

Rifiuti radioattivi

Dott. Marco Italiani

Struttura Semplice di Fisica Sanitaria
Azienda Ospedaliera “S. Maria” Terni

Corso “Rischio biologico” 2008

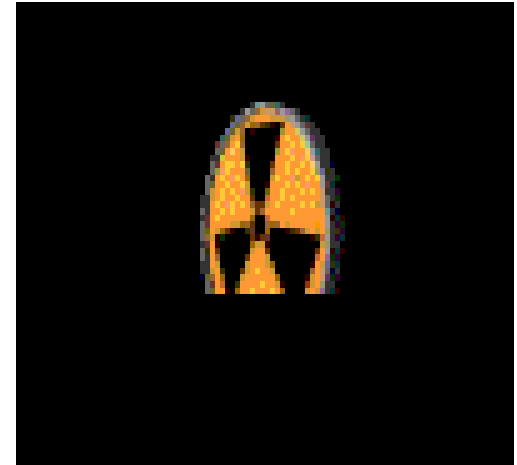
Radioattività : un po' di storia

- ✓ **1895** raggi X Wilhelm Conrad **Roentgen**
- ✓ **1896** radioattività Henry **Becquerel**
- ✓ **1887** elettrone Joseph John **Thompson**
- ✓ **1898** Polonio e Radio Marie **Curie**

