

Fabio Viola

# QUADERNO DI ELETTROTECNICA

Fabio Viola, *Quaderno di elettrotecnica*  
Copyright © 2011 Editrice UNI Service, Trento  
Via Verdi, 9/A – 38122 Trento  
www.uni-service.it – editrice@uni-service.it

Prima Edizione: ottobre 2011 – *Printed in Italy*

ISBN 978-88-6178-775-9

*Alcuni esercizi presentano un'etichetta evidenziata in nero, sono proprio quelli che richiedono un grado di conoscenza estesa e ricadono nel gruppo di esercizi di sintesi.*

Prefazione.....	I
Capitolo 1, Valutazione di resistenza equivalente.....	1
Esercizio 1.1 .....	1
Esercizio 1.2 .....	2
Esercizio 1.3 .....	3
Esercizio 1.4 .....	4
Esercizio 1.5 .....	5
Esercizio 1.6 .....	6
Esercizio 1.7 .....	7
Esercizio 1.8 .....	8
Esercizio 1.9 .....	9
<b>Esercizio 1.10</b> .....	11
Capitolo 2, Convenzioni di segno e composizione di caratteristiche	12
Esercizio 2.1 .....	12
Esercizio 2.2 .....	13
Esercizio 2.3 .....	14
Esercizio 2.4 .....	15
Esercizio 2.5 .....	16
Esercizio 2.6 .....	16
Esercizio 2.7 .....	17
Esercizio 2.8 .....	18
Esercizio 2.9 .....	18
Esercizio 2.10 .....	19
Esercizio 2.11 .....	20
Esercizio 2.12 .....	21
Esercizio 2.13 .....	22
Esercizio 2.14 .....	22
<b>Esercizio 2.15</b> .....	23
Capitolo 3, Applicazioni delle leggi di Kirchhoff.....	25
Esercizio 3.1 .....	25
Esercizio 3.2 .....	26
Esercizio 3.3 .....	28
Esercizio 3.4 .....	29
Esercizio 3.5 .....	29
Esercizio 3.6 .....	32
Esercizio 3.7 .....	36
Esercizio 3.8 .....	39
Esercizio 3.9 .....	40
<b>Esercizio 3.10</b> .....	41

Capitolo 4, Metodi di analisi circuitale .....	44
Esercizio 4.1 .....	44
Esercizio 4.2 .....	46
Esercizio 4.3 .....	48
Esercizio 4.4 .....	50
Esercizio 4.5 .....	51
Esercizio 4.6 .....	53
Esercizio 4.7 .....	54
Esercizio 4.8 .....	55
Esercizio 4.9 .....	58
Esercizio 4.10 .....	61
Esercizio 4.11 .....	63
Esercizio 4.12 .....	65
Esercizio 4.13 .....	66
Esercizio 4.14 .....	68
Esercizio 4.15 .....	70
Esercizio 4.16 .....	73
Esercizio 4.17 .....	76
Esercizio 4.18 .....	77
Esercizio 4.19 .....	79
Esercizio 4.20 .....	80
Esercizio 4.21 .....	81
Esercizio 4.22 .....	82
 Capitolo 5, Doppi bipoli .....	 83
Esercizio 5.1 .....	83
Esercizio 5.2 .....	85
Esercizio 5.3 .....	86
Esercizio 5.4 .....	87
Esercizio 5.5 .....	89
Esercizio 5.6 .....	90
Esercizio 5.7 .....	93
Esercizio 5.8 .....	94
Esercizio 5.9 .....	96
Esercizio 5.10 .....	100
Esercizio 5.11 .....	101
Esercizio 5.12 .....	103
 Capitolo 6, Circuiti dinamici del primo ordine .....	 104
Esercizio 6.1 .....	104
Esercizio 6.2 .....	105
Esercizio 6.3 .....	107
Esercizio 6.4 .....	111
Esercizio 6.5 .....	115
Esercizio 6.6 .....	117
Esercizio 6.7 .....	119
Esercizio 6.8 .....	121

