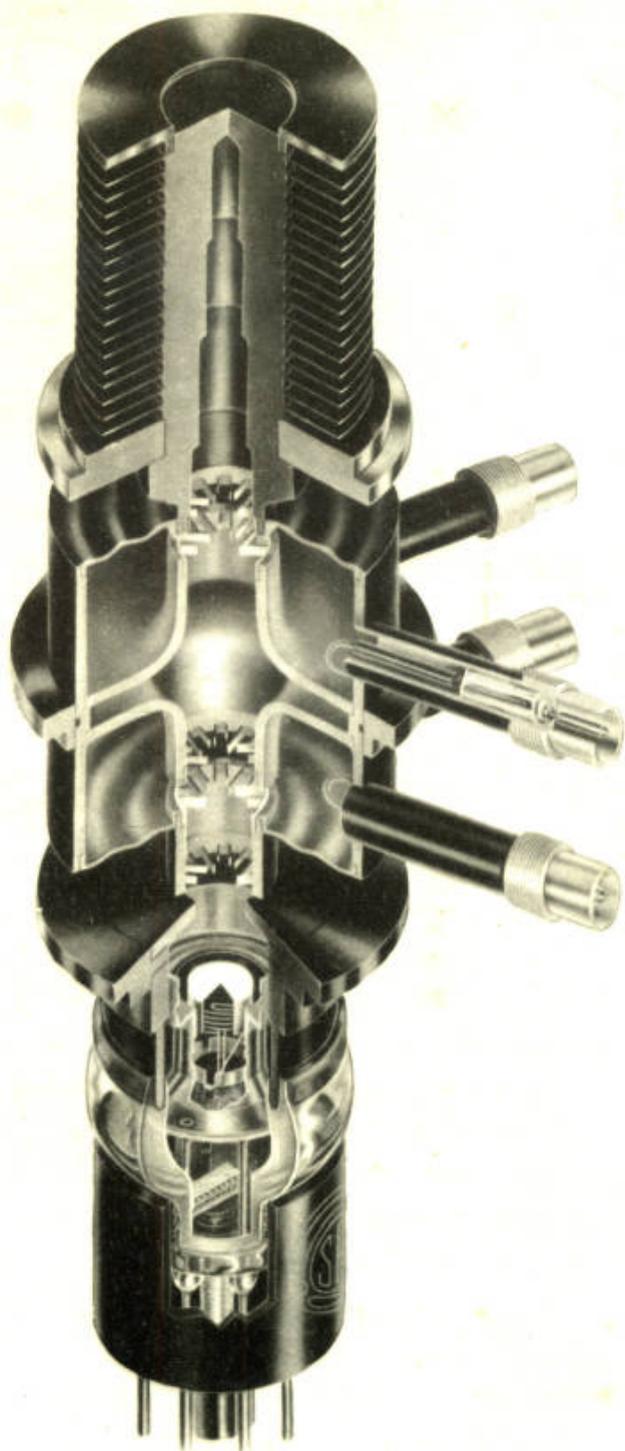


RADIOTECNICA PRATICA



PRINCIPI E CIRCUITI FONDAMENTALI

PROPAGAZIONE E ANTENNE

COSTRUZIONE DI APPARATI RADIO

RADIO HANDBOOK

EDIZIONI C.E.L.I. BOLOGNA

COLLANA TECNICA
diretta dal Prof. Ing. STEFANO BASILE

RADIO HANDBOOK

TRADUZIONE

del Prof. Ing. STEFANO BASILE
del Dott. MARIO SANTORO
del Dott. Ing. MARIO MARIANI

EDIZIONI - C. E. L. I. - BOLOGNA
VIA GANDINO, 1

Proprietà letteraria ed artistica riservata

Titolo originale:

RADIO HANDBOOK

Editors and Engineers - Summerland - California U.S.A.

Stampato in Italia

Tipografia P. Gotti - Bologna

Prefazione

La Casa Editrice C.E.L.I. ha il piacere di presentare la traduzione italiana della XIII Edizione del Radio Handbook.

Questo libro è dedicato specialmente ai radiotecnici, ai radioamatori, agli studenti e a tutti coloro che lavorano nel vastissimo campo della radio.

Il testo americano è stato compilato da valentissimi tecnici e con la collaborazione delle più note Ditte americane di apparati e componenti radio.

Esso può considerarsi suddiviso in tre parti:

nella prima, di uso generale, sono descritti i criteri di progetto e le condizioni di lavoro dei vari organi che costituiscono le apparecchiature radio;

nella seconda parte è descritto un certo numero di apparecchiature, nelle quali trovano applicazione le nozioni trattate nella prima parte e che possono servire di guida per le più svariate realizzazioni pratiche che i tecnici desiderino attuare;

nella terza parte sono riportati i dati tecnici e di impiego dei tubi elettronici, semiconduttori e tubi a raggi catodici finora sviluppati.

Le trattazioni sono svolte in maniera piana e senza notevole impiego di formule matematiche, così da renderne possibile l'assimilazione da parte di persone che, pur non avendo una preparazione matematica, desiderino dedicarsi attivamente al campo della radio.

La Tecnica Radio è in continuo, incessante sviluppo ed è questa una delle ragioni per cui le edizioni originali del Radio Handbook si susseguono man mano che il progresso tecnico lo richiede. La Casa Editrice C.E.L.I. assicura i suoi lettori che terrà aggiornata questa opera pubblicando, ogniquale volta uscirà una nuova edizione originale del Radio

4 Prefazione

Handbook, un supplemento a questa edizione italiana che riporti interamente quanto di nuovo è contenuto nella nuova edizione originale. Così facendo, si renderà possibile tenere aggiornata l'edizione italiana del Radio Handbook con una spesa modesta.

La traduzione italiana è stata eseguita con la collaborazione di valenti tecnici che hanno cercato di superare, quanto meglio possibile, le difficoltà causate soprattutto dalla incompletezza della terminologia radiotecnica italiana e dalla mancanza di un vocabolario radiotecnico completo, sul quale basarsi.

Non è improbabile che per tali ragioni questa prima edizione italiana non presenti una buona omogeneità e uniformità di espressione, che si conta di raggiungere nella prossima edizione.

La Casa Editrice C.E.L.I. spera, con questa opera, di contribuire alla formazione di una sempre più valida e numerosa schiera di tecnici, che possano determinare un sempre maggiore sviluppo alla Tecnica Radio in Italia.

Bologna, Marzo del 1957.

