LE EMERGENZE RADIOLOGICHE E NUCLEARI :

PROBLEMATICHE RADIOPROTEZIONISTICHE , OPERATIVE E LEGISLATIVE

ROMA 6 - 7 marzo 2008

GRANDEZZE FISICHE E TECNICHE DI MISURA

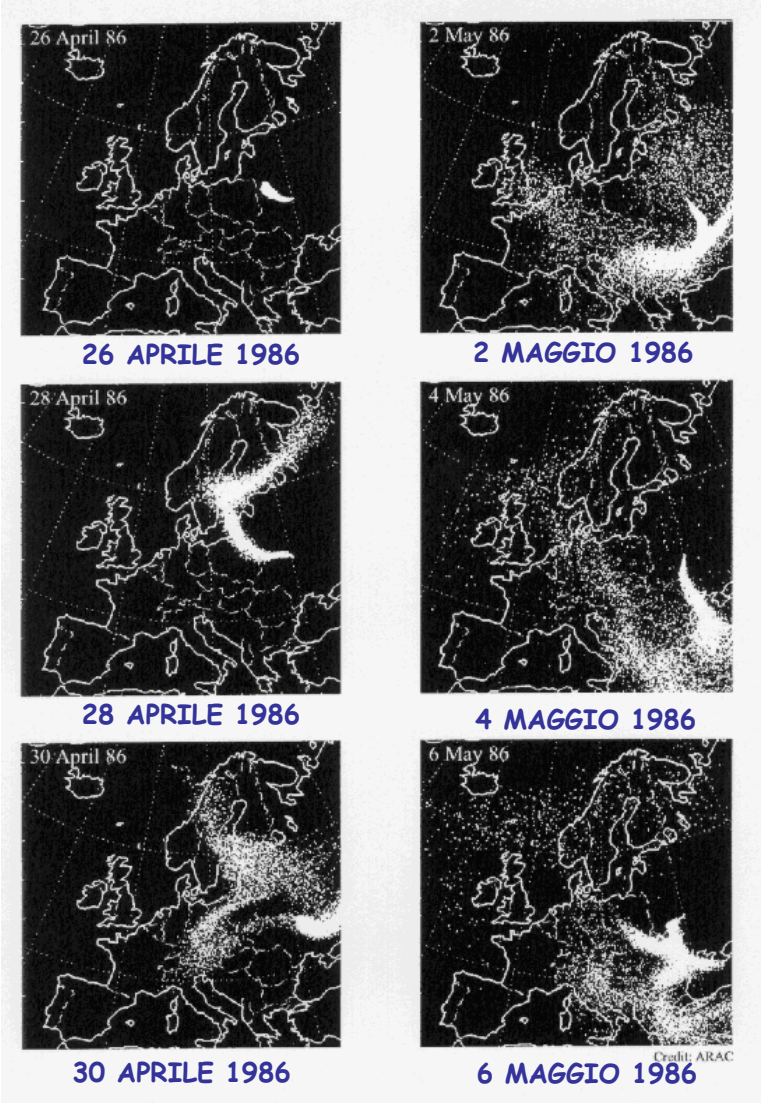
GIULIANO MOSCHINI

UNIVERSITA' DI PADOVA

SORGENTI DI RADIAZIONI

CHERNOBYL

SVILUPPO DELLA NUBE RADIOATTIVA NEI GIORNI SUCCESSIVI ALL' INCIDENTE

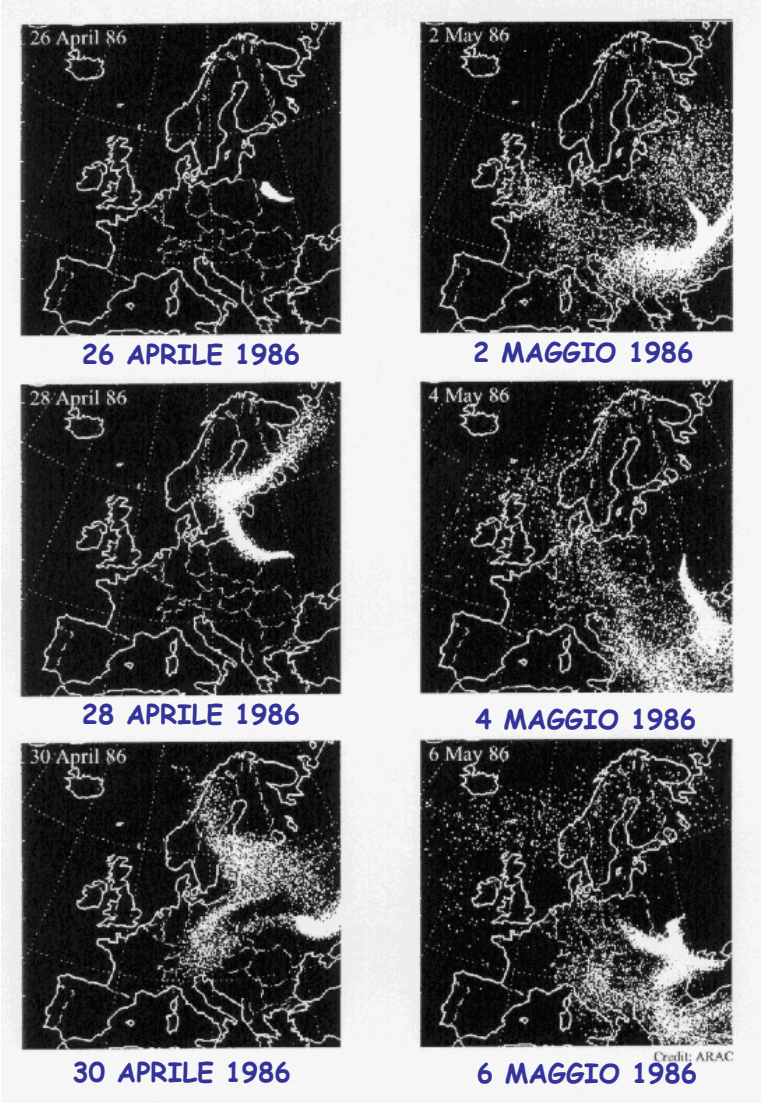


STIMA DELL'ATTIVITA' RILASCIATA DAI VARI NUCLIDI DURANTE L'INCIDENTE.

RADIONUCLIDE	EMIVITA	Attività rilasciata (PBq)
^{33}Xe	5.3 d	6500
^{131}I	8.0 d	1760
^{134}Cs	2.0 y	54
^{137}Cs	30.0 y	85
^{132}Te	78.0 h	1150
^{89}Sr	52.0 d	115
^{90}Sr	28.0 y	10
^{140}Ba	12.8 d	240
^{95}Zr	1.4 h	196
^{99}Mo	67.0 h	168

CHERNOBYL

SVILUPPO DELLA NUBE RADIOATTIVA NEI GIORNI SUCCESSIVI ALL' INCIDENTE



STIMA DELL'ATTIVITA' RILASCIATA DAI VARI NUCLIDI DURANTE L'INCIDENTE.

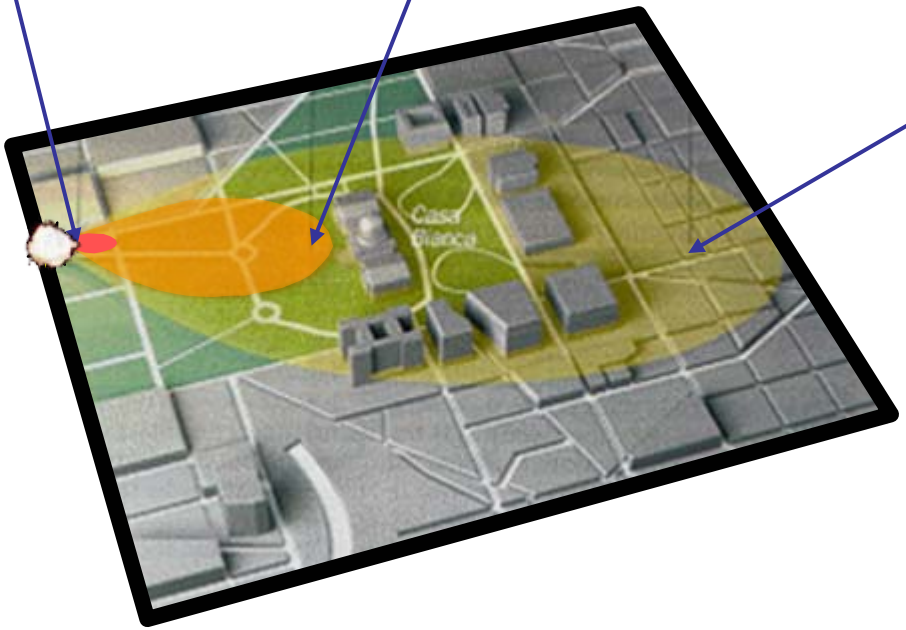
RADIONUCLIDE	EMIVITA	Attività rilasciata (PBq)
^{103}Ru	39.6 d	168
^{106}Ru	1.0 y	73
^{141}Ce	33.0 d	196
^{144}Ce	285.0 d	116
^{239}Np	2.4 d	95
^{238}Pu	86.0 y	0.035
^{239}Pu	24400.0 y	0.03
^{240}Pu	6580.0 y	0.042
^{241}Pu	13.2 y	6
^{242}Cm	163.0 d	0.9

IPOTETICI EFFETTI DI UNA BOMBA AL CESIO SU WASHINGTON

Nei pressi dell' epicentro dell'esplosione si registra una morte per cancro ogni 100 abitanti

A causa delle radiazioni residue, in quest'area le morti per cancro sono una ogni 1000 abitanti

Anche a più di 20 Km dall' esplosione l'incidenza dei tumori arriva a un caso ogni 10.000 abitanti



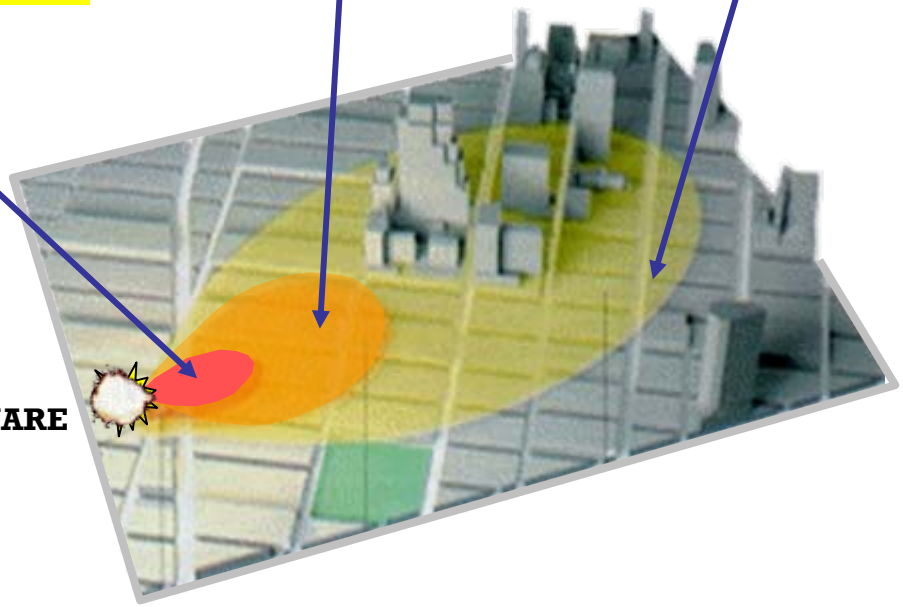
UN CUCCHIAIO DA TE' DI CESIO 137 SOPRA DUE TONNELLATE DI TRITOLO RENDEREBBE LA CAPITALE AMERICANA INABITABILE PER DECENNI (CENTRO PER GLI STUDI STRATEGICI E INTERNAZIONALI DI WASHINGTON)

IPOTETICI EFFETTI DI UN ORDIGNO ALL'AMERICIO SU NEW YORK

Tutti gli abitanti di qust'area sopravvissuti all' eplosione devono ricevere cure mediche

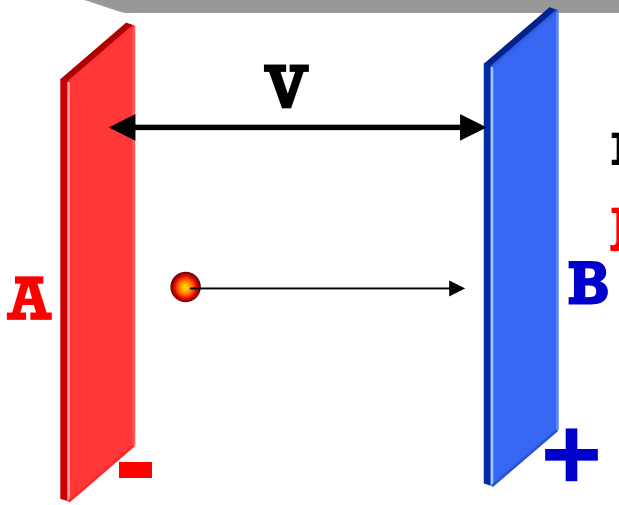
Superamento della dose massima annuale di radiazioni. Alto rischio di contrarre tumori.

Area da evacuare prima del passaggio della nube radioattiva



UN' AREA PARI A CIRCA 60 ISOLATI DOVREBBE ESSERE EVACUATA

UNITA' DI MISURA DELL'ENERGIA : ELETTRONVOLT



DI NORMA, L'ENERGIA E' MISURATA IN JOULE

$$1\ eV = 1{,}6\ 10^{-19}\ J$$

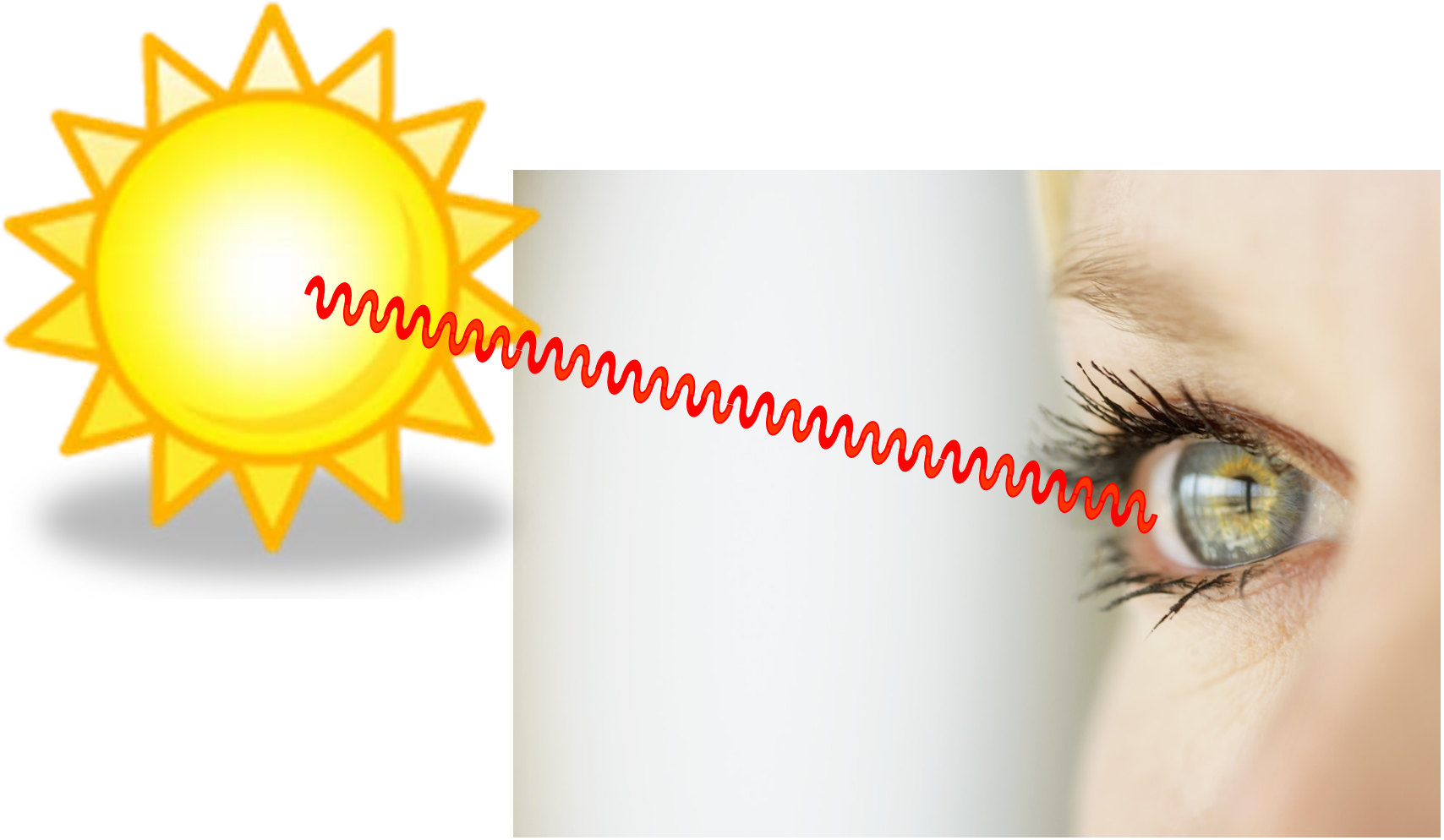
QUANDO UN ELETTRONE ATTRAVERSA LA DIFFERENZA DI POTENZIALE DI 1 VOLT SI DICE CHE L'ELETTRONE HA ACQUISTATO UNA ENERGIA DI 1 ELETTRONVOLT (eV).

