

# Indice

## *XI Prefazione*

- 3 CAPITOLO 1 – Introduzione alle macchine a fluido e ai sistemi energetici
  - 3 1.1 Introduzione storica
  - 9 1.2 Fonti di energia
  - 19 1.3 Macchine a fluido e sistemi energetici
  
- 25 CAPITOLO 2 – Principi fondamentali per lo studio delle macchine a fluido
  - 25 2.1 Introduzione
  - 25 2.2 Classificazione delle macchine a fluido
  - 33 2.3 Le turbomacchine
  - 37 2.4 Triangoli di velocità
  - 43 2.5 Equazioni fondamentali per lo studio delle macchine
  - 47 2.6 Equazione di conservazione della massa
  - 50 2.7 1° Principio per i sistemi chiusi, conservazione dell'energia
  - 53 2.5 Il 2° principio e l'entropia
  - 55 2.6 Il 1° principio per i sistemi aperti, conservazione dell'energia e lavoro
  - 59 2.7 Equazione di eulero per le turbomacchine
  - 64 2.8 La conservazione dell'energia per l'osservatore relativo
  - 70 2.9 Lo strato limite nelle macchine
  - 71 2.10 Sollecitazioni meccaniche nelle palette
  
- 79 CAPITOLO 3 – La similitudine
  - 79 3.1 Introduzione
  - 79 3.2 L'analisi dimensionale e il teorema  $\pi$ 
    - 3.2.1 L'analisi dimensionale e la similitudine nelle macchine idrauliche, p. 82
    - 3.2.2 Sul significato di «punti di funzionamento corrispondenti», p. 91 –
    - 3.2.3 La scelta della macchina ottima: velocità specifica e diametro specifico, p. 100
  - 109 3.3 Limiti della similitudine idraulica

- 115 CAPITOLO 4 – Macchine idrauliche operatrici
- 116 4.1 Equazioni di bilancio per flussi incomprimibili  
4.1.1 Bilancio di massa per flussi incomprimibili, p. 116 – 4.1.2 Bilancio dell’Energia, prevalenza ed efficienza idraulica, p. 117
- 118 4.2 Impianti di pompaggio
- 123 4.3 Cavitazione nelle pompe  
4.3.1 Fenomenologia ed effetti della cavitazione, p. 123 – 4.3.1 NPSH ed altezza massima di aspirazione, p. 126
- 128 4.4 Turbo-pompe  
4.4.1 Pompe centrifughe, p. 129 – 4.4.2 Pompe a flusso misto e assiali, p. 152
- 155 4.5 Pompe volumetriche  
4.5.1 Pompe alternative, p. 156 – 4.5.2 Pompe rotative, p. 161
- 164 4.6 Ventilatori
- 169 CAPITOLO 5 – Macchine idrauliche motrici
- 169 5.1 Introduzione e generalità
- 173 5.2 L’energia disponibile e il «Salto Motore»
- 178 5.3 Turbine idrauliche
- 179 5.4 Turbina pelton  
5.4.1 Triangoli di velocità e ottimizzazione, p. 180 – 5.4.2 Avviamento e regolazione, p. 186 – 5.4.3 Dimensionamento di massima e diagrammi statistici, p. 188
- 194 5.5 Turbine a reazione  
5.5.1 Diffusori e cavitazione nelle turbine idrauliche a reazione, p. 194 – 5.5.2 Altezza massima di scarico per una turbina idraulica, p. 199
- 201 5.6 La turbina Francis  
5.6.1 Triangoli di velocità e ottimizzazione, p. 206 – 5.6.2 Regolazione e curve di funzionamento, p. 209
- 212 5.7 Le turbine assiali: la ruota Kaplan e le turbine ad elica  
5.7.1 Triangoli di velocità e regolazione, p. 218 – 5.7.2 Le turbine a bulbo, p. 222
- 224 5.8 Scelta della turbina idraulica
- 231 CAPITOLO 6 – Elementi di Gasdinamica
- 232 6.1 Influenza della comprimibilità  
6.1.1 Bilancio di massa per flussi a densità variabile, p. 232 – 6.1.2 Bilancio dell’Energia Meccanica. Lavoro tecnico, p. 232
- 233 6.2 Moto comprimibile monodimensionale in un condotto  
6.2.1 Impostazione del problema, p. 235 – 6.2.2 Propagazione di onde acustiche, velocità del suono e numero di Mach, p. 236 – 6.2.3 Soluzione generale del flusso isentropico nei condotti. Parametrizzazione in funzione del numero di Mach, p. 238
- 242 6.3 Efflusso isentropico in condotti a sezione variabile  
6.3.1 Relazione tra sezione del condotto e velocità del fluido, p. 242 – 6.3.2 Soluzione isentropica del flusso in un ugello puramente convergente, p. 245 –