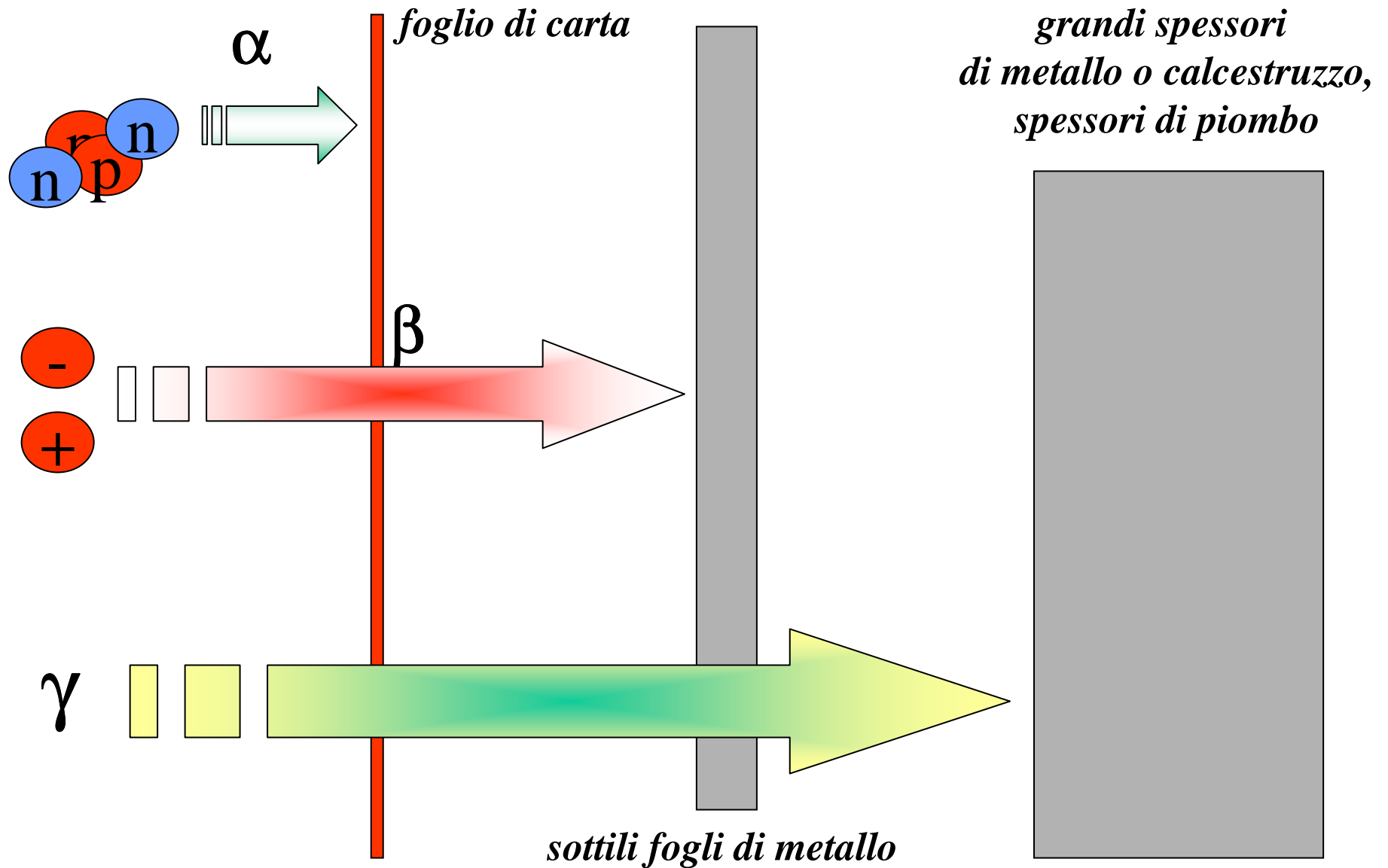
SOSTANZA RADIOATTIVA

Caratteristiche generali:

- a) Presenza di nuclei atomici instabili
- b) Decadimento verso nuclei stabili
- c) Emissione di radiazioni α, β, γ
- d) Sostanze naturali (^{40}K) o artificiali
- e) Attività, Tempo di dimezzamento e tipo di radiazione emessa sono I parametri fondamentali
- f) Radiazioni α, β sono particelle con massa e carica mentre le radiazioni γ sono onde elettromagnetiche (come i raggi x)



Spessori di materiale attraversato dalle radiazioni α , β , γ



Attività radioattiva

Attività radioattiva = n. decadimenti/s
→ rate - tasso ("velocità", "frequenza") di decadimento

Unità di misura SI:

becquerel → 1 Bq = 1/s

1 Bq = 1 decadimento al secondo → unità troppo piccola



Unità pratica:

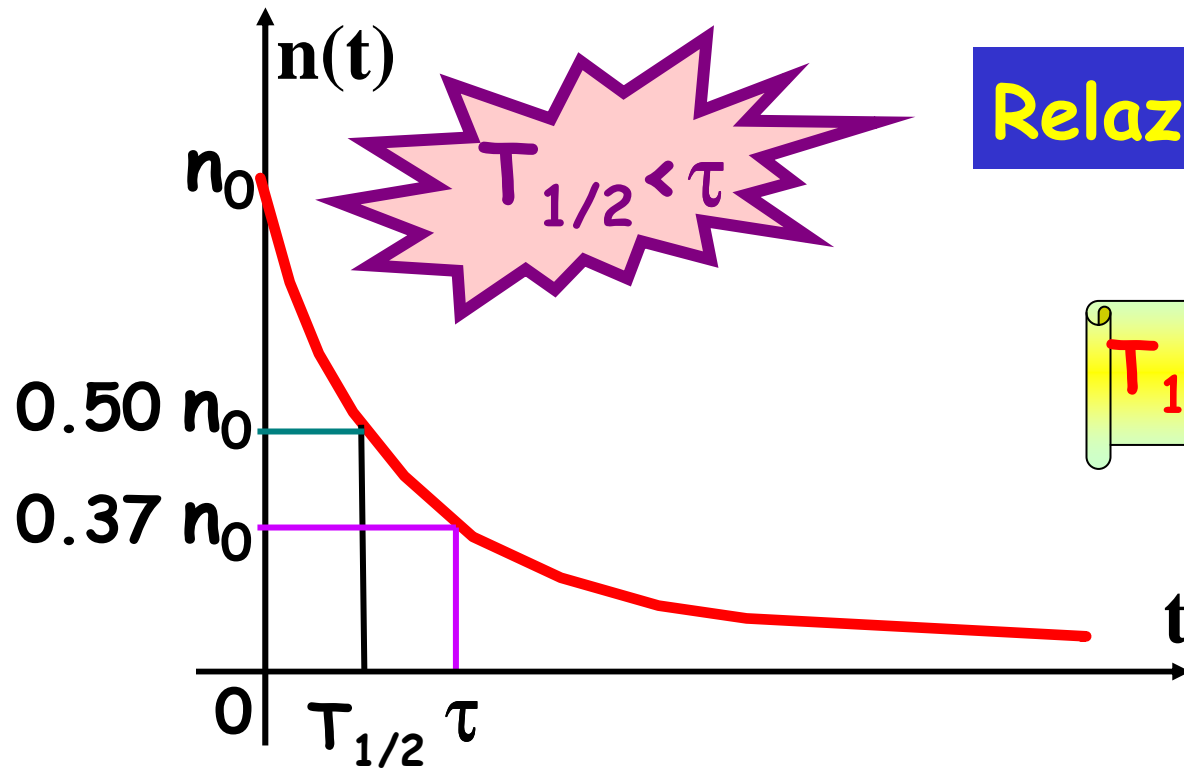
curie: attività di 1 g di radio
(decadimento α : $^{234}\text{Ra} \rightarrow ^{230}\text{Rn}$, $\tau = 1620$ anni)

