

Roberto Caldon

Fabio Bignucolo

IMPIANTI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

Criteria di scelta e dimensionamento



SOCIETÀ EDITRICE
ESCULAPIO



Indice

Sezione A

INTRODUZIONE AGLI IMPIANTI DI PRODUZIONE ELETTRICA

↳ Capitolo 1 Fabbisogno energetico e ruolo della produzione elettrica	3
1.1 Energia e sviluppo economico	3
1.2 Le fonti d'energia	5
1.3 Struttura dei consumi energetici	6
↳ Capitolo 2 La pianificazione e la gestione economica della produzione elettrica	9
2.1 La pianificazione a lungo termine della produzione elettrica	9
2.1.1 La previsione del carico	10
2.1.2 Previsione del picco (massima potenza)	12
2.1.3 Struttura ottimale di un parco di produzione elettrica	15
2.1.4 Sistema di produzione con impianti anche diversi dai termoelettrici	18
2.2 La gestione economica a breve termine della produzione elettrica	20
2.2.1 Gestione centralizzata	20
2.2.1.1 Caratteristiche delle unità termiche	21
2.2.1.2 Il dispacciamento economico	22
2.3 Gestione della produzione in un mercato competitivo	26
2.3.1 Esempio di funzionamento del mercato elettrico	27
↳ Capitolo 3 Tipologia delle centrali elettriche	31
3.1 Generalità	31
3.2 Configurazioni tipiche dello schema elettrico di centrale	32
3.2.1 Configurazioni per centrali annesse ad impianti industriali in media tensione	32
3.2.2 Configurazioni per centrali collegate alla rete AT	34

Sezione B

IMPIANTI DI PRODUZIONE A FONTE RINNOVABILE

↳ Capitolo 4 Impianti idroelettrici	39
4.1 Classificazione degli impianti idroelettrici	39
4.2 Analisi idrologica	40
4.2.1 Determinazione dei deflussi D	41
4.2.2 Calcolo del valore degli afflussi A	41
4.2.3 Anno tipico	42
4.3 Valutazione della taglia più conveniente per un impianto ad acqua fluente	44
4.4 Dimensionamento del serbatoio	44
4.5 Elementi costitutivi di un impianto idroelettrico tipo	46
4.5.1 Richiami di idraulica	48
4.6 Transitori idraulici	49
4.7 Transitorio idraulico del sistema galleria-pozzo piezometrico	50
4.8 Criteri di scelta del pozzo piezometrico	52
4.8.1 Volume minimo del pozzo piezometrico	53
4.8.2 Vincoli dimensionali ai fini della stabilità del sistema	53
4.8.3 Forme costruttive dei pozzi piezometrici	54
4.9 Transitorio idraulico nelle condotte forzate	56
4.10 Condotte forzate	59
4.10.1 Caratteristiche delle condotte forzate	59
4.10.2 Procedura di dimensionamento di una condotta	60
4.10.3 Procedimento grafico per la determinazione della pressione di dimensionamento di ciascun tratto di condotta	61
4.10.4 Spessori adottati per la condotta	62
4.10.5 Valutazione dei costi di investimento e di esercizio della condotta	62
4.10.6 Verifica di una condotta contro il rischio di schiacciamento	63
4.10.7 Sollecitazione a flessione di una condotta	64
4.10.8 Verifica della stabilità dei blocchi di ancoraggio	64
4.10.9 Tipologie costruttive di condotte forzate	65
4.11 Organi di intercettazione idraulica	67
4.11.1 Paratoia piana	68
4.11.2 Valvola a farfalla	69
4.11.3 Valvola rotativa	69
4.11.4 Valvola a fuso	70
4.12 Le turbine idrauliche per grandi impianti	71
4.12.1 Definizioni di base	71
4.12.2 Richiami teorici	72
4.12.3 Scelta del tipo di turbina	73
4.12.4 Scelta della potenza più conveniente dei gruppi da installare nelle centrali	75
4.12.5 Diagrammi collinari	76
4.13 La cavitazione	79
4.14 Turbine per impianti con caratteristiche particolari	80
4.15 Impianti di accumulazione (pompaggio)	82
4.15.1 Valutazione della convenienza a realizzare un impianto di pompaggio nel caso di spostamento di energia da base a punta	82

