

Gianni Cesini, Giovanni Latini, Fabio Polonara

Fisica tecnica

INDICE

XIII Prefazione

XIV L'Editore ringrazia

1 CAPITOLO PRIMO – Introduzione

LEGGERE

1 1.1 Contenuti

1.1.1 Termodinamica applicata, p. 2 –

1.1.2 Trasmissione del calore, p. 8 –

1.1.3 Termodinamica dell'aria umida, p. 11

12 1.2 Soluzione dei problemi

13 1.3 Unità di misura

17 CAPITOLO SECONDO - Introduzione alla Termodinamica applicata

17 2.1 Termodinamica applicata

SI'

19 2.2 Sistemi termodinamici

SI'

2.2.1 Sistema chiuso e sistema aperto, p. 20 –

2.2.2 Sistema isolato, p. 21

22 2.3 Descrizione di un sistema attraverso le sue proprietà

2.3.1 Termodinamica classica e del continuo, p. 23 –

2.3.2 Termodinamica statistica, p. 24 –

2.3.3 Stato termodinamico ed equilibrio, p. 25 –

2.3.4 Caratteristiche delle proprietà o grandezze di stato, p. 27 –

2.3.5 Interpretazione matematica delle grandezze di stato, p. 29

SI'

LEGGERE

SI'

SI'

SI'

SI'

32 2.4 Trasformazioni

2.4.1 Trasformazioni quasi-statiche, p. 33 –

2.4.2 Trasformazioni reversibili, p. 34 -

2.4.3 Piani termodinamici, p. 35 –

2.4.4 Trasformazioni cicliche, p. 36

37 2.5 Equazione di bilancio di una proprietà estensiva

SI'

2.5.1 Equazione di bilancio della massa, p. 38 –

2.5.2 Portata massica e volumetrica, p. 39 –

2.5.3 Regime stazionario, p. 40 –

2.5.4 Flusso monodimensionale, p. 40 –

2.5.5 Calcolo della portata massica e volumetrica, p. 41

44 2.6 Pressione, densità e temperatura

LEGGERE

2.6.1 Pressione, p. 44 –

2.6.2 Densità e volume specifico, p. 49 –

2.6.3 Temperatura, p. 50

61	CAPITOLO TERZO - Proprietà delle sostanze pure ed equazioni di stato	SI'
61	3.1 Postulato di stato e sistemi semplici	
63	3.2 Sostanza pura	
	3.2.1 Fasi di una sostanza pura, p. 64 –	
	3.2.2 Il comportamento delle sostanze pure in natura: l'esperimento pV T, p. 65 –	
	3.2.3 Superficie caratteristica, p. 67 –	
	3.2.4 Punto critico, p. 69 –	
	3.2.5 Regola delle fasi, p. 71 –	
	3.2.6 Il caso dell'acqua, p. 72 –	
	3.2.7 Diagramma pressione-Temperatura (p T), p. 73 –	
	3.2.8 Diagramma pressione-volume specifico (piano di Clapeyron), p. 77	
81	3.3 Equazioni di stato	
	3.3.1 Equazione di stato dei gas ideali, p. 82 –	
	3.3.2 Altre equazioni di stato, p. 86	
86	3.4 Energia interna, entalpia e calore specifico	
89	3.5 Metodi semplificati per il calcolo delle proprietà	
	3.5.1 Proprietà dei vapori, p. 89 –	
	3.5.2 Proprietà dei gas reali a comportamento ideale, p. 99 –	
	3.5.3 Proprietà dei liquidi, p. 111	
121	CAPITOLO QUARTO - Energia e 1° principio della Termodinamica	SI'
121	4.1 Energia totale	
	4.1.1 Energia esterna, p. 122 –	
	4.1.2 Energia interna, p. 125 –	
	4.1.3 Energia meccanica ed energia termica, p. 126	
127	4.2 Variazione del contenuto di energia di un sistema	
128	4.3 Energia come Calore	
	4.3.1 Convenzione sui segni, p. 129	
129	4.4 Energia come Lavoro	
	4.4.1 Convenzione sui segni, p. 130 –	
	4.4.2 Forme di lavoro, p. 131 –	
	4.4.3 Lavoro di variazione di volume, p. 131 –	
	4.4.4 Lavoro all'albero (lavoro di elica), p. 134 –	
	4.4.5 Altre forme meccaniche di lavoro, p. 136 –	
	4.4.6 Forme non meccaniche di lavoro, p. 138	
139	4.5 Grandezze di stato e grandezze di scambio	
142	4.6 1° principio della Termodinamica	
	4.6.1 1° principio della Termodinamica per i sistemi chiusi, p. 143 –	
	4.6.2 1° principio della Termodinamica per i sistemi aperti, p. 154 –	
	4.6.3 Confronto fra le formulazioni per i sistemi chiusi e per i sistemi aperti, p. 165	
171	CAPITOLO QUINTO - Entropia e 2° principio della Termodinamica	
171	5.1 Introduzione	SI'
	5.1.1 Formulazione del 2° principio della Termodinamica, p. 177	
178	5.2 Entropia	SI'
	5.2.1 Equazione di bilancio dell'entropia, p. 178 –	
	5.2.2 Variazione del contenuto di entropia di un sistema, p. 179	
179	5.3 2° principio della Termodinamica	
	5.3.1 2° principio della Termodinamica per i sistemi chiusi, p. 180 –	SI'
	5.3.2 2° principio della Termodinamica per i sistemi aperti, p. 182 –	SI'
	5.3.3 2° principio della Termodinamica per i sistemi isolati, p. 184 –	SI'
	5.3.4 Reversibilità e irreversibilità, p. 185 –	SI'
	5.3.5 Disuguaglianza di Clausius, p. 190 –	NO

