

D. Lgs. 230/95 - Art. 61, 79, 80

- 1. INDICAZIONI AL DATORE DI LAVORO NELL'ATTUAZIONE DEI COMPITI DI CUI SOPRA ED ESAME E VERIFICA DELLE ATTREZZATURE, DEI DISPOSITIVI E DEGLI STRUMENTI DI PROTEZIONE**
- 2. RELAZIONE TECNICA DI RADIOPROTEZIONE CONTENENTE LE VALUTAZIONI E LE INDICAZIONI DI RADIOPROTEZIONE**
- 3. COMUNICAZIONI AL DATORE DI LAVORO E RELATIVI ADEMPIMENTI**

Centro di Radioterapia

Azienda USL di Rimini

n. 1 simulatore e n. 1 acceleratore lineare

- 1. Indicazioni all'esercente dell'impianto radiologico nell'attuazione dei compiti ex art. 61 D.Lgs. 230/95**
- 2. 1 Descrizione, carico di lavoro ed ubicazione degli impianti radiologici.**
- 2. 2 Verifica dei livelli di esposizione ambientale e del potere schermante delle strutture.**
- 2. 3 Classificazione delle aree, del personale e dei mezzi di protezione, modalità della sorveglianza fisica.**
- 3. Prescrizioni per l'esercente e per il responsabile dell'impianto radiologico.**
- 4. Norme di protezione e sicurezza**
- 5. Tabella calcolo barriere simulatore e planimetria indicativa**
- 6. Allegati 1,2,3**

Varese,

L'esperto qualificato

1. INDICAZIONI SULL'ATTUAZIONE DEI COMPITI DI CUI ALL'ART. 61 DEL D.Lgs. 230/95

Ai sensi dell'art. 79 del D.Lgs. 230/95 si forniscono le indicazioni sull'attuazione dei compiti di cui all'art. 61 dello stesso decreto, comma 3, lettere a) , b), c), d), e), g).

- a) nessuna attività comportante l'impiego di radiazioni ionizzanti può essere iniziata senza che l'esperto qualificato abbia individuato, delimitato , segnalato e classificato le aree interessate ed eventualmente dato indicazioni in merito alla regolamentazione di accesso. Dovranno essere assicurati il mantenimento delle segnalazioni relative alle varie zone e il rispetto della regolamentazione degli accessi.
- b) nessun lavoratore potrà essere adibito ad attività che espongono al rischio da radiazioni ionizzanti prima che l'esperto qualificato abbia valutato tale rischio e dato indicazioni in merito alla classificazione ed ai mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica necessari. Prima che il lavoratore sia inserito nell'attività lavorativa a rischio, il datore di lavoro provvederà ad inviare all'esperto qualificato le informazioni necessarie per la classificazione e relative all'attività lavorativa in questione; l'esperto qualificato provvederà ad indicare la classificazione del lavoratore al Datore di Lavoro stesso.
- c) le norme interne di protezione e sicurezza vigenti sono state predisposte , per conto del datore di lavoro, dall'esperto qualificato. Il datore di lavoro deve garantire che dette norme siano consultabili nei luoghi frequentati dai lavoratori ed in particolare nelle zone controllate.
- d) nessun lavoratore potrà essere adibito ad attività che espongono al rischio da radiazioni ionizzanti prima che allo stesso non siano stati forniti i mezzi di protezione individuali eventualmente necessari su indicazione dell'esperto qualificato.
- e) nessun lavoratore potrà essere adibito ad attività che espongono al rischio da radiazioni ionizzanti prima che allo stesso non siano state fornite indicazioni sui rischi specifici cui sono esposti, delle norme di protezione sanitaria, delle conseguenze derivanti dalla mancata osservanza delle prescrizioni mediche, delle modalità di esecuzione del lavoro e delle norme interne di protezione e sicurezza.
- g) Il datore di lavoro dovrà provvedere a contrassegnare ed a garantire nel tempo la presenza del contrassegno, tutte le sorgenti di radiazioni ionizzanti ed in particolare tutti i tubi radiogeni mediante contrassegno sulla cuffia.

2.1.1 IMPIANTI RADIOLOGICI

Le caratteristiche delle apparecchiature che costituiscono gli impianti radiologici oggetto della presente relazione, così come descritte dalla ditta costruttrice, sono le seguenti:

Simulatore Siemens Simulix HQ, 150 kV, 800 mA
Acceleratore Lineare Siemens PRIMUS 18: si veda allegato 1.

2.1.2 CARICO DI LAVORO

Il carico di lavoro dell'apparecchiatura oggetto della presente relazione é stato determinato con criteri cautelativi sulla base della normale pratica della Radioterapia

Simulatore:

100 mAs per proiezione in grafia; 8 proiezioni per paziente; 100 pazienti la settimana; totale 1333 mA·min/settimana in regime di grafia.

4 minuti di scopia per paziente; 600 mA·min/settimana in regime di scopia.

Totale 2000 mA·min/settimana.

Acceleratore da 18 MV

$5 \cdot 10^4$ cGy·m²/settimana corrispondente a 50 pazienti trattati per giorno.

2.1.3 UBICAZIONE

Si fa riferimento alla planimetria allegata, dove appaiono:

- posizione dell'apparecchiatura radiogena;
- destinazione delle aree contigue.

Le aree sovrastanti e sottostanti il locale ove é installata le apparecchiature radiologiche sono destinate rispettivamente a installazione impianti di servizio e a locale tecnico ad occupazione prevista solo in caso di guasto all'impianto ivi ubicato (sotto l'acceleratore; in tal caso l'acceleratore non dovrà essere utilizzato, si vedano norme di protezione e sicurezza) ed a locale tecnico (sotto il simulatore, occupazione saltuaria).

Nel caso del soffitto dell'acceleratore, si è presupposto che una stessa persona non stazioni per motivi di manutenzione degli impianti per più di due giorni per anno; tale indicazione è anche riportata nelle norme di protezione e sicurezza.

2.2 VERIFICA DEI LIVELLI DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE E DEL POTERE SCHERMANTE DELLE STRUTTURE

Il calcolo dei livelli di esposizione ambientale é stato eseguito secondo il metodo dell'I.C.R.P. (I.C.R.P. Publications 15 and 21 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, New York, 1976) per quanto riguarda il Simulatore e del N.C.R.P. (N.C.R.P. Report 51, Radiation Protection design Guidelines for 0.1-100 MeV particle accelerator facilities, 1978) per quanto riguarda l'acceleratore lineare.