4.15.2 Disposizioni costruttive tipiche degli impianti di pompaggio	84
4.15.2.1 Gruppi indipendenti	84
4.15.2.2 Gruppi ternari	85
4.15.2.3 Gruppi binari (macchine reversibili)	86
4.15.3 Scelta del macchinario idraulico	87
4.15.3.1 Dimensionamento della pompa di gruppi indipendenti o gruppi ternari	87
4.15.3.2 Macchine reversibili per gruppi binari	88
4.15.4 Problemi idraulici e di installazione per gli impianti di pompaggio	90
4.15.5 Avviamento ed arresto dei gruppi di pompaggio	93
4.16 Mini e micro idroelettrico	97
4.16.1 Definizione	97
4.16.2 Vantaggi della generazione a regime di rotazione variabile	98
4.16.3 Tipologie di turbina	99
4.16.3.1 Turbina mini-Pelton	99
4.16.3.2 Turbina Turgo	101
4.16.3.3 Turbina cross-flow e mini cross-flow	101
4.16.3.4 Turbina Dive	101
4.16.3.5 Coclea	102
4.16.3.6 Turbina VLH (Very Low Head)	103
→ Capitolo 5 Impianti fotovoltaici	105
<hr/>	
5.1 La fonte primaria solare	105
5.1.1 Irraggiamento solare	105
5.1.2 Traiettorie solari	107
5.1.3 Radiazione solare	108
5.2 La cella fotovoltaica	111
5.3 I pannelli fotovoltaici	114
5.4 Tipologie di impianto fotovoltaico	117
5.5 Progettazione preliminare di un impianto fotovoltaico	119
5.5.1 Potenza nominale dell'impianto	122
5.5.2 Connessione alla rete pubblica	122
5.5.3 Orientazione e inclinazione dei pannelli fotovoltaici	122
5.5.4 Stima della producibilità unitaria	123
5.5.5 Ombreggiamenti sistematici	127
5.6 Convertitore statico (inverter)	129
5.6.1 Configurazione del campo fotovoltaico e numero di inverter	129
5.6.2 Dimensionamento dell'inverter	131
5.7 Altre componenti di impianto	134
5.7.1 Limitazione degli effetti negativi causati dall'ombreggiamento	134
5.7.2 Realizzazione delle stringhe fotovoltaiche	134
5.7.3 Diodi di blocco	135
5.7.4 Cavi di collegamento	136
5.7.5 Protezioni	136
5.8 Monitoraggio degli impianti fotovoltaici	138
5.9 Impatto della generazione fotovoltaica sulla rete	139

↳ Capitolo 6 Impianti eolici	141
6.1 Sfruttamento della risorsa eolica	141
6.1.1 Caratterizzazione della fonte eolica	143
6.1.2 Distribuzione statistica di Weibull	144
6.2 Tipologie di impianto eolico	144
6.2.1 Classificazione per taglia	144
6.2.2 Classificazione per tipologia di conversione eolico-meccanica	145
6.2.3 Classificazione per tipologia di rotore	145
6.2.4 Classificazione per metodo di controllo della potenza massima	149
6.2.5 Classificazione per destinazione d'uso	149
6.3 Conversione di energia eolica-meccanica	150
6.3.1 Teoria di Betz	151
6.4 Conversione di energia meccanica-elettrica	154
6.4.1 Sistemi a velocità variabile con moltiplicatore di giri (DFIG)	154
6.4.2 Sistemi a velocità variabile di tipo Direct Drive	156
6.5 Limiti allo sviluppo della fonte eolica	157
6.5.1 Necessaria caratterizzazione del sito	157
6.5.2 Tempo di ritorno dell'investimento ed esposizione finanziaria	158
6.5.3 Occupazione del suolo	158
6.5.4 Impatto visivo e acustico	159
6.5.5 Interferenze con la fauna locale	160
6.5.6 Impatto sulla rete elettrica	161

Sezione C

IMPIANTI DI PRODUZIONE A FONTE FOSSILE

↳ Capitolo 7 Impianti termoelettrici	167
7.1 Impianti con turbina a vapore	167
7.1.1 Localizzazione dei siti di produzione	167
7.1.2 Estensione dei siti di produzione	168
7.1.3 Disposizione dei componenti dell'impianto (plant layout)	169
7.1.3.1 Disposizione delle opere di presa e restituzione dell'acqua di raffreddamento	169
7.1.3.2 Disposizione dello stoccaggio del combustibile (parco combustibile)	170
7.1.3.3 Disposizione dei vari circuiti costitutivi del funzionamento dell'impianto	171
7.1.4 Disposizione dei macchinari (layout della sala macchine)	172
7.1.4.1 Disposizione longitudinale	172
7.1.4.2 Disposizione ad assi paralleli (trasversali)	172
7.1.4.3 Disposizione ad assi inclinati	173
7.2 Trasformazioni energetiche in un impianto termoelettrico	173
7.3 Cicli termici nel circuito acqua-vapore	174
7.3.1 Richiami sui cicli termici	174
7.3.1.1 Ciclo di Carnot	174
7.3.1.2 Ciclo di Rankine	175