1 Cu = $3.7 \cdot 10^{10}$ Bq

Tempo di dimezzamento fisico

Vita media τ = tempo dopo il quale rimangono il 37 % dei nuclei ($=1/e$)

Tempo di dimezzamento $T_{1/2}$ = tempo dopo il quale rimangono il 50 % dei nuclei



Relazione tra τ e $T_{1/2}$:

$$T_{1/2} = 0.693 \tau$$

Sostanze radioattive: stato fisico, preparazione e rischi

- Sostanze radioattive possono presentarsi in differenti stati fisici (solido, liquido o gassoso)
- Sostanze distinte in sigillate o non sigillate a secondo del loro utilizzo
- Sorgenti sigillate => chiuse in apposito contenitore non modificabile che comportano esclusivamente un rischio di esposizione esterna a radiazioni e non di contaminazione se non in particolari incidenti (Es.incendio)
- Sorgenti non sigillate => manipolabili (Es. liquide) che comportano anche rischio di contaminazione

Sostanze radioattive e Radioprotezione

- Contaminazione radioattiva => presenza di sostanze radioattive su materiali o tessuti umani (contatto o attivazione)
- Esposizione interna => esposizione a radiazioni degli organi interni umani a causa di sostanze radioattive introdotte per ingestione, inalazione o attraverso ferite
- Norme di Radioprotezione dedicate all'utilizzo di sostanze radioattive

Unità di misura in Radioprotezione

- Unità di misura relate sia alla dose assorbita dal tessuto, sia al tipo di radiazione incidente, sia all'organo/tessuto umano irradiato => D.Lgs. 230/95 .

Gray (Gy): nome speciale dell'unità di dose assorbita

- ✓ Un Gray equivale all'assorbimento di un Joule di energia da un chilogrammo di materia

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \times \text{kg}^{-1}$$

✓ fattori di conversione

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

DOSE Equivalente ed Efficace

- La DOSE ricevuta dipende da:
 - 1. l'entità dell'esposizione (intensità e tempo)
 - 2. il tipo di radiazione
 - 3. il tessuto irradiato
- DUE TIPI DI DOSE:
 - 1. se riferita a un solo organo (esposizione parziale) si chiama DOSE EQUIVALENTE (H)
 - 2. se riferita all'intero organismo (esposizione totale) si chiama DOSE EFFICACE (E)

Sievert (Sv): nome speciale dell'unità di dose equivalente o di dose efficace

- ✓ un Sv equivale all'assorbimento di un Joule di energia da un chilogrammo di materia se il prodotto dei fattori di modifica è uguale a 1:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J x kg}^{-1}$$