Questo secondo aspetto è trattato nella relazione specifica di cui all'allegato 1.

Il calcolo per il simulatore tiene conto del carico di lavoro (W), dei fattori d'uso delle barriere (U), dei fattori di occupazione degli ambienti circostanti (T), delle distanze sorgente-barriera e dello spessore delle barriere stesse in centimetri equivalenti a calcestruzzo con densità 2,2 g/cm³, nonché delle dimensioni fisiche del fascio.

I valori sono riportati in tabella 1.

I calcoli per l'acceleratore sono invece analiticamente descritti nell'allegato 1 che si trova in calce alla presente e al quale si rimanda per quanto riguarda specificatamente l'acceleratore.

Si noti come il valore massimo di dose efficace negli ambienti non facenti parte del Centro di Radioterapia non superi 20 µSv/settimana (2 mrem/settimana).

Questo valore é tale da non superare il limite di dose efficace prevista dall'articolo 96 del D.Lgs. 230/95 e dall'allegato IV del D.Lgs. 241/00 per gli individui della popolazione.

Negli ambienti circostanti i locali ove sono installate le apparecchiature radiogene che sono classificati come zone controllate, facenti parte del Centro di Radioterapia, il valore massimo di dose efficace é tale da non superare il limite di dose prevista dall'articolo 96 del D.Lgs. 230/95 e dall'allegato IV del D.Lgs. 241/00 per per i lavoratori non esposti.

L'operatore che comanda l'erogazione raggi, attenendosi alle norme interne di protezione e sicurezza, non ha possibilità di superare il limite di dose prevista dall'articolo 96 del D.Lgs. 230/95 e dall'allegato IV del D.Lgs. 241/00 per per i lavoratori non esposti

2.3.1 CLASSIFICAZIONE DELLE AREE

Da quanto precedentemente descritto si è proceduto alla delimitazione delle "ZONE CONTROLLATE", come definite dall'art. 4 del D.Lgs. 241/00.

Le zone controllate sono i locali che ospitano le due apparecchiature radiogene.

Tutte le altre zone, sono state considerate come non classificate nella valutazione delle barriere ma i due locali comandi, a scopo cautelativo, sono classificati come zone sorvegliate.

Le zone controllate e sorvegliate saranno segnalate all'ingresso dei locali con apposito contrassegno.

L'accesso alle zona controllate verrà regolamentato (vedi norme interne di protezione e sicurezza).

2.3.2 CLASSIFICAZIONE DEL PERSONALE

Nell'ipotesi che il personale che opera nel Centro di Radioterapia utilizzi solo le apparecchiature oggetto della presente relazione, esso potrà essere classificato dall'esperto qualificato del Datore di Lavoro, all'inizio dell'attività lavorativa sulla base anche delle indicazioni riportate nella presente relazione.

Nel caso invece si impieghino altre sorgenti radiogene, la classificazione dovrà tener conto delle esposizioni cumulative.

I pazienti in attesa sono considerati popolazione.

2.3.3 MEZZI DI PROTEZIONE

Le strutture esistenti, come descritte nella presente relazione, nonché l'osservanza delle norme interne di protezione e sicurezza, garantiscono la protezione di lavoratori e persone del pubblico secondo quanto previsto dal D.Lgs. 230/95 e dal D.Lgs. 241/00.

La pratica è organizzata in modo da soddisfare i requisiti richiesti dal D.Lgs. 187/00.

2.3.4 MODALITA' DELLA SORVEGLIANZA FISICA

Sulla base delle risultanze precedentemente riportate, il programma periodico di sorveglianza fisica della radioprotezione potrà consistere in:

- controllo periodico dei dispositivi tecnici di radioprotezione (annuale);
- verifica periodica delle condizioni di funzionamento degli strumenti di misura (annuale);
- controllo di qualità periodico delle apparecchiature radiogene (annuale, trimestrale, settimanale o giornaliero a secondo del parametro considerato); la scelta dovrà essere effettuata dal medico responsabile avvalendosi dell'Esperto in Fisica Medica; allo stato attuale si allegano due proposte per quanto riguarda i protocolli di controllo di qualità del simulatore (allegato 2) e dell'acceleratore (allegato 3)
- misura periodica dell'esposizione ambientale mediante film badge e rivelatore neutronico (semestrale);
- misura periodica della dose efficace assorbita dai lavoratori (mensile);
- attività di consulenza in materia di formazione radioprotezionistica dei lavoratori (a richiesta).

3. PRESCRIZIONI ED ADEMPIMENTI PER L'ESERCENTE DELL'IMPIANTO

Oltre a quanto già indicato al punto 1 della presente relazione, l'esercente dell'impianto dovrà attenersi alle seguenti prescrizioni:

- fornire all'esperto qualificato le informazioni ed i mezzi necessari per l'esecuzione della sorveglianza fisica della radioprotezione;
- attuare tutte le cautele di protezione e sicurezza previste dall'esperto qualificato;
- predisporre l'affissione del simbolo di zona controllata sulle porte di accesso alle sale operative così classificate;
- contrassegnare le sorgenti
- fornire i mezzi di protezione previsti dall'esperto qualificato;
- avvisare tempestivamente l'esperto qualificato in caso di:
 - a) spostamento, modifica o sostituzione di apparecchiature radiogene o di loro componenti;
 - b) modifica delle geometrie e delle strutture attualmente esistenti, nonché variazioni della destinazione delle singole aree;
 - c) riscontrato o sospetto malfunzionamento di una apparecchiatura radiogena;
 - d) aumento del carico di lavoro o dei tempi di esposizione;
 - e) riscontrata o sospetta irradiazione anomala;
 - f) qualsiasi altra situazione che potenzialmente comporti una revisione della presente relazione.
- esporre avvisi atti a segnalare il potenziale pericolo per l'embrione o il feto; tali avvisi devono esplicitamente invitare la paziente a comunicare allo specialista lo stato di gravidanza certa o presunta ai sensi dell'art. 10 del D.Lgs. 187/00
- provvedere affinché le indagini con radiazioni ionizzanti vengano registrati singolarmente, ai sensi dell'art. 12 del D.Lgs. 187/00
- vigilare affinché venga applicato tutto quanto previsto dal D.Lgs. 187/00 in generale.

