie posizioni anche in presenza di “campioni”
- b) confrontare i conteggi e imparare a distinguere differenze “significative” da differenze “casuali”
- c) *distribuzioni casuali*: registrare i conteggi del geiger ogni 10 s per una ventina di minuti e farne la distribuzione
- d) analisi e discussione dei parametri della distribuzione casuale (media, moda, dispersione)



*Analisi e calcoli:  
simulazione della distribuzione di Poisson*

- a) *la distribuzione di Poisson*
- b) **il “metodo di Montecarlo” per simulare *eventi casuali***
- c) **imparare a usare il foglio EXCEL “random” per creare eventi casuali**
- d) **confronto grafico fra i dati sperimentali, i dati simulati e la distribuzione di Poisson**



# *Che cosa sono le “radiazioni” ?*

**diversi tipi di radiazioni:**

*luminose, infrarosse, elettromagnetiche ... ionizzanti*

**In ogni tipo di radiazione c'è sempre:**

- una *sorgente*
- un *rivelatore*
- qualche cosa che “viaggia” dalla sorgente al rivelatore

**ciò che viaggia è ... *un flusso di energia!***



## *L'energia della “radiazione”*

- l'energia della radiazione è portata da singoli “granelli”, i **quanti** di energia (*per la radiazione visibile sono i “fotoni”*);
- l'energia  $E$  del singolo quanto si calcola dalla “*relazione di Planck*”,  $E = h f$  ( $f$ =frequenza,  $h$ =costante di Planck)



## *I quanti di energia*

*quanta energia ha un “fotone rosso”?*

**pochissima: circa  $3 \cdot 10^{-19}$  joule ( $\approx 2$  eV)!**

*e un “fotone termico”?*

**anche un fattore 10 di meno**

*e un “fotone del telefono cellulare”?*

**circa un miliardo di volte di meno ( $\approx 10^{-9}$  eV)**



*Per ogni tipo di quanto occorrono  
sorgenti e rivelatori opportuni*

*la sorgente:*

*trasforma in energia radiante altre forme di energia*

*il rivelatore:*

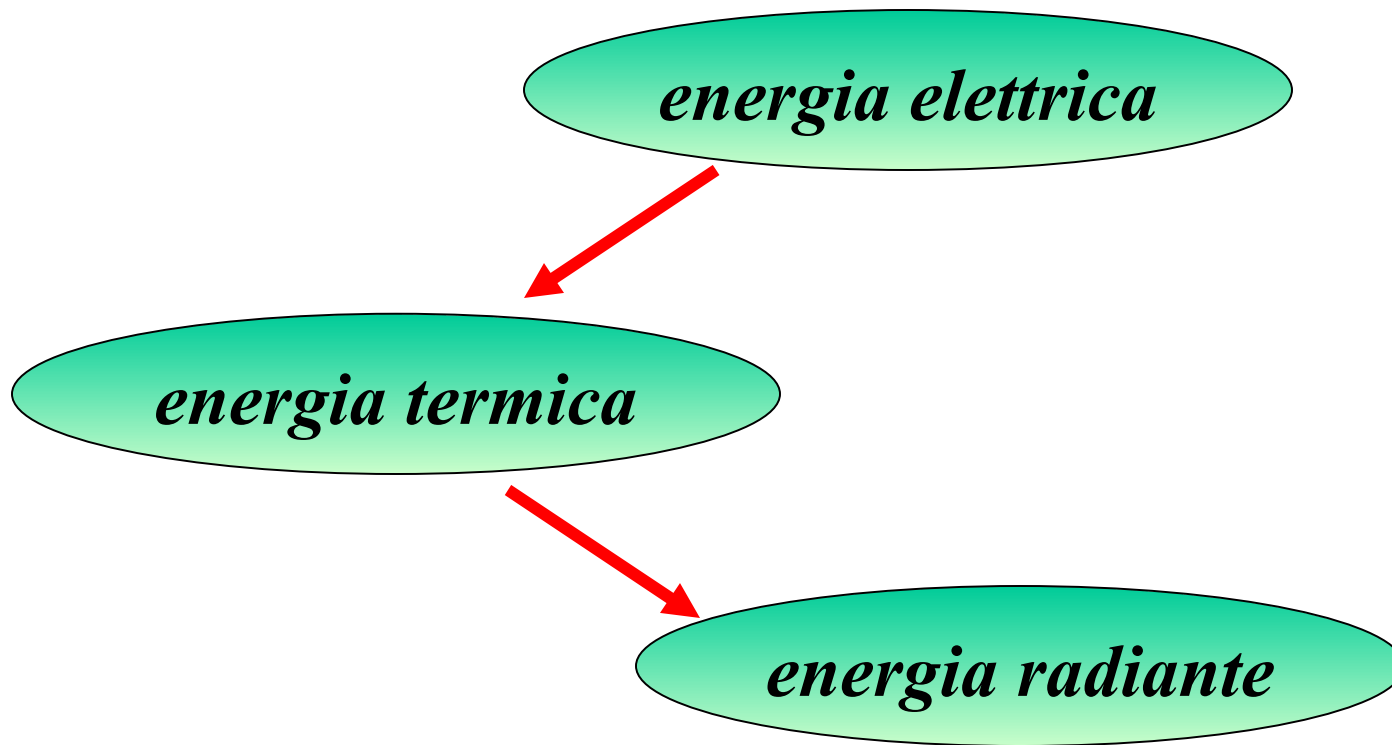
*trasforma l'energia radiante in altre forme di energia*