✓ fattori di conversione

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

Rifiuti radioattivi

- Rifiuti in cui sono presenti sostanze radioattive con definita concentrazione di attività (attività/massa \rightarrow Bq/g)
- Rifiuti con diverso stato fisico (Es. solido, liquido)
- Rifiuti ottenuti con diversi tipi di processi
- Differenziazione dei rifiuti in base alle caratteristiche delle sostanze radioattive presenti

Rifiuti radioattivi

Guida tecnica n.26 ENEA

- Classificazione dei rifiuti radioattivi in 3 categorie
 - “ Sono classificati in **prima categoria** i rifiuti radioattivi che richiedono tempi dell'ordine di mesi, sino ad un tempo massimo di alcuni anni, per decadere a concentrazioni di radioattività inferiori ai valori di cui ai commi b) e c) del punto 2 dell'art. 6 del D.M. 14 luglio 1970, e quelli contenenti radionuclidi a lungo periodo di dimezzamento purché in concentrazioni inferiori a tali valori. Questi rifiuti hanno **origine essenzialmente dagli impieghi medici e di ricerca scientifica**, dove i radionuclidi utilizzati (tranne alcuni casi specifici quali quelli del ^3H e del ^{14}C) sono caratterizzati da tempi di dimezzamento relativamente brevi (inferiori a 1 anno) e, nella maggior parte dei casi, inferiori ai 2 mesi.”

Rifiuti radioattivi

Guida tecnica n.26 ENEA

- Rifiuti in seconda categoria => tempi lunghi (decine o centinaia di anni) per raggiungere valori di concentrazioni di attività pari a centinaia di Bq/g
- Rifiuti in seconda categoria provenienti da particolari cicli di produzione degli impianti nucleari e soprattutto dalle centrali elettronucleari di potenza nonché da alcuni particolari impieghi medici, industriali e di ricerca scientifica.
- Rifiuti in terza categoria => tempi dell'ordine di migliaia di anni ed oltre per raggiungere concentrazioni di radioattività dell'ordine di alcune centinaia di Bq/g
- Rifiuti in terza categoria => massima pericolosità
- **Obiettivo generale => raggiungere valori di concentrazione di attività non alti con o senza trattamento**

Gestione dei rifiuti di prima categoria

- Raccolta differenziata a secondo della sostanza radioattiva, e , se non possibile, sono i rifiuti a tempo di dimezzamento più lungo che determinano la permanenza nel deposito
- I rifiuti devono essere conservati nel deposito in contenitori atti a garantirne il contenimento, anche tenendo conto dei processi di interazione chimico-fisica fra rifiuto e contenitore.
- Al fine di ridurre eventuali problemi di contaminazione del contenitore, nel caso di suo previsto riutilizzo, è opportuno che i rifiuti vengano raccolti in un ulteriore sistema di contenimento (ad es. sacchi di plastica).
- I livelli di irraggiamento esterno e di contaminazione superficiale, relativamente ai contenitori e al locale di deposito, devono essere conformi alla classificazione del locale e dei lavoratori (D.Lgs. 230/95).

Gestione dei rifiuti di prima categoria

- Sistema di registrazione di carico/scarico dei rifiuti con data di smaltimento, attività e/o concentrazioni con indicazioni precise sul contenitore
- Qualora sia previsto il trasporto di questi rifiuti devono altresì essere soddisfatti i requisiti posti dalla normativa relativa al trasporto di materie radioattive, sia per quel che riguarda le attività trasportate che i contenitori.
- Il locale da adibire al deposito dei contenitori deve essere tale da garantire:
 - a. la protezione dagli agenti meteorici e dall'allagamento;
 - b. una opportuna prevenzione e protezione contro l'incendio;
 - c. la non accessibilità da parte dei non addetti.