4. NORME DI PROTEZIONE E SICUREZZA PER IL SIMULATORE

- ✓ Il pericolo di esposizione alle radiazioni ionizzanti sussiste solo a generatore acceso.
- ✓ Assicurarsi sempre che le porte della sala radiologica siano chiuse prima di iniziare l'esame radiologico.
- ✓ Di norma disporsi al riparo della barriera al tavolo di comando.
- ✓ In caso di necessità di stazionamento in prossimità del paziente durante l'erogazione raggi, utilizzare tutti i dispositivi di protezione individuale disponibili.
- ✓ L'assistenza ai pazienti è vietata alle donne gravide.
- ✓ Se prescritti, assicurarsi di portare i dosimetri personali secondo le modalità indicate nelle norme di radioprotezione.
- ✓ Nel caso di utilizzo di apparecchiature radiologiche portatili, assicurarsi che nessun lavoratore stazioni a meno di 2 metri dal paziente durante l'erogazione raggi.
- ✓ Utilizzare sempre il campo di radiazioni più piccolo possibile compatibilmente con le esigenze diagnostiche (collimare).
- ✓ Se il fascio primario incide in prossimità delle gonadi, schermare gli organi riproduttivi del paziente.
- ✓ Utilizzare lo stop di immagine ogni qualvolta sia possibile.
- ✓ Utilizzare sempre il dispositivo di controllo automatico della luminosità.
- ✓ Utilizzare sempre, qualora le esigenze cliniche lo consentano, l'apparecchio nella configurazione "tubo radiologico in basso, intensificatore di brillantezza in alto".

Tabella n. 1

Simulatore Siemens/Rimini/Simulix.

Carico di lavoro : 2000 mA-min/settimana

<i>Barriera</i>	<i>Ambiente</i>	<i>Fascio</i>	<i>U</i>	<i>T</i>	<i>Distanza (m)</i>	<i>Spessore eq. di cls. (cm)</i>	<i>Dose efficace max/sett. (1)</i>
Parete N	corridoio	S(2)	1	1	>3.5	+ 2 mm Pb	< 1
Parete W	spogliatoi	S	1	1	>3.5	+ 2 mm Pb	< 1
Parete S	attesa	S	1	1	>3.5	+2 mm Pb	< 1
Parete E	sala comandi	S	1	1	>3.5	+ 2 mm Pb	< 1
Pavimento	locali tecnici	S	1	<1/16	>3.5	> 30	<1
Soffitto	tetto con accesso	S	1	<1/16	>3.5	> 15	< 1

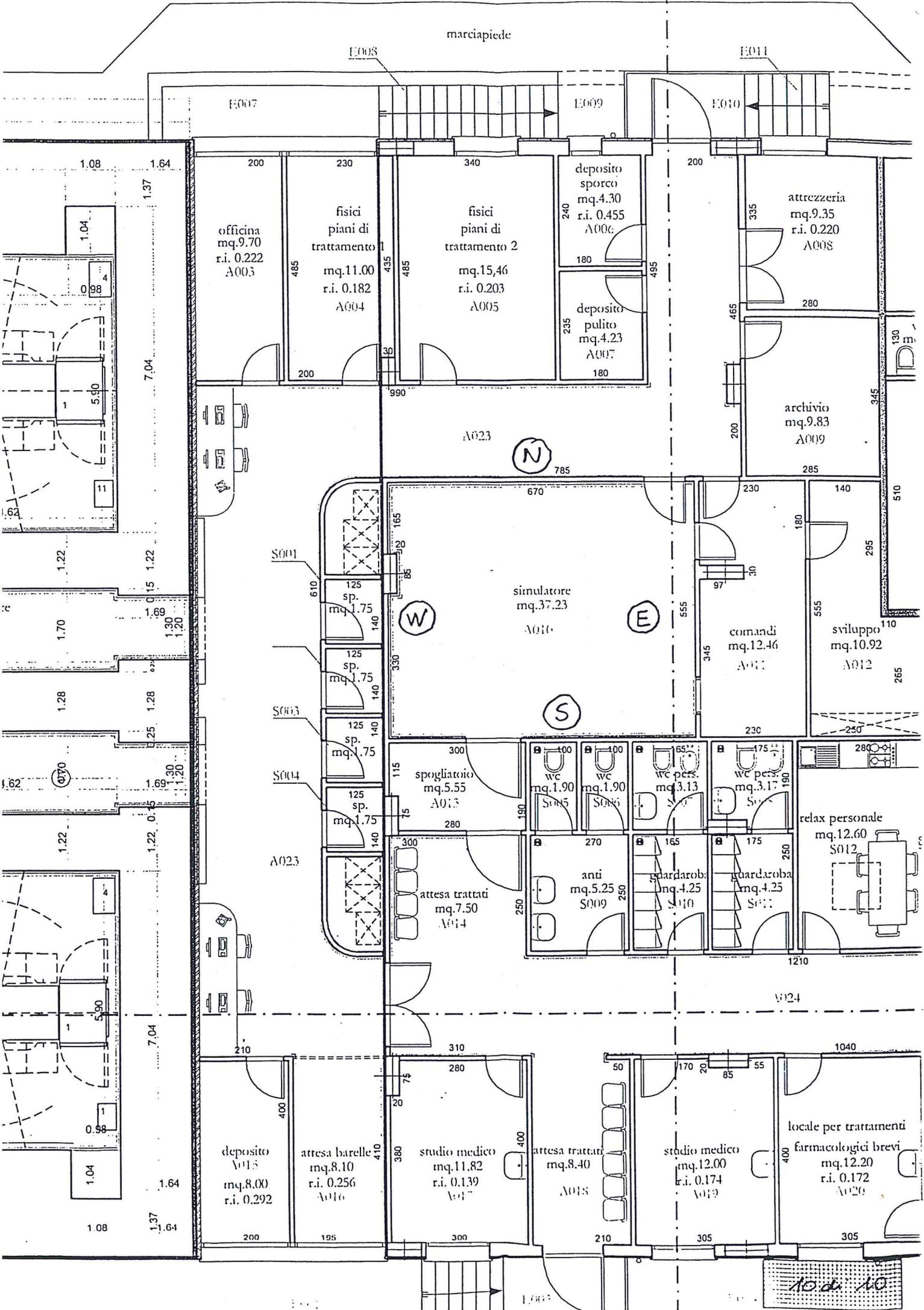
P = fascio primario

S = fascio secondario

cls = calcestruzzo

(1) unità di misura: microSv (1 microSv= 0,1 mrem)

