

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	20
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	25
1.3	Le radiazioni ionizzanti di uso medico e industriale	26
	<i>Bibliografia</i>	27

Capitolo 2

Le grandezze caratteristiche di un campo di radiazioni

2.1	Introduzione	29
2.2	La fluenza di particelle	29
2.3	Il flusso di particelle	30
2.4	L'energia radiante e la fluenza di energia	30
2.5	L'attività di una sorgente radioattiva	31
	<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	36
3.2.1	Coefficiente di attenuazione	36
3.2.2	Coefficiente di trasferimento di energia	40
3.2.3	Coefficiente di assorbimento di energia	43
3.2.4	I coefficienti di interazione e le sezioni d'urto elementari	44
3.2.4.a	Effetto Rayleigh	46
3.2.4.b	Effetto Compton	47
3.2.4.c	Effetto fotoelettrico	49
3.2.4.d	Produzione di coppie	50
3.2.5	Il numero atomico efficace di un mezzo	53
	<i>Bibliografia</i>	54
3.3.	Coefficienti di interazione per le particelle cariche	55
3.3.1	Il potere frenante	58

3.3.1.a	Il potere frenante per gli elettroni	59
3.3.1.b	Il potere frenante per le particelle cariche pesanti	67
3.3.2	Potere frenante ristretto e trasferimento lineare di energia	70
3.3.3	Il "range" delle particelle cariche	74
3.3.4	La lunghezza di radiazione	81
3.3.5	L'energia media necessaria per formare una coppia di ioni	82
<i>Bibliografia</i>		84
3.4.	Coefficienti di interazione per neutroni	85
3.4.1	Generalità sulle sorgenti di neutroni	85
3.4.2	Generalità sulle interazioni dei neutroni	87
3.4.3	Il coefficiente di attenuazione e la sezione d'urto macroscopica	90
3.4.4	I coefficienti di trasferimento e di assorbimento di energia	92
<i>Bibliografia</i>		93
Capitolo 4		
Le grandezze dosimetriche		95
4.1	Introduzione	95
4.2	La dose assorbita	95
4.3	Il kerma	98
4.4	L'esposizione	102
4.5	L'equivalente di dose	106
<i>Bibliografia</i>		110
Capitolo 5		
Relazioni fra le grandezze dosimetriche		111
5.1	Introduzione	111
5.2	L'equilibrio delle particelle cariche secondarie	111
5.3	Relazione fra dose assorbita e kerma	115
5.4	Relazione fra kerma, dose assorbita ed esposizione	121
5.5	La costante del rateo di esposizione e del rateo di kerma in aria	123
<i>Bibliografia</i>		126
Capitolo 6		
La riferibilità delle misure ai sistemi campione		127
6.1	Grandezze, unità di misura e campioni di riferimento	127

6.2	Il coefficiente di taratura di uno strumento di misura	129
6.3	I campioni di misura nei sistema metrologico nazionale e internazionale	131
6.4	La riferibilità e l'affidabilità delle misure	133
	<i>Bibliografia</i>	136

Parte II - DOSIMETRIA IN RADIOPROTEZIONE

Capitolo 7

	Le grandezze di interesse nella radioprotezione	139
7.1	Introduzione	139
7.2	Le grandezze radioprotezionistiche	140
7.3	Le grandezze dosimetriche operative	142
7.3.1	Le grandezze dosimetriche operative per il monitoraggio di area	144
	7.3.1.a L'equivalente di dose ambientale	148
	7.3.1.b L'equivalente di dose direzionale	151
7.3.2	Le grandezze dosimetriche operative per il monitoraggio individuale: L'equivalente di dose personale	153
7.3.3	Modalità di taratura degli strumenti di misura delle grandezze dosimetriche operative	156
	<i>Bibliografia</i>	161

