

Macchine radiogene

Le macchine radiogene sono apparecchiature in grado di produrre ed emettere radiazioni ionizzanti, tipicamente raggi X.

Analogamente ad una lampadina che emette luce solamente quando è accesa, le macchine radiogene emettono radiazioni solo quando sono in funzione.

In campo medico queste macchine hanno trovato innumerevoli applicazioni, sia in ambito diagnostico sia in ambito terapeutico. Alcuni esempi di macchine radiogene sono presentati di seguito.



Apparecchio Telecomandato per radiografia

È l'apparecchio radiologico più utilizzato per effettuare radiografie e si trova nei reparti di diagnostica per immagini (Radiologia).



Tomografo Computerizzato (TC)

Si trova solitamente nei reparti di diagnostica per immagini. Serve per acquisire immagini dell'anatomia del paziente.



Apparecchio per
procedure interventistiche

È impiegato durante le
procedure interventistiche in sala
operatoria.



Apparecchio portatile
per radiografia

È impiegato ad esempio
per effettuare le radiografie di
pazienti allettati che non possono
essere spostati. Per questo motivo
si può trovare in vari ambienti e
reparti.



Mammografo

È impiegato per eseguire
le mammografie. Si può trovare
nei reparti di Radiologia e
Senologia.



Acceleratore lineare di particelle (linac)

Produce intensi fasci di radiazione che vengono impiegati a scopo terapeutico. Si trova nei reparti di Radioterapia

Doveri del lavoratore

Ai sensi del D.Lgs. 230/95, i lavoratori che svolgono un'attività che li espone al rischio da radiazioni ionizzanti sono tenuti a:

- osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro o dai suoi incaricati, ai fini della protezione individuale e collettiva e della sicurezza, a seconda delle mansioni alle quali sono addetti
- prendere visione delle norme interne di radioprotezione disponibili negli ambienti di lavoro e attenersi a quanto contenuto
- usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal datore di lavoro
- segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le deficienze dei dispositivi e dei mezzi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché le eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza
- non rimuovere né modificare, senza averne ottenuto l'autorizzazione, i dispositivi, e gli altri mezzi di sicurezza, di segnalazione, di protezione e di misurazione
- non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possano compromettere la protezione e la sicurezza.

Per quanto riguarda le lavoratrici, è previsto che le donne in gravidanza non possano svolgere attività che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda 1 mSv durante il periodo della gravidanza. È inoltre vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti un rischio di contaminazione.

Radioprotezione in Radiologia diagnostica e interventistica

Le apparecchiature radiologiche utilizzano i raggi X per ottenere immagini anatomiche del paziente e sono impiegate in molteplici applicazioni:

- in Radiodiagnostica per acquisire informazioni utili a formulare una diagnosi, come in radiologia convenzionale, mammografia, Tomografia Computerizzata (TC), radiologia dentale, Mineralometria Ossea Computerizzata (MOC), fluoroscopia;
- nelle pratiche interventistiche, come supporto in particolari attività chirurgiche quali la chirurgia cardiovascolare, la neurochirurgia, la chirurgia ortopedica.

Nelle attività connesse con l'uso di apparecchiature radiologiche è presente solo il pericolo di irraggiamento.

La maggior parte delle apparecchiature radiologiche è installata all'interno di sale opportunamente schermate. Per alcune necessità si possono impiegare apparecchiature portatili, ad esempio per l'esecuzione di esami a letto del paziente. In genere sono presenti negli ospedali diversi tipi di apparecchiature, anche molto diverse tra loro (Figura 8), appositamente concepite per la tipologia di indagine da svolgere.



Figura 8. Esempi di apparecchiature radiologiche anche molto diverse tra loro.

Tutte queste apparecchiature hanno in comune il fatto che esse contengono al loro interno un apparecchio generatore di raggi X (il tubo a raggi X) che deve essere contrassegnato da apposita segnaletica di pericolo irraggiamento. Tale segnaletica si trova anche in corrispondenza degli accessi alle zone classificate (Figura 9).

