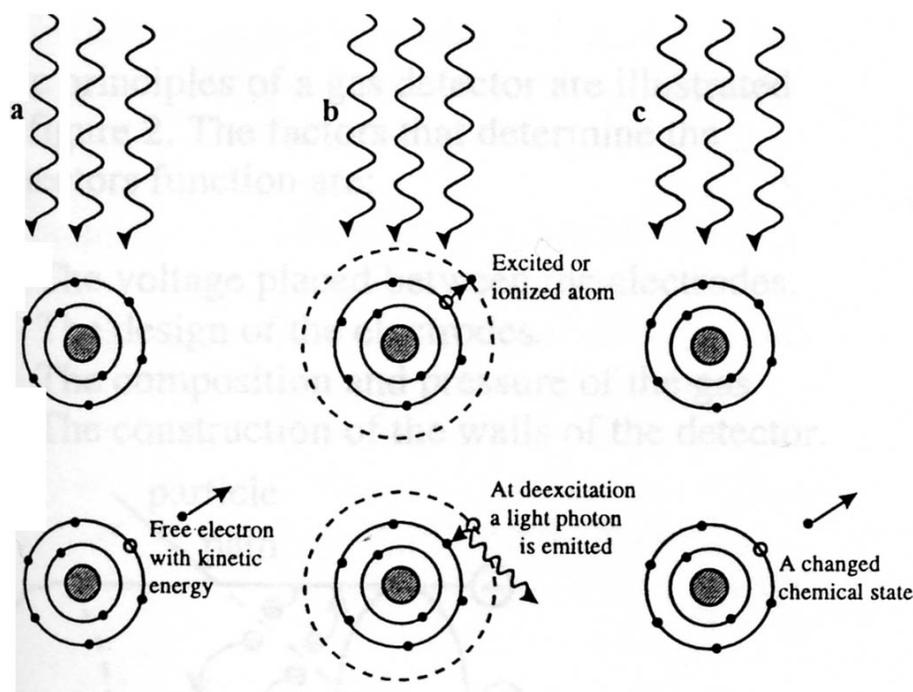


Strumentazione e tecniche per la misura della dose

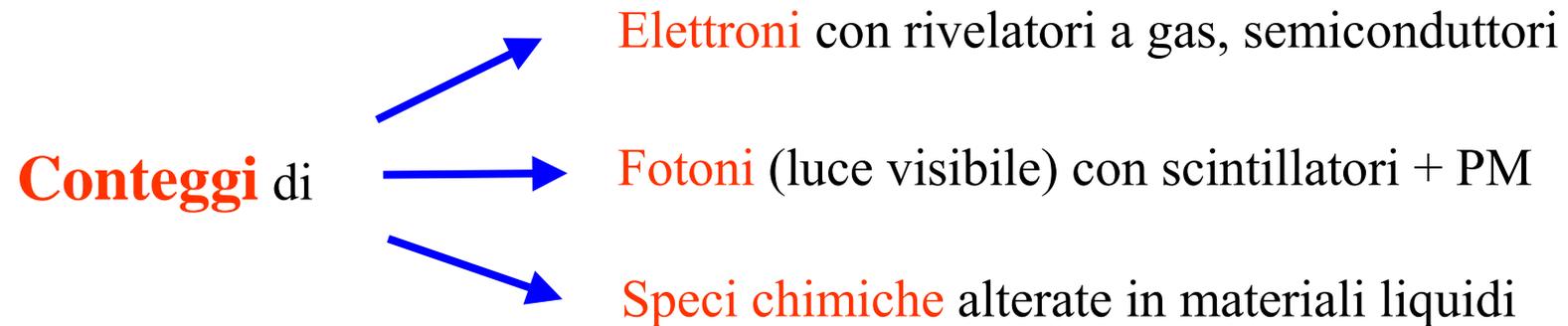
Processi che avvengono nell'interazione radiazione ionizzante con la materia:
lo stadio finale e' la produzione di calore → calorimetria assoluta



- a.** produzione di elettroni liberi, che possono essere fatti migrare lungo un campo elettrico e raccolti
- b.** per ionizzazione o eccitazione si produce una buca che viene riempita da un elettrone con rilascio un fotone di energia pari a quella di legame che puo' essere nel visibile
- c.** una ionizzazione permanente induce un cambiamento dello stato chimico della sostanza che puo' essere misurato chimicamente

Metodi

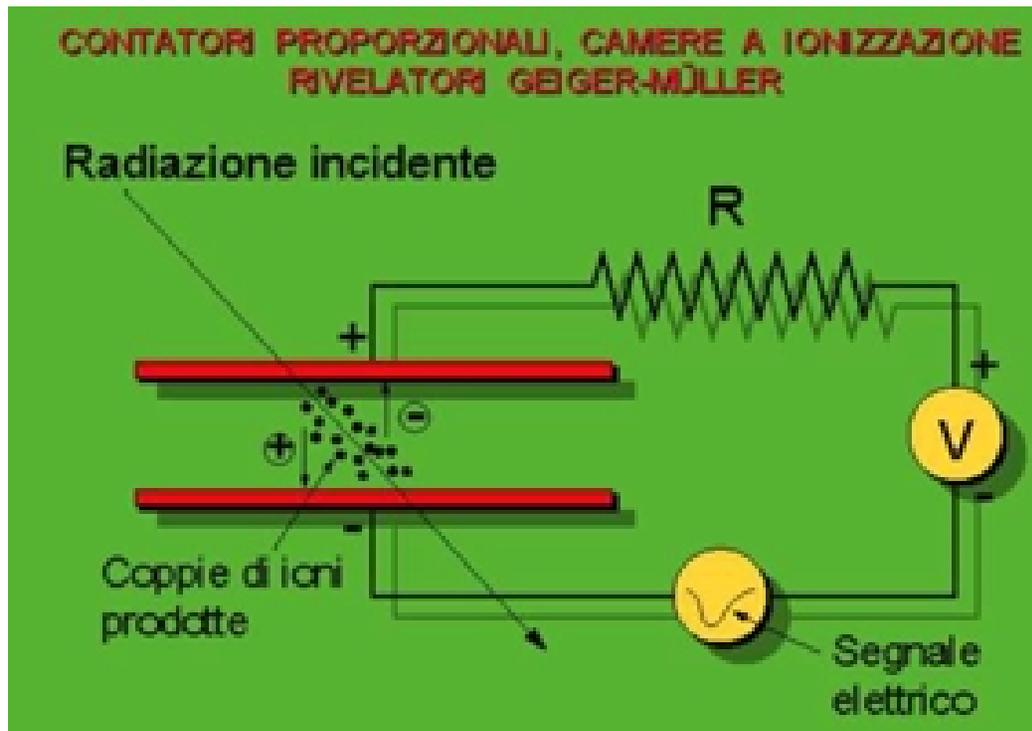
Misura precisa del rialzo termico dovuto alla radiazione: calorimetro



