

Allan R. Hambley

Elettrotecnica

Quarta edizione

Edizione italiana a cura di
Francesco Grasso,
Antonio Luchetta
e Maria Cristina Piccirilli



© 2009 Pearson Paravia Bruno Mondadori S.p.A.

Authorized translation from the English language edition, entitled: Electrical Engineering: Principles and Applications, 4TH edition, by Allan R. Hambley, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright © 2008.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Italian language edition published by Pearson Paravia Bruno Mondadori S.p.A., Copyright © 2009.

Le informazioni contenute in questo libro sono state verificate e documentate con la massima cura possibile. Nessuna responsabilità derivante dal loro utilizzo potrà venire imputata agli Autori, a Pearson Paravia Bruno Mondadori S.p.A. o a ogni persona e società coinvolta nella creazione, produzione e distribuzione di questo libro.

Per i passi antologici, per le citazioni, per le riproduzioni grafiche, cartografiche e fotografiche appartenenti alla proprietà di terzi, inseriti in quest'opera, l'editore è a disposizione degli aventi diritto non potuti reperire nonché per eventuali non volute omissioni e/o errori di attribuzione nei riferimenti.

I diritti di riproduzione e di memorizzazione elettronica totale e parziale con qualsiasi mezzo, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, sono riservati per tutti i paesi.

LA FOTOCOPIATURA DEI LIBRI È UN REATO. Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633.

Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da AIDRO, corso di Porta Romana n. 108, 20122 Milano, e-mail segreteria@aidro.org e sito web www.aidro.org.

Curatori e traduttori per l'edizione italiana:

Francesco Grasso, Antonio Luchetta e Maria Cristina Piccirilli

Realizzazione editoriale: Carmelo Giarratana

Grafica di copertina: Nicolò Cannizzaro

Stampa: Arti Grafiche Battaia F. & C. – Zibido S. Giacomo (MI)

Tutti i marchi citati nel testo sono di proprietà dei loro detentori.

978-88-7192-556-1

Printed in Italy

1^a edizione: maggio 2009

Ristampa

00 01 02 03 04

Anno

09 10 11 12 13

A

Judy, Tony, Pam e Mason

Applicazioni pratiche

- 1.1
Uso della resistenza per la misura della deformazione 32
- 2.1
Un importante problema ingegneristico: i sistemi di immagazzinamento dell'energia nei veicoli elettrici 94
- 3.1
Flash fotografico elettronico 141
- 4.1
L'elettronica e l'arte della manutenzione dell'automobile 182
- 5.1
Dove sono? Che ore sono? (Un'applicazione pratica della misura di fase) 207
- 6.1
Cancellazione attiva del rumore 266
- 8.1
Flussometri magnetici, Faraday e *Caccia a Ottobre Rosso* 387

Sommario

Prefazione all'edizione italiana	xi
Prefazione	xiii

Prima parte **CIRCUITI**

Capitolo 1 Introduzione	3
1.1 Una panoramica sull'ingegneria elettrica	3
1.2 Circuiti, corrente e tensione	8
1.3 Potenza ed energia	16
1.4 La legge di Kirchhoff delle correnti	19
1.5 La legge di Kirchhoff delle tensioni	22
1.6 Introduzione agli elementi circuitali	24
1.7 Introduzione ai circuiti	33
Riepilogo	37
Problemi	38

Capitolo 2 Circuiti resistivi	47
2.1 Resistenze in serie e in parallelo	47
2.2 Utilizzo di resistenze equivalenti nell'analisi dei circuiti	52
2.3 Partitore di tensione e partitore di corrente	56
2.4 Metodo ai nodi	60
2.5 Metodo alle maglie	74
2.6 Circuiti equivalenti di Thévenin e di Norton	82
2.7 Il principio di sovrapposizione degli effetti	95
2.8 Il ponte di Wheatstone	101
Riepilogo	103
Problemi	105

Capitolo 3 Induttori e condensatori	119
3.1 Condensatori	120
3.2 Condensatori in serie e in parallelo	128
3.3 Caratteristiche fisiche dei condensatori	130
3.4 Induttori	134