Rifiuti radioattivi - Smaltimento

- Ai sensi dell'art. 30 e 154 del DLgs n. 230/95 e relativo Allegato I detta pratica di smaltimento rifiuti viene considerata priva di rilevanza radiologica nel caso in cui i rifiuti contengano solo radionuclidi con **tempo di dimezzamento inferiore a 75 giorni e in concentrazione non superiore a 1 Bq/g.** (smaltimento in esenzione)
- **Tale condizione è ben adatta ai rifiuti ospedalieri**

Sostanze radioattive e Azienda Ospedaliera

- Autorizzazione alla detenzione ed utilizzo presso le SC di Medicina Nucleare e Radioterapia Oncologica
- Radioisotopi Tc99m, In111, Ga67, I131, I123, Tl201 (non più usato) utilizzabili solo per applicazioni di diagnostica scintigrafica medico-nucleare e per diagnostica e/o terapia medico-nucleare (I131)
- Radioisotopo I125 utilizzato solo in applicazione “in-vitro” nel laboratorio di Radioimmunologia
- Radioisotopo Ir192 utilizzato per trattamenti di Brachiterapia interstiziale ed endocavitaria in Radioterapia Oncologica (SORGENTE SIGILLATA)
- Radioisotopo Sr90 utilizzato come sorgente di calibrazione per strumentazione dosimetrica in Radioterapia (SORGENTE SIGILLATA)

Figure Professionali per gestione rifiuti radioattivi

- Tutto il personale della Medicina Nucleare (Medici, TSRM, Infermieri, Ausiliari)
- Personale del Servizio di Radioprotezione (TSRM, Infermiera)
- Struttura di Fisica Sanitaria (Specialista in Fisica Medica, Esperto Qualificato)
- Personale del Servizio di Igiene e Prevenzione

Sostanze radioattive e Rifiuti

Radioterapia

- Unico Rifiuto: Sorgente Ir192 γ -emittente sigillata solida di piccole dimensioni e agganciata ad un cavo portante necessario per la sua movimentazione che è azionata in via remota per motivi radioprotezionistici (attività iniziale 370 GBq o 10Ci) ed è detenuta in apposita “console” nel bunker di terapia
- La sorgente viene sostituita ogni 4-5 mesi poiché il tempo di dimezzamento (74g) ne necessita la sostituzione
- La sorgente dopo la sostituzione è inserita in apposito contenitore e trasportata da un vettore autorizzato verso la Ditta produttrice che è responsabile della sua gestione futura
- Norme di sicurezza radioprotezionistica ed emergenza dedicate

Sostanze radioattive e Medicina Nucleare

- Radioisotopi γ -emittenti non sigillate
- Radioisotopi per diagnostica in vivo aggregati a macromolecole in modo tale che la sostanza si fissi nell'organo bersaglio
- Manipolazione e preparazioni delle dosi di radiofarmaco effettuata in ambiente “dedicato” detto camera calda
- Immissione del radiofarmaco in vari modi
- Norme interne di radioprotezione dedicate compresa la gestione delle eventuali contaminazioni

RADIOFARMACO

La **Forma farmaceutica** finale può essere:

- **soluzione** , ad es Na I131
- **sospensione colloidale** (ad es 99mTc-solfuro colloidale) o **sospensione di particelle**
- **aerosol**
- **gas** (es. Xe 133)
- **gas in soluzione** (es Xe 188 in soluzione fisiologica)
- **capsule** (es di 131 I)

RADIOFARMACO

Presentazione commerciale:

- **pronti per l'uso**, quindi già presenti nella forma fisica e chimica utilizzabile direttamente
- **generatore**, l'utilizzatore otterrà il radiofarmaco o meglio il nuclide in forma ionica, eluendo il generatore stesso
- **kit inattivo**, di solito in forma liofila, l'utilizzatore dovrà provvedere alla marcatura della sostanza

RADIOFARMACO

Confezione:

