



E. CAVAZZUTI - C.A. NOBILI

# CORSO DI RADIOELETTRONICA

ELETTROTECNICA E MISURE

*VOLUME PRIMO*



CALDERINI

4ª ristampa della 3ª edizione: gennaio 1993

*Degli stessi Autori:*

CORSO DI RADIOELETTONICA

1 - Elettrotecnica e misure

2 - Elettronica di base

3 - Modulazione e radioricevitori AM-FM - TV in bianco e nero e a colori -  
Antenne

E. Cavazzuti - C.A. Nobili - P. Tinarelli

DISEGNO E PROGETTAZIONE PRATICA DEI CIRCUITI RADIOELET-  
TRONICI

E. Cavazzuti

MISURE ELETTRICHE E RADIO ELETTRONICHE

EDIZIONI CALDERINI

## Parte Prima

### CENNI SUL SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITÀ (SI)

1 - GRANDEZZE E UNITÀ DI MISURA .....	Pag.	3
1.1 - Generalità .....	»	3
1.2 - Equazioni di dimensione delle grandezze fisiche. ....	»	3
1.3 - Sistema internazionale di unità di misura fondamentali, supplementari e derivate. Estratto dalle Norme CNR - UNI 10003-84 .....	»	4

## Parte Seconda

### CORRENTE CONTINUA

2 - CONSIDERAZIONI SULLA STRUTTURA ATOMICA DELLA MATERIA .....	»	19
2.1 - Molecole .....	»	19
2.2 - Atomi .....	»	19
2.3 - Struttura dell'atomo .....	»	20
2.4 - Elettrizzazione .....	»	23
2.5 - Cariche elettriche .....	»	23
3 - UNITÀ DI MISURA ELETTRICHE FONDAMENTALI .....	»	24
3.1 - La corrente elettrica .....	»	24
3.2 - Intensità di corrente .....	»	25
3.3 - Densità di corrente .....	»	27
3.4 - La tensione elettrica .....	»	29
3.5 - La resistenza elettrica. Legge di Ohm .....	»	32

## Parte Prima

### CENNI SUL SISTEMA INTERNAZIONALE DI UNITÀ (SI)

1 - GRANDEZZE E UNITÀ DI MISURA .....	Pag.	3
1.1 - Generalità .....	»	3
1.2 - Equazioni di dimensione delle grandezze fisiche. ....	»	3
1.3 - Sistema internazionale di unità di misura fondamentali, supplementari e derivate. Estratto dalle Norme CNR - UNI 10003-84 .....	»	4

## Parte Seconda

### CORRENTE CONTINUA

2 - CONSIDERAZIONI SULLA STRUTTURA ATOMICA DELLA MATERIA .....	»	19
2.1 - Molecole .....	»	19
2.2 - Atomi .....	»	19
2.3 - Struttura dell'atomo .....	»	20
2.4 - Elettrizzazione .....	»	23
2.5 - Cariche elettriche .....	»	23
3 - UNITÀ DI MISURA ELETTRICHE FONDAMENTALI .....	»	24
3.1 - La corrente elettrica .....	»	24
3.2 - Intensità di corrente .....	»	25
3.3 - Densità di corrente .....	»	27
3.4 - La tensione elettrica .....	»	29
3.5 - La resistenza elettrica. Legge di Ohm .....	»	32

3.6	- Influenza della temperatura sul valore della resistività dei materiali conduttori .....	Pag. 38
4	- CIRCUITI ELETTRICI E PRINCIPI FONDAMENTALI .....	» 42
4.1	- Generalità .....	» 42
4.2	- Generatore ideale di tensione .....	» 42
4.3	- Generatore ideale di corrente .....	» 43
4.4	- Generatori reali .....	» 43
4.5	- Elementi circuitali collegati in serie .....	» 46
4.6	- Elementi circuitali collegati in parallelo .....	» 50
4.7	- Elementi circuitali in collegamento misto .....	» 55
4.8	- Principi di Kirchhoff .....	» 61
4.9	- Trasformazione triangolo-stella e stella-triangolo .....	» 66
4.10	- Partitori resistivi di tensione .....	» 72
4.11	- Divisori resistivi di corrente .....	» 74
4.12	- Energia, potenza e rendimento .....	» 75
5	- TEOREMI E PRINCIPI FONDAMENTALI SULLE RETI ELETTRICHE .....	» 85
5.1	- Generalità .....	» 85
5.2	- Teorema di Thévenin .....	» 85
5.3	- Teorema di Norton .....	» 86
5.4	- Teorema di Millman .....	» 89
5.5	- Metodo dei nodi elettrici .....	» 97
5.6	- Metodo di Maxwell o delle correnti di maglia .....	» 105
5.7	- Principio della sovrapposizione degli effetti .....	» 107
5.8	- Teorema di Miller .....	» 109
6	- GENERATORI STATICI - PILE ED ACCUMULATORI .....	» 113
6.1	- Generalità .....	» 113
6.2	- Effetto Volta e pila voltaica .....	» 114
6.3	- Pila Leclanché .....	» 117
6.4	- Pile alcalino-manganese .....	» 118
6.5	- Pila al mercurio .....	» 120
6.6	- Gli accumulatori .....	» 126
6.7	- Accumulatori al piombo-acido .....	» 127
6.8	- Accumulatori alcalini .....	» 134
7	- ELETTROSTATICA .....	» 140
7.1	- Generalità .....	» 140