MULTPLI

V = MILLE VOLT → ENERGIA = 1 KeV (MILLE eV)

V = UN MILIONE DI VOLT → ENERGIA = 1 MeV (UN MILIONE DI eV)

V = UN MILIARDO DI VOLT → ENERGIA = 1 GeV (UN MILIARDO DI eV)



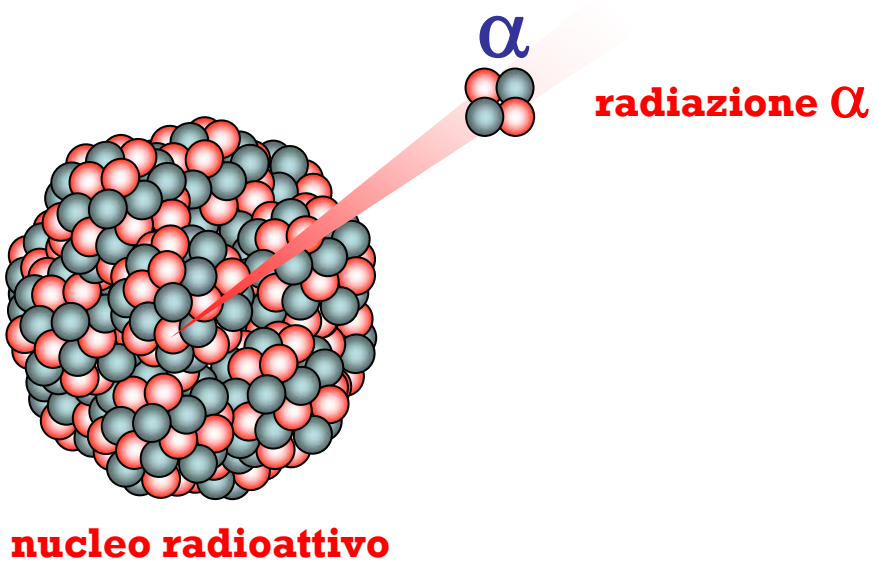
LE ONDE ELETTROMAGNETICHE EMESSE DAL SOLE (LUCE) HANNO ENERGIA COMPRESA TRA 1,5 eV e 3 eV

RADIOATTIVITA'

α , β , γ

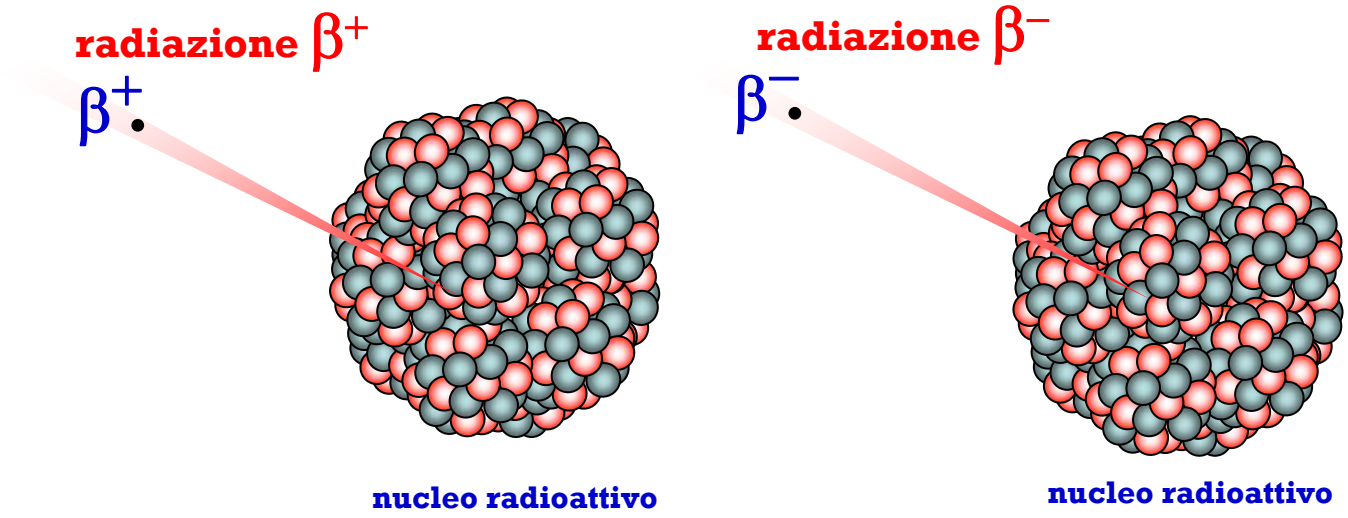
RADIOATTIVITÀ α

DA UN NUCLEO RADIOATTIVO SI PUO' AVERE EMISSIONE DI PARTICELLE ALFA, CIOÈ NUCLEI DELL'ATOMO DI ELIO. LA PARTICELLA ALFA E' COSTITUITA DA DUE PROTONI E DA DUE NEUTRONI.



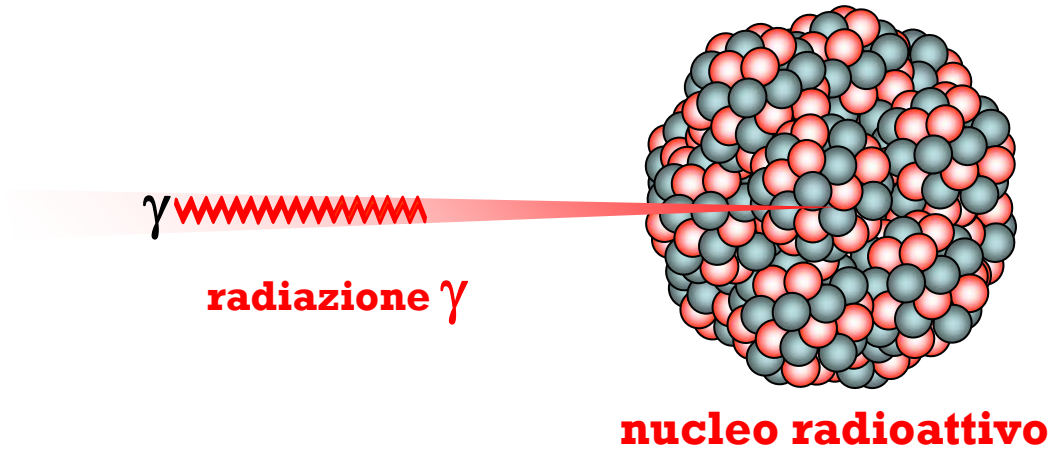
RADIOATTIVITÀ $\beta\pm$

DA UN NUCLEO RADIOATTIVO SI PUO' AVERE EMISSIONE DI PARTICELLE BETA, CIOE' PARTICELLE IDENTICHE AGLI ELETTRONI, MA CON CARICA CHE PUO' ESSERE ANCHE POSITIVA (POSITRONI).



RADIOATTIVITÀ γ

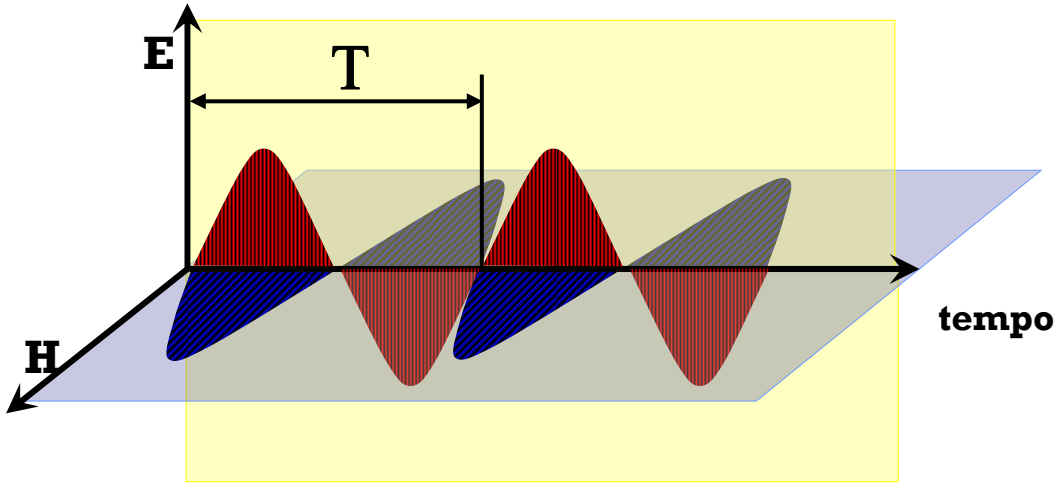
DA UN NUCLEO RADIOATTIVO SI PUÒ AVERE EMISSIONE DI RADIAZIONE GAMMA, CIOÈ ONDE ELETTROMAGNETICHE DI ENERGIA ELEVATA.



LE RADIAZIONI GAMMA SONO

ONDE ELETTROMAGNETICHE

$$\frac{1}{T} = f$$



LA FREQUENZA f DI OSCILLAZIONE DEI CAMPI ELETTRICO E MAGNETICO SI MISURA IN HERTZ (Hz)

ATTIVITA'

NUMERO DI TRASFORMAZIONI NUCLEARI SPONTANEE DI UN RADIONUCLIDE CHE SI PRODUCONO NELL'UNITA' DI TEMPO.

UNITA' DI MISURA DELL'ATTIVITA'

BECQUEREL (Bq)

1 Bq = 1 DISINTEGRAZIONE AL SECONDO

UNITA' NON PIU' UTILIZZABILE E' IL CURIE (Ci)

$$1\ Ci = 3{,}7 \cdot 10^{10}\ Bq$$

SORGENTI DI NEUTRONI

SORGENTI PORTATILI DI NEUTRONI

NUCLEI PIU' PESANTI DELL' URANIO, DETTI TRANSURANICI, PRESENTANO IL FENOMENO DELLA FISSIONE SPONTANEA. IL NUCLEO SI ROMPE SPONTANEAMENTE IN DUE FRAMMENTI CON EMISSIONE DI NEUTRONI.

UN GRAMMO DI CALIFORNIO-252 EMETTE ALL' INCIRCA 10^{12} NEUTRONI AL SECONDO

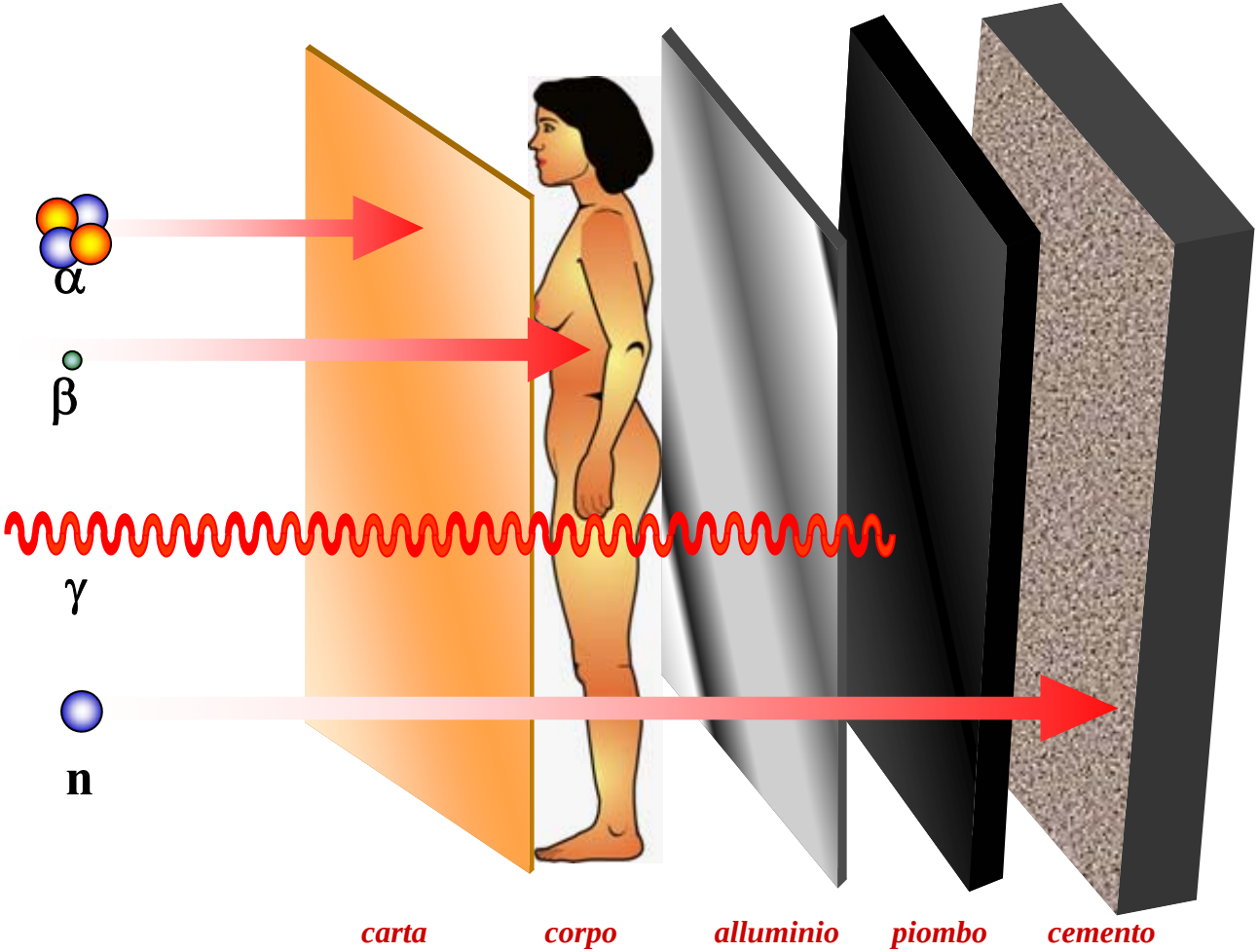
SORGENTI PORTATILI DI NEUTRONI

UNA MISCELA DI POLVERI DI AMERICIO-241 E DI BERILLIO EMETTE NEUTRONI. INFATTI L'AMERICIO EMETTE PARTICELLE ALFA CHE, PENETRANDO NEL BERILLIO, MODIFICANO IL SUO NUCLEO CON EMISSIONE DI NEUTRONI

$$\alpha + {}^{9}_{4}\mathrm{Be} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C} + n$$

IN GENERALE SI OTTENGONO SORGENTI DI NEUTRONI MISCELANDO POLVERE DI RADIOISOTOPI CHE EMETTONO PARTICELLE ALFA O RADIAZIONE GAMMA DI ENERGIA OPPORTUNA CON POLVERE DI MATERIALI LEGGERI QUALI IL BERILLIO O IL BORO

