



APPUNTI DI PROTEZIONE DALLE RADIAZIONI IONIZZANTI

I presenti appunti sono una traccia per la formazione ed informazione dei lavoratori alla protezione dei rischi dalle radiazioni ionizzanti per le attività svolte ai LNS

DEFINIZIONI

RADIAZIONI: emissione e propagazione di energia attraverso lo spazio o la materia.

Il termine radiazioni viene utilizzato per descrivere fenomeni fisici apparentemente diversi fra loro, quali la luce e il calore, la radiazione elettromagnetica, la radiazione corpuscolare, la radiazione cosmica...

RADIAZIONI IONIZZANTI: ogni radiazione capace di produrre il fenomeno fisico della ionizzazione che consiste nel rendere un atomo elettricamente carico (ione). Nei tessuti biologici gli ioni possono dar luogo a fenomeni fisici o chimici che possono influenzare i normali processi biologici, portando a morte o modifiche delle cellule.

RADIOATTIVITÀ: Processo di trasformazione (decadimento) spontaneo di nuclei con emissione di radiazioni corpuscolari o elettromagnetiche

RADIOISOTOPI: isotopi radioattivi

Sono Isotopi quei nuclei aventi fra loro uguale numero di protoni (n° atomico Z) e differente numero di neutroni, quindi differente n° di massa (A). Gli isotopi dello stesso elemento hanno quindi identiche proprietà chimiche ma diverse caratteristiche fisiche.

SORGENTI RADIOATTIVE: Sostanze che contengono radioisotopi ed usate per scopi medici, industriali, di ricerca, ecc.

MACCHINE RADIOGENE: ogni dispositivo capace di produrre radiazioni ionizzanti, eccetto le sorgenti radioattive. (>30 keV; $5 \div 30$ keV se $H > 1 \mu\text{Svh}$ ad 10 cm)

RADIAZIONI CORPUSCOLARI

Radiazioni costituite da particelle o atomi: α , β , neutroni,

RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE

Radiazioni costituite da onde elettromagnetiche: raggi X, γ

RADIAZIONI DIRETTAMENTE IONIZZANTI:

Radiazioni corpuscolari elettricamente cariche che ionizzano direttamente la materia che attraversano: α , β

RADIAZIONI INDIRETTAMENTE IONIZZANTI:

Radiazioni corpuscolari elettricamente neutre o radiazioni elettromagnetiche che nell'interazione con la materia che attraversano producono dei secondari carichi i quali, a loro volta, ionizzano la materia: raggi X, γ , neutroni

radiazioni α = costituite da un atomo di elio (due neutroni e due protoni); sono poco penetranti (pochi micron in acqua o pochi cm in aria) e quindi ad alta ionizzazione specifica. Non superano lo strato morto della pelle e sono pericolose soltanto se i materiali α -emettitori sono introdotti nell'organismo. Radionuclidi: U-238, Po-210, Am-241, Ra-226, Rn-222 ...

radiazioni β = particelle leggere (elettroni o positroni) con penetrazione di pochi mm in acqua o pochi metri in aria. L'introduzione nel corpo di materiali β -emettitori può essere pericolosa ma molto meno di quella degli α -emettitori Radionuclidi: H-3, C-14, P-32, Sr-90, Tc 99, ...

radiazioni χ e γ = radiazioni elettromagnetiche, simili alla luce e alle onde radio, molto penetranti. Soltanto materiali ad alta densità quali il piombo sono in grado di fermarli. La pericolosità dei raggi χ e γ , specialmente nel caso di irraggiamento esterno, è strettamente connessa con l'elevata capacità di penetrazione che essi hanno nei vari materiali, tessuti viventi compresi. Radionuclidi: Cs-137, Co-60, I-121 ...

radiazioni neutroniche = sono particelle neutre (neutroni) molto penetranti, non ionizzano direttamente ma la loro interazione con la materia può generare particelle α , β , γ che a loro volta producono ionizzazione. Sono fermati da materiali leggeri quali acqua, paraffina, polietilene e calcestruzzo in spessori più o meno grandi. Radionuclidi: Cf-252, Am-Be ...

L' **energia** delle radiazioni ionizzanti si misura in Joule o, più comunemente e diffusamente, in elettronvolt (eV).

Un elettronvolt è l'energia che una carica elementare (protone o elettrone) acquisisce quando attraversa un campo elettrico con differenza di potenziale di 1 Volt.. Multipli sono il keV, il MeV, il GeV, etc.

L'energia ceduta dalle radiazioni ionizzanti al mezzo attraversato, cioè la **dose assorbita (D)**, si misura in gray (**Gy**), che equivale a 1 Joule/Kg

Per tener conto della diversa pericolosità delle radiazioni ionizzanti incidenti su tessuti viventi si introduce il **fattore di peso (o di ponderazione) della radiazione, W**. Pertanto il prodotto della dose assorbita D per il fattore di peso W prende il nome di **di dose equivalente (H)**, che si misura in **Sievert (Sv)** con i suoi sottomultipli (**μ Sv** e **mSv**), essa è la grandezza fondamentale per la dosimetria perché indica gli effetti biologici delle radiazioni.

Il Sievert è l'unità di misura che nel corso degli anni ha sostituito il Rem ($1\text{Sv}=100\text{Rem}$)

GRANDEZZE DOSIMETRICHE

Grandezze fisiche che hanno lo scopo di descrivere le varie fasi dei processi di trasferimento delle radiazioni alla materia

Esposizione: $X = dQ / dm$ [Roentgen] (Q = carica degli ioni prodotti dalle radiazioni nella materia)

Dose assorbita: $D = dE / dm$ [Gray] (E = energia ceduta dalle radiazioni alla materia)

Kerma: $K = dE_{tr} / dm$ (E_{tr} =energia cinetica delle particelle cariche prodotte da radiazioni indirett. Ionizzanti)

GRANDEZZE PROTEZIONISTICHE

Grandezze di radioprotezione che mettono in relazione la grandezza dosimetrica fondamentale (dose assorbita) con il rischio biologico delle radiazioni, introducendo dei fattori di conversione che tengono conto del danno.

