

INDICE

Introduzione generale	7
<hr/>	
PARTE I	
Concetti di base	11
<hr/>	
Capitolo 1 FISICA ATOMICA E NUCLEARE	13
1.1 - Atomi e isotopi	13
1.2 - I radioisotopi e la radioattività	14
1.3 - I processi di decadimento radioattivo	15
1.3.1 - Il decadimento α	15
1.3.2 - Il decadimento β	15
1.3.3 - Il decadimento γ	16
1.4 - Serie radioattive	16
1.5 - Energia di legame nucleare	18
1.6 - Reazioni di fissione	19
1.7 - Reazioni di fusione	20
1.8 - Cenni storici	22
<hr/>	
Capitolo 2 DOSIMETRIA E RADIOPROTEZIONE	24
2.1 - Energia depositata e dose assorbita	24
2.2 - Esposizione esterna ed interna	25
2.3 - Dose equivalente e dose efficace	25
2.4 - Dose individuale e dose collettiva	26
<hr/>	
Capitolo 3 IL CICLO DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE	28
3.1 - Tre fasi del ciclo del combustibile	28
3.2 - L'uranio	29
3.3 - Arricchimento	30
3.4 - Ritattamento	31
3.5 - Domanda e offerta di uranio	32
3.6 - Armi nucleari come fonte di combustibile	34
3.7 - Il torio	36
<hr/>	
Capitolo 4 RIFIUTI NUCLEARI	38
4.1 - La gestione dei rifiuti radioattivi	38
4.2 - La classificazione in Italia	39

4.2.1 - Rifiuti di prima categoria	39
4.2.2 - Rifiuti di seconda categoria	39
4.2.3 - Rifiuti di terza categoria	40
4.3 - La classificazione internazionale	40
4.3.1 - Very Low Level Waste	40
4.3.2 - Low and Intermediate Level Waste - Short Lived	40
4.3.3 - Low and Intermediate Level Waste - Long Lived	40
4.3.4 - High Level Waste	41
4.4 - I rifiuti prodotti dal ciclo del combustibile	41
4.5 - I rifiuti prodotti dal decommissioning	42
4.6 - I rifiuti radioattivi in Italia	43
<hr/>	
Capitolo 5 DECOMMISSIONING	47
5.1 - La disattivazione degli impianti nucleari	47
5.2 - Strategie di decommissioning	48
5.2.1 - Smantellamento immediato (DECON)	48
5.2.2 - Smantellamento differito (SAFESTOR)	49
5.2.3 - Incapsulamento (ENTOMB)	49
5.3 - Fasi del decommissioning	50
5.3.1 - Primo stadio (Storage with surveillance)	51
5.3.2 - Secondo stadio (Restricted site release)	51
5.3.3 - Terzo stadio (Unrestricted site use)	51
5.4 - Il decommissioning in Italia	51
<hr/>	
Capitolo 6 SICUREZZA NUCLEARE	54
6.1 - Obiettivi della sicurezza nucleare	54
6.2 - Cenni storici sulla sicurezza nucleare	55
6.3 - Elementi di sicurezza nucleare	56
6.4 - Autorità di Sicurezza Nucleare	58
<hr/>	
Capitolo 7 GLI INCIDENTI NUCLEARI	61
7.1 - Three Mile Island negli Stati Uniti (28 marzo 1979)	61
7.1.1 - L'impianto di Three Mile Island	61
7.1.2 - Gli eventi a Three Mile Island	61
7.1.3 - Considerazioni e conseguenze a Three Mile Island	63
7.2 - Chernobyl in Ucraina (26 aprile 1986)	64
7.2.1 - L'impianto di Chernobyl	64
7.2.2 - Gli eventi a Chernobyl	64
7.2.3 - Considerazioni e conseguenze a Chernobyl	66
7.3 - Tokaimura in Giappone (30 settembre 1999)	68
7.4 - Incidenti nucleari gravi	69
7.5 - Confronto con incidenti industriali non nucleari	69
7.5.1 - Vajont in Italia (11 ottobre 1963)	69
7.5.2 - Bhopal in India (2 dicembre 1984)	70
7.5.3 - Altri incidenti legati alla produzione elettrica	70

PARTE II

Applicazioni delle reazioni nucleari	73
--------------------------------------	----

Capitolo 8 APPLICAZIONI DELLA RADIOATTIVITÀ IN MEDICINA NUCLEARE	75
8.1 - Considerazioni generali	75
8.2 - Radioterapia	75
8.2.1 - Boroterapia con neutroni - BNCT	76
8.3 - Radiodiagnostica	77
8.3.1 - Radiografia	77
8.3.2 - Tomografia Assiale Computerizzata - TAC	78
8.3.3 - Tomografia Computerizzata - TC	79
8.3.4 - Scintigrafia	79
8.3.5 - Angiografia	80
8.3.6 - Mammografia	80
8.3.7 - Mineralometria Ossea Computerizzata - MOC	80
8.3.8 - Teleradiografia	81
8.3.9 - Radioscopia	81
8.3.10 - Risonanza Magnetica Nucleare - RMN	82
8.3.11 - Tomografia a Emissione di Positroni - PET	83
8.3.12 - Tomografia Computerizzata a Emissione Singola di Fotoni-SPECT	84