- 6.3.3 Soluzione isentropica del flusso in un condotto convergente-divergente (ugello di De Laval), p. 247
- 249 6.4 Onde d'urto normali
  - 6.4.1 Soluzione non isentropica del flusso in un condotto convergente-divergente, p. 254
  
- 265 CAPITOLO 7 – Compressori
  - 265 7.1 Introduzione
  - 269 7.2 Trasformazioni termodinamiche
  - 275 7.3 Trasformazioni termo-fluidodinamiche nelle macchine
    - 7.3.1 Parametri prestazionali, p. 277
  - 284 7.4 Turbo-compressori
    - 7.4.1 Aspetti generali, p. 284 – 7.4.2 Punto di funzionamento, p. 294 – 7.4.3 Teoria delle Similitudine estesa a macchine con efflusso comprimibile, p. 298 – 7.4.4 Macchine centrifughe, p. 302 – 7.4.5 Macchine assiali, p. 314 – 7.4.6 Regolazione nei turbocompressori, p. 322
  - 329 7.5 Compressori volumetrici
    - 7.5.1 Compressori volumetrici alternativi, p. 329 – 7.5.2 Compressori rotativi, p. 343 – 7.5.3 Compressori ad anello liquido, p. 347
  
- 351 CAPITOLO 8 – Turbine a gas e a vapore
  - 351 8.1 Introduzione
  - 353 8.2 Trasformazioni termodinamiche
    - 8.2.1 Trasformazioni termo-fluidodinamiche nelle macchine, p. 357 – 8.2.2 Parametri prestazionali, p. 360
  - 364 8.3 Aspetti generali delle turbine
    - 8.3.1 Aspetti geometrici, p. 365 – 8.3.2 Curve caratteristiche, p. 370 – 8.3.3 Forza scambiata tra le pale e fluido, p. 372 – 8.3.4 Estensione della teoria della similitudine, p. 374
  - 375 8.4 Turbine assiali
    - 8.4.1 Ripartizione del salto entalpico tra i vari stadi, p. 376 – 8.4.2 Fonti di perdita, p. 379 – 8.4.3 Angolo di deviazione, p. 382 – 8.4.4 Numero di pale, p. 383 – 8.4.5 Grado di reazione e rendimento, p. 383 – 8.4.6 Calcolo semplificato di uno stadio, p. 384 – 8.4.7 Stadi ad azione semplice, p. 386
  - 392 8.5 Stadi a salti di velocità
    - 8.5.1 Stadi a reazione, p. 395 – 8.5.2 Stadi a grado di reazione variabile, p. 398
  - 405 8.6 Architettura delle turbine multistadio
  - 416 8.7 Turbine radiali
    - 8.7.1 Macchine centripete, p. 418 – 8.7.2 Macchine centrifughe, p. 422
  
- 429 CAPITOLO 9 – Cicli Rankine e impianti a vapore
  - 430 9.1 Assetto dei cicli termodinamici realizzati con sistemi fluenti
  - 431 9.2 Cenni alle trasformazioni con cambiamento di fase
  - 436 9.3 Il ciclo Rankine