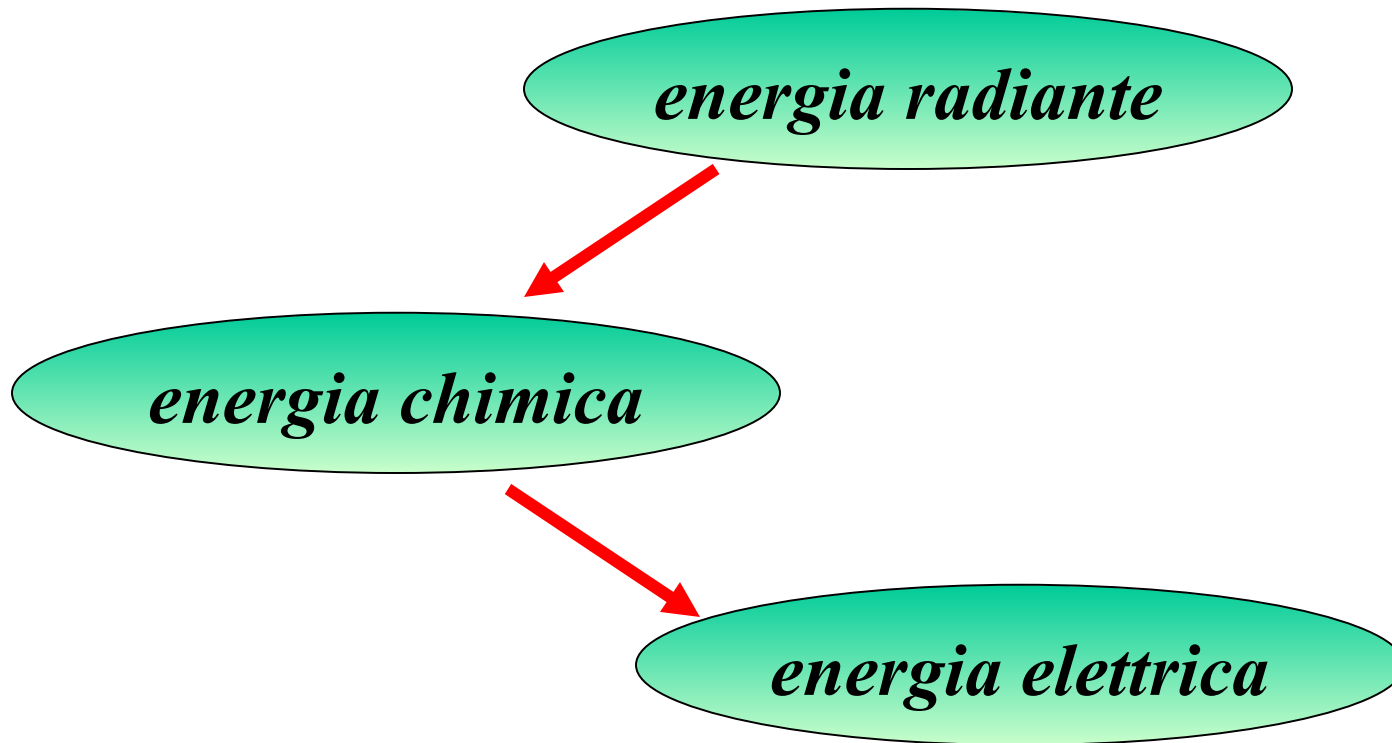


# Esempio

*in una lampadina (sorgente di “fotoni visibili”):*



*nella retina dell'occhio (rivelatore di “fotoni visibili”):*



# La “soglia di sensibilità”

*quale è la minima energia  
perché il rivelatore “funzioni”?*

*e quindi quale è il numero  
minimo di quanti di energia?*

*non è un problema di energia  
ma di **potenza** (watt=J/s)*

*e quindi  
di **numero di quanti al secondo***



# Esempio

*a che punto si comincia a scorgere la luce di un LED rosso del faretto di posizione di un'auto?*

*potenza del LED*

*distanza*

*area sensibile della retina*

*la frazione di potenza intercettata è circa proporzionale a  $r^2/R^2$*

*se  $r \approx 2$  mm,  $R \approx 500$  m,  $r^2/R^2 \approx 10^{-11}$   
(molto meno di un miliardesimo!)*

*per un faretto di circa 1 W, ciò corrisponde a circa  
100 milioni di fotoni al secondo*

# Le radiazioni ionizzanti

*i loro quanti hanno energie miliardi di volte maggiori dell'energia delle radiazioni visibili*

*l'energia è così alta che un rivelatore può facilmente rivelare il **singolo quanto***