Capitolo 9 ALTRE APPLICAZIONI DELLA RADIOATTIVITÀ	86
9.1 - Considerazioni generali	86
9.2 - Le applicazioni industriali	86
9.3 - Le applicazioni nel campo della sterilizzazione	87
9.4 - Le applicazioni agrobiologiche e agroalimentare	88
9.5 - Le applicazioni ambientali	88
9.6 - Le applicazioni in archeologia, antropologia e datazione	89
9.7 - Le applicazioni in geologia e prospezione mineraria	89
9.8 - Le applicazioni nel campo della sicurezza	90
9.9 - Le applicazioni nel campo della ricerca scientifica e tecnologica	90

Capitolo 10 IMPIEGHI SPAZIALI DELL'ENERGIA NUCLEARE	92
10.1 - Considerazioni generali	92
10.2 - Propulsori nucleari spaziali	93
10.3 - Generatori termoelettrici a radioisotopi	94
10.4 - Reattori nucleari spaziali	95

Capitolo 11 IMPIEGHI MARINI DEI REATTORI NUCLEARI	98
11.1 - Considerazioni generali	98
11.2 - Vantaggi e svantaggi della propulsione nucleare	98
11.3 - Sottomarini	99
11.4 - Incrociatori e portaerei	100
11.5 - Propulsione nucleare navale in Italia	100
11.5 - Navi rompighiaccio e propulsione nucleare civile	101

Capitolo 12 ALTRI IMPIEGHI NON ELETTRICI DEI REATTORI NUCLEARI	102
12.1 - Reattori nucleari di ricerca	102
12.2 - Reattori nucleari per la cogenerazione	104
12.3 - Reattori nucleari per la desalinizzazione	104
12.4 - Reattori nucleari per la produzione di idrogeno	106
<hr/>	
Capitolo 13 IMPIEGHI MILITARI DELL'ENERGIA NUCLEARE	108
13.1 - Ordigni nucleari	108
13.2 - Tecnologie per armi nucleari	109
13.3 - Il Trattato di Non Proliferazione - TNP	110
<hr/>	
PARTE III	
Sistemi nucleari per produzione elettrica	113
<hr/>	
Capitolo 14 REATTORI NUCLEARI A FISSIONE	115
14.1 - Considerazioni generali	115
14.2 - Quattro generazioni di reattori nucleari	117
14.3 - Componenti dei reattori nucleari	119
14.3.1 - Isola convenzionale	119
14.3.2 - Isola nucleare	119
14.4 - Filiere di reattori nucleari	125
<hr/>	
Capitolo 15 REATTORI NUCLEARI DI I E II GENERAZIONE	128
15.1 - Reattore ad acqua in pressione - PWR	128
15.2 - Reattore ad acqua bollente - BWR	128
15.3 - Reattore ad acqua leggera - LWR	130
15.4 - Reattore ad acqua pesante - HWR	130
15.5 - Reattore a gas - GCR	132
15.6 - Reattore avanzato a gas - AGR	133
15.7 - Reattore a gas ad alta temperatura - HTGR	133
15.8 - Reattore veloce autofertilizzante - FBR	133
<hr/>	
Capitolo 16 REATTORI NUCLEARI DI III GENERAZIONE	138
16.1 - Principali reattori GEN-III	138
16.2 - La sicurezza degli impianti GEN-III	140
16.3 - Reattore ad acqua in pressione europeo - EPR	141
16.3.1 - Aspetti sulla competitività economica nel progetto EPR	142
16.3.2 - Aspetti sulla sicurezza nel progetto EPR	143
16.3.3 - Componenti dell'impianto EPR	144
16.4 - Reattore ad acqua in pressione avanzato - AP1000	146
16.5 - Reattore ad acqua in pressione - System 80+	147
16.6 - Reattore ad acqua bollente avanzato - ABWR	147
16.7 - Reattore ad acqua bollente semplificatoeconomico - ESBWR	149
16.8 - Reattore ad acqua bollente - SWR-1000	150
16.9 - Reattore ad acqua bollente 90+ - BWR 90+	151
16.10 - Reattore CANDU avanzato - ACR	152