3.5	Induttori in serie e in parallelo	139
3.6	Induttori reali	140
3.7	Mutue induttanze	143
	Riepilogo	144
	Problemi	145
Capitolo 4	Transitori	155
4.1	Circuiti <i>RC</i> del primo ordine	155
4.2	Regime stazionario	160
4.3	Circuiti <i>RL</i>	162
4.4	Circuiti <i>RC</i> ed <i>RL</i> con generatori qualsiasi	166
4.5	Circuiti del secondo ordine	172
	Riepilogo	184
	Problemi	185
Capitolo 5	Analisi in regime permanente sinusoidale	193
5.1	Correnti e tensioni sinusoidali	194
5.2	Fasori	200
5.3	Impedenze complesse	205
5.4	Analisi circuitale mediante fasori e impedenze complesse	209
5.5	La potenza nei circuiti AC	215
5.6	I circuiti equivalenti di Thévenin e Norton	227
5.7	Circuiti trifase bilanciati	232
	Riepilogo	244
	Problemi	245
Capitolo 6	Risposta in frequenza, diagrammi di Bode e risonanza	257
6.1	Analisi di Fourier, filtri e funzioni di trasferimento	258
6.2	Filtri passa-basso del primo ordine	267
6.3	Il decibel, la connessione in cascata e le scale in frequenza logaritmiche	272
6.4	I diagrammi di Bode	276
6.5	Filtri passa-alto del primo ordine	279
6.6	La risonanza serie	286
6.7	La risonanza parallelo	291
6.8	Filtri ideali e del secondo ordine	294
6.9	Elaborazione digitale dei segnali	300
	Riepilogo	310
	Problemi	311
Seconda parte	ELETTROMECCANICA	325
Capitolo 7	Circuiti magnetici e trasformatori	327
7.1	Campi magnetici	328
7.2	Circuiti magnetici	337
7.3	Induttanza e mutua induttanza	343
7.4	Materiali magnetici	347
7.5	Trasformatori ideali	350

7.6	Trasformatori reali	358
	Riepilogo	363
	Problemi	363
Capitolo 8	Macchine in corrente continua (DC)	373
8.1	Generalità sui motori	373
8.2	Principi di funzionamento delle macchine in corrente continua	383
8.3	Macchine rotanti in corrente continua	388
8.4	Motori in corrente continua con eccitazione in parallelo e separata	395
8.5	Motori in corrente continua con eccitazione serie	400
8.6	Controllo della velocità dei motori in corrente continua	404
8.7	Generatori in continua	409
	Riepilogo	414
	Problemi	416
Capitolo 9	Macchine in corrente alternata (AC)	425
9.1	Motori trifase a induzione	425
9.2	Circuiti equivalenti e calcolo del rendimento per i motori a induzione	433
9.3	Macchine sincrone	443
9.4	Motori monofase	455
9.5	Motori passo-passo e motori brushless in corrente continua	458
	Riepilogo	460
	Problemi	461
Capitolo 10	Sicurezza elettrica	467
10.1	L'impianto elettrico	468
10.2	Leggi e norme	468
10.3	I sistemi elettrici	471
10.4	Classificazione dei sistemi elettrici	473
10.5	Resistenza elettrica del corpo umano	478
10.6	Effetti della corrente elettrica sul corpo umano	478
10.7	Limiti di pericolosità della corrente elettrica	481
10.8	Apparecchi di protezione e manovra	483
10.9	Grado di protezione dei componenti elettrici	487
10.10	Protezione dai rischi di folgorazione	488
10.11	Protezione dalle sovracorrenti	494
10.12	Protezione dalle sovratensioni	496
	Bibliografia	498
	Sitografia	498
Appendice A	Numeri complessi	499
A.1	Concetti basilari sui numeri complessi	499
A.2	Numeri complessi in forma polare	501
A.3	Identità di Eulero	504
A.4	Operazioni aritmetiche nelle forme polari ed esponenziali	505
	Riepilogo	507
	Problemi	507

Appendice B	Valori nominali e codici dei colori dei resistori	509
Appendice C	L'esame di Stato per l'esercizio della professione di ingegnere	511
	Problemi	513
Appendice D	Analisi dei circuiti assistita al calcolatore	515
	D.1 Analisi dei circuiti in continua	515
	D.2 Analisi del transitorio	526
	D.3 Risposta in frequenza	530
	D.4 Altri esempi	533
Appendice E	Installazione del software	535
	Indice analitico	537

Prefazione all'edizione italiana

Il libro che state per leggere non è una semplice traduzione dell'*Hambley*, ma l'adattamento di un testo, giunto ormai alla sua quarta edizione, alle esigenze degli insegnamenti di Elettrotecnica ed Elettronica che vengono svolti nelle Università italiane anche nei corsi di laurea diversi da quelli del settore dell'informazione.