Capitolo 8

	Strumenti di misura per la dosimetria in radioprotezione	163
8.1	Introduzione	163
8.2	Caratteristiche generali dei dosimetri per il monitoraggio di area e individuale	165
	La linearità	165
	L'efficienza di rivelazione e la sensibilità	167
	La risposta in energia	167
	La risposta angolare	172
	La risposta a radiazioni di diverso tipo	175
	La ripetibilità e la riproducibilità	176
8.3.	I principali rivelatori utilizzati nei dosimetri per radioprotezione	177
8.3.1	Rivelatori a gas	178
	Le camere a ionizzazione	181
	I contatori proporzionali	187
	I contatori Geiger-Müller	192
8.3.2	I rivelatori a scintillazione	194
	Scintillatori inorganici	197
	Scintillatori organici	200

8.3.3	I rivelatori a termoluminescenza	201
8.3.4	I rivelatori a emulsioni fotografiche	206
8.3.5	I rivelatori a tracce	210
8.3.6	I rivelatori a gocce surriscaldate	211
8.3.7	I rivelatori a semiconduttore	214
8.3.8	I rivelatori a fotoluminescenza (RPL e OSL)	220
8.4	Requisiti principali dei dosimetri di area e personali	224
	Dosimetri di area	225
	Dosimetri personali	226
	<i>Bibliografia</i>	227

Capitolo 9

Misura dell'attività dei radionuclidi

		229
9.1	Introduzione	229
9.2	Generalità sul decadimento radioattivo	230
9.2.1	Le leggi del decadimento radioattivo	230
9.2.2	Modi di decadimento di un radionuclide	233
9.2.3	Le famiglie radioattive	236
9.2.4	Stati di equilibrio in una famiglia radioattiva	239
9.2.5	Curve di decadimento in una sorgente con radionuclidi di diverso tipo	242
9.2.6	Il decadimento dei radionuclidi prodotti da reazioni di attivazione	244
9.3.	Attività specifica di un radionuclide	246
9.4.	Metodi di misura dei radionuclidi	247
9.4.1	Metodi spettrometrici	248
9.4.1.a	La spettrometria gamma	249
	Risoluzione in energia	251
	Efficienza di rivelazione	255
	Taratura canale-energia dello spettrometro	260
	Tempo morto del sistema di misura	261
	Misura dell'attività mediante la spettrometria gamma	266
	Spettrometria gamma con rivelatori a semiconduttore	267
	Spettrometria gamma con rivelatori a scintillazione	273
	<i>Whole Body Counter</i>	275
9.4.1.b	La spettrometria alfa	276
9.4.2	Sistemi di conteggio di particelle	279
9.4.2.a	Sistemi di misura della contaminazione superficiale	279
9.4.2.b	Sistemi di misura con scintillatori liquidi	281
9.4.3	Sistemi di misura del radon	282
	Sistemi di misura del radon in aria	283
	Sistemi di misura del radon in acqua	287

9.5	La minima attività rivelabile	288
9.6	La relazione fra attività ed equivalente di dose	296
	<i>Bibliografia</i>	299

Parte III - DOSIMETRIA IN RADIOTERAPIA E IN RADIODIAGNOSTICA

Capitolo 10

Le sorgenti di radiazione per la radioterapia e la radiodiagnostica

10.1	Introduzione	303
10.2	Sorgenti di radiazione per la radioterapia	304
	Acceleratori di particelle	304
	Impianti di irraggiamento mediante radioisotopi	313
	Sorgenti radioattive per brachiterapia	315
	Macchine a raggi x	318
10.3	Sorgenti per radiodiagnostica	323
	Macchine a raggi x	323
	Sorgenti radioattive per la medicina nucleare	324
	<i>Bibliografia</i>	327

