

Ospedale di Belcolle
Acceleratori Lineari c/o Unità Operativa di Radioterapia

Relazione tecnica
(Art. 109 D. Lgs. 101/2020)

1. Premessa	<i>pag. 2</i>
2. Descrizioni locali ed aree	<i>pag. 2</i>
3. Descrizione delle attività	<i>pag. 3</i>
3.1. Sorgenti utilizzate	
3.2. Pratiche svolte	
3.3. Figure professionali coinvolte	
3.4. Stima del numero di pazienti annuo	
3.5. Produzione rifiuti e parti attivate	
4. Analisi delle barriere	<i>pag. 5</i>
5. Analisi dei rischi per i lavoratori	<i>pag. 6</i>
5.1. Condizioni di normale esercizio	
5.2. Scenari incidentali	
6. Valutazione delle dosi ai lavoratori	<i>pag. 8</i>
7. Analisi dei rischi per la popolazione	<i>pag. 8</i>
8. Classificazione del personale e delle zone	<i>pag. 8</i>
9. Regolamento di sicurezza	<i>pag. 8</i>
9.1. Norme operative di sicurezza	
9.1.1. Norme generali di sicurezza	
9.1.2. Radioprotezione dei lavoratori	
9.1.3. Disposizioni particolari per le lavoratrici in gravidanza	
9.1.4. Radioprotezione del paziente	
10. Organizzazione della sorveglianza fisica	<i>pag.10</i>
10.1. Periodicità delle valutazioni	
10.2. Periodicità delle comunicazioni	
11. Benestare radioprotezionistico	<i>pag.11</i>
12. Bibliografia	<i>pag.11</i>
13. Elenco allegati	<i>pag.11</i>



1. *Premessa*

La presente relazione tecnica contiene le valutazioni di cui all'Art. 109 del D. Lgs. 101/2020, relative alle pratiche di radioterapia con fasci esterni di fotoni ed elettroni prodotti mediante acceleratori lineari (Linac), svolte presso la Unità Operativa di Radioterapia localizzata presso l'Ospedale di Belcolle in Viterbo, strada Sanmartinese s.n.c.. L' esercente è la Azienda Sanitaria Locale di Viterbo, la cui sede legale è in Via Enrico Fermi, 01100 Viterbo.

Le valutazioni ed i calcoli contenuti in questa relazione seguono i criteri enunciati nella letteratura specialistica, nazionale ed internazionale, sull' argomento, riportata in bibliografia. Gli allegati formano parte integrante della presente relazione.

2. *Descrizioni locali ed aree*

La Unità Operativa di Radioterapia è ubicata presso il Blocco E dell'Ospedale di Belcolle, al piano 2 (interrato). Qui sono dislocati gli ambulatori, le stanze dei medici, il locale attesa pazienti, la sala di TAC-simulazione, ed il locale di pianificazione di trattamento. I due bunker seminterrati, con annessi locali di comando e di servizio, sono connessi a tale area mediante corridoi di collegamento.

Per una descrizione più dettagliata degli edifici si rinvia alla planimetria in scala 1:100 allegata (All. 4) dalla quale risulta visibile anche la collocazione del reparto nel contesto dei vicini reparti di Medicina Nucleare e di Risonanza Magnetica.

L'impiantistica dei bunker è realizzata in modo conforme ai seguenti accorgimenti di natura radioprotezionistica :

a) *Condizionamento*

L'impianto di ventilazione a servizio dei bunker assicura un adeguato numero di ricambi/ora, con espulsione verso l'esterno; l'ambiente interno al bunker è mantenuto in lieve depressione per facilitare l'eliminazione dell'ozono. La penetrazione per l'impianto di condizionamento è realizzata con andamento a labirinto nella intercapedine.

b) *Cablature*

Le penetrazioni per cavedi e tubi afferenti ai bunker sono realizzate sotto il pavimento del medesimo (che è flottante). Nelle pareti di separazione dei bunker dalle rispettive consolle di comando sono realizzati fori passacavi per dosimetria da 8 cm di diametro, attraversanti la parete obliquamente sia nel senso della larghezza che della altezza, da circa 30 cm da terra (interno bunker) fino a circa 100 cm da terra (esterno bunker).

c) *Rivestimenti*

Le pareti interne dei due bunker sono rivestite in PVC o altro materiale idrogenato, in modo da favorire la moderazione neutronica garantendo al contempo il soddisfacimento degli ordinari requisiti igienici (lavabilità , etc.).

3. *Descrizione delle attività*

Il reparto è destinato al trattamento di pazienti oncologici con radiazione fotonica ed elettronica, prodotta mediante un acceleratore lineare, descritto in maggior dettaglio nella sezione 3.1. Analogamente, nelle successive sezioni saranno descritte le procedure terapeutiche, le figure professionali coinvolte, nonché il carico di lavoro stimato.

Va comunque osservato che l'iter terapeutico di ciascun paziente prevede due fasi distinte: una di preparazione, detta di simulazione, ed un'altra di trattamento vero e proprio, ciascuna delle quali prevede l'uso di sorgenti di radiazione con caratteristiche diverse. L'attività collaterale consistente nelle visite mediche (prime visite, visite di follow up e visite in corso di trattamento) e nelle eventuali piccole medicazioni, viene svolta negli ambienti indicati in planimetria come "ambulatori" e "studi", in aree distinte rispetto agli ambienti di simulazione e trattamento.

3.1 *Sorgenti utilizzate*

La attività di centratura e simulazione del paziente è eseguita nel locale di simulazione mediante una normale TAC ed un dispositivo di localizzazione costituito da laser mobili. Poiché la TAC non è assoggettata al nulla osta di Categoria B, queste attività non saranno ulteriormente discusse in questa relazione.

Per il trattamento dei pazienti sono utilizzati due acceleratori lineari installati all'interno dei bunker indicati in planimetria.