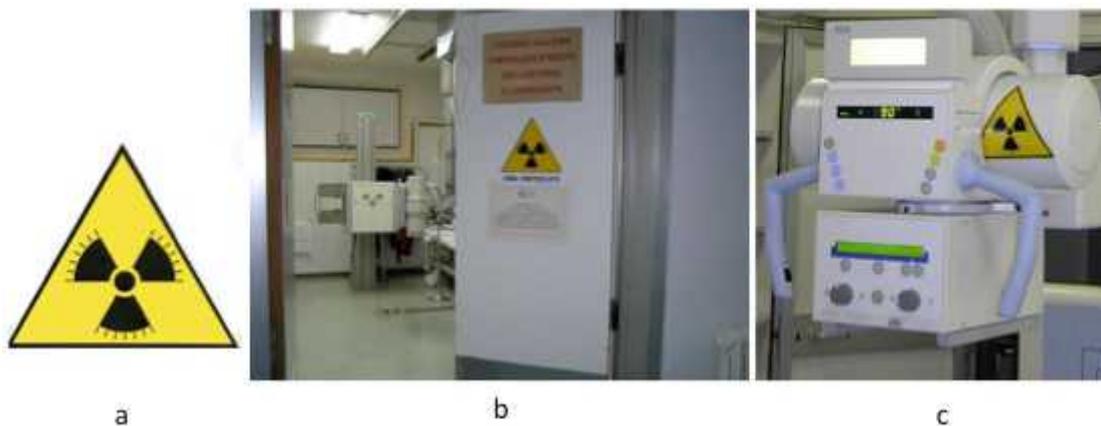


Figura 9. Il segnale di pericolo di irraggiamento (a) che contrassegna gli accessi alle zone classificate (b) e le sorgenti radiogene (c).

Tralasciando il principio di funzionamento del tubo a raggi X, si sottolinea tuttavia che questo emette raggi X soltanto quando è acceso e successivamente attivato dall'operatore. Quando l'apparecchio è spento non sono presenti radiazioni e l'accesso alla sala radiografica è del tutto sicuro.

Per informare se il tubo radiogeno è in funzione o meno è installata una segnaletica luminosa di avvertimento al di fuori delle sale radiografiche, in aggiunta al contrassegno di pericolo di irraggiamento (Figura 10). Tali luci indicano lo stato di funzionamento dell'apparecchiatura radiologica.

Impianto pronto all'emissione. Di solito una luce di colore bianco segnala che la attrezzatura radiologica è accesa e quindi che è pronta in qualunque momento ad emettere i raggi. Prima di accedere alla sala occorre bussare e attendere l'autorizzazione.

Emissione raggi. Una luce, di solito rossa, segnala il momento in cui l'apparecchio emette i raggi X. In questo caso è vietato entrare nella sala.



Figura 10. Segnaletica luminosa di avvertimento posta all'esterno delle sale radiologiche per segnalare lo stato di funzionamento dell'apparecchio.

Durante l'emissione raggi (luce rossa accesa) è vietato entrare nella sala.

Quando le luci sono entrambe spente, significa che l'apparecchio radiologico non è acceso e non vi è dunque in nessun modo pericolo di emissione di raggi X. In caso di dubbio o se si necessita di ulteriori informazioni è comunque opportuno rivolgersi al personale del reparto.

Fonti di Rischio

Durante il funzionamento delle apparecchiature che producono raggi X, all'interno della sala radiologica sono presenti tre fonti di rischio radiologico che, in ordine di importanza, sono:

1. fascio primario: si intende la radiazione che esce dal tubo radiogeno nella direzione del paziente. Si tratta della fonte di rischio più significativa
2. radiazione diffusa dai pazienti e dalle barriere o altri oggetti: è la radiazione che si origina dall'interazione del fascio primario con il paziente o con gli altri eventuali oggetti interessati dall'irraggiamento (comprese le pareti). Ha un'intensità che è circa mille volte inferiore rispetto a quella del fascio primario. Tuttavia, a differenza del fascio primario che è strettamente direzionale, la radiazione diffusa si propaga in tutte le direzioni a partire dal paziente. Si tratta della fonte di rischio più rilevante se si ha la necessità di stazionare in prossimità del paziente durante l'erogazione dei raggi. La

sua intensità diminuisce all'aumentare della distanza dal paziente e l'esposizione si verifica solamente nel momento in cui avviene l'irraggiamento. A titolo di informazione si sottolinea come la dose dovuta alla radiazione diffusa durante una singola procedura di radiodiagnostica è tale da non comportare in alcun modo il superamento dei limiti di dose per la popolazione

3. radiazione di fuga: è la radiazione che fuoriesce dal tubo nelle direzioni diverse da quella del fascio primario. Il suo contributo è in genere trascurabile ai fini radioprotezionistici.



