

INDICE

Introduzione	1
Le Macchine per la generazione di energia in forma utile	1
Classificazione delle Macchine a Fluido	2
Soluzioni realizzative per macchine motrici ed operatrici.....	10
Capitolo 1 Fondamenti di Termodinamica delle macchine	15
1.1 Il I principio della Termodinamica: le funzioni di stato <i>energia interna</i> ed <i>entalpia</i>	15
1.1.1 Sistemi chiusi (criterio lagrangiano).....	18
1.1.2 Sistemi aperti (criterio euleriano)	24
1.2 Il II principio della Termodinamica: la funzione di stato <i>entropia</i>	35
1.3 Sintesi del I e II principio della Termodinamica	40
1.3.1 L'equazione dell'energia in termini termodinamici e meccanici.....	40
1.3.2 Applicazione alle macchine e alle apparecchiature di scambio termico	43
1.4 Il bilancio dei flussi di massa, di energia e di entropia.....	44
1.5 Proprietà dei fluidi tecnici	47
1.5.1 Gas perfetti	48
1.5.2 Liquidi perfetti	58
1.5.3 Fluidi tecnici	64
1.5.4 Gas elementari e miscele di gas	66
1.5.5 Liquidi. Proprietà dell'acqua.....	72
1.5.6 Vapore saturo e surriscaldato. Proprietà del vapor d'acqua.....	73
1.6 Scambi di energia, rendimento e potenza nelle macchine e nelle apparecchiature di scambio termico	77
1.6.1 Scambio di lavoro con i fluidi comprimibili nelle macchine termiche. Rendimento e potenza.....	78
1.6.1.1 Considerazioni generali sulla compressione ed espansione dei gas	78
1.6.1.2 Compressione dei gas.....	85
1.6.1.3 Espansione dei gas	90
1.6.1.4 Rendimenti e potenze.....	95
1.6.1.5 Espansione del vapore.....	97
1.6.2 Scambio di lavoro con i fluidi incomprimibili (liquidi) nelle macchine idrauliche. Rendimento e potenza.....	101
1.6.3 Scambio di calore nelle apparecchiature di scambio termico. Efficienza e potenza termica	105
1.7 Termodinamica dei cicli di conversione dell'energia.....	111
1.7.1 Definizioni preliminari	111
1.7.2 Proprietà fondamentali dei cicli termodinamici: rendimento e lavoro specifico.....	113

1.7.3 Cicli termodinamici di base per impianti di conversione dell'energia	119
1.7.4 Cenno al rendimento globale degli impianti di conversione dell'energia	121

Capitolo 2 Turbomacchine: Principi di funzionamento e criteri di scelta.....125

2.1 Introduzione allo studio dell'efflusso e alle equazioni cardinali	126
2.2 L'equazione di Eulero dall'equazione della meccanica	128
2.3 L'equazione di Eulero dall'equazione dell'energia.....	136
2.4 Efflusso nei condotti: correlazione tra velocità del fluido e sezione del condotto	138
2.5 Generalità sui condotti delle turbomacchine	143
2.5.1 Funzione e configurazione dei condotti statorici	145
2.5.2 Funzione e configurazione dei condotti rotorici	147
2.6 Analisi degli stadi delle turbomacchine.....	150
2.6.1 Grandezze totali e Rotalpia.....	150
2.6.2 Stadio di turbina.....	152
2.6.3 Stadio di compressore.....	161
2.7 Stadi caratteristici di turbine termiche assiali.....	169
2.7.1 Generalità sulla forma della palettatura dello stadio assiale	169
2.7.2 Stadio ad azione	173
2.7.3 Stadio a reazione.....	178
2.7.4 Confronto tra stadi ad azione ed a reazione. Cenni alla configurazione delle turbine multiple (plurstadio)	182
2.8 L'efflusso tridimensionale: equilibrio radiale e Legge del Vortice Libero ..	185
2.9 Criteri di scelta delle turbomacchine.....	188
2.9.1 L'analisi dimensionale ed il Teorema del Π	188
2.9.1.1 Applicazione alle turbomacchine.....	189
2.9.2 Il metodo di Baljé.....	192
2.9.3 Scelta della turbomacchina	200

Capitolo 3 Turbomacchine motrici idrauliche.....207

3.1 Considerazioni generali e parametri caratteristici	207
3.1.1 Definizione del salto motore utile.....	207
3.1.2 Calcolo del salto motore utile in funzione delle caratteristiche dell'impianto	210
3.1.3 Rendimenti e potenze.....	212
3.1.4 Cenni agli impianti motori idraulici.....	214
3.2 Classificazione delle turbine idrauliche.....	217
3.3 Scelta della turbina	223
3.4 Turbine Pelton	226
3.4.1 Configurazione e parametri caratteristici.....	226
3.4.2 Dimensionamento preliminare.....	233