Equivalente di dose: $H = Q D$ [Sievert]

Dose equivalente: $H_{T,R} = W_R D_{T,R}$ [Sievert]

Dose efficace: $E = \sum W_T H_T = \sum W_T \sum W_R D_{T,R}$ [Sievert]

H_T = dose equivalente nel tessuto o nell'organo T,

$D_{T,R}$ = dose assorbita media nel tessuto o nell'organo T,

W_T = fattore di ponderazione per l'organo o il tessuto T

W_R = fattore di ponderazione della radiazione

Q = fattore di qualità

Il fattore di peso è legato al tipo di radiazione incidente ed alla sua energia e alla diversa radiosensibilità dei vari organi e tessuti irradiati.

Il fattore che tiene conto del tipo di radiazione è W_R , i suoi valori sono i seguenti:

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**

Il fattore che tiene conto della ponderazione dei diversi organi o tessuti è W_T , i cui valori sono i seguenti:

Gonadi 0,20; Midollo osseo (rosso) 0,12; Colon 0,12; Polmone (vie respiratorie toraciche) 0,12; Stomaco 0,12; Vescica 0,05; Mammelle 0,05; Fegato 0,05; Esofago 0,05; Tiroide 0,05; Pelle 0,01; Superficie ossea 0,01; Rimanenti organi o tessuti 0,05. (la somma dei W_T di tutti gli organi del corpo è uguale a 1)

GRANDEZZE OPERATIVE

Grandezze di radioprotezione usate per la sorveglianza dell'esposizione esterna.

Esse sono definite in un fantoccio campione che simula il corpo umano (sfera ICRU) e considerate ad una determinata profondità (d)

Per la sorveglianza nelle aree di lavoro:

Equivalente di dose ambientale: $H^*(d)$

Per la sorveglianza Individuale dei lavoratori:

Equivalente di dose personale: $H_p(d)$

Per radiazioni fortemente penetranti, la profondità considerata è di 10 mm: $H_p(10)$.

Per radiazioni debolmente penetranti, la profondità è di 0.07 mm per la pelle $H_p(0.07)$ e di 3 mm per gli occhi $H_p(3)$

I principi generali su cui si basa la protezione sono:

GIUSTIFICAZIONE

(valutazione preventiva di rischi-benefici)

i vantaggi economici, sociali o altro, ricavati dalle attività devono essere giustificati rispetto ai rischi derivanti da esse

OTTIMIZZAZIONE

mantenere le esposizioni al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto di fattori economici e sociali

LIMITAZIONE

la somma delle dosi derivanti dalle attività non deve superare i limiti stabiliti

RISCHI DA RADIAZIONI

Esposizione esterna (irraggiamento)

totale (*al corpo intero*) quando tutte le parti del corpo sono esposte contemporaneamente ed omogeneamente ad un determinato campo di radiazioni.

parziale (*mani, piedi, occhi, ecc.*) quando sono esposte solo alcune parti del corpo

Esposizione interna (contaminazione) (organi critici)

inalazione (*vapori, gas, pulviscolo*)

ingestione (*materiali solidi o liquidi*)

ferite cutanee

assorbimento transcutaneo (*trizio, iodio, cesio*)

IODIO	→	TIROIDE
STRONZIO	→	OSSA
PLUTONIO	→	OSSA, FEGATO

caratteristiche fisiche del radionuclide
solubilità della sostanza introdotta
metabolismo nel corpo umano

Elementi fondamentali per la protezione dall'irraggiamento esterno

sono:

TEMPO: trascorrere meno tempo possibile vicino alla sorgente, in quanto il danno biologico è correlato con l'accumulo di dose

DISTANZA: aumentare il più possibile la distanza fra sorgente e personale, in quanto la dose di una sorgente puntiforme diminuisce con il quadrato della distanza

MEZZI DI PROTEZIONE: utilizzare i mezzi di protezione forniti (*pinzette, manipolatori, guanti, mascherine, schermature, dosimetri, ecc.*)

COMPORTAMENTO: seguire le istruzioni impartite (norme di

Elementi fondamentali per la protezione dalla **contaminazione** sono:

MEZZI DI PROTEZIONE: utilizzare i mezzi di protezione forniti

(guanti, camici, cuffie, mascherine, glove box, buste di contenimento, ecc.)

COMPORTAMENTO: seguire molto scrupolosamente le istruzioni di sicurezza (norme di radioprotezione)

(non bere, non fumare, non toccarsi durante il lavoro, prevenire gli incidenti organizzando preventivamente tutte le fasi della manipolazione, ecc)

VALUTAZIONI PER ESPOSIZIONI INTERNE

Nel caso di esposizioni interne derivanti da radionuclidi introdotti nel corpo umano viene usata la **Dose equivalente impegnata**.

Che consiste nell'integrale, rispetto ad un tempo di 50 anni, di dose equivalente che sarà ricevuta da un individuo a seguito dell'introduzione di uno o più radionuclidi.

In altre parole: è la dose accumulata nell'arco della vita da un individuo adulto (la cui aspettativa di vita si considera non inferiore a 50 anni dal momento dell'introduzione) in seguito all'introduzione nel suo organismo di un determinato radionuclide.

Essa si calcola moltiplicando l'attività introdotta per i coefficienti di dose impegnata dei singoli radionuclidi (tabulati in letteratura o nella legge).

Esistono coefficienti per introduzione da inalazione (per particelle di diverso spessore) e per introduzione da ingestione (per diverse forme chimiche dei composti introdotti).

Radioattività naturale terrestre: costituita dai principali radionuclidi primordiali, che sono il K-40, il Rb-87 e gli elementi delle serie radioattive dell'U-238, dell'U-235 e del Th-232. La concentrazione dei radionuclidi naturali nel suolo e nelle rocce varia fortemente da luogo a luogo in dipendenza della conformazione geologica delle diverse aree.

Radioattività naturale in aria: Nell'aria, la radiazione naturale è dovuta principalmente alla presenza di radon (Rn-222) e toron (Rn-220), cioè di gas (7,5 volte più pesanti dell'aria) appartenenti alle famiglie dell'uranio e del torio. Il contributo maggiore alla dose assorbita deriva dal radon e principalmente dalla sua inalazione in luoghi chiusi, esso può essere emanato dalle rocce, dai suoli e da materiali da costruzione di origine naturale.