- 9.3.1 Layout del ciclo, p. 436 – 9.3.2 Calcolo termodinamico del ciclo, p. 438  
– 9.3.3 Analisi termodinamica del ciclo, p. 440
- 443 9.4 Condensazione, condensatori, torri evaporative
- 446 9.5 Surriscaldamento e ri-surriscaldamento
- 451 9.5 Rigenerazione  
9.5.1 Fondamento termodinamico, p. 451 – 9.5.2 Analisi energetica dei cicli ri-  
generativi, p. 452 – 9.5.3 Tecnologia della rigenerazione nelle centrali a vapo-  
re, p. 453 – 9.5.4 Il degasatore, p. 454 – 9.5.5 Layout e prestazioni di centrali a  
vapore rigenerative, p. 454
- 458 9.6 Tecnologia delle caldaie nelle centrali termoelettriche a vapore
- 460 9.7 Prestazioni delle moderne centrali termoelettriche a vapore
- 463 CAPITOLO 10 – Cicli a gas
- 463 10.1 Introduzione
- 464 10.2 Il ciclo chiuso ideale
- 470 10.3 Il ciclo aperto ideale
- 471 10.4 Il ciclo aperto reale
- 475 10.5 Il raggiungimento di alte temperature
- 478 10.6 Componenti delle turbine a gas  
10.6.1 Il turboespansore, p. 480 – 10.6.2 Il turbocompressore, p. 480 – 10.6.3 Il  
combustore, p. 481 – 10.6.4 Tipologie di combustori, p. 484
- 485 10.7 Cicli a gas complessi: varianti del ciclo semplice  
10.7.1 La rigenerazione, p. 486 – 10.7.2 Compressione interrefrigerata, p. 491  
– 10.7.3 Ricombustione, p. 495 – 10.7.4 Combinazione di intercooling, rigene-  
razione e ricombustione, p. 498
- 499 10.8 Applicazioni aeronautiche  
10.8.1 Il fan, p. 502 – 10.8.2 L'ugello semplicemente convergente, p. 503 –  
10.8.3 L'ugello convergente-divergente, p. 503 – 10.8.4 Inversione della spin-  
ta, p. 506 – 10.8.5 La ricombustione, p. 507
- 511 CAPITOLO 11 – Cicli combinati e cogenerazione
- 511 11.1 Cicli combinati  
11.1.1 Cicli a recupero ideali, p. 512 – 11.1.2 Aspetti termodinamici, p. 512 –  
11.1.3 Caldaie a recupero, p. 515 – 11.1.4 Configurazioni dei cicli combinati, p.  
517 – 11.1.5 Ciclo a due livelli, p. 517 – 11.1.6 Ciclo combinato a tre livelli, p.  
518 – 11.1.7 La caldaia a recupero, p. 519 – 11.1.8 Rendimenti dei cicli combi-  
nati, p. 519 – 11.1.9 Cicli combinati con postcombustione, p. 521
- 522 11.2 La cogenerazione  
11.2.1 Configurazioni ed indici caratteristici, p. 524 – 11.2.2 Tipologie d'im-  
pianto basate su ciclo Rankine, p. 527 – 11.2.3 Cogenerazione con impianto  
turbogas, p. 529 – 11.2.4 Cogenerazione con motore alternativo, p. 529
- 531 CAPITOLO 12 – Energia nucleare
- 531 12.1 Definizioni
- 533 12.2 Storia dell'energia nucleare

- 537 12.3 Produzione di energia nucleare nel mondo
- 537 12.4 Potenzialità e prospettive future del nucleare
- 539 12.5 Questioni non ancora risolte
- 540 12.6 Reazioni nucleari
  - 12.6.1 Fissione, p. 540 – 12.6.2 Fusione, p. 541
- 543 12.7 Combustibili
  - 12.7.1 Reazione a catena, p. 544 – 12.7.2 I neutroni, p. 546 – 12.7.3 I moderatori, p. 546
- 548 12.8 Reattori nucleari
  - 12.8.1 Reattori BWR, p. 550 – 12.8.2 Reattori PWR, p. 553 – 12.8.3 Reattori CANDU, p. 557 – 12.8.4 Reattori a gas, p. 559 – 12.8.5 Reattori veloci o autofertilizzanti, p. 561
- 563 12.9 Caratteristiche costruttive
  
- 567 CAPITOLO 13 – Motori a combustione interna: fondamenti
- 567 13.1 Classificazioni
- 569 13.2 Campi d'impiego
- 573 13.3 Grandezze caratteristiche
- 577 13.4 Cicli ideali
- 583 13.5 Rendimento dei cicli ideali
- 587 13.6 Cicli limite
- 589 13.7 Cicli reali o indicati
  
- 597 CAPITOLO 14 – Motori a combustione interna: prestazioni
- 597 14.1 Grandezze indicate
- 599 14.2 Grandezze effettive
- 600 14.3 Rendimento organico
- 603 14.4 Consumo specifico
- 605 14.5 Ricambio del fluido di lavoro
  - 14.5.1 Coefficiente di riempimento, p. 605 – 14.5.2 Influenza dei parametri motoristici, p. 607 – 14.5.3 Fasature effettive delle valvole, p. 608 – 14.5.4 Tipico andamento del coefficiente di riempimento, p. 610
- 612 14.6 Curve caratteristiche
  - 14.6.1 Curve di coppia e potenza effettive, p. 613 – 14.6.2 Consumi specifici di combustibile, p. 615
- 619 14.7 Processi di combustione
  - 14.7.1 Combustione nel motore otto tradizionale, p. 619 – 14.7.2 Combustione nel motore diesel tradizionale, p. 624 – 14.7.3 Forme di combustione innovative, p. 627
- 631 14.8 Prospettive di sviluppo futuro