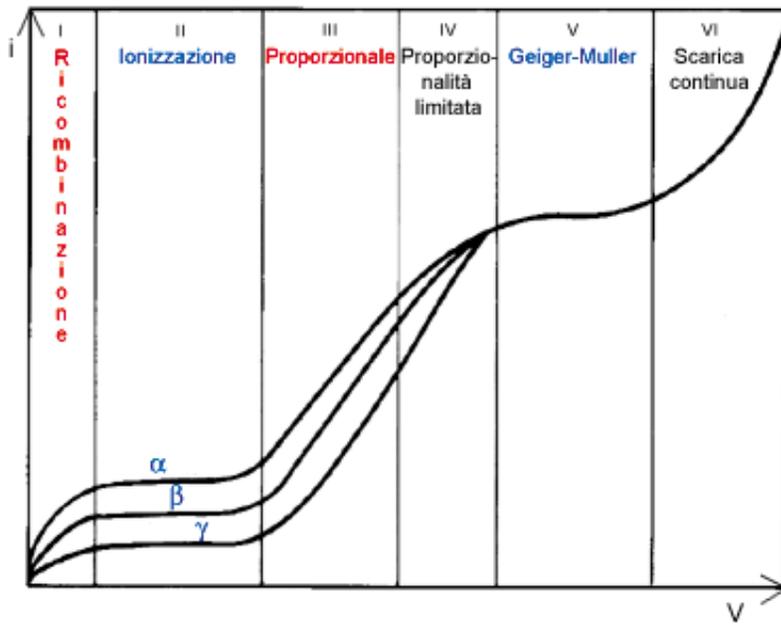
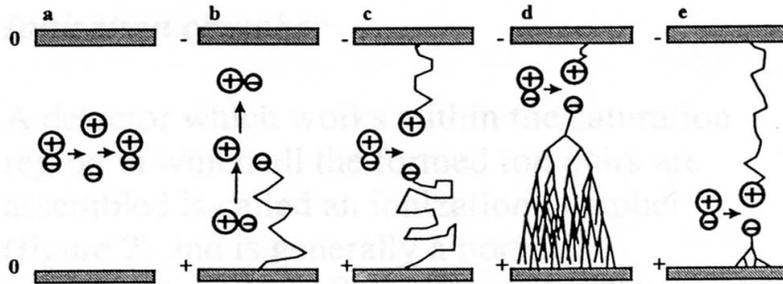
Rivelatori a gas

Fattori che determinano il funzionamento:

- tensione tra gli elettrodi
- geometria degli elettrodi
- composizione e pressione del gas
- pareti del rivelatore



Tensione di lavoro



- I. Ricombinazione: $N_{coll} < N_{prod}$
- II. Ionizzazione: $N_{coll} \cong N_{prod}$
- III. Proporzionale: $N_{coll} > N_{prod}$
- IV. Geiger-Mueller: $N_{coll} \cong \text{cost.}$
- V. Scarica

i per la dosimetria

Camere a ionizzazione

Lavorano in regime di saturazione (tutti gli ioni vengono raccolti), si misura il flusso o la carica integrata su un dato tempo.

Un volume sensibile di gas di 1lit esposto a $1\mu\text{Gy/h}$ produce ca. 10^{-14} A (10^5 ioni/s) → elettronica di amplificazione

Strumento di riferimento per la misura della dose \propto carica prodotta nella ionizzazione.
Spessore delle pareti \geq percorso massimo degli elettroni secondari, i.e. $\sim 5 \text{ kg/m}^2$ a 1 MeV (build up cap), 1-10 m μ per fasci di energia $< 50 \text{ keV}$.