Esercizio 6.9 .....	123
Esercizio 6.10 .....	125
Esercizio 6.11 .....	126
Esercizio 6.12 .....	128
Esercizio 6.13 .....	131
Esercizio 6.14 .....	134
Esercizio 6.15 .....	135
Esercizio 6.16 .....	137
Esercizio 6.17 .....	138
<b>Capitolo 7, Circuiti dinamici del secondo ordine .....</b>	<b>140</b>
Esercizio 7.1 .....	140
Esercizio 7.2 .....	144
Esercizio 7.3 .....	146
Esercizio 7.4 .....	148
Esercizio 7.5 .....	151
Esercizio 7.6 .....	155
Esercizio 7.7 .....	158
Esercizio 7.8 .....	160
Esercizio 7.9 .....	163
<b>Capitolo 8, Circuiti in regime sinusoidale .....</b>	<b>169</b>
Esercizio 8.1 .....	169
Esercizio 8.2 .....	171
Esercizio 8.3 .....	172
Esercizio 8.4 .....	172
Esercizio 8.5 .....	174
Esercizio 8.6 .....	175
Esercizio 8.7 .....	176
Esercizio 8.8 .....	177
Esercizio 8.9 .....	179
Esercizio 8.10 .....	181
Esercizio 8.11 .....	184
Esercizio 8.12 .....	185
Esercizio 8.13 .....	186
Esercizio 8.14 .....	188
Esercizio 8.15 .....	190
Esercizio 8.16 .....	192
Esercizio 8.17 .....	193
Esercizio 8.18 .....	194
Esercizio 8.19 .....	196
Esercizio 8.20 .....	199
Esercizio 8.21 .....	200
Esercizio 8.22 .....	202
Esercizio 8.23 .....	204
<b>Esercizio 8.24 .....</b>	<b>206</b>
Esercizio 8.25 .....	207
Esercizio 8.26 .....	208

Esercizio 8.27 .....	209
Esercizio 8.28 .....	211
<b>Esercizio 8.29</b> .....	212
<b>Esercizio 8.30</b> .....	213
Esercizio 8.31 .....	214
<b>Capitolo 9, Risposta in frequenza</b> .....	<b>216</b>
Esercizio 9.1 .....	216
Esercizio 9.2 .....	217
Esercizio 9.3 .....	218
Esercizio 9.4 .....	219
Esercizio 9.5 .....	220
Esercizio 9.6 .....	221
Esercizio 9.7 .....	226
Esercizio 9.8 .....	227
Esercizio 9.9 .....	230
Esercizio 9.10 .....	232
Esercizio 9.11 .....	235
Esercizio 9.12 .....	239
<b>Esercizio 9.13</b> .....	<b>242</b>
<b>Esercizio 9.14</b> .....	<b>244</b>
<b>Capitolo 10, Sistemi trifase</b> .....	<b>247</b>
Esercizio 10.1 .....	247
Esercizio 10.2 .....	251
Esercizio 10.3 .....	253
Esercizio 10.4 .....	256
Esercizio 10.5 .....	258
Esercizio 10.6 .....	260
Esercizio 10.7 .....	264
Esercizio 10.8 .....	266
Esercizio 10.9 .....	267
<b>Capitolo 11, Analisi delle forme d'onda</b> .....	<b>271</b>
Esercizio 11.1 .....	271
Esercizio 11.2 .....	273
Esercizio 11.3 .....	275
Esercizio 11.4 .....	277
Esercizio 11.5 .....	279
Esercizio 11.6 .....	282
Esercizio 11.7 .....	285
<b>Esercizio 11.8</b> .....	<b>287</b>
Esercizio 11.9 .....	288
<b>Capitolo 12, Principi di elettromagnetismo</b> .....	<b>271</b>
Esercizio 12.1 .....	290
Esercizio 12.2 .....	290