(2) fascio centrato sull'IB



10 di 10

ALLEGATO 1

RELAZIONE TECNICA DI RADIOPROTEZIONE

**Installazione di acceleratore lineare 18 MV presso l'Istituto di Radioterapia
dell'Azienda ospedaliera di Rimini.
Allestimenti protettivi e calcolo delle schermature**

L'ESPERTO QUALIFICATO
Dr. Raffaele NOVARIO-grado II-n° 618
-grado III-n° 219



2.12.04

Novembre 2004

INDICE

- 1. Caratteristiche delle unità di terapia**
- 2. Planimetria della sala di trattamento e delle aree adiacenti**
- 3. Valutazioni dosimetriche**
 - 3.1 Raggi X primari**
 - 3.2 Raggi X diffusi**
 - 3.3 Neutroni**
 - 3.3.1 Neutroni primari**
 - 3.3.2 Neutroni diffusi**
 - 3.4 Attivazione dell'aria**
 - 3.5 Fasci di elettroni**
 - 3.5.1 Schermature**
 - 3.5.2 Ozono**
- 4. Norme di protezione e sicurezza**
- 5. Calcolo spessori barriere protettive**

1. Caratteristiche dell'unità di terapia

L'acceleratore lineare PRIMUS 18 della ditta Siemens ha le seguenti caratteristiche tecniche, da considerarsi rilevanti ai fini della sorveglianza fisica della radioprotezione:

- radiazioni emesse : raggi X ed elettroni
- energia massima raggi X: 18 MeV
- energie elettroni : da 6 a 21 MeV
- dose rate massimo all'isocentro : 300 MU/min
- neutroni prodotti a 18 MV: $2.5 \cdot 10^{10}$ N/cGy
- distanza sorgente-isocentro : 100 cm
- dimensioni massime del campo all'isocentro: 40×40 cm²
- diametro collimatore primario all'isocentro: 50 cm
- altezza dell'isocentro da terra: 130.8 cm
- rotazione della testata: $\pm 360^\circ$

2. Planimetria della sala di trattamento e delle aree adiacenti

I calcoli dosimetrici vengono eseguiti facendo riferimento alla planimetria riportata in pianta ed in sezione.

Viene specificata la destinazione delle zone adiacenti la sala di trattamento ed in particolare, si assume un fattore di occupazione nullo (zona inibita) per le zone sotto il pavimento del bunker (si vedano norme di protezione e sicurezza), di $\frac{1}{2}$ per i marciapiedi circostanti il bunker, di 1 per i passaggi interni e la zona comandi e di 2 giorni (48 ore) per anno per le zone sopra il soffitto (manutenzione impianti).

Tutte le zone adiacenti i bunker sono trattate come zone non classificate.

La planimetria presenta una simmetria che permette di trattare i calcoli indipendentemente dalla destinazione dei due bunker.

3. Valutazioni dosimetriche

Il metodo di calcolo seguito è quello del Report N.C.R.P. (Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100 MeV particle accelerator facilities, Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements, N.C.R.P. Report 51, 1/3/77).

In generale deve essere soddisfatta la seguente relazione:

$$H_{Id} \leq H_M \quad (1)$$

dove H_{Id} è la somma di tutti i ratei degli indici di equivalente di dose nel punto di riferimento e H_M è il rateo di dose limite.

Si ha inoltre:

$$H_{Id} = \sum_j \frac{F_{oj} B_j T}{K_j d_j} \quad (2)$$

essendo:

- F_{oj} il massimo rateo di dose dovuto alla j-esima sorgente (sia radiazione primaria che diffusa) ad 1 m
- B_j la trasmissione attraverso la barriera delle radiazioni provenienti dalla sorgente j-esima
- T il fattore di occupazione dell'area rappresentata dal punto di riferimento
- K_j una costante dimensionale
- d_j la distanza tra la j-esima sorgente ed il punto di riferimento in metri

3.1 Raggi X primari

Quando la componente dominante è costituita dal fascio primario di raggi X, la (1) assume la forma (j=1):

forma (j=1):

$$H_{Id,x} \leq H_M = \frac{D_{Io} B_x T}{1,67 \cdot 10^{-5} d^2} \quad (3)$$

$$B_x = 1,67 \cdot 10^{-5} \frac{H_M d^2}{D_{Io} T} \quad (4)$$

dove:

- D_{Io} è il rateo dell'indice di dose assorbita a 1 m espresso in $\text{cGy m}^2 \text{min}^{-1}$
- H_m è l'equivalente di dose limite in 10^{-5}Sv h^{-1} ($10^{-5} \text{Sv} = 1 \text{mrem}$)

Per installazioni radioterapiche la (4) viene così modificata:

$$B_{xt} = 10^{-3} \frac{H_{Mt} d^2}{U W T} \quad (5)$$

dove:

- U è il fattore d'uso della barriera
W è il carico di lavoro in cSv m² / settimana
H_{Mt} è il rateo di dose limite in 10⁻⁵ Sv / settimana
- (6)

Il carico di lavoro considerato, è di 500 Sv per settimana all'isocentro, corrispondente a circa 50 pazienti per giorno.

Per il calcolo dello spessore delle barriere necessario a garantire l'attenuazione richiesta, si sono impiegati i parametri riportati in tabella 1, raccomandati dall' N.C.R.P.

Applicando la (5) alle barriere primarie A, B, e soffitto (si veda planimetria) si ottengono i valori riportati nel paragrafo 5.