GLI EDITORI

Indice

CAPITOLO I	- Introduzione alla radio	pag.	11
1-1	- Radio dilettantismo	»	11
1-2	- Stazioni e licenze per dilettanti	»	12
1-3	- Codice internazionale Morse	»	14
CAPITOLO II	- Circuiti a corrente continua	»	23
2-1	- Unità elettriche fondamentali e loro relazioni	»	24
2-2	- Elettrostatica. Condensatori	»	38
2-3	- Magnetismo ed elettromagnetismo	»	44
CAPITOLO III	- Circuiti a corrente alternata	»	53
3-1	- Generazione di corrente alternata	»	54
3-2	- Circuiti risonanti	»	68
3-3	- Trasformatori	»	75
CAPITOLO IV	- Tubi elettronici	»	79
4-1	- Tipi di catodo	»	80
4-2	- Tipi di tubi elettronici	»	86
4-3	- Tubi elettronici per microonde	»	100
4-4	- Il tubo a raggi catodici	»	103
CAPITOLO V	- Amplificatori a tubi elettronici	»	109
5-1	- Classi e tipi di amplificatori	»	111
5-2	- Amplificatori audio accoppiati a resistenza-capacità	»	113
5-3	- Altri sistemi di accoppiamento fra due stadi	»	118
5-4	- Circuiti invertitori di fase	»	123
5-5	- Amplificatori audio a triodo ad un solo polo caldo	»	125
5-6	- Amplificatori audio a tetodo e pentodo ad un solo polo caldo	»	128
5-7	- Amplificatori audio in controfase in Classe A e AB	»	129
5-8	- Amplificatori di potenza ad audiofrequenza in Cl. B	»	130
5-9	- Amplificatori di potenza ad uscita catodica	»	136
5-10	- Amplificatori a R.F. - Circuito di griglia	»	140
5-11	- Amplificatori a R.F. - Circuito anodico	»	144
5-12	- Amplificatori di potenza a R.F. in Classe C	»	146
5-13	- Amplificatori di potenza a R.F. in Classe B	»	155
5-14	- Speciali circuiti amplificatori di potenza a R.F.	»	156
5-15	- Amplificatori a reazione	»	162
5-16	- Amplificatori a videofrequenza	»	164
CAPITOLO VI	- Fondamenti sui radioricevitori	»	167
6-1	- Rivelazione o demodulazione	»	167
6-2	- Ricevitori a super-reazione	»	169
6-3	- Ricevitori supereterodina	»	172

6-4	-	Disturbo del mescolatore. Frequenze immagini	pag. 177
6-5	-	Circuiti accordati sulla frequenza del segnale	» 182
6-6	-	Circuiti accordati a frequenza intermedia	» 187
6-7	-	Rivelatore, audio e circuiti di regolazione	» 197
6-8	-	Soppressione dei disturbi	» 202
6-9	-	Progetto di ricevitore per u.h.f.	» 208
6-10	-	Messa a punto dei ricevitori	» 215
CAPITOLO VII		- Generazione dell'energia a radiofrequenza	» 219
7-1	-	Oscillatori autocontrollati	» 220
7-2	-	Oscillatori a quarzo	» 228
7-3	-	Circuiti oscillatori a quarzo	» 233
7-4	-	Amplificatori a radiofrequenza	» 238
7-5	-	Neutralizzazione degli amplific. a radiofrequenza	» 241
7-6	-	Esecuzione della neutralizzazione	» 244
7-7	-	Amplificatori con griglia a massa	» 251
7-8	-	Moltiplicatori di frequenza	» 251
7-9	-	Capacità sul circuito accordato	» 256
7-10	-	Reti di adattamento a L e π	» 262
7-11	-	Oscillazioni parassite negli amplificatori a radio- frequenza	» 265
7-12	-	Polarizzazione negativa di griglia	» 268
7-13	-	Accoppiamento fra due stadi	» 272
7-14	-	Impedenze a radiofrequenza	» 276
7-15	-	Circuiti con tubi in controfase e in derivazione	» 277
CAPITOLO VIII		- Modulazione di ampiezza	» 279
8-1	-	Caratteristiche della modulazione	» 281
8-2	-	Modulazione a rendimento variabile	» 287
8-3	-	Sistemi di modulazione sulla alimentazione anodica	» 305
8-4	-	Modulazione di catodo	» 314
8-5	-	Tagli di modulazione	» 324
CAPITOLO IX		- Trasmissione a F.M. e a singola banda laterale	» 335
9-1	-	Circuiti per modulazione diretta di frequenza	» 342
9-2	-	La modulazione di fase	» 348
9-3	-	Ricezione di segnali modulati in frequenza	» 354
9-4	-	Segnali a singola banda laterale	» 362
9-5	-	Generazione di segnali a singola banda laterale	» 367
9-6	-	Ricezione di segnali a singola banda laterale	» 373
CAPITOLO X		- Progetto, manipolazione e controllo dei tra- smettitori	» 377
10-1	-	Eccitatori ed amplificatori	» 377
10-2	-	Considerazioni di progetto	» 381
10-3	-	Sistemi alimentatori	» 387
10-4	-	Sistemi di manovra dei trasmettitori	» 397
10-5	-	Precauzioni di sicurezza	» 400
10-6	-	Manipolazione telegrafica dei trasmettitori	» 404
10-7	-	Funzionamento semiduplex automatico	» 410
CAPITOLO XI		- Regolazione e carico dei trasmettitori	» 427
11-1	-	Messa a punto iniziale di un trasmettitore	» 427

	11-2	- Eliminazione delle oscillazioni parassite	pag. 434
	11-3	- Regolazioni degli amplificatori in Classe B, in Classe C e a FM	» 438
	11-4	- Regolazione degli amplificatori lineari in Classe B	» 440
	11-5	- Accoppiamento ai sistemi di antenna	» 444
	11-6	- Accoppiatori d'antenna	» 448
CAPITOLO XII		- Radiazione, propagazione e linee di trasmissione	» 455
	12-1	- Irradiazione dell'antenna	» 455
	12-2	- Caratteristiche generali delle antenne	» 457
	12-3	- Resistenza di radiazione e impedenza nel punto di alimentazione	» 462
	12-4	- Direttività orizzontale	» 464
	12-5	- Direttività verticale	» 465
	12-6	- Larghezza di banda	» 469
	12-7	- Propagazione delle radio-onde	» 469
	12-8	- Comunicazioni per onde di terra	» 470
	12-9	- Propagazione ionosferica	» 474
	12-10	- Linee di trasmissione	» 477
	12-11	- Linee di trasmissione non risonanti	» 478
	12-12	- Linee accordate o risonanti	» 483
CAPITOLO XIII		- Antenne e loro adattamento	» 487
	13-1	- Antenne orizzontali a mezza onda alimentate all'estremità	» 487
	13-2	- Antenne orizzontali a mezza onda alimentate al centro	» 489
	13-3	- Antenna verticale a mezza onda	» 494
	13-4	- Antenna Marconi	» 494
	13-5	- Antenne ad ingombro ridotto	» 497
	13-6	- Antenne multi-gamma	» 499
	13-7	- Antenna verticale regolabile	» 504
	13-8	- Antenne artificiali	» 506
	13-9	- Adattamento all'antenna di linee non accordate	» 507
	13-10	- Adattamento con tronco di linea	» 511
	13-11	- Trasformatori lineari a R.F.	» 516
	13-12	- Costruzione delle antenne	» 519
CAPITOLO XIV		- Allineamenti direttivi di antenne per frequenze alte	» 525
	14-1	- Radiatori a filo lungo	» 528
	14-2	- Antenna a V	» 530
	14-3	- Antenna rombica	» 531
	14-4	- Allineamento a dipoli sovrapposti	» 533
	14-5	- Allineamenti in fila	» 536
	14-6	- Direttività di allineamenti a fase progressiva	» 539
CAPITOLO XV		- Antenne per frequenze altissime e ultra-alte	» 545
	15-1	- Requisiti delle antenne	» 545
	15-2	- Allineamenti polarizzati orizzontalmente	» 550