7.3.1.3	Perfezionamenti del ciclo di Rankine tramite surriscaldamento	176
7.3.1.4	Perfezionamenti del ciclo di Rankine tramite risurriscaldamento	177
7.3.1.5	Perfezionamenti del ciclo di Rankine tramite surriscaldamento e rigenerazione termica	177
7.3.1.6	Perfezionamenti del ciclo di Rankine a pressione ipercritica	179
7.4	Il generatore di vapore	181
7.4.1	Dati nominali del generatore di vapore	181
7.4.2	Modellazione dello scambio termico	182
7.4.3	Costruzione del generatore di vapore e zone tipiche	183
7.4.4	Schemi funzionali delle varie tipologie di caldaia in relazione alle modalità di circolazione	185
7.4.4.1	Caldaia a circolazione naturale	185
7.4.4.2	Caldaia a circolazione assistita	186
7.4.4.3	Caldaia a circolazione forzata	187
7.4.4.4	Caldaia a circolazione combinata	188
7.4.5	Aspetti costruttivi della caldaia	188
7.5	La turbina a vapore	190
7.5.1	Scelta della velocità di rotazione	190
7.5.2	Scelta della disposizione	192
7.5.3	Definizione di potenza della turbina	194
7.6	Il condensatore	195
7.7	Trattamento dell'acqua di reintegro	198
7.7.1	Trattamenti	198
7.7.1.1	Reazioni con resine cationiche	199
7.7.1.2	Reazioni con resine anioniche	199
7.8	Le pompe di alimento	200
7.8.1	Costruzione delle pompe di alimento	202
7.9	I riscaldatori dell'acqua di alimento	204
7.10	Il degasatore	206
7.11	Il circuito combustibile/aria-fumi	207
7.12	Combustibili e relativi circuiti	208
7.12.1	Combustibile solido (carbone)	208
7.12.2	Combustibile liquido	210
7.12.3	Combustibile gassoso (gas naturale)	211
7.13	La combustione	212
7.13.1	Calcolo delle emissioni	212
7.13.1.1	Calcolo dell'ossigeno teorico	212
7.13.1.2	Calcolo della quantità di aria di alimento	213
7.13.1.3	Calcolo della portata dei fumi in uscita dalla caldaia	214
7.14	Dimensionamento della camera di combustione	215
7.15	I bruciatori	217
7.16	Altri componenti del circuito aria-fumi	218
7.16.1	Ventilatori	219
7.16.2	Riscaldatori d'aria a vapore (RAV)	220
7.16.3	Riscaldatori d'aria (RA)	220
7.16.4	Ventilatori di ricircolo	221
7.17	Il trattamento dei fumi	222
7.18	Sistemi di abbattimento del particolato solido (polveri sospese trasportate)	222
7.18.1	Precipitatori meccanici	223
7.18.2	Filtri a tessuto (o a manica)	223

7.18.3	Precipitatori elettrostatici	224
7.19	La desolforazione delle emissioni	230
7.19.1	Desolforazione prima della combustione	230
7.19.2	Desolforazione durante la combustione	230
7.19.3	Desolforazione dopo la combustione	230
7.19.3.1	Processo a umido non rigenerativo, con recupero, a calce/calcare	231
7.19.3.2	Processo a umido non rigenerativo, con recupero, con ammoniaca (processo Walther)	233
7.19.3.3	Processo a umido rigenerativo, con recupero, con bisolfito sodico (processo Wellman-Lord)	234
7.19.3.4	Processo a semi-secco, senza recupero, con calcare/calce (processo spray-dry)	236
7.20	La denitrificazione	237
7.21	Il camino	238
7.22	Ordine dei dispositivi nel circuito aria-fumi	239
7.23	Sistemi di raffreddamento	240
7.23.1	Sistemi a ciclo aperto	240
7.23.2	Sistemi a ciclo chiuso	241
7.23.2.1	Torre di raffreddamento ad evaporazione	241
7.23.2.2	Torre di raffreddamento a scambiatore	241
7.24	Fondazioni e vibrazioni dei gruppi turbina-generatore	242
7.24.1	Analisi delle ripercussioni dell'eccentricità sull'albero del gruppo	243
➔ Capitolo 8 Impianti turbogas, ciclo combinato e speciali		245
8.1	Impianti termoelettrici a turbogas	245
8.1.1	Possibili miglioramenti al ciclo di Brayton elementare	247
8.2	Impianti a ciclo combinato	248
8.2.1	Ciclo combinato Unfired	249
8.2.2	Ciclo combinato Fully-fired	250
8.3	Impianti speciali	252
8.3.1	Combustione a letto fluido (Fluidized Bed Combustion FBC)	252
8.3.2	Impianti IGCC (Cicli Combinati con Gassificazione Integrata)	254
➔ Capitolo 9 Impianti nucleari		255
9.1	Richiami di fisica nucleare	256
9.1.1	Struttura dell'atomo e del nucleo	256
9.1.2	Radioattività	258
9.1.2.1	Decadimento Beta	258
9.1.2.2	Decadimento Beta+ (positrone)	258
9.1.2.3	Decadimento Alfa	259
9.1.2.4	Decadimento Gamma	259
9.1.2.5	Decadimento radioattivo	259
9.1.2.6	Reazioni nucleari	260
9.1.2.7	Reazioni neutroniche	260
9.1.3	Sezione d'urto per le reazioni nucleari	261
9.2	Il processo di fissione	263