3.2 Raggi X diffusi

Per quanto riguarda le barriere secondarie, la relazione impiegata per il calcolo degli spessori è la seguente:

$$H_{I,d_r,x} \leq H_M = \frac{D_{Io} a_x A B_{xr} T}{1.67 \cdot 10^{-5} d_1^2 d_r^2} \quad (7)$$

da cui

$$B_{xr} = 1.67 \cdot 10^{-5} \frac{H_M d_1^2 d_r^2}{D_{Io} a_x A T} \quad (8)$$

Per installazioni radioterapiche si ha

$$B_{xr} = 10^{-3} \frac{H_M d_1^2 d_r^2}{W \alpha_x A T} \quad (9)$$

dove d_i e d_r sono rispettivamente le distanze sorgente - materiale diffusore e materiale diffusore - punto di riferimento, α_x è il coefficiente di diffusione dipendente dall'energia dei fotoni incidenti, dall'angolo di diffusione e dal materiale diffusore, A è l'area del diffusore irradiato dal fascio incidente.

Per quanto riguarda la componente energetica diffusa, come raccomandato dall'N.C.R.P., essa è stata valutata essere equivalente a quella di un fascio monoenergetico da 10 MeV.

Considerando la relazione (9), un'analisi di carattere geometrico, dimostra che la componente preponderante della radiazione diffusa è rappresentata dalla radiazione diffusa dal paziente.

I valori così ottenuti per le pareti interessate sono descritti in paragrafo 5.

3.3 Neutroni

IL contributo alle dosi efficaci è distinguibile in quello dovuto ai neutroni primari e in quello dovuto ai neutroni diffusi.

Le due componenti vengono trattate separatamente.

3.3.1 Neutroni primari

Per i neutroni prodotti nei processi fotonucleari le schermature si possono calcolare dalla relazione:

$$H_{id,n} \leq H_M = \frac{\phi_o B_n T}{2.8 \cdot 10^{-7} d^2} \quad (10)$$

da cui

$$B_n = 2.8 \cdot 10^{-7} \frac{H_M d^2}{\phi_o T} \quad (11)$$

dove B_n è il rapporto di trasmissione, d è la distanza fra la sorgente di neutroni ed il punto di riferimento in metri e ϕ_o è la densità di flusso a 1 m.

La principale sorgente di fotoneutroni è costituita dai materiali ad elevato numero atomico contenuti nella testata. Perciò la sorgente primaria di neutroni può essere considerata la testata stessa. Da dati pubblicati in letteratura (Med. Phys. 11, 231,1984) risulta che il numero di neutroni prodotti è inferiore a $2.5 \cdot 10^{10}$ per cGy a 18 MeV.

Considerando per H_m i valori limite previsti per le zone non classificate, le schermature previste sono adeguate anche per i neutroni primari, tenendo conto di un SEV aggiuntivo come richiesto dall' NCRP 51.

3.3.2 Neutroni diffusi

I neutroni diffusi contribuiscono alla densità di flusso totale di neutroni incidenti su ciascuna parete. Lo spettro di questi neutroni è ovviamente degradato rispetto a quello dei neutroni primari. Come raccomandato dall'NCRP Report n. 51 è stato aggiunto un ulteriore SEV nel calcolo relativo ai neutroni primari per tener conto anche della componente dei neutroni diffusi.

Per applicare tale raccomandazione alla porta del bunker si fa riferimento al lavoro di P. O'Brien et al. (Med. Phys. 12. 101, 1985) dal quale si ricava la composizione della porta. L' overlap tra la porta ed il muro deve essere di 10 volte almeno la distanza tra la superficie della porta e la superficie del muro.

3.4 Attivazione dell'aria

La dose agli operatori per attivazione dell'aria nel bunker è dovuta essenzialmente alle reazioni $^{16}\text{O}(\gamma,n)^{15}\text{O}$ e $^{14}\text{N}(\gamma,n)^{13}\text{N}$.

I calcoli relativi alla dose da attivazione si basano sul lavoro di Mc Ginley et al. (Med. Phys. 11. 855, 1984). Per un campo medio di $20 \times 20 \text{ cm}^2$ con un rateo di dose all'isocentro di 300 cGy/min con fotoni da 18 MV il rateo di produzione di ^{15}O è minore di 0.1 MBq/kg e per ^{13}N è minore di 3 MBq/kg . Considerando un carico di lavoro a 18 MV di 50 pazienti/giorno per 2 minuti di trattamento ciascuno e con un tempo di stazionamento all'interno del bunker di 10 min/paziente, con una ventilazione di 8 ricambi d'aria/ora l'operatore assorbe una dose equivalente annua inferiore a $5.2 \text{ } \mu\text{Sv}$ da ^{15}O e a $28.2 \text{ } \mu\text{Sv}$ da ^{13}N per un totale inferiore a 0.04 mSv/anno . A scopo cautelativo si aggiungono due ulteriori ricambi d'aria/ora portando il totale a 10 ricambi d'aria/ora.

3.5 Fasci di elettroni

3.5.1 Schermature

L'energia dei fasci di elettroni disponibili e la composizione e la struttura delle pareti del bunker sono tali da rendere trascurabile la dose equivalente assorbita all'esterno del bunker stesso sia per quanto riguarda la componente beta, sia per quanto riguarda la componente derivante dall'eventuale bremsstrahlung.

3.5.2 Ozono

Il fascio di elettroni emesso dall'acceleratore produce ozono (O_3) interagendo con l'aria del bunker.

La concentrazione in aria dell'ozono prodotto è direttamente proporzionale al potere frenante degli elettroni emessi in aria, alla corrente del fascio, allo spessore di aria attraversato dal fascio, al tempo di irradiazione ed inversamente proporzionale al volume del bunker.

Assumendo un carico di lavoro complessivo di 50 pazienti/giorno, tenendo conto che la media nazionale di trattamenti con fasci di elettroni è minore del 20% del totale dei trattamenti, (Rad. Med. 73, 76, 1987), 10 ricambi d'aria/ora sono già sufficienti a garantire una concentrazione di ozono inferiore al valore di 0.1 ppm come raccomandato dall'American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

4. Norme di protezione e sicurezza

Le valutazioni dosimetriche sopra descritte e riportate nel paragrafo 5 presuppongono l'osservanza da parte del personale addetto delle seguenti norme di protezione e sicurezza:

- durante l'esecuzione dei trattamenti, nessuno, eccetto il paziente, dovrà stazionare nel locale di trattamento
- durante la conduzione di ogni trattamento, gli operatori dovranno stazionare nell'area in cui è installato il tavolo di comando, sorvegliando il regolare funzionamento dell'apparecchiatura e la corretta esecuzione del trattamento radioterapico
- l'accesso al locale di trattamento è consentito quando l'erogazione delle radiazioni è interrotta
- l'accesso sopra al locale di trattamento è consentito per una singola persona per un totale di 48 ore/anno. E' preferibile stazionare sopra il bunker in condizioni di non impiego dell'acceleratore.
- l'accesso al locale di servizio posto sotto il bunker attraverso la porta speciale trattata nel paragrafo 5 è consentito solo in condizioni di non funzionamento dell'acceleratore. Il fattore di occupazione di tale locale è infatti ritenuto nullo nei calcoli.