Bunker 2 - Acceleratore lineare Siemens Oncor IMRT Impression

n° di serie dell'apparecchio: M 5146

fasci fotonici FF da 6 e 15 MV;

n° 6 fasci elettronici di energie nominali 6, 9, 12, 15, 18 e 21 MeV;

rateo di dose, fisso, pari a 200 UM/min per gli elettroni; 300 UM/min per i fotoni da 6 MV; 500 UM/min per i fotoni da 15 MV

campo massimo 40 x 40 cm² all'isocentro;

produzione neutronica: presente, con il solo fascio fotonico da 15 MV

N.O. rilasciato con Determinazione del Dir. Gen. ASL Viterbo n. 1390/2007

(parere Comm. Reg. Radioprotezione n. 6323 del 21/02/2007)

Bunker 1 - Acceleratore lineare Elekta Versa HD

In fase di installazione, sostituisce macchina similare obsoleta autorizzata con Determinazione n. 1424/2004 della Regione Lazio (Dipartimento Sociale – Programmazione Sanitaria e Tutela della Salute)

fasci fotonici 6-10-15 MV FF rateo di dose variabile 40-600 cGy/min

fasci fotonici 6 MV FFF (200-1400 cGy/min) – 10 MV FFF (400-2200 cGy/min)

campo massimo 40 x 40 cm² all'isocentro

energie elettroniche 6, 9, 12, 15, 18 MeV

produzione neutronica: attesa, con il fascio fotonico 15 MV FF

Entrambe le macchine sono caratterizzate da una rotazione isocentrica attorno al letto portapaziente. Esse sono dotate di una consolle esterna alla sala di trattamento; la sorveglianza del paziente viene effettuata tramite TV CC e impianto interfono. Sono predisposti inoltre segnali luminosi ed acustici alla consolle, funzionanti durante l'emissione raggi. La consolle è a chiave. Le porte scorrevoli all'ingresso dei bunker sono dotate di interblocco che non consente l'erogazione di radiazioni a porta aperta.

L'impianto è dotato degli adeguati indicatori luminosi posti sulle porte di accesso ai bunker e nelle sale di trattamento e dei seguenti dispositivi di sicurezza:

- pulsante per l'apertura della porta dall'interno dei bunker;
- dispositivi di controllo a cellula fotoelettrica per l'arresto della porta al passaggio di persone;
- pulsanti di spegnimento di emergenza (sgancio elettrico) ed interruzione raggi;
- sblocco apertura porta bunker nel labirinto.

3.2 *Pratiche svolte*

I due acceleratore lineari sono destinati al trattamento di pazienti oncologici con radiazione fotonica ed elettronica. Per il paziente, ciascuno dei due acceleratori costituisce una sorgente esterna di radiazioni. I pazienti, ritenuti idonei alla radioterapia in sede di visita preliminare, sono sottoposti a trattamento radiante, previa elaborazione di un piano di trattamento personalizzato.

Tale trattamento consiste nella somministrazione della dose assegnata in frazioni generalmente giornaliere, mediante esposizione ai fasci esterni prodotti dall'acceleratore; il singolo trattamento può essere eseguito mediante uno o più fasci distinti di radiazione, ottenibili ruotando il gantry della macchina ad angoli diversi.

La durata complessiva del trattamento si può estendere, a seconda dei casi, da pochi giorni a diverse settimane.

3.3 *Figure professionali coinvolte*

Le figure professionali coinvolte nelle attività sono: Medici Radioterapisti, Tecnici di Radiologia, Fisici Sanitari ed Infermieri.

I Medici Radioterapisti valutano la situazione clinica del paziente definendo l'indicazione al trattamento. Successivamente impostano il trattamento nella fase di simulazione, elaborano il piano di trattamento di concerto con i fisici, seguono le procedure durante la prima seduta di trattamento ed in caso di eventuali modifiche al piano di cura.

I Tecnici di Radiologia sono preposti alle fasi esecutive, quali: esecuzione della TC di simulazione, set up del paziente, download dei dati tecnico-dosimetrici dall'OIS (Oncology Information System) ed esecuzione del trattamento, nonché sorveglianza del corretto svolgimento dell'intera procedura.

Compito dei Fisici Sanitari è la caratterizzazione iniziale dei fasci dei due acceleratori e poi, successivamente, la pianificazione del trattamento (di concerto con i Radioterapisti) e la esecuzione dei controlli di qualità periodici sulle apparecchiature. Sono coinvolti collateralmente in attività di consulenza in Zona Controllata, se richiesto.

Prestano la loro attività professionale presso la U.O. Radioterapia anche Infermieri Professionali. Costoro sono coinvolti essenzialmente in attività amministrative ed ambulatoriali senza rapporto con le sorgenti radiogene.

3.4 *Stima del numero di pazienti annuo*

Sulla base della esperienza fin qui accumulata, per ogni acceleratore può essere stimato un carico annuo di circa 400 nuovi pazienti; ai fini della determinazione del carico di lavoro W conviene tuttavia considerare il numero di pazienti in trattamento nell'arco della settimana.

Si possono stimare 50 pazienti in trattamento al giorno, con una media di 2 campi di radiazione per trattamento e 200 cGy rilasciati per campo. Ciò implica un carico di lavoro W pari a 1000 Gy/settimana per acceleratore.

Si può cautelativamente assumere che il carico sia relativo a fasci fotonici da 15 MV FF. Tutti gli altri fasci (elettronici e fotonici di energia più bassa) sono infatti meno penetranti. I fasci FFF sono erogati ad un rateo di dose molto più elevato ma la loro composizione spettrale li rende meno penetranti dei fasci FF di stessa energia nominale. E' dimostrato in letteratura che normalmente la minore penetrazione compensa il maggiore rateo. Di conseguenza, l'analisi delle barriere è limitata ai soli fasci FF.

3.5 *Produzione rifiuti e parti attivate*

Le attività descritte non comportano produzione di rifiuti radioattivi. Per gli altri rifiuti, valgono le vigenti disposizioni di legge a riguardo.

Lo smontaggio degli acceleratori lineari di radioterapia al termine del loro ciclo di vita conduce alla enucleazione di componenti attivate. Il conferimento di queste componenti come rifiuto da smaltire richiede preliminarmente la loro individuazione e caratterizzazione radiologica. In particolare, il conferimento è possibile solo se da tale caratterizzazione risulta la conformità ai limiti previsti dal D.Lgs. 101/2020 per l'allontanamento degli isotopi individuati. Normalmente, le sole parti attivate risultano essere il target ed i filtri di appiattimento dei fasci FF 15 MV. In queste componenti in tungsteno risulta la presenza di isotopi instabili quali il W^{181} , derivato dall'isotopo quasi stabile W^{180} (abbondanza circa 0,12 % nella miscela naturale) attraverso la reazione di cattura $W^{180}(n, \gamma)W^{181}$. Esso decade per cattura elettronica in Ta^{181} con una emivita di 121 giorni. A seguito del processo vengono emessi fotoni gamma di riassetamento di 136 e 152 keV. Questi fotoni di fluorescenza nucleare consentono la individuazione delle parti attivate mediante comuni contatori Geiger.

Come ipotesi alternativa alla richiesta di allontanamento dal regime autorizzatorio, la ASL Viterbo può decidere di mettere in stoccaggio tali parti (che sono di piccolo peso e dimensione) entro una cella con mattoni di Pb a coda di rondine, realizzata entro una cassaforte schermata, fino al loro completo decadimento a livelli di fondo. Questa è in effetti la strategia seguita nei decenni passati in occasione della sostituzione dei target e seguita anche per lo smontaggio del Primus (l'acceleratore sostituito dal Versa). Al termine del periodo di decadimento le parti possono essere conferite come ordinario rifiuto metallico non ferroso. Tale periodo è normalmente stimabile (come da pregressa esperienza) in circa un anno.

