

INDICE

Parte I - LE RADIAZIONI IONIZZANTI E LE GRANDEZZE FISICHE DI INTERESSE IN DOSIMETRIA

Capitolo 1

Le radiazioni ionizzanti

1.1	Introduzione	19
1.2	Il fondo naturale di radiazione	21
1.2.1	La radiazione cosmica e i radionuclidi cosmogenici	21
1.2.2	La radioattività terrestre	22
1.2.3	La radioattività presente nell'atmosfera e nelle acque	26
1.3	Le radiazioni ionizzanti di uso medico e industriale	27
	<i>Bibliografia</i>	28

Capitolo 2

Le grandezze caratteristiche del campo di radiazione

2.1	Introduzione	29
2.2	La fluenza di particelle	29
2.3	Il flusso di particelle	32
2.4	L'energia radiante, la fluenza di energia, la radianza di particelle e la radianza di energia	32
	<i>Bibliografia</i>	33

Capitolo 3

Coefficienti di interazione della radiazione con un mezzo

3.1	Introduzione	35
3.2	Coefficienti di interazione per i fotoni	37
3.2.1	Coefficiente di attenuazione	37
3.2.2	Coefficiente di trasferimento di energia	41
3.2.3	Coefficiente di assorbimento di energia	44
3.2.4	I coefficienti di interazione e le sezioni d'urto	45
3.2.4.a	Effetto Rayleigh	48
3.2.4.b	Effetto Compton	48
3.2.4.c	Effetto fotoelettrico	51
3.2.4.d	Produzione di coppie	52
3.2.5	Il numero atomico efficace di un mezzo	55
	<i>Bibliografia</i>	56
3.3.	Coefficienti di interazione per le particelle cariche	57
3.3.1	Il potere frenante	60
3.3.1.a	Il potere frenante per gli elettroni	62

3.3.1.b	Il potere frenante per le particelle cariche pesanti	70
3.3.2	Potere frenante ristretto, trasferimento lineare di energia (LET)	74
3.3.3	Il "range" delle particelle cariche	78
3.3.4	La lunghezza di radiazione	85
3.3.5	L'energia media necessaria per formare una coppia di ioni in un gas	86
<i>Bibliografia</i>		88
3.4.	Coefficienti di interazione per i neutroni	89
3.4.1	Generalità sulle sorgenti di neutroni	89
3.4.2	Generalità sulle interazioni dei neutroni	91
3.4.3	Il coefficiente di attenuazione e la sezione d'urto macroscopica	94
3.4.4	I coefficienti di trasferimento e di assorbimento di energia	96
<i>Bibliografia</i>		97
Capitolo 4		
Le grandezze dosimetriche		99
4.1	Introduzione	99
4.2	La dose assorbita	99
4.3	Il kerma	102
4.4	L'esposizione	106
4.5	L'equivalente di dose	111
<i>Bibliografia</i>		115
Capitolo 5		
Relazioni fra le grandezze dosimetriche		117
5.1	Introduzione	117
5.2	L'equilibrio delle particelle cariche	117
5.3	Relazione fra dose assorbita e kerma	121
5.4	Relazione fra kerma, dose assorbita ed esposizione	128
<i>Bibliografia</i>		130
Capitolo 6		
La riferibilità delle misure ai sistemi campione		131
6.1	Grandezze, unità di misura e campioni di riferimento	131
6.2	Il coefficiente di taratura di uno strumento di misura	133
6.3	I campioni di misura nei sistema metrologico nazionale e internazionale	134

6.4	La riferibilità e l'affidabilità delle misure	137
	<i>Bibliografia</i>	139

Parte II - DOSIMETRIA IN RADIOPROTEZIONE

Capitolo 7

Le grandezze di interesse nella radioprotezione 143

7.1	Introduzione	143
7.2	Le grandezze radioprotezionistiche	143
7.3	Le grandezze dosimetriche operative	146
7.3.1	Le grandezze dosimetriche operative per il monitoraggio di area	148
	7.3.1.a L'equivalente di dose ambientale	153
	7.3.1.b L'equivalente di dose direzionale	156
7.3.2	Le grandezze dosimetriche operative per il monitoraggio individuale	
	L'equivalente di dose personale	158
7.3.3	Modalità di taratura degli strumenti di misura delle grandezze dosimetriche operative	161