Capitolo 11

Caratterizzazione della qualità della radiazione

11.1	Introduzione	329
11.2	Indicatori della qualità per i fasci di radiazione collimati	330
11.2.1	Fasci di fotoni da macchine a raggi x	331
11.2.2	Fasci di fotoni da sorgenti di ^{60}Co e da acceleratori	336
	11.2.2.a Le curve di dose in profondità per i fasci di fotoni di alta energia	338
	11.2.2.b Gli indicatori TPR_{10}^{20} e $\text{PDD}(10)_x$	348
11.2.3	Fasci di elettroni prodotti da acceleratori	354
	11.2.3.a Le curve di dose in profondità per i fasci di elettroni	354
	11.2.3.b L'indicatore R_{50} per i fasci di elettroni	357
11.2.4	Fasci di protoni e di ioni	363
	11.2.4.a Le curve di dose in profondità per fasci di protoni e di ioni	363
	11.2.4.b L'indicatore R_{res} per fasci di adroni	365
11.3	Indicatori di qualità per le sorgenti di radiazione per brachiterapia	367
	<i>Bibliografia</i>	370

Capitolo 12	
Metodi dosimetrici per i fasci collimati di fotoni e di particelle cariche usati in radioterapia	371
12.1	Introduzione 371
12.2	Dosimetria con camere a ionizzazione tarate in esposizione o in kerma in aria 373
12.2.1	La teoria della cavità di Bragg-Gray 373
12.2.2	Verifica sperimentale della teoria della cavità 383
12.2.3	L'effetto dei raggi δ nell'analisi di Spencer e Attix della teoria della cavità 387
12.2.4	Il teorema di Fano e le sue implicazioni in dosimetria 390
12.2.5	La revisione di Spencer e Attix della teoria di Bragg-Gray 392
12.2.6	La dosimetria con camere che non soddisfano la teoria della cavità 397
	12.2.6.a Cavità di dimensioni grandi 398
	12.2.6.b Cavità di dimensioni intermedie 399
12.2.7	Gli effetti di perturbazione dovuti a una camera a cavità reale 400
	12.2.7.a Effetto delle pareti della camera 400
	12.2.7.b Effetto della cavità sulla fluenza delle particelle cariche 404
	12.2.7.c Effetto del gradiente di dose nel volume occupato dalla cavità 406
	12.2.7.d Effetto dell'elettrodo centrale della camera 409
12.2.8	La misura della dose assorbita mediante camere a cavità 409
	12.2.8.a Misure in fasci di fotoni di alta energia e di particelle cariche 409
	12.2.8.b Misure in fasci di fotoni prodotti da macchine a raggi x 413
12.3	Dosimetria con camere a ionizzazione tarate in dose assorbita in acqua 416
	12.3.1 Misure in fasci di fotoni di alta energia e di particelle cariche 416
	12.3.2 Misure in fasci di fotoni prodotti da macchine a raggi x 419
12.4	La dosimetria in condizioni diverse da quelle di riferimento 420
	<i>Bibliografia</i> 421
Capitolo 13	
Metodi dosimetrici per le sorgenti usate in brachiterapia	423
13.1	Introduzione 423

13.2	Determinazione della dose assorbita nella brachiterapia con sorgenti solide	423
13.3	Generalità sui metodi dosimetrici per le sorgenti liquide usate in medicina nucleare	431

	<i>Bibliografia</i>	434
--	---------------------	-----

Capitolo 14

	Metodi dosimetrici per i fasci di raggi x usati in radiodiagnostica	435
--	--	-----

14.1	Introduzione	435
------	--------------	-----

14.2	Grandezze per la dosimetria in radiodiagnostica	436
------	---	-----

14.2.1	Kerma incidente	436
--------	-----------------	-----

14.2.2	Kerma alla superficie di ingresso	438
--------	-----------------------------------	-----

14.2.3	Prodotto kerma-area	438
--------	---------------------	-----

14.2.4	Prodotto kerma-lunghezza	439
--------	--------------------------	-----

14.2.5	Indice di kerma per la TC	440
--------	---------------------------	-----

14.3	La conversione dal kerma in aria alle altre grandezze di interesse	443
------	--	-----

14.4	Livelli diagnostici di riferimento	444
------	------------------------------------	-----

	<i>Bibliografia</i>	445
--	---------------------	-----

Capitolo 15

	Strumenti di misura per la dosimetria in radioterapia e in radiodiagnostica	447
--	--	-----