3.4.3	Regolazione della potenza e condizioni operative	238
3.5	Turbine a reazione: Francis e Kaplan	240
3.5.1	Configurazione e parametri caratteristici	240
3.5.2	Recupero allo scarico. La cavitazione.....	244
3.5.3	Il dimensionamento preliminare delle turbine Francis	249
3.5.4	Il dimensionamento preliminare delle turbine Kaplan.....	254
3.5.5	Regolazione della potenza e condizioni operative.....	261

Capitolo 4 Turbomacchine operatrici idrauliche265

4.1	Considerazioni generali e parametri caratteristici	265
4.1.1	Definizione di prevalenza di una pompa.....	265
4.1.2	Calcolo della prevalenza in funzione delle caratteristiche dell'impianto	267
4.1.3	Rendimenti e potenze.....	270
4.2	Classificazione delle pompe dinamiche.....	272
4.3	Il fenomeno della cavitazione.....	274
4.4	Scelta della pompa.....	280
4.5	Dimensionamento preliminare delle pompe centrifughe.....	282
4.5.1	Parametri cinematici	282
4.5.2	Parametri geometrici	286
4.5.3	Individuazione dei principali parametri di input della procedura	289
4.6	Curve caratteristiche di funzionamento delle pompe dinamiche.....	298

Capitolo 5 Macchine volumetriche operatrici307

5.1	Generalità sulle macchine volumetriche operatrici	307
5.2	Compressori volumetrici alternativi	310
5.2.1	Schemi costruttivi, principi di funzionamento e parametri di prestazione	310
5.2.2	Compressori volumetrici alternativi pluristadio	318
5.2.3	Regolazione dei compressori volumetrici alternativi.....	319
5.3	Cenni ai compressori volumetrici rotativi	325
5.4	Pompe volumetriche alternative	330
5.5	Cenni alle pompe volumetriche rotative.....	337

Capitolo 6 Cicli con turbine a vapore341

6.1	Generalità sul ciclo di riferimento e sul relativo schema impiantistico di base	341
6.2	Ciclo di base limite e reale.....	346
6.3	Analisi termodinamica del ciclo base	350
6.3.1	Condizioni al condensatore.....	352
6.3.2	Condizioni al generatore di vapore	360
6.4	Modifiche al ciclo base.....	366
6.4.1	Il surriscaldamento del vapore.....	367
6.4.2	La rigenerazione termica.....	371

6.5	Cenni alle soluzioni impiantistiche e prestazioni globali	386
-----	---	-----

Capitolo 7 Cicli con turbine a gas389

7.1	Generalità sul ciclo di riferimento e sul relativo schema impiantistico di base	390
7.2	Ciclo ideale e ciclo limite	395
7.2.1	Ciclo ideale	395
7.2.2	Ciclo limite.....	403
7.3	Ciclo reale semplificato	405
7.4	Eventuali modifiche al ciclo di base.....	414
7.4.1	La rigenerazione	415
7.4.2	Frazionamento della compressione/espansione.....	424
7.4.2.1	Compressione interrefrigerata.....	424
7.4.2.2	Espansione interriscaldata.....	430
7.4.2.3	Combinazione di rigenerazione, interrefrigerazione e ricombustione.....	435
7.4	Cenni alle soluzioni impiantistiche e prestazioni globali	438

Capitolo 8 Cicli combinati gas-vapore.....443

8.1	Generalità sul ciclo di riferimento e sullo schema impiantistico di base	444
8.1.1	Considerazioni termodinamiche	444
8.1.2	Espressione del rendimento e dei lavori specifici.....	446
8.1.3	Schema impiantistico di base.....	449
8.2	Generatori di vapore a recupero ad un livello di pressione	451
8.2.1	Criterio di calcolo e di ottimizzazione singola di un GVR/1L	454
8.2.2	Criteri di ottimizzazione combinata GVR-ciclo a vapore.....	459

Capitolo 9 Cicli con macchine volumetriche.....463

9.1	Principi di funzionamento e classificazione dei MCI.....	464
9.1.1	Grandezze geometriche e cinematiche caratteristiche	464
9.1.2	Principi di funzionamento e classificazione	467
9.1.3	La fase di combustione	471
9.2	Cicli ideali e limite di riferimento	479
9.2.1	Cicli ideali.....	479
9.2.2	Cicli limite	487
9.3	Ciclo reale (ciclo indicato)	490
9.4	Prestazioni e campi di applicazione.....	499