*da dove proviene questa enorme energia?*

*da **reazioni nucleari***



# Iniziamo dagli atomi

## Gli atomi e la tabella di Mendeleiev

1
1,008
<b>H</b>
idrogeno

← *numero atomico Z*

← *numero di massa in u.m.a.*

← *simbolo*

← *nome dell'elemento*

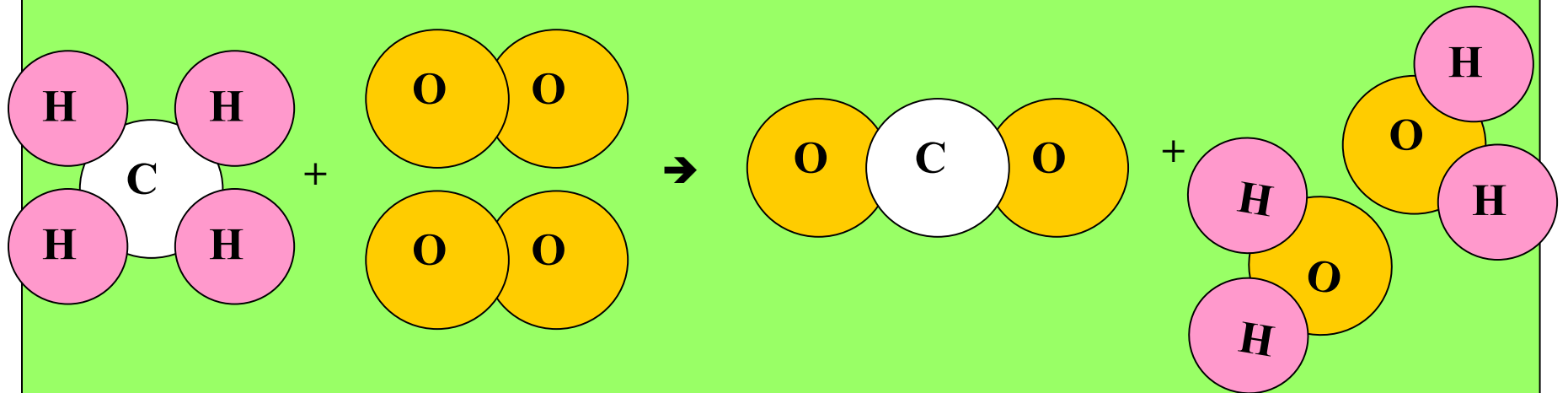
2
4,003
<b>He</b>
elio

3	4	5	6	7	8	9	10
6,941	9,012	10,811	12,011	14,007	15,994	18,998	20,180
<b>Li</b>	<b>Be</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>F</b>	<b>Ne</b>