5. Calcolo spessori barriere protettive

Con il pedice “p” viene indicata la parte di parete (o soffitto) interessata dal fascio primario, mentre col pedice “d” viene indicata la parte di parete (o soffitto) interessata dal fascio secondario o diffuso.

Si fa riferimento alle allegate piante e sezioni, riportate in calce alla presente al solo scopo di individuare le pareti interessate.

Piante e sezioni in scala 1:100 e per esteso sono infatti presnti nella descrizione dell'U.O. di radioterapia di cui al punto C.

Parete N_p

Marciapiede, zona libera

$$H_{Mt} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Sv / settimana}$$

$$d = 8 \text{ m}$$

$$U = 1 / 4$$

$$W = 5 \cdot 10^4 \text{ cSv} \cdot \text{m}^2 / \text{settimana}$$

$$T = 1/2$$

$$B_x = 2.1 \cdot 10^{-5}$$

spessore 241 cm calcestruzzo a 18 MV compresi i due SEV aggiuntivi

oppure

spessore 174 cm calcestruzzo baritico a 18 MV

Parete N_d

Marciapiede, zona libera

$$H_{Mt} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Sv / settimana}$$

$$d = 6 \text{ m}$$

$$W = 5 \cdot 10^4 \text{ cSv} \cdot \text{m}^2 / \text{settimana}$$

$$T = 1/2$$

$$\alpha_x = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 40 \times 40 \text{ cm}^2 = 0.16 \text{ m}^2, \text{ cautelativo } 0.3 \text{ m}^2$$

$$B_x = 1.9 \cdot 10^{-3}$$

spessore 137 cm calcestruzzo a 18 MV compresi i due SEV aggiuntivi

Parete S_p (S₁+S₂)

Passaggio, zona libera

$$H_{Mt} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Sv / settimana}$$

$$d = 9 \text{ m}$$

$$U = 1 / 4$$

$$W = 5 \cdot 10^4 \text{ cSv} \cdot \text{m}^2 / \text{settimana}$$

$$T = 1$$

$$B_x = 1.3 \cdot 10^{-5}$$

spessore 250 cm calcestruzzo a 18 MV compresi i due SEV aggiuntivi

Parete S_{2d}

Passaggio, zona libera

$$H_{Mt} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Sv} / \text{settimana}$$

$$d = 9 \text{ m}$$

$$W = 5 \cdot 10^4 \text{ cSv} \cdot \text{m}^2 / \text{settimana}$$

$$T=1$$

$$\alpha_x = 2 \cdot 10^{-3} \text{ (diffusione multipla)}$$

$$A = 40 \times 40 \text{ cm}^2 = 0.16 \text{ m}^2, \text{ cautelativo } 0.3 \text{ m}^2$$

$$B_x = 5.4 \cdot 10^{-3}$$

spessore 119 cm calcestruzzo a 18 MV compresi i due SEV aggiuntivi

Parete W_d

Marciapiede, zona libera

$$H_{Mt} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Sv} / \text{settimana}$$

$$d = 5 \text{ m}$$

$$W = 5 \cdot 10^4 \text{ cSv} \cdot \text{m}^2 / \text{settimana}$$

$$T=1/2$$

$$\alpha_x = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 40 \times 40 \text{ cm}^2 = 0.16 \text{ m}^2, \text{ cautelativo } 0.3 \text{ m}^2$$

$$B_x = 1.3 \cdot 10^{-3}$$

spessore 144 cm calcestruzzo a 18 MV compresi i due SEV aggiuntivi

Parete E_d

Comandi, zona libera

$$H_{Mt} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Sv} / \text{settimana}$$

$$d = 4 \text{ m}$$

$$W = 5 \cdot 10^4 \text{ cSv} \cdot \text{m}^2 / \text{settimana}$$

$$T=1$$

$$\alpha_x = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 40 \times 40 \text{ cm}^2 = 0.16 \text{ m}^2, \text{ cautelativo } 0.3 \text{ m}^2$$

$$B_x = 4.2 \cdot 10^{-4}$$

spessore 164 cm calcestruzzo a 18 MV compresi i due SEV aggiuntivi

Pavimento_p

Zona non accessibile se non ad acceleratore spento (si vedano norme di sicurezza),
fascio primario - zona non utilizzabile

$$U = 1 / 4$$

$$T = 0$$

Nessun intervento radioprotezionistico necessario sul pavimento.

Per motivi strutturali si ipotizza uno spessore del pavimento di 30 cm di calcestruzzo.

Calcolo per la parete P_d (sotto il pavimento)

Locali tecnici, zona libera ad accesso saltuario.

$$H_{Mt} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Sv / settimana}$$

$$d = 6 \text{ m}$$

$$W = 5 \cdot 10^4 \text{ cSv} \cdot \text{m}^2 / \text{settimana}$$

$$T = 1/16$$

$$\alpha_x = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 40 \times 40 \text{ cm}^2 = 0.16 \text{ m}^2, \text{ cautelativo } 0.3 \text{ m}^2$$

$$B_x = 1.5 \cdot 10^{-2}$$

Tenendo conto dei 30 cm di calcestruzzo della soletta rimangono:

spessore 80 cm calcestruzzo a 18 MV compresi i due SEV aggiuntivi

equivalenti a 6 dimezzamenti ovvero

spessore 10 cm piombo a 18 MV compresi i due SEV aggiuntivi

per una eventuale porta di servizio

Soffitto_p

Zona ad accesso saltuario, fascio primario - zona ad accesso regolamentato

$$H_{Mt} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Sv / settimana}$$

$$d = 4 \text{ m}$$

$$U = 1 / 4$$

$$W = 5 \cdot 10^4 \text{ cSv} \cdot \text{m}^2 / \text{settimana}$$

$$T = 2 \text{ giorni/anno} = 0.0064 \text{ (si vedano norme di protezione e sicurezza)}$$