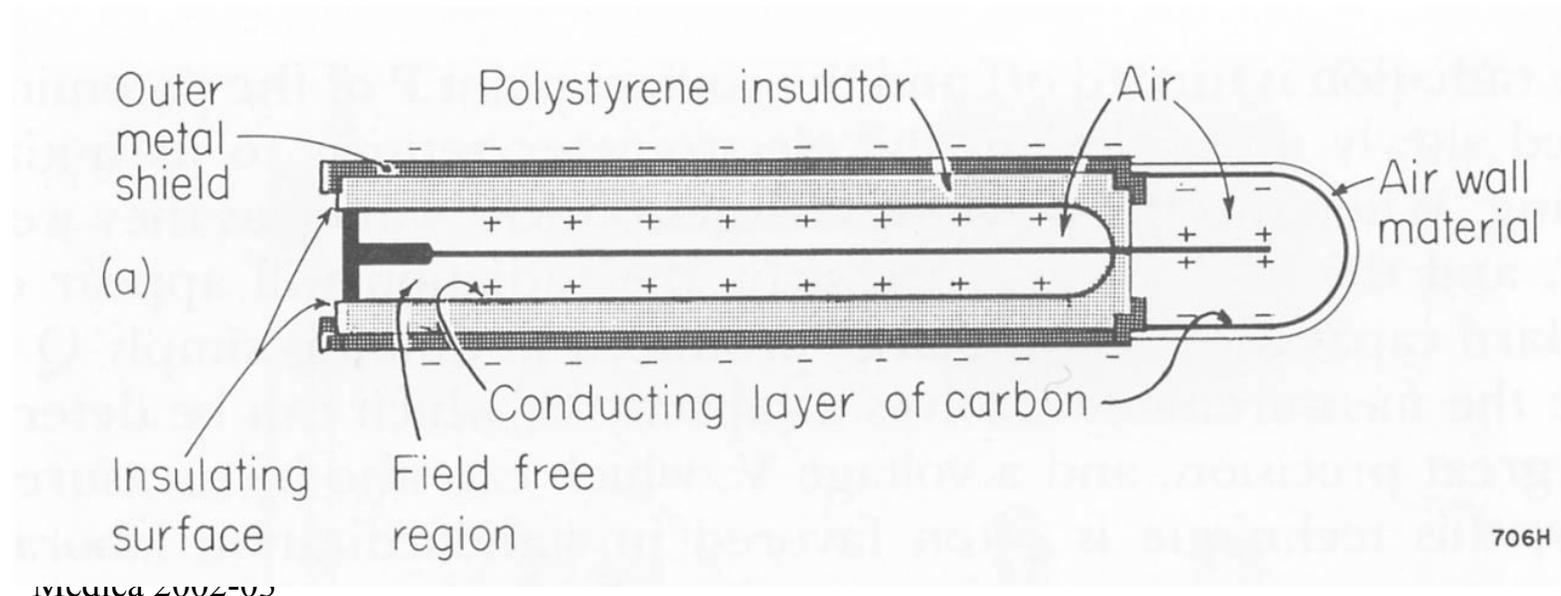
**Camera a digitale +
elettrometro**

Camera a condensatore

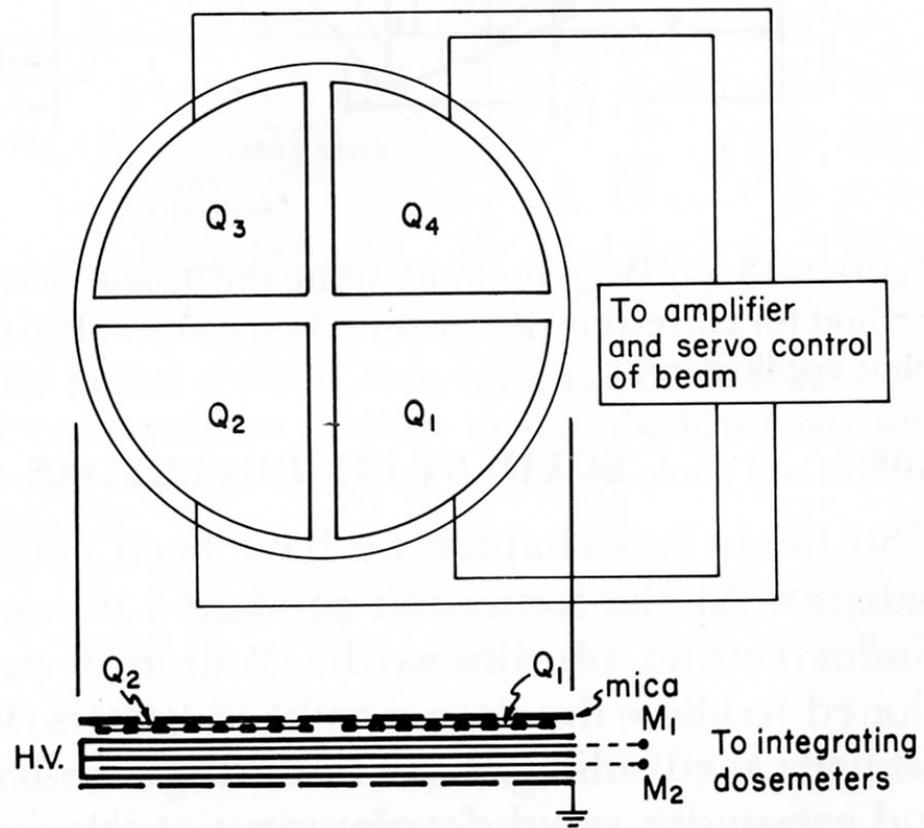
Camera portatile con pareti di “aria equivalente” che puo’ essere usata come dosimetro personale.

Viene applicata una DDP tra il filo (anodo) e le pareti fatte di plastica conduttrice. Al passaggio della radiazione la carica liberata va a scaricare il condensatore, si misura ΔV

$$\Delta V \propto \text{ionizzazione} \propto \text{esposizione} \propto \text{dose} \rightarrow Q = C \Delta V$$