15-3	- Antenne ed allineamenti polarizzati verticalmente	pag. 551
15-4	- Antenna a disco e cono	» 553
15-5	- Allineamenti polarizzati verticalmente	» 555
15-6	- Antenna elicoidale a fascio	» 556
15-7	- Antenna con riflettore a diedro	» 559
15-8	- Antenna rombica orizzontale per frequenze altissime	» 560
CAPITOLO XVI	- Antenne orientabili	» 563
16-1	- Allineamenti parassitici a fase progressiva	» 564
16-2	- Sistemi di alimentazione per allineamenti parassitici	» 569
16-3	- Allineamenti unidirezionali ad elementi attivi	» 575
16-4	- Allineamenti orientabili bidirezionali	» 579
16-5	- Costruzione degli allineamenti orientabili	» 579
16-6	- Accordo degli allineamenti	» 590
16-7	- Sistemi di rotazione delle antenne	» 595
CAPITOLO XVII	- Interferenze sulla televisione e nelle radio-diffusioni	» 601
17-1	- Tipi di interferenze nella TV	» 601
17-2	- Soppressione dell'irradiazione di armoniche	» 609
17-3	- Interferenze alle radiodiffusioni	» 617
CAPITOLO XVIII	- Pratica costruttiva	» 631
18-1	- Tipi costruttivi	» 632
18-2	- Utensili	» 633
18-3	- Pratica costruttiva	» 635
CAPITOLO XIX	- Apparecchiature mobili e loro installazione	» 641
19-1	- Ricevitori mobili	» 641
19-2	- Trasmettitori mobili	» 657
	Trasmettitore mobile da 12 W per 3,9 e 28 MHz	» 657
	Trasmettitore mobile o portatile De-Luxe da 50 W	» 663
	Trasmettitore 832 A per 144 MHz	» 676
19-3	- Antenne per apparecchiature mobili	» 679
19-4	- Costruzione e installazione degli equipaggiamenti mobili	» 682
CAPITOLO XX	- Apparati riceventi	» 693
	Ricevitore a reazione a due tubi	» 694
	Convertitore supereterodina ad un solo tubo elettronico	» 697
	Aggiunta di una FI a 175 KHz al BC-348	» 701
	Convertitore a cristallo a larga banda su 28 MHz	» 706
	Convertitore a cristallo a larga banda su 50 MHz	» 715
	Alimentatori per convertitori a quarzo	» 718
	Convertitore « Cascode » a 144 MHz	» 719
	« Booster » a doppio canale	» 722
CAPITOLO XXI	- Eccitatori e trasmettitori di bassa potenza	» 727
	Trasmettitori a due tubi per tutte le gamme	» 727
	Oscillatore a frequenza variabile ad un solo tubo elettronico	» 734

	Oscillatore a frequenza variabile accordabile a distanza	pag. 740
	Stadio eccitatore da 15 W per tutte le gamme	» 741
	Stadio eccitatore schermato da 25 W	» 748
	Stadio trasmettitore per 10 e 6 metri con tubo 829 B	» 751
	Generatore a S.S.B. del tipo a filtro	» 755
CAPITOLO XXII	- Amplificatori di potenza ad alta frequenza	» 765
	Amplificatore schermato con tubo 807	» 767
	Amplificatore schermato con tubo 813	» 772
	Amplificatore per tutte le gamme con tubo 4-125 A	» 777
	Amplificatore con tubo 304-TL con griglia a massa	» 782
	Amplificatore da 1 KW con tubi 4-250 A	» 790
CAPITOLO XXIII	- Apparecchiature di bassa frequenza per modulazione di ampiezza	» 797
	Taglio di segnali a basso livello	» 799
	Soppressore di « spurie » ad alto livello	» 800
	Progetto di amplificatori audio e modulatori	» 801
	Modulatore da 12 W con due tubi 6V6	» 802
	Modulatore da 50 W con tubi 6L6	» 805
	Modulatore da 100 W con tubi 807	» 807
	Modulatore da 120 W con tubi 807 a triodo	» 808
	Modulatori in Classe B	» 809
	Modulatore da 500 W con tubi 813	» 811
	Modulatore da 500 W con tubi 304-TL	» 816
	Modulatore di schermo	» 821
	Amplificatore da 10 W ad alta fedeltà	» 824
CAPITOLO XXIV	- Costruzione dei trasmettitori	» 831
	Trasmettitore da 20 W esente da interferenze televisive	» 831
	Complesso a R.F.	» 838
	Trasmettitore da 200 W per tutte le gamme	» 842
	Trasmettitore a 420 MHz controllato a quarzo	» 850
CAPITOLO XXV	- Alimentatori	» 855
	25-1 - Progetto degli alimentatori	» 856
	25-2 - Circuiti rettificatori	» 865
	Circuiti normali di alimentatori	» 867
	Alimentatori semplici con trasformatore	» 876
	25-3 - Componenti degli alimentatori	» 878
	25-4 - Calcolo dei trasformatori	» 882
	25-5 - Alimentatori speciali	» 892
	25-6 - Costruzione degli alimentatori	» 903
	Alimentatore per basse correnti	» 904
	Alimentatore 350 V - 110 mA	» 906
	Alimentatore a tensione di uscita variabile	» 906
	Alimentatore 400 V - 250 mA	» 913
	Alimentatore stabilizzato da 100 W	» 914
	Alimentatore 1250 V - 250 mA	» 918