Figura 11. Schematizzazione della radiazione primaria, diffusa e di fuga generate durante il funzionamento di un tubo radiogeno

Come comportarsi

Negli ambienti contrassegnati da apposita segnaletica triangolare di pericolo radiazioni è obbligatorio osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro, dal dirigente o dal preposto ai fini della radioprotezione come, ad esempio, visionare le norme interne di radioprotezione, attenendosi a quanto riportato.

In generale il lavoratore è tenuto, se richiestogli dal preposto, a :

- non entrare di propria iniziativa nei locali contrassegnati dalla apposita segnaletica triangolare di pericolo

- prestare attenzione alla segnaletica luminosa di avvertimento e prendere visione delle norme interne di radioprotezione in caso di accesso in zona controllata, attenendosi a quanto riportato
- non intervenire di propria iniziativa sulle apparecchiature (anche solo per spostarle o movimentarle)
- impiegare i dispositivi di protezione individuale per la radioprotezione che sono forniti in relazione alla mansione che si deve svolgere

utilizzare il dosimetro personale (se assegnato) nel rispetto delle disposizioni relative al suo impiego.

Radioprotezione in Medicina Nucleare

Nella Medicina Nucleare si utilizzano sorgenti radioattive non sigillate a scopo diagnostico e terapeutico (Radioterapia metabolica). Tali sorgenti vengono somministrate al paziente, per via endovenosa o orale, in opportune preparazioni medicinali, propriamente chiamate radiofarmaci. Tali radiofarmaci sono tali da concentrarsi principalmente nell'organo o nel tessuto da esaminare/trattare.

Nel caso delle procedure diagnostiche, come le scintigrafie planari o tomografiche e gli esami PET (Tomografia ad Emissione di Positroni) si determina con opportuni rivelatori (la gamma camera, il tomografo PET) la distribuzione del radiofarmaco all'interno del paziente in base alla radiazione gamma uscente da esso. In questo modo è possibile ricostruire immagini che contengono l'informazione circa le funzioni biochimiche e metaboliche oggetto dell'indagine.

Nelle applicazioni terapeutiche di Medicina Nucleare, come il trattamento di tumori, si utilizzano radionuclidi capaci di rilasciare la maggior parte dell'energia emessa al momento del loro decadimento nei tessuti ove i radiofarmaci che li trasportano si concentrano selettivamente, così da agire direttamente e selettivamente sull'organo bersaglio. I trattamenti di Radioterapia metabolica vengono effettuati prevalentemente in stanze dedicate ad accesso controllato e regolamentato.

Una peculiarità delle apparecchiature che si trovano nei locali della Medicina Nucleare rispetto a quelle impiegate nelle attività di Radiodiagnostica e di Radioterapia con fasci esterni è che queste non emettono nessuna radiazione, ma sono soltanto dei rivelatori passivi: le radiazioni sono emesse dal paziente al quale è stato somministrato il

radiofarmaco (Figura 11). Questo vale sempre ad eccezione dell'apparecchiatura per PET/CT, la quale contiene al suo interno anche un tubo radiogeno.



Figura 11. In Medicina Nucleare non sono le apparecchiature eventualmente presenti (ad eccezione della PET/CT) ad emettere radiazioni ma il paziente al quale è stato somministrato il radio farmaco

Fonti di rischio

Le fonti di rischio in Medicina Nucleare sono legate sia all'irradiazione esterna, sia all'irradiazione interna e alla contaminazione. Tutte le zone in cui vi sia rischio di irradiazione esterna e di contaminazione sono classificate e contrassegnate, in corrispondenza degli accessi, mediante apposita segnaletica triangolare di pericolo irraggiamento e contaminazione. Analoga segnaletica è posizionata in corrispondenza dei contenitori schermati delle sorgenti radioattive, nonché di quelli per la raccolta dei rifiuti radioattivi (Figura 12).