Radioattività naturale nelle acque: le acque contengono una certa quantità di radioattività, dovuta sia alle piogge che trasportano le sostanze radioattive dell'aria, sia alle acque di drenaggio che convogliano nei bacini idrici sostanze radioattive presenti nelle rocce e nel suolo. Significativamente radioattive sono le acque calde solfuree negli impianti termali.

Radioattività naturale presente nel corpo umano: l'organismo delle persone adulte può ritenersi in equilibrio, tramite la dieta e gli scambi respiratori, con l'ambiente in cui sono presenti numerosi radionuclidi naturali quali:

- H-3, Be7, C-14, originati dall'interazione della radiazione cosmica con l'atmosfera terrestre;
- K-40, 87-Rb, La-138, presenti primordialmente nella litosfera;
- U-238, U-235, Th-232 e loro prodotti di decadimento.

Questi vengono introdotti nell'organismo degli individui in quantità variabile in relazione al luogo di residenza abituale ed alle particolarità della dieta alimentare da essi seguita.

Radiazione cosmica: costituita dai raggi cosmici (protoni, alfa, nuclei pesanti), che provengono, per la maggior parte, dal profondo spazio interstellare e sono costituiti principalmente da particelle cariche positivamente. C'è anche una componente solare che trae origine dalle esplosioni nucleari sul sole e consiste essenzialmente di protoni. L'interazione della radiazione cosmica con la materia produce un gran numero di radionuclidi detti cosmogenici, di questi le dosi più elevate le forniscono il C-14 e il H-3 che vengono introdotti nel corpo umano attraverso la catena alimentare.

Fondo dovuto alla radioattività artificiale: insieme di radionuclidi (Cs-137, ecc) rilasciati nel corso degli anni da attività umane, quali esplosioni nucleari, grandi incidenti e rilasci in ambiente.

Radioattività artificiale: si parla di radioattività artificiale solamente per distinguerla da quella naturale. Il fenomeno della radioattività può essere indotto artificialmente in nuclei stabili attraverso reazioni nucleari. Una reazione nucleare consiste nell'urto di una particella (in genere un protone, un neutrone, una particella o raggio α) con un atomo della materia: la particella incidente viene assorbita, l'atomo colpito passa in uno stadio eccitato o ionizzato ritornando in un tempo più o meno lungo allo stadio fondamentale emettendo "raggi" o particelle e cambiando in genere natura diventando radioattiva.

Macchine radiogene: apparecchi che accelerano particelle elementari cariche, che interagendo su opportuni bersagli producono i fasci di radiazione

tubi a raggi X,

acceleratori di particelle per applicazioni di ricerca scientifica, industriali e mediche

- elettrostatici: Cockcroft-Wolton, Van de Graaff (tandem)

- - lineari per elettroni, per protoni ecc.

- - ciclici: ciclotrone, betatrone, sincrotrone

Reattori di potenza: Il principale utilizzo è quello di sfruttare la reazione nucleare di fissione degli atomi di uranio allo scopo di produrre energia elettrica

Sorgenti radioattive: una classificazione delle sorgenti comunemente impiegate può essere fatta in relazione alla loro forma fisica e quindi in funzione del tipo di rischio che essi presentano. Per cui possiamo distinguere:

SORGENTI SIGILLATE: formate da materie radioattive solidamente incorporate in materie solide e di fatto inattive o incapsulate in un'involucro inattivo rigido (solitamente di acciaio o materiale plastico) che presentano una resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali di impiego, dispersione di materie radioattive (contaminazione).

Il tipo di capsula e le prove di robustezza che vengono fatte sulle singole sorgenti sono definite da norme standardizzate e dipendono dal radionuclide, dal tipo di sorgente e dallo scopo di impiego.

SORGENTI NON SIGILLATE: : formate da materie radioattive utilizzate nello stato fisico in cui si trovano (generalmente polveri, liquidi o gas) senza nessun incapsulamento e per le quali, quindi, non può essere esclusa la dispersione.

IMPIEGHI DEI RADIOISOTOPI (Sorgenti sigillate)

industria

Gammagrafia: si sfrutta il principio di maggiore o minore assorbimento delle radiazioni nel materiale da esaminare. Si effettuano misure di omogeneità o bontà dei materiali, ricerca di difetti nelle saldature o nelle fusioni di metalli, ecc.

radiometria: misure di livello, spessore, densità, umidità, rivelatori di fumo, gascromatografi, ecc.

irraggiamento: sterilizzazione biologica (prodotti medicali o derrate alimentari), “stimolazione” di semi, tuberi al fine di ottenere una più alta germinazione o resistenza alle avversità, ecc.

– *ricerca*

taratura strumenti, irraggiamento materiali, ecc.

medicina (impieghi terapeutici)

Teleterapia: “bombe” al cobalto e al cesio (Co-60, Cs-137)

terapia interstiziale ed endocavitaria: sorgenti sigillate sotto forma di pastiglie, aghi, fili, che vengono collocati su organi del paziente.

IMPIEGHI DEI RADIOISOTOPI (Sorgenti non sigillate)

agricoltura

fertilizzanti: controllo della ritenzione di fertilizzanti nelle piante (N-15, P-32)

Insetti: tecniche di sterilizzazione dei maschi

industria

nell'industria i radioisotopi sotto forma non sigillata si utilizzano sfruttando alcune proprietà:

induzione di luminescenza: emissione di luce da parte di composti che divengono luminescenti sotto l'azione delle radiazioni;

ionizzazione dei gas;

traccianti: aggiungendo piccole quantità di sostanze radioattive è possibile studiare processi chimici misurando indirettamente il comportamento della molecola “marcata” attraverso l'elemento radioattivo che la compone.

- ricerca

esperimenti con traccianti, radiochimica ecc.

- *medicina*

in medicina vengono usati radioisotopi sotto forma non sigillata marcando con atomi radiattivi alcune molecole o composti che hanno “affinità” verso particolari tessuti o organi sui quali si intende investigare aspetti della funzionalità o della conformazione (diagnostica), oppure sui quali si intende realizzare un effetto biologico da radiazioni (terapia). I radionuclidi devono avere le seguenti principali caratteristiche: basso tempo di dimezzamento, elevata purezza radiochimica, basso tempo di ritenzione della molecola marcata negli organi interessati, bassa probabilità che la stessa molecola si diffonda in altri organi.

Es. scintigrafia scheletrica, miocardica, renale, polmonare, tiroidea, ecc.