$$B_x = 4.0 \cdot 10^{-4}$$

spessore 182 cm calcestruzzo a 18 MV compresi i due SEV aggiuntivi

Soffitto_d

Zona ad accesso saltuario, fascio secondario - zona libera

$$H_{Mt} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Sv / settimana}$$

$$d = 4 \text{ m}$$

$$W = 5 \cdot 10^4 \text{ cSv} \cdot \text{m}^2 / \text{settimana}$$

$$T = 2 \text{ giorni/anno} = 0.0064 \text{ (si vedano norme di protezione e sicurezza)}$$

$$\alpha_x = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 40 \times 40 \text{ cm}^2 = 0.16 \text{ m}^2, \text{ cautelativo } 0.3 \text{ m}^2$$

$$B_x = 6.6 \cdot 10^{-2}$$

oppure

spessore 83 cm calcestruzzo a 18 MV compresi i due SEV aggiuntivi

Porta

Zona comandi - fascio secondario a diffusione multipla - zona libera

$$H_{Mt} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Sv / settimana}$$

$$d_i = 1 \text{ m}$$

$$d_r = 20 \text{ m}$$

$$W = 5 \cdot 10^4 \text{ cSv} \cdot \text{m}^2 / \text{settimana}$$

$$\alpha_x = 5 \cdot 10^{-3}$$

$$A = 40 \times 40 \text{ cm}^2 = 0.16 \text{ m}^2$$

$$T = 1$$

Spessore: 50 mm piombo + 3 mm cadmio + 200 mm polietilene a 18 MV

N.B. :

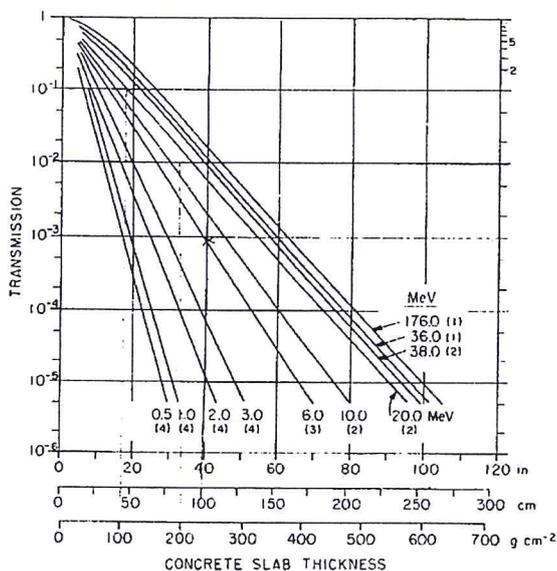
- 1. la porta , quando chiusa, dovrà schermare l'interno degli stipiti per almeno 13 cm lateralmente e superiormente.**
- 2. la porta dovrà presentare rispettivamente (dall'interno del bunker verso l'esterno) prima la paraffina (o polietilene) , poi il cadmio e poi il piombo**

TABELLA 1 (18 MV)	materiale	SEV (cm)	TVL (cm)	μ_{eq} (cm⁻¹)
radiazione primaria	calcestruzzo	13.6	45.1	0.051
	baritico	9.9	32.9	0.070
	ferro	3,6	11.9	0,194
radiazione diffusa	calcestruzzo	12.4	41.2	0,056
	baritico	-----	-----	-----
	ferro	-----	-----	-----

In allegato alla presente si trovano la planimetria, la sezione e la descrizione della forimetria.

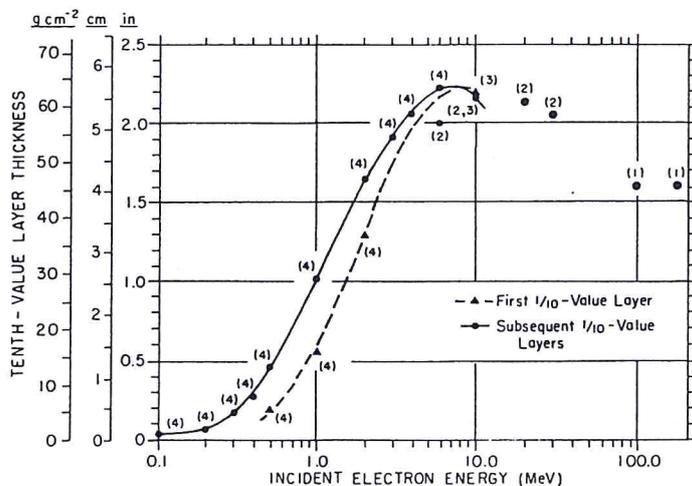
Qui di seguito viene riportata la relazione impiegata per il calcolo dell'attenuazione del calcestruzzo e del piombo e ricavata dall'NCRP.

E.8 Broad-Beam Transmission Through Concrete of X Rays Produced by 0.5- to 176-MeV Electrons