litio	berillio	boro	carbonio	azoto	ossigeno	fluoro	neon



# *Le reazioni chimiche*

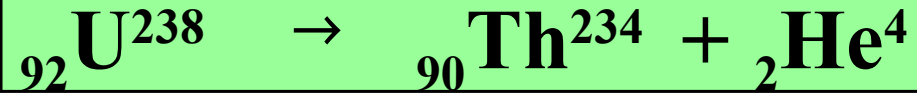
**Combustione del metano.** Il metano è formato da un atomo di carbonio e 4 atomi di idrogeno (formula chimica CH<sub>4</sub>): in presenza di ossigeno (O<sub>2</sub>), si forma anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e acqua (H<sub>2</sub>O)



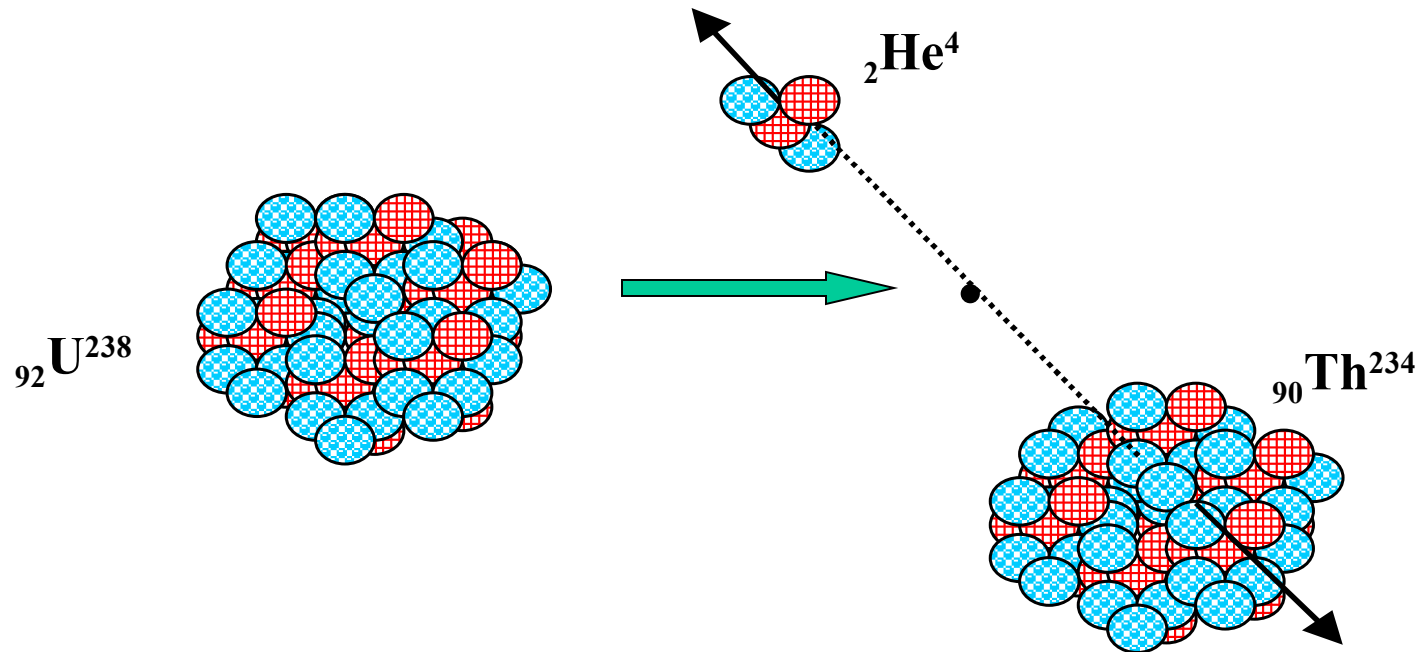
**nessun atomo viene creato dal nulla ma neppure scompare**