I radionuclidi più usati

diagnostica: Tc-99m, I-125, F-18 ecc.

Terapia: I-131, P-32, Ir-192, Sm-153, Tl-201, Cr-51, ecc.

IMPIEGHI DELLE MACCHINE RADIOGENE

Industria

Gammagrafia e radiografia: controllo dei bagagli aeroportuali, ecc,

Ricerca ...

Medicina

Diagnostica:

radiografie (tubi raggi X)

TAC (tomografia assiale computerizzata)

PET (tomografia ad emissione di positroni)

Terapia:

acceleratori di elettroni

acceleratori di adroni (protoni, carbonio, ecc.)

esperto qualificato:

persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari sia per effettuare misurazioni, esami, verifiche o valutazioni di carattere fisico, tecnico o radiotossicologico, sia per assicurare il corretto funzionamento dei dispositivi di protezione, sia per fornire tutte le altre indicazioni e formulare provvedimenti atti a garantire la sorveglianza fisica della protezione dei lavoratori e della popolazione. La sua qualificazione è riconosciuta secondo le procedure stabilite nel D.Lgs 230/95

sorveglianza fisica:

l'insieme dei dispositivi adottati, delle valutazioni, delle misure e degli esami effettuati, delle indicazioni fornite e dei provvedimenti formulati dall'esperto qualificato al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione;

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE:

Zona classificata: ambiente di lavoro sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti, si distinguono:

ZONA CONTROLLATA: ambiente in cui si verifica la potenzialità di superamento di 3/10 [30%] di uno dei limiti di dose fissati per i lavoratori esposti, l'accesso è segnalato e regolamentato.

ZONA SORVEGLIATA: ambiente in cui può essere superato in un anno solare uno dei pertinenti limiti di dose fissati per le persone del pubblico e che non è zona controllata, l'accesso è di norma solamente segnalato.

operativamente, per alcune zone controllate in cui vi è la potenzialità di superamento di uno dei limiti di dose per i lavoratori vi operano la permanenza viene limitata nel tempo e quindi vengono classificate delle **zone controllate a permanenza limitata** o addirittura **zone controllate ad accesso interdetto**.

Quando in un'area non sussiste il rischio di superamento dei limiti di dose fissati per le persone del pubblico, è classificata **Zona di libero accesso**.

CLASSIFICAZIONE DEI LAVORATORI:

lavoratori esposti: persone sottoposte, per l'attività che svolgono, a un'esposizione che può comportare dosi superiori ai pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico.

lavoratori esposti di categoria A: i lavoratori che, per il lavoro che svolgono, sono suscettibili di ricevere in un anno solare una dose superiore a uno dei pertinenti valori stabiliti dalla legge (3/10 [30%] di uno dei limiti massimi).

lavoratori esposti di categoria B: gli altri lavoratori esposti che non sono classificati in categoria A.

persone del pubblico: individui della popolazione, esclusi i lavoratori, gli apprendisti e gli studenti esposti

gruppi di riferimento (gruppi critici) della popolazione: gruppi la cui esposizione è ragionevolmente omogenea e rappresentativa di quella degli individui della popolazione maggiormente esposti, in relazione ad una determinata fonte di esposizione;

Limiti di dose per tutti i **Lavoratori Esposti**

D_A	<u>limiti primari</u>	$D > D_A$ Zona Controllata accesso regolamentato e limitato o interdetto
	ANNO	
DOSE EFFICACE (esposizione globale) - E	20 mSv	
DOSE EQUIVALENTE (esposizione parziale) - H	500 mSv	
DOSE EQUIVALENTE (cristallino) - H	150 mSv	

valori di dose per passaggio di classificazione dei LE da **categoria B** a **categoria A** ($>3/10 D_A$)

D_B	<u>valori primari</u>	$D \leq D_A$ $D > D_B$ Zona Controllata accesso regolamentato
	ANNO	
DOSE EFFICACE (esposizione globale) - E	6 mSv	
DOSE EQUIVALENTE (esposizione parziale) - H	150 mSv	
DOSE EQUIVALENTE (cristallino) - H	45 mSv	

Limiti di dose per **Lavoratori Non Esposti, Pubblico, LA, LDT**

D_P	<u>limiti primari</u>	$D \leq D_B$ $D > D_P$ Zona Sorvegliata
	ANNO	
DOSE EFFICACE (esposizione globale) - E	1 mSv	
DOSE EQUIVALENTE (esposizione parziale) - H	50 mSv	$D \leq D_P$ Zona libera
DOSE EQUIVALENTE (cristallino) - H	15 mSv	

compiti del SERVIZIO DI RADIOPROTEZIONE dei L.N.S.

- collabora con gli Esperti Qualificati per gli adempimenti e le attribuzioni relativi alla sorveglianza fisica della radioprotezione;
- gestisce e mantiene in efficienza i sistemi di sicurezza e controllo accessi per la radioprotezione del personale e di monitoraggio delle radiazioni ambientali;
- cura la dosimetria personale dei lavoratori esposti alle radiazioni ionizzanti;
- effettua le rilevazioni ambientali, verifica i livelli di attivazione dei materiali e misura le dosi al personale;
- assiste la direzione dei L.N.S. per gli adempimenti di legge connessi all'uso, acquisizione e trasporto di sorgenti radioattive e dispositivi radiogeni;
- custodisce le sorgenti radioattive dei L.N.S., ne cura la detenzione, la circolazione, l'acquisto ed il trasporto, nonché il rispetto delle norme e delle procedure di impiego sia all'interno che all'esterno dei L.N.S.;
- collabora, per quanto di competenza, con il Servizio di Prevenzione e Protezione

SISTEMA DI SICUREZZE PER LA RADIOPROTEZIONE

obiettivi fondamentali:

1. evitare al personale qualsiasi esposizione indebita;
2. ridurre al minimo il rischio di esposizione incidentale;
3. in caso di incidente, limitare le dosi alle persone coinvolte;
4. facilitare il controllo, del non superamento delle dosi individuali.

funzioni:

1. controllo permanente di tutti gli ingressi in ciascun'area e consenso di accesso solo al personale autorizzato;
2. evacuazione di ciascun'area, tramite un giro ronda cerca uomo, per la predisposizione all'invio del fascio;
3. disabilitazione di alcuni elementi di linea che impediscono l'invio del fascio in un'area non predisposta;
4. blocco immediato del fascio in caso di apertura accidentale di una porta o a causa di una emergenza;
5. computo e limitazione del tempo di permanenza nelle zone controllate per il personale autorizzato;
6. Segnalazione acustica e luminosa, locale e centrale, dello stato di funzionamento del sistema e degli allarmi.