4. *Analisi delle barriere*

Essendo la geometria dei due bunker del tutto speculare, la verifica delle barriere è fatta riportando i dati misurati sul bunker 1 con il fascio 15 MV FF della macchina ivi precedentemente installata (Siemens Primus). Per le ragioni già spiegate, questa verifica è idonea come valutazione preventiva anche per la macchina Elekta in corso di installazione. I dati misurati relativi al bunker 2 sono riportati nel benestare di radioprotezione dell'acceleratore Oncor e non riprodotti qui a causa della sostanziale sovrapposibilità con i dati del bunker 1.

I calcoli teorici del dimensionamento originario sono comunque riportati in Allegato 1.

Sono stati misurati i ratei di dose fotonica e neutronica durante la irradiazione, usando la scala più sensibile degli strumenti di misura a disposizione, che sono :

Per i fotoni : survey meter Step RGD 27091

Per i neutroni : survey meter Wedholm Medical 2222A a bassa sensibilità fotonica

E' stata impostata la massima dimensione del campo fotonico (40 x 40 cm). L' angolo di rotazione del gantry della macchina (G) è stato di volta in volta impostato in modo da riprodurre la condizione più pessimistica.

I risultati sono stati i seguenti :

Porta ingresso bunker, lato esterno, a contatto ; G = 0°, 90°

Rateo dose fotoni (con e senza diffusore di acqua) = fondo

Rateo dose neutroni (in integrazione) = 0 $\mu\text{Sv/h}$

Parete bunker lato consolle, a contatto (in particolare passacavi); G = 0°, 90°

Rateo dose fotoni (con e senza diffusore di acqua) = fondo

Rateo dose neutroni (in integrazione) = 0 $\mu\text{Sv/h}$

Corridoio dell' altro bunker, sulla direzione del fascio primario; G = 90°, nessun diffusore

Rateo dose fotoni = fondo

Rateo dose neutroni (in integrazione) = 0 $\mu\text{Sv/h}$

Parete bunker lato risonanza, sulla direzione del fascio primario; G = 270°, nessun diffusore

Rateo dose fotoni = fondo

Rateo dose neutroni (in integrazione) = 0 $\mu\text{Sv/h}$

Tetto bunker, sulla direzione del fascio primario, G= 180°, nessun diffusore

Rateo dose fotoni = 15 $\mu\text{Sv/h}$

Rateo dose neutroni (in integrazione) = 0 $\mu\text{Sv/h}$

La radiazione residua è dunque rilevabile solamente sopra il rialzo del tetto. Fotoni gamma possono uscire dal tetto quando l' angolo G è prossimo a 180° .

Da una statistica eseguita nel reparto di Radioterapia risultano trattati giornalmente pazienti con G prossimo a 180° per un numero complessivo di unità monitor pari a 1300. Poiché il rateo di erogazione della macchina è di 300 UM/min, ciò corrisponde ad un tempo totale di irradiazione di

$$1300 \text{ UM} / (300 \text{ UM/min}) = 4,3 \text{ min} = 0,072 \text{ h}$$

E dunque una dose giornaliera di :

$$0,072 \text{ h} \times 15 \mu\text{Sv/h} = 1,08 \mu\text{Sv} .$$

La dose annua, considerando i festivi, è pertanto :

$$1,08 \mu\text{Sv/gg} \times 25 \text{ gg/mese} \times 12 \text{ mesi/anno} = 0,324 \text{ mSv/anno}$$

che rientra abbondantemente nel limite di esposizione di 1 mSv/anno per la popolazione. Va inoltre tenuto presente che il tetto del bunker è zona chiusa al pubblico e abitualmente non frequentata.

Non esistono piani sottostanti e tutte le pareti non contemplate in queste misure danno su una intercapedine tecnica chiusa al pubblico, dietro la quale vi è terreno pieno (i bunker sono infatti interrati).

Fenomeni di attivazione e produzione neutronica;



Per $G = 90^\circ$ (fascio primario rivolto verso la parete di ingresso del bunker) e 500 UM impostate risulta una dose totale di neutroni a livello della parete, in assenza di diffusore, di :

86 μSv per un campo 40 x 40 cm
124 μSv per un campo 15 x 15 cm

La produzione neutronica cresce dunque con la inserzione dei collimatori in tungsteno sul fascio primario, come era da attendersi. Per il fascio da 6 MV, come era lecito attendersi, non si ha produzione neutronica misurabile.

La attivazione della testata non risulta misurabile al livello di del survey-meter (1 $\mu\text{Sv/h}$).

5. *Analisi dei rischi per i lavoratori*

I rischi professionali analizzati in questa sezione sono quelli associati all'esposizione a sorgente esterna di radiazioni ionizzanti. I livelli di dose che determinano i possibili effetti per il lavoratore sono diversi, a seconda che si considerino le condizioni di normale esercizio delle apparecchiature oppure le situazioni conseguenti agli incidenti ragionevolmente ipotizzabili.

5.1 *Condizioni di normale esercizio*

I criteri e le scelte progettuali consentono il rispetto del limite di dose prescritto per la popolazione in tutte le aree adiacenti i bunker frequentate dal pubblico. Nelle norme interne di protezione, di seguito allegate e da esporre nel luogo di lavoro, sono contenuti in dettaglio i principi basilari da seguire per esercitare l'attività di radioterapia con la sicurezza e protezione necessarie.

I criteri e le scelte progettuali inoltre posizionano le consolle di comando e controllo delle macchine radiogene posteriormente a barriere secondarie. In fase di progettazione, le zone a valle di tutte le barriere sono state classificate zona libera. Pertanto la permanenza in sala comandi può comportare un equivalente di dose annuo al massimo di 1 mSv.

Durante l'irradiazione l'accesso al bunker è interdetto a chiunque, eccetto al paziente.

Nel caso di fasci di fotoni di energia 15 MV è possibile la produzione di radioisotopi per attivazione neutronica, che rilasciano un rateo di dose massimo di circa 150 μSv /settimana (NCRP Report n. 79) ed emivita circa uguale a 1 minuto. Questo comporterebbe, nel caso del carico di lavoro assunto, un valore di dose annuo per l'operatore stimabile in 2 mSv/anno, adottando la prescrizione di rispettare un tempo di attesa di circa 2 minuti prima dell'entrata all'interno del bunker a conclusione di ciascuna seduta.

