INDICE

Volume I – Metodologie di analisi

Capitolo 1 Aspetti generali

1.1 Analisi termodinamica dei componenti……. 2
1.1.1 I bilanci dei flussi di massa, di energia e di entropia……... 2
1.1.2 Le proprietà dei fluidi tecnici…….. 13
1.1.3 Componenti degli impianti di potenza…… 23
1.2 Analisi termodinamica dei cicli di conversione dell'energia……. 34
1.2.1 Definizioni preliminari…… 34
1.2.2 Proprietà fondamentali dei cicli termodinamici: rendimento e lavoro specifico……. 36
1.2.3 La valutazione del rendimento termodinamico attraverso gli effetti Carnot, Clausius e di molteplicità delle sorgenti…….. 42
1.3 Rendimento globale e consumo specifico degli impianti di conversione dell'energia…… 51
1.4 Combustibili fossili…… 56
1.4.1 Classificazione e proprietà fondamentali…… 56
1.4.2 Caratterizzazione dei combustibili di maggiore interesse…... 62
1.5 L'alternativa ai combustibili fossili……... 68
1.5.1 Biomasse e biocombustibili……. 68
1.5.2 Idrogeno e combustibili sintetici (e-fuels)……... 75
1.5.3 Aspetti economici…… 79
1.6 Parametri caratteristici della fase di combustione…….. 79
1.7 Aspetti ambientali: emissioni termiche, gassose e inquinanti…… 85
1.7.1 Emissioni termiche…….. 86
1.7.2 Emissioni gassose…… 87
1.7.3 Emissioni inquinanti…… 90
1.8 Aspetti economici…….. 102
1.8.1 Costo dell'elettricità prodotta…….. 102
1.8.2 Costo di gestione annuo della potenza installata……. 106
1.9 Principi di monitoraggio e diagnostica delle prestazioni……... 108
1.9.1 Caratteristiche e potenzialità di un sistema CDP – OLRT….. 109
1.9.2 Esempio applicativo: il CDP della CET3 di Taranto…….. 118

Capitolo 2 Principi di base della cogenerazione

2.1 Fondamenti termodinamici e considerazioni applicative preliminari… 138
2.2 Rendimenti e parametrici caratteristici…….. 147
2.3 Panoramica nazionale sulla cogenerazione…… 156

Capitolo 3 Apparecchiature di scambio termico e generatori di vapore

3.1 Elementi di scambio termico e scambiatori di calore…… 161
3.1.1 Meccanismi e relative correlazioni di scambio termico…….. 161
3.1.2 Equazioni cardinali degli scambiatori di calore a superficie... 166
3.1.3 Scambiatori di calore a superficie……... 176
3.2 Generatori di vapore a combustibile (GVC)…….. 185
3.2.1 Caldaie a tubi di fumo……. 186
3.2.2 Caldaie a tubi d'acqua……. 192
3.2.3 Bilancio termico e rendimento dei generatori di vapore……. 216
3.3 Generatori di vapore a recupero (GVR)……. 223
3.3.1 Generatori di vapore ad un livello di pressione (GVR/1L)…. 223
3.3.2 Generatori di vapore a due livelli di pressione (GVR/2L)….. 232

Capitolo 4 Metodologie per la valutazione dell'off-design dei componenti

4.1 La valutazione dell'off-design delle turbomacchine…….. 240
4.1.1 La correlazione pressione-portata (p-m) nei condotti……. 240
4.1.2 Applicazione alle turbomacchine…… 258
4.2 La valutazione dell'off-design delle apparecchiature di scambio termico…… 275
4.2.1 Off-design di singole apparecchiature di scambio termico….. 275
4.2.2 Linearizzazione delle equazioni dello scambio termico convettivo……. 278
4.2.3 Applicazione della metodologia ai generatori di vapore a combustibile……. 284
4.2.4 Applicazione della metodologia ai generatori di vapore a recupero…… 289

Volume II – Tecnologie di Conversione dell'Energia

Capitolo 5 Impianti con turbine a vapore

5.1 Complementi di analisi termodinamica dei cicli a vapore……. 295
5.1.1 Ciclo base…… 295
5.1.2 Modifiche al ciclo base…… 311
5.2 Soluzioni impiantistiche e prestazioni globali……... 326
5.3 La valutazione delle prestazioni a carico nominale……... 351
5.3.1 Criteri di definizione del lay-out impiantistico e di scelta dei parametri operativi……... 352
5.3.2 Il bilancio termico a carico nominale…….. 354
5.4 Il funzionamento in condizioni di "fuori progetto"……... 360
5.4.1 La regolazione della potenza……... 361
5.4.2 Influenza delle condizioni operative sulle prestazioni dell'impianto…… 381
5.5 La valutazione delle prestazioni in condizioni di off-design…….. 382
5.6 Monitoraggio e diagnostica delle prestazioni……. 386
5.6.1 Indici di prestazione per la valutazione degli effetti del degrado……. 388
5.6.2 Calcolo in esercizio degli Indici di Prestazione……... 391
5.7 Soluzioni impiantistiche per la cogenerazione e prestazioni…….. 397
5.8 Emissioni inquinanti e relativo trattamento…… 413