SISTEMA DI SICUREZZE PER LA RADIOPROTEZIONE

MODALITA' OPERATIVE, Per ciascuna sala sono individuati tre stati

Ingresso libero: L'accesso è consentito senza limitazioni a tutti. Le serrature sono sbloccate e le porte possono essere aperte a spinta. All'esterno sono illuminate le scritte "INGRESSO LIBERO". Tutti gli altri elementi sono spenti ed il sistema non abilita l'accensione del fascio.

Ingresso controllato : L'accesso è consentito solo al personale autorizzato. Le porte sono bloccate dalle elettroserrature ed alcune possono essere aperte solo se è presentata davanti ad un lettore una scheda personale abilitata, viene così registrato l'ingresso e l'uscita di ciascun lavoratore ed il relativo tempo di permanenza. L'apertura accidentale (manuale) di una porta genera allarme. Per inserire questo stato è necessario evacuare la sala ed eseguire preliminarmente una ronda cerca uomo. All'esterno di ogni porta è illuminata la scritta "INGRESSO CONTROLLATO". In assenza di allarme il sistema abilita l'invio del fascio nelle sale adiacenti, ma non nella stessa sala.

Ingresso vietato: L'accesso è interdetto a tutti e la presentazione di una scheda non apre le porte, che sono bloccate dalle elettroserrature e la loro eventuale apertura accidentale (manuale) genera sempre allarme. All'interno sono accese le luci gialle rotative; i pulsanti di emergenza sono abilitati ed una pressione su di essi genera allarme; all'esterno di ogni porta è illuminata la scritta "INGRESSO VIETATO". Il sistema abilita l'invio del fascio nella sala.

STATO DI ALLARME

Lo stato di allarme toglie tutte le abilitazioni al fascio e rimane attivo fino a quando non sono state rimosse le cause che lo hanno generato (porta richiusa, pulsante di emergenza ripristinato, ecc.) ed è stato rifatto un nuovo giro di ronda.

Esso è segnalato con dei lampeggiatori e sirene locali e segnalazioni acustiche e luminose in sala controllo e sui computer. Le segnalazioni acustiche si resettano quando l'operatore esegue un reset, il quale agisce solo se le cause sono state rimosse, mentre quelle luminose cessano automaticamente solo quando cessa lo stato di allarme, cioè dopo la riesecuzione della ronda.

Tutti i passaggi fra i diversi stati operativi possono essere eseguiti solo da operatori autorizzati dotati di password personale di accesso ai computer.

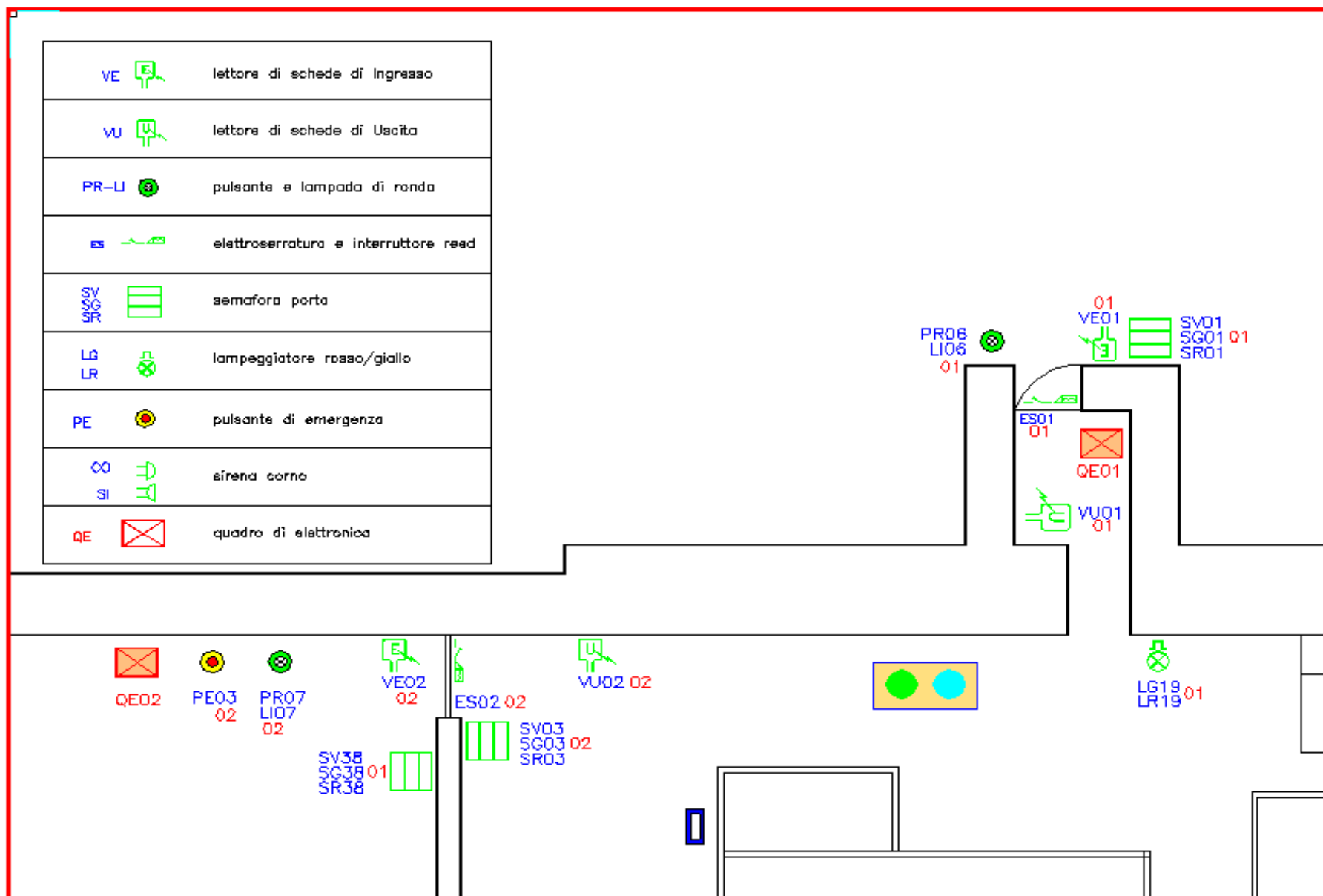
SISTEMA DI SICUREZZE PER LA RADIOPROTEZIONE