	<i>Bibliografia</i>	165
--	---------------------	-----

Capitolo 8

Strumenti di misura per la dosimetria in radioprotezione 167

8.1	Introduzione	167
8.2	Caratteristiche dei dosimetri per il monitoraggio di area e individuale	169
	La linearità	169
	L'efficienza di rivelazione e la sensibilità	171
	La risposta in energia	171
	La risposta angolare	176
	La risposta a radiazioni di diverso tipo	179
	La ripetibilità e la riproducibilità	180
8.3.	I principali rivelatori utilizzati nei dosimetri per radioprotezione	181
8.3.1	Rivelatori a gas	182
	Le camere a ionizzazione	185
	I contatori proporzionali	191
	I contatori Geiger-Müller	196
8.3.2	I rivelatori a scintillazione	198
	Scintillatori inorganici	201
	Scintillatori organici	203
8.3.3	I rivelatori a termoluminescenza	205
8.3.4	I rivelatori a emulsioni fotografiche	210
8.3.5	I rivelatori a tracce	213
8.3.6	I rivelatori a gocce surriscaldate	215

8.3.7	I rivelatori a semiconduttore	217
8.3.8	I rivelatori a fotoluminescenza (RPL e OSL)	223
8.4	Requisiti principali dei dosimetri di area e personali	228
	Dosimetri di area	228
	Dosimetri personali	229
	<i>Bibliografia</i>	231

Capitolo 9

	Misura dell'attività dei radionuclidi	233
9.1	Introduzione	233
9.2	Generalità sul decadimento radioattivo	234
9.2.1	Le leggi del decadimento radioattivo e l'attività	234
9.2.2	I modi del decadimento radioattivo	237
9.2.3	Le famiglie radioattive	242
9.2.4	Stati di equilibrio in una famiglia radioattiva	245
9.2.5	Curve di decadimento in una sorgente con radionuclidi di diverso tipo	248
9.2.6	Il decadimento dei radionuclidi prodotti da reazioni di attivazione	250
9.3.	Grandezze correlate all'attività di una sorgente radioattiva	252
9.3.1	L'attività specifica di un radionuclide	253
9.3.2	La costante del rateo di kerma in aria (di un radionuclide)	254
9.4.	Metodi di misura dei radionuclidi	255
9.4.1	Metodi spettrometrici	257
9.4.1.a	La spettrometria gamma	257
	Risoluzione in energia dello spettrometro	259
	Efficienza di rivelazione dello spettrometro	263
	Taratura canale-energia dello spettrometro	268
	Tempo morto del sistema di misura	269
	Misura dell'attività mediante la spettrometria gamma	274
	Spettrometria gamma con rivelatori a semiconduttore	275
	Spettrometria gamma con rivelatori a scintillazione	281
	Whole Body Counter	283
9.4.1.b	La spettrometria alfa	284
9.4.2	Sistemi di conteggio di particelle	287
9.4.2.a	Sistemi di misura della contaminazione superficiale	287
9.4.2.b	Sistemi di misura con scintillatori liquidi	289
9.4.3	Sistemi di misura del radon	290
	Sistemi di misura del radon in aria	291
	Sistemi di misura del radon in acqua	295

9.5	La minima attività rivelabile	296
9.6	Determinazione delle grandezze radioprotezionistiche dalle misure di attività	304
	<i>Bibliografia</i>	307

Parte III - DOSIMETRIA IN RADIOTERAPIA E IN RADIODIAGNOSTICA

Capitolo 10

Le sorgenti di radiazione per la radioterapia e la radiodiagnostica

10.1	Introduzione	311
10.2	Sorgenti di radiazione per la radioterapia	312
	Acceleratori di particelle	312
	Impianti di irraggiamento con radioisotopi	321
	Sorgenti radioattive per brachiterapia	323
	Macchine a raggi x	327
10.3	Sorgenti di radiazione per la radiodiagnostica	332
	Macchine a raggi x	332
	Sorgenti radioattive per la medicina nucleare	333
	<i>Bibliografia</i>	335