- **flaconi (vial) tipo penicillina**
- **fiale di vetro** (di solito monodose)
- **siringhe** (di solito monodose)
- **ampolle** (di solito multidose)
- **capsule di gelatina con o senza supporto**
(di solito monodose)

**IONE
RADIOATTIVO**

(ad es. Na ^{131}I)

**RADIONUCLIDE DA
GENERATORE**

(ad es. $^{99\text{m}}\text{Tc O}_4^-$)

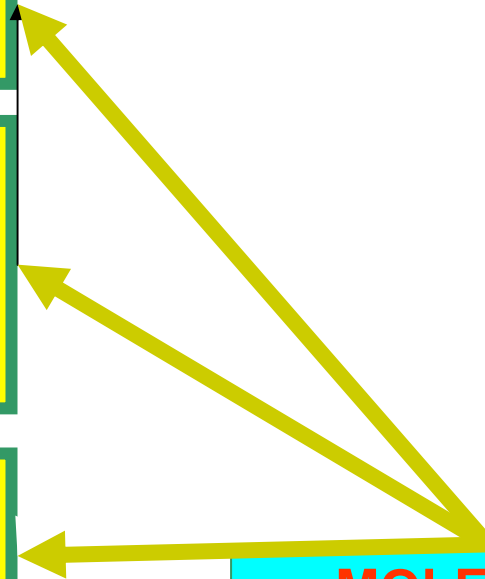
**UTILIZZO
DIRETTO**

**IMPIEGO PER
MARCARE
ALTRE
MOLECOLE**

**IMPIEGO PER
MARCATURE
CELLULARI**

**MOLECOLA
MARCATA già
pronta per l'uso**

(ad es. ^{123}I MIBG)



Sostanze radioattive e Medicina Nucleare

- Controlli su contaminazioni di aree o superfici con frequenza settimanale
- Controllo di contaminazione esterna, effettuato dal personale su se stesso con rivelatore mani-piedi, ed interna con analisi di campioni di urine

Sostanze radioattive e Rifiuti

Medicina Nucleare

- Il materiale utilizzato sia per la manipolazione e preparazione delle sostanze che per l'immissione nel paziente (siringhe, guanti, piccoli contenitori, "generatori" del tecnezio etc.) è inserito come rifiuto radioattivo in cestini dedicati piombati e tutto viene raccolto in contenitori detenuti nel deposito di stoccaggio dedicato classificato come "Zona Controllata";
- I rifiuti liquidi prodotti sia dalla diagnostica in vivo che in vitro finiscono in lavandini dedicati, i cui scarichi finiscono in vasche di decantazione a cascata, con sistema computerizzato di controllo della concentrazione di radioattività, che solo in caso di valori entro i limiti comanda lo scarico a fogna.

Sostanze radioattive e Rifiuti

Medicina Nucleare

- Bagno “caldo” per pazienti collegato al sistema di vasche già descritto
- Il paziente dopo l'immissione del tracciante elimina la sostanza per le vie canoniche /(Es. via urinaria) con un definito tempo di dimezzamenti biologico che dipende dal tipo di sostanza immessa e da altri parametri come la funzionalità renale (ES. Tc99m – DTPA 1.67 h – 16h a secondo della funzionalità renale)
- La combinazione del tempo di dimezzamento fisico e biologico determina il tempo di dimezzamento effettivo

Tempo di dimezzamento fisico, biologico, effettivo

← Tempo di dimezzamento **fisico** = T_f

In un organo o tessuto, la quantità di radioisotopo presente (es. inalato/ingerito) viene influenzata, oltre che dal decadimento radioattivo della sostanza, anche dal **metabolismo** dell'organo (escrezione, scambi liquidi/gassosi,...)