Come docenti di questi corsi, abbiamo scelto l'*Hambley* sia per la sua impostazione di base che per la varietà di argomenti trattati. La scelta di una trattazione semplificata dal punto di vista matematico, e quindi teorico, viene completata da un insieme estremamente ricco di esemplificazioni ed applicazioni nei campi dell'elettrotecnica, dell'elettronica e delle macchine elettriche. Importante è anche l'attenzione, esplicitamente manifestata dall'autore, alle difficoltà concettuali che gli studenti incontrano nell'apprendimento, evidenziata dall'elevato numero di esercizi di vario livello di difficoltà, adatti a essere risolti in aula o suggeriti agli studenti per esercitarsi nella risoluzione dei problemi.

L'esperienza di insegnamento ci ha permesso non solo di verificare la validità di questa impostazione, ma anche di individuare alcune modifiche che, a nostro avviso, avrebbero potuto rendere il testo ancora più adatto alle esigenze degli studenti dei nostri corsi. In molti corsi di laurea, il numero di ore veramente modesto assegnato in generale all'elettrotecnica costringe i docenti a fare una selezione drastica degli argomenti da trattare. Il volume, nella sua versione originale, rischiava di rappresentare per gli studenti un supporto di limitata utilità e praticità, considerando che di esso si utilizzano in pratica solo alcune parti in relazione al corso seguito. Per questo motivo abbiamo deciso di raccogliere nel presente volume i principali argomenti di un corso di Elettrotecnica e di Macchine Elettriche. Questo adattamento ha riguardato solo la selezione e il conseguente posizionamento dei capitoli, degli esercizi e dei problemi, senza mai eludere una fedele traduzione del testo originario. Inoltre è stato aggiunto *ex-novo* un capitolo sulla *sicurezza elettrica* in quanto, data la sua crescente importanza, riteniamo che un ingegnere debba acquisirne almeno i concetti base.

Il presente volume, suddiviso in 10 capitoli, rispecchia gli argomenti trattati in un corso di Elettrotecnica da sei crediti per un corso di laurea dei settori dell'Ingegneria Industriale o dell'Ingegneria Civile e Ambientale e che possono essere così riassunti:

- componenti circuitali (Capitoli 1 e 3)
- metodi di analisi (Capitoli 1 e 2)

- analisi dei transistori (Capitolo 4)
- analisi in regime sinusoidale (Capitolo 5)
- analisi in frequenza (Capitolo 6)
- elettromeccanica (Capitoli 7, 8 e 9)
- sicurezza elettrica (Capitolo 10)

Il materiale contenuto in questa edizione italiana è certamente molto più di quello che si può seriamente affrontare in un corso di circa 60 ore, ovvero nella durata di un corso di base. Per questo motivo il testo risulta adeguato anche per un corso di primo livello di Teoria dei Circuiti per i Corsi di Laurea del settore dell'Informazione. Il modo in cui sono organizzati i contenuti consente comunque di fare agevolmente scelte individuali degli argomenti da privilegiare, in funzione sia degli interessi e delle esigenze degli studenti, sia delle preferenze personali del docente.

Per quanto riguarda l'organizzazione dei contenuti, nonché le innovazioni introdotte dalla nuova edizione americana e rispettate da questa edizione italiana, rimandiamo alla puntuale e accurata prefazione dell'autore, riportata nelle prossime pagine. Inoltre è possibile reperire il materiale di supporto (in lingua inglese e in lingua italiana) pensato per l'edizione americana del testo sia sul sito ufficiale dell'edizione americana (<http://prenhall.com/hambley>) che sul sito ufficiale dell'edizione italiana (<http://hpe.pearson.it/hambley>). In quest'ultimo saranno presenti anche le indicazioni necessarie per procurarsi i due software usati per le simulazioni e le esercitazioni, nonché l'eventuale errata corrige.

I curatori dell'edizione italiana si sono preoccupati di rendere quanto più possibile omogenea la trattazione non solo per quanto riguarda gli argomenti, ma anche per quanto riguarda la terminologia e la simbologia, nonostante i capitoli siano suddivisi tra i due volumi. Nel fare questo è possibile che degli errori e delle inesattezze siano sfuggiti anche alla revisione. Ce ne scusiamo con i lettori pregandoli di inviare le segnalazioni direttamente all'editore.