FASI DI RONDA

1. L'operazione di avvio viene richiesta da consolle, coperta da password personale;
2. All'avvio parte una segnalazione acustica locale di evacuazione ed si accendono le lampade di ingresso vietato;
3. Successivamente un'operatore di turno ispeziona visivamente la sala interessata percorrendo tutto il perimetro e premendo dei pulsanti nella giusta sequenza e nel tempo prestabilito. Durante il giro le porte vengono bloccate per impedire ulteriori accessi.
4. A ronda conclusa correttamente viene inserito automaticamente lo stato richiesto e generato un segnale di abilitazione.
5. Se la ronda non viene conclusa correttamente il sistema ritorna allo stato in cui si trovava precedentemente

COSTITUZIONE DEL SISTEMA DI SICUREZZE ED ELEMENTI FONDAMENTALI:

- sistema di supervisione composto da una rete riservata di computer su cui sono installati dei programmi dedicati che consentono di eseguire le principali operazioni solo se in possesso delle password di accesso;
- elettronica di sala che gestisce singolarmente le sicurezze di ciascuna area o di aree adiacenti aventi le sicurezze in comune;
- pannello sinottico per visualizzare in sala controllo tutti gli stati delle sicurezze;
- dispositivi e sensori di campo:
 - lettori di schede, che consentono l'accesso solo a chi ha una scheda abilitata;
 - elettroserrature che consentono l'apertura esterna delle porte solo dopo la presentazione di scheda magnetica ed impediscono l'apertura accidentale;
 - sensori reed o fine corsa per rilevare l'apertura di ciascuna porta;
 - pulsanti di ronda, dislocati lungo tutto il perimetro delle aree, che obbligano gli operatori che devono evacuare l'area a visionare tutti i luoghi accessibili;
 - pulsanti di emergenza a ripristino manuale che, se premuti dopo l'avviamento dell'impianto, bloccano immediatamente il fascio e generano allarme;
 - lampeggiatori e sirene che segnalano lo stato operativo delle aree e gli allarmi;
 - semafori luminosi con scritte di diverso colore posti davanti a ciascuna porta che segnalano lo stato operativo della sala.



SISTEMI DI MONITORAGGIO DELLE RADIAZIONI AMBIENTALI

sistema fisso

Rete di monitoraggio con delle stazioni fisse dislocate in quasi tutti i locali occupati dal personale

funzioni:

- Rivelare le radiazioni ambientali misurando i livelli delle grandezze che indicano il rischio biologico associato alla loro esposizione (rateo di dose equivalente [Sv/h]).
- visualizzare in un ambiente permanentemente occupato (sala controllo) i valori misurati
- confrontare i valori misurati con dei livelli di allarme preimpostati e segnalare otticamente ed acusticamente il superamento degli stessi.
- registrare, ad intervalli prestabiliti, i valori misurati nell'arco delle 24 ore e consentire sia la loro visualizzazione con grafici e tabelle che l'esecuzione di calcoli matematici (calcolo dell'accumulo di dose nel tempo).

Sistemi portatili

insieme di monitori portatili, ciascuno con caratteristiche diverse, capaci di rivelare differenti tipi di radiazioni (α , β , χ , γ , neutroni) a varie energie ed adattabili a differenti situazioni operative (misure ambiente, su superfici, misure a distanza o a contatto, ecc): geiger mueller, camere a ionizzazione, contatori proporzionali, Scintillatori, ecc.

Sistemi di dosimetria personale

rivelatori portatili di piccole dimensioni (tascabili) per il corpo intero o per le estremità.

Sistemi di spettrometria gamma, beta, neutroni, raggi X

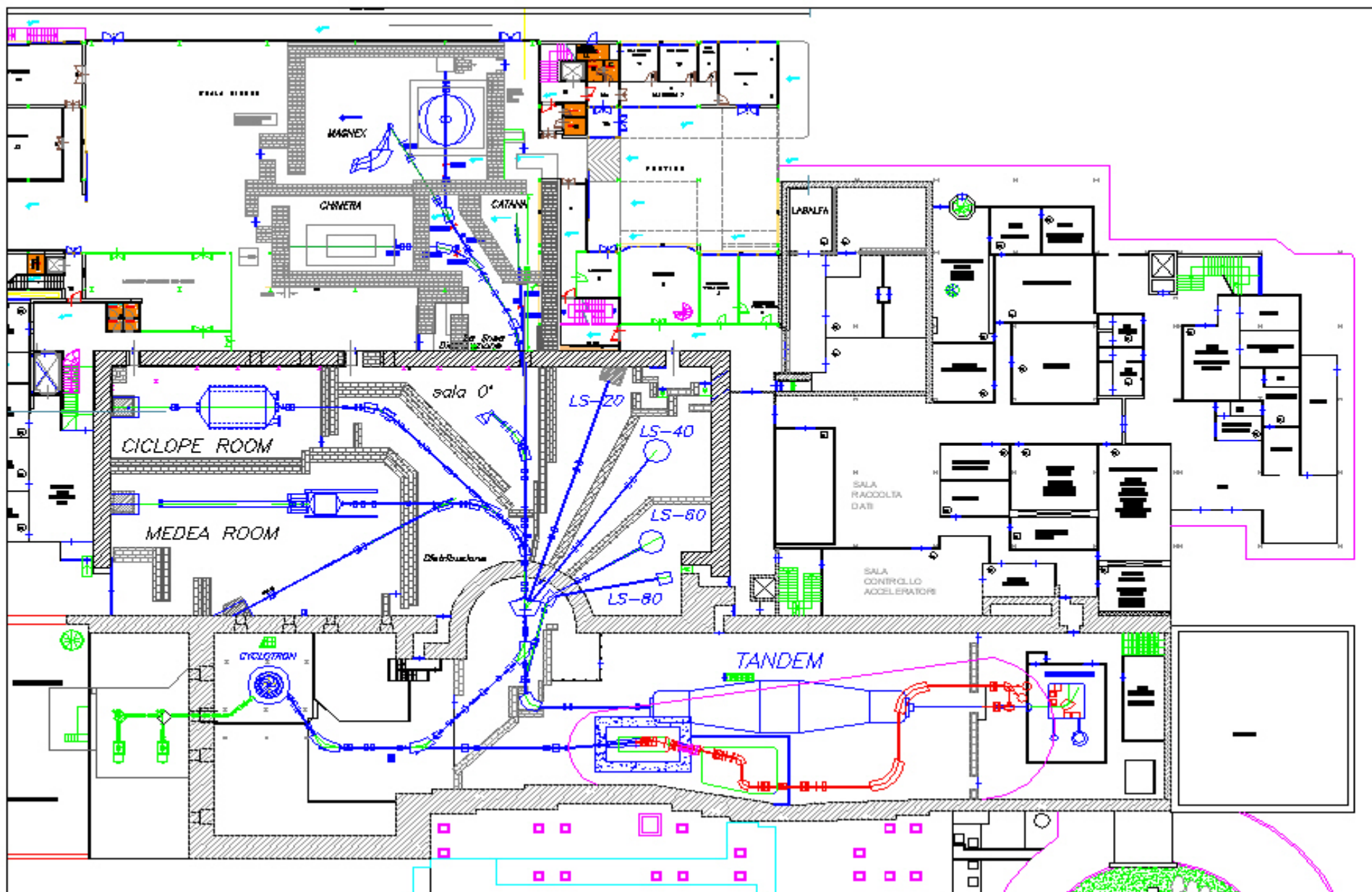
rivelatori per misure ad elevata sensibilità per misure di spettri ed individuazione di radionuclidi