Esercizio 12.3 .....	291
Esercizio 12.4 .....	294
Esercizio 12.5 .....	297
Esercizio 12.6 .....	300
Esercizio 12.7 .....	302
Esercizio 12.8 .....	303
Esercizio 12.9 .....	305
<b>Esercizio 12.10</b> .....	309
Esercizio 12.11 .....	313
<b>Capitolo 13, Elementi di macchine elettriche e impianti elettrici.....</b>	<b>315</b>
Esercizio 13.1 .....	315
Esercizio 13.2 .....	321
<b>Esercizio 13.3</b> .....	<b>323</b>
Esercizio 13.4 .....	335
Esercizio 13.5 .....	339
<b>Esercizio 13.6</b> .....	<b>349</b>
Ringraziamenti.....	355
Bibliografia .....	356



## Prefazione

La scrittura di un testo universitario ha come fine quello di realizzare un valido strumento per facilitare l'apprendimento degli argomenti trattati nel corso.

Questo strumento deve essere efficace, giacché la disponibilità di ore di lezione frontale è sempre più limitata.

Nella stesura di questo libro ho continuamente cercato di bilanciare diverse esigenze didattiche, che si possono riassumere nella dicotomia quantità e qualità.

Un corso di elettrotecnica è ricco, richiede moltissime conoscenze di matematica e di fisica e indirizza la conoscenza verso più vaste aree del sapere. Non è facile decidere quando porre termine al corso stesso, troppe sono le parti interessanti e troppo poco è il tempo. Io stesso dico sempre ai miei studenti *“il tempo ci fu tiranno”*, strizzando loro un occhio.

Un buon testo di elettrotecnica allora potrebbe cercare di includere quanti più argomenti possibili e lasciare allo studente l'incarico di approfondire lo studio in maniera autonoma. Un simile approccio però sottrarrebbe il docente da un più importante incarico, quello di creare ingegneri.

L'ingegno deve essere stimolato e questo non può essere fatto somministrando solamente informazioni, ma bisogna seguire una curva di apprendimento, si devono stabilire dei livelli di comprensione per consentire il passaggio da conoscenza quantitativa a conoscenza qualitativa.

Un'idea o un aspetto nuovo non presuppone alcuna conoscenza pregressa, solo grazie ad una buona capacità di astrazione se ne possono definire i contorni, quasi come le ombre nella caverna di Platone nel VII libro de *“La Repubblica”*.

Definiti questi contorni, si passa a un livello successivo di conoscenza, quella tipica dell'essere umano in cui è l'operazione di confronto ed esplorazione che garantisce l'apprendimento; basti pensare alla nascita delle prime di unità di misura (pollice, piede, cubito) che sono direttamente legate al corpo umano.

Il confronto con altri simili apre la strada alla costruzione di macro-  
aspetti, utili in seguito nella creazione di progetti più estesi.

In questi semplici passaggi la conoscenza è passata da rivestire un  
aspetto quantitativo a rivestirne un altro qualitativo.

Vi suggerisco di pensare inizialmente a una resistenza e poi alla  
dissipazione di potenza in un esteso impianto elettrico e vi presento  
anche un grafico correlandolo con una scala gerarchica di azioni  
possibili.

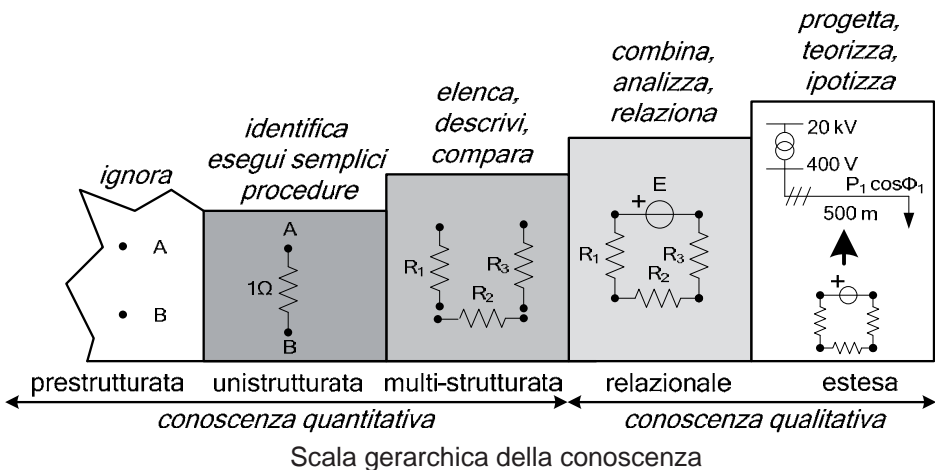
Nasce l'idea di un elemento resistivo, ma fino a quando non  
s'introducono delle grandezze quantitative, non è possibile eseguire  
alcuna azione.