Un sentito ringraziamento a Carmelo Giarratana per la realizzazione editoriale, ad Alessandra Piccardo, a Micaela Guerra e a tutto il personale di Pearson Paravia Bruno Mondadori coinvolto nella traduzione e nella realizzazione di questo libro. Senza di loro quest'opera non sarebbe stata possibile.

Maria Cristina Piccirilli

Antonio Luchetta

Francesco Grasso

*Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni
Università degli Studi di Firenze*

Prefazione¹

Come per le precedenti edizioni, la filosofia che mi ha guidato nella realizzazione di questo libro si basa su tre elementi. Il primo è la mia opinione che, a lungo termine, gli studenti riceveranno una formazione migliore se imparano i concetti di base in modo generale. In secondo luogo, credo che i ragazzi debbano essere motivati vedendo come i principi generali si applicano a problemi specifici e interessanti nei propri ambiti. Il terzo elemento della mia filosofia consiste nel cogliere ogni opportunità per rendere l'apprendimento meno frustrante possibile.

Questo libro tratta l'analisi circuitale e l'elettromeccanica a un livello adatto per un corso introduttivo, o per un corso di riepilogo per i laureati. Gli unici requisiti preliminari essenziali sono la fisica di base e il calcolo a una variabile. L'uso di questo libro per l'insegnamento in un corso offre l'opportunità di sviluppare sia le conoscenze teoriche sia quelle pratiche sperimentali nei seguenti argomenti:

- fondamenti di analisi e misure dei circuiti;
- transitori del primo e del secondo ordine;
- analisi di circuiti in regime sinusoidale;
- risonanza e risposta in frequenza;
- trasformatori;
- macchine in continua e in alternata;
- analisi dei circuiti al calcolatore (PSpice).

Mentre l'enfasi di questo libro è sui concetti di base, un aspetto importante consiste nell'inclusione di brevi articoli distribuiti ovunque che mostrano come i concetti dell'ingegneria elettrica vengono applicati in altri campi. I soggetti di questi articoli includono, tra gli altri, l'elaborazione di segnali antidetonanti per motori a combustione interna, il controllo attivo del rumore e l'uso del Sistema di Posizionamento Satellitare (*Global Positioning System, GPS*) per il tele-rilevamento.

Le osservazioni e i commenti su questo libro da parte dei lettori sono accolti favorevolmente. In particolare sono apprezzate le informazioni su come questo testo può essere migliorato, e verranno sicuramente prese in considerazione nelle future revisioni. Il mio indirizzo di posta elettronica è arhamble@mtu.edu.

¹ La presente prefazione è stata ridotta e modificata rispetto all'originale per meglio rispecchiare le caratteristiche e l'adattamento dell'edizione italiana (*N.d.E.*).

Software

LabVIEW è diventato il pacchetto software più usato dalle industrie per la strumentazione industriale e per la diagnosi. L'intenzione è di rendere cosciente lo studente di come LabVIEW, assieme a un computer e a una scheda di acquisizione dati, possa essere usato per creare rapidamente della strumentazione per impieghi speciali e per sistemi di controllo. Successivamente, quando gli verrà richiesto di progettare tali sistemi, allora avrà sufficienti conoscenze per stabilire la direzione più adatta per sviluppare ulteriormente la sua abilità nell'uso della strumentazione assistita dal calcolatore.

OrCAD è un insieme di programmi sviluppati da Cadence Systems per l'analisi e la progettazione dei circuiti. Nell'Appendice D viene mostrato come usare il programma Capture per disegnare lo schema circuitale e impostare l'analisi, il programma PSpice per analizzare il circuito e il programma Probe per visualizzare i risultati. Lungo tutto il libro, a partire dal Capitolo 2, sono presenti degli esercizi selezionati riportati come esempio. Gli studenti scopriranno che l'analisi assistita al calcolatore è un metodo efficace per aumentare la loro "comprensione" per i circuiti e per verificare alcune delle risposte ottenute tramite l'analisi tradizionale.

Le modalità per reperire i programmi di valutazione, gli strumenti virtuali (programmi di LabVIEW), i file dei circuiti discussi nel libro, le soluzioni degli esercizi, le risposte ai problemi selezionati e un riassunto delle principali equazioni per ciascun capitolo in formato pdf sono presenti sul sito ufficiale dell'edizione italiana del libro al seguente indirizzo: <http://hpe.pearson.it/hambley>.