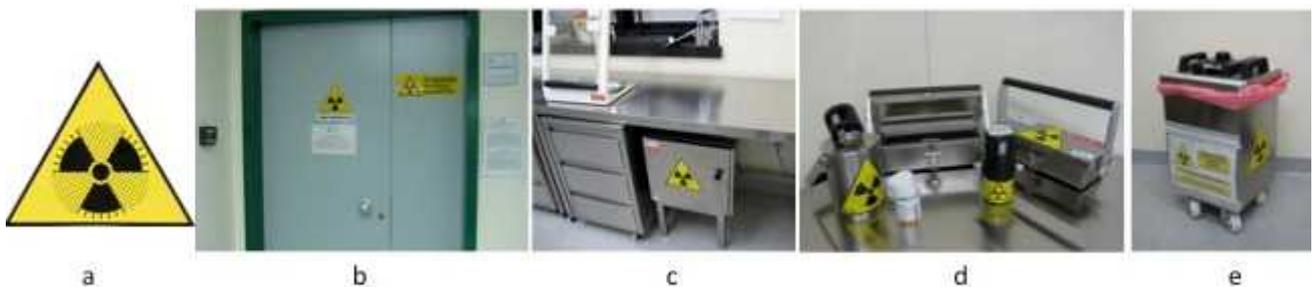


Figura 12. Segnaletica triangolare di pericolo irraggiamento e contaminazione presente in Medicina Nucleare (a). Essa è usata per contrassegnare gli accessi alle zone classificate (b), i contenitori per il deposito delle sorgenti (c), i contenitori per il trasporto all'interno del reparto (d) e quelli destinati ai rifiuti (e).

Il rischio di irradiazione esterna nelle attività della Medicina Nucleare è dovuto:

- alla radiazione emessa dai pazienti sottoposti all'esame o al trattamento
- alla manipolazione delle sorgenti radioattive, in particolare alla preparazione dei radiofarmaci e alla loro somministrazione al paziente.

In questo caso, ai fini della riduzione del rischio, valgono come accorgimenti radioprotezionistici:

- la riduzione del tempo di esposizione
- l'aumento della distanza dalla sorgente
- l'utilizzo di adeguate schermature.

Per approfondimenti si rimanda alla sezione [Come ridurre l'esposizione esterna](#).

È importante considerare che le sorgenti radioattive decadono al passare nel tempo, e di conseguenza diminuisce l'intensità della radiazione emessa dai pazienti. Anche l'eliminazione del radiofarmaco per via fisiologica contribuisce ad accelerare la riduzione dell'emissione di radiazione. Il rischio da irradiazione interna, ancorché generalmente poco rilevante rispetto a quello da irraggiamento esterno, deve comunque essere preso in considerazione. Esso è legato alla possibilità di incorporazione (contaminazione interna) di piccole quantità dei radionuclidi impiegati dispersi nell'ambiente durante le procedure di Medicina Nucleare. In particolare, la possibilità di contaminazione è potenzialmente presente in tutti i locali destinati alla:

- preparazione dei radiofarmaci
- trattamento dei pazienti: sale di somministrazione del radiofarmaco, sale d'attesa dei pazienti iniettati, sale di diagnostica, sale di degenza per terapia radiometabolica, servizi igienici.



Controllare sempre la presenza del simbolo di radiazioni anche nel caso in cui questo non risulti immediatamente visibile (vedi figura seguente).



Ai fini della riduzione del rischio di contaminazione e quindi di irradiazione interna vanno considerati tutti i metodi atti a prevenire la contaminazione Per maggiori informazioni si rimanda alla sezione Come prevenire la contaminazione.

In Medicina Nucleare sono il paziente trattato e i radiofarmaci le principali fonti di rischio di irraggiamento e contaminazione.

Nella Medicina Nucleare terapeutica (Radioterapia metabolica) sia il rischio di irradiazione esterna sia il rischio di contaminazione sono potenzialmente maggiori rispetto alla Medicina Nucleare diagnostica.

Come comportarsi

Negli ambienti contrassegnati dalla segnaletica triangolare di pericolo radiazioni è obbligatorio osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro, dal dirigente o dal preposto ai fini della radioprotezione come, ad esempio, visionare le norme interne di radioprotezione, attenendosi a quanto riportato.

L'accesso alla zona controllata è di solito consentito solo al personale autorizzato. In ogni caso la permanenza deve essere limitata al tempo strettamente necessario, cercando di mantenersi alla massima distanza dal paziente.

L'accesso occasionale da parte di operatori sanitari o di addetti a servizi tecnici, impiantistici o manutentivi è di solito consentito previa autorizzazione specifica da parte del preposto il quale fornirà anche le necessarie informazioni di ordine radioprotezionistico ed eventuali dispositivi di radioprotezione necessari per lo svolgimento in condizione di sicurezza della attività prevista.