7.2	- Legge di Coulomb .....	Pag. 140
7.3	- Il campo elettrico .....	» 141
7.4	- Intensità del campo elettrico - Densità di carica superficiale .....	» 143
7.5	- Condensatore elettrico .....	» 146
7.6	- Capacità elettrica del condensatore .....	» 147
7.7	- Rigidità dielettrica .....	» 149
7.8	- Collegamento dei condensatori .....	» 151
7.9	- Condensatore con dielettrico in più strati di materiali diversi .....	» 159
7.10	- Energia di un condensatore .....	» 162
7.11	- Carica e scarica di un condensatore attraverso una resistenza .....	» 163
8	- MAGNETISMO, ELETTROMAGNETISMO, CIRCUITI MAGNETICI ..	» 172
8.1	- Generalità .....	» 172
8.2	- Proprietà dei magneti .....	» 173
8.3	- Il campo magnetico .....	» 176
8.4	- Elettromagnetismo .....	» 179
8.5	- Grandezze del campo magnetico .....	» 184
8.6	- Campo magnetico nei materiali .....	» 191
8.7	- Azioni fra correnti e campi magnetici .....	» 210
9	- INDUZIONE ELETTROMAGNETICA, AUTOINDUZIONE, MUTUA INDUZIONE .....	» 220
9.1	- Induzione elettromagnetica - Generalità .....	» 220
9.2	- Leggi che governano il fenomeno dell'induzione elettromagnetica .....	» 222
9.3	- F.e.m. indotta in un conduttore in movimento ..	» 223
9.4	- Il fenomeno dell'autoinduzione elettromagnetica..	» 226
9.5	- Energia immagazzinata dal circuito magnetico ...	» 229
9.6	- Inerzia della corrente nei circuiti induttivi .....	» 230
9.7	- Il fenomeno della mutua induzione .....	» 234

### Parte terza

## CORRENTE ALTERNATA

10	- LE CORRENTI ALTERNATE .....	» 239
10.1	- Differenza fra una tensione continua ed una alternata .....	» 239

10.2	- Definizione di grandezze alternate .....	Pag. 240
10.3	- Rappresentazione grafica di una grandezza sinusoidale .....	» 240
10.4	- Generazione di una f.e.m. alternata .....	» 242
10.5	- Rappresentazione simbolica .....	» 244
10.6	- Velocità di variazione di una grandezza sinusoidale .....	» 246
10.7	- Valore efficace e valore medio di una grandezza sinusoidale .....	» 246
11	- CIRCUITI IN CORRENTE ALTERNATA .....	» 251
11.1	- Circuito puramente resistivo .....	» 251
11.2	- Circuito puramente induttivo .....	» 252
11.3	- Circuito puramente capacitivo .....	» 255
11.4	- Considerazioni su semplici circuiti ideali $R, L, C$ ..	» 257
11.5	- Circuito con induttanza e resistenza in serie ...	» 258
11.6	- Circuito con capacità e resistenza in serie.....	» 259
11.7	- Circuito $RLC$ in serie - Condizione di risonanza..	» 260
11.8	- Circuito con induttanza e resistenza in parallelo..	» 267
11.9	- Circuito con capacità e resistenza in parallelo .	» 268
11.10	- Circuito $RLC$ in parallelo - Condizione di risonanza .....	» 269
11.11	- Trasformazione di circuiti elettrici in circuiti equivalenti .....	» 274
11.12	- Fattore di merito di una bobina in AF .....	» 279
11.13	- Circuito $LC$ in parallelo con perdite $R$ in serie alla bobina .....	» 280
11.14	- Teoremi fondamentali sulle reti elettriche .....	» 283
11.15	- Potenza in corrente alternata monofase .....	» 284
11.16	- Triangolo delle potenze .....	» 288
12	- MUTUA INDUZIONE FRA CIRCUITI ACCOPPIATI E IMMERSI IN ARIA .....	» 292
12.1	- Accoppiamento fra due bobine .....	» 292
12.2	- Accoppiamento fra due circuiti accordati .....	» 293
13	- STUDIO DELLA RISONANZA PER CIRCUITI RISONANTI SERIE E PARALLELO .....	» 299
13.1	- Studio grafico ed analitico di semplici reattanze al variare della frequenza .....	» 299
13.2	- Impedenza e corrente in un circuito $LCR$ serie al	