16.11 - Reattore ad acqua pesante avanzato - AHWR	152
16.12 - Reattore internazionale, innovativo e sicuro - IRIS	152
16.13 - Reattore modulare a letto di sfere - PBMR	154
16.14 - Reattore multifunzione avanzato a sicurezza intrinseca - MARS	154
<hr/>	
Capitolo 17 REATTORI NUCLEARI DI IV GENERAZIONE	157
17.1 - Requisiti base del programma internazionale GEN-IV	157
17.1.1 - Sostenibilità	157
17.1.2 - Sicurezza ed affidabilità	158
17.1.3 - Economicità	158
17.2 - Reattore veloce a gas - GFR	159
17.3 - Reattore veloce a piombo - LFR	160
17.4 - Reattore a sale fuso - MSR	161
17.5 - Reattore veloce a sodio - SFR	162
17.6 - Reattore a vapore supercritico - SCWR	163
17.7 - Reattore a gas ad altissima temperatura - VHTR	164
17.8 - Dati essenziali dei sistemi GEN-IV	165
17.9 - Programma internazionale INPRO	166
<hr/>	
Capitolo 18 REATTORI NUCLEARI DI PROGETTO RUSSO	169
18.1 - Reattori del tipo RBMK, VVER e BN	169
18.2 - Reattore a canali refrigerato ad acqua bollente - RBMK	170
18.3 - Reattore refrigerato e moderato con acqua in pressione - VVER	174
18.4 - Reattore veloce refrigerato a sodio - BN	175
18.5 - Assistenza occidentale	175
<hr/>	
Capitolo 19 REATTORI NUCLEARI SOTTOCRITICI	179
19.1 - Caratteristiche degli Accelerator Driven System - ADS	179
19.2 - Sistemi sottocritici per la distruzione dei rifiuti nucleari	180
19.3 - Programmi di ricerca nazionali e internazionali	182
<hr/>	
Capitolo 20 REATTORI A FUSIONE	184
20.1 - Energia da fusione	184
20.2 - Vantaggi dell'energia da fusione	184
20.3 - Obiettivi da raggiungere con la realizzazione di un reattore a fusione	185
20.4 - Energia da fusione inerziale - IFE	186
20.5 - Energia da fusione magnetica - MFE	189
20.6 - Componenti principali di un reattore a fusione a confinamento magnetico	191
20.7 - Programmi di ricerca nazionali e internazionali	193
<hr/>	
PARTE IV	
Situazione energetica e nucleare in Italia e nel mondo	199
<hr/>	
Capitolo 21 LA SITUAZIONE ENERGETICA ITALIANA	201

21.1 - Il mix energetico in Italia	201
21.2 - Prezzo dell'energia elettrica in Europa	204
21.3 - Sicurezza negli approvvigionamenti	205
21.4 - Capacità produttiva contro il rischio blackout	205
21.5 - Emissioni di gas serra	206
21.6 - Importazioni di energia elettrica	207
21.7 - Opzione nucleare	207
<hr/>	
Capitolo 22 LA SITUAZIONE NUCLEARE ITALIANA	211
22.1 - Competenze nel settore nucleare	211
22.2 - Il referendum del 1987	213
22.3 - Le centrali nucleari in Italia	215
22.3.1 - Centrale di Latina	215
22.3.2 - Centrale del Garigliano	216
22.3.3 - Centrale di Trino	216
22.3.4 - Centrale di Caorso	216
22.4 - Alcuni progetti nucleari mai completati in Italia	217
22.4.1 - Centrale di Montalto di Castro	217
22.4.2 - Reattore nucleare CIRENE a Latina	217
22.4.3 - Reattore nucleare PUN	218
22.5 - Gli impianti del ciclo del combustibile in Italia	218
22.5.1 - Impianto FN	219
22.5.2 - Impianto EUREX	219
22.5.3 - Impianti OPEC e IPU	219
22.5.4 - Impianto ITREC	219
22.6 - I reattori di ricerca in Italia	219
22.7 - Il deposito nazionale	221
<hr/>	
Capitolo 23 LA SITUAZIONE NUCLEARE NEL MONDO	226
23.1 - Potenza elettrica installata e generata	226
23.2 - Fattori che hanno rallentato l'espansione dell'energia nucleare	226
23.3 - Rinnovato interesse per l'energia nucleare	228
23.4 - Espansione dell'energia elettro-nucleare	230
23.4.1 - Il nucleare in Asia	230
23.4.2 - Il nucleare nei nuovi Stati indipendenti	231
23.4.3 - Il nucleare in America	232
23.4.4 - Il nucleare in Europa	232
23.4.5 - Il nucleare in Africa	234
<hr/>	
Glossario	241
<hr/>	
Appendice 1: Lista degli acronimi in ordine alfabetico	255
Appendice 2: Lista degli acronimi in ordine per categorie	263
Appendice 3: Reattori nucleari esistenti nel mondo (IAEA 2006)	270
 Indice Analitico	 287