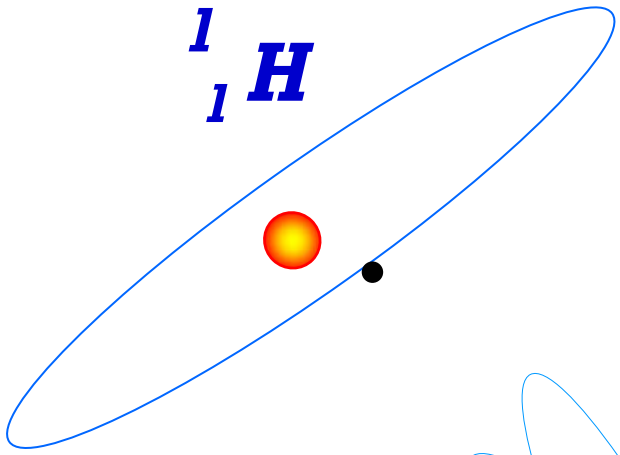
RADIAZIONI E LORO POTERE PENETRANTE

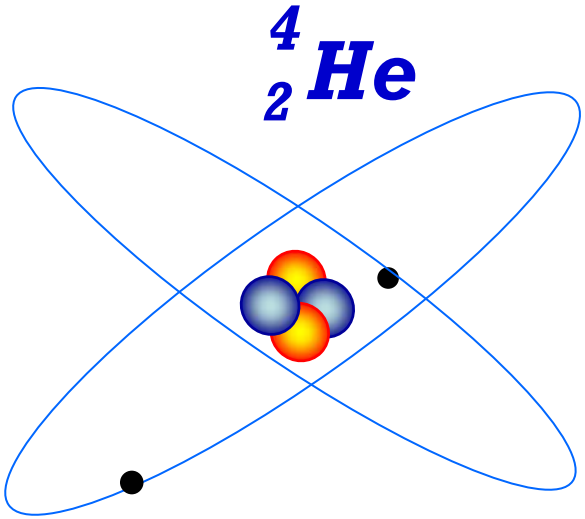


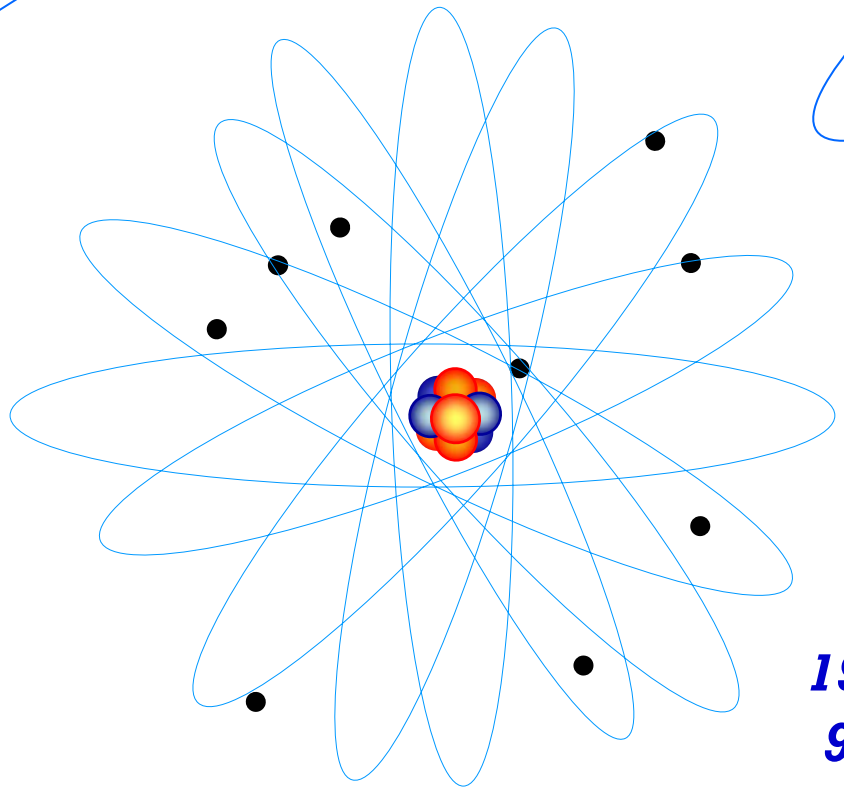
GRANDEZZE DOSIMETRICHE

LE RADIAZIONI IONIZZANTI INTERAGENDO CON LA MATERIA PORTANO ALLA FORMAZIONE DI COPPIE DI IONI

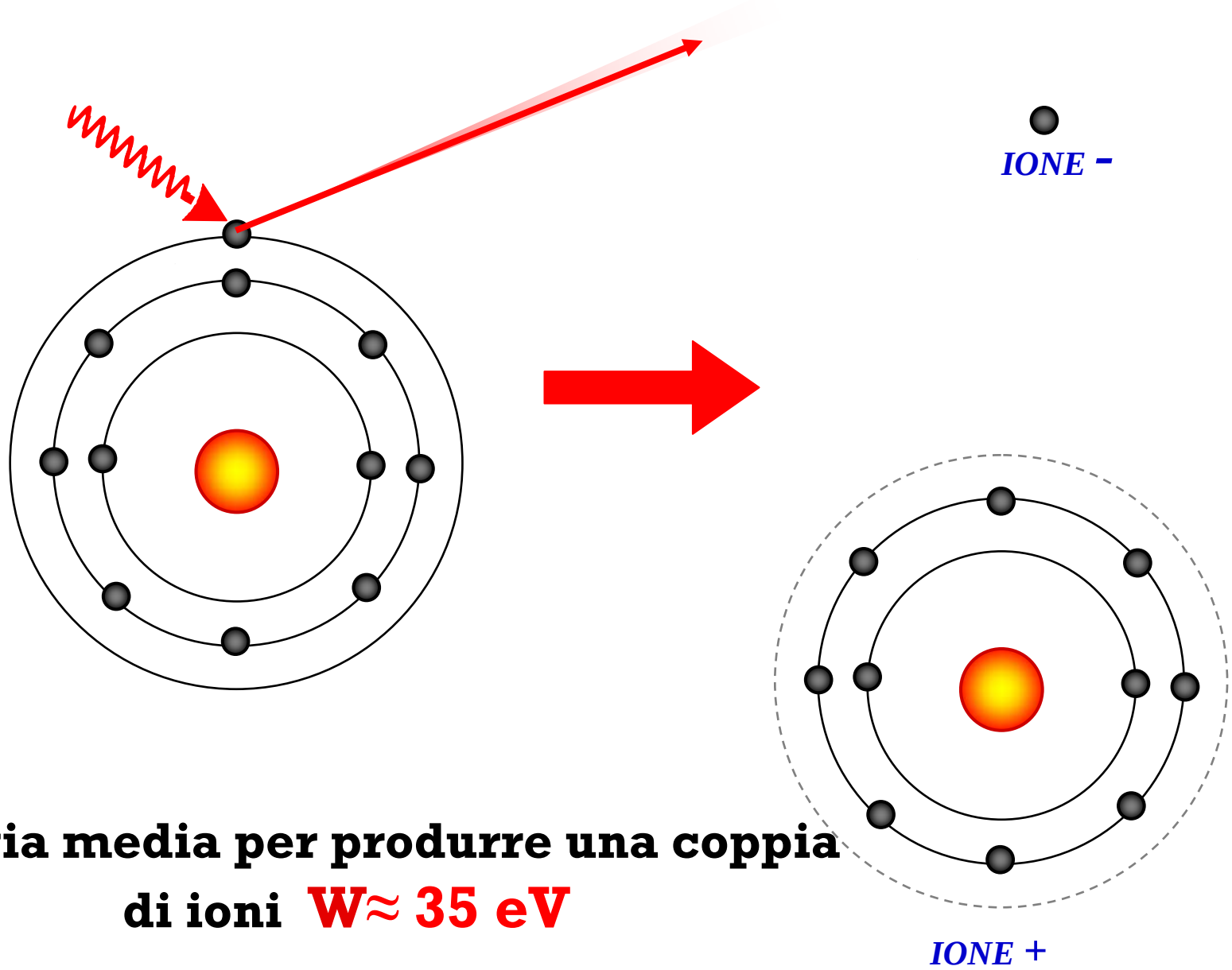
TIPI DI ATOMI







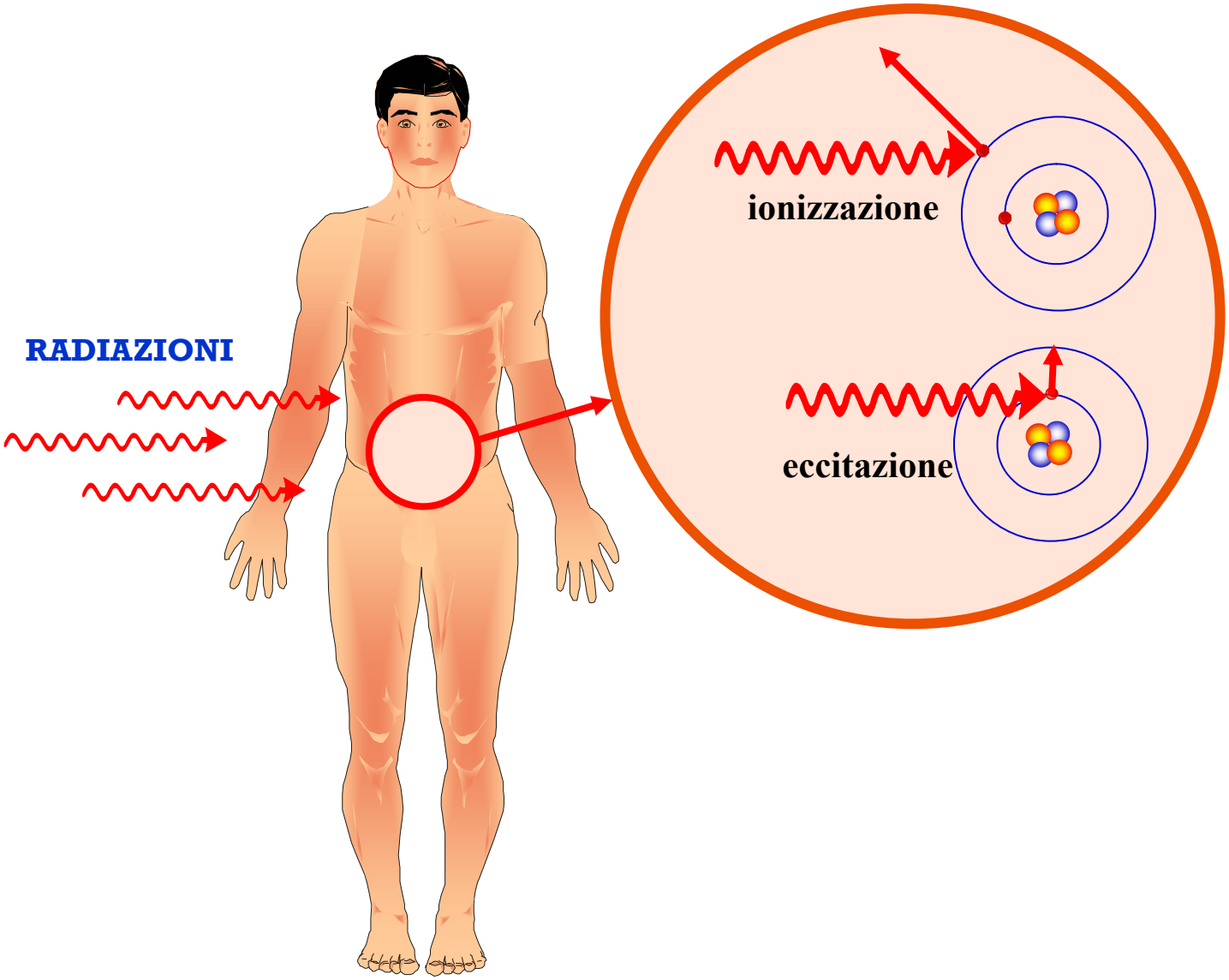
COPPIE DI IONI



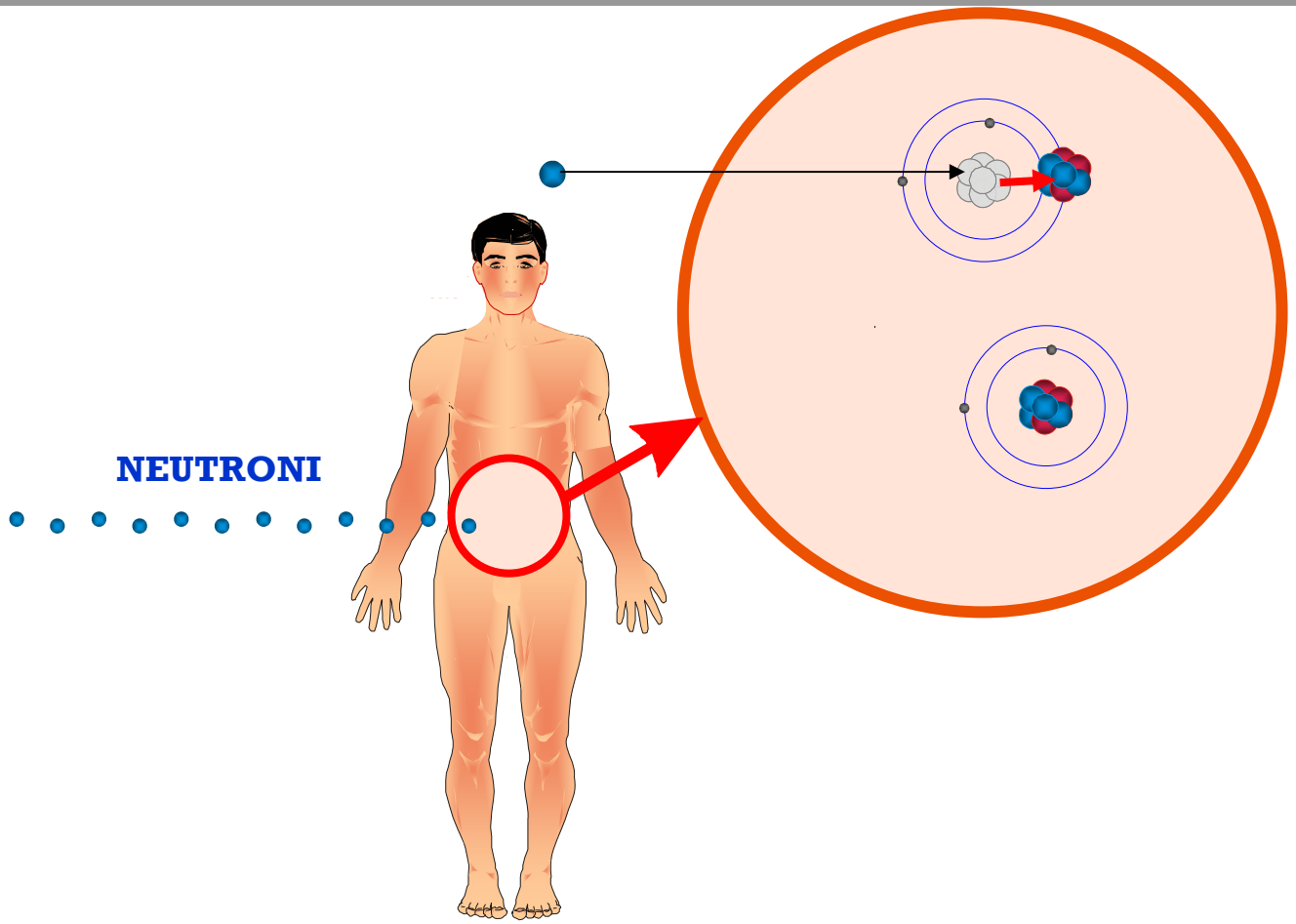
Energia media per produrre una coppia di ioni W≈ 35 eV

IL CONCETTO DI DOSE

INTERAZIONE DELLE RADIAZIONI CON IL CORPO UMANO



INTERAZIONE CON IL CORPO UMANO DI UN FASCIO DI NEUTRONI



NELL'INTERAZIONE DEI NEUTRONI CON NUCLEI DELLA MATERIA SI PUÒ AVERE :

URTO ELASTICO CON RINCULO DEL NUCLEO CHE ESSENDO CARICO IONIZZA LA MATERIA BIOLOGICA;

CATTURA DEL NEUTRONE CON EMISSIONE DI RADIAZIONE GAMMA (CATTURA RADIATTIVA)

REAZIONE NUCLEARE CON EMISSIONE DI PARTICELLE CARICHE CHE A LORO VOLTA IONIZZANO LA MATERIA BIOLOGICA

D.L n° 230 (1995)

DOSE ASSORBITA (D)

DEFINITA DAL RAPPORTO

$$D = E / m$$

E : ENERGIA CEDUTA DALLA RADIAZIONE IONIZZANTE ALLA MATERIA
m: MASSA DI MATERIA CHE HA RICEVUTO L'ENERGIA E

UNITA' DI MISURA

Gray (Gy) **1 Gy = 1 J/Kg**

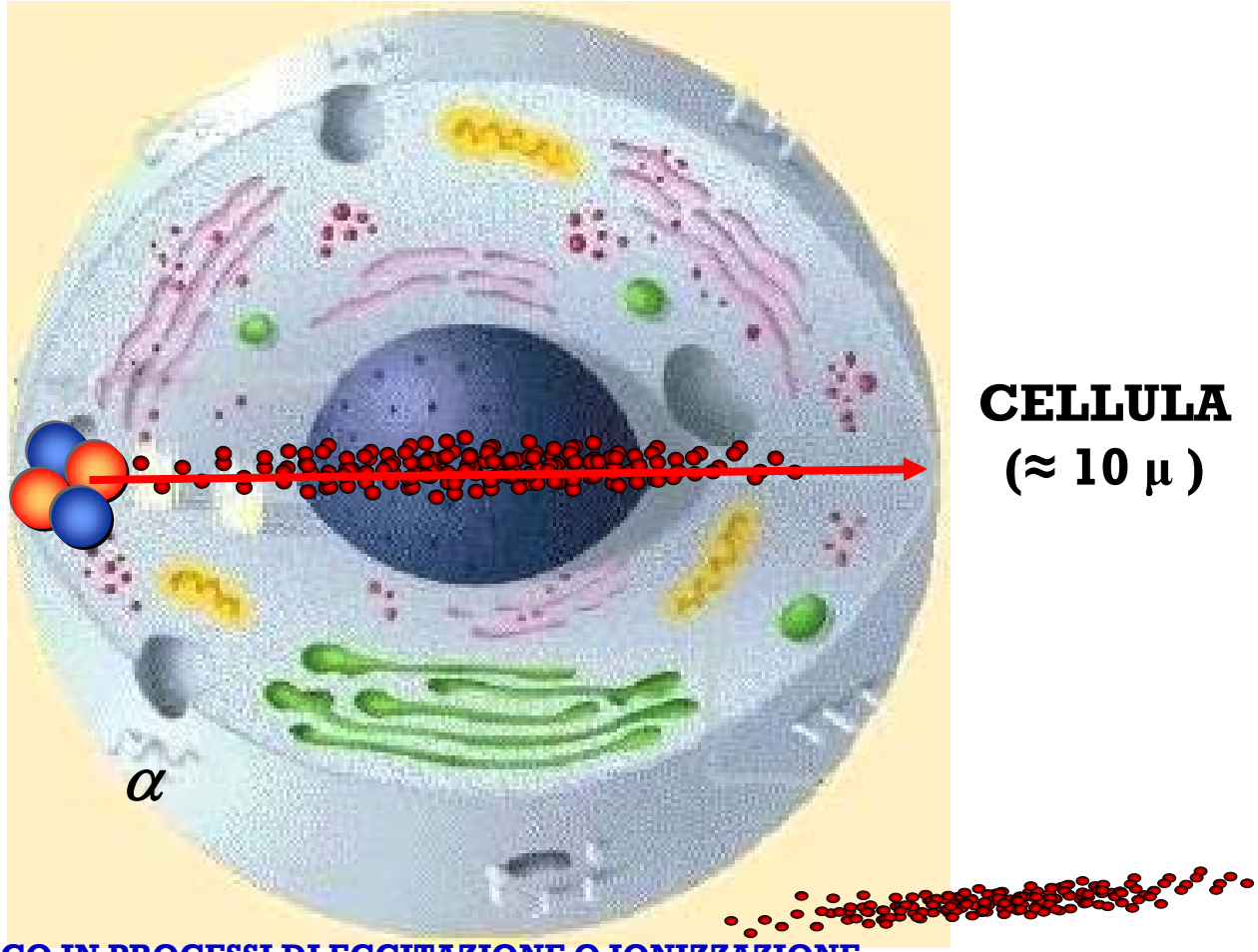
rad (unita' non piu' utilizzata) **1 Gy = 100 rad**

DEPOSITO ENERGETICO NELLA MATERIA BIOLOGICA

PARTICELLE α E IONI PESANTI (ALTO LET)

Energia media per produrre una coppia di ioni : W ≈ 35 eV

NUMERO DI COPPIE DI IONI/cm : ESTREMAMENTE ELEVATO

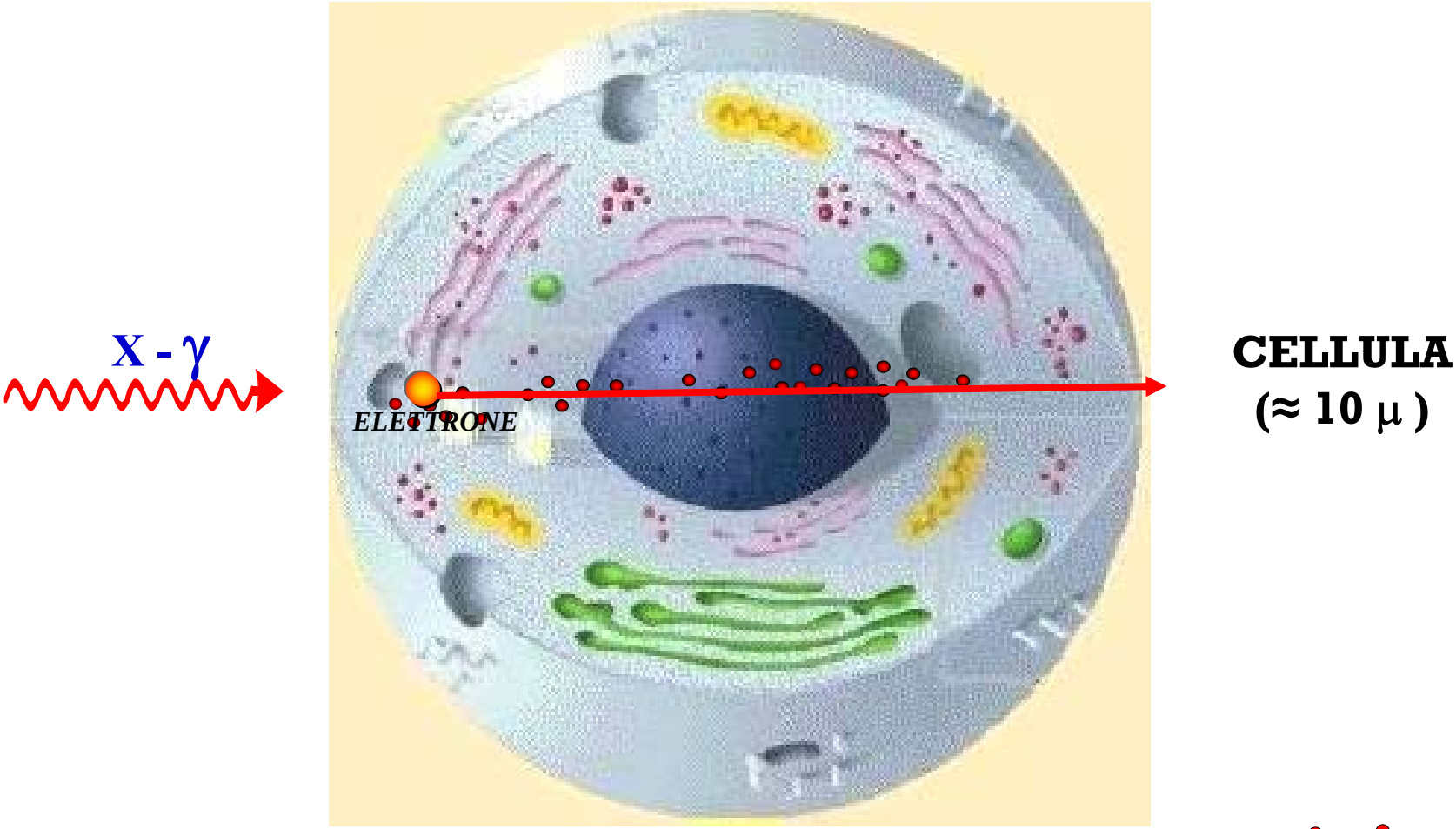


EVENTI DI DEPOSITO ENERGETICO IN PROCESSI DI ECCITAZIONE O IONIZZAZIONE

X , γ - ELETTRONI (BASSO LET)

Energia media per produrre una coppia di ioni : W ≈ 35 eV

NUMERO DI COPPIE DI IONI/cm : NON ELEVATO



EVENTI DI DEPOSITO ENERGETICO IN PROCESSI DI ECCITAZIONE O IONIZZAZIONE

DOSE EQUIVALENTE

PER TENERE CONTO DELLA DIVERSA PERICOLOSITÀ DELLE RADIAZIONI INCIDENTI SULLA MATERIA BIOLOGICA, SI È INTRODOTTO IL COSIDDETTO **FATTORE DI PONDERAZIONE DELLE RADIAZIONI W_R**.