In generale il lavoratore è tenuto a:

- accedere ai locali destinati alla attività di Medicina Nucleare solo quando l'attività di reparto è terminata. Per le pulizie, l'accesso è consentito soltanto quando le sorgenti sono state riposte nelle apposite celle schermate
- indossare sempre gli indumenti di lavoro prescritti (camici, guanti, soprascarpe) e impiegare tutti i dispositivi di protezione individuali forniti in relazione alla mansione che si deve svolgere
- utilizzare il dosimetro personale (se prescritto) nel rispetto delle disposizioni vigenti
- non stazionare in prossimità del paziente se non per il tempo strettamente necessario allo svolgimento delle proprie mansioni
- non toccare gli oggetti lasciati dai pazienti
- non portarsi le mani od altri oggetti alla bocca, non mangiare o bere negli ambienti dove si manipolano radionuclidi
- non toccare o manipolare la strumentazione presente nei locali destinati alla manipolazione dei radioisotopi (ampolle, provette, apparecchiature)
- smaltire i rifiuti contaminati (siringhe e flaconi usati per i radiofarmaci, lenzuola, asciugamani e altra biancheria contaminata dai pazienti della radioterapia metabolica) negli appositi contenitori

- attenersi, in caso di contaminazione presunta o certa, alle indicazioni contenute nelle norme interne di radioprotezione
- attenersi sempre alle pertinenti disposizioni inerenti alla sicurezza contenute nelle norme interne di radioprotezione o impartite dal datore di lavoro o dai suoi delegati.

In caso di dubbio o di necessità è opportuno rivolgersi direttamente al preposto o comunque al personale del reparto.

Radioprotezione in Radioterapia

Nei reparti di Radioterapia si effettuano trattamenti di varie patologie neoplastiche con le radiazioni ionizzanti. Lo scopo del trattamento è di rilasciare al tessuto malato una dose elevata di radiazioni in modo da necrotizzarlo e controllare così la malattia. Le radiazioni maggiormente impiegate sono i raggi gamma, i raggi X (in questo caso però di energia molto superiore rispetto al caso degli esami di radiodiagnostica) e gli elettroni.

La Radioterapia comprende:

- radioterapia con fasci esterni (o teleradioterapia) in cui il tessuto bersaglio è irradiato con fasci di raggi X o elettroni che incidono sul paziente dall'esterno. Per produrre i fasci di raggi X e di elettroni si utilizzano apposite macchine radiogene: gli acceleratori lineari (Figura 14). Per alcuni trattamenti possono essere utilizzate sorgenti radioattive sigillate ad alta attività, come nel caso della telecobaltoterapia (tecnica quasi del tutto abbandonata) e del gamma knife
- brachiterapia, in cui il tessuto bersaglio è irradiato per mezzo di sorgenti radioattive sigillate posizionate in prossimità del tessuto da trattare (Figura 15) e che possono essere inserite all'interno del paziente in modo permanente o temporaneo. In molti casi il paziente nel quale si trova la sorgente radioattiva viene ospedalizzato in degenza protetta.

Per quanto riguarda la radioprotezione nelle attività di Radioterapia metabolica (Medicina Nucleare terapeutica) si rimanda alla sezione [Radioprotezione in Medicina Nucleare](#).



Figura 14. Acceleratore di particelle impiegato in Radioterapia.



Figura 15. Sorgenti per brachiterapia. Si osservi che nonostante le dimensioni ridotte la loro attività non è trascurabile.

Fonti di Rischio

Poiché in Radioterapia si utilizzano macchine radiogene e sorgenti radioattive sigillate il rischio per gli operatori è soltanto quello relativo alla esposizione esterna.

L'apposita segnaletica triangolare di pericolo è collocata in corrispondenza di tutti i punti di accesso alle zone classificate e in corrispondenza delle sorgenti stesse e degli acceleratori (Figura 16).