Pertanto il massimo rischio ipotizzabile per l'operatore è connesso alla possibilità di assumere un equivalente di dose totale al massimo di 3 mSv/anno. Tale stima è cautelativa perché basata sull'implausibile presupposto peggiorativo di non alternanza dello stesso operatore tra le varie macchine. Ad ogni modo, una esperienza operativa di tredici anni con fasci 15 MV FF non ha consentito di rilevare attivazione nei due bunker mentre la dose globale esterna a carico di tutti gli operatori della U.O. Radioterapia è rimasta stabile sul valore 0.

5.2 *Scenari incidentali*

Il massimo incidente credibile è costituito dalla presenza di personale all'interno di uno dei bunker durante l'emissione raggi. Tale presenza è da considerarsi accidentale in quanto vale l'assoluto divieto di permanenza entro il bunker durante l'emissione. Questo evento può avvenire per

distrazione dell'operatore alla consolle, in quanto l'interno del bunker è continuamente monitorato tramite TV CC ed interfono.

Le misure di sicurezza associate all'avvio della emissione raggi tendono a rendere estremamente implausibile questa circostanza. Infatti l'avvio è interdetto se la porta di accesso al bunker non è chiusa a battente; non può dunque sussistere alcun flusso di persone in entrata al bunker al momento dell'avvio.

Supponendo che un operatore sia rimasto chiuso all'interno del bunker, occorre tenere presente che: 1) egli può in ogni momento aprire la porta dall'interno attraverso l'apposito pulsante, interdicendo così contestualmente l'irradiazione; 2) egli è avvertito dell'imminenza dell'emissione dagli appositi segnali luminosi ed acustici percepibili anche dall'interno; 3) di conseguenza, può segnalare la sua presenza mediante l'interfono o la telecamera; 4) nel caso, infine, che i tempi di intervento siano strettissimi, può azionare uno dei pulsanti di spegnimento di emergenza installati in più punti all'interno del bunker.

In ognuna di queste circostanze l'operatore può allontanarsi rapidamente dalla zona del fascio primario prima che questo venga emesso. Nel caso, quindi, in cui la interruzione della emissione fosse tardiva, l'operatore verrebbe investito dalla sola radiazione diffusa. L'ammontare della dose da radiazione diffusa a circa 1 m di distanza lateralmente dall'isocentro è convenzionalmente stimata nell'ordine dell'1 per mille della dose all'isocentro. Assumendo perciò un rateo di dose all'isocentro di circa 300 cGy/min si avrebbe, per un tempo di ritardo di 5 s, una dose assorbita di 0,25 mGy.

In conclusione si può ritenere che, nell'ambito dell'esercizio ordinario degli impianti, e considerando scenari incidentali plausibili, i livelli di dose assorbita sono tali da indurre effetti sanitari classificabili nel contesto degli effetti stocastici. Non risulta comunque approcciabile il limite di dose per esposizione globale esterna dei lavoratori esposti di Categoria B (6 mSv/anno).

6. *Valutazione delle dosi ai lavoratori*

A conclusione di quanto discusso nel paragrafo precedente, si può attribuire agli operatori dell'Unità Operativa di Radioterapia un valore di dose equivalente globale annuo inferiore a **3,25 mGy**, con inclusione degli scenari incidentali credibili.

Tale dose è da intendersi derivata da sola irradiazione esterna globale, data l'assenza di radioisotopi di qualsivoglia natura.

7. *Analisi dei rischi per la popolazione*

La progettazione delle barriere garantisce, nelle zone libere immediatamente adiacenti ai due bunker, il rispetto del limite di dose equivalente globale di 1 mSv annuo per la popolazione.

8. *Classificazione del personale e delle zone.*

Il personale addetto è quindi classificato **esposto di categoria B** ai sensi del D.Lgs. 101/2020. Tale personale è munito di dosimetro individuale tipo badge per la rilevazione della esposizione globale esterna, con sostituzione mensile.

I due bunker sono classificati **zona controllata ad accesso interdetto, limitatamente al periodo di emissione raggi**.

La sala di simulazione è classificata zona controllata ad accesso interdetto, limitatamente al periodo di emissione raggi.

I restanti locali, comprese le aree di comando delle tre apparecchiature, sono classificati zona libera.

Resta inteso che, nel caso delle zone controllate, l'interdizione all'accesso non si applica al paziente.

9. *Regolamento di sicurezza*

Si riporta di seguito il testo del regolamento di sicurezza affisso in prossimità.

9.1 *Norme operative di sicurezza*

9.1.1 *Norme generali di sicurezza*

- 1) L'uso delle sorgenti radiogene è consentito solo al personale autorizzato.
- 2) Non adibire il personale a rischio da radiazioni senza idoneità medica e controllo dosimetrico.
- 3) Esporre all'ingresso della Zona Controllata il relativo contrassegno; l'accesso in tale zona è consentito esclusivamente al personale autorizzato.
- 4) Nessuna persona, ad eccezione del paziente, deve essere presente nella zona controllata durante l'erogazione del fascio radiante.
- 5) Comunicare preventivamente tutte le variazioni del personale radioesposto alla U.O. di Fisica Sanitaria per gli adempimenti di legge.
- 6) Comunicare tempestivamente alla U.O. Fisica Sanitaria eventuali variazioni nei carichi di lavoro, negli impianti o delle sorgenti disponibili.

9.1.2 *Radioprotezione dei lavoratori*

- 1) Non rimuovere né modificare, senza averne ottenuta l'autorizzazione, dispositivi, mezzi di protezione, di segnalazione, di sicurezza e di misura.
- 2) Informare immediatamente la U.O. di Fisica Sanitaria qualora si verificano situazioni anomale o di emergenza, in particolare quelle comportanti esposizioni accidentali. Comunicare, inoltre, qualsiasi deficienza dei dispositivi di sicurezza e di sorveglianza dosimetrica, nonché le altre eventuali condizioni di pericolo di cui si venga a conoscenza. In particolare, assicurarsi della corretta chiusura delle porte e del corretto funzionamento degli interblocchi.
- 3) Non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre non di propria competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza.

- 4) In caso di incendio: comandare l'immediata sospensione dell'irradiazione, entrare nel bunker ed aiutare il paziente ad uscire, interrompere la corrente e munirsi di sistema anti-incendio.
- 5) Durante le sospensioni del servizio, disinserire la chiave dalla consolle di comando e custodirla in luogo sicuro.
- 6) Operare con le sorgenti solo se muniti del dosimetro individuale.
- 7) Il dosimetro assegnato ad ogni lavoratore è strettamente personale e non può essere ceduto o prestato ad altri. Esso non va utilizzato al di fuori dell'ambiente di lavoro di questa Azienda.
- 8) La conservazione e l'uso corretto del dosimetro sono responsabilità dell'operatore. Il badge deve essere indossato all'altezza del torace con la finestrina rivolta verso l'esterno.
- 9) Il dosimetro va conservato, durante le ore di assenza dal servizio, lontano sia dalle fonti di radiazioni ionizzanti che di calore, e comunque sempre a disposizione del personale della U.O. Fisica Sanitaria.
- 10) Il dosimetro non deve essere modificato o manomesso, né esposto volontariamente a sorgenti di radiazione.
- 11) Informare la U.O. Fisica Sanitaria del mancato cambio dei dosimetri o loro eventuale smarrimento.
- 12) Nel caso di accidentale irradiazione del dosimetro, darne tempestiva comunicazione alla U.O. Fisica Sanitaria.