IL PRODOTTO DELLA DOSE ASSORBITA MEDIA **D** IN UN ORGANO O TESSUTO PER IL FATTORE DI PONDERAZIONE W_R PRENDE IL NOME DI **DOSE EQUIVALENTE H**

$$H = W_R \cdot D$$

L'UNITÀ DI MISURA DELLA DOSE EQUIVALENTE È IL SIEVERT (Sv).

FATTORI DI PONDERAZIONE DELLE RADIAZIONI

Radiazione	W_R
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	5
Particelle alfa, frammenti di fissione,nuclei pesanti	20

ESEMPIO

Sulla base degli esiti degli studi epidemiologici e di radiobiologia si è osservato che, a parità di dose assorbita, le particelle alfa con energia di alcuni MeV producono un danno biologico 20 volte maggiore dei raggi x o γ, cioè dei fotoni.

$$W_R \text{ (fotoni)} \ldots\ldots\ldots\ldots = 1$$

$$W_R \text{ (particelle alfa)} = 20$$

Di conseguenza:

<u>Per i fotoni</u>:

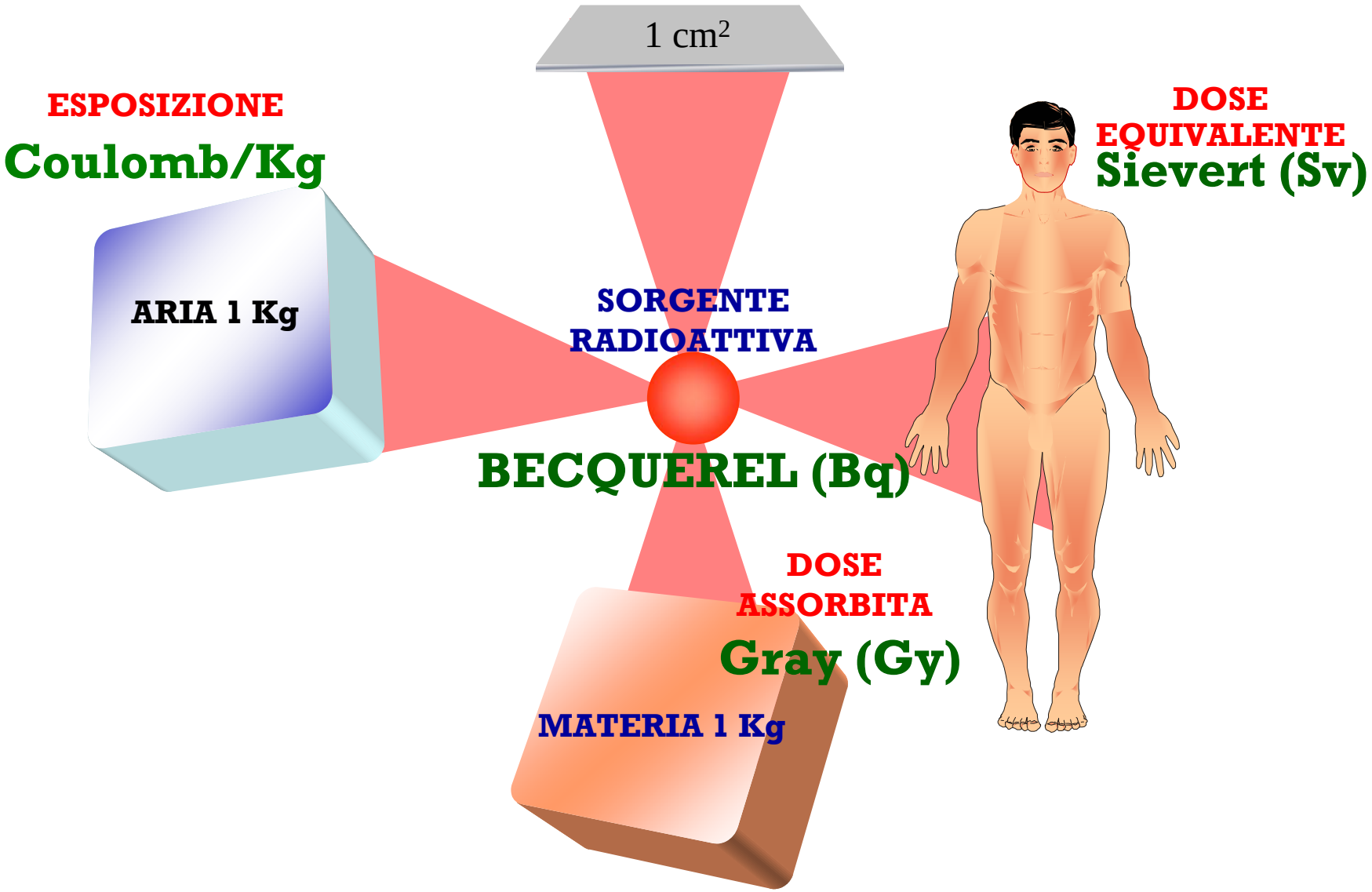
ad una *dose assorbita* di 1 Gy corrisponde una *dose equivalente* di 1 Sv.

<u>Per particelle alfa:</u>

ad una *dose assorbita* di 1 Gy corrisponde una *dose equivalente* di 20 Sv.

GRANDEZZE DOSIMETRICHE

$$\text{FLUSSO} = \frac{\text{NUMERO RADIAZIONI}}{\text{cm}^2 \cdot \text{secondo}}$$



DOSE EFFICACE ANNUALE (mSv)

Sono riportati tipici valori di equivalente di dose ambientale in Italia.

RIVELATORI DI RADIAZIONI

- A GAS
- A SCINTILLAZIONE
- RIVELATORI DI NEUTRONI

RIVELATORI A GAS

QUANDO UNA RADIAZIONE ATTRAVERSA IL GAS NE PROVOCA LA IONIZZAZIONE, CIOÈ TRASFORMA IN COPPIE DI IONI LE MOLECOLE CHE INCONTRA. SE IL GAS, INOLTRE, SI TROVA IN UN CAMPO ELETTRICO (CIOÈ TRA DUE ELETTRODI), ALLORA GLI IONI E GLI ELETTRONI CREATI MIGRANO VERSO GLI ELETTRODI DI SEGNO OPPOSTO.

ESEMPI DI RIVELATORI A GAS SONO:

- CAMERE A IONIZZAZIONE
- CONTATORI PROPORZIONALI
- CONTATORI GEIGER-MÜLLER

RIVELATORE A GAS

CONCETTUALMENTE SEMPLICE, IL DISPOSITIVO PRESENTA PARTICOLARITÀ COSTRUTTIVE DIVERSE A SECONDA DEL TIPO DI RADIAZIONI CHE DEVE RIVELARE.

AD ESEMPIO, POICHÉ LE PARTICELLE α HANNO PERCORSI MOLTO PICCOLI NELLA MATERIA, È NECESSARIO CHE IL RIVELATORE ABBIA UNA FINESTRA DI ACCESSO MOLTO SOTTILE. CON LE PARTICELLE β ED I RAGGI γ, PIÙ PENETRANTI, QUESTE FINESTRE POSSONO ESSERE DI SPESSORE MAGGIORE.

DOSE ASSORBITA IN ARIA (ESPOSIZIONE)

DOSE ASSORBITA IN ARIA

L'energia necessaria per formare una coppia di ioni in aria è

$$W = 33{,}85 \text{ eV} .$$

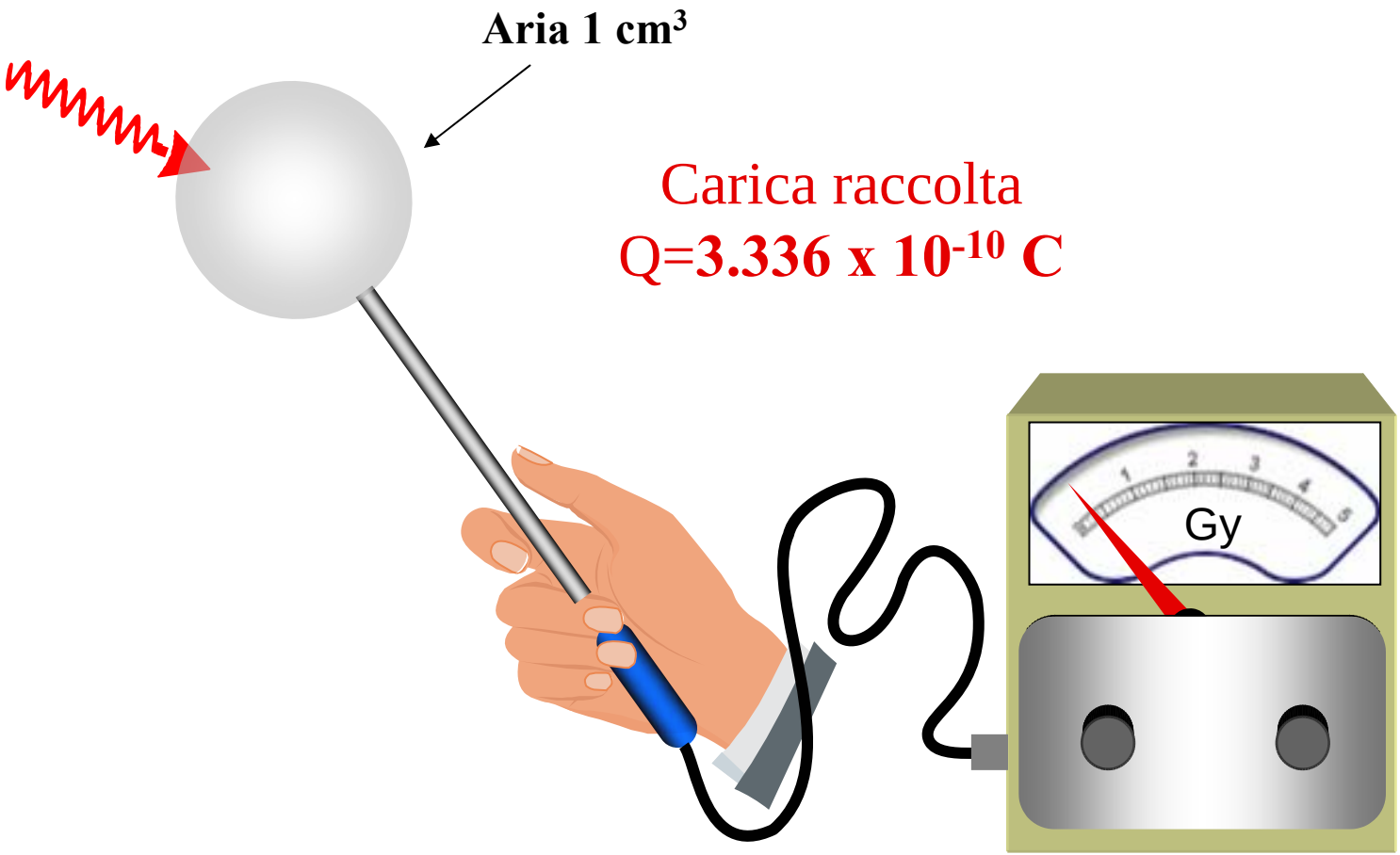
Se in una massa **m** di aria la radiazione ionizzante produce un certo numero di coppie di ioni e quindi una carica **Q** di entrambe i segni, la dose assorbita in aria è correlata alla ionizzazione prodotta in aria dalla relazione

$$D_{aria} = \frac{Q}{m_{aria}} W$$

Quando **Q** è espressa in coulombs e **m** in kg, la dose assorbita è in joules/kg o grays.

ESEMPIO

In un cm^3 di aria in condizioni standard di pressione e temperatura (STP) esposta ad un campo di radiazioni γ, si libera una carica di **$Q=3.336 \times 10^{-10}$ C** in un certo tempo. Determinare la dose in aria.



ESEMPIO

In un cm^3 di aria in condizioni standard di pressione e temperatura (STP) esposta ad un campo di radiazioni γ, si libera una carica di **$Q=3.336 \times 10^{-10}$ C** in un certo tempo. Determinare la dose in aria.

Soluzione

La densità dell'aria in condizioni standard STP (0° C, 101.3 kPa) è

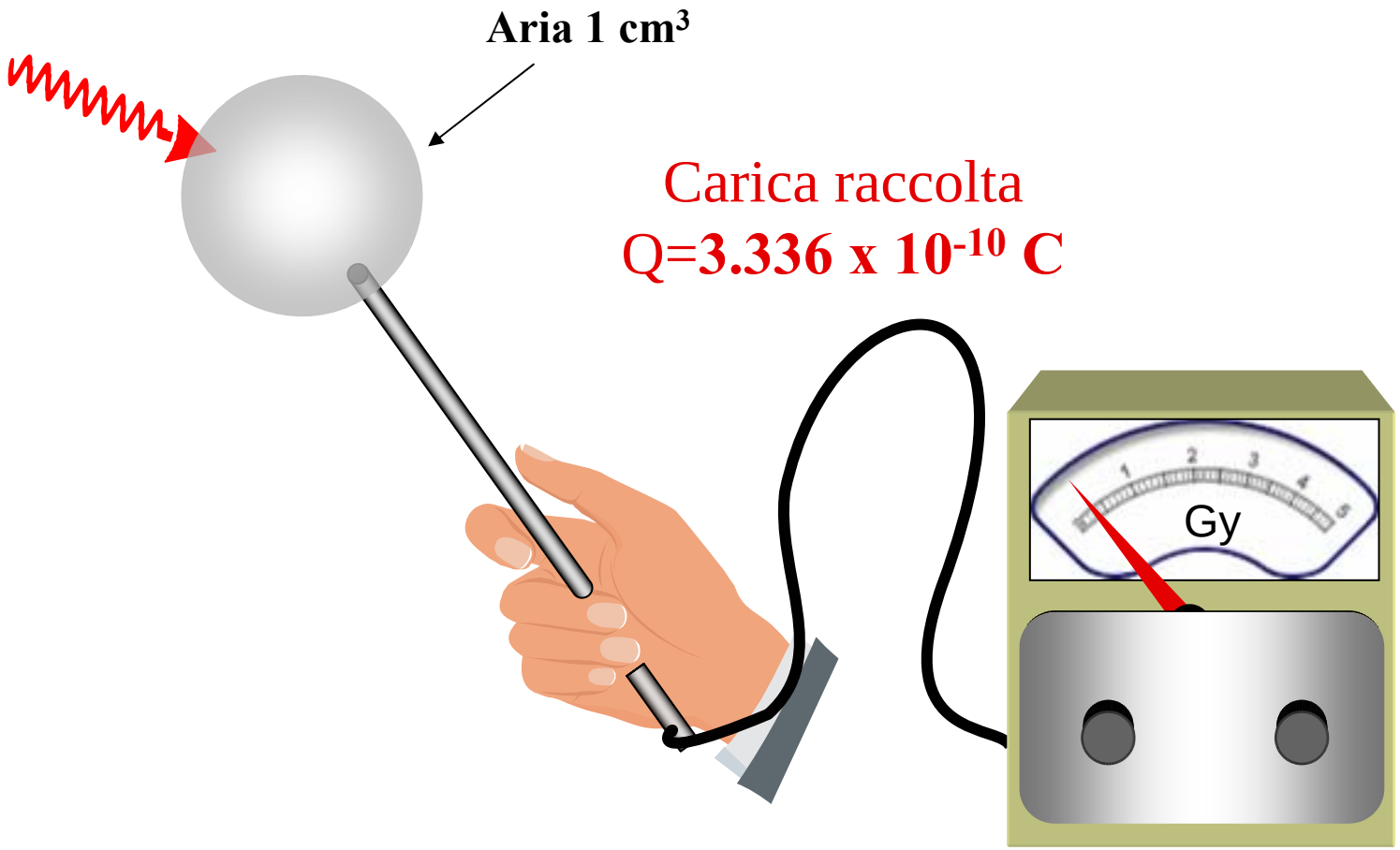
$$\rho_{aria} = 1.293 \text{ kg/m}^3$$

1 cm^3 di aria ha la massa

$$m_{aria} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \times 1{,}293 \text{ kg/m}^3 = 1{,}293 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

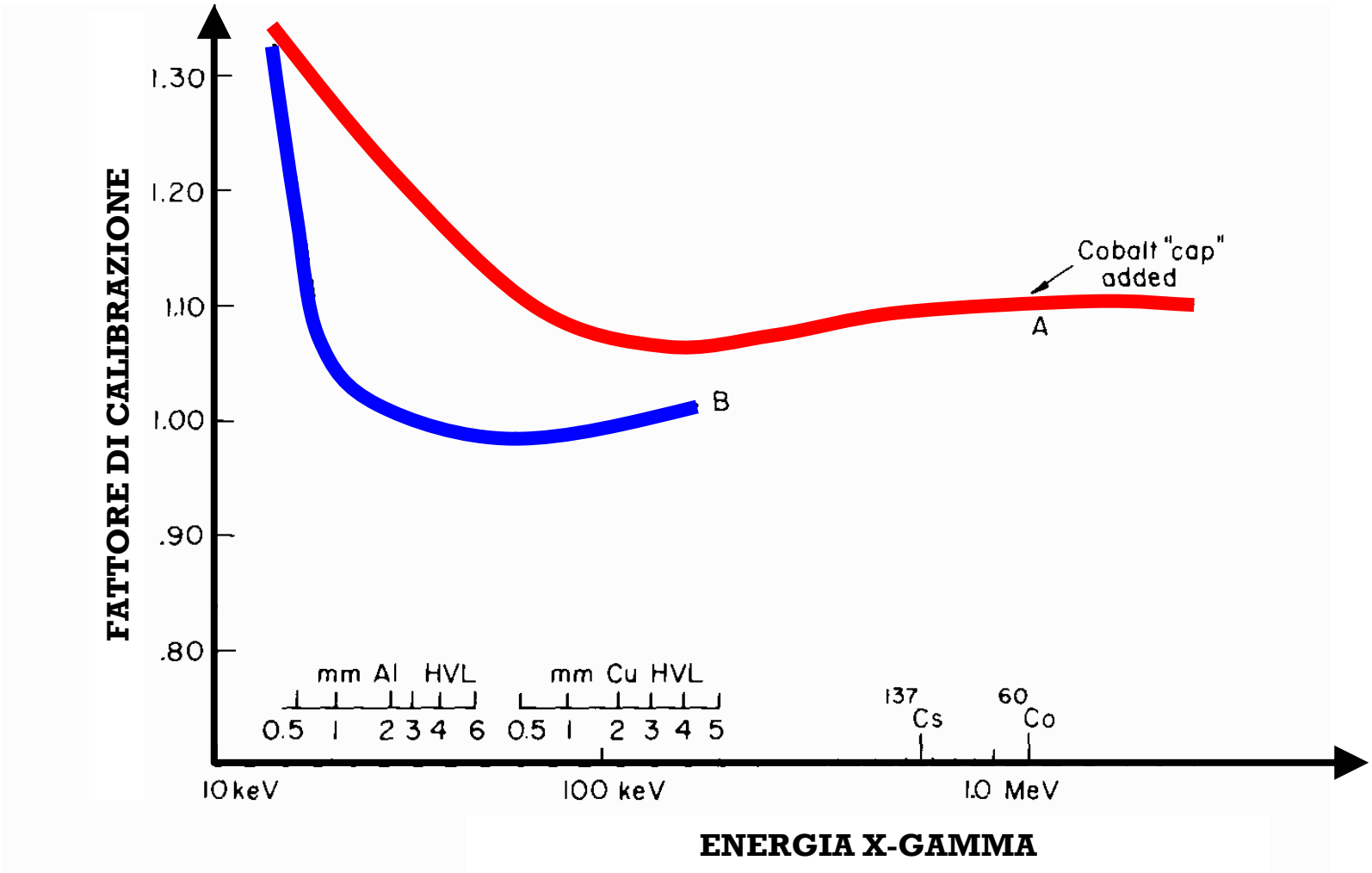
$$D_{aria} = \frac{Q}{m_{aria}} W = \frac{3{,}336 \times 10^{-10} \text{ C}}{1{,}293 \times 10^{-6} \text{ kg}} = 33{,}85 \frac{\text{J}}{\text{C}} = 0{,}873 \times 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 0{,}873 \times 10^{-2} \text{ Gy}$$

In questo esempio la carica Q è quella che si libera in seguito alla esposizione di 1 roentgen.



