

Indice

I	Energie e Richiami di Termodinamica	1
1	Fonti di energia	3
1.1	Cenni storici	3
1.2	Fonti di energia	3
1.3	Energia idraulica	6
1.3.1	Impianti idraulici a bacino	7
1.3.2	Impianti idraulici ad acqua fluente	9
1.4	Energia eolica	10
1.4.1	La teoria di Betz	13
1.4.2	Forza aerodinamica esercitata su un'ala in moto in atmosfera ferma	15
1.5	Energia solare	18
1.6	Energia delle maree	19
1.7	Energia geotermica	20
1.7.1	Sistemi idrotermici a vapore dominante	22
1.7.2	Sistemi idrotermici ad acqua dominante	22
1.7.3	Sistemi geopressurizzati	23
1.7.4	Sistemi petrotermici	23
1.7.5	Esempi di realizzazioni geotermiche in Italia	23
1.7.6	Schemi di impianto per campi ad acqua dominante	26
1.8	Energia nucleare	28
1.8.1	Reattori refrigerati a gas	28
1.8.2	Reattori PWR e BWR	29
1.8.3	Reattori refrigerati a metalli liquidi	31
1.8.4	Reattori CANDU	31
1.8.5	Realizzazioni in Italia di centrali nucleari	32
2	Termodinamica applicata	37
2.1	Considerazioni sui cicli termodinamici	37
2.1.1	L'effetto CARNOT	37
2.1.2	L'effetto di molteplicità delle sorgenti	38
2.1.3	Effetto CLAUSIUS	41
2.2	Piani termodinamici di riferimento	43
2.2.1	Piano di Clapeyron	43
2.2.2	Piano entropico	45
2.2.3	Piano di Mollier	49
2.3	Trasformazioni reali e politropiche equivalenti	50
2.3.1	Trasformazioni di compressione	51
2.3.2	Lavori di compressione per le trasformazioni più comuni	52

2.3.3	Rendimenti di compressione	53
2.4	Trasformazioni di espansione	55
2.5	Sistemi a più fasi	57
2.5.1	Cambiamenti di fase	57
3	Scambio di lavoro tra fluido e macchina	61
3.1	Ipotesi di monodimensionalità	61
3.2	Differenza tra macchine volumetriche e dinamiche	62
3.3	I triangoli delle velocità	63
3.3.1	Piani radiali e piani meridiani	63
3.4	Equazioni energetiche del moto dei fluidi	65
3.4.1	Moto del fluido in condotti fissi	65
3.4.2	Moto del fluido in condotti mobili	69
3.4.3	Equazione di Eulero	70
4	Combustibili e combustione	73
4.1	Combustibili: tipi e caratteristiche	73
4.1.1	Il carbone	73
4.1.2	Il petrolio	74
4.1.3	Combustibili gassosi	76
4.2	Reazioni elementari di combustione	76
4.3	Determinazione dell'aria teorica di combustione	78
4.3.1	Combustibili solidi e liquidi	78
4.3.2	Combustibili gassosi	79
4.3.3	Combustibili di composizione ignota	79
4.4	Aria reale di combustione - eccesso d'aria	80
4.5	Volume dei gas di combustione	80
4.5.1	Combustibili solidi e liquidi	81
4.5.2	Combustibili gassosi	82
4.6	Determinazione del potere calorifico	83
4.7	Potere calorifico inferiore e superiore	84
5	Espansioni e compressioni dinamiche nei condotti	85
5.1	Equazioni energetiche di base e definizioni	85
5.1.1	Equazioni cardinali per lo studio dei condotti	85
5.1.2	Velocità caratteristica adiabatica	87
5.1.3	Entalpia e temperatura totali, di ristagno e statiche	88
5.1.4	Pressione totale, di ristagno, statica e dinamica	90
5.2	Efflusso in condotti a sezione variabile	91
5.2.1	Le relazioni di Hugoniot	91
5.2.2	Andamenti comparati di pressione e velocità in funzione della sezione del condotto	92
5.2.3	Velocità di efflusso attraverso un condotto	93
5.2.4	Forma di un condotto in relazione al suo impiego	95
5.2.5	Portata elaborata da un ugello	95
5.2.6	Calcolo delle sezioni di passaggio	97
5.2.7	Compressioni per urto	99
5.3	Comportamento di un ugello convergente-divergente	104
5.3.1	Comportamento da ugello accelerante	104