Camera monitor per linac

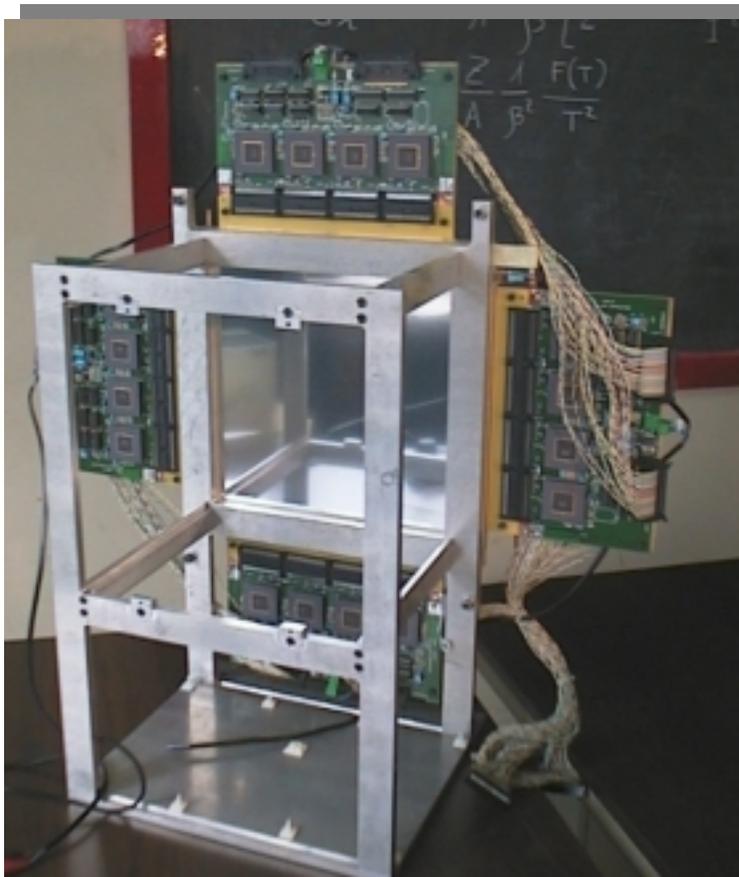




Camera a pixel

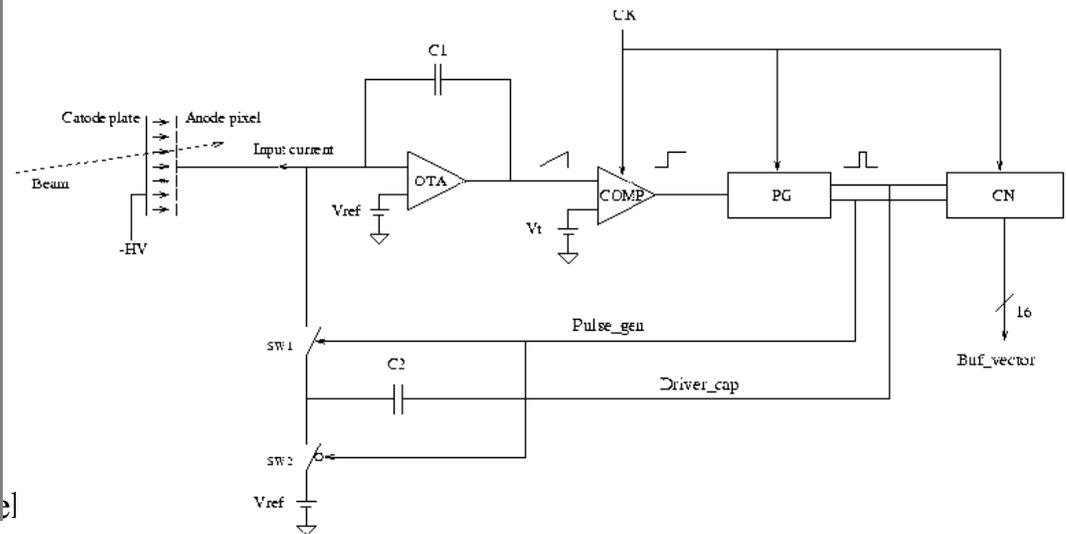
Gruppo TERA di Torino

Matrice di ~ 1000 pixel letti individualmente per la caratterizzazione ed il controllo in linea di fasci terapeutici. Elettronica di lettura in tecnologia VLSI.



Medica 2002-03

Recycling capacitor



Misura calorimetrica della dose assorbita

Misura dell'energia termica generata in un mezzo dalla radiazione → ΔT
e.g. 1 Gy in H₂O:

$$1\text{Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \frac{1}{4.18} \frac{\text{cal}}{\text{kg}}; \quad c_{\text{H}_2\text{O}} = 10^3 \frac{\text{cal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T = \frac{1}{4.18} \frac{\text{cal}}{\text{kg}} \times 10^{-3} \frac{\text{kg}^\circ\text{C}}{\text{cal}} = 2.39 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$$

Dalla misura della variazione di resistenza in un **termistore**:

$$\frac{\Delta R}{R} = 5\% \quad \text{per} \quad \Delta T = 1^\circ\text{C}$$

$$\Delta R = 5\% \times R \times \Delta T = .05 \times 10^5 \times 2.39 \times 10^{-4} = 1.2\Omega$$

Misura dell'energia assorbita

Assorbitore (core), jacket, shield, buffer fatti dello stesso materiale: grafite o Plastica Tessuto Equivalente (TEP), isolati termicamente tra di loro dal vuoto.

Ognuno e' connesso ad un **termistore** e Ad un piccolo **heater** per lettura e controllo della temperatura.

Tutti gli elementi sono portati alla stessa temperatura ed irradiati:

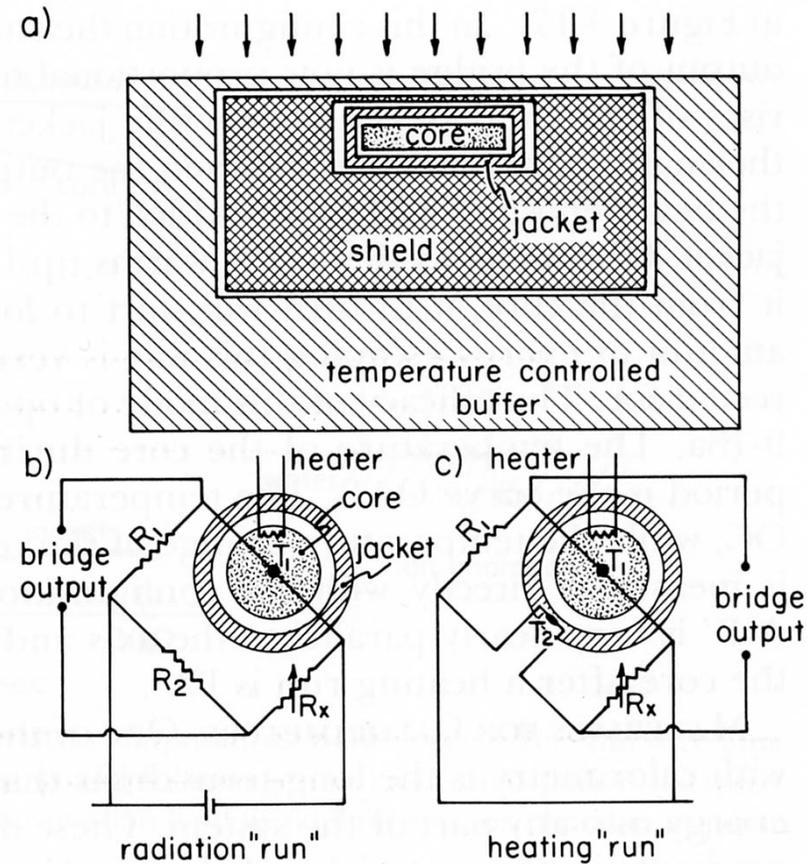
$$T \rightarrow T + \Delta T_r$$

La calibrazione in energia avviene dissipando nel core una quantità nota di calore E_h e misurando ΔT_h