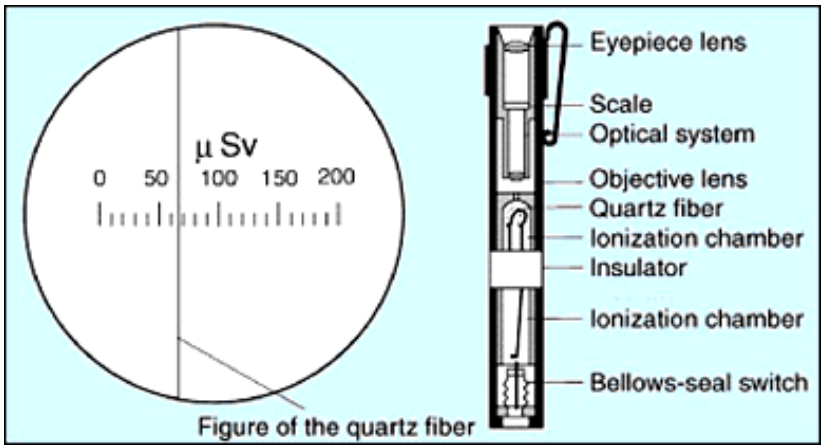
$$D_{aria} = \frac{Q}{m_{aria}} W = 0{,}873 \times 10^{-2}\ Gy = 8{,}73\ mGy$$

CURVE DI EFFICIENZA



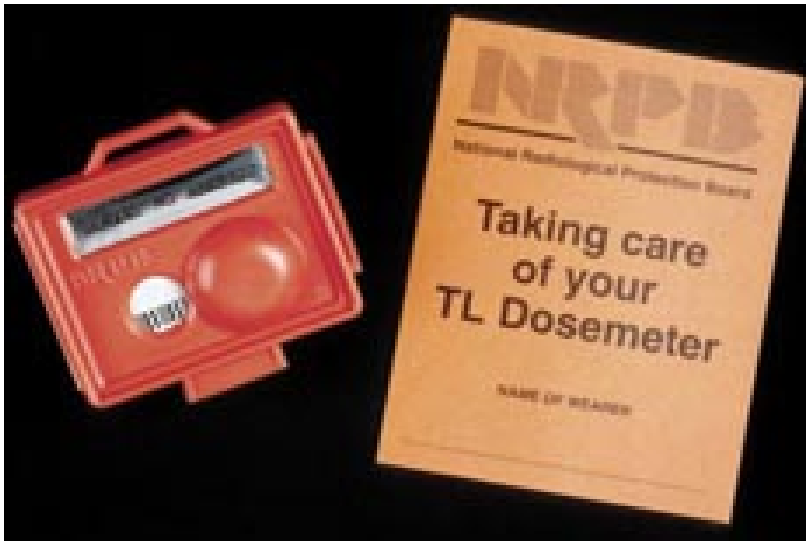
PENNA DOSIMETRICA

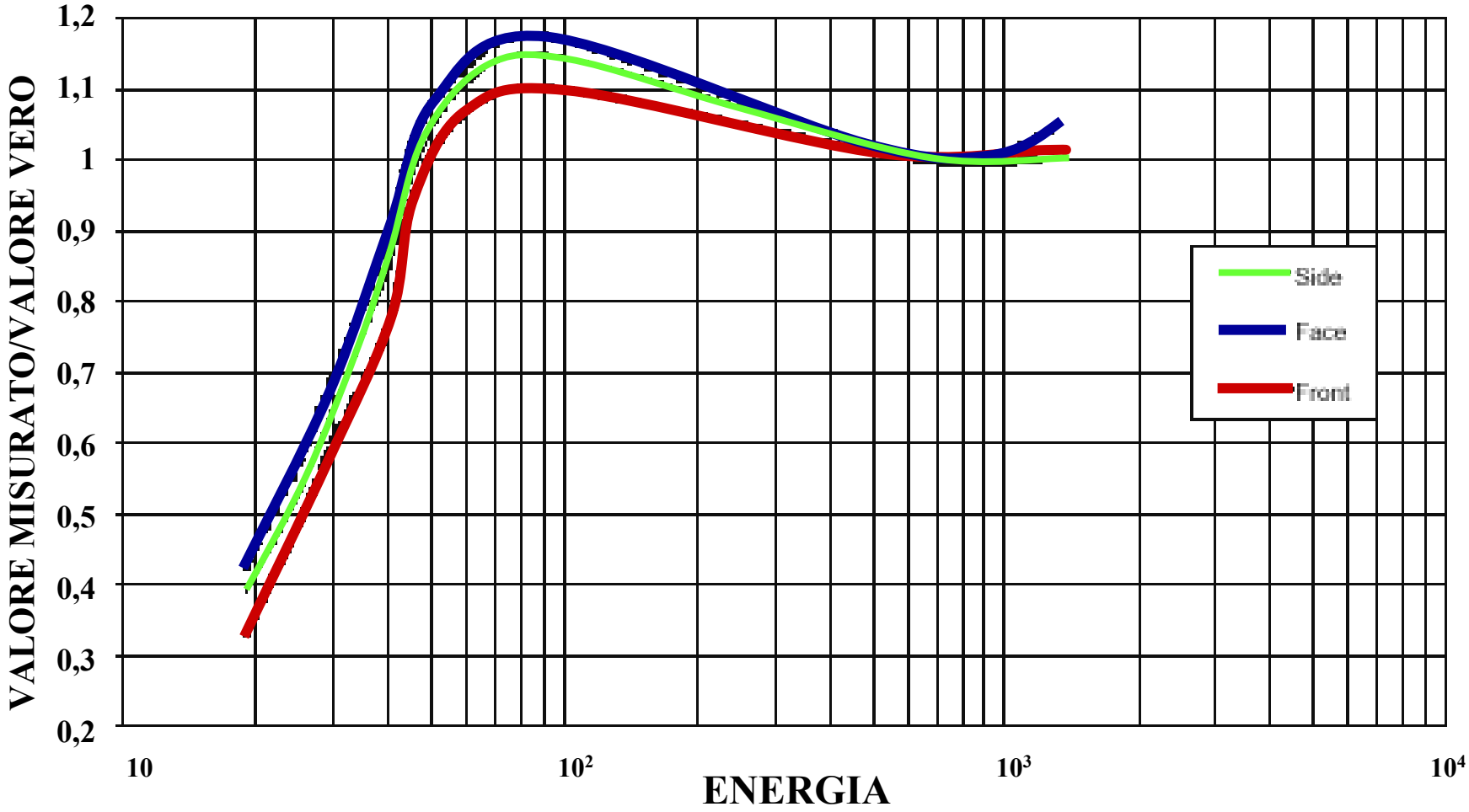
I PRIMI DOSIMETRI DA TASCA A LETTURA DIRETTA FURONO COSTRUITI DA C.LAURITSEN NEL 1932. DATA LA LORO FORMA SONO ANCHE CHIAMATI "PENNE DOSIMETRICHE". ESSI SONO COSTITUITI SOSTANZIALMENTE DA UN CONDENSATORE CHE FUNGE ANCHE DA CAMERA A IONIZZAZIONE, E CHE VIENE CARICATO TRAMITE UN GENERATORE DI ALTA TENSIONE. IL PASSAGGIO DI RADIAZIONI IONIZZANTI NELLA PARTE ATTIVA DELLA CAMERA A IONIZZAZIONE PROVOCA LA FORMAZIONE DI CARICHE IONICHE CHE ATTRATTE DAL CAMPO DEL CONDENSATORE CARICO, MIGRANO VERSO LE SUE PIASTRE DETERMINANDONE IL GRADUALE SCARICAMENTO. L'ENTITÀ DELLO SCARICAMENTO È DUNQUE PROPORZIONALE ALLA QUANTITÀ TOTALE INTEGRATA DI RADIAZIONI CHE HA INTERESSATO LO STRUMENTO A PARTIRE DAL SUO CARICAMENTO. LA LETTURA DELL'ENTITÀ DELLO SCARICAMENTO VIENE EFFETTUATA TRAMITE UN SISTEMA A MICROSCOPIO OTTICO CHE TRAGUARDA UN INDICE COSTITUITO DA UNA FIBRA DI QUARZO SULLO SFONDO DI UN RETICOLO GRADUATO, SOLITAMENTE GIÀ TARATO IN UNITÀ DI DOSE ASSORBITA EQUIVALENTE (mRem O mSv); LA LUCE NECESSARIA ALLA VISIONE È QUELLA CHE VIENE FATTA ENTRARE NELLO STRUMENTO DALL'ESTREMITÀ OPPOSTA A QUELLA DELL'OCULARE. LA POSIZIONE DELL'INDICE PUÒ ESSERE REGOLATA IN CORRISPONDENZA DELLO ZERO DELLA SCALA DOPO OGNI RICARICAMENTO DEL CONDENSATORE.

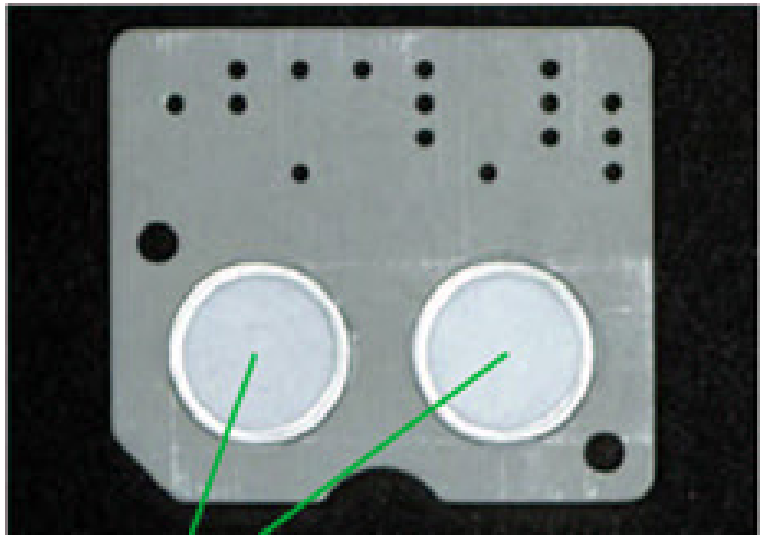


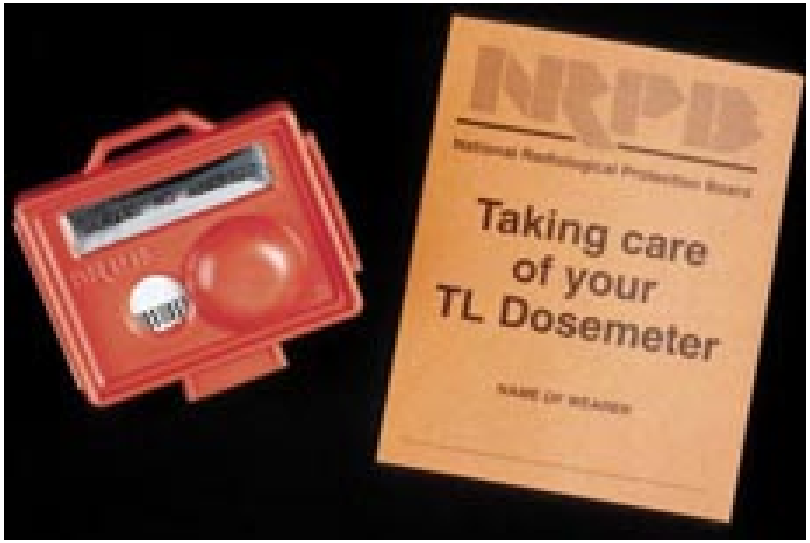
DOSIMETRO A FILM

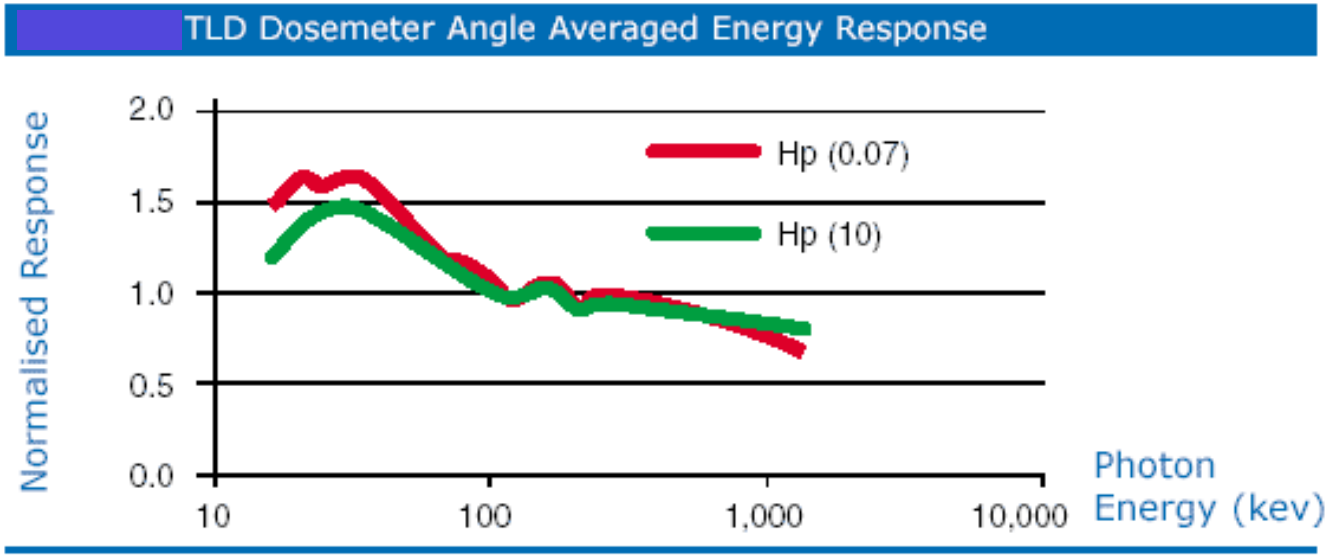
UN' ALTERNATIVA PIÙ ECONOMICA AL DOSIMETRO A PENNA È IL TIPO A FILM O A BADGE. È COSTITUITO DA UNA TESSERA DA INDOSSARE (BADGE) CONTENENTE UN PEZZO DI PELLICOLA FOTOGRAFICA SENSIBILE AL TIPO DI RADIAZIONE CHE SI VUOLE MISURARE. LA SUA ESPOSIZIONE PROVOCA L'IMPRESSIONE DELLA PELLICOLA, CHE VIENE PERIODICAMENTE RIMOSSA, SVILUPPATA E SOSTITUITA CON UNA NUOVA. IL NUMERO DI TRACCE RILEVATE SULLA PELLICOLA DOPO IL SUO SVILUPPO È CORRELATA ALLA DOSE DI RADIAZIONE ASSORBITA.




1,2
1,1
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
VALORE MISURATO/VALORE VERO
10
10²
10³
10⁴
ENERGIA
Side
Face
Front



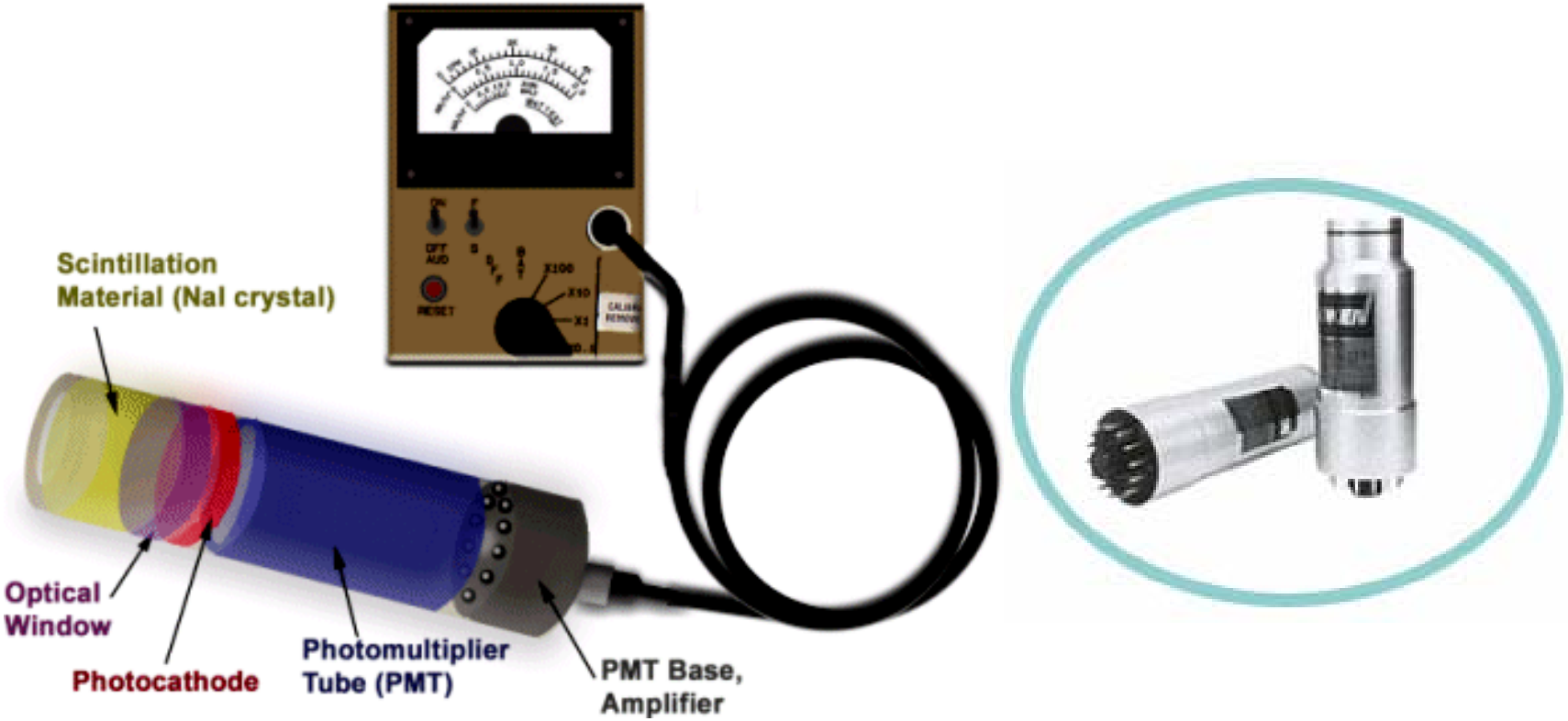




The variation of response with energy (average over angles of incidence from 0° and 60°) for the quantities Hp(10) and Hp (0.07) is shown in figure 3. and is normalised to ceasium-137 with a value of 0.9.