5.3.2	Comportamento da diffusore	105
5.4	Ugelli non isoentropici	106
II	Impianti motori	111
6	Impianti motore a vapore	113
6.1	Circuito elementare e ciclo termodinamico	113
6.1.1	Ciclo Rankine e ciclo Hirn	114
6.1.2	Rendimento del ciclo di lavoro	115
6.2	Valori ammissibili di temperatura e pressione del ciclo termodinamico	117
6.3	Rendimento e potenza	117
6.4	Condizioni termodinamiche al condensatore	119
6.4.1	Condizioni termodinamiche al generatore di vapore e loro influenza sul ciclo	121
6.5	Possibili miglioramenti al circuito elementare	123
6.5.1	Surriscaldamenti ripetuti	123
6.5.2	La rigenerazione termica	128
7	Impianti motori a gas	133
7.1	Generalità	133
7.2	Valori numerici del rendimento	133
7.3	Il ciclo Joule - Brayton semplice	135
7.3.1	Il ciclo ideale	135
7.3.2	Rendimento del ciclo ideale	137
7.3.3	Condizione di massimo lavoro utile in un ciclo ideale	138
7.3.4	Il rendimento isoentropico	140
7.3.5	Rendimento del ciclo con compressione ed espansione non isentropica	142
7.3.6	Il ciclo reale	144
7.4	Varianti al ciclo Joule-Brayton	147
7.4.1	Il ciclo con compressione interrefrigerata	147
7.4.2	Il ciclo con combustione ripetuta	152
7.4.3	Cicli con compressione interrefrigerata e combustione ripetuta	155
7.4.4	Cicli con recupero di calore	155
7.5	Particolarità della combustione negli impianti di turbina a gas	163
7.5.1	Combustione premiscelata e combustione diffusiva	163
7.5.2	Requisiti da soddisfare	165
7.5.3	Struttura di un combustore	166
7.5.4	Tipologie di combustori	167
7.6	Schemi di impianto di turbina a gas	170
7.7	Utilizzo aeronautico della turbina a gas	172
7.7.1	Il turboreattore semplice	172
7.7.2	Il turbofan	177
7.7.3	Il motore turboelica	179
7.8	Utilizzo stazionario della turbina a gas	181
7.9	Utilizzo automobilistico della turbina a gas	183
7.10	Utilizzo ferroviario della turbina a gas	184
7.11	Utilizzo navale della turbina a gas	185
7.12	Utilizzo della turbina a gas per la sovralimentazione dei motori a combustione interna	186

