

Tab. A - Calcolo degli spessori delle barriere protettive primarie

Riferimento metodo di calcolo utilizzato: IAEA n° 188 e NCRP n° 51  
Riferimento planimetria allegata alla presente relazione

Dn (Densità calcestruzzo normale) = 2,35 g/cm3
Db (Densità calcestruzzo baritico) = 3,5 g/cm3
Db/Dn = 1,401
TVLn (spessore decivalente calcestruzzo normale) = 43 cm
TVLb (spessore decivalente calcestruzzo baritico) = TVLn * Db/Dn = 30,6 cm

		Parete A (zona A1 )	Parete C (zona C1)	Soffitto S (zona S1)
Tipo radiazione		primaria	primaria	primaria
W	Gym^2/sett.	1000	1000	1000
U		0,25	0,25	0,25
P (dose permessa oltre la barriera)	microGy /sett.	30	100	20
d0	m	6	4	4,5
df	m	7	5	5,5
R diretta	cGy/sett	510	1000	826
T		0,25	0,1	0,25
P1 (dose permessa/T)	microGy/sett.	120	1000	80
B		2,35E-05	1,00E-04	9,68E-06
n° TVL		4,63E+00	4,00E+00	5,01E+00
TVL calcestruzzo normale	cm	43	43	43
TVL calcestruzzo baritico	cm	30,6	30,6	30,6
Spessore calcestruzzo normale	cm	199	172	216
Spessore calcestruzzo baritico	cm	142	123	154
Spessore di esecuzione in calcestruzzo normale	cm	200	175	220
Spessore di esecuzione in calcestruzzo baritico	cm	145	125	155

Legenda:
W = Carico di lavoro alla settimana a 1 metro dalla sorgente
U = Fattore d'uso
T= Fattore di occupazione
P= Dose permessa a valle della barriera
d0= Distanza dall'isocentro al punto considerato (a valle della barriera)
df = Distanza dalla sorgente al punto considerato (a valle della barriera)
R diretta = Dose alla settimana che si ha nel punto considerato
B = Fattore di trasmissione
TVL = Strato decivalente. I valori di TVL per ca normale e baritico sono stati ricavati dai report IAEA n° 188 e NCRP n° 51

**Tab. B - Calcolo degli spessori delle barriere protettive secondarie**

Riferimento metodo di calcolo utilizzato: IAEA n° 188 e NCRP n° 51  
Riferimento planimetria allegata alla presente relazione

Dn (Densità calcestruzzo normale) = 2,35 g/cm <sup>3</sup>
Db (Densità calcestruzzo baritico) = 3,5 g/cm <sup>3</sup>
Db/Dn = 1,401
TVLn (spessore decivalente calcestruzzo normale) = 43 cm
TVLb (spessore decivalente calcestruzzo baritico) = TVLn * Db/Dn = 30,6 cm

		Parete A (zona A2 fuori dal fascio primario)	Parete C (zona C2 fuori dal fascio primario)	Parete B (sala comandi)	Parete B (sala comandi) con limite di dose della popolazione	Parete D	Parete E (zona E1)	Soffitto S (zona S2 fuori dal fascio primario)
Tipo radiazione		secondaria	secondaria	secondaria	secondaria	secondaria	secondaria	secondaria
W	Gym^2/sett.	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
U		1	1	1	1	1	1	1
% fuga		0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%
% diffusa dal paziente		0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%
%diffusa dalle pareti		1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%
P (dose permessa oltre la barriera)	microGy /sett.	30	100	30	30	20	20	20
d0	m	6	4	4,5	4,5	4,2	7,5	4
df	m	7,5	5	4,5	4,5	4,2	7,5	4
dA	m	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
dC	m	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
dS	m	3	3	3	3	3	3	3
dP	m	2	2	2	2	2	2	2
d1A	m		7,5	4,5	4,5	4,2	11,0	3,5
d1C	m			4,5	4,5	4,2		3,5
d1S	m	5,5	4	4,5	4,5	4,2	7,5	
d1P	m	5,5	4	4,5	4,5	4,2	7,5	5
Area sul paziente	m^2	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Area media sulle pareti del campo di radiazione	m^2	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Rf (radiazione di fuga a valle della barriera)	cGy/sett	13,9	31,3	24,7	24,7	28,3	8,9	31,3
Rpaz (radiazione diffusa dal paziente a valle della barriera)	cGy/sett	2,8	6,3	4,9	4,9	5,7	1,8	6,3
Rpar (radiazione diffusa dalle pareti a valle della barriera)		2,3	4,1	4,3	4,3	4,9	1,2	3,6
Rt = Rf+Rpaz+Rpar	cGy/sett	19,0	41,6	33,9	33,9	38,9	11,9	41,1
T		0,25	0,10	1,00	1,00	0,125	0,25	0,25
P1 (dose permessa/T)	microGy /sett.	120	1000	30	20	160	80	80
B (trasmissione richiesta)		6,3E-04	2,4E-03	8,9E-05	5,9E-05	4,1E-04	6,7E-04	1,9E-04
n° TVL		3,2E+00	2,6E+00	4,1E+00	4,2E+00	3,4E+00	3,2E+00	3,7E+00
TVL calcestruzzo normale	cm	43	43	43	43	43	43	43
TVL calcestruzzo baritico	cm	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6
Spessore calcestruzzo normale	cm	138	113	174	182	146	136	160
Spessore calcestruzzo baritico	cm	98	80	124	130	104	97	114
Spessore di esecuzione in calcestruzzo normale	cm	140	115	175	185	150	140	165
Spessore di esecuzione in calcestruzzo baritico	cm	100	80	125	130	105	100	115