Modifiche e aggiornamenti nella quarta edizione

- Sono stati aggiunti nuovi problemi alla fine di ciascun capitolo e sono stati aggiornati molti dei problemi già presenti.
- Sono state introdotte numerose piccole modifiche un po' ovunque per aumentare la chiarezza del libro.
- Il Paragrafo 2.7 è stato incrementato ed è stato aggiunto un esempio per illustrare come usare la sovrapposizione degli effetti per risolvere i circuiti contenenti generatori controllati.
- Il Paragrafo 5.1 è stato incrementato ed è stato aggiunto un esempio per illustrare come calcolare il valore efficace di forme d'onda periodiche non sinusoidali.

Prerequisiti

I prerequisiti essenziali per un corso basato su questo libro sono la conoscenza della fisica di base e del calcolo a una variabile. Un corso base sulle equazioni differenziali risulterebbe di aiuto anche se non essenziale. Le equazioni differenziali vengono usate nel Capitolo 4 sull'analisi del transitorio, ma le conoscenze necessarie possono essere sviluppate dal calcolo di base.

Supporti per la didattica

Il libro contiene numerosi supporti pedagogici pensati con l'obiettivo di stimolare gli interessi dello studente, eliminare eventuali frustrazioni e creare la consapevolezza dell'attinenza del materiale didattico con la professione scelta. Tra questi si evidenziano:

- l'elenco degli obiettivi di apprendimento all'inizio di ogni capitolo;
- le note a margine, che danno risalto e ricapitolano gli aspetti importanti o indicano i trabocchetti comuni che gli studenti devono evitare;
- i brevi articoli incorniciati, che dimostrano come vengono applicati i principi dell'elettrotecnica negli altri campi dell'ingegneria (per esempio si veda l'Applicazione pratica 6.1 sulla cancellazione del rumore attivo);
- le procedure per la risoluzione passo-passo dei problemi. Per esempio si veda il riassunto passo-passo del metodo di analisi ai nodi (a pagina 73) o il riepilogo del teorema di Thévenin (a pagina 88);
- le soluzioni complete degli esercizi presenti nei capitoli sono fornite tramite un file pdf scaricabile dal sito ufficiale del libro e forniscono un aiuto allo studente;
- le risposte ai problemi selezionati posti alla fine di ciascun capitolo, fornite tramite un file pdf scaricabile dal sito ufficiale del libro, sviluppano la fiducia dello studente e forniscono delle indicazioni su quali argomenti devono essere approfonditi;
- il riepilogo dei punti importanti alla fine di ciascun capitolo rappresenta un riferimento per gli studenti;
- le equazioni principali, evidenziate nel testo e raccolte in un file pdf scaricabile dal sito ufficiale del libro, forniscono un rapido e conveniente riferimento per gli studenti.

Sito web e supporti per i docenti

All'indirizzo <http://prenhall.com/hambley> gli studenti, facendo clic sull'icona del testo, potranno liberamente accedere al Companion Website del libro dove troveranno il materiale di supporto (in lingua inglese) pensato per l'edizione americana: facendo clic su ciascun capitolo sarà possibile scaricare alcune soluzioni agli esercizi, i file sorgenti in PSpice per i Capitoli 2, 4 e 6 e le equazioni principali, evidenziate nel testo.

I docenti che adottano il testo, accedendo all'area Risorse dell'Instructor Resource Center troveranno il Solutions Manual e le slide in formato PowerPoint di tutte le figure del libro (in lingua inglese).

Prefazione, indice, soluzioni degli esercizi ed eventuale errata corrige saranno presenti sul sito web italiano del libro, a questo indirizzo: <http://hpe.pearson.it/hambley>.

Contenuti e organizzazione

Parte prima – Circuiti

Il Capitolo 1 definisce la corrente, la tensione, la potenza e l'energia, presenta le leggi di Kirchhoff e definisce i generatori di tensione e di corrente e le resistenze.

Il Capitolo 2 tratta i circuiti resistivi, presenta l'analisi dei circuiti tramite i metodi di riduzione, ai nodi e alle maglie; sono trattati inoltre il teorema di Thévenin, il principio di sovrapposizione e il ponte di Wheatstone.

Le capacità, le induttanze e le mutue induttanze sono trattate nel Capitolo 3.

I transitori nei circuiti elettrici sono trattati nel Capitolo 4. Vengono presentati i circuiti del primo ordine RL ed RC e la costante di tempo e sono descritti i circuiti del secondo ordine.