8	Cicli combinati gas - vapore	189
8.1	Introduzione	189
8.2	Fondamenti termodinamici dei cicli combinati	189
8.2.1	Rendimenti di primo e secondo principio, fattore di recupero	191
8.3	Cicli di recupero a vapor d'acqua	193
8.3.1	Tipologie di impianti	193
8.4	Il generatore di vapore a recupero	194
8.5	Generatori di vapore a più livelli di pressione	197
8.5.1	Generatori di vapore a due livelli di pressione	197
8.5.2	Generatori di vapore a tre livelli di pressione	199
8.5.3	Influenza dell'assetto del ciclo sulle prestazioni dell'impianto	200
III	Apparati di scambio termico	203
9	Caldaie, condensatori e rigeneratori	205
9.1	Tipologie di generatori di vapore	205
9.2	Generatori a tubi di fumo	207
9.2.1	Caldaie a tubi di fumo a semplice passaggio	207
9.2.2	Caldaie a tubi di fumo a più passaggi	207
9.2.3	Caldaie a tubi di fiamma	208
9.3	Generatori a tubi d'acqua	211
9.3.1	Il circuito acqua-vapore	212
9.3.2	Circolazione del fluido	213
9.3.3	Il circuito aria-fumi	219
9.4	Alcuni esempi di generatori di vapore	224
9.4.1	Generatori di vapore a circolazione naturale: ad uno, due o tre giri di fumo	224
9.4.2	La caldaia Schmidt-Hartmand	225
9.4.3	La caldaia Löffler	226
9.4.4	La caldaia Benson	227
9.4.5	La caldaia Sulzer	228
9.4.6	La caldaia La Mont	229
9.4.7	Caldaia Velox	229
9.5	Parametri tecnici caratteristici dei generatori di vapore	230
9.6	Considerazioni relative alla scelta del tipo di caldaia	231
9.7	Caratteristiche del vapore prodotto	233
9.8	Rendimento di un generatore di vapore	235
9.8.1	Perdite per calore sensibile nei fumi	237
9.8.2	Perdite per calore latente	238
9.8.3	Perdite per irraggiamento	238
9.8.4	Perdite varie	239
9.9	La corrosione nei generatori di vapore	240
9.9.1	Corrosioni a bassa temperatura	240
9.9.2	Corrosioni ad alta temperatura	242
9.9.3	Provvedimenti per limitare la corrosione a bassa temperatura	244
9.9.4	Provvedimenti per limitare la corrosione ad alta temperatura	245
9.9.5	Provvedimenti per impedire le incrostazioni	245
9.10	Condensatori e rigeneratori	246
9.10.1	Condensatore	246

9.10.2	Rigeneratori	250
9.10.3	Il degasatore	252
9.10.4	Aspetti generali del circuito	254
IV	Motori a combustione interna	257
10	I cicli dei motori a combustione interna	259
10.1	Sistemi a flusso permanente e sistemi senza flusso	259
10.2	Cicli teorici e reali dei motori alternativi	261
10.3	Analisi del ciclo e rendimento termico	263
10.4	Cicli operativi a 4 e a 2 tempi	265
10.5	Il ciclo termodinamico	265
10.5.1	Il ciclo Otto teorico	265
10.5.2	Il ciclo Diesel teorico	268
10.6	Il ciclo misto Sabathé	271
10.7	Confronto tra i cicli teorici	273
10.8	Pressione media del ciclo	276
10.9	Rendimento indicato	276
10.9.1	Differenze tra il ciclo Otto reale e teorico	276
10.9.2	Differenze tra ciclo Diesel reale e teorico	278
10.9.3	Esame del diagramma indicato	279
10.10	Il diagramma delle pressioni	282
10.11	Trasformazione del moto alternato in moto rotatorio	284
10.11.1	Il movimento del pistone e della biella	284
10.11.2	La velocità dello stantuffo	286
10.11.3	Accelerazione del pistone	288
10.11.4	Masse dotate di moto alterno e masse rotanti	290
10.11.5	Forze alterne d'inerzia.	291
10.11.6	Diagramma delle forze risultanti	291
10.11.7	Il diagramma della coppia motrice	294
10.11.8	Il volano	296
10.11.9	L'equilibratura dei motori	297
11	Caratteristiche dei motori a combustione interna	301
11.1	Classificazione dei motori	301
11.2	Campi di impiego	302
11.3	Parametri caratteristici	305
11.3.1	Coppia e potenze effettive	306
11.3.2	Grandezze indicate	307
11.3.3	Rendimento organico η_o	308
11.3.4	Consumo specifico di combustibile C_{sc}	308
11.3.5	Coefficiente di riempimento λ_v	309
11.3.6	Relazione tra i parametri caratteristici	310
11.3.7	Prestazioni dei motori e curve caratteristiche	311
11.3.8	Accoppiamento del motore all'utilizzatore	313