↳ Tempo di dimezzamento **biologico** = T_b

Tempo di dimezzamento **effettivo** = T_e
 $1/T_e = 1/T_f + 1/T_b \rightarrow T_e = (T_f \cdot T_b)/(T_f + T_b)$

Es. ^{131}I : $T_f = 8 \text{ gg}$, $T_b = 8 \text{ gg} \rightarrow T_e = 7.3 \text{ gg}$
 ^3H : $T_f = 12 \text{ anni}$, $T_b = 10 \text{ gg} \rightarrow T_e = 10 \text{ gg}$

Rifiuti radioattivi e pazienti

- Il rischio radioprotezionistico della gestione di un paziente iniettato è legato sia alla sua capacità di emettere radiazioni ma soprattutto alle sue capacità di eliminazione delle sostanze
- Condizione critica è legata ad un paziente incontinente dotato di “pannolone” per raccolta urine
- Nei pazienti ricoverati quest’ultimo va raccolto e inviato alla SC di Medicina Nucleare come rifiuto radioattivo
- Il paziente autosufficiente va comunque informato di urinare in posizione seduta a scopo precauzionale

Rifiuti radioattivi e pazienti:esempio

- Paziente ricoverato sottoposto a scintigrafia ossea con Tc99m (tempo di dimezzamento fisico 6h)
- In paziente normale seguire la procedura indicata per almeno 24h;
- In via precauzionale non eseguire visite mediche per 24h, salvo emergenze;
- Per paziente incontinente seguire la procedura di raccolta indicata per 48h
- Stesse regole per paziente ambulatoriale salvo che la procedura di raccolta implica anche una stoccaggio temporaneo per altre 24h prima di smaltimento come rifiuto urbano
- Se possibile, usare un materiale assorbente come copertura del WC

Rifiuti radioattivi e pazienti: consigli utili

- Seguire le norme dedicate all'esame specifico (Es. I131 per terapia 15mCi /555 MBq – paziente in casa per 5-6 giorni)
- Leggere norme fornite dai medici nucleari sia per pazienti ricoverati che ambulatoriali
- Assistenza normale al paziente (Es. cibo,acqua) senza rischi
- Anamnesi accurata dei pazienti ricoverati con domande sull'argomento e richiedere consulenza al Medico Nucleare se necessario
- Non utilizzare mai i contenitori per rifiuti urbani per presidi utilizzati dal paziente (Es, garze etc.)

Rifiuti radioattivi e procedure

- Procedure per lo smaltimento dei rifiuti redatte e disponibili presso il Servizio di Igiene e Prevenzione ed il Servizio di Radioprotezione
- Norme interne di radioprotezione pubblicate e presenti nelle Zone Controllate
- Elenco delle Ditte autorizzate alla gestione e definita periodicità di intervento
- Documento generale sulla radioprotezione in Ospedale disponibile presso i Servizi indicati

Conclusioni - 1

Table 23-13. Comparing the Risks: Radiation, Smoking, and Driving

Procedure	Dose	Chance of Death	Equivalent to	
			Number of Cigarettes Smoked	Number of Highway Miles Driven
	Bone Marrow	From Leukemia		
¹³¹ I treatments for thyrotoxicosis	15 rems	3×10^{-4}	2200	5357
Chest radiograph	10 mrems	2×10^{-7}	1.5	3.6
Skull examination	78 mrems	1.6×10^{-6}	11.4	28
Barium enema	875 mrems	17.5×10^{-6}	128	313
	Thyroid	From Thyroid Cancer		
Chest radiograph (AP)	11.9 mrems	12×10^{-7}	8.7	21
Skull examination (AP & lateral)	197 mrems	20×10^{-6}	144	352

100mrem=1mSv

Cosa accettiamo come rischio quantificato?

Conclusioni -2

- Gestione rifiuti radioattivi legata al rispetto accurato delle norme nelle procedure di lavoro
- Attenzione a tutto ciò che viene utilizzato durante i processi
- Attenzione alla fase di escrezione delle sostanze da parte del paziente
- Colloquio continuo dei reparti con Medicina Nucleare
- Dosi trascurabili da irradiazione esterna nel trasporto dei rifiuti e nella gestione dei pazienti
- Educazione civica nella gestione del paziente ambulatoriale