Solamente dopo che è stato definito l'oggetto, è possibile eseguire  
delle semplici operazioni di stima.

Una maggiore confidenza aprirà le porte a processi di comparazione,  
in cui s'intuiscono i contorni degli oggetti ma non quelli del sistema  
che sarà oggetto di un'analisi relazionale sulle dinamiche che  
intercorrono tra elementi omogenei.

Soltanto al suo livello più elevato la conoscenza consente di  
utilizzare le informazioni acquisite sui singoli elementi e sulle  
dinamiche dei sistemi per definire e progettare nuove strutture.

Si è quindi passati da semplici stadi di memorizzazione e  
identificazione a processi complessi di analisi e sintesi.



Durante questi brevi passaggi il livello di conoscenza è passato da  
un livello quantitativo, in cui è stimolata essenzialmente la memoria,  
a uno qualitativo, in cui è stato stimolato l'ingegno.

Ogni capitolo del libro presenterà diversi esercizi la cui risoluzione richiede una buona conoscenza delle dinamiche coinvolte (livello quantitativo) ed anche alcuni esercizi in cui è necessario impegnare delle capacità tipiche dell'ingegnere.

L'intento di questo libro è quindi quello di stimolare tutti i livelli di conoscenza dello studente e indirizzarne lo studio verso aspetti progettuali tipici dell'ingegneria. In quest'ottica si può leggere la copertina del libro:

SATOR, AREPO, TENET, OPERA, ROTAS

“il docente, per mezzo dei propri strumenti, assiste con cura i propri allievi”.

Sicuramente il quadrato del Sator avrà anche altri significati, ma l'analisi di questi ultimi è lasciata ai miei studenti.

Fabio E. Viola

S	A	T	O	R
A	R	E	P	O
T	E	N	E	T
O	P	E	R	A
R	O	T	A	S



## Capitolo 1

### Valutazione di resistenza equivalente

#### Esercizio 1.1

Si determini la resistenza d'ingresso del bipolo di figura 1.1.

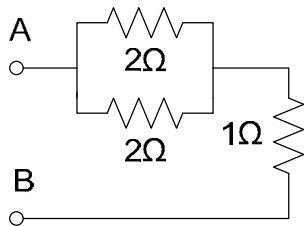


Figura 1.1

#### Svolgimento

Per la risoluzione dell'esercizio si prendono in considerazione due nodi ausiliari, C e D, come mostrato in figura 1.1a. Risulta immediato notare che non vi è differenza di potenziale tra i morsetti D e B, in quanto sono collegati da un corto circuito. La resistenza in ingresso è scomponibile nella seguente

somma:

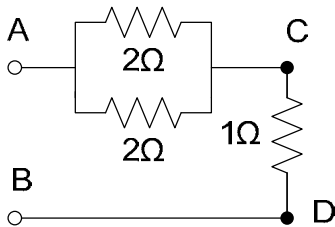


Figura 1.1a

$$R_{AB} = R_{AC} + R_{CD} + R_{DB}.$$

La resistenza tra i morsetti A e C è data dal parallelo dei due resistori collegati agli stessi morsetti :

$$R_{AC} = \frac{2 \cdot 2}{2 + 2} = \frac{4}{4} = 1 \Omega.$$

La resistenza  $R_{AC}$ , data dal parallelo di due resistori identici, è numericamente pari alla metà della resistenza del singolo resistore.

La resistenza in ingresso risulta quindi data da:

$$R_{AB} = 1 + 1 + 0 = 2 \Omega.$$