

AIPND

## RADIOGRAFIA INDUSTRIALE.

*Giovanni Magistrali.*

## Indice.

Capitolo I . GENERALITÀ SUI RAGGI X		Pag.
§		
1.1 - Scoperta dei raggi X.		1
1.2 - Struttura degli atomi.		
1.3 - Produzione dei raggi X.		3
1.5 - Carattere dualistico della radiazione penetrante.		4
1.6 - Spettri di radiazione da frenamento (bremsstrahlung).		5
1.7 - Parametri influenti sullo spettro di radiazione continuo.		8
Capitolo II. INTERAZIONE DEI RAGGI X CON LA MATERIA.		
2.1 - Generalità.		10
2.2 - Diffusione coerente.		
2.3 - Assorbimento fotoelettrico.		
2.4 - Diffusione Compton.		
2.5 - Produzione di coppie.		12
2.6 - Trasmissione di un fascio di raggi X attraverso la materia.		14
2.7 - Coefficiente di attenuazione lineare.		15
2.8 - Legge dell'attenuaz. dei raggi X in funzione dello spessore di assorb. .		18
2.9 - Spessore emivalente e spessore equivalente.		22
Capitolo III. TUBI RADIOGENI.		
3.1 - Parti essenziali di un tubo radiogeno.		26
3.1.1 - <i>Catodo.</i>		
3.1.2 - <i>Anodo.</i>		28
3.1.3 - <i>Anticatodo.</i>		29
3.1.4 - <i>Alimentazione di un tubo radiogeno.</i>		
3.1.5 - <i>Macchia focale o fuoco.</i>		31
3.2 - Tubi radiogeni a finestra di berillio.		32
3.3 - Tubi radiogeni bipolari ed unipolari.		
3.4 - Tubi radiogeni ad anodo rotante.		34
3.5 - Tubi radiogeni ad anodo cavo.		35
3.5 - Tubi radiogeni ad anodo cavo.		36
3.6 - Tubi radiogeni metalceramici e miniaturizzati.		
3.7 - Tubi rad. con macchia focale extrafine (microfuoco e minifuoco).		37
3.8 - Tubi radiogeni con funzionamento impulsivo (flash-radiography).		
3.9 - Tubi radiogeni per altissime energie.		38
3.10 - Diaframmi ed otturatori.		39

Capitolo IV.  
ALIMENTAZIONE DEI TUBI RADIOGENI.

§	Pag.
4.1 - Generalità.	42
4.2 - Circuito autoraddrizzante.	
4.2 - Generatori di AT per impianti fissi.	43
4.3 - Circuito raddoppiatore di tensione (o di <i>Villard</i> ).	45
4.4 - Circuito raddoppiatore di tensione livellata (o di <i>Greinacher</i> ).	47
4.5 - Circuiti moltiplicatori di tensione.	48
4.6 - Circuiti generatori di AT funzionanti ad alta frequenza.	
4.7 - Generatori per altissime energie.	49
4.8 - Direzionalità del fascio di radiazione.	51

Capitolo V.  
RADIOGRAFIA CON RAGGI GAMMA (GAMMAGRAFIA).

5.1 - Premessa.	53
5.2 - Cenno sulla struttura dei nuclei atomici.	
5.3 - Radioisotopi.	56
5.4 - Radiazioni emesse nella disintegrazione radioattiva.	
5.5 - Reazioni nucleari e disintegrazioni di nuclidi radioattivi.	57
5.5.1 - Decadimento $\alpha$ (alfa).	
5.5.2 - Decadimento $\beta$ (beta).	58
5.5.3 - Decadimento $\gamma$ (gamma).	
5.5.4 - Cattura K.	59
5.5.5 - Conversione interna.	
5.6 - Simboli per gli schemi dei decadimenti radioattivi.	60
5.7 - Legge temporale del decadimento radioattivo.	61
5.7.1 - Attività di una sorgente:	
5.7.2 - Attività specifica di una sorgente.	62
5.7.3 - Energia della radiazione (durezza).	63
5.7.4 - Dose di esposizione.	
5.7.5 - Intensità di dose di esposizione (rateo di dose di esposizione).	
5.7.6 - Costante specifica di emissione.	
5.8 - Confronto fra radioisotopi con differenti semiperiodi.	
5.9 - Schemi di decadimento radioattivo di alcuni radioisotopi artificiali.	65
5.9.1 - Cobalto 60 ( $Co^{60}$ ).	
5.9.2 - Iridio 192 ( $Ir^{192}$ ).	66
5.9.3 - Tulio 170 ( $Tm^{170}$ ).	67
5.10 - Radioisotopi di largo impiego in gammagrafia.	68
5.11 - Apparecchiature per gammagrafia industriale.	70