$$E_{ab} = E_h \frac{\Delta T_r}{\Delta T_h}$$

E_{ab} : energia assorbita

Problemi: equilibrio termico, isolamento termico, danno da radiazione



1012H

Determinazione della dose in acqua

In un campo di radiazione di fluensa Φ il calorimetro misura una dose D_o .

Si sostituisce il calorimetro con un fantoccio ad acqua corredato di camera a ionizzazione e si

Registra, per lo **stesso** campo, un conteggio M_o nella camera a ionizzazione nel punto P'

→ **calibrazione della camera a ionizzazione** per Φ

Se la camera nel fantoccio da' un conteggio M quando esposta ad un fascio simile a Φ :

$$D = \frac{M}{M_o} \times D_o \times k = M \times N_D \quad \text{dove}$$

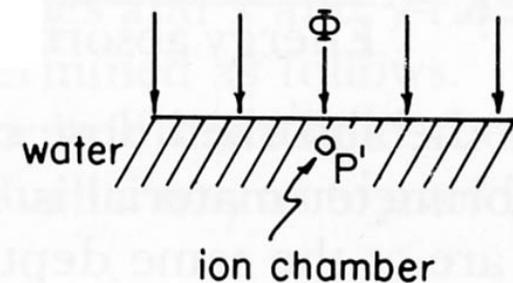
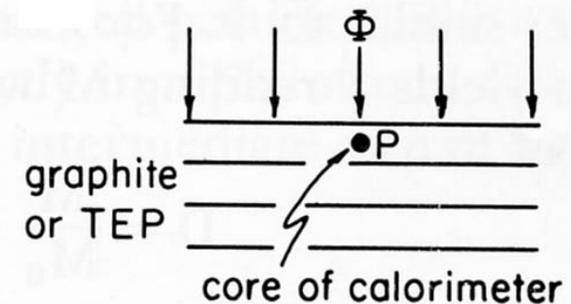
$$k = \frac{\text{Energia assorbita da un campione di acqua in P'}}{\text{Energia assorbita dal calorimetro in P}}$$

N_D e' il fattore di calibrazione della dose

Se il materiale di cui e' fatto il calorimetro e' TEP,

e se P e P' sono alla stessa profondita', **k = 1**

Altrimenti, per la grafite: $k = \frac{(\mu_{ab}/\rho)_{\text{acqua}}}{(\mu_{ab}/\rho)_{\text{grafite}}}$ con $\Delta D/D \cong 0.1\%$



Misura della dose assorbita con metodi chimici

Misura dell'alterazione chimica indotta dalla radiazione, dosimetro di Fricke: ossidazione di una soluzione acquosa (96% H₂O) di solfato ferroso → solfato ferrico. La concentrazione di Fe⁺⁺⁺ e' misurata per spettrometria (assorbimento degli U.V. 3040 Å).

G Value numero medio di molecole della specie prodotte per 100 eV di energia assorbita

Ad un campione di solfato ferroso di densita' ρ in kg/m³ e' somministrata una dose D e nel processo si produce una concentrazione ΔM (mol/l) di ioni ferrici. L'energia assorbita e' $D\rho$, quindi:

$G = \frac{\Delta M}{D\rho}$; usando il valore di G misurato in altri esperimenti e misurando ΔM per spettrometria ho, per la dose:

$D = \frac{\Delta M}{G\rho}$. Per avere D in Gy si devono convertire le moli in numero di molecole, m³ in l, eV in J:

$$D = \frac{\Delta M}{G\rho} \times 9.65 \times 10^9 \text{ Gy}$$

La misura della concentrazione di Fe⁺⁺⁺

Dalla misura della densita' ottica (spettrofotometria) della soluzione irradiata:

$$A_{\lambda} = \log \frac{I_o}{I_t}$$

I_o intensita' della luce di quarzo che arriva ad una cella di quarzo contenente la soluzione, I_t intensita' trasmessa. A_{λ} e' direttamente proporzionale alla quantita' di specie presente. Per radiazione di l (2000÷10000 Å) misuro A_{λ} :

$$A_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} \times l \times M$$

l	lunghezza della cella	(cm)	misurata
M	concentrazione Fe ⁺⁺⁺	(mol/l)	misurata
ε_{λ}	coefficiente di estinzione molare	($l \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ $= 100 \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}$)	tabulato

ε_{λ} ha dimensioni area/mole → coefficiente di attenuazione.