12 La combustione nei motori alternativi	317
12.1 La combustione nei motori ad accensione comandata	317
12.1.1 Il processo di combustione: funzionamento.	317
12.1.2 Fattori che influenzano la velocità di combustione	319
12.1.3 Variazione della pressione durante la combustione	321
12.1.4 Combustioni anomale	322
12.1.5 La detonazione	323
12.1.6 Condizionamenti architettonici dei motori ad accensione comandata e principali tipi di camere di combustione	325
12.2 La combustione nei motori ad accensione per compressione	329
12.2.1 Generalità	329
12.2.2 La combustione nei motori Diesel	330
12.2.3 Il battito di combustione nei motori AC	331
12.2.4 Parametri che influenzano il tempo di ritardo all'accensione nei motori Diesel	332
12.2.5 Considerazioni	337
12.2.6 La forma della camera di combustione	338
12.2.7 Confronto fra i diversi tipi di camere	342
12.2.8 Altri esempi di camere di combustione per motori Diesel	343
13 Combustibili per motori	347
13.1 Esigenze dei motori a combustione interna	347
13.2 Combustibili attualmente utilizzati	348
13.3 La detonazione	351
14 Alimentazione aria nel motore a quattro tempi	363
14.1 Alimentazione aria nei motori	363
14.2 Analisi semplificata del processo	363
14.3 Determinazione del coefficiente di riempimento	367
14.4 Effetti quasi-stazionari	368
14.4.1 Riscaldamento della carica fresca	368
14.4.2 Resistenze fluidodinamiche	370
14.5 Condizioni di flusso attraverso le valvole	370
14.5.1 Sezioni di passaggio	371
14.5.2 Coefficiente di efflusso	372
14.5.3 Permeabilità della luce di passaggio di una valvola	374
14.5.4 Alzata massima della valvola	375
14.5.5 Geometria del gruppo condotto-valvola	376
14.5.6 Diagramma della distribuzione	384
14.6 Influenza dell'apporto di combustibile	386
14.6.1 Effetto del calore latente di vaporizzazione	386
15 Alimentazione aria nel motore a due tempi	387
15.1 Il processo di lavaggio	387
15.2 Disposizione delle luci	389
15.3 Coefficienti globali caratterizzanti il lavaggio	392
15.4 Pompe di lavaggio per motori a due tempi	396
15.5 Analisi sperimentale del processo di lavaggio	398
15.5.1 Prove su motori al banco	399
15.5.2 Rilievi su modelli	399

15.5.3	Risultati sperimentali	406
15.6	Progetto dei gruppi di lavaggio e di scarico	407
15.6.1	Area geometrica delle luci	407
15.6.2	Disegno delle luci e dei condotti	409
16	Alimentazione combustibile nel motore Otto	415
16.1	Esigenze del motore Otto	415
16.2	Il carburatore	418
16.2.1	Il circuito principale di dosatura	418
16.2.2	Dispositivi correttivi	423
16.2.3	Dispositivi supplementari	426
16.2.4	Pompetta di ripresa	428
16.3	Disposizione del carburatore e dei condotti di alimentazione dei cilindri	429
16.4	Impianti di iniezione di benzina	431
16.5	Regolazione della dosatura mediante sonda lambda	436
17	Alimentazione del combustibile nel motore Diesel	439
17.1	Regolazione del carico nel motore Diesel	439
17.2	Funzioni dell'apparato di iniezione	439
17.3	Tipi principali di sistemi di iniezione	440
17.4	Funzionamento della pompa di iniezione	441
17.5	Gli iniettori	443
17.6	Formazione della carica comburente	445
17.6.1	Polverizzazione dello spray	446
17.6.2	Penetrazione del getto di combustibile	448
17.6.3	Diffusione del getto	449
18	Formazione e controllo degli inquinanti	453
18.1	Emissioni dallo scarico di un motore ad accensione comandata	453
18.1.1	Formazione del <i>CO</i>	455
18.1.2	Idrocarburi incombusti	456
18.1.3	Ossidi di azoto	458
18.2	Misura delle emissioni inquinanti gassose	460
18.2.1	Strumenti non dispersivi a raggi infrarossi - <i>NDIR</i>	460
18.2.2	Strumenti a ionizzazione di fiamma - <i>FID</i>	461
18.2.3	Strumenti a chemiluminescenza	462
19	Sistemi di aspirazione e scarico	463
19.1	Funzioni dei sistemi di aspirazione e scarico	463
19.2	Condizioni di moto dei fluidi	463
19.3	Effetti dinamici in un motore a quattro tempi	465
19.3.1	Effetto inerziale	465
19.3.2	Il fenomeno inerziale a due gradi di libertà	468
19.3.3	Effetti d'onda	473
19.4	Effetti dinamici in un due tempi veloce	476
19.4.1	Dimensionamento camera di espansione	477
19.4.2	Sistemi a geometria variabile con il regime del motore	479
19.5	Modelli per il calcolo del flusso in aspirazione e scarico	480
19.6	Modelli gasdinamici	481