201	CAPITOLO SESTO - Conseguenze del 2° principio della Termodinamica	
202	6.1 Equazioni del TdS o di Gibbs	
	6.1.1 Prima equazione del TdS, p. 202 –	SI'
	6.1.2 Seconda equazione del TdS, p. 202 –	SI'
	6.1.3 Equazioni di Maxwell, p. 204	NO
205	6.2 Calore specifico (o capacità termica specifica)	NO
209	6.3 Calcolo della variazione di energia interna, entalpia ed entropia	NO
211	6.4 Metodi semplificati per il calcolo della variazione di entropia	NO
	6.4.1 Vapori, p. 212 –	
	6.4.2 Gas reali a comportamento ideale, p. 213 –	
	6.4.3 Liquidi, p. 214	
218	6.5 Espressioni del lavoro ed equazione dell'energia meccanica	SI'
	6.5.1 Lavoro scambiato nei sistemi chiusi, p. 219 –	
	6.5.2 Lavoro scambiato nei sistemi aperti – equazione dell'energia meccanica, p. 221	
225	6.6 Trasformazioni politropiche	SI'
	6.6.1 Trasformazioni isocore, p. 227 –	
	6.6.2 Trasformazioni isobare, p. 228 –	
	6.6.3 Trasformazioni isoterme del gas ideale, p. 229 –	
	6.6.4 Trasformazioni adiabatiche, p. 231	
236	6.7 Piani termodinamici	
	6.7.1 Diagramma Temperatura-entropia (Ts), p. 237 –	SI'
	6.7.2 Diagramma entalpia-entropia, di Mollier (hs), p. 242 –	LEGGERE
	6.7.3 Diagramma pressione-entalpia (ph), p. 243	SI'
249	CAPITOLO SETTIMO - 2° principio e sistemi di conversione dell'energia	
249	7.1 Introduzione	
250	7.2 Macchina Termica o Motore Termico	
	7.2.1 Postulato di Kelvin-Planck, p. 253 –	SI'
	7.2.2 Rendimento della Macchina Termica, p. 254 –	SI'
	7.2.3 Rendimento massimo della Macchina Termica – Teorema di Carnot, p. 255 –	SI'
	7.2.4 Rendimento di secondo principio, p. 258 –	SI'
260	7.3 Ciclo di Carnot	
	7.3.1 Temperatura termodinamica, p. 263 –	NO
	7.3.2 Ciclo a più di due sorgenti, p. 265	LEGGERE
266	7.4 Macchine frigorifere e pompe di calore	
	7.4.1 Postulato di Clausius, p. 267 –	SI'
	7.4.2 Macchina Inversa, p. 268 –	SI'
	7.4.3 Ciclo di Carnot inverso, p. 274 -	SI'
283	CAPITOLO OTTAVO - Componenti	
283	8.1 Introduzione	
284	8.2 Macchine a fluido	
	8.2.1 Espansori a vapore, p. 287 –	SI'
	8.2.2 Espansori a gas, p. 292 -	SI'
	8.2.3 Compressori di vapore, p. 298 –	SI'
	8.2.4 Compressori di gas, p. 303 –	SI'
	8.2.4.1 Compressione frazionata	NO
	8.2.5 Pompe, p. 318	SI'
322	8.3 Componenti per lo scambio di calore	
	8.3.1 Scambiatori a superficie, p. 324 –	SI'
	8.3.2 Caldaie e generatori di vapore, p. 328	SI'
	8.3.2.1 Rendimento di caldaia	LEGGERE