15.1	Introduzione	447
------	--------------	-----

15.2	I rivelatori utilizzati nei dosimetri per radioterapia e radiodiagnostica	449
------	---	-----

15.3	Dosimetri con camere a ionizzazione	450
------	-------------------------------------	-----

15.3.1	Sistemi di misura della carica nei dosimetri con camere a ionizzazione	455
--------	--	-----

15.3.2	Correzioni sulle misure di carica nei dosimetri con camere a ionizzazione	457
--------	---	-----

15.3.2.a	Le correzioni $k_{T,P}$ e k_H per l'influenza delle condizioni ambientali dell'aria	458
----------	---	-----

15.3.2.b	La correzione k_{pol} per l'effetto di polarità	459
----------	---	-----

15.3.2.c	La correzione k_{sat} per l'effetto della ricombinazione delle cariche	462
----------	--	-----

	La ricombinazione iniziale	463
--	----------------------------	-----

	La ricombinazione generale	464
--	----------------------------	-----

	<i>L'efficienza di raccolta per i fasci continui</i>	465
--	--	-----

	<i>L'efficienza di raccolta per i fasci pulsati</i>	466
--	---	-----

	<i>L'efficienza di raccolta per i fasci pulsati ad alta dose per impulso</i>	471
--	--	-----

15.4	Dosimetri a termoluminescenza	473
15.5	Dosimetri con diodi al silicio	475
15.6	Dosimetri con pellicole radiocromiche	477
15.7	Dosimetri con rivelatori al diamante	479
15.8	Dosimetri a EPR con alanina	486
15.9	Dosimetri con pellicole radiografiche	489
15.10	Il dosimetro di Fricke	491
15.11	Dosimetri a gel	496
15.12	Dosimetri per la radiodiagnostica	504
	Dosimetria con camere a ionizzazione	504
	Dosimetria con TLD	507
	<i>Bibliografia</i>	507

Capitolo 16

I protocolli internazionali per la dosimetria in radioterapia e in radiodiagnostica 509

16.1	Introduzione	509
16.2	La dosimetria nei fasci collimati di radiazione per radioterapia	510
16.3	La dosimetria di sorgenti radioattive per brachiterapia	512
16.4	La dosimetria in fasci di fotoni per radiodiagnostica	513

	<i>Bibliografia</i>	514
--	---------------------	-----

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 517

17.1	Introduzione	517
17.2	Le camere ad aria libera	517
17.3	Le camere a cavità	521

	<i>Bibliografia</i>	524
--	---------------------	-----

Capitolo 18

I campioni per la misura della dose assorbita in acqua 525

18.1	Introduzione	525
18.2	Il campione basato sul calorimetro in grafite	526
	18.2.1 Struttura del calorimetro e metodo di misura	527
	18.2.2 Conversione della dose in grafite nella dose in acqua	532

18.3	Il campione basato sul calorimetro ad acqua	536
	<i>Bibliografia</i>	542
Capitolo 19		
Campioni per misure di neutroni e di radionuclidi		543
19.1	Introduzione	543
19.2	Il “Bagno a Solfato di Manganese” per misure di neutroni	543
19.3	Il sistema di conteggio $4\pi\beta\text{-}\gamma$ per misure di attività di radionuclidi	547
	<i>Bibliografia</i>	551
Appendice A		
L’incertezza di misura		553
A.1	Generalità sull’incertezza di misura	553
A.2	Incertezze di tipo A e di tipo B	556
A.3	Espressione dell’incertezza di misura	564
	<i>Bibliografia</i>	573
Appendice B		
Unità di misura e costanti fisiche di interesse in dosimetria		575
Indice analitico		583
Acronimi		588