Il Capitolo 5 riguarda l'analisi dei circuiti in regime sinusoidale (nell'Appendice A è presente un richiamo dell'aritmetica complessa). Vengono trattati il calcolo della potenza, gli equivalenti di Thévenin e Norton in alternata e i circuiti trifase simmetrici ed equilibrati.

Il Capitolo 6 riguarda l'analisi in frequenza, i diagrammi di Bode, la risonanza, i filtri e l'elaborazione numerica dei segnali. Viene fatta una presentazione qualitativa della teoria di Fourier (per cui un segnale è pari alla somma di sinusoidi con differenti ampiezze, fasi e frequenze).

Parte seconda – Elettromeccanica

Il Capitolo 7 riepiloga la teoria base dei campi elettromagnetici, analizza i circuiti magnetici e presenta i trasformatori.

Le macchine in continua e in alternata sono presentate nei Capitolo 8 e 9 rispettivamente. Viene data maggiore enfasi ai motori piuttosto che ai generatori, poiché gli ingegneri non elettrici utilizzano maggiormente i motori rispetto ai generatori. Nel Capitolo 8, viene fatta una presentazione generale dei motori prima di considerare le macchine in continua, i rispettivi circuiti equivalenti e il calcolo delle prestazioni. Viene discusso il motore universale e le sue applicazioni.

Il Capitolo 9 si occupa dei motori in alternata, iniziando con i motori trifasi a induzione. Alla fine del capitolo è inserito un paragrafo sui motori passo-passo e brushless.

Il Capitolo 10, scritto dai curatori dell'edizione italiana, presenta i principali concetti relativi alla sicurezza elettrica: dalle definizioni riguardanti i sistemi elettrici fino alle protezioni dalla folgorazione, dalle sovracorrenti e dalle sovratensioni.

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare i miei colleghi, passati e presenti, presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica e Informatica dell'Università Tecnologica del Michigan, i quali mi hanno fornito aiuto e incoraggiato in vari momenti per la stesura di questo libro e di altri progetti.

Ho ricevuto numerosi eccellenti consigli da professori di altre istituzioni che hanno revisionato il manoscritto in vari momenti. Questi consigli hanno migliorato notevolmente il risultato finale e io sono loro grato per l'aiuto. I revisori sono:

Ibrahim Abdel-Motaled, Northwestern University
 D. B. Brumm, Michigan Technological University
 Robert Collin, Case Western University
 Joseph A. Coppola, Syracuse University

Norman R. Cox, University of Missouri at Rolla
 W.T. Easter, North Carolina State University
 Zoran Gajic, Rutgers University
 Edwin L. Gerber, Drexel University
 Victor Gerez, Montana State University
 Elmer Grubbs, New Mexico Highlands University
 Richard S. Marleau, University of Wisconsin
 Sunanda Mitra, Texas Tech University
 Phil Noe, Texas A & M University
 Edgar A. O'Hair, Texas Tech University
 John Pavlat, Iowa State University
 Clifford Pollock, Cornell University
 Michael Reed, Carnegie Mellon University
 Gerald F. Reid, Virginia Polytechnic Institute
 William Sayle II, Georgia Institute of Technology
 Len Trombetta, University of Houston
 Belinda B. Wang, University of Toronto
 Carl Wells, Washington State University
 Edward Yang, Columbia University
 Rodger E. Ziemer, University of Colorado, Colorado Springs

Ringrazio, inoltre, il professor Al Wicks del Virginia Tech che ha revisionato il manoscritto per la seconda edizione e ha fornito eccellenti suggerimenti e miglioramenti.

Nel corso degli anni, i molti allievi e docenti che hanno usato i miei libri all'Università Tecnologica del Michigan e altrove hanno fornito molti suggerimenti eccellenti per il miglioramento dei libri e per la correzione degli errori. Li ringrazio molto.

Sono in debito con Mike McDonald e Tom Robbins, i miei Editor presso la Prentice Hall, per avermi mantenuto nella giusta direzione e per i molti suggerimenti eccellenti che hanno migliorato notevolmente i miei libri. Un ringraziamento va anche a Scott Disanno per il grande lavoro di controllo della produzione di questo libro.

Inoltre, voglio ringraziare Tony e Pam per il loro incoraggiamento continuo e per l'importante comprensione. Ringrazio Judy per tanti buoni motivi, troppi per essere elencati.

Allan R. Hambley