



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*

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 (≈ 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:

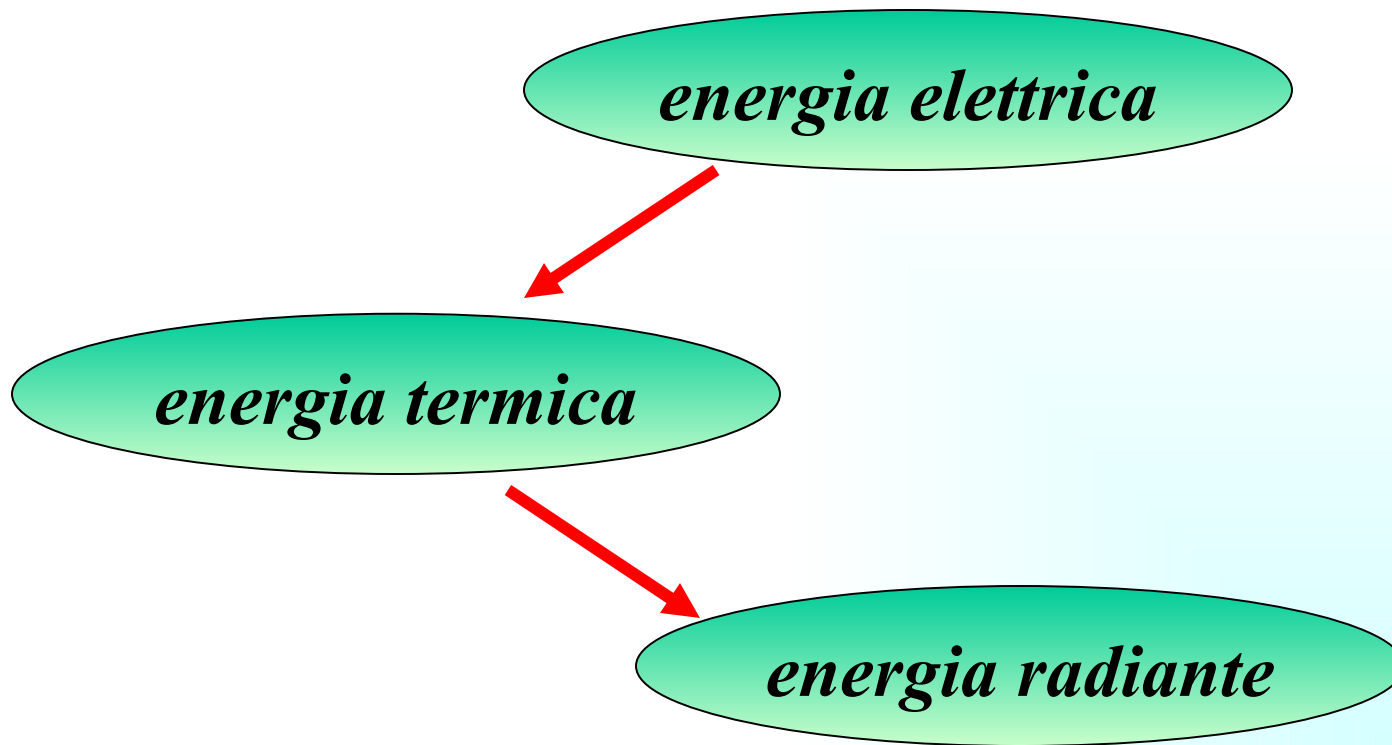
trasforma in energia radiante altre forme di energia

il rivelatore:

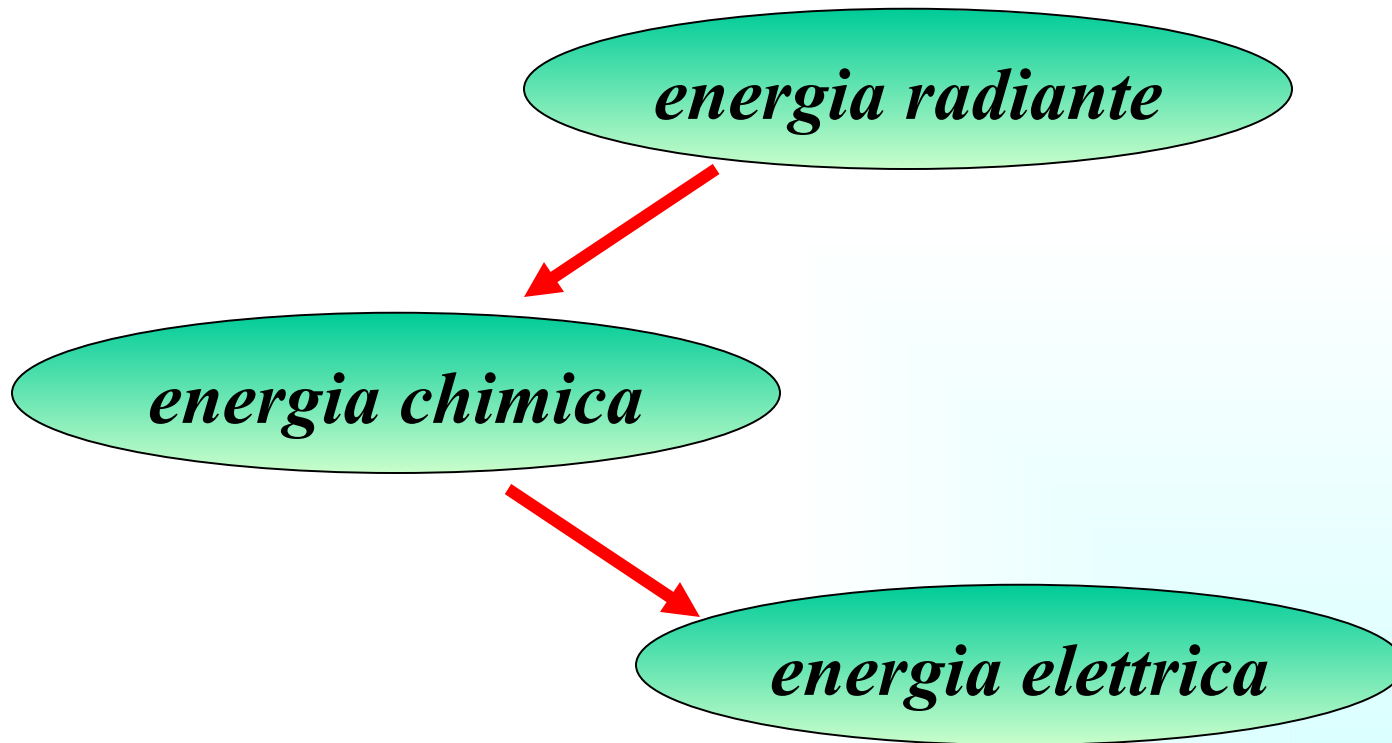
trasforma l'energia radiante in altre forme di energia

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
H
idrogeno

← *numero atomico Z*

← *numero di massa in u.m.a.*

← *simbolo*

← *nome dell'elemento*

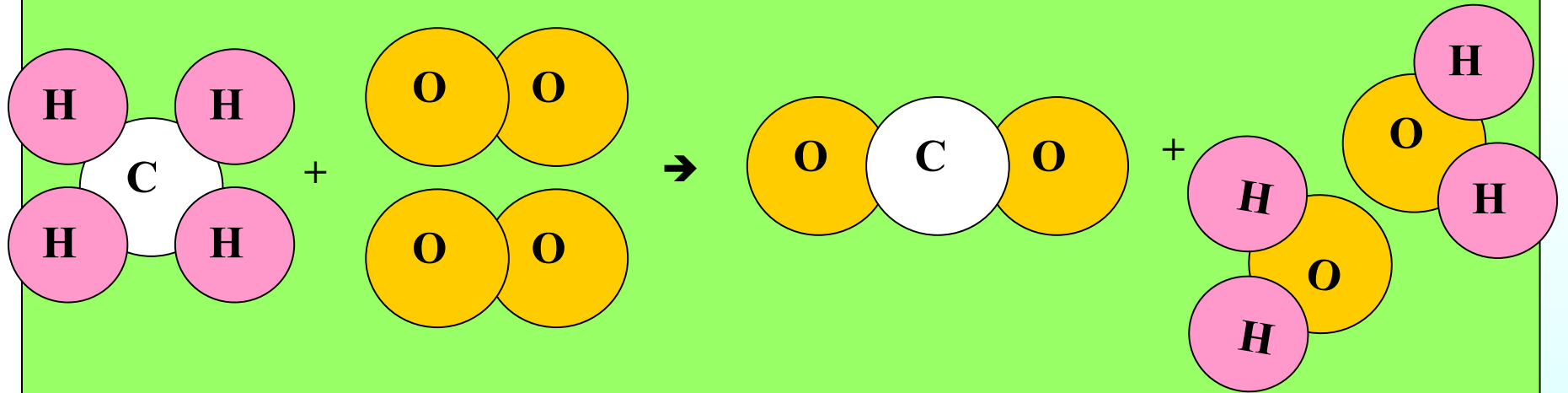
2
4,003
He
elio

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

azoto

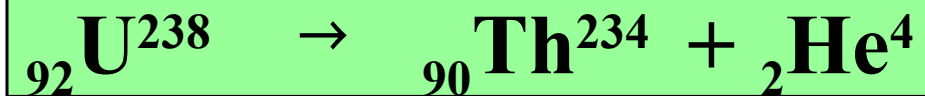
Le reazioni chimiche

Combustione del metano. Il metano è formato da un atomo di carbonio e 4 atomi di idrogeno (formula chimica CH_4): in presenza di ossigeno (O_2), si forma anidride carbonica (CO_2) e acqua (H_2O)