RIVELATORI A IONIZZAZIONE

RIVELATORI A SCINTILLAZIONE



RIVELATORI A SCINTILLAZIONE

UNO SCINTILLATORE È UN MATERIALE CAPACE DI EMETTERE IMPULSI DI LUCE, IN GENERE VISIBILE O ULTRAVIOLETTA, QUANDO VIENE ATTRAVERSATO DA FOTONI DI ALTA ENERGIA O DA PARTICELLE CARICHE.

AL PROPRIO PASSAGGIO LA PARTICELLA INCIDENTE CEDE PARTE DELLA PROPRIA ENERGIA ALLO SCINTILLATORE CAUSANDO, AD ESEMPIO, L'ECCITAZIONE DI UN ELETTRONE CHE SI SPOSTA IN UN LIVELLO AD ENERGIA SUPERIORE. QUANDO L'ELETTRONE DECADE AL LIVELLO CHE OCCUPAVA PRIMA DELL'ECCITAZIONE EMETTE UN FOTONE DI ENERGIA RELATIVAMENTE BASSA, TIPICAMENTE NEL VISIBILE. TALE IMPULSO DI LUCE VIENE POI RIVELATO ED AMPLIFICATO DA OPPORTUNI SENSORI, AD ESEMPIO DA UN FOTOMOLTIPLICATORE.

TIPI DI SCINTILLATORE

ESISTONO DIVERSE TIPOLOGIE DI SCINTILLATORI CHE SI DISTINGUONO PER TIPO DI MATERIALE DI CUI SONO COMPOSTI, I TEMPI DI RISPOSTA, LE LUNGHEZZE D'ONDA EMESSE, L'EFFICIENZA DI SCINTILLAZIONE (QUANTA ENERGIA VIENE CONVERTITA IN LUCE) ETC.

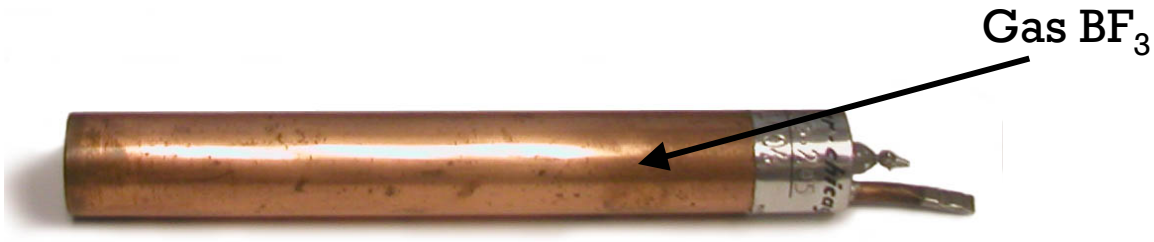
PER ESEMPIO GLI SCINTILLATORI PIÙ COMUNI USATI PER RIVELARE RADIAZIONE SONO CRISTALLI INORGANICI, MATERIALI ORGANICI, PLASTICI E LIQUIDI. LA MAGGIOR PARTE SONO CRISTALLI INORGANICI O PLASTICI, IL PIÙ COMUNE È LO IODURO DI SODIO DROGATO CON TALLIO, CHE HA UN'ALTA EFFICIENZA DI SCINTILLAZIONE.

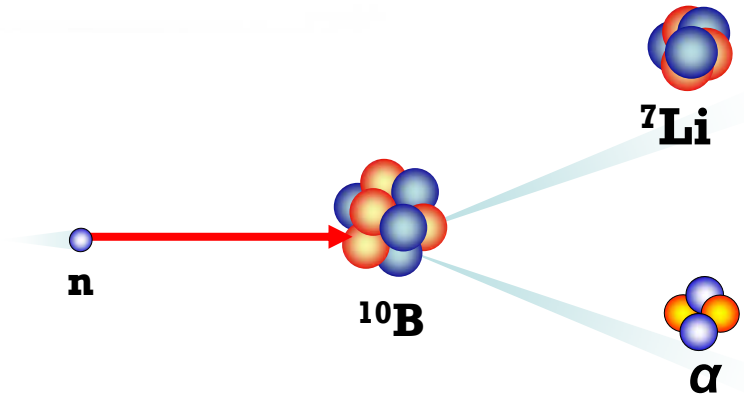
UN **TUBO FOTOMOLTIPLICATORE** È UN RIVELATORE ELETTRONICO DI LUCE ESTREMAMENTE SENSIBILE NELL'ULTRAVIOLETTO, IN LUCE VISIBILE E NEL VICINO INFRAROSSO. IL DISPOSITIVO È TALMENTE SENSIBILE DA POTERE RILEVARE UN SINGOLO FOTONE.

RIVELATORI DI NEUTRONI

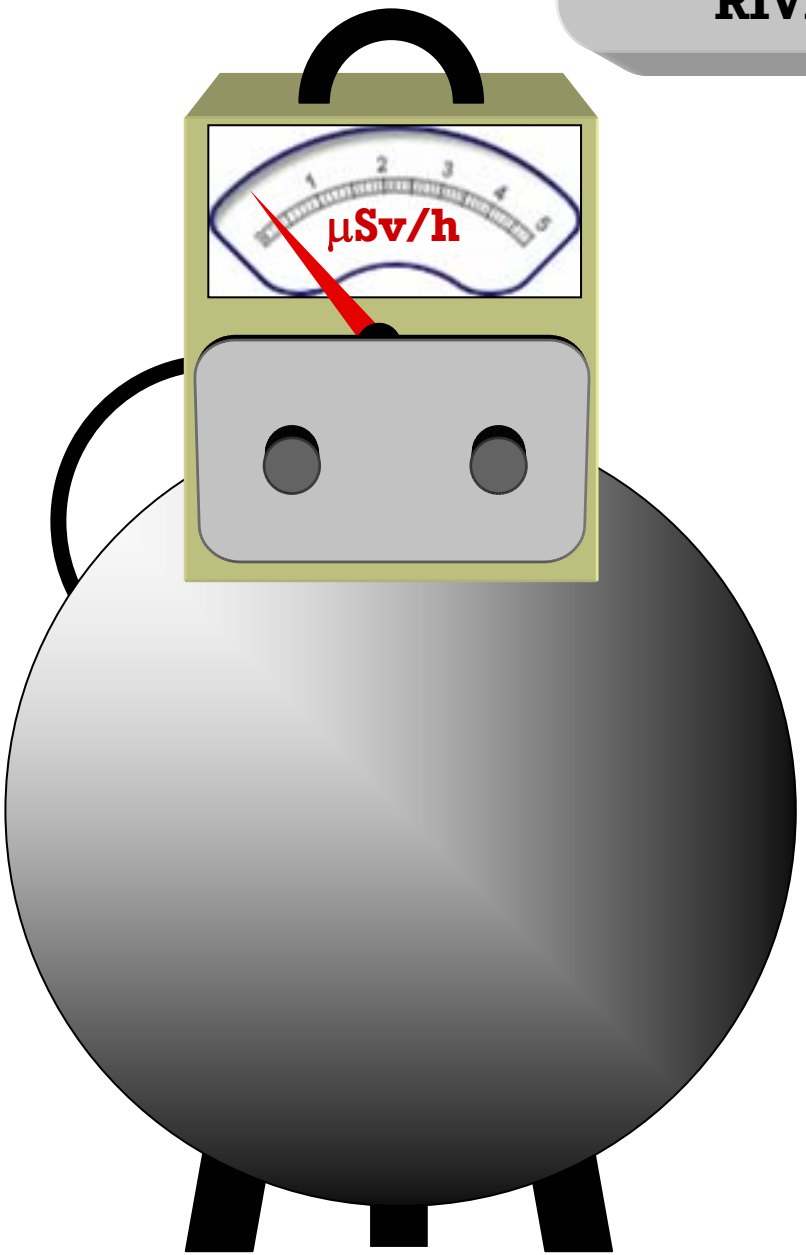
PER RIVELARE I NEUTRONI SI USA LA REAZIONE $^{10}B(n,\alpha)\,^{7}Li$ CHE HA UNA ELEVATISSIMA PROBABILITÀ DI AVVENIRE QUANDO I NEUTRONI HANNO UNA ENERGIA MOLTO BASSA (NEUTRONI TERMICI, σ =3840 BARNS, Q=2,791 MeV)

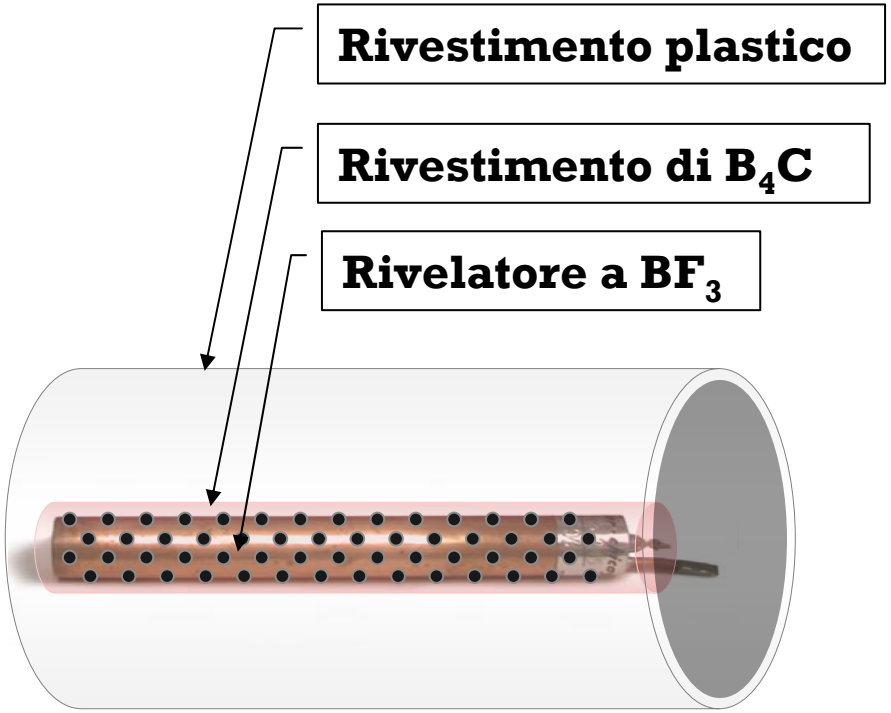
$$n + {}^{10}B \rightarrow {}^{7}Li + \alpha$$

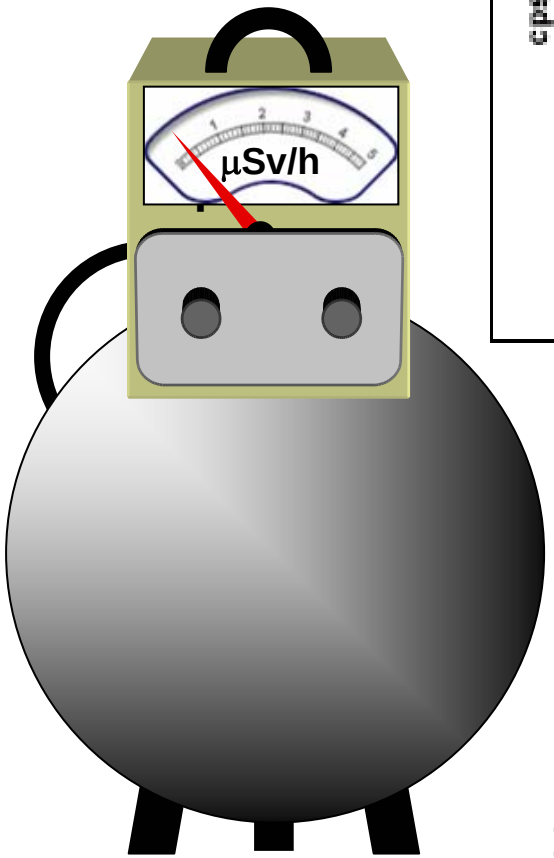


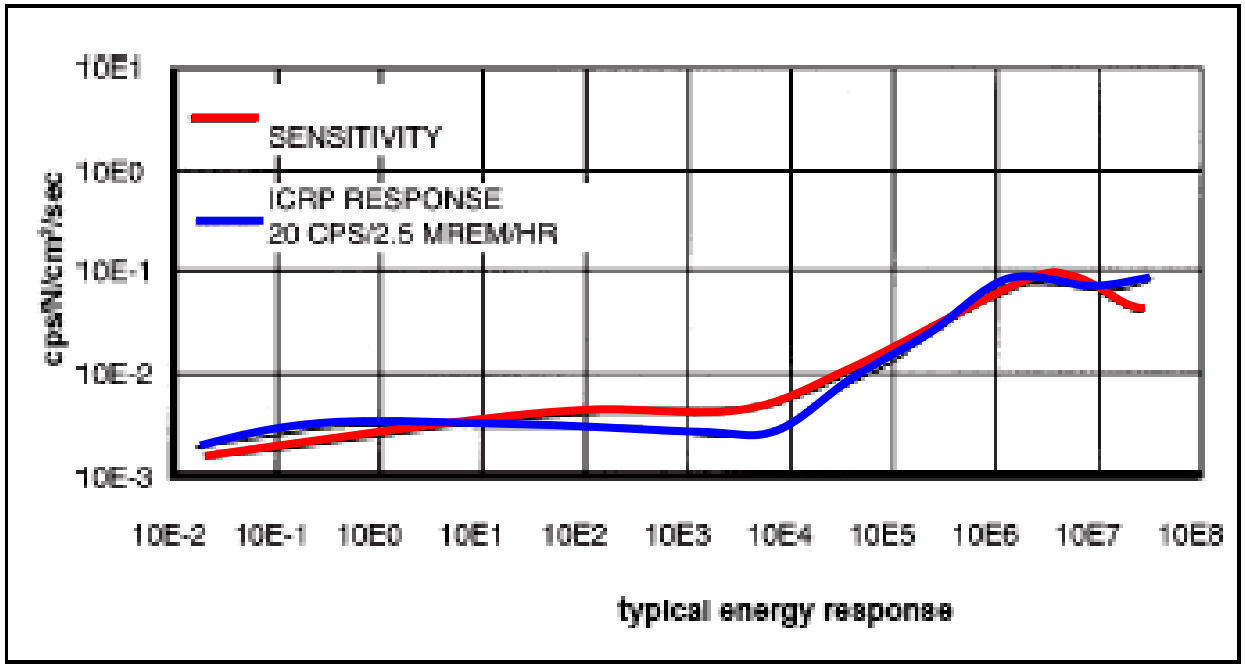


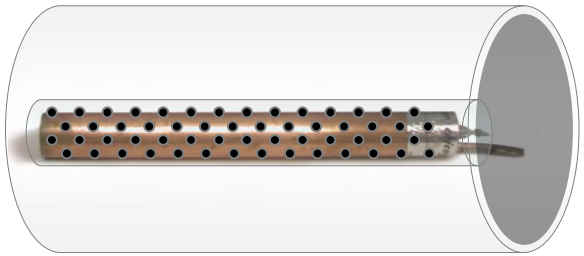
RIVELATORE DI NEUTRONI











NEUTRONI TERMICI, σ = 3840 BARNS, Q= 2,791 MeV

RIVELATORE DI NEUTRONI

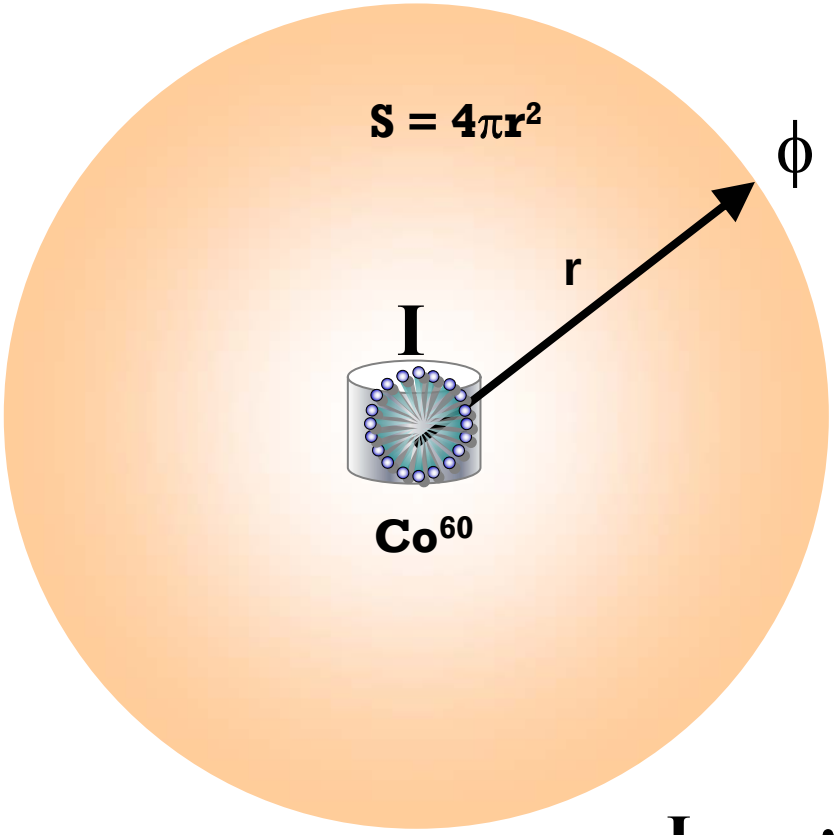
MISURA DELLA DOSE DI RADIAZIONI

RIVELATORI X γ

MISURA DEL FLUSSO ϕ DI FOTONI

SI ABBIA UNA SORGENTE γ CHE EMETTE **I** FOTONI AL SECONDO (INTENSITA' DELLA SORGENTE).