Sistemi per misure di contaminazione

rivelatori fissi o portatili per misure di contaminazione mani/piedi, vestiti, superfici

Sorgenti di radiazioni ionizzanti ai L.N.S.

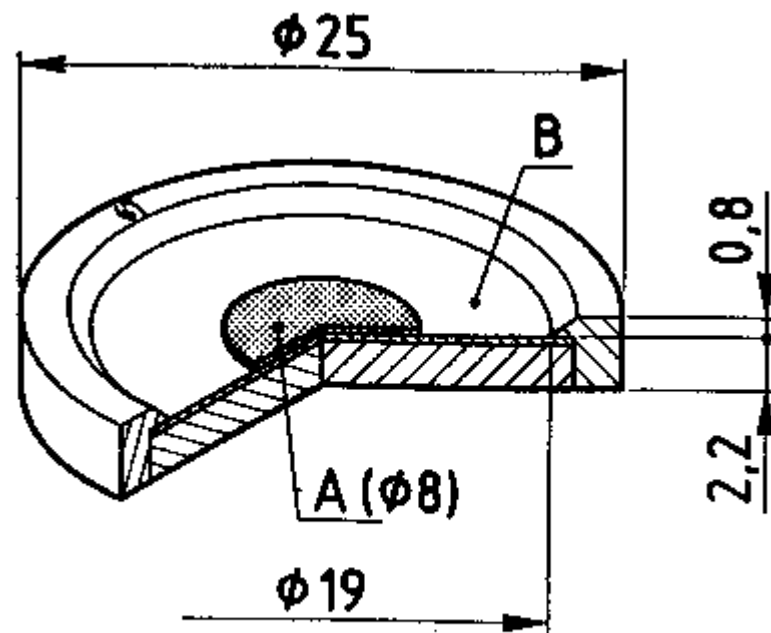
- ACCELERATORI
(neutroni e radiazioni gamma)
- LINEE DI TRASPORTO DEL FASCIO ED APPARATI SPERIMENTALI
(neutroni e radiazioni gamma)
- APPARECCHIATURE SOTTOPOSTE AD ALTE TENSIONI
(radiazioni X)
- BERSAGLI ATTIVATI
(radiazioni beta e gamma)
- SORGENTI E MATERIE RADIOATTIVE
(radiazioni alfa, beta, gamma, neutroni)
- TUBI A RAGGI X
(radiazioni X)



Sorgenti α

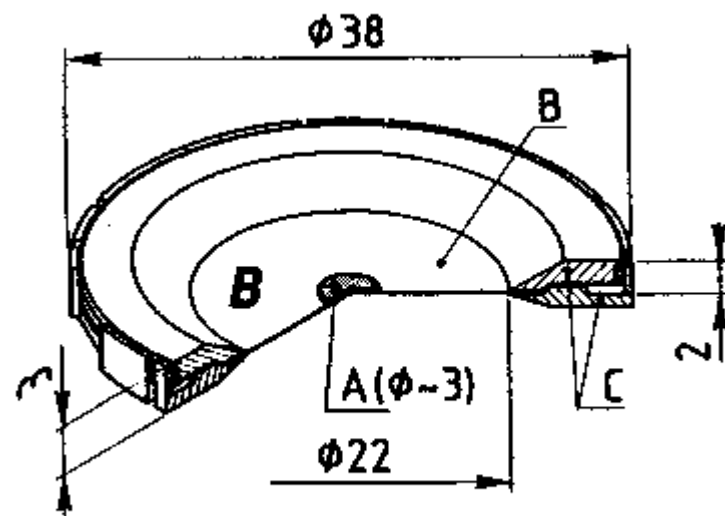
Le radiazioni α sono poco penetranti e quindi il materiale attivo deve essere poco schermato dall'involucro o addirittura con una parte che sia a diretto contatto con l'esterno. Generalmente esse sono a forma di disco con il materiale attivo elettrodepositato su di una superficie di acciaio.

Alcune sono ricoperte da un sottilissimo strato di materiale inattivo: mylar, kapton, nichel, oro, argento, ecc...