Capitolo 6 Impianti con turbine a gas

6.1 Complementi di analisi termodinamica dei cicli a gas……... 426
6.1.1 Ciclo base……. 426
6.1.2 Eventuali modifiche al ciclo base…… 450
6.1.3 Ciclo ad iniezione di vapore (ciclo STIG)……... 492
6.1.4 Sintesi sulle soluzioni diverse dal ciclo base……... 499
6.2 Soluzioni impiantistiche e prestazioni globali…… 500
6.2.1 Limiti funzionali e tecnologici delle turbine a gas. Cenni sull'evoluzione delle TG…….. 500
6.2.2 Turbine a gas industriali e di derivazione aeronautica. Configurazioni e prestazioni…… 513
6.2.3 Considerazioni economiche ed operative……. 527
6.3 La valutazione delle prestazioni a carico nominale…… 529
6.4 Il funzionamento in condizioni di "fuori progetto"…… 542

6.4.1 La regolazione della potenza…… 542
6.4.2 Influenza delle condizioni operative sulle prestazioni……. 565
6.5 La valutazione delle prestazioni in condizioni di off-design…….. 568
6.6 Monitoraggio e diagnostica delle prestazioni……. 578
6.6.1 Indici di prestazione per la valutazione degli effetti del degrado……. 578
6.6.2 Effetti del degrado dei componenti sulle prestazioni globali... 585
6.6.3 Calcolo in esercizio degli Indici di Prestazione……... 587
6.7 Soluzioni impiantistiche per la cogenerazione e prestazioni…….. 592
6.8 Emissioni inquinanti e relativo trattamento…… 599

Capitolo 7 Impianti combinati gas-vapore

7.1 Complementi di analisi termodinamica dei cicli combinati……... 608
7.1.1 La combinazione del ciclo a gas con quello a vapore…….. 608
7.1.2 Rendimento termodinamico e lavori specifici……. 610
7.1.3 Il ciclo ideale di riferimento……. 614
7.1.4 Influenza dei parametri del ciclo a gas……. 617
7.1.5 Influenza dei parametri del ciclo a recupero…… 621
7.1.6 Specializzazione della sezione di recupero: GVR-IV…….. 632
7.1.7 Eventuali modifiche al ciclo base: la post-combustione…….. 635
7.1.8 Confronto termodinamico tra ciclo combinato e ciclo STIG... 642
7.2 Soluzioni impiantistiche e prestazioni globali…… 646
7.2.1 Rendimento globale e rapporto di potenze……... 646
7.2.2 Configurazioni impiantistiche…….. 651
7.2.3 Evoluzione delle prestazioni…… 658
7.2.4 Considerazioni economiche ed operative……. 666
7.3 La valutazione delle prestazioni a carico nominale…… 670
7.4 Il funzionamento in condizioni di “fuori progetto”…… 672
7.4.1 La regolazione della potenza…… 673
7.4.2 Influenza delle condizioni operative sulle prestazioni……. 676
7.5 La valutazione delle prestazioni in condizioni di off-design…….. 677
7.6 Monitoraggio e diagnostica delle prestazioni……. 679
7.6.1 Indici di prestazione per la valutazione degli effetti del degrado……. 680
7.6.2 Calcolo in esercizio degli Indici di Prestazione……... 681
7.7 Soluzioni impiantistiche per la cogenerazione e prestazioni…….. 683
7.8 Emissioni inquinanti e relativo trattamento…… 689

Capitolo 8 Impianti con Motori alternativi a Combustione Interna (MCI)

8.1 Complementi di analisi termodinamica dei cicli per MCI…….. 692
8.1.1 Cicli ideali di riferimento……. 692
8.1.2 Ciclo limite e temperatura allo scarico del motore…….. 705
8.1.3 Ciclo reale e ciclo reale semplificato……... 713
8.1.4 Modifiche al ciclo base…… 721
8.2 Soluzioni impiantistiche e prestazioni globali…… 743
8.3 La valutazione delle prestazioni a carico nominale…… 752
8.4 Il funzionamento in condizioni di "fuori progetto"…… 759
8.4.1 La regolazione della potenza……. 760
8.4.2 Influenza delle condizioni operative sulle prestazioni……. 771
8.5 La valutazione delle prestazioni in condizioni di off-design…….. 773
8.6 Monitoraggio e diagnostica delle prestazioni……. 777
8.6.1 Indici di prestazione per la valutazione degli effetti del degrado……. 778
8.6.2 Calcolo in esercizio degli Indici di Prestazione……... 781
8.7 Soluzioni impiantistiche per la cogenerazione e prestazioni…….. 784
8.8 Emissioni inquinanti e relativo trattamento…… 797

Capitolo 9 La cogenerazione nella transizione energetica

9.1 La Cogenerazione ad Alto Rendimento (CAR)…….. 804
9.1.1 CAR: Direttive europee e Decreti attuativi in ambito nazionale……... 804
9.1.2 Procedura per il calcolo delle grandezze CAR……. 809
9.1.3 Esempi di applicazione della procedura CAR…….. 812
9.2 Caratterizzazione degli impianti in ambito CAR…… 817
9.3 Lo studio di fattibilità tecnico-economica…….. 831
9.4 Dalla cogenerazione alla poligenerazione ai sistemi multienergia……. 847