19.6.1	Modelli monodimensionali	481
19.7	Moto della carica nel cilindro	482
19.7.1	Moti rotatori organizzati della carica	484
19.7.2	Moto di swirl	484
19.7.3	Moto di tumble	489
19.7.4	Moto di squish	493
19.7.5	Evoluzione del campo di moto durante il ciclo	494
20	La sovralimentazione	497
20.1	Introduzione alla sovralimentazione	497
20.2	Sistemi di sovralimentazione	499
20.2.1	Compressori volumetrici	501
20.2.2	Turbocompressori	501
20.2.3	Confronto tra sovralimentazione meccanica e turbodinamica	504
20.3	Limiti della sovralimentazione	505
20.3.1	Motore ad accensione comandata	506
20.3.2	Motori ad accensione per compressione	506
20.3.3	Il motore a due tempi	506
20.4	Il ciclo ideale sovralimentato	507
20.4.1	L'importanza del rapporto di compressione globale	511
20.4.2	Sovralimentazione con interrefrigerazione (intercooler)	512
20.5	Confronto fra il ciclo a quattro tempi sovralimentato e aspirato	515
20.5.1	Massa di combustibile che aumenta in proporzione alla densità	516
20.5.2	Sovralimentazione a bassa e ad alta pressione	519
20.5.3	Sistema ad impulsi ideale	520
20.5.4	Sistema a pressione costante ideale	521
20.6	La sovralimentazione dei motori diesel a due tempi	522
V	Turbomacchine	525
21	Elementi per il progetto delle turbomacchine	527
21.1	Effetto del campo centrifugo	527
21.2	Il vortice libero	528
21.3	Metodi di calcolo per profili alari e schiere di profili	532
21.3.1	Forze di portanza e di resistenza	532
21.3.2	Definizioni	533
21.3.3	Circolazione e teorema di Kutta Joukosky	534
21.3.4	Coefficiente di portanza e di resistenza, diagramma polare	536
21.3.5	Applicazione della teoria delle ali portanti	539
21.3.6	Variazione della portanza per un profilo in schiera rispetto ad un profilo isolato	542
21.3.7	Ali di lunghezza finita ed infinita	544
21.3.8	Condizioni di stallo	547
21.4	Applicazione del criterio di similitudine alle turbomacchine	548
21.4.1	Gruppi adimensionali e loro significato fisico	549
21.4.2	La similitudine nelle turbomacchine	553
21.4.3	Parametri adimensionali per il progetto delle turbomacchine	554