CAPITOLO XXVI	- Apparecchiature di controllo e misura	pag.	921
26-1	- Tensione, corrente e potenza	»	922
26-2	- Misure dei componenti dei circuiti	»	932
	Misuratore di induttanze e capacità	»	935
	Misure con ponti	»	939
26-3	- Misure di frequenza	»	942
	Tracciatore di frequenza a 100 KHz	»	944
	Apparecchiature di laboratorio miniaturizzate e unificate	»	945
	Misuratore ad assorbimento di griglia	»	947
	Misuratore ad assorbimento di griglia per v.h.f.	»	952
	Oscillatore audio ad un solo tubo	»	953
	Oscilloscopio di controllo da 3"	»	955
26-4	- Misure sulle antenne e sulle linee di trasmissione	»	959
	Misuratore di campo con indicazione a distanza	»	959
	Misure sulle linee di trasmissione	»	966
	Costruzione di un indicatore coassiale di R.O.S.	»	969
CAPITOLO XXVII	- Matematica e calcoli radiotecnici	»	979
	Aritmetica	»	979
	Algebra	»	989
	Logaritmi	»	1000
	Tavola di logaritmi a quattro cifre	»	1002
	Uso delle tavole dei logaritmi	»	1004
	Decibel	»	1007
	Trigonometria	»	1013
	Vettori - Algebra complessa	»	1021
	Rappresentazione grafica	»	1027
	Abaco frequenza-reattanza	»	1036
	Calcoli delle reattanze	»	1040
	Cifre significative	»	1044
CAPITOLO XXVIII	- Dati di riferimento	»	1047
	Codice a colori	»	1047
	Simboli degli schemi radio	»	1052
	Dati tecnici sui tubi elettronici	»	1053
	Indice dei tubi elettronici	»	1056
	Zoccoli dei tubi elettronici	»	1060
	Triodi trasmettenti	»	1070
	Tetrodi e pentodi trasmettenti	»	1078
	Tubi rettificatori	»	1083
	Tubi regolatori e per controllo	»	1085
	Tubi riceventi miniatura	»	1086
	Tubi riceventi metallici	»	1093
	Tubi riceventi in vetro a 6,3 V	»	1095
	Tubi riceventi a baionetta a 6,3 V	»	1097
	Tubi riceventi a batteria a 1,5 V	»	1098
	Tubi riceventi per accensione in serie	»	1099
	Tubi riceventi speciali	»	1100
	Diodi al germanio	»	1101
	Transistor	»	1103
	Tubi a raggi catodici a deviazione elettrostatica	»	1106
	Tavola delle equivalenze	»	1108

Introduzione alla Radio

Il campo della radiotecnica è un settore del più vasto campo della tecnica elettronica. Il primo, a sua volta, è ormai tanto sviluppato che viene ulteriormente suddiviso in campi più ristretti, di cui solo quello relativo alle onde corte, ossia alle alte frequenze, è trattato in questo libro. Precisamente il soggetto di questo lavoro concerne le comunicazioni su frequenze comprese fra 1,8 e 450 MHz.

La maggior associazione di persone interessata alle comunicazioni in alta frequenza è quella costituita da oltre centomila dilettanti sparsi in quasi tutti i paesi del mondo. In senso stretto si chiama radiodilettante chiunque si interessi della radio non professionalmente, ma in generale il termine è applicato soltanto ai dilettanti che possiedono un apparato trasmittente ed una licenza governativa.

La maggior parte degli apparati descritti in questo libro sono stati studiati per i radiodilettanti e segnatamente per quelli più preparati. Tuttavia per ogni tipo di apparato ne viene anche descritto uno semplice per studenti o principianti. Le basi di progettazione degli apparati

per comunicazioni in a.f. sono naturalmente le stesse a qualunque uso essi siano destinati, sia esso civile, militare, o per dilettanti; la differenza principale risiede nella pratica realizzazione, nelle tolleranze e nei margini di sicurezza prescritti per i componenti.

Col crescere delle difficoltà nelle comunicazioni ad alta frequenza, causate specialmente dall'aumentata utilizzazione dello spettro utilizzabile, è divenuto necessario approfondirsi maggiormente nei principi basilari delle radio-comunicazioni, sia dal punto di vista del progetto dell'apparato e del suo funzionamento, sia da quello della propagazione dei segnali.

Perciò si noterà che questa edizione del « Radio Handbook » è stata dedicata in maggior proporzione ad illustrare i principi di progetto degli apparati ed alla propagazione dei segnali. Ciò è stato fatto in aderenza alle richieste delle scuole e dei corsi del Dipartimento della Difesa degli S.U. d'America, oltre che in seguito alle insistenti richieste dei radiodilettanti.

Il radio - dilettantismo Il radio-dilettantismo è un'attività extra professionale con varie fasi.

Tanto forte è il fascino offerto da questo svago che molti tecnici, ingegneri e militari, pur essendo occupati professionalmente nel campo radiotecnico, sono degli appassionati radio-dilettanti. Questi provengono da ogni settore professionale e si moltiplicano in tutte le parti del mondo, ove l'attività dilettantistica è permessa dalle leggi.

I dilettanti hanno reso molti pubblici servizi attuando collegamenti tra zone che erano rimaste isolate da disastri che avevano interrotto tutte le comunicazioni su filo. I radio-dilettanti godono di un superbo primato di eroismo e di utilità espliciti in simili occasioni. Molte spedizioni in zone lontane si sono tenute a contatto con la patria mediante le comunicazioni con le stazioni dei dilettanti su alte frequenze. Il primato dei dilettanti con apparati radio della prima guerra mondiale è stato superato dagli impagabili servizi resi nella seconda guerra mondiale.

Alla fine della guerra, verificatasi nel Pacifico nell'estate del 1945, molte migliaia di ex dilettanti erano in servizio nelle forze armate alleate. Essi operavano nell'esercito, nelle forze navali e da sbarco, presso i guardia-costa, nella marina mercantile, nei servizi civili, negli impianti militari e nell'organizzazione della difesa civile con personale allenato per comunicazioni radio, radar, telefoniche, ottiche, nonchè per l'insegnamento. Anche ora, i dilettanti sono richiamati nelle aumentate forze di difesa, sono tornati agli impianti di difesa, ove la loro abilità è diventata necessaria, e sono stati organizzati in unità per le telecomu-

nicazioni come gruppi complementari alla difesa civile.

Stazioni e licenze per dilettanti Tutte le stazioni trasmettenti negli Stati Uniti d'America, anche se di piccola potenza, devono avere una licenza dal governo federale prima d'entrare in funzione; alcune classi di stazioni devono avere un permesso governativo prima ancora di essere costruite. Ed ogni operatore di stazioni trasmettenti deve avere la licenza di radio-operatore prima di far funzionare una stazione trasmettente. Non è ammessa eccezione alcuna. Leggi simili si applicano praticamente in tutte le maggiori nazioni.