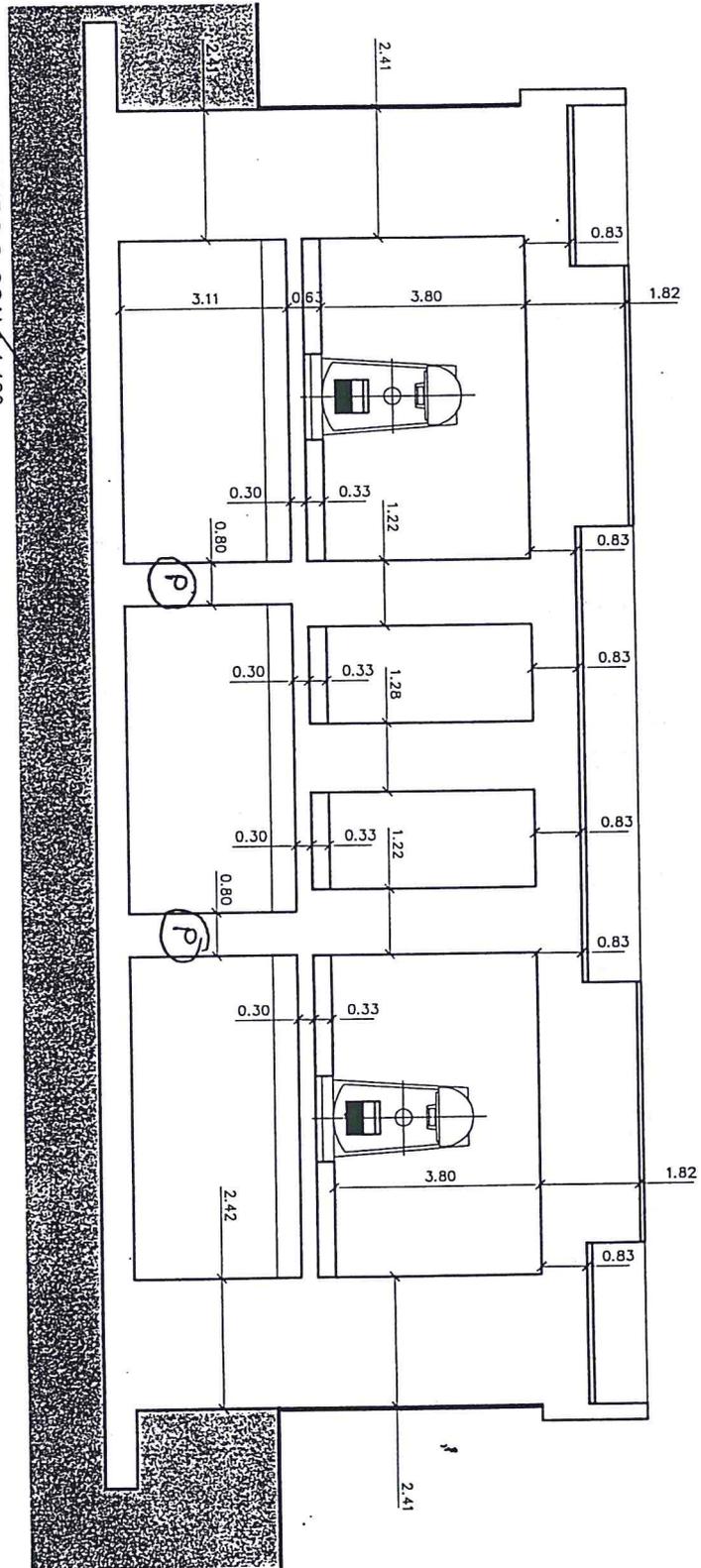
Transmission of thick-target x rays through ordinary concrete (density 2.35 g cm⁻³), under broad-beam conditions. Energy designations on each curve (0.5 to 176 MeV) refer to the monoenergetic electron energy incident on the thick x-ray producing target. Curves represent transmission in dose-equivalent index ratio. (See Appendix E-12 for basis for interpolating between curves.) Curves derived from: (1) Miller and Kennedy (1956); (2) Kirn and Kennedy (1954); (3) Kartzmark and Capone (1968); and (4) NCRP Report No. 34 (NCRP, 1970a) and NCRP Report No. 49 (NCRP, 1976).

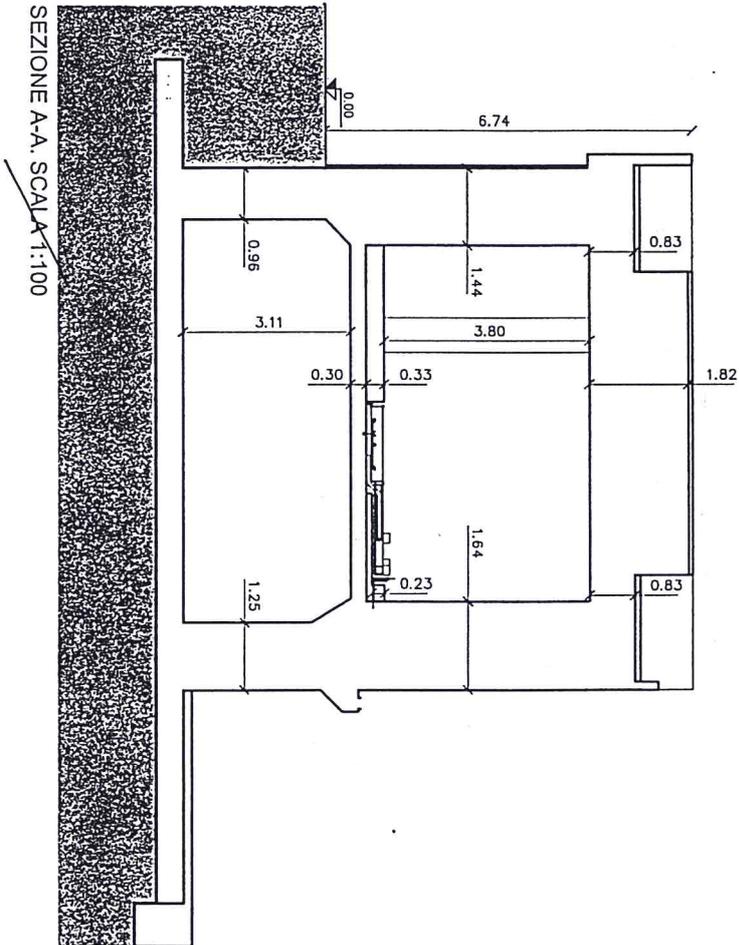
E.14 Dose-Equivalent Index Tenth-Value Layers for Broad-Beam X Rays in Lead



Dose-equivalent index tenth-value layers in lead (density 11.3 g cm⁻³) for thick-target x rays under broad-beam conditions, as a function of the energy of electrons incident on the thick target. The dotted curve refers to the first tenth-value layer; the solid curve refers to subsequent or "equilibrium" tenth-value layers. Both curves are empirically drawn through data points derived from the following references: (1) Miller and Kennedy (1956); (2) Maruyama *et al.* (1971); (3) ICRP Publication No. 4 (ICRP, 1964); and (4) NCRP Report No. 34 (NCRP, 1970a). The empirical curve is not extended into the 10- to 100-MeV region because of uncertainties in the available data.

SEZIONE C-C: SCALA 1:100





ulativa
 FOROMETRIA BUNKER. SCALA 1:100

LEGENDA

- 1 ELETTRICO ALIMENTAZIONE
- 2 ELETTRICO CONTROLLI
- 3 IDRICO
- 4 ELETTRICO SCORTA
- 5 GAS MEDICALI
- 6 SONDA MEDICINA SANITARIA