	8.3.3 Miscelatori adiabatici, p. 331	SI'
334	8.4 Valvole di laminazione	SI'
	8.4.1 Coefficiente di Joule-Thomson, p. 339	NO
351	CAPITOLO NONO - Cicli diretti	
352	9.1 Introduzione	SI'
352	9.2 Cicli diretti a vapore	
	9.2.1 Ciclo di Rankine a surriscaldamento endoreversibile, p. 354 –	SI'
	9.2.2 Modi per aumentare il rendimento del ciclo endoreversibile di Rankine, p. 370 –	NO
	9.2.3 Ciclo di Rankine reale, p. 384	SI'
388	9.3 Cicli diretti a gas	
	9.3.1 Ciclo endoreversibile di Joule standard, p. 390 –	SI'
	9.3.2 Ciclo di Joule standard, p. 399 –	SI'
	9.3.3 Motori alternativi, p. 405 –	SI'
	9.3.4 Ciclo di Stirling, p. 418 –	NO
	9.3.5 Cicli combinati e cogenerazione, p. 421	LEGGERE
433	CAPITOLO DECIMO - Cicli inversi	
433	10.1 Introduzione	SI'
436	10.2 Cicli inversi a vapore	
	10.2.1 Ciclo di Carnot inverso, p. 436 –	SI'
	10.2.2 Ciclo a compressione di vapore standard, p. 444 –	SI'
	10.2.3 Ciclo a compressione di vapore reale, p. 455 –	SI'
	10.2.4 Fluidi frigorigeni, p. 465	LEGGERE
468	10.3 Altre tecnologie	
	10.3.1 Cicli alimentati con energia termica, p. 468 –	NO
	10.3.2 Tecnologie elettromeccaniche, p. 474 –	NO
	10.3.3 Tecnologie allo stato solido, p. 475	NO
485	CAPITOLO UNDICESIMO - Miscele di gas – Aria atmosferica	
485	11.1 Introduzione	LEGGERE
486	11.2 Miscele di gas	NO
	11.2.1 Comportamento delle miscele di gas ideali e reali, p. 488 –	
	11.2.2 Proprietà delle miscele di gas ideali, p. 495 –	
	11.2.3 Processi di miscelazione di gas ideali, p. 503	
507	11.3 Miscele di gas e vapori	SI'
509	11.4 Aria atmosferica	SI'
	11.4.1 Proprietà dell'aria atmosferica, p. 513 –	
	11.4.2 Temperatura di rugiada, p. 518 –	
	11.4.3 Temperatura di saturazione adiabatica, p. 520 –	
	11.4.4 Temperatura di bulbo umido (o bagnato), p. 522 –	
	11.4.5 Diagramma psicrometrico, p. 524	
541	CAPITOLO DODICESIMO - Termodinamica e Trasmissione del calore	LEGGERE
541	12.1 Termodinamica e Trasmissione del calore	
543	12.2 I meccanismi di scambio termico: descrizione introduttiva	
	12.2.1 Generalità sulla conduzione termica, p. 544 –	
	12.2.2 Generalità sulla convezione termica, p. 545 –	
	12.2.3 Generalità sull'irraggiamento termico, p. 546	
548	12.3 Equazioni fondamentali, relazioni empiriche, ipotesi semplificative	
	12.3.1 Ipotesi relative alle proprietà del mezzo materiale in cui avviene lo scambio termico, p. 551 -	
	12.3.2 Ipotesi relative alla dipendenza dal tempo dei processi di scambio termico: il regime stazionario, p. 554 –	