Relazione tra dose e concentrazione F^{+++}

$$D = \frac{\Delta A_{\lambda}}{\varepsilon_{\lambda} l \rho G} (9.65 \times 10^9) \text{ Gy}$$

ΔA_{λ} variazione dovuta all'irraggiamento

ε_{λ} misurato: $2196 \pm 5 \text{ l mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ a 3040 \AA per Fe^{+++}

ρ 1024 kg m^{-3}

G dipende dall'energia della radiazione:

TABLE 9-1

Recommended G Values for the Production of Ferric Ion Fe^{+++} in 0.4 Mole/Liter H_2SO_4 as a Function of Photon Energy

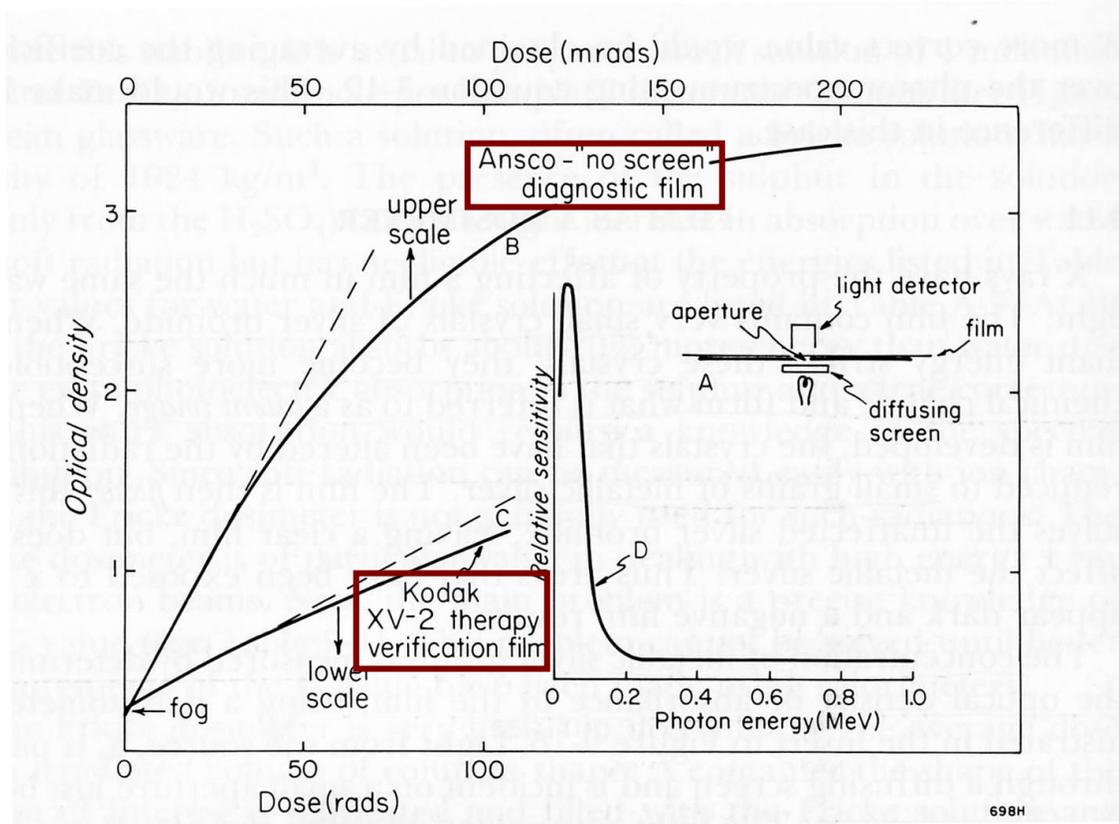
Radiation	G Value (no. per 100 eV)
^{137}Cs	15.3 ± 0.3
2 MV	15.4 ± 0.3
^{60}Co	15.5 ± 0.2
4 MV	15.5 ± 0.3
5-10 MV	15.6 ± 0.4
11-30 MV	15.7 ± 0.6

Caratteristiche dosimetriche

- ❖ La misura avviene in acqua al 96% →
per energie $\geq 100\text{keV} \approx$ stessa risposta alla radiazione:
 $\mu_{\text{en}}(\text{Fricke}) = 0.0296 \text{ (cm}^2/\text{g)}$, $\mu_{\text{en}}(\text{acqua}) = 0.0297$ a 1 MeV.
- ❖ Usato per fotoni ed elettroni di alta energia
- ❖ La sensitività della spettrometria limita la dose misurabile a
 $D \geq 10 \text{ Gy}$ (lineare → 350 Gy) complementare alla camera a ionizzazione
- ❖ Si adatta a volumi di forma complessa
- ❖ $\Delta D/D \approx 2\text{-}3\%$

Dosimetria con l'uso di film

I RX impressionano l'emulsione fotografica alterando chimicamente i cristalli di AgBr ($1\mu\text{m}$) sospesi in una matrice di gelatina ($30\text{-}50\mu\text{m}$) con la formazione di macroaggregati di Ag metallico (immagine latente). Nello sviluppo vengono ridotti in grani di argento metallico che poi vengono fissati creando zone scure in corrispondenza dell'assorbimento della radiazione. La concentrazione (\propto dose) viene determinata con misure di



densitometria che misura la densita' ottica funzione dell'esposizione (dose):
curva caratteristica di risposta.

$$\text{Annerimento: } d = \log_{10} \frac{I_0}{I_t}$$

Sensibilita' tipica : $0.5\mu\text{Gy}$.