Legenda:  
W = Carico di lavoro alla settimana a 1 metro dalla sorgente  
U = Fattore d'uso  
T= Fattore di occupazione  
P= Dose permessa a valle della barriera  
d0= Distanza dall'isocentro al punto considerato (a valle della barriera)  
df = Distanza dalla sorgente al punto considerato (a valle della barriera)  
dA,C,S,P = Distanza in metri della sorgente alla parete A,C,S e P  
d1A,1C,1S,1P = Distanza in metri tra la parete A, C, S e P e il punto considerato (vuoto se non contribuisce)  
Rt = Dose totale dovuta alla radiazione di fuga, alla radiazione diffusa dal paziente e dalle pareti che si ha alla settimana nel punto considerato  
B = Fattore di trasmissione  
TVL = Strato decivalente. I valori di TVL per calcestruzzo normale e baritico sono stati ricavati dai report IAEA n° 188 e NCRP n° 51

Tab. B - segue calcolo degli spessori delle barriere protettive secondarie

Riferimento metodo di calcolo utilizzato: IAEA n° 188 e NCRP n° 51  
Riferimento planimetria allegata alla presente relazione

Dn (Densità calcestruzzo normale) = 2,35 g/cm3
Db (Densità calcestruzzo baritico) = 3,5 g/cm3
Db/Dn = 1,401
TVLn (spessore decivalente calcestruzzo normale) = 43 cm
TVLb (spessore decivalente calcestruzzo baritico) = TVLn * Db/Dn = 30,6 cm

		Parete E (zona E2)
Tipo radiazione		secondaria
U		1
W	Gym^2/sett.	1000
% fuga		0,50%
% diffusa dal paziente		0,10%
%diffusa dalle pareti		1,00%
d0 distanza del punto considerato (D2) dall'isocentro	m	5,5
df distanza del punto considerato D2 (a valle della barriera) dalla sorgente	m	5,5
dA		4,5
dC	m	3,5
dS	m	3
dP	m	2
d1A		9
d1C	m	
d1S	m	5,5
d1P	m	5,5
Area sul paziente	m^2	0,04
Area media sulle pareti del campo di radiazione	m^2	0,7
Rf (radiazione di fuga nel punto D2)	cGy/sett	16,5
Rpaz(radiazione diffusa dal paziente nel punto D2)	cGy/sett	3,3
Rpar (radiazione diffusa dalle pareti nel punto D2)	cGy/sett	2,20
Rt nel punto D2	cGy/sett	22,0
T		1,00
Area 2° scattering	m^2	4,00
Distanza tra D2 e il punto considerato a valle della barriera	m	3,00
Rt a valle della barriera E1 dopo 2°scattering	cGy/sett	0,0979
P	microGy /sett.	20
P1 (dose permessa/T)	microGy /sett.	20
B (trasmissione richiesta)		2,043E-02
n° TVL		1,690E+00
TVL calcestruzzo normale	cm	43
S in calcestruzzo normale	cm	73
Spessore finale in calcestruzzo normale	cm	100

Legenda:  
W = Carico di lavoro  
U = Fattore d'uso  
T= Fattore di occupazione

P= Dose permessa a valle della barriera  
d0= Distanza dall'isocentro al punto considerato (a valle della barriera)  
df = Distanza dalla sorgente al punto considerato (a valle della barriera)  
dA,C,S,P = Distanza in metri della sorgente alla parete A,C,S e P  
d1A,1C,1S,1P = Distanza in metri tra la parete A, C, S e P e il punto D2 (vuoto se non contribuisce)  
Rt = Dose totale dovuta alla radiazione di fuga, alla radiazione diffusa dal paziente e dalle pareti alla radiazione che si ha alla settimana a valle della barriera  
B = Fattore di trasmissione  
TVL = Strato decivalente. I valori di TVL per ca normale e baritico sono stati ricavati dai report IAEA n° 188 e NCRP n° 51  
S = Spessore barriera

**Tab. C - Riepilogo degli spessori minimi delle barriere protettive da aggiungere in pratica**

Riferimento planimetria allegata alla presente relazione

Parete	Tipo di Radiazione	Spessore da in c.a normale	Spessore in c.a baritico
A (zona A1 )	Primaria	200	145
A (zona A2)	Secondaria	140	100
C (zona C1)	Primaria	175	125
C (zona C2)	Secondaria	115	80
B (sala comandi)	Secondaria	175	125
D	Secondaria	150	105
E (zona E1)	Secondaria	140	100
E (zona E2)	Secondaria	100	/
Soffitto S (zona S1)	Primaria	220	155
Soffitto S (zona S2)	Secondaria	165	115