9.1.3 *Disposizioni particolari per le lavoratrici in gravidanza*

- 1) E' fatto obbligo alle lavoratrici di notificare al datore di lavoro il proprio stato di gestazione non appena accertato (Artt. 8; 7 All. A, lettera d; 11, All. C, lettera a.1.d; D.Lgs. 151/2001).
- 2) Il datore di lavoro deve immediatamente sospendere la lavoratrice interessata da qualsiasi attività in zona controllata.

9.1.4 *Radioprotezione del paziente*

- 1) Durante il trattamento monitorare continuamente il paziente mediante TV CC ed interfono.
- 2) Ogni mattina, prima dell'uso, verificare il corretto funzionamento di tutti i dispositivi di segnalazione e di sicurezza, oltre che dei sistemi televisivi e fonici.
- 3) Verificare la rispondenza tra i parametri di trattamento prescritti e quelli impostati.

10. *Organizzazione della sorveglianza fisica.*



10.1 *Periodicità delle valutazioni*

- 1) Il dosimetro individuale al corpo deve essere sostituito ogni mese.
- 2) La frequenza delle valutazioni di radioprotezione ambientale è annuale.
- 3) La frequenza delle verifiche degli strumenti di misura è biennale.
- 4) La valutazione delle dosi ai lavoratori è annuale.

10.2 *Periodicità delle comunicazioni*

- 1) Comunicazione al datore di lavoro delle dosi ricevute dai lavoratori esposti: annuale.
- 2) Trasmissione delle dosi al Medico Autorizzato: annuale.

11. *Benestare radioprotezionistico*

A conclusione delle valutazioni e delle prescrizioni contenute nella presente relazione, si rilascia benestare radioprotezionistico alla installazione, ai sensi del D.Lgs. 101/2020.

Questa relazione fa parte della documentazione relativa alla sorveglianza fisica della radioprotezione; come tale sarà allegata al registro di sorveglianza fisica istituito ai sensi del D.Lgs. 101/2020.

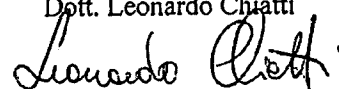
12. *Elenco allegati*

- 1) Calcolo delle barriere per i bunker 1 e 2 - U.O. di Radioterapia dell'Ospedale di Belcolle, Viterbo
- 2) Foto della planimetria e della sezione scala 1:50 del bunker 1 (dal progetto originario)
- 3) Foto della planimetria scala 1:100 dell'unità operativa di radioterapia (dal progetto originario)

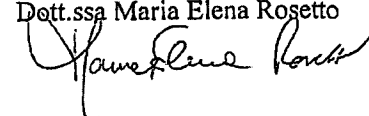
Viterbo, 31 Marzo 2021

Dott. LEONARDO CHIATTI
Esperto in Radioprotezione
III° Grado n. 369 (D.Lgs. 101/2020)

L' Esperto in Radioprotezione
Responsabile U.O. Fisica Sanitaria

Dott. Leonardo Chiatti


Il Medico Responsabile
Direttore f.f. U.O.C. Radioterapia

Dott.ssa Maria Elena Rosetto


Allegato n. 1

Calcolo delle barriere per i bunker ospitanti gli acceleratori lineari Siemens Oncor ed Elekta Versa HD - U.O. di Radioterapia dell'Ospedale di Belcolle, Viterbo

1) Considerazioni preliminari

Le barriere di entrambi i bunker sono state valutate attribuendo il carico di lavoro totale ai fasci fotonici di 15 MV FF. La intensità di dose all' isocentro è assunta di 300 UM/min. Il bunker n. 1, attiguo ai locali NMR, ospiterà il Versa, mentre l'Oncor è installato nel rimanente bunker n. 2.

2) Considerazioni tecniche

Il calcolo delle barriere protettive (comprese le porte di accesso), illustrate nella planimetria in scala 1:50 allegata, è effettuato utilizzando i metodi di calcolo, criteri, curve di attenuazione e tabelle contenuti nelle seguenti pubblicazioni: N.C.R.P. N. 49, N.C.R.P. N. 51, N.C.R.P. N. 79, I.C.R.P. N. 33, I.C.R.P. N. 60, guida tecnica n. 188 dell'I.A.E.A. e norme DIN 6847. Per maggior dettaglio la base dei calcoli è esposta nell'appendice A (fotoni) e nell'appendice B (neutroni).

Il campo massimo di radiazione ammonta, per entrambe le macchine, a 40 x 40 cm all' isocentro. Per entrambe le macchine, l' isocentro è posto ad 1 m dalla sorgente (target o fuoco).

Il rateo di dose da radiazione di fuga ad 1 m di distanza laterale dalla sorgente è considerato pari allo 0.1% del rateo di dose all' isocentro da radiazione primaria.

L' intensità della radiazione diffusa ad 1 m di distanza laterale dall' isocentro da parte di un diffusore posto all' isocentro con una superficie irradiata di 1 m² è considerata pari all'1% della radiazione primaria.

Il carico di lavoro ipotizzato è pari a 1000 Gy/settimana all' isocentro.

La classificazione delle aree è la seguente. L'interno del bunker è classificato zona controllata ad accesso interdetto durante l'emissione raggi. La sala comandi e tutte le restanti aree confinanti con il bunker sono classificati zona libera. I limiti di dose da non superare, prescritti dal D.Lgs. 101/2020 per le diverse zone sono:

zona libera	H = 1 mSv/anno,
zona sorvegliata	H = 6 mSv/anno,
zona controllata	H = 20 mSv/anno,

che si considerano rispettati se sono soddisfatti i seguenti limiti settimanali:

zona libera	H = 0.02 mSv/settimana,
zona sorvegliata	H = 0.12 mSv/settimana,
zona controllata	H = 0.40 mSv/settimana.

Non esistono locali sovrastanti e/o sottostanti. Le pareti esterne dei bunker danno su una intercapedine nella quale la presenza umana è limitata a circostanze particolari (riparazioni). L'intera struttura è interrata.