22 Le turbine a vapore e a gas	557
22.1 Generalità e classificazione	557
22.2 Turbina elementare di tipo assiale	560
22.3 Rendimenti delle turbine assiali ad azione ed a reazione	566
22.3.1 Rendimento della palettatura ad azione	566
22.4 Rendimento della palettatura a reazione	569
22.5 Le perdite nelle turbine a vapore	571
22.5.1 Perdite nei distributori	572
22.5.2 Perdite nei condotti mobili	573
22.5.3 Perdite per urto all'entrata	574
22.5.4 Perdita per urto contro il vapore stagnante	575
22.5.5 Perdita per attrito dei dischi	575
22.5.6 Perdita per effetto ventilante delle pale	575
22.5.7 Perdite per fughe di vapore	577
22.5.8 Perdita per velocità residua	578
22.5.9 Perdite di velocità assoluta tra uno stadio ed il successivo	578
22.5.10 Perdite nei supporti	580
22.5.11 Umidità del vapore - Erosione delle pale	581
22.6 Curva di espansione e fattore di recupero	582
22.7 Confronto tra stadi ad azione e a reazione	584
22.7.1 Confronto fra i rendimenti	584
22.7.2 Confronto a parità di salto entalpico	585
22.7.3 Confronto a pari velocità periferica	585
22.7.4 Considerazioni in merito al regime variabile	586
22.8 Tipi di turbine	587
22.8.1 Turbina ad azione a ruota unica	587
22.8.2 Turbina ad azione a salti di velocità	595
22.8.3 Turbina multipla ad azione a salti di pressione	599
22.8.4 Turbine multiple a salti di pressione e di velocità	604
22.8.5 Turbina ad azione di tipo misto	605
22.8.6 Turbina multipla a reazione	608
22.8.7 Turbine miste ad azione e a reazione	614
22.9 Funzionamento in regolazione di una turbina a vapore	616
22.9.1 La laminazione	616
22.9.2 La parzializzazione	617
22.9.3 La regolazione continua della potenza	618
22.10 Particolari costruttivi delle turbine	621
22.10.1 Confronto tra macchina ad azione e macchina a reazione	621
22.10.2 La cassa della turbina	622
22.10.3 Il rotore	623
22.10.4 I diaframmi	625
22.10.5 I manicotti di tenuta	626
22.10.6 La palettatura	629
22.10.7 L'ancoraggio delle pale	629
22.10.8 Giochi radiali ed assiali	630
22.10.9 Sezione trasversale delle pale	632
22.11 Particolarità delle turbine a gas	633
22.12 Il raffreddamento delle palette	636

22.13	Modalità di raffreddamento	637
22.14	Raffreddamento convettivo	638
22.14.1	Accorgimenti per la limitazione del flusso di raffreddamento	640
22.15	Raffreddamento a film	641
22.16	Confronto tra raffreddamento a convezione e a film	641
23	Turbine idrauliche	643
23.1	Gli impianti idroelettrici	643
23.2	Tipologie di impianti	645
23.3	Definizione di quantità utilizzate nel testo	647
23.3.1	Altezze o salti	647
23.3.2	Potenze, perdite e rendimenti	647
23.3.3	Grado di reazione e rapporto di velocità periferica	651
23.3.4	Velocità specifica, diametro specifico	651
23.4	La turbina Pelton	653
23.4.1	L'ugello <i>Doble</i>	654
23.4.2	La ruota	658
23.4.3	Limiti geometrici	661
23.4.4	Regolazione del carico	662
23.4.5	Esempio numerico	664
23.4.6	Turbine Pelton multiple e a più getti	664
23.5	La turbina Francis	666
23.5.1	Il predistributore	667
23.5.2	Il distributore	667
23.5.3	Lo scarico sincrono	670
23.5.4	La girante	672
23.5.5	Il condotto di aspirazione	675
23.5.6	Dimensionamento di massima di una turbina Francis	677
23.6	Cavitazione e altezza massima di scarico	679
23.7	La turbina assiale o turbina "ad elica"	681
23.7.1	La girante	682
23.7.2	Dimensionamento di massima di una turbina assiale	684
23.7.3	La regolazione della turbina Kaplan	684
23.8	Turbine a bulbo e tubolari	687
23.9	Turbine StraFlo e Deriaz	688
24	Introduzione alle macchine operatrici	691
24.1	Tipologie di macchine operatrici	692
24.2	Caratteristiche tecniche	695
24.2.1	Macchine alternative a stantuffi	695
24.2.2	Macchine volumetriche rotative	696
24.2.3	Macchine turbodinamiche	696
24.3	Campi di impiego	697
24.4	Richiami di termodinamica relativi alle trasformazioni di compressione	698
24.4.1	Compressioni con interrefrigerazione	700
24.4.2	Compressione di una miscela di gas	705