	variare della frequenza .....	Pag. 302
13.3	- Curva di risonanza universale per un circuito $L C R$ serie .....	» 305
13.4	- Ammettenza e tensione in un circuito $L C R$ parallelo al variare della frequenza .....	» 308
13.5	- Curva di risonanza universale per un circuito $L C R$ parallelo .....	» 310
14	- TRASFORMATORI MONOFASI .....	» 313
14.1	- Cenni sul funzionamento di un trasformatore monofase - Rapporto di trasformazione .....	» 313
14.2	- Funzionamento a vuoto di un trasformatore ...	» 314
14.3	- Funzionamento con carico ohmico - Assenza di perdite .....	» 316
14.4	- Perdite in un trasformatore .....	» 318
14.5	- Introduzione delle perdite nel trasformatore ....	» 318
14.6	- Trasformatore reale chiuso su carico ohmico-induttivo .....	» 319
14.7	- Determinazione delle perdite in un trasformatore .....	» 320
14.8	- Autotrasformatori .....	» 322
14.9	- Calcolo di trasformatori di alimentazione per apparati radioelettronici di piccola potenza.....	» 324

#### Parte quarta

#### MISURE ELETTRICHE

15	- CONSIDERAZIONI GENERALI SUGLI STRUMENTI DI MISURA ....	» 339
15.1	- Gli errori .....	» 339
15.2	- Le cause degli errori e loro classificazione .....	» 341
15.3	- Misure indirette .....	» 345
15.4	- Principali definizioni e norme CEI sugli strumenti di misura .....	» 347
15.5	- Norme CEI sui simboli grafici delle varie apparecchiature usate nelle misure elettriche e per gli strumenti di misura .....	» 351
15.6	- Classe degli strumenti .....	» 352
15.7	- Classificazione degli strumenti di misura .....	» 355
15.8	- Generalità sulle parti componenti gli strumenti di misura indicatori .....	» 358

16 - CAMPIONI DI RESISTENZA, INDUTTANZA, CAPACITÀ E F.E.M. . . . . .	Pag. 371
16.1 - Resistori campione - Loro costruzione . . . . .	» 371
16.2 - Resistori campione fissi e variabili . . . . .	» 372
16.3 - Condensatori campione . . . . .	» 378
16.4 - Induttori campione . . . . .	» 387
16.5 - Sorgenti di f.e.m. campione . . . . .	» 394
17 - I GALVANOMETRI . . . . .	» 398
17.1 - Generalità . . . . .	» 398
17.2 - Galvanometri per corrente continua . . . . .	» 398
17.3 - Galvanometri per corrente alternata . . . . .	» 405
18 - STRUMENTI INDICATORI MAGNETOELETTRICI . . . . .	» 408
18.1 - Generalità . . . . .	» 408
18.2 - Ampermetri magnetoelettrici - Variazione di portata . . . . .	» 409
18.3 - Voltmetri magnetoelettrici - Variazione di portata . . . . .	» 412
18.4 - Ohmmetri magnetoelettrici . . . . .	» 415
18.5 - Generalità sulla misura delle tensioni alternate . . . . .	» 424
18.6 - Voltmetri magnetoelettrici in corrente alternata . . . . .	» 424
19 - STRUMENTI INDICATORI ELETTRODINAMICI . . . . .	» 430
19.1 - Generalità . . . . .	» 430
19.2 - Voltmetri elettrodinamici . . . . .	» 433
19.3 - Ampermetri elettrodinamici . . . . .	» 435
19.4 - Wattmetri elettrodinamici . . . . .	» 439
20 - STRUMENTI INDICATORI SPECIALI . . . . .	» 447
20.1 - Strumenti elettrostatici . . . . .	» 447
20.2 - Strumenti termici . . . . .	» 451
20.3 - Cenni sui trasformatori di misura: T.A. e T.V. . . . .	» 456
21 - MISURE DI RESISTENZA, CAPACITÀ E INDUTTANZA . . . . .	» 462
21.1 - Misure di resistenza - Generalità . . . . .	» 462
21.2 - Metodo volt-ampermetrico . . . . .	» 463
21.3 - Ponte di Wheatstone . . . . .	» 465
21.4 - Metodo di sostituzione . . . . .	» 468
21.5 - Misure di capacità - Generalità . . . . .	» 470
21.6 - Metodo industriale o di Joubert . . . . .	» 472
21.7 - I circuiti a ponte in corrente alternata . . . . .	» 473

21.8	- Ponte di De Sauty-Wien serie .....	Pag. 475
21.9	- Ponte di De Sauty-Nernst parallelo .....	» 477
21.10	- Ponte di Schering .....	» 478
21.11	- Misure di induttanza - Generalità .....	» 480
21.12	- Metodo industriale o di Joubert .....	» 482
21.13	- Ponte di Maxwell .....	» 484
21.14	- Ponte di Hay .....	» 487
21.15	- Misura del coefficiente di mutua induzione ....	» 489
21.16	- Ponti universali .....	» 491
22	- MISURE DI POTENZA ED ENERGIA .....	» 494
22.1	- Misura di potenza in corrente continua .....	» 494
22.2	- Misura di potenza in corrente alternata monofase	» 497
22.3	- Misura dell'energia elettrica. Contatori .....	» 500