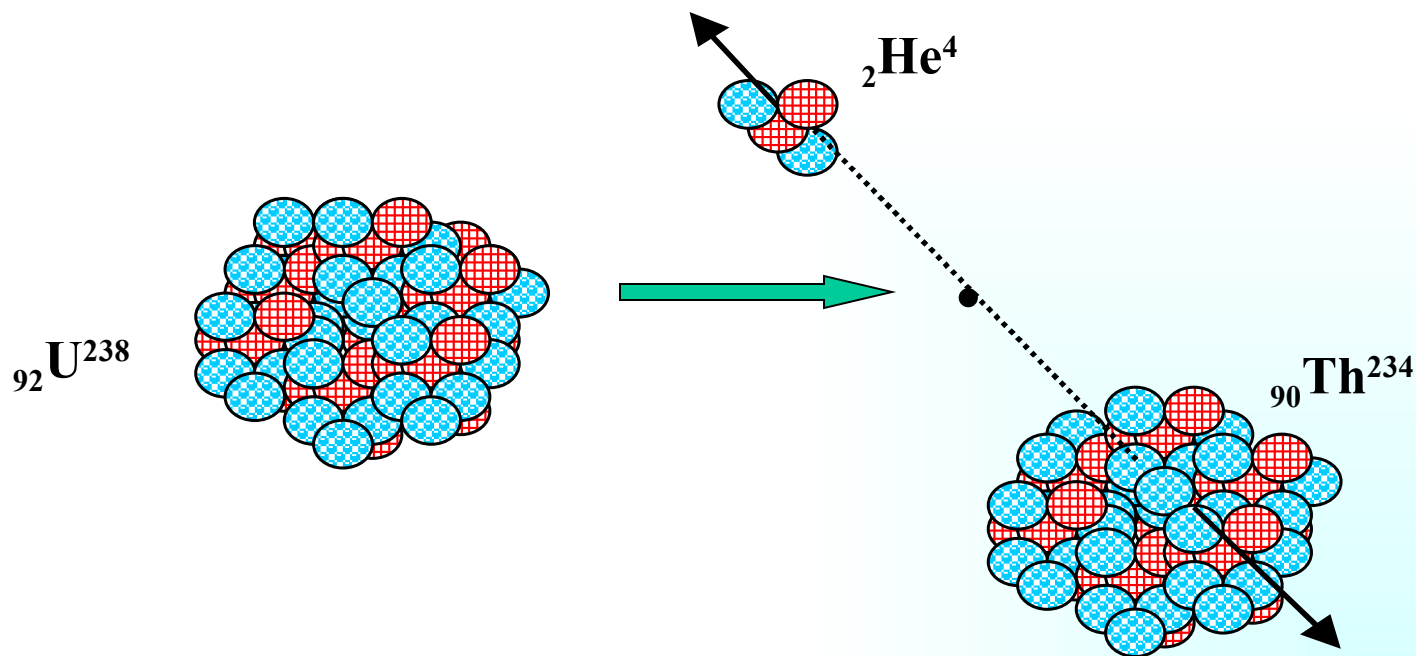


nessun atomo viene creato dal nulla ma neppure scompare

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: $E = m c^2$

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

l'energia nucleare

$$1/2m_{\text{He}} v'^2 \approx m_{\text{U}} c^2 - m_{\text{Th}} c^2 - m_{\text{He}} c^2 \approx 4 \text{ MeV}$$

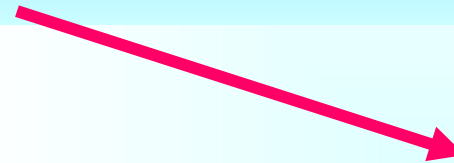


Questa energia è enormemente più elevata dell'energia rilasciata in una singola reazione chimica o anche nell'emissione di un singolo fotone visibile.

Due conseguenze:



il "rischio nucleare"



il peculiare comportamento statistico

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}K , ^{14}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 emesse in 1 secondo*
- “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!