Classi delle licenze per radio-dilettanti Vi sono oggi, negli Stati Uniti d'America, sei classi di licenze autorizzate dalla Commissione Federale delle Comunicazioni (F. C. C.). Queste classi differiscono sotto vari aspetti, che saranno qui esaminati brevemente.

a) *Classe dei dilettanti « extra »* - Questa classe di licenze è ottenibile dal 1952 da parte di qualsiasi cittadino degli S.U.A. che abbia avuto per un periodo di tempo di almeno due anni una licenza di dilettante della FCC, escluse quelle per principianti e per tecnici. L'esame per conseguire la licenza comprende una prova di codice a 20 parole per minuto, le usuali prove sui fondamenti della pratica dilettantistica e sulle norme generali, oltre ad una prova sulla pratica dei dilettanti anziani. Tutti i privilegi di dilettanti sono concessi ai possessori di questa licenza.

b) *Classe superiore* - Questa licenza è ottenibile da chi abbia avuto una licen-

za della FCC per almeno un anno, escluse quelle per principianti e per tecnici. L'esame comprende una prova di codice a 13 parole per minuto, le prove normali sui fondamenti di pratica dilettantistica e sulle norme generali oltre ad una prova di radiotelefonìa.

c) *Classe generale* - Questa licenza concede tutti i privilegi di dilettanti ad eccezione di quelli riservati ai detentori della licenza della Classe Superiore, o Extra. Essa può essere ottenuta da tutti superando un esame che comprende una prova di codice a 13 parole per minuto, oltre alle usuali prove sui fondamenti di pratica dilettantistica e di norme generali.

d) *Classe condizionata* - Questa licenza concede gli stessi privilegi della Classe Generale, ma può essere ottenuta solo da chi risiede a più di 200 km. dalla più vicina sede in cui a intervalli di non oltre tre mise vengono tenuti dalla FCC gli esami per la Classe Generale, oppure da chi per una valida ragione non possa presentarsi per l'esame.

e) *Classe dei tecnici* - Questa classe di recente istituzione negli U.S.A. comporta un esame uguale a quello della classe generale con eccezione della prova di codice, la cui velocità è di 5 parole al minuto. I detentori di questa licenza godono di tutti i privilegi autorizzati per dilettanti nelle bande di frequenze superiori a 220 MHz.

f) *Classe dei principianti* - Questa licenza può essere ottenuta da chiunque non abbia avuto ancora una licenza per dilettanti di qualsiasi classe concessa da un ufficio del governo degli U.S.A., sia esso militare o civile. L'esame consiste in una prova di codice a 5 parole per minuto, oltre ad un esame sulle norme

ed i regolamenti essenziali per un principiante di trasmissioni, comprendendovi anche una conoscenza delle nozioni elementari della radiotecnica sufficienti ad intendere le suddette norme. La licenza per principiante concede privilegi ristretti, è valida solo per un periodo di un anno (mentre le precedenti classi valgono per cinque anni) e non è rinnovabile.

Il detentore di questa licenza deve limitarsi ad una potenza di alimentazione dello stadio finale non superiore a 75 W, deve usare un controllo di frequenza a cristallo e può usare soltanto i seguenti tipi di emissioni su ristrette gamme di frequenza:

- (1) 3700 ÷ 3750 kHz - Telegrafia ad onda persistente.
- (2) 26,96 ÷ 27,23 MHz - Telegrafia ad onda persistente.
- (3) 145 ÷ 147 MHz - Telegrafia o telefonia utilizzando qualsiasi tipo di emissione autorizzato ad uso dei dilettanti in questa banda di frequenze.

Inizio della preparazione dei radio-dilettanti

Chi comincia la preparazione per gli esami di licenza, rileva generalmente che gli schemi, le curve caratteristiche dei tubi e le formule appaiono confuse e difficili da comprendere. Ma dopo un certo periodo di studio il simbolismo degli schemi diventa familiare al pari dei concetti basilari della teoria e del funzionamento, cosicché l'acquisizione di altre nozioni diventa più facile ed anche appassionante.

Siccome l'apprendere a trasmettere e ricevere correntemente il codice telegrafico richiede parecchio tempo, è bene intercalare gli studi teorici con la pratica

dell'aspirante. La miglior precauzione contro ciò è di acquistare una velocità un po' maggiore di quella richiesta.

Per ricordare il codice Non vi sono scorciatoie nello studio del codice.

Per ricordare l'alfabeto occorrono alcune sere di diligente applicazione, ma per usarlo speditamente si richiede sempre molto tempo; più o meno, naturalmente, a seconda dell'attitudine individuale e della regolarità delle esercitazioni.

Mediamente con circa 70 ore di pratica (con periodi non superiori ai 30 minuti) sono sufficienti per raggiungere una velocità di circa 13 parole al minuto; 120 ore per ottenere 16 parole/min.; 175 ore per 20 parole/minuto.

Siccome la lettura del codice richiede che le lettere siano riconosciute istantaneamente, qualsiasi schema mnemonico che dipenda dall'ordinaria sequenza, come l'imparare separatamente tutte le lettere composte di *linee* (suono lungo = *dā*) e tutte quelle composte di *punti* (suono corto = *dì*), è assolutamente sconsigliabile. Prima di cominciare con un apparecchio per esercitazioni sul codice è necessario imparare perfettamente a memoria tutto l'alfabeto. È un buon sistema lo studiare soltanto due o tre lettere ogni giorno ed esercitarsi con queste finché non restino bene impresse. Tutte le lettere che si imparano di giorno in giorno devono essere mentalmente tradotte nel loro suono equivalente tutte le volte che si vedono, sulle insegne, sui giornali, in casa e fuori. Ogni giorno si affrontano due nuove lettere, ripassando nello stesso tempo quelle già apprese.

Si eviti di imparare a memoria con

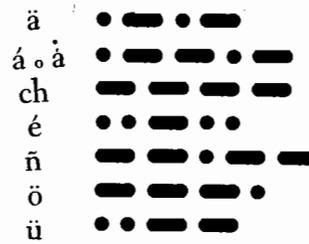


Figura 2.

Questi caratteri del codice sono usati solo in alcune lingue.

la ripetizione monotona. Ci si deve rendere capaci di tradurre in suono immediatamente qualsiasi lettera, senza esitare per pensare alle lettere che precedono o seguono quelle in oggetto. Si deve, ad esempio, conoscere la C indipendentemente dalla sequenza ABC. Occorre saper saltare da una all'altra delle lettere imparate e, quando se ne conoscono a sufficienza per comporre semplici parole, si devono compitare coi suoni lunghi e corti « *dì, dā* ». È questo un esercizio utile e perciò è bene imparare a memoria prima tutte le vocali e poi le consonanti più comuni.