**Spessore porta: 200 mm di paraffina + 2 mm di cadmio + 75 mm di piombo**

### **Tab. D - Calcolo dello spessore della porta**

Riferimento metodo di calcolo utilizzato: NCRP n° 79  
Riferimento planimetria allegata alla presente relazione

TVL Piombo per 2,2 MeV = 55 mm
TVL Paraffina per 0,5 MeV = 8 cm

<b>Resa di neutroni all'isocentro</b>	mSv/Gy	1,0
<b>W</b>	Gym <sup>2</sup> /sett.	1000
<b>Wn</b>	mSvm <sup>2</sup> /sett.	1000
<b>di</b>	m	4,5
<b>dl</b>	m	6,8
<b>Wpn</b>	microSv/sett.	2156
<b>W<sub>γ</sub></b>	microSv/sett.	431
<b>Wx (Vedere tabella successiva)</b>	microSv/sett.	191
<b>Wx<sub>γ</sub></b>	microSv/sett.	622
<b>P Dose totale ammessa oltre la porta</b>	microSv/sett.	30
<b>P1 Dose ammessa gamma e x oltre la porta</b>	microSv/sett.	20
<b>n° TVL di Pb</b>		1,5
<b>TVL Piombo per E = 2,2 Mev</b>	cm	5,0
<b>Spessore PB</b>	cm	7,5
<b>P2 Dose ammessa neutronica oltre la porta</b>	microSv/sett.	10,0
<b>B (Fattore di trasmissione per la componente neutronica)</b>		4,6E-03
<b>n° TVL di paraffina</b>		2,3
<b>TVL della paraffina</b>	cm	8,0
<b>Spessore Paraffina</b>		19
<b>Spessore di Cd</b>	mm	2

Note:

Wn = Intensità di dose neutronica ad 1 metro dal target (mSv/sett.)  
di = Distanza dall'isocentro all'entrata del labirinto  
dl = Lunghezza labirinto  
Wpn= Intensità di dose neutronica a valle della porta del Bunker  
W<sub>γ</sub> = Dose gamma associata alla cattura neutronica  
Wx = Dose X associata alla radiazione scatterata che raggiunge la porta  
Wx<sub>γ</sub> = Dose totale da radiazione X e gamma  
P = Dose permessa a valle della porta  
P1 = Dose permessa a valle della porta dovuta alla componente X e gamma  
P2 = Dose permessa a valle della porta dovuta alla componente neutronica

**Spessore porta: 200 mm di paraffina + 2 mm di cadmio + 75 mm di piombo**

**Tab. E- Calcolo della radiazione diffusa che raggiunge la porta**

Riferimento metodo di calcolo utilizzato: IAEA n° 188 e NCRP n° 51

Riferimento planimetria allegata alla presente relazione

Tipo radiazione		secondaria
<b>U</b>		1
<b>W</b>	Gym <sup>2</sup> /sett.	1000
% fuga		0,50%
% diffusa dal paziente		0,10%
% diffusa dalle pareti		1,00%
<b>d0</b> distanza del punto considerato (D2) dall'isocentro	m	5,5
<b>df</b> distanza del punto considerato D2 (a valle della barriera) dalla sorgente	m	5,5
<b>dA</b>		4,5
<b>dC</b>	m	3,5
<b>dS</b>	m	3
<b>dP</b>	m	2
<b>d1A</b>		9
<b>d1C</b>	m	1,0E+09
<b>d1S</b>	m	5,5
<b>d1P</b>	m	5,5
<b>Area sul paziente (m<sup>2</sup>)</b>		0,04
<b>Area media sulle pareti del campo di radiazione (m<sup>2</sup>)</b>		0,7
<b>Rf</b> (radiazione di fuga nel punto D2)	cGy/sett	16,5
<b>Rpaz</b> (radiazione diffusa dal paziente nel punto D2)	cGy/sett	3,3
<b>Rpar</b> (radiazione diffusa dalle pareti nel punto D2)	cGy/sett	2,20
<b>Rt nel punto D2</b>	cGy/sett	22,0
<b>T</b>		1,00
<b>Area 2° scattering</b>	m <sup>2</sup>	4,00
<b>dl</b>	m	6,8
<b>Rt a valle della porta dopo 2°scattering</b>	microGy/sett	190,6

Legenda:

W = Carico di lavoro

U = Fattore d'uso

T= fattore di occupazione

P= Dose permessa a valle della barriera

d0= distanza dall'isocentro al punto considerato (a valle della barriera)

df = distanza dalla sorgente al punto considerato (a valle della barriera)

dA,C,S,P = distanza in metri della sorgente alla parete A,C,S e P

d1A,1C,1S,1P = distanza in metri tra la parete A, C, S e P e il punto D2  
(si indica con 0 se non contribuisce)

dl = lunghezza labirinto

Rt = dose totale dovuta alla radiazione di fuga, alla radiazione diffusa dal paziente e dalle pareti  
alla radiazione alla settimana che si ha valle della barriera