	12.3.3 Ipotesi relative alla generazione interna di calore, p. 556 –	
	12.3.4 Ipotesi relative alla direzione del flusso di calore, p. 557	
560	12.4 Esempi applicativi di problemi di scambio termico	
569	CAPITOLO TREDICESIMO - Conduzione termica in regime stazionario	
569	13.1 Introduzione	SI'
570	13.2 Il postulato di Fourier della conduzione termica	
	13.2.1 Il gradiente di temperatura e il flusso termico conduttivo, p. 571 –	SI'
	13.2.2 La conducibilità termica dei materiali, p. 575	SI'
580	13.3 La conduzione termica monodimensionale in regime stazionario	
	13.3.1 Flusso termico conduttivo monodimensionale in regime stazionario in uno strato piano, p. 580 –	SI'
	13.3.2 Conducibilità termica dei materiali, p. 585 –	NO
	13.3.3 Il metodo risolutivo della analogia elettrica, p. 589 –	SI'
	13.3.4 Flusso termico conduttivo monodimensionale in regime stazionario in uno strato cilindrico, p. 607 –	SI'
	13.3.5 Flusso termico conduttivo monodimensionale in regime stazionario in uno strato sferico, p. 617	NO
622	13.4 La conduzione termica multidimensionale in regime stazionario	NO
	13.4.1 Il metodo del fattore di forma per la conduzione termica, p. 622	
635	CAPITOLO QUATTORDICESIMO - Introduzione alla Termofluidodinamica: la convezione termica	
635	14.1 Introduzione	SI'
636	14.2 Generalità sulle proprietà e sul moto di un fluido	
	14.2.1 Flusso interno e flusso esterno, p. 636 –	SI'
	14.2.2 Forze di volume in un fluido. La densità di un fluido, p. 637 –	SI'
	14.2.2.1 Il coefficiente di compressibilità di un fluido. Flusso comprimibile e flusso incomprimibile	NO
	14.2.3 Forze di superficie in un fluido. La pressione e gli sforzi tangenziali, p. 640 –	NO
	14.2.4 I regimi di flusso: flusso laminare e flusso turbolento, p. 651	SI'
655	14.3 Le leggi della convezione termica	
	14.3.1 Introduzione alle leggi fondamentali della convezione termica, p. 655 –	SI'
	14.3.2 La legge di Newton della convezione termica, p. 657	SI'
674	14.4 Lo scambio termico in convezione forzata con flusso esterno	SI'
	14.4.1 Convezione forzata esterna su lastra piana, p. 676 –	NO
	14.4.2 Convezione forzata esterna su superficie cilindrica in flusso incrociato, p. 681	NO
687	14.5 Lo scambio termico in convezione forzata con flusso interno	SI'
	14.5.1 Convezione forzata interna in un tubo cilindrico, p. 688	SI'
705	14.6 Lo scambio termico in convezione naturale	
	14.6.1 Convezione termica naturale con flusso esterno , p. 708 –	SI'
	14.6.2 Convezione mista naturale e forzata, p. 714	NO
715	14.7 Il metodo della analogia elettrica per la convezione termica: la resistenza termica convettiva	SI'
729	CAPITOLO QUINDICESIMO - La Trasmissione del calore per irraggiamento	
730	15.1 Introduzione e concetti preliminari	SI'
732	15.2 Interazione della radiazione termica con la materia	SI'
736	15.3 L'irraggiamento termico da "corpo nero"	
	15.3.1 La distribuzione di Planck , p. 737 –	SI'
	15.3.2 La legge di Wien , p. 739 –	SI'
	15.3.3 La legge di Stefan-Boltzmann, p. 741 –	SI'
	15.3.4 L'emissione di banda, p. 744	NO