3) Spessori delle barriere

Nelle tabelle seguenti sono riportati gli spessori delle barriere in cemento ordinario ottenuti applicando i metodi di calcolo descritti nelle pubblicazioni tecniche elencate nel par. 2). Le formule utilizzate per la valutazione degli spessori decivalenti SDV e i valori adottati per questi ultimi sono reperibili nelle appendici.

BUNKER N°1 (Versa HD)

Barriera	Categoria	Spessore cemento calcolato (cm)	Spessore cemento da progetto (cm)	Osservazioni
Parete 1A	Primaria	240	280	Idonea
Parete 1B	Secondaria	157	160	Idonea
Parete 2	Secondaria	127	130	Idonea
Parete 3A	Primaria	137	140	Idonea
Parete 3B	Secondaria	80	140	Idonea
Parete 4	Secondaria	157	170	Idonea
Parete 5A	Primaria	94	140	Idonea
Parete 5B	Secondaria	140	140	Idonea
Soffitto A	Primaria	225	230	Idonea
Soffitto B	Secondaria	130	130	Idonea
Parete sopra porta	Terziaria	75	130	Idonea

BUNKER N°2 (Oncor)

Barriera	Categoria	Spessore cemento calcolato (cm)	Spessore cemento da progetto (cm)	Osservazioni
Parete 1A	Primaria	214	280	Idonea
Parete 1B	Secondaria	131	160	Idonea
Parete 2	Secondaria	127	130	Idonea
Parete 3A	Primaria	137	140	Idonea
Parete 3B	Secondaria	80	140	Idonea
Parete 4	Secondaria	157	170	Idonea
Parete 5A	Primaria	94	140	Idonea
Parete 5B	Secondaria	140	140	Idonea
Soffitto A	Primaria	225	230	Idonea
Soffitto B	Secondaria	130	130	Idonea
Parete sopra porta	Terziaria	75	130	Idonea

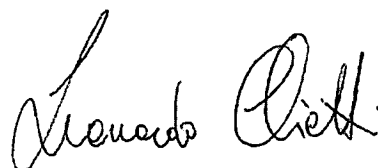
4) Porte

Le porte d'accesso ai bunker sono realizzate con 20 cm di paraffina (polietilene), 0.1 cm di cadmio e 3 cm di piombo, disposti nell'ordine dall'interno all'esterno del bunker; gli spessori di piombo e di cadmio rivestono la paraffina (polietilene) anche lateralmente.

Le porte sono a scorrimento; esse scorrono lungo guide incassate nel terreno e profilate in modo tale da non ostacolare il passaggio di persone e barelle. La distanza parete-porta non supera un decimo della larghezza della porzione di porta sovrapposta alla parete all'atto della completa chiusura della porta stessa. Questo vincolo vale per i quattro lati della porta.

Sono inoltre munite di dispositivo antischiacciamento, pulsante di apertura ad uomo morto, meccanismo di apertura manuale, dispositivo di apertura automatico in caso di perdita di tensione.

Le porte sono munite di interruttore connesso all'interblocco della emissione raggi dei due acceleratori.



Dott. LEONARDO CHIATTI
Esperto in Radioprotezione
III° Grado n. 369 (D.Lgs. 101/2020)

APPENDICE A: formulario fotoni

Significato dei termini:

- W = carico di lavoro in Gy/settimana (1000 Gy m² / settimana)
H = equivalente di dose massima ammissibile per la zona oltre la barriera (Sv / settimana)
U = fattore d'uso (adimensionale)
T = fattore d'occupazione (adimensionale)
r₀ = distanza testata di trattamento – parete esterna della barriera (m)
r₁ = distanza isocentro – parete esterna della barriera (m)
r₂ = distanza diffusore – parete esterna della barriera (m)
r_{sc} = distanza isocentro – diffusore (1 m)
a = area del campo massimo all'isocentro (0,16 m²)
a_L = area della sezione del labirinto (7 m²)
SDV = strato decivalente (cm)
N₁₀ = numero di strati decivalenti necessari per ottenere l'attenuazione desiderata

Radiazione primaria

$$N_{10} = \log \left(\frac{W \cdot U \cdot T}{H \cdot r_0^2} \right)$$

Radiazione di fuga

$$N_{10} = \log \left(\frac{10^{-3} \cdot W \cdot U \cdot T}{H \cdot r_0^2} \right)$$

Nota : coefficiente di conversione : 0,001 ad r₀ = 1 m .

Radiazione diffusa

$$N_{10} = \log \left(\frac{10^{-2} \cdot a \cdot W \cdot U \cdot T}{H \cdot r_1^2 \cdot r_{sc}^2} \right)$$

Nota : coefficiente di prima diffusione = 0,01 ad r_{sc} = 1 m per a = 1 m².

Radiazione diffusa terziaria

$$N_{10} = \log \left[\left(\frac{W \cdot U \cdot T}{H \cdot r_{sc}^2} \right) \left(\frac{10^{-2} \cdot a}{r_1^2} \right) \left(\frac{10^{-1} \cdot a_L}{r_2^2} \right) \right]$$

Nota : coefficiente di seconda diffusione = 0,1 ad r_{sc} = 1 m per a_L = 1 m².

APPENDICE B: formulario neutroni

Significato dei termini:

- W = carico di lavoro in Gy/settimana all' isocentro (1000 Gy / settimana)
H = equivalente di dose massima ammissibile oltre la barriera (Sv / settimana)
U = fattore d'uso (adimensionale, assunto pari ad 1 per ogni barriera)
T = fattore d'occupazione (adimensionale, assunto pari ad 1 per ogni barriera)
 r_0 = distanza testata di trattamento - parete esterna della barriera (m)
S = superficie totale interna del bunker (198 m²)
A = coefficiente adimensionale dipendente dalla composizione della testata della macchina;
A = 1 per Pb, A = 0,85 per W. Cautelativamente si assume A = 1.
Q = numero di neutroni veloci prodotti per Gy di raggi gamma all' isocentro, integrato su tutto l' angolo solido (0,2 x 10¹² n / Gy-x per il Versa, assunto da letteratura rif. 1)
 Φ_{dir} = fluenza neutronica diretta (n / cm² Gy-x)
 Φ_{sc} = fluenza neutronica diffusa (n / cm² Gy-x)
 Φ_{th} = fluenza neutronica termica (n / cm² Gy-x)
 λ_{fast} = fattore di conversione della fluenza neutronica veloce in rateo di dose assorbita, secondo AAPM 19 (2,477 nGy/min per n / cm² s)
 λ_{slow} = fattore di conversione della fluenza neutronica lenta in rateo di dose assorbita, secondo AAPM 19 (2,4 pGy/min per n / cm² s)
F = fattore di qualità della radiazione neutronica (cautelativamente assunto F = 11 Sv/Gy, valore massimo sullo spettro)
SDV = strato decivalente (cm)
 N_{10} = numero di strati decivalenti necessari per ottenere l'attenuazione desiderata