Capitolo 11

Caratterizzazione della qualità della radiazione

11.1	Introduzione	337
11.2	Indicatori della qualità per i fasci di radiazione collimati	338
	11.2.1 Fasci di fotoni da macchine a raggi x, HVL	339
	11.2.2 Fasci di fotoni da sorgenti di ^{60}Co e da acceleratori	343
	11.2.2.a Le curve di dose in profondità per i fasci di fotoni di alta energia	345
	11.2.2.b Gli indicatori TPR_{10}^{20} e $\text{PDD}(10)_x$	355
	11.2.3 Fasci di elettroni prodotti da acceleratori	361
	11.2.3.a Le curve di dose in profondità per i fasci di elettroni	362
	11.2.3.b L'indicatore R_{50} per i fasci di elettroni	364
	11.2.4 Fasci di protoni e di ioni	370
	11.2.4.a Le curve di dose in profondità per fasci di protoni e di ioni	371
	11.2.4.b L'indicatore R_{res} per fasci di adroni	373
11.3	Indicatori della qualità per le sorgenti di radiazione per brachiterapia	375
	<i>Bibliografia</i>	377

Capitolo 12	
Metodi dosimetrici per i fasci collimati di fotoni e di particelle cariche usati in radioterapia	379
12.1	Introduzione 379
12.2	Dosimetria con camere a ionizzazione tarate in esposizione o in kerma in aria 380
12.2.1	La teoria della cavità di Bragg-Gray 381
12.2.2	Verifica sperimentale della teoria della cavità 390
12.2.3	L'effetto dei raggi δ nell'analisi di Spencer e Attix della teoria della cavità 393
12.2.4	Il teorema di Fano e le sue implicazioni in dosimetria 396
12.2.5	La revisione di Spencer e Attix della teoria di Bragg-Gray 398
12.2.6	La dosimetria con camere che non soddisfano la teoria della cavità 403
	12.2.6.a Cavità di dimensioni grandi 404
	12.2.6.b Cavità di dimensioni intermedie 405
12.2.7	Gli effetti di perturbazione dovuti a una camera a cavità reale 405
	12.2.7.a Effetto delle pareti della camera 406
	12.2.7.b Effetto della cavità sulla fluenza delle particelle cariche 410
	12.2.7.c Effetto del gradiente di dose nel volume occupato dalla cavità 413
	12.2.7.d Effetto dell'elettrodo centrale della camera 420
12.2.8	La misura della dose assorbita con camere a cavità tarate in kerma in aria 421
	12.2.8.a Misure in fasci di fotoni di alta energia e in fasci di particelle cariche 421
	12.2.8.b Misure in fasci di fotoni prodotti da macchine a raggi x 426
12.3	Dosimetria con camere a ionizzazione tarate in dose assorbita in acqua 430
12.3.1	Misure in fasci di fotoni di alta energia e in fasci di particelle cariche 430
	Confronto fra "approccio N_{D_w} " e "approccio N_{K_a} " 432
12.3.2	Misure in fasci di fotoni prodotti da macchine a raggi x 434
12.4	La dosimetria in condizioni diverse da quelle di riferimento 435
	<i>Bibliografia</i> 438