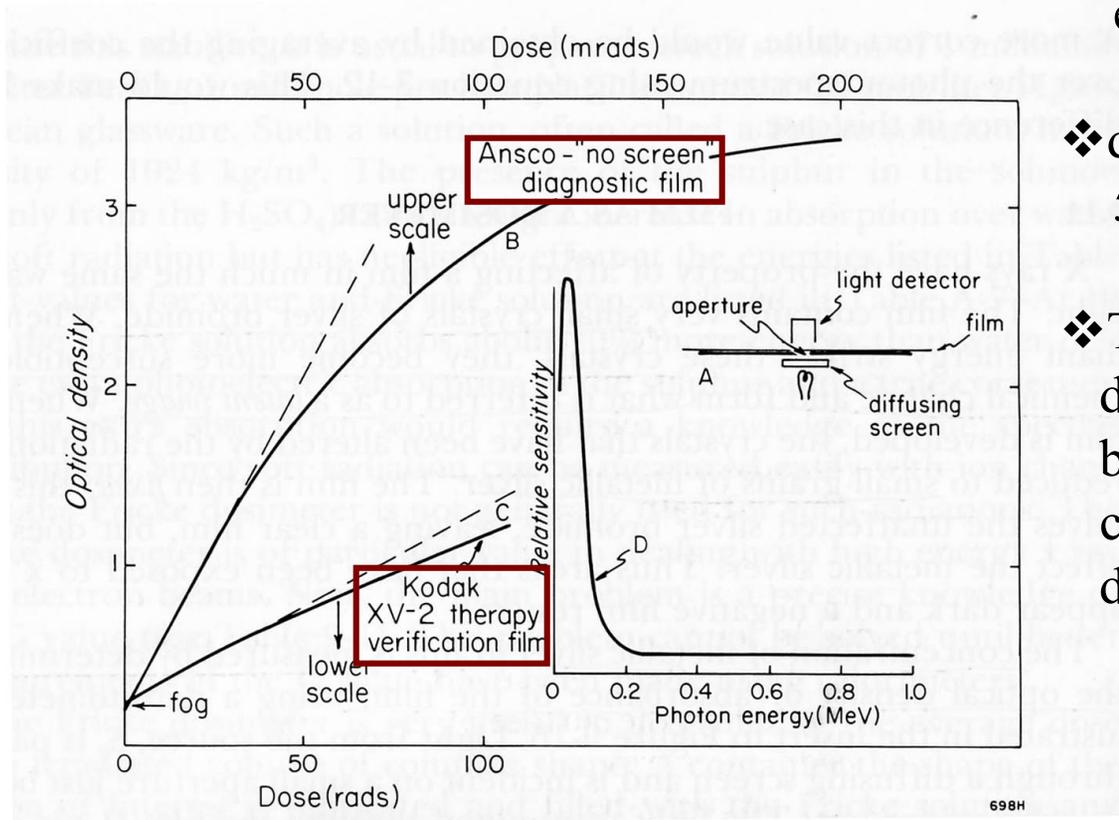
Risposta in energia ed uso

Risposta in energia: forte assorbimento per $E < 150$ keV ($Z_{Ag} = 47$, Kedge a 25.5 keV), “piatta” per $E > 200$ keV →

❖ dosimetria per telecobaltoterapia e Linac

❖ dosimetria pratica per la diagnostica 50 – 150 kV

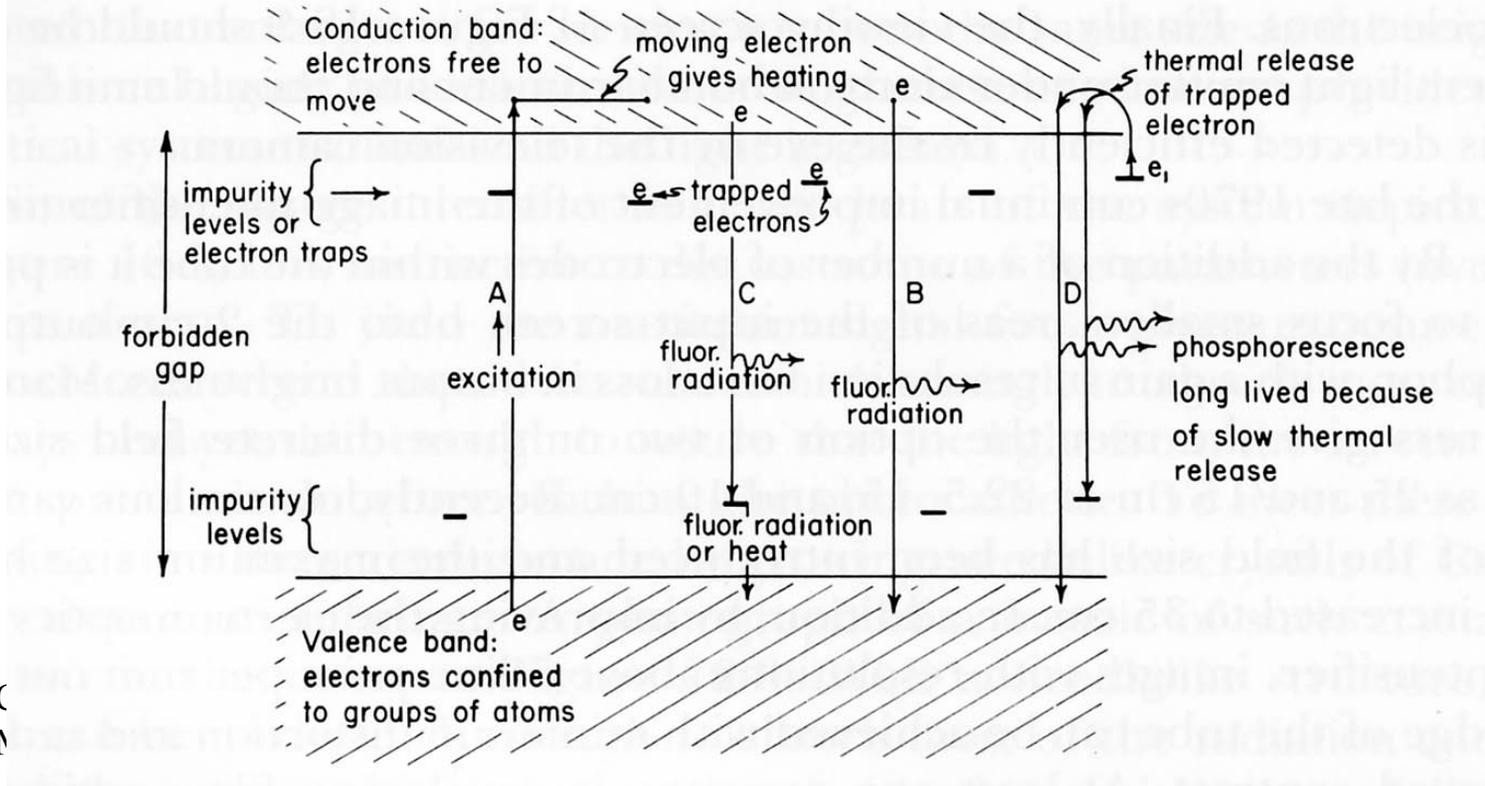
❖ Tecnica usata per la determinazione delle curve di isodose, allineamento, build-up (con filtri di spessore crescente), ricerca di “fughe”, dosimetria personale (film badge).