Radiazione diretta

$$\Phi_{dir} = \frac{AQ}{4\pi r_0^2} \quad N_{10} = \log \left(\frac{\Phi_{dir} \lambda_{fast} W \cdot U \cdot T \cdot F}{H} \right)$$

Radiazione diffusa

$$\Phi_{sc} = \frac{5,4 A Q}{S} \quad N_{10} = \log \left(\frac{\Phi_{sc} \lambda_{fast} W \cdot U \cdot T \cdot F}{H} \right)$$

Componente termica

$$\Phi_{th} = \frac{1,26 Q}{4\pi r_0^2} \quad N_{10} = \log \left(\frac{\Phi_{th} \lambda_{slow} W \cdot U \cdot T \cdot F}{H} \right)$$

APPENDICE C: Valori utilizzati per gli SDV:

SDV per fotoni della radiazione primaria e di fuga:

calcestruzzo ordinario = 45 cm

SDV per fotoni della radiazione diffusa:

calcestruzzo ordinario = 37 cm

SDV per fotoni della radiazione diffusa terziaria (assimilazione a fotoni monoenergetici di 1 MeV):

calcestruzzo ordinario = 15 cm

piombo = 2.52 cm

SDV per neutroni diretti

calcestruzzo ordinario = 25 cm il primo e 16 cm il secondo ed i successivi

SDV per neutroni diffusi

calcestruzzo ordinario = 25 cm il primo e 16 cm il secondo ed i successivi

paraffina o polietilene = 8 cm

calcestruzzo ordinario (calcestruzzo o.) (densità minima 2.3 g/cm³)



APPENDICE D: Valutazione barriere

Barriera	Categoria	Zona a valle	H (mSv/sett)	U	T	r ₀ (m)	r ₁ (m)	N ₁₀	Note
Parete 1A – Bunker n. 1	Primaria	Libera	0,02	¼	1	7,2	--	5,3	1
Parete 1 B – Bunker. n. 1	Secondaria	Libera	0,02	1	1	5	5	3,5 pr.	1
Parete 1A – Bunker n. 2	Primaria	Libera	0,02	¼	¼	7,2	--	4,7	2
Parete 1B– Bunker n. 2	Secondaria	Libera	0,02	1	¼	5	5	2,9 pr.	2
Parete 2	Secondaria	Libera	0,02	1	¼	5,5	5,5	2,8 pr.	2
Parete 3A	Primaria	Controll.	0,4	¼	1/1 6	6	--	3	
Parete 3B	Secondaria	Controll.	0,4	1	1/1 6	4,5	5,5	4,4 n.	
Parete 4	Secondaria	Libera	0,02	1	1	5	5	3,5 pr.	3
Parete 5A	Primaria	Libera	0,02	¼	1	9,5	--	2,1	
Parete 5B	Secondaria	Libera	0,02	1	1	8	9	3,1 pr.	
Soffitto A	Primaria	Libera	0,02	¼	¼	5,5	--	5	4
Soffitto B	Secondaria	Libera	0,02	1	¼	5	5	2,9 pr.	4
Parete sopra porta	Terziaria	Libera	0,02	1	1	--	7	4,1 n.	5

Note :

I valori di U e T riportati sono relativi alla radiazione fotonica.

1 – Locali NMR

2 – Intercapedine con accesso umano limitato ad interventi di servizio

3 – In questa parete deve essere praticato un foro passacavi, con i criteri descritti al punto 2.b della relazione.

4 – Terrazzo non accessibile.

5- E' assunta una lunghezza $r_2 = 8,5$ m , essendo questa la lunghezza del corridoio da progetto.

Calcolo della porta ;

Per i fotoni si assume il numero di strati decivalenti già calcolato per la parete soprastante. Essi corrispondono a 3 cm di Pb.

La radiazione neutronica incidente sulla porta è costituita da due componenti : la primaria riflessa e la molteplicemente diffusa. La prima viene stimata attenuando la primaria neutronica con un fattore di albedo 6×10^{-2} ricavato da NCRP 51, ottenendo 15,2 cm di paraffina. Della seconda si tiene conto aggiungendo uno spessore emivalente di paraffina (NCRP 51) pari a 2,4 cm. Si ottiene così uno spessore totale di 17,6 cm di paraffina, portato cautelativamente a 20 cm.

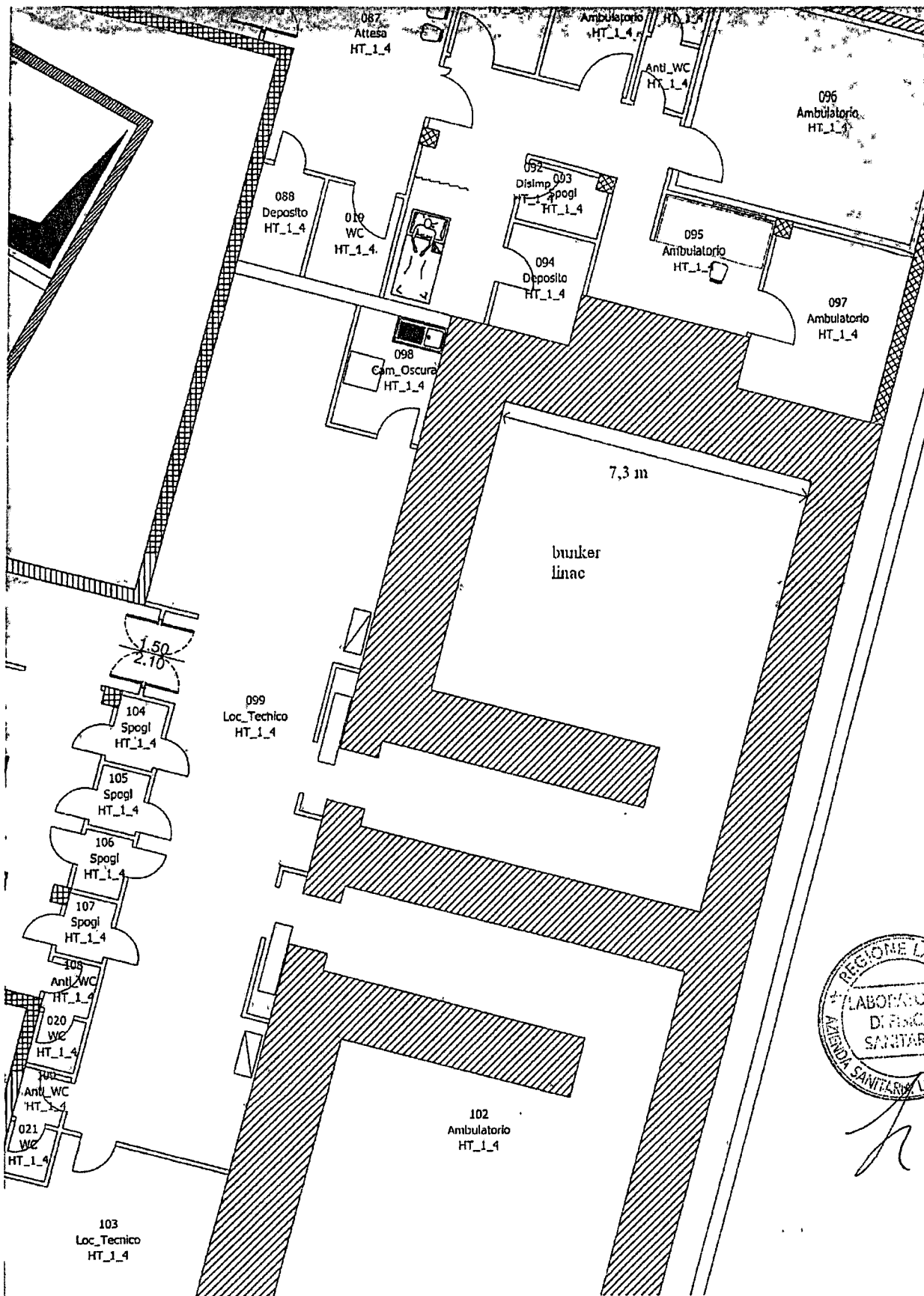
Si aggiunge 1 mm di Cd per la cattura dei neutroni incidenti.