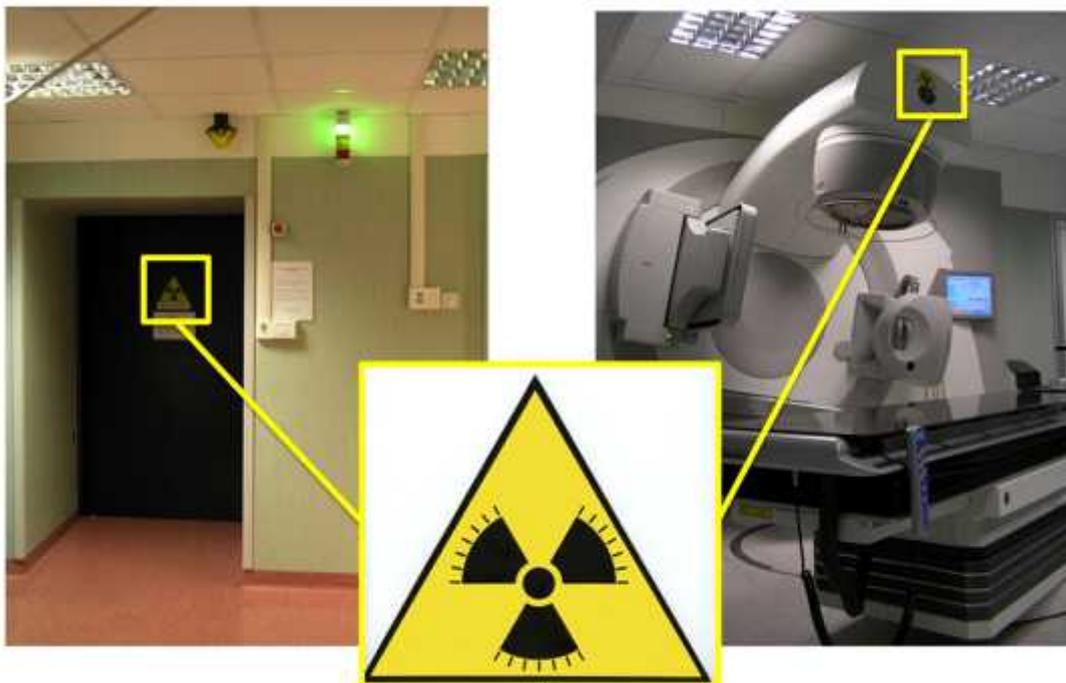


Figura 16. Segnaletica triangolare di pericolo irraggiamento.

In radioterapia con fasci esterni il rischio è presente soltanto quando la macchina è in funzione ed è significativo soltanto all'interno del locale di trattamento (bunker). L'opportuno dimensionamento delle pareti dei bunker, garantisce la sicurezza di coloro che si trovano nei locali adiacenti. Data l'intensità delle radiazioni emesse durante il trattamento, è proibito rimanere nel bunker durante l'emissione raggi; a trattamento completato invece è possibile entrare nel bunker e avvicinare il paziente senza rischi di rilievo. Apposita segnaletica luminosa di avvertimento (Figura 17), associata alla segnaletica triangolare di pericolo, all'esterno delle sale avvisa dell'emissione raggi (luce rossa accesa). Nel bunker sono presenti pulsanti di emergenza per l'interruzione dell'emissione del fascio radiante in caso di emergenza (Figura 18).



Figura 17. Segnaletica luminosa di avvertimento all'esterno di un bunker di radioterapia.



Figura 18. Pulsante di emergenza per l'interruzione dell'emissione raggi.

In brachiterapia, quando le sorgenti sono presenti all'interno del paziente, questi diventa la sorgente di radiazione. Di norma il paziente è ospitato in camere di degenza per tutta la durata del trattamento. Tali camere sono schermate e non vi è rischio a stazionare al di fuori di esse. Se tuttavia vi fosse bisogno di accedervi è opportuno permanere in presenza del paziente solo per la durata di tempo necessaria all'esecuzione delle proprie mansioni ed è opportuno stazionare il più lontano possibile dal paziente. Inoltre, una volta che la sorgente sia stata rimossa, il paziente cessa di emettere radiazione. In brachiterapia non vi è rischio di dispersione di materiale radioattivo e di contaminazione degli ambienti, poiché le sorgenti impiegate sono contenute all'interno di involucri sigillati.

Come comportarsi

Negli ambienti contrassegnati da apposita segnaletica triangolare di pericolo radiazioni è obbligatorio osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro, dal dirigente o dal preposto ai fini della radioprotezione, e in particolare prendere visione delle norme interne di radioprotezione attenendosi a quanto riportato.

L'accesso alla camera di degenza dei pazienti della brachiterapia è di norma consentito solo previa autorizzazione. L'accesso al bunker della radioterapia con fasci esterni è vietato durante tutto il trattamento.

È opportuno conoscere il posizionamento dei pulsanti di emergenza (rossi, a forma di fungo) all'interno dei bunker.

In generale il lavoratore è tenuto a:

- indossare sempre il dosimetro personale, se prescritto, e utilizzarlo nel rispetto delle disposizioni vigenti

stazionare presso il paziente sottoposto a trattamento brachiterapico solo per il tempo strettamente necessario.