L'effettiva pratica sul codice deve iniziare solo quando l'intero alfabeto, i numeri, le punteggiature ecc. sono stati imparati con tale sicurezza che possono essere tradotti in suoni « *dì, dā* » senza la minima esitazione. Non ci si deve preoccupare di altre punteggiature, o segni vari, che per ultima cosa.

Suono, non visione Ogni lettera o simbolo, *deve* essere imparato mediante il suo *suono* e non con l'aspetto visuale dei segni. Il codice è un sistema di comunicazione acustica, come le parole parlate. La lettera A, per esempio, è una combinazione di un suono corto e di uno lungo, come « *dì - dā* »,

e deve essere ricordato come tale e non quale « punto - linea ».

Pratica Tempo, pazienza e regolarità si richiedono per imparare bene il codice e non si deve sperare di farlo in pochi giorni.

Non si deve far pratica per periodi continuati troppo lunghi; ciò sarebbe più dannoso che utile. Trenta minuti per volta sono il limite massimo.

La mancanza di regolarità nell'esercizio pratico è la causa più comune di scarso progressi. Una pratica irregolare è poco meglio che nessuna addirittura. Si scrive quello che si è udito; poi lo si dimentica; *non si deve guardare indietro*. Se la mente si sofferma anche per un istante su un segnale su cui si ha dubbio, si perdono alcune lettere successive, essendo distratta l'attenzione da queste.

Benchè vi siano varie macchine automatiche, dischi fonografici, ecc. per far pratica sul codice, la miglior pratica si ottiene scegliendosi un compagno di studio che sia altrettanto interessato ad imparare il codice. Dopo avere entrambi bene appreso l'alfabeto Morse, si comincia a trasmettersi l'un l'altro. Generalmente l'esercizio fatto con tasto e oscillatore, o cicalino, si dimostra più utile di quello condotto con qualsiasi apparecchio automatico. Due di questi apparati funzionanti tra due camere, o fra le rispettive case, saranno sempre preferibili. Si eviti sempre di conversare col collega durante l'esercitazione; se si deve chiedere qualcosa, lo si faccia in codice. Si fa così una pratica più interessante che non confinandosi in un puro esercizio materiale.

Quando i due apprendisti hanno imparato il codice e sono pronti ad iniziare la trasmissione tra di loro per far

pratica, è molto utile che si assicurino l'aiuto di un abile operatore per una o due sedute, affinchè possano farsi un'idea di come deve risultare il suono corrispondente ai vari caratteri.

Durante il primo periodo di esercitazioni la velocità deve essere tale da poter eseguire senza sforzo la trascrizione; non ha importanza se la velocità è di sole due o tre parole al minuto. Nel periodo successivo la velocità viene gradualmente aumentata fino al punto in cui quasi tutti i caratteri vengono afferrati con un po' di attenzione. Quando il praticante comincia a funzionare regolarmente a questa nuova velocità, si opererà un ulteriore piccolo aumento, così procedendo fino ad una velocità di circa 16 parole per minuto, se lo scopo è di superare l'esame di codice a 13 parole al minuto. Così quando si affronta la prova non si ha la preoccupazione di non superarla per emozione, o per non essere in « buona giornata ».

La velocità non deve essere ulteriormente aumentata finchè lo studente non è riuscito a fare una copia perfetta con facilità per almeno un periodo di cinque minuti.

La frequenza dei successivi aumenti di velocità dipende naturalmente dall'abilità individuale e dall'esercizio. Ogni aumento può provocare un certo disorientamento, ma si deve tener presente che « non si impara senza sacrificio ».

Alcuni dilettanti fanno pratica di comunicazione col codice per radio una o due volte per settimana; si effettua così un ottimo esercizio che richiede, naturalmente, di aver già acquistato o costruito il proprio ricevitore.

Chi abita in centri di grande o media importanza ha molte probabilità di tro-

varsi un'associazione di radiodilettanti che organizzi periodicamente lezioni libere di codice.

Materiale d'esercitazione Inizialmente si trasmetterà un testo semplice tratto da un libro, o da un giornale. Poi si trasmettono parole isolate, o gruppi di lettere e numeri alternati. Maggiori particolari sul metodo per apprendere il codice si possono trovare nei testi specifici per l'insegnamento del codice.

Abilità Quando si ascolta qualcuno che parla, non si pensa come siano scritte le sue parole; ciò si verifica anche quando si legge. Nell'uso del codice, si devono abituare le orecchie a leggere il codice così come a scuola si abituarono gli occhi a leggere i caratteri stampati. Con l'esercizio si acquista abilità e con ciò la velocità. In altri termini, la traduzione mentale del codice deve diventare istintiva e non richiedere uno sforzo di ragionamento: questo contrasta con la velocità, poichè non potreste mai pensare abbastanza rapidamente. Una velocità di 25 parole al minuto, che è comune nelle trasmissioni commerciali, corrisponde a 125 caratteri al minuto, ossia più di due al secondo: ciò non lascia certo il tempo per pensare alla composizione delle lettere del codice.

Formazione perfetta dei caratteri Quando si trasmette con l'apparato per esercitazione al proprio collega, ci si deve concentrare sulla qualità della trasmissione e non sulla velocità. Il corrispondente apprezzerà questo e non dovrà imitare l'altro, se esso tende soprattutto ad aumentare la velocità.

Se si vuole acquistare la fama di avere un'eccellente « calligrafia » in trasmissione, si deve ricordare che la sola velocità non è un buon espediente.

L'esatta trasmissione delle lettere e delle spaziature farà un'impressione molto migliore. Fortunatamente, quando si riesce a trasmettere uniformemente ed accuratamente, la velocità di trasmissione aumenta automaticamente. Si ricordi di tendere a controllare con quanta uniformità si può trasmettere e con quale velocità si può ricevere. Tutta l'attenzione deve essere concentrata nell'eseguire segnali nitidi e corretti col tasto manipolatore. La perfetta formazione dei caratteri è la massima esigenza; ogni segnale deve essere eseguito correttamente a costo di ripeterlo cento o mille volte. Raggiunta la perfetta formazione del segnale, cercare di non allontanarsene mai. Se possibile, si cerchi un buon operatore per controllare, anche per breve tempo, la trasmissione e rilevare le pur minime imperfezioni.

Cadenza E' di somma importanza mantenere una spaziatura uniforme nei caratteri e nelle loro combinazioni. La mancanza di uniformità è forse la causa di maggiori inconvenienti nei principianti. Ogni punto, ogni linea ed ogni spazio deve avere l'esatta durata. In altri termini, l'accurata cadenza è assolutamente necessaria per l'intelligibilità, e l'intervallo fra punti e linee è altrettanto importante della lunghezza stessa dei punti e delle linee.