Termoluminescenza (TLD)

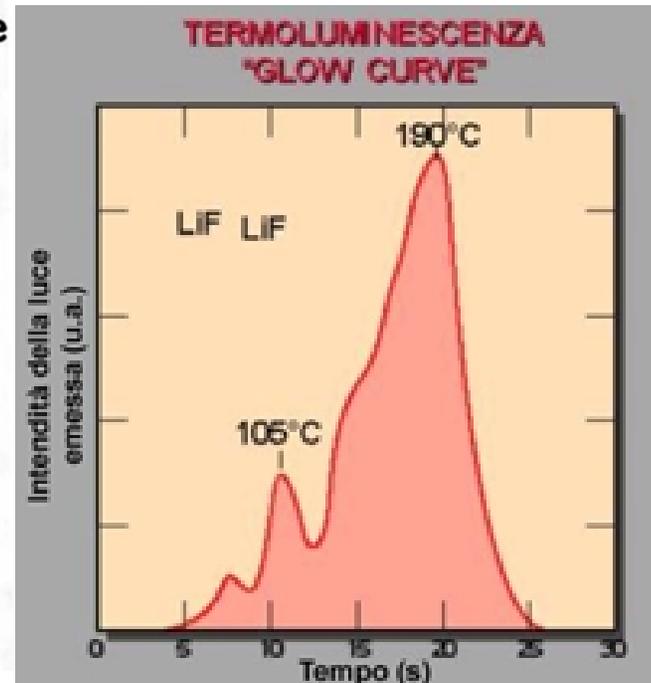
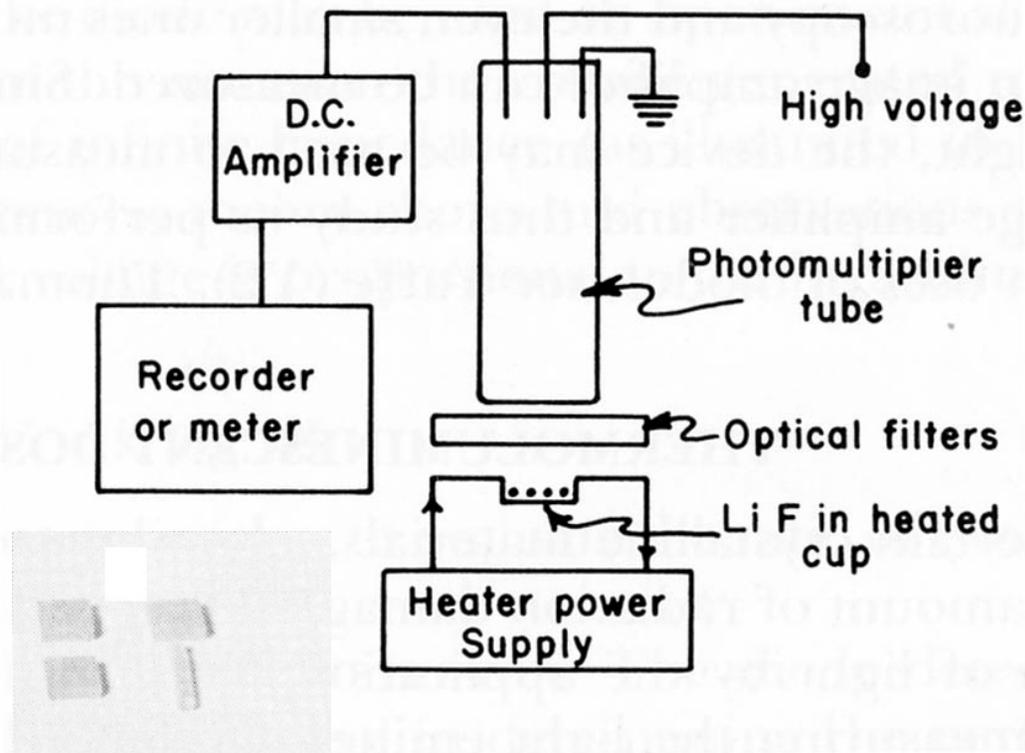
Alcuni materiali cristallini (e.g. LiF), se riscaldati, emettono luce in quantità proporzionale alla radiazione assorbita. La radiazione fornisce agli elettroni l'energia per saltare dalla banda di valenza a quella di conduzione.

Alcuni di essi vengono intrappolati nelle imperfezioni e difetti nel cristallo (impurità) da, in seguito a riscaldamento, ricadono nella banda di valenza con emissione di luce visibile.



Misura della dose – Glow curve

L'annerimento e' funzione dell'esposizione, la temperatura dell'energia delle trappole. La lettura azzer il cristallo (annealing) che puo' essere riusato.



Caratteristiche dosimetriche ed uso

- ❖ Materiali usati: LiF ($Z_{\text{eff}} \approx \text{tessuto}$), CaF_2 , CaSO_4 , $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, BeO con impurita' di Mn
- ❖ Spettro di dose tra 10 μGy e 100 Gy (LiF)
- ❖ Piccole dimensioni, alta sensibilita', basso costo di esercizio
- ❖ Usato nella dosimetria personale, dosimetria in vivo.

Referenze

- H.E. Johns, J.R.Cunningham, The Physics of Radiology, Charles C Thomas Publisher, 1983
- R.K Hobbie, Intermediate Physics for Medicine and Biology, Springer –Verlag, 1997
- M. Pelliccioni, Fondamenti fisici della radioprotezione, Pitagora Editrice, 1993
- H.Lundqvist, J.Carlsson, Nuclide Techniques Course, Universita' di Uppsala, 1998
- H.Cember, Introduction to Health Physics, McGraw-Hill, 1996
- Unita' di Fisica Sanitaria di Ordine Mauriziano, ASL1 Torino, ASL9 Ivrea, Radioterapia dell'Ordine Mauriziano, Radioprotezione 2000, CD.