25 Compressori dinamici	707
25.1 Compressori assiali	707
25.1.1 Processo di compressione in un compressore assiale	709
25.1.2 Analisi del processo di compressione in un compressore assiale	709
25.1.3 Caratteristica di funzionamento dei compressori assiali	711
25.1.4 Regolazione di un compressore assiale	712
25.1.5 Palettamenti per compressori assiali	713
25.1.6 Classificazione generale dei compressori assiali	715
25.1.7 Fattori che influenzano il massimo rapporto di compressione per stadio	720
25.1.8 Flusso tridimensionale nelle macchine assiali	727
25.2 Compressori centrifughi	733
25.2.1 Processo di compressione in un compressore centrifugo	734
25.2.2 Calcolo teorico della prevalenza	736
25.2.3 Insufficienza della teoria di Eulero	739
25.2.4 Limitazioni al numero di Mach	743
25.2.5 Curva di funzionamento di un compressore	746
25.2.6 Quantità adimensionali per il tracciamento delle curve caratteristiche	748
26 Pompe dinamiche	753
26.1 Organi principali di una pompa a palettamenti rotanti	753
26.2 Rendimento di una turbopompa e potenza necessaria all'azionamento	754
26.3 Curve caratteristiche	756
26.4 Parametri adimensionali	756
26.5 Pompe centrifughe	758
26.5.1 Pompe centrifughe multiple	762
26.6 Pompe a flusso misto e pompe assiali	765
26.7 La cavitazione	770
26.7.1 Regimi di cavitazione	771
26.7.2 Altezza positiva di aspirazione (<i>NPSH</i>)	772
26.7.3 Andamento dell' <i>NPSH</i> in funzione della portata	773
26.7.4 Legame tra <i>NPSH</i> e velocità specifica della pompa	775
26.8 Comportamento di più pompe funzionanti in serie od in parallelo su una condotta	778
26.8.1 Collegamento in serie	778
26.8.2 Collegamento in parallelo	778
27 Calcolo della girante di una turbomacchina	781
27.1 Determinazione delle dimensioni principali della girante	781
27.1.1 Determinazione del diametro esterno	782
27.1.2 Determinazione del diametro interno	782
27.1.3 Superfici di passaggio nelle macchine radiali	787
27.2 Calcolo della superficie delle pale	787
27.2.1 Determinazione della superficie portante necessaria	788
27.2.2 Macchine a flusso assiale	788
27.2.3 Macchine a flusso radiale	789
28 Altri sistemi di pompaggio	793
28.0.4 Eiettori acqua-acqua	793
28.0.5 Eiettori impiegati per l'alimentazione di generatori di vapore	800
28.0.6 Eiettori per l'estrazione di incondensabili	801

VI	Macchine volumetriche	803
29	Gli espansori volumetrici	805
29.1	Introduzione	805
29.2	Cenni Storici	807
29.3	Ciclo Limite	808
29.4	Ciclo Reale	811
29.5	Esempi di cicli d'espansione	815
29.5.1	Ciclo con piena ammissione	815
29.5.2	Ciclo con completa espansione	816
29.5.3	Ciclo con completa ricomprensione	816
29.5.4	Ciclo generico	817
29.6	Espansori volumetrici rotativi: il prototipo Wankel	817
29.6.1	Descrizione Prototipo	817
29.6.2	Ciclo di funzionamento	819
30	Compressori volumetrici	821
30.1	I compressori volumetrici a stantuffo	821
30.1.1	Generalità	821
30.1.2	Il ciclo ideale	822
30.1.3	Il ciclo reale	823
30.1.4	Compressione in più stadi	830
30.1.5	Dimensionamento del compressore	832
30.2	I compressori Roots	834
30.2.1	Rendimento teorico	836
30.2.2	Rendimento volumetrico	836
30.2.3	Il rendimento dinamico e altre perdite aggiuntive	838
30.2.4	Il rendimento meccanico	839
30.2.5	Il rendimento interno ed effettivo	840
30.2.6	Tracciamento del profilo dei lobi	840
30.3	Compressori a vite	842
30.4	Compressori a palette	844
31	Pompe volumetriche	847
31.1	Pompe alternative a stantuffi	847
31.2	Pompe rotative a capsulismi	852
31.2.1	Pompe ad ingranaggi bielcoidali	852
31.2.2	Pompe con rotori a vite	853
31.2.3	Pompe con rotori ad alette mobili	856
31.2.4	Pompe rotative con rotori a lobi	856
31.2.5	Pompe rotative a disco cavo equilibrato	857
31.2.6	Pompe rotative ad anello liquido	858
	Bibliografia	859