## Capitolo VI. L'IMMAGINE RADIOGRAFICA.

§	Pag.
6.1 - Introduzione.	73
6.2 - Aspetti geometrici dell'immagine radiografica.	
6.2.1 - <i>Generalità.</i>	
6.2.2 - <i>Proiezione, ingrandimento e deformaz. dell'immagine dell'oggetto.</i>	74
6.2.3 - <i>Ingrandimento.</i>	75
6.3 - Penombra geometrica.	77
6.3.1 - <i>Penombra da parte di piccoli oggetti.</i>	78
6.3.2 - <i>Falso effetto di penombra.</i>	79
6.4 - Metodo pratico per determinare le dimensioni della sorgente	80
6.5 - Aspetti fisici dell'immagine radiografica.	82
6.5.1 - <i>Premessa.</i>	
6.5.2 - <i>Densità.</i>	
6.5.3 - <i>Densità da fascio di luce parallelo e da fascio diffuso.</i>	84
6.6 - Misura della densità.	85
6.7 - Parametri fondamentali dell'immagine radiografica.	86

## Capitolo VII. PELLICOLE RADIOGRAFICHE E TRATTAMENTO DI CAMERA OSCURA.

7.1 - Premessa.	89
7.2 - Pellicole radiografiche.	
7.2.1 - Struttura di una pellicola radiografica.	
7.2.2 - Struttura di un cartoncino radiografico.	90
7.3 - Formazione dell'immagine latente.	92
7.4 - Trattamento di camera oscura.	94
7.5 - Sistema di trattamento manuale.	
7.5.1 - <i>Rivelazione.</i>	95
7.5.2 - <i>Lavaggio intermedio.</i>	
7.5.3 - <i>Fissaggio.</i>	96
7.5.4 - <i>Lavaggio finale.</i>	
7.5.5 - <i>Essiccazione.</i>	
7.6 - Quadro riassuntivo delle fasi del trattamento manuale di camera oscura.	
7.6.1 - <i>Rivelazione (sviluppo).</i>	97
7.6.2 - <i>Decadimento del rivelatore.</i>	99
7.6.3 - <i>Controllo dell'efficienza del rivelatore.</i>	100
7.6.4 - <i>Lavaggio intermedio.</i>	101
7.6.5 - <i>Fissaggio.</i>	
7.6.6 - <i>Lavaggio finale.</i>	
7.6.7 - <i>Essiccazione.</i>	

§	Pag.
7.7 - Attrezzature di camera oscura.	102
7.7.1 - <i>Luce di sicurezza.</i>	
7.7.2 - <i>Temporizzatore (timer).</i>	103
7.7.3 - <i>Visore.</i>	
7.7.4 - <i>Aspiratore.</i>	
7.7.5 - <i>Complesso termostatico.</i>	
7.7.6 - <i>Cassette portapellicole.</i>	
7.7.7 - <i>Telai.</i>	104
7.7.8 - <i>Stufa di essiccazione.</i>	
7.7.9 - <i>Schema funzionale del complesso termostatico per il trattamento di camera oscura.</i>	
7.8 - Sistema di trattamento automatico delle pellicole.	105
7.9 - Difetti nelle radiografie prodotti da non corretta esecuzione.	106