Sorgenti β

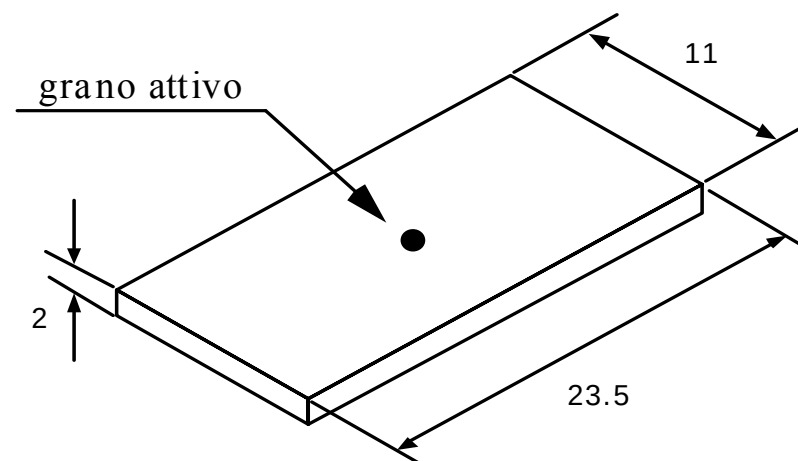
Anche queste sorgenti, essendo le radiazioni poco penetranti, hanno una finestra sottile da cui fuoriescono le radiazioni. Il materiale radioattivo è quasi sempre ricoperto da un sottile strato inattivo. Spesso il radionuclide è contenuto fra due fogli sottili per permettere la rivelazione delle radiazioni a 180° .



Sorgenti γ

le radiazioni γ sono molto penetranti e quindi il materiale attivo può essere racchiuso in capsule di plastica o di acciaio le cui caratteristiche dipendono dall'attività della sorgente e dalle condizioni operative a cui essa sarà sottoposta durante l'impiego.

Es. 1: il materiale attivo è assorbito in un grano di diametro di circa 1 mm, incorporato in una capsula di plastica trasparente. Il grano è visibile e posizionato al centro della capsula.



NORMATIVA DI RADIOPROTEZIONE

- **Raccomandazioni Internazionali** (ICRP , ICRU)
- **Legislazione internazionale**
- (direttive CEE: EURATOM 80/836, 84/467, 92/3, 96/29, ecc.)
- **Legislazione italiana**
- Leggi nazionali e regionali, sentenze della corte costituzionale e di cassazione (D.Lgs. 230/95 e s.m.i., legge 1860/62,, ecc.)
- **Circolari Ministeriali**
- **Regolamentazione tecnica emanata dagli organismi di vigilanza** (guide tecniche ANPA, SSN, ecc.) relativi ad impiego, detenzione, trasporto ecc, (Ministeri competenti: Attività Produttive, Salute, Lavoro, Interno, Trasporti, Ambiente, ecc.)
- **Norme costruttive e di buona tecnica** (norme UNI, CEI, ISO)
- **Rapporti e pubblicazioni Internazionali** (organismi internazionali: NCRP , IAEA, UNSCEAR, ecc.)
- Autorizzazioni di singoli impianti con prescrizioni operative (autorità competenti)
- Norme interne (datore di lavoro, E.Q.)

Legislazione Italiana

Tutte le attività che comportano un rischio significativo derivante dalle radiazioni ionizzanti emesse sia da materie radioattive che da macchine radiogene sono regolate dalle leggi, e in particolare:

produzione, importazione, esportazione, manipolazione, trattamento, impiego, commercio, detenzione, deposito, trasporto, cessazione alla detenzione, comprese le attività minerarie e le esposizioni a sorgenti naturali.

Il primo testo normativo che ha introdotto in Italia una disciplina dell'impiego pacifico dell'energia nucleare è la **legge 31/12/1962 n.1860**, rivolta essenzialmente agli **impieghi industriali e scientifici**. Essa è stata modificata e completata da ulteriori decreti, è tuttora in vigore e costituisce un importante provvedimento nelle attività nucleari in Italia.

La legge quadro attualmente in vigore in Italia per la protezione e l'impiego delle radiazioni ionizzanti è il

DECRETO LEGISLATIVO 17 Marzo 1995, n° 230

con successive modifiche ed integrazioni

Emanata in Attuazione delle direttive 89/618/Euratom,
90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom

Art. 61 Obblighi dei datori di lavoro, dirigenti e preposti.

- *prima dell'inizio delle attività, acquisire dall'esperto qualificato la relazione di radioprotezione fornendogli dati e planimetrie*
- *individuare, delimitare, segnalare, classificare le zone a rischio e regolamentare l'accesso, come indicato dall'esperto qualificato*
- *provvedere per classificare i lavoratori*
- *predisporre norme interne adeguate al rischio e curare che siano consultabili dai lavoratori*
- *nomina addetti all'emergenza e PS*
- *fornire i dosimetri e i mezzi di protezione*
- *in relazione alle loro mansioni, rendere edotti i lavoratori su: rischi, norme, prescrizioni mediche, modalità di esecuzione del lavoro*
- *provvedere affinché si osservino le norme*
- *apporre segnalazioni sul tipo di zona ed i rischi e siano indicate, mediante contrassegni, le sorgenti*
- *fornire al lavoratore i risultati delle valutazioni di dose (documentazione disponibile)*
- *comunicare tempestivamente la cessazione del lavoro degli esposti*

Art. 68 Obblighi dei lavoratori

Il lavoratore *si prende cura* della sicurezza *propria* e di *altre* persone, ed in particolare:

- ⇒ ***osserva le disposizioni, a seconda mansioni***
- ⇒ ***usa, secondo le istruzioni, i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di dosimetria***
- ⇒ ***segnala immediatamente le deficienze dei dispositivi e le condizioni di pericolo***
- ⇒ ***non rimuove né modifica, senza autorizzazione, i dispositivi e i mezzi di protezione e di misurazione***
- ⇒ ***non compie manovre non di competenza o che compromettono la protezione e la sicurezza***
- ⇒ ***si sottopone alla sorveglianza medica***
- ⇒ ***Informa ciascun DdL su attività svolte presso altri***
- ⇒ ***trasmette su richiesta le dosi ricevute***

Art. 69 Disposizioni particolari per le donne lavoratrici.

1. Ferma restando l'applicazione delle norme speciali concernenti la tutela delle lavoratrici madri, *le donne gestanti non possono svolgere attività in zone classificate o, comunque, attività che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda un millisievert durante il periodo della gravidanza.*

2. È fatto obbligo alle lavoratrici di notificare al datore di lavoro il proprio stato di gestazione, non appena accertato.

3. È altresì vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti un rischio di contaminazione.