I caratteri vanno cadenzati sulla base del punto. Una linea ha una durata tripla rispetto a quella del punto. Gli intervalli fra le parti di una stessa lettera durano quanto il punto, gli spazi tra let-

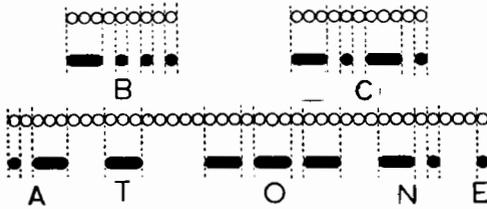


Figura 3.

Prospetto indicativo delle lunghezze delle linee e degli spazi riferiti alla durata del punto. Una linea ha la durata equivalente a tre punti; gli spazi fra le parti di una lettera durano quanto un punto; quelli fra le lettere, tre punti; gli spazi fra le parole, cinque punti. Si noti che un piccolo aumento dello spazio tra due parti di una lettera trasforma questo suono in quello corrispondente a due lettere.

tere equivalgono a tre punti e quelli fra le parole hanno la durata di cinque punti.

La regola per la spaziatura fra lettere e parole non è strettamente osservata quando si trasmette a meno di 10 parole per minuto, per facilitare l'insegnamento del codice e la pratica di ricezione. Ad esempio trasmettendo a 5 parole per minuto, le singole lettere devono avere la stessa durata che si userebbe trasmettendo con 10 parole per minuto, ma gli spazi vengono molto aumentati, per ovvia ragione. La lettera L, per esempio, avrà lo stesso ritmo sia a 5 parole per minuto, sia a 10, cosicché quando il principiante aumenta la velocità sopra le 5 p.p.m. non deve abituarsi con un suono diverso, benché in realtà si abbia una più rapida combinazione di linee e punti. A maggior velocità egli dovrà imparare ad identificare gli stessi suoni con maggiore rapidità.

Particolare attenzione occorre per le lettere come B (—...). Molti principianti hanno la tendenza a lasciare uno spazio più lungo dopo la linea che non dopo il punto, trasformando così questo suono

in quello corrispondente a T, S (—, ...). Similmente occorre assicurarsi di non lasciare troppo spazio dopo il primo punto della lettera C (— —) che non fra le altre parti della stessa lettera, altrimenti ne risulta lo stesso suono di N, N (—, —).

Trasmissione e ricezione Una volta che il codice sia stato ben appreso, si può concentrare la propria attenzione per aumentare la velocità di ricezione. Se si fa pratica insieme ad un altro principiante per apprendere il codice, entrambi dovranno ricevere e trasmettere alternativamente. Ma non si deve mai tentare di esercitarsi a trasmettere al solo scopo di aumentare la propria velocità di trasmissione.

Quando si trasmette mediante l'apparato d'esercitazione al proprio collega, affinché egli possa esercitarsi in ricezione, si deve curare soprattutto la qualità della trasmissione e non la velocità. Essendo infatti relativamente facile imparare a trasmettere rapidamente, specie se non si cura particolarmente la qualità, molti operatori che hanno appena conseguito la licenza, trasmettono per radio un mediocre codice a 20 parole per minuto, mentre riescono appena a ricevere un buon codice a 13 p.p.m. Molti anziani ricordano il loro periodo di tirocinio e sono lieti di essere pazienti e comprensivi, se si fa loro sapere di essere principianti. Ma la strada sicura per incorrere nel loro disprezzo è quella di urtarli con la « velocità fulminea » di trasmissione, per poi chieder loro di trasmettere più lentamente quando essi rispondono con la stessa velocità. E' bene mettere in evidenza la propria capacità di trascrivere, ma mai quella di trasmettere. E' evidente che se si cerca di trasmettere più velo-

cemente di quanto non si riesca a ricevere, l'orecchio non può riconoscere gli errori che può fare la mano.

Uso del tasto La fig. 4 mostra la giusta posizione della mano, delle dita e del polso nella manipolazione di un tasto telegrafico. L'avambraccio deve appoggiare naturalmente sul tavolo. E' preferibile che il tasto sia posto abbastanza lontano dallo spigolo della tavola (circa 45 cm), affinché il gomito venga a trovarsi su di essa. Altrimenti la pressione dello spigolo della tavola sul braccio tenderà ad ostacolare la circolazione del sangue ed a fiaccare i tendini del gomito nel punto in cui sono premuti contro la tavola e, di conseguenza, ad aumentare considerevolmente la stanchezza.

Il pomello del tasto viene stretto leggermente con il pollice lungo lo spigolo; l'indice e il medio posano sul pomello verso lo spigolo frontale ed opposto. La mano si muove con un moto libero su e giù facendo perno sul polso. Lo sforzo deve essere dato interamente dai muscoli del braccio.

Il medio e l'indice sono leggermente piegati durante la trasmissione, ma non per creare uno sforzo di manipolazione nei muscoli delle dita. I muscoli delle dita devono essere tesi per quel tanto che basta per agire come un « cuscinetto » al moto del braccio, lasciando che il piccolo movimento delle dita segua automaticamente. La molla del tasto viene regolata secondo la persona che lo usa e non deve essere nè troppo dura, nè troppo lasca. Si terrà un po' più tesa all'inizio, per poi allentarla via via che si progredisce. La distanza fra i contatti deve essere proporzionata alla velocità, varian-

do da 1,5 mm per basse velocità fino a 0,7 mm per le velocità maggiori.

Bisogna evitare che i muscoli del braccio, del pollice o delle dita siano tesi; si deve trasmettere con un movimento del braccio libero e sciolto. Si eviti anche il dannoso movimento delle dita oltre a quel leggero effetto di cuscinetto sopra ricordato.

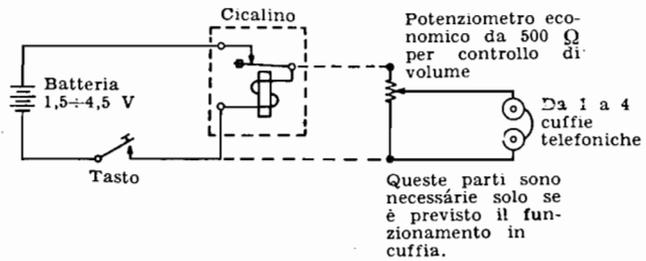
Per imparare il codice si deve usare un normale tasto a mano; nessun altro tipo di tasto è soddisfacente per tale scopo. Finchè non si è completamente imparato a trasmettere e ricevere alla massima velocità a cui si aspira, non si deve usare nessun tipo di tasto automatico, o semi-automatico, quali il Vibroplex, o un tasto elettronico.