748	15.4 L'irraggiamento termico da superfici reali	
	15.4.1 Il potere emissivo e l'emissività di una superficie reale, p. 748 –	SI'
	15.4.2 I coefficienti di assorbimento, riflessione e trasmissione di una superficie reale, p. 750 –	SI'
	15.4.3 Superfici semitrasparenti selettive: l'effetto serra, p. 752 –	SI'
	15.4.4 La radiazione solare sul suolo terrestre, p. 757 –	LEGGERE
	15.4.5 Il modello di "corpo grigio" per le superfici reali e la legge di Kirchhoff, p. 760	SI'
764	15.5 Lo scambio termico per irraggiamento	
	15.5.1 Il fattore di vista, p. 764 –	SI'
	15.5.2 Relazioni tra fattori di vista, p. 767 –	SI'
	15.5.3 Bilancio termico radiativo su una superficie "grigia": la resistenza radiativa superficiale, p. 769 –	LEGGERE
	15.5.4 Scambio termico tra due superfici "grigie": la resistenza radiativa spaziale, p. 771 –	LEGGERE
	15.5.5 Scambio termico radiativo in cavità con N superfici "grigie": reti di resistenze radiative, p. 772 –	LEGGERE
	15.5.6 Scambio termico per irraggiamento tra "corpi neri", p. 774 –	LEGGERE
	15.5.7 Potenza termica trasmessa per irraggiamento in una cavità composta da due superfici a diversa temperatura, p. 775	LEGGERE
780	15.6 Il modello resistivo ed il coefficiente di scambio termico per irraggiamento	SI'
784	15.7 Grandezze caratteristiche dell'irraggiamento	NO
797	CAPITOLO SEDICESIMO - Meccanismi combinati di scambio termico	
798	16.1 Meccanismi combinati	
	di scambio termico in regime stazionario	SI'
	16.1.1 Introduzione, p. 798 –	
	16.1.2 Il modello termico resistivo e le reti di resistenze termiche, p. 800 –	
	16.1.3 Il modello termico resistivo per il calcolo della potenza termica trasmessa attraverso la parete di separazione tra due ambienti a temperatura differente, p. 803	
825	16.2 Meccanismi combinati di scambio termico in regime stazionario in sistemi con temperatura superficiale non uniforme	NO
	16.2.1 Generalità sulle alette e sulle superfici alettate, p. 825 –	
	16.2.2 Distribuzione di temperatura in una aletta potenza termica potenza dissipata, p. 827 –	
	16.2.3 Parametri caratteristici di una aletta: efficienza ed efficacia di una aletta, p. 831 –	
	16.2.4 Superfici alettate, p. 837 –	
	16.2.5 Resistenza di contatto, p. 849	
850	16.3 Scambiatori di calore	
	16.3.1 Tipologie di scambiatori, p. 850 –	LEGGERE
	16.3.2 Analisi termica, p. 853 –	SI'
	16.3.3 Coefficiente globale di scambio termico, p. 858 –	SI'
	16.3.4 Media logaritmica delle differenze di temperatura, p. 864 –	SI'
	16.3.5 Disposizione di flusso in equicorrente e in controcorrente, p. 867 –	SI'
	16.3.6 Progettazione di uno scambiatore col metodo del ΔT_{ML} , p. 878 –	SI'
	16.3.7 Efficienza di uno scambiatore di calore, p. 879 –	NO
	16.3.8 Il metodo "efficienza-NTU", p. 886	NO
886	16.4 Meccanismi di scambio termico in regime variabile nel tempo	
	16.4.1 Introduzione, p. 886 –	NO
	16.4.2 Flusso termico transitorio in sistemi con resistenza interna trascurabile, p. 892	NO

909	CAPITOLO DICIASSETTESIMO - Benessere termoigrometrico.	
	Le trasformazioni dell'aria umida	
909	17.1 Introduzione	LEGGERE
910	17.2 Benessere termoigrometrico	NO
	17.2.1 Termodinamica e sistemi biologici, p. 910 –	
	17.2.2 Il bilancio energetico del corpo umano, p. 911 –	
	17.2.3 Le grandezze che influenzano il comfort termoigrometrico, p. 918 –	
	17.2.4 Le equazioni di Fanger del comfort termoigrometrico, p. 929 –	
	17.2.5 Gli indici di valutazione del comfort termoigrometrico, p. 934	
942	17.3 Le trasformazioni dell'aria umida	SI'
	17.3.1 Riscaldamento e raffreddamento sensibile (a umidità specifica costante), p. 943 –	
	17.3.2 Riscaldamento con umidificazione, p. 947 –	
	17.3.3 Raffreddamento con deumidificazione, p. 955 –	
	17.3.4 Raffreddamento evaporativo, p. 960 –	
	17.3.5 Miscelazione adiabatica, p. 963	
967	17.4 Torri evaporative	LEGGERE

Le parti retinate in grigio NON sono da studiare	NO
--	-----------