13. *Bibliografia*

- 1) "The measurement of photoneutrons in the vicinity of a Siemens Primus linear accelerator", Jao-Peng Lin et al. *Applied Radiation and Isotopes* 55-3, 315-321 (2001)
- 2) NCRP Report n° 38 "Protection against neutron radiation" (1971)
- 3) NCRP Report n° 49 "Structural shielding design and evaluation for medical use of X-rays and gamma rays of energies up to 10 MeV" (1976)
- 4) NCRP Report n° 51 "Radiation protection design guidelines for 0,1-100 MeV particle accelerator facilities" (1976)
- 5) NCRP Report n° 79 "Neutron contamination from medical electron accelerators" (1984)
- 6) IAEA technical reports series n° 188 "Radiological safety aspect of the operation of electron linear accelerators" (1979)
- 7) ICRP Publication n° 33 "Protection against ionizing radiation from external sources used in medicine" (1981)
- 8) ICRP Publication n° 35 "General principles of monitoring for radiation protection of workers" (1982)
- 9) ICRP Publication n° 57 "Radiological protection of the worker in medicine and dentistry" (1989)
- 10) ICRP Publication n° 60 "Raccomandazioni 1990 della commissione internazionale per la protezione radiologica" (1991)



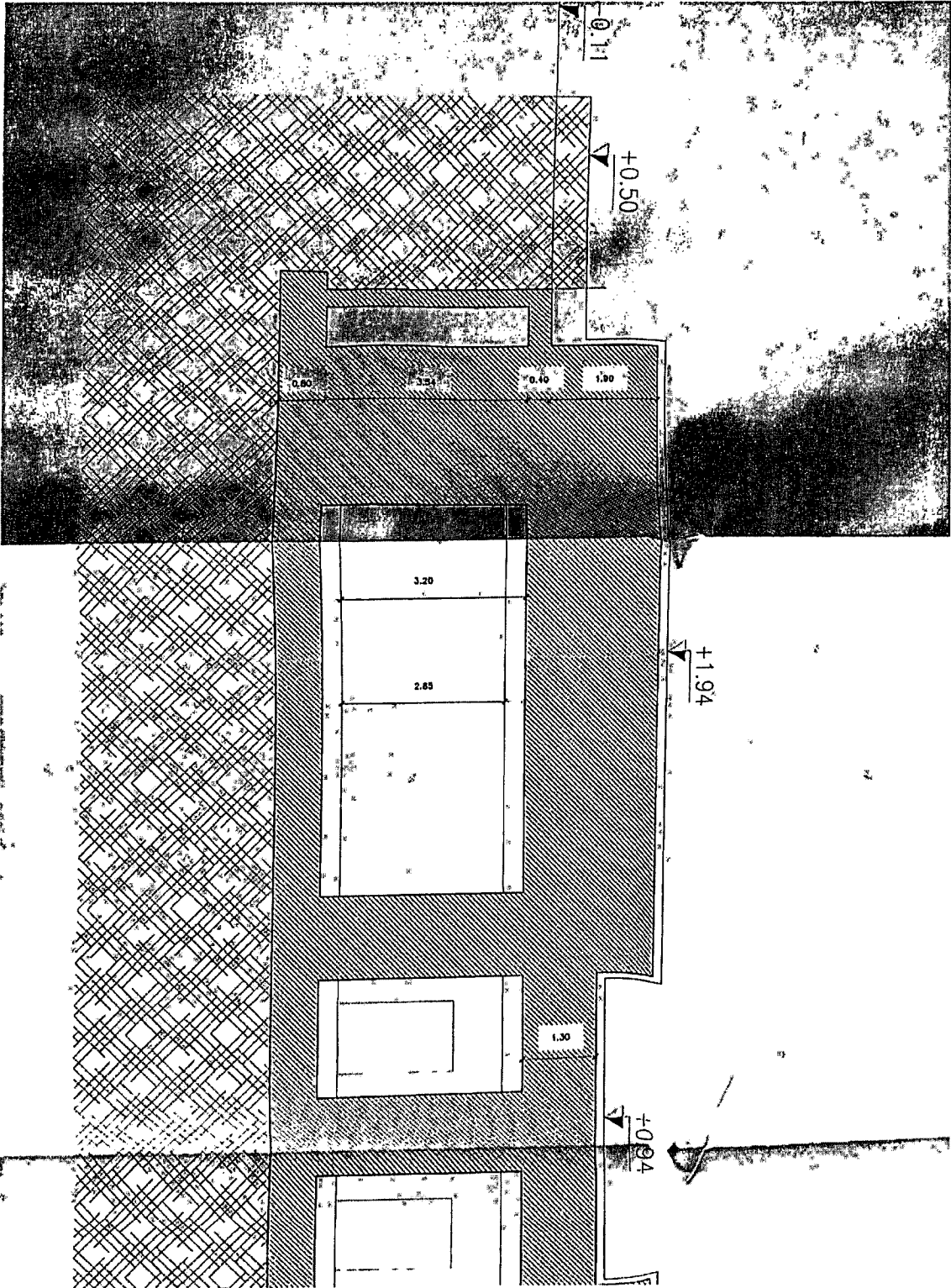


Handwritten signature



Scansionato con CamScanner





Scansionato con CamScanner