## Capitolo VIII. CARATTERISTICHE DELLE PELLICOLE RADIOGRAFICHE.

8.1 - Generalità	108
8.2 - Caratteristiche di pellicole radiografiche.	109
8.3 - Contrasto-oggetto e contrasto radiografico.	110
8.4 - Influenza del tempo di sviluppo sulla caratteristica di una pellicola	113
8.5 - Vari tipi di pellicole radiografiche.	114
8.6 - Caratteristica di una pellicola radiografica espressa con la velocità CEN.	117
8.7 - Sensibilità spettrale.	
8.8 - Problemi per la conservazione delle pellicole radiografiche e l'archiviazione delle radiografie.	118
8.8.1 - <i>Pellicole e radiografie convenzionali (UNI 45000390).</i>	
8.8.2 - <i>Archiviazione delle immagini radiografiche per mezzo della conversione analogico-digitale.</i>	119

## Capitolo IX. FILTRI E SCHERMI RINFORZATORI.

9.1 - Effetto della radiazione diffusa sul contrasto-oggetto.	120
9.2 - Filtri modificatori dello spettro di radiazione.	121
9.2.1 - <i>Filtro posizionato prima dell'oggetto.</i>	
9.2.2 - <i>Filtro posizionato dopo l'oggetto.</i>	122
9.3 - Schermi rinforzatori metallici.	123
9.4 - Fattore di rinforzo.	125
9.5 - Schermi rinforzatori fluorescenti.	126

Capitolo X.  
L'ESPOSIZIONE RADIOGRAFICA.

§		Pag.
10.1	- Introduzione.	130
10.2	- Fattori dell'esposizione.	
10.3	- Legge dell'inverso della distanza.	131
10.4	- Intensità della radiazione in funzione dei kV e dei mA.	132
10.5	- Legge di reciprocità.	133
10.6	- Carte di esposizione.	
10.7	- Esempio di impiego della carta di esposizione.	136
10.8	- Grafici universali e software per la determinazione rapida dei fattori di esposizione.	
10.9	- Come ottenere una carta di esposizione.	137
10.10	- Carte di esposizione per sorgenti radioattive.	138
10.11	- Variazione dei parametri rispetto a quelli della carta di esposizione.	139
10.11.1	- <i>Variazione della distanza DFF.</i>	
10.11.2	- <i>Variazione dell'intensità (mA).</i>	
10.11.3	- <i>Variazione del tempo di esposizione.</i>	140
10.11.4	- <i>Cambiamento del tipo di pellicola radiografica.</i>	
10.12	- Fattori di equivalenza radiografica.	141
10.13	- Scelta del potere penetrante della radiazione.	143

Capitolo XI.  
QUALITÀ DELL'IMMAGINE RADIOGRAFICA.

11.1	- Introduzione.	146
11.2	- Principali tipi di indicatori d'immagine radiografica.	147
11.2	- IQI a placchette.	149
11.3	- IQI a fili.	151
11.4	- IQI a gradini e fori.	154
11.5	- IQI a coppie di fili.	157
11.6	- Raffronto tra i vari tipi di IQI.	158
11.7	- Alcune considerazioni sulla sensi. dell'immagine radiografica.	160
11.8	- Osservazione delle radiografie.	162
11.9	- Luminanza del visore.	163
11.10	- Densità radiografiche raccomandate.	165
11.11	- Interpretazione delle radiografie.	166
11.12	- Criteri di accettazione.	167

Capitolo XII.  
ASPETTI PRATICI DEL METODO RADIOGRAFICO.

§	Pag.
12.1 - Laboratorio radiografico.	169
12.2 - Sala d'irradiazione.	
12.2 - Sala d'irradiazione.	
12.3 - Attrezzature ausiliarie per la sala d'irradiazione ed identificazione dei particolari esaminati.	171
12.4 - Camera oscura.	
12.5 - Sala di lettura radiografie.	172
12.6 - Tecniche radiografiche.	
12.7 - Protezione della pellicola dalla radiaz. diffusa durante l'esposizione.	
12.7.1 - <i>Maschere contro la radiazione diffusa ai bordi dell'oggetto.</i>	
12.7.2 - <i>Schermature per bloccare la retrodiffusione.</i>	174

Capitolo XIII.  
PRINCIPALI TIPOLOGIE DI DIFETTI METALLURGICI  
DI INTERESSE IN RADIOGRAFIA.