PER DETERMINARE IL **FLUSSO DI FOTONI** ALLA DISTANZA **r** , CIOE' IL NUMERO DI FOTONI AL SECONDO CHE ATTRAVERSA 1 cm^2 DI SUPERFICIE ALLA DISTANZA DI **r cm**, SI PRENDE UNA SFERA DI RAGGIO **r** CENTRATA SULLA SORGENTE. LA SUPERFICIE DELLA SFERA E' $S = 4\pi r^2$

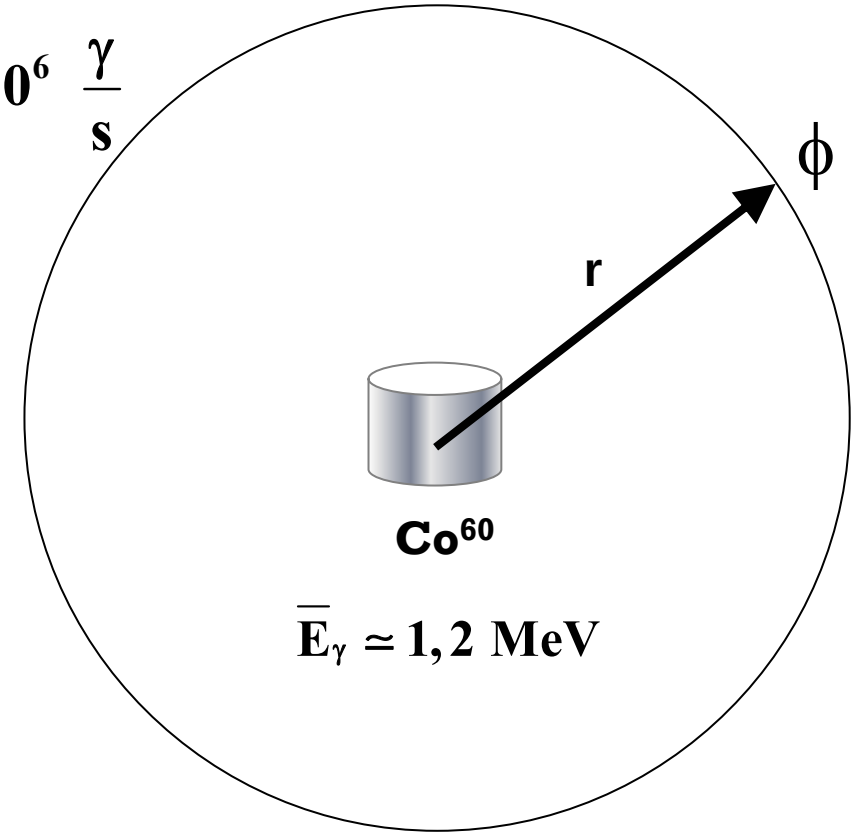


IL FLUSSO ϕ SI OTTIENE DAL RAPPORTO ϕ=I/S

$$\phi = \frac{I}{S} \quad \frac{\gamma}{cm^2\ s} = \frac{I}{4\pi r^2} \quad \frac{\gamma}{cm^2\ s}$$

ESEMPIO DI CALCOLO DELLA DOSE EQUIVALENTE

LA SORGENTE γ ABBIA INTENSITA' $I = 10^6 \ \frac{\gamma}{s}$



$$\phi = \frac{10^6}{4\pi r^2} \frac{\gamma}{cm^2 \ s}$$

Alla distanza di 1 m (r =10^2 cm)

$$\phi = \frac{10^6}{4\pi \ 100^2} \frac{\gamma}{cm^2 \ s} \simeq 8 \frac{\gamma}{cm^2 \ s}$$

a 1 MeV un flusso di $5{,}6 \cdot 10^4 \ \gamma/cm^2 \cdot s$ dà una Dose Equivalente di 1 mSv/h

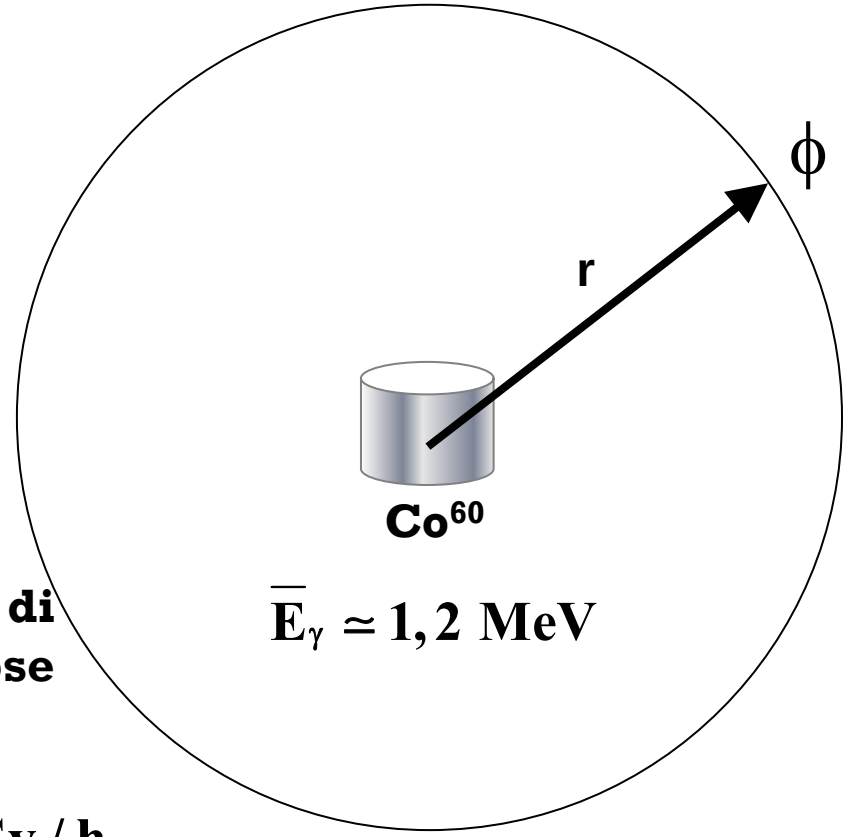
(International Commission on Radiological Protection , ICRP 71 con modifiche)

ESEMPIO DI CALCOLO DELLA DOSE EQUIVALENTE GAMMA

Alla distanza di 1 m da una sorgente di Co^{60} che emette 10^6 γ/s si ha un flusso di

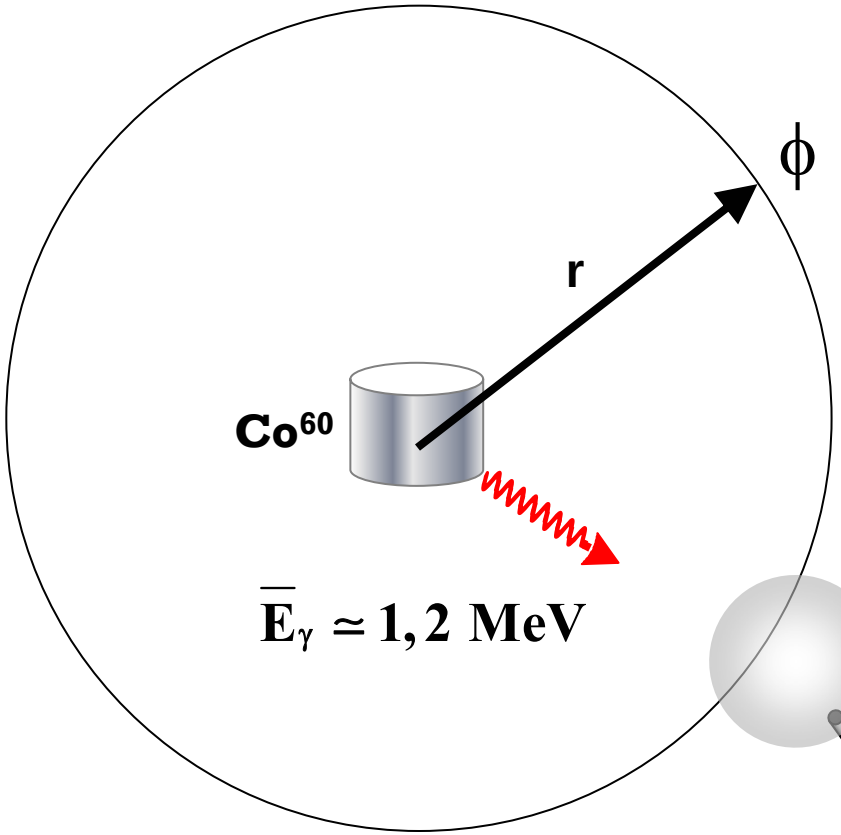
$$\phi \simeq 8 \frac{\gamma}{cm^2\ s}$$

$$5{,}6 \cdot 10^4\ \gamma/cm^2 \cdot s \rightarrow 1\ mSv/h$$



Alla distanza di 1 m da una sorgente di Co^{60} che emette 10^6 γ/s si ha una Dose Equivalente di

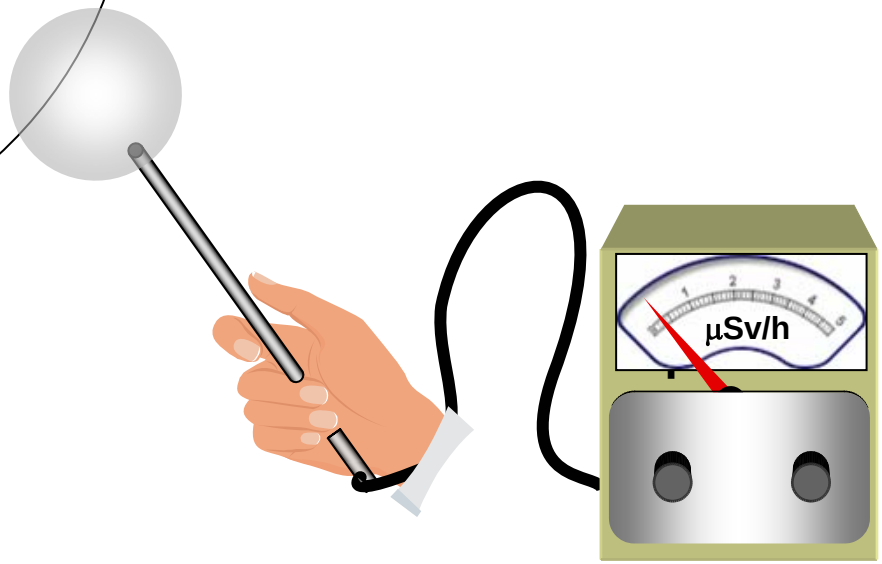
$$\frac{8}{5{,}6 \cdot 10^4} = 1{,}43 \cdot 10^{-4}\ mSv/h = 0{,}14\ \mu Sv/h$$



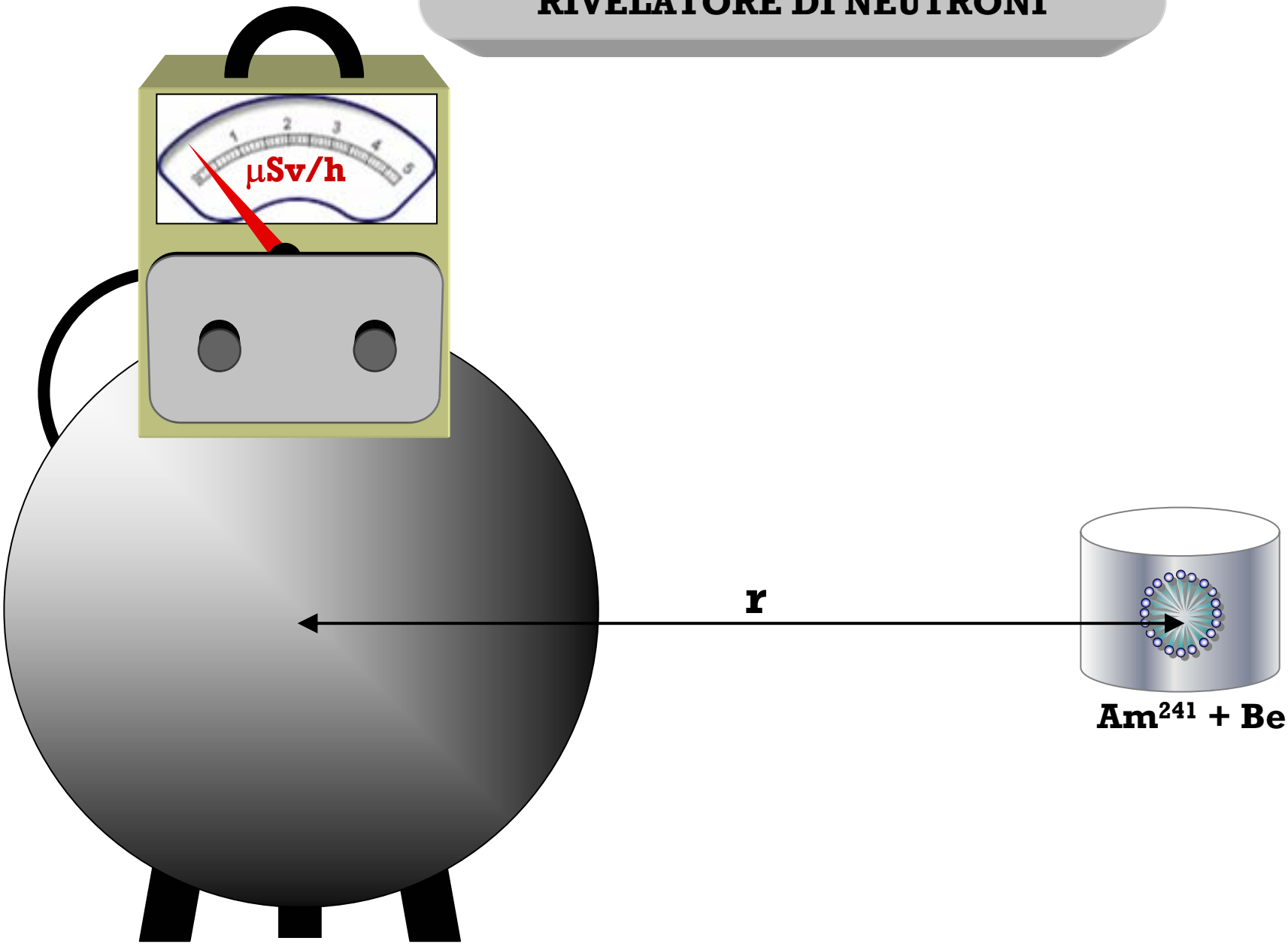
Alla distanza di 1 m da una sorgente di Co^{60} di intensità $I = 10^6 \ \frac{\gamma}{s}$

si ha :

Dose Equivalente = 0,14 μSv / h



RIVELATORE DI NEUTRONI

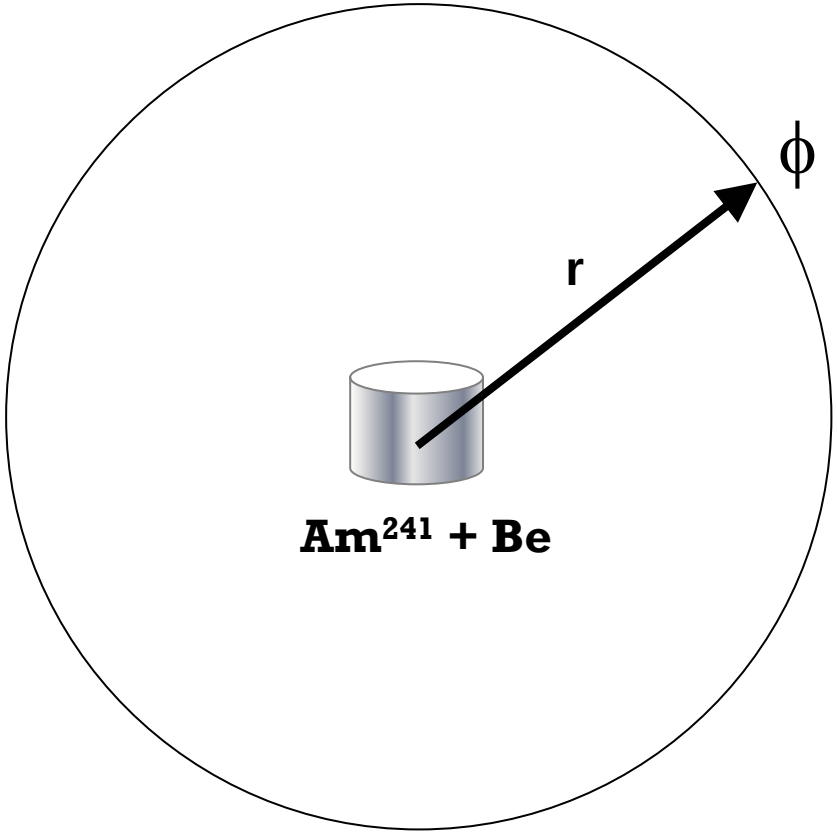


ESEMPIO DI CALCOLO DELLA DOSE EQUIVALENTE DI NEUTRONI

$$I = 10^6 \ \frac{n}{s}$$

Alla distanza di 1 m ($r = 10^2$ cm)

$$\phi = \frac{10^6}{4\pi \ 100^2} \frac{n}{cm^2 \ s} \simeq 8 \frac{n}{cm^2 \ s}$$



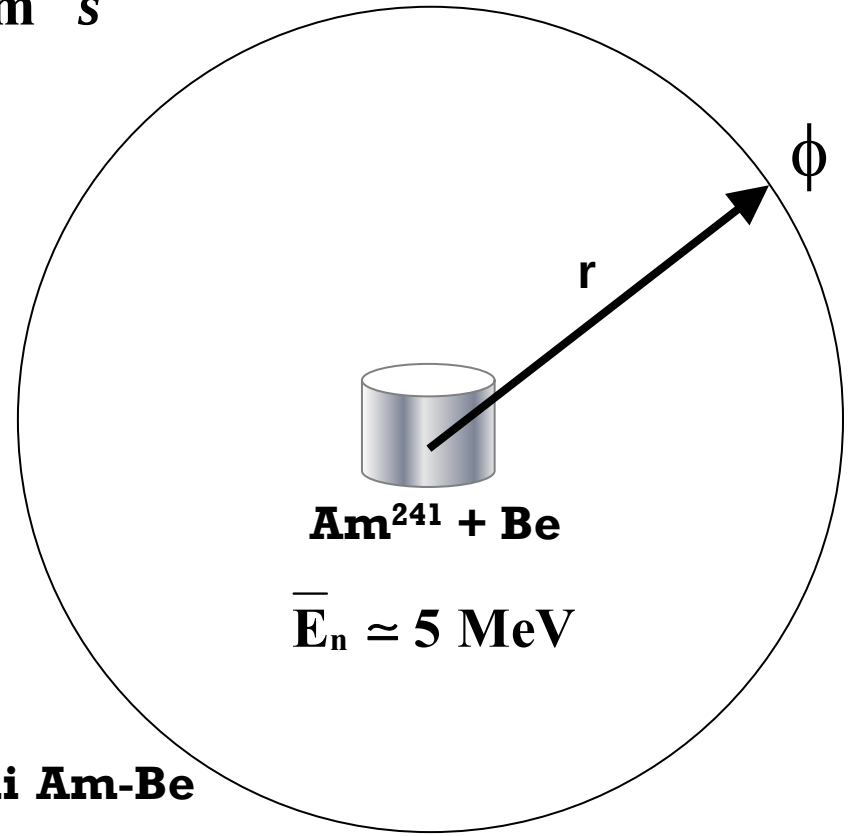
$\overline{E}_n \simeq 5$ MeV

a 5 MeV un flusso di 680 $n/cm^2 \cdot s$ dà una Dose Equivalente di 1 mSv/h

(International Commission on Radiological Protection , ICRP 71 con modifiche)