Capitolo 13	
Metodi dosimetrici per le sorgenti usate in brachiterapia	441
13.1 Introduzione	441
13.2 Determinazione della dose assorbita nella brachiterapia con sorgenti solide	441
13.3 Generalità sui metodi dosimetrici per le sorgenti liquide usate in medicina nucleare	449
<i>Bibliografia</i>	452
Capitolo 14	
Metodi dosimetrici per i fasci di raggi x usati in radiodiagnostica	453
14.1 Introduzione	453
14.2 Grandezze per la dosimetria in radiodiagnostica	454
14.2.1 Kerma incidente	454
14.2.2 Kerma alla superficie di ingresso	456
14.2.3 Prodotto kerma-area	456
14.2.4 Prodotto kerma-lunghezza	457
14.2.5 Indice di kerma per la TC	457
14.3 La conversione dal kerma in aria alle grandezze H_T ed E	461
14.4 Livelli diagnostici di riferimento	462
<i>Bibliografia</i>	463
Capitolo 15	
Strumenti di misura per la dosimetria in radioterapia e in radiodiagnostica	465
15.1 Introduzione	465
15.2 I rivelatori utilizzati nei dosimetri per radioterapia e radiodiagnostica	467
15.3 Dosimetri con camere a ionizzazione	468
15.3.1 Sistemi di misura della carica nei dosimetri con camere a ionizzazione	472
15.3.2 Correzioni alle misure di carica nei dosimetri con camere a ionizzazione	475
15.3.2.a Le correzioni $k_{T,P}$ e k_H per l'influenza delle condizioni ambientali dell'aria	475
15.3.2.b La correzione k_{pol} per l'effetto di polarità	478
15.3.2.c La correzione k_{sat} per l'effetto della ricombinazione ionica	480
La ricombinazione iniziale	480
La ricombinazione generale	482
L'efficienza di raccolta per i fasci continui	483

	L'efficienza di raccolta per i fasci pulsati	484
	L'efficienza di raccolta per i fasci pulsati ad alta dose per impulso	489
15.4	Dosimetri a termoluminescenza	491
15.5	Dosimetri con diodi al silicio	493
15.6	Dosimetri con pellicole radiocromiche	495
15.7	Dosimetri con rivelatori al diamante	497
15.8	Dosimetri a EPR con alanina	503
15.9	Dosimetri con pellicole radiografiche	506
15.10	Il dosimetro di Fricke	509
15.11	Dosimetri a gel	513
15.12	Dosimetri per la radiodiagnostica	520
	Dosimetria con camere a ionizzazione	521
	Dosimetria con TLD	524
	<i>Bibliografia</i>	525

Capitolo 16

I protocolli internazionali per la dosimetria in radioterapia e in radiodiagnostica 527

16.1	Introduzione	527
16.2	La dosimetria nei fasci collimati di radiazione per radioterapia	528
16.3	La dosimetria di sorgenti radioattive per brachiterapia	530
16.4	La dosimetria in fasci di fotoni per radiodiagnostica	531

	<i>Bibliografia</i>	532
--	---------------------	-----

Parte IV - I SISTEMI DI MISURA CAMPIONE PER LA DOSIMETRIA DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

Capitolo 17

I campioni per le misure di esposizione e di kerma in aria 535

17.1	Introduzione	535
17.2	La camera ad aria libera	535
17.3	La camera a cavità	539

	<i>Bibliografia</i>	543
--	---------------------	-----

Capitolo 18

I campioni per la misura della dose assorbita in acqua 545

18.1	Introduzione	545
18.2	Il campione basato sul calorimetro in grafite	546

18.2.1	Struttura del calorimetro e metodo di misura	547
18.2.2	Conversione della dose in grafite nella dose in acqua	552
18.3	Il campione basato sul calorimetro ad acqua	556
	<i>Bibliografia</i>	562
Capitolo 19		
Campioni per misure di neutroni e di radionuclidi		563
19.1	Introduzione	563
19.2	Il “bagno a solfato di manganese” per misure di neutroni	563
19.3	Il sistema di conteggio $4\pi\beta\text{-}\gamma$ per misure di attività di radionuclidi	567
	<i>Bibliografia</i>	571
Appendice A		
L'incertezza di misura		573
A.1	Generalità sull'incertezza di misura	573
A.2	Incertezze di tipo A e di tipo B	576
A.3	Espressione dell'incertezza di misura	584
	<i>Bibliografia</i>	593
Appendice B		
Unità di misura e costanti fisiche di interesse in dosimetria		595
Indice analitico		603
Acronimi		611