13.1 - Introduzione.	175
13.2 - Difetti nei getti.	
13.3 - Rassegna delle principali tipologie di discontinuità nei getti.	176
13.4 - Esempi di proiezioni radiogr. dettate dalla particolare forma del getto.	179
13.5 - Difetti nelle saldature.	182
13.6 - Esame radiografico di strutture saldate.	187
13.7 - Controllo giunti circonferenz. e longitudinali di tubi e corpi cilindri.	191
13.7.1 - <i>Tubi di grande diametro accessibili dall'interno.</i>	
13.7.2 - <i>Tubi non accessibili dall'interno.</i>	192
13.8 - Tecniche a bassi kilovolt.	194
13.9 - Tecniche multispessore.	
13.9.1 - Tecnica multispessore con pacco di pellicole a differente velocità.	195
13.9.2 - Tecnica multispessore con pacco di due pellicole radiog. identiche.	196
13.9.3 - Tecnica multispessore mediante compensazione degli spessori.	197

Capitolo XIV.  
ALTRE TECNICHE DI ISPEZIONE CON RAGGI X.  
Radioscopia.

14.1 - Introduzione.	199
14.2 - Radioscopia convenzionale.	
14.2 - Confronto fra contrasto radiografico e contrasto radioscopico.	202
14.3 - Diaframmi antiabbagliamento.	204
14.4 - Ingrandimento geometrico.	205
14.5 - Fluorografia.	206
14.6 - Intensificatore di brillantezza.	
14.7 - Considerazioni sul rumore fotonico.	209

§	Pag.
14.8 - Applicazioni di telecamere a circuito chiuso.	210
14.9 - Elaborazione del segnale.	211
14.10 - Ingrandimento totale dell'immagine radioscopica.	212
14.11 - Elaborazione del segnale digitale.	215
14.12 - Analisi automatica dell'immagine radioscopica.	217
14.13 - Riepilogo sui parametri radioscopici di un sistema <i>real time image</i> .	218

## Capitolo XV. RADIOGRAFIA NEUTRONICA.

15.1 - Introduzione.	219
15.2 - Interazione dei neutroni con la materia.	220
15.3 - Sorgenti di fasci di neutroni per radiografia.	222
15.3.1 - <i>Reattori nucleari.</i>	222
15.3.2 - <i>Acceleratori di particelle.</i>	223
15.3.3 - <i>Sorgenti radioattive.</i>	224
15.4 - Principio fisico della radiografia con neutroni.	224
15.4.1 - <i>Metodo diretto.</i>	224
15.4.2 - <i>Metodo indiretto.</i>	225

## Capitolo XVI. ELEMENTI DI DOSIMETRIA.

16.1 - Introduzione.	226
16.2 - Camera di ionizzazione.	
16.3 - Dosimetri portatili personali.	229
16.4 - Contatore proporzionale.	
16.5 - Contatore Geiger.	
16.6 - Dosimetri a pellicola radiografica.	232
16.7 - Altri tipi di rivelatori per dosimetria.	233
16.8 - Misura della dose di energia assorbite alle varie energie della radiaz.	234

Capitolo XVII.  
**CENNI DI FISICA SANITARIA.**

§	Pag.
17.1 - Introduzione.	237
17.2 - Definizioni riguardanti la radioprotezione.	239
17.3 - Definizioni di interesse generale.	241
17.3 - Definizioni di interesse generale.	243
17.4 - Organizzazione della Radioprotezione.	
17.4.1 - <i>Attribuzioni dell'Esperto Qualificato.</i>	
17.4.2 - <i>Attribuzioni del Medico Autorizzato o Competente.</i>	244
17.4.3 - <i>Obblighi dei Datori di lavoro, Dirigenti e Preposti.</i>	
17.4.4 - <i>Obblighi dei lavoratori.</i>	245
17.5 - Limiti di dose per i lavoratori esposti e le persone del pubblico.	
17.6 - Unità di misura dosimetriche.	246
	248

*Bibliografia.*

**Appendice.**

A - Spettro continuo della radiazione da frenamento.	250
B - Cenni sulle Unità di Misura.	251
C - Emissione termoionica.	252
D - Legge temporale del decadimento radioattivo.	254
E - Come variare il contrasto rad. rispetto a quello ottenuto in certe condizioni.	257