ESEMPIO DI CALCOLO DELLA DOSE EQUIVALENTE DI NEUTRONI

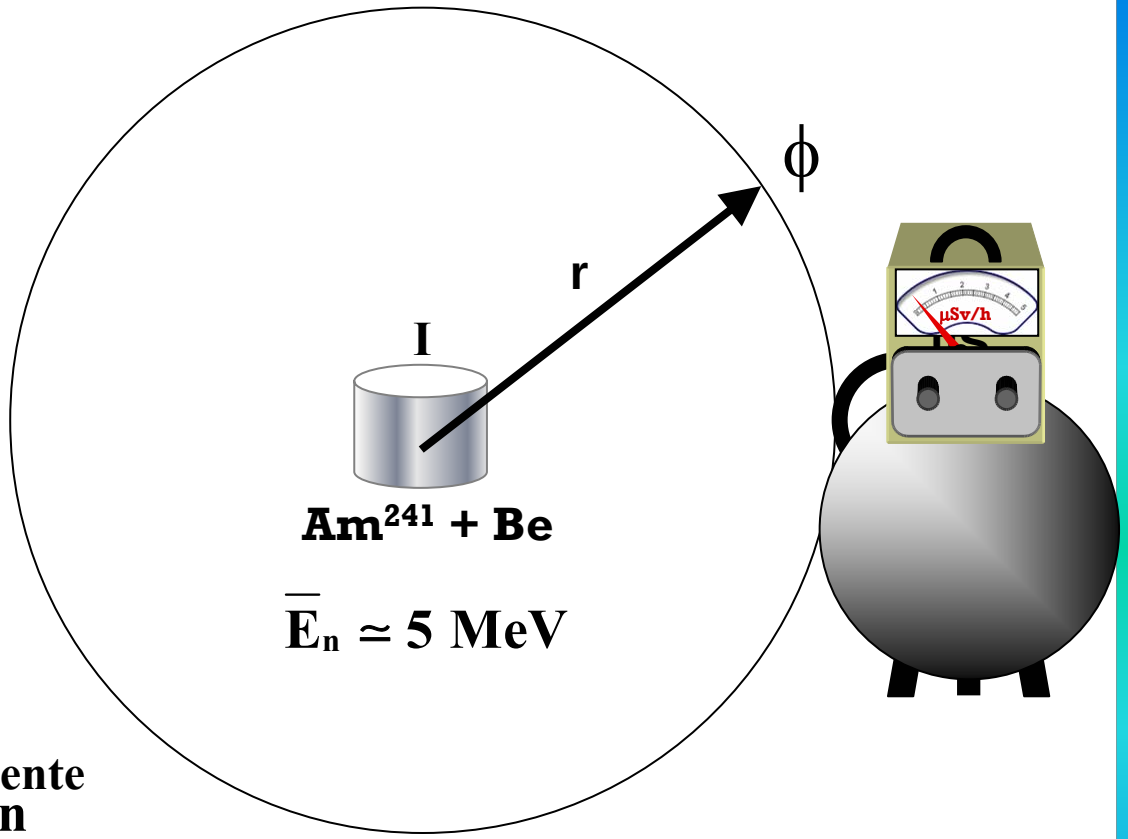
Alla distanza di 1 m da una sorgente di Am-Be che emette 10^6 n/s si ha un flusso di $\phi \simeq 8 \dfrac{n}{cm^2\ s}$



$$680\ n/cm^2 \cdot s \rightarrow 1\ mSv/h$$

Alla distanza di 1 m da una sorgente di Am-Be che emette 10^6 n/s si ha una Dose Equivalente di $\dfrac{8}{680} \simeq 0{,}1\ mSv/h \simeq 100\ \mu Sv/h$

$$I = 10^6 \text{ n/s}$$



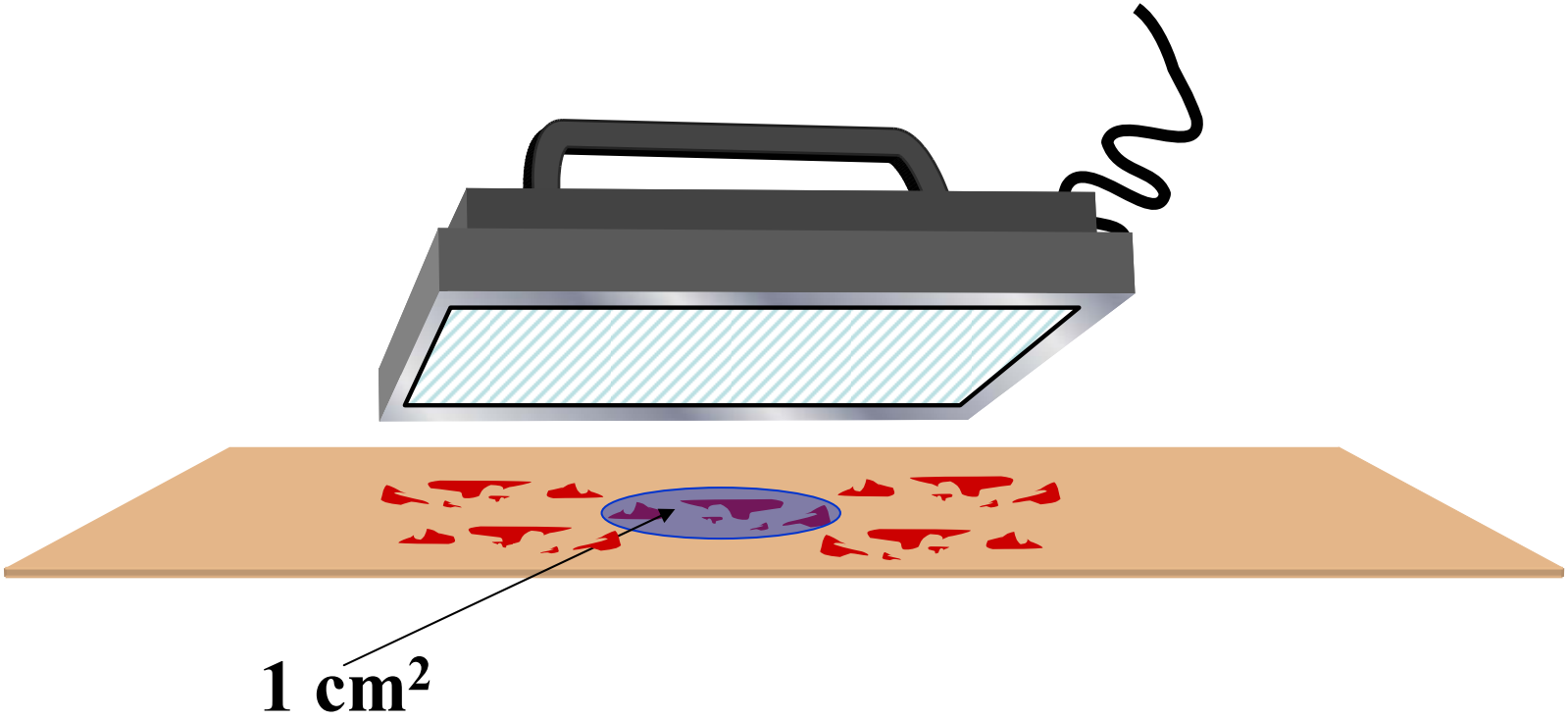
Alla distanza di 1 m da una sorgente di Am-Be di intensità $I = 10^6 \ \frac{n}{s}$

si ha :

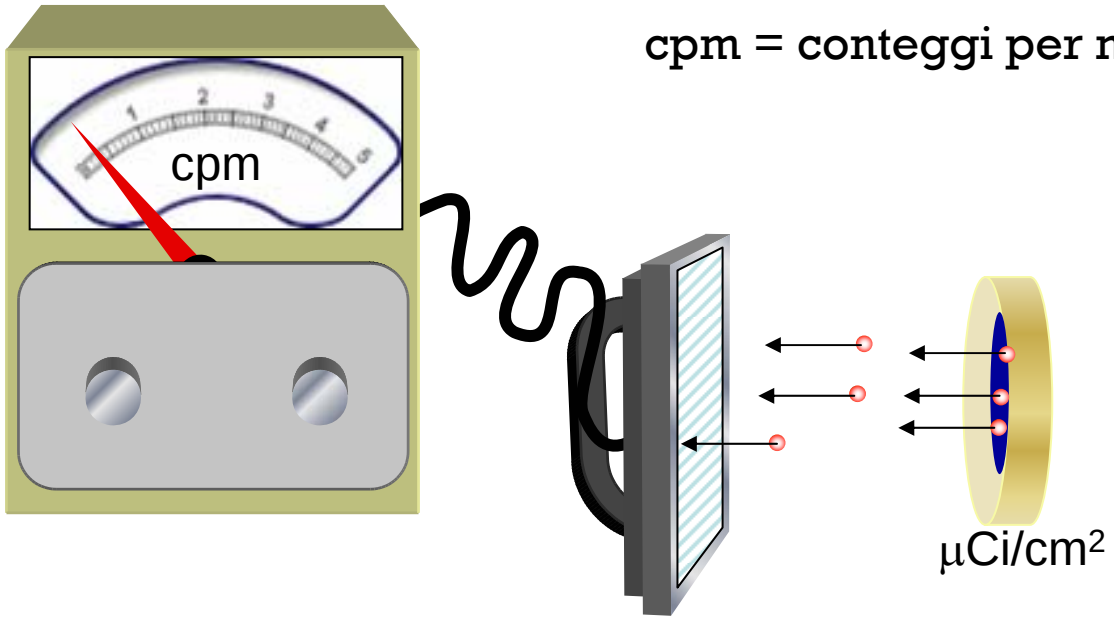
$$\text{Dose Equivalente} \approx 100 \ \mu\text{Sv / h}$$

MISURE DI CONTAMINAZIONE

LA CONTAMINAZIONE SI ESPRIME IN $\mu Ci/cm^2$

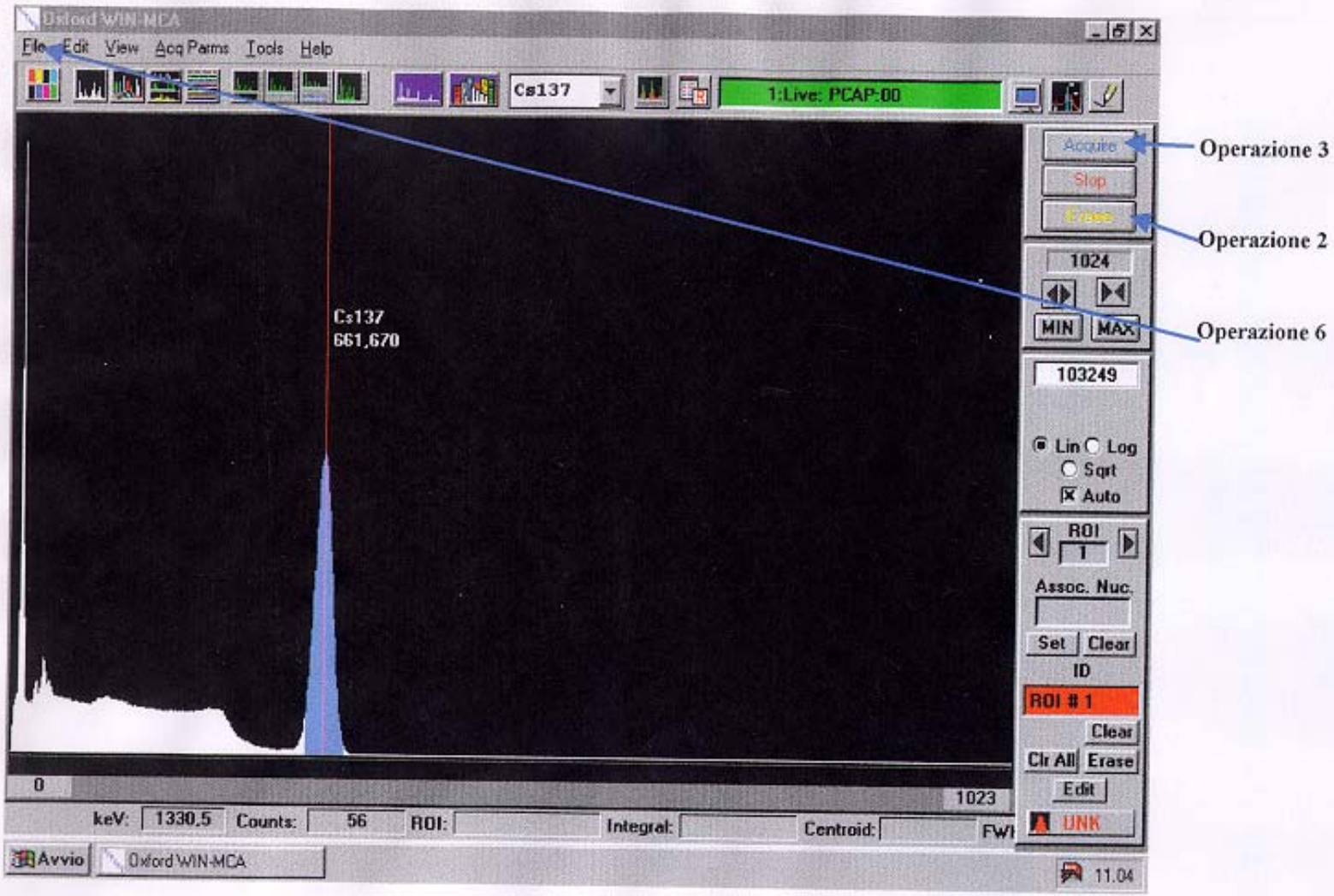


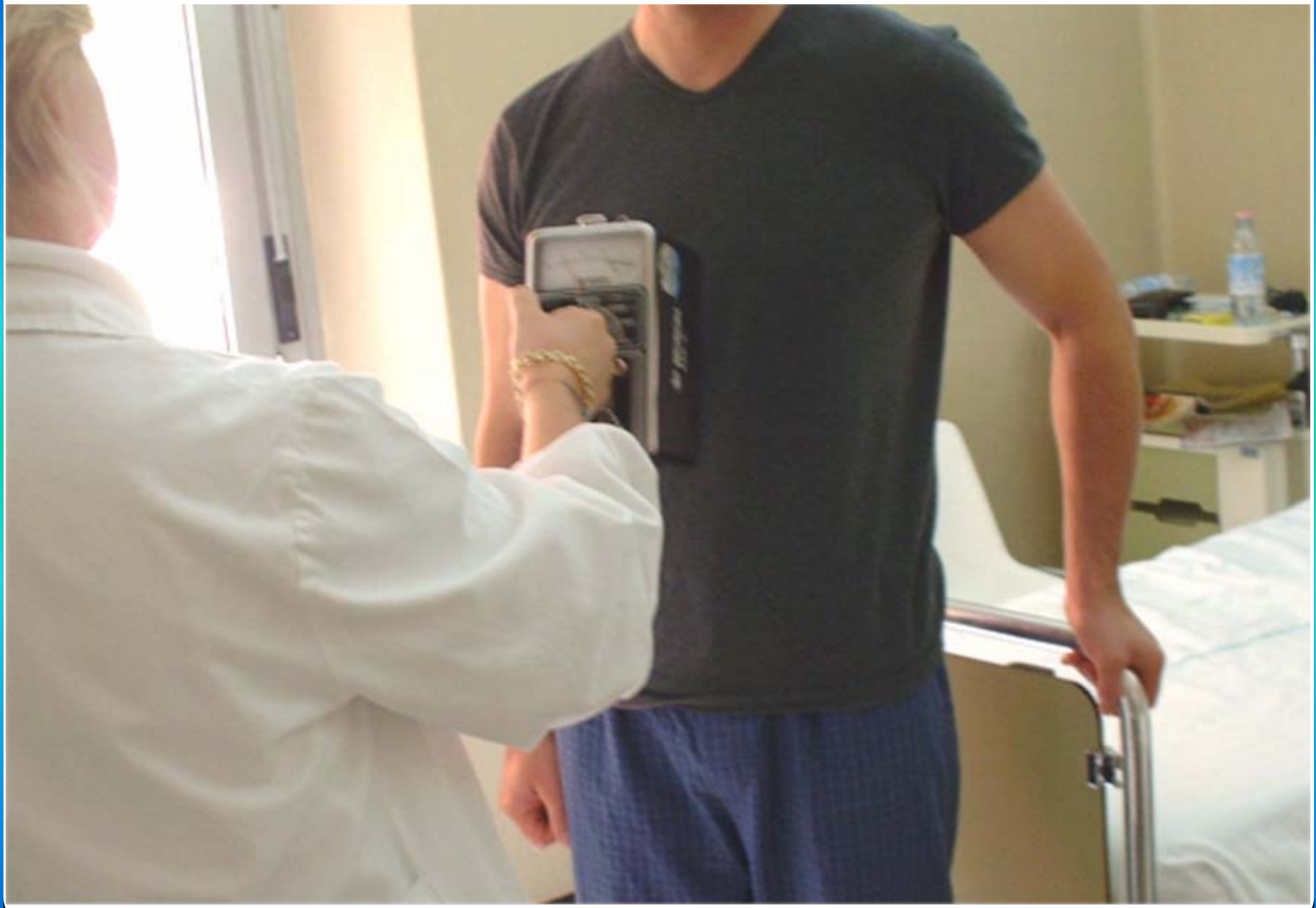
SI TROVA LA CORRISPONDENZA TRA L'ATTIVITA' IN $\mu Ci/cm^2$ DI UNA SORGENTE ESTESA α, β, γ E IL NUMERO DI CONTEGGI PER MINUTO (cpm) MISURATI DAL CONTAMINAMETRO



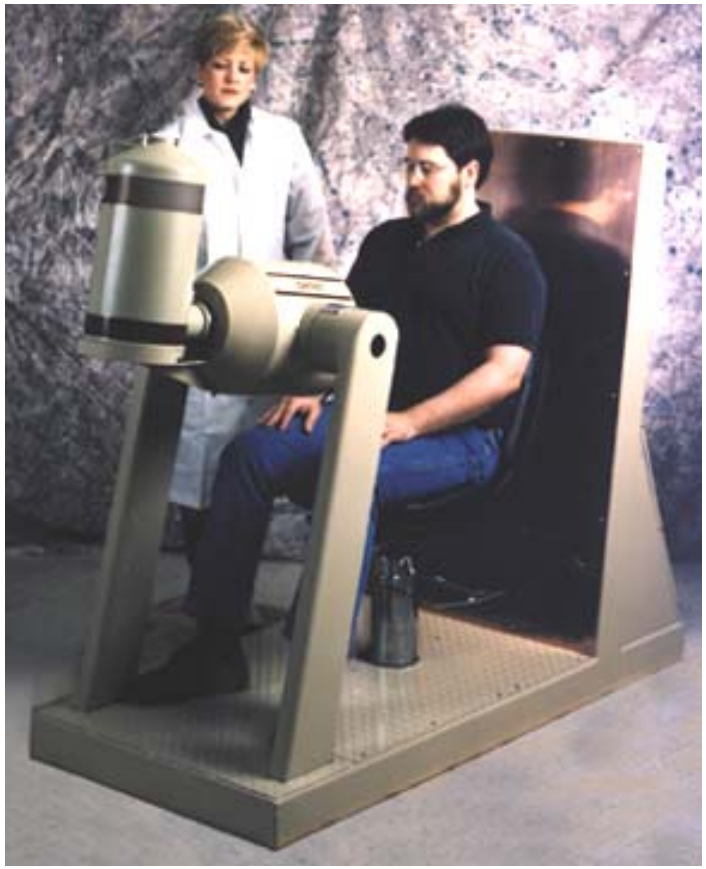
CONTAMINAMETRI

MISURE DI CONTAMINAZIONE INTERNA DA RADIOISOTOPI GAMMA-EMITTENTI MEDIANTE RIVELATORE PORTATILE


Oxford WIN-MCA
File Edit View Acq Parms Tools Help
Cs137
1:Live: PCAP:00
Acquire
Stop
Erase
1024
MIN
MAX
103249
Lin Log
Sqrt
Auto
ROI
1
Assoc. Nuc.
Set
Clear
ID
ROI # 1
Clear
Clr All
Erase
Edit
UNK
Cs137
661,670
0
1023
keV: 1330,5
Counts: 56
ROI:
Integral:
Centroid:
Avvio
Oxford WIN-MCA
11.04
Operazione 3
Operazione 2
Operazione 6



WHOLE BODY COUNTER



Typical Detection Limits

^{60}Co	148 Bq
^{137}Cs	207 Bq
^{134}Cs	178 Bq