Il peculiare comportamento statistico

È tipico delle interazioni quantistiche:

- inizialmente ci sono “oggetti discreti” (atomi, fotoni, molecole, nuclei, ecc.), caratterizzati da proprietà caratteristiche (energia, carica elettrica, quantità di moto, ecc.);*
- che interagiscono fra di loro causando una transizione a uno stato finale diverso, formato da oggetti discreti diversi, con diverse proprietà, ma con la conservazione complessiva di energia, quantità di moto, carica elettrica, ecc.;*
- l'interazione avviene in modo completamente casuale nel tempo secondo la legge:*

$$\Delta N : N = \Delta t : \tau$$

ΔN = numero di oggetti che interagisce nell'intervallo di tempo Δt

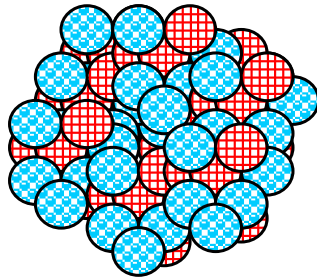
N = numero di oggetti che sono ancora “vivi” all'istante t

$1/\tau$ = probabilità di interazione nell'unità di tempo: è la grandezza quantistica, che dipende dall'energia di accoppiamento fra lo stato iniziale e lo stato finale; non dipende da t né dalla nostra conoscenza dello stato del sistema (indeterminismo non epistemico)

Esempio: emissione

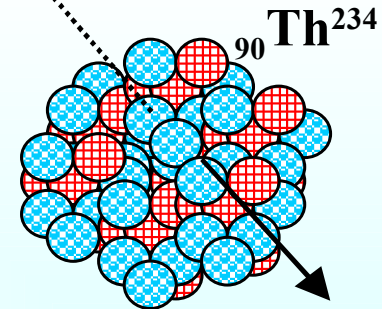
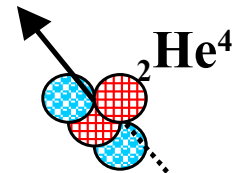
stato iniziale

${}_{92}\text{U}^{238}$



*energia di
accoppiamento*

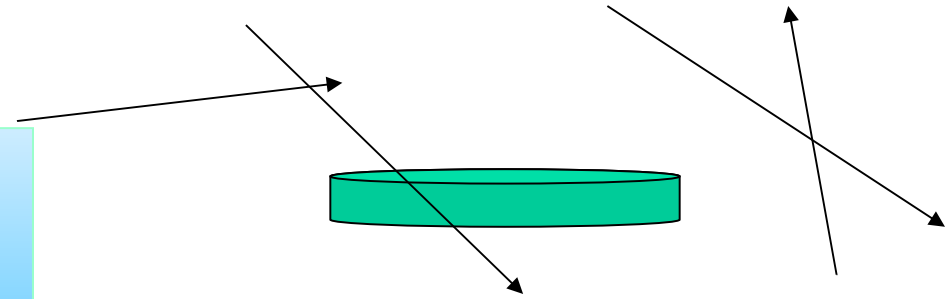
stato finale



$$\Delta N = N \cdot \Delta t \cdot \frac{1}{\tau}$$

Rivelazione della radiazione

La probabilità p di rivelazione della radiazione prodotta nella **singola** reazione nell'intervallo di tempo Δt è:



- **proporzionale a ΔN**
- **dipende dalle caratteristiche geometriche (superficie, volume) e fisiche (massa, materiale, soglia di rivelazione) del rivelatore**
- **se p è piccola, si rivela il **singolo evento** e il risultato è “sì” o “no”**
- **e si hanno quindi un certo numero di **conteggi** registrati dal rivelatore**
- **non è possibile prevedere quanti conteggi ci saranno nell'intervallo di tempo Δt , però è possibile prevedere il numero medio di conteggi che permette di risalire, noti i parametri geometrici e fisici del rivelatore, alle caratteristiche della radiazione incidente (N_0 , τ , ecc.)**
- **la legge di distribuzione è la legge di Poisson:**
 - **la varianza è proporzionale alla media dei conteggi in Δt ,**
 - **l'errore sulla media è proporzionale a $1/\sqrt{N}$**

Fogli excel

idro-2006.xls:

- distribuzione dei conteggi registrati in un intervallo Δt (due “demo”, con dati di Torino e di Frascati)
- calcolo di media e varianza
- confronto con una distribuzione di Poisson avente lo stesso conteggio medio

idro-poisson.xls:

- costruzione di una distribuzione di Poisson a partire da numeri a caso, data la probabilità p di rivelazione nell'intervallo Δt
- calcolo di media e varianza