# *La prima reazione nucleare*



*prima* ..... *dopo*





*da dove proviene  
l'energia di moto di He e Th?*

*dalla trasformazione di  
energia di massa  
in  
energia cinetica*

*l'energia di massa:  $E = m c^2$*

$$m_U c^2 = m_{Th} c^2 + m_{He} c^2 + 1/2 m_{Th} v^2 + 1/2 m_{He} v'^2$$



# *Sorgenti di radiazione e unità di misura “dosimetriche”*

## *Sorgenti naturali di radiazione:*

- raggi cosmici*
- radionuclidi presenti nell'ambiente (uranio, radon)*
- radionuclidi presenti nel corpo ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ )*

## *Unità dosimetriche:*

*Sono state introdotte per valutare gli effetti sul corpo dell'assorbimento di energia dovuta alle radiazioni di origine nucleare (“ionizzanti”).*

### *Unità di misura:*

- “attività” → **bequerel (Bq)**: numero di particelle ionizzanti che colpisce il corpo*
- “dose assorbita” → **gray (Gy)**: energia depositata per kg di peso;  $1\text{Gy} = 1\text{J/kg}$*
- “dose equivalente” → **sievert (Sv)**: dose assorbita per il “fattore di qualità” della radiazione (alto per neutroni e nuclei pesanti, =1 per elettroni e gamma)*



## *Qualche dato*

### *Tipicamente*

- la radiazione cosmica è circa 0,3 mSv/anno al livello del mare (circa il doppio a 1000 m)*
- i radionuclidi presenti nel corpo umano sono circa 0,3 mSv/anno*
- la radioattività ambientale varia molto da zona a zona*

### *Radioattività ambientale in alcune città italiane*

Ancona	0.85	Napoli	2.13
Aosta	0.49	Palermo	0.90
Bari	0.83	Perugia	0.86
Bologna	0.80	Potenza	1.31
Cagliari	0.86	Reggio Cal.	1.28
Campobasso	0.69	Roma	1.58
Firenze	0.77	Torino	0.86
Genova	0.75	Trento	0.84
L'Aquila	0.82	Trieste	0.76
Milano	0.82	Venezia	0.77

*Limite raccomandato di esposizione: 15 mSv/anno*

*Dose "letale": 2,5 - 3 Sv*



## *Un po' di conti*

*Per i contatori geiger che verranno usati si può stimare:*

- una massa di circa 1 g nella zona sensibile*
- energia media depositata dalla singola particella circa  $10^{-13}$  J (0,5 MeV)*
- fattore di qualità circa 1 (i nuclei pesanti vengono bloccati dalla finestra di protezione del tubo geiger)*

*Per passare da Bq (conteggio medio al secondo) a mSv/anno:*

$1 \text{ Bq} \approx 10^7 \text{ conteggi/anno}$  (1 anno = 365 giorni \* 24 h/giorno \* 3600 s/h)

$1 \text{ conteggio nel contatore} \rightarrow 10^{-13} \text{ J}/10^{-3} \text{ kg} = 10^{-10} \text{ Sv}$

$10^7 \text{ conteggi/anno} \rightarrow \approx 10^{-3} \text{ Sv/anno} \approx 1 \text{ mSv/anno}$

**→ quindi un conteggio/secondo è ben al di sotto del limite raccomandato!**