Difficoltà Se anche si incontra difficoltà nell'aumentare la velocità di rice-trasmissione del codice dopo aver imparato i caratteri, non vi è ragione di scoraggiarsi. Per alcuni è più difficile che per altri, ma ciò non giustifica l'affermazione che talvolta viene ripetuta che « alcuni non possono assolutamente imparare il codice ». Non è questione d'intelligenza; perciò non ci si deve vergognare se si incontra una difficoltà un po' superiore al normale nell'apprendere il codice. Il tempo di reazione di taluno può essere un po' più lungo, oppure l'attitudine alla coordinazione meno spiccata. Ma in ogni caso « tutti » possono imparare il codice. Vi è chi non potrà imparare a trasmettere, o a ricevere, a 40 parole per minuto, ma chiunque può raggiungere una velocità sufficiente per tutte le applicazioni non commerciali, ed anche per molte di queste, se ha pazienza e se non si scoraggia vedendo che altri sembrano apprendere più rapidamente.

Figura 5.

IL PIU' SEMPLICE APPARECCHIO PER ESERCITAZIONI SUL CODICE CONSISTE IN UN TASTO E IN UN CICALINO

Il cicalino viene regolato in modo da dare una nota continua e nitida. Volendo si possono omettere le cuffie, nel qual caso il cicalino deve essere rigidamente montato su un pannello acustico. Si possono usare cuffie a cristallo, magnetiche, o dinamiche. Usando più cuffie esse vanno connesse in parallelo e non in serie.



Quando l'operatore che trasmette va appena un po' troppo in fretta per chi riceve (la miglior velocità per far pratica), questi perderà di tanto in tanto un segnale, o un gruppo di questi. Quando ciò accade, si lascia uno spazio bianco; non si deve perdere tempo inutilmente cercando di ricostruirli; si lascia perdere e si fa attenzione ai segnali successivi, altrimenti se ne perdono altri ancora. Non si deve fare alcuna domanda a chi trasmette, finchè non è finita la trasmissione.

Per evitare la tendenza ad indovinare le lettere e per fare ugual pratica su quelle meno comuni, è bene lasciare il linguaggio corrente ed usare una mescolanza di lettere in cui prevalgono quelle normalmente meno usate.

Come già si è ricordato, molti princi-

pianti lasciano, nella lettera B, uno spazio più grande dopo la linea che non tra le altre parti della stessa lettera, cosicchè essa ha lo stesso suono di S. T. Ugual inconveniente possono dare le lettere C, F, Q, V, X, Y, e Z. E' perciò bene fare un elenco di parole, o di combinazioni arbitrarie, in cui queste lettere predominino e valersene in trasmissione e ricezione, finchè non resta più alcun dubbio.

Lo stesso procedimento si deve seguire per le lettere che possono essere confuse tra loro dai principianti, come F (..-.) ed L (-.-.).

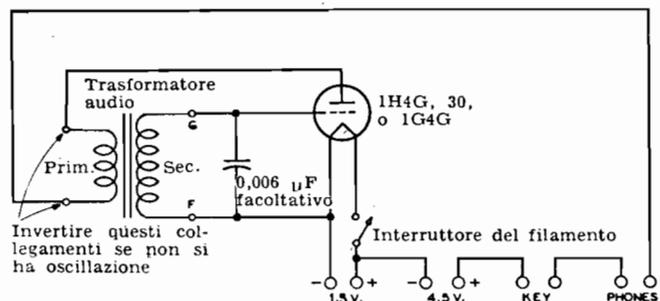
Ci si esercita su di esse finchè non si scrivono sempre correttamente e senza doversi arrestare nemmeno un istante per pensarci.

Se non si riconosce istantaneamente il

Figura 6.

SEMPLICE OSCILLATORE A TRIODO PER ESERCITAZIONI SUL CODICE

L'energia è fornita da una pila a secco e da una batteria da 4,5 V. Omettendo il condensatore da 0,006 µF si ha una nota più alta. La nota può essere troppo bassa anche senza il condensatore, a meno che non si usi un trasformatore audio molto piccolo e di basso costo. Gli auricolari devono essere di tipo magnetico o dinamico, essendo attraversati dalla corrente anodica dell'oscillatore.



suono di ciascun carattere, non si deve credere di aver imparato; si deve ricominciare a ripetere l'alfabeto. Non si deve mai tralasciare di scrivere ogni segnale che si sente, salvo quando la trasmissione è troppo veloce per chi riceve. Si deve cioè scrivere ciò che si sente, ma non ciò che si crede che sia. E' sorprendente come avvenga spesso che una lettera che si è cercato di indovinare, risulti errata.

Copiatura ritardata Tutti i buoni operatori copiano alcune parole con ritardo, e cioè mentre ricevono una parola stanno scrivendo la quarta o quinta parola precedente. Dapprima ciò risulta molto difficile, ma dopo una pratica sufficiente si rileva che ciò è effettivamente più comodo che non trascrivere subito. Si ottiene inoltre una copia più accurata e l'operatore può disporre le maiuscole e la punteggiatura mentre scrive. Non è consigliabile che il principiante provi a far ciò finché non riesce a trasmettere e ricevere con una velocità di almeno 12 p.p.m.

Si richiede un notevole allenamento per dissociare l'azione del subcosciente dalla volontà cosciente. Può essere utile, per ottenere questa pratica, scrivere due colonne di parole corte; si computa mentalmente la prima parola della prima colonna mentre si scrive la prima parola della seconda colonna. Dapprima ciò risulterà un po' difficile, ma poi si acquista rapidamente una crescente facilità con la pratica. Fatta la stessa cosa con tutte le parole, si ripete invertendo le colonne. Si pronunciano poi ad alta voce le parole di una colonna mentre si scrivono quelle dell'altra e quindi si invertono le colonne.

Dopo che si è riusciti ad eseguire facilmente l'esercizio precedente, si trasmettono col tasto le parole di una colonna mentre si leggono quelle dell'altra. Ciò non sarà facile inizialmente, ma è bene proseguire, se si vuole raggiungere un buon rendimento sul codice. Non si deve cercare di guadagnar tempo; vi è una naturale tendenza a ridurre il distacco e ci si deve abituare a superarla.

In seguito il compagno trasmette una parola rilevandola sia da un elenco, sia da un testo continuo; chi riceve non deve scriverla subito, ma attendere che sia trasmessa un'altra parola; scriverà poi questa quando riceve la terza e così via. Non ci si deve preoccupare di andar troppo adagio, anche se si tratta di due o tre parole al minuto. Occorre saper restare indietro rispetto alla ricezione.

Si dovranno probabilmente effettuare alcune sedute di esercitazioni prima di poter fare ciò con facilità. Dopo che ciò è diventato relativamente facile, ci si esercita a stare indietro due parole, finché non diventa agevole. Successivamente si passa a tre, quattro e cinque parole. Tanto più ci si abitua a tenere a mente le parole ricevute e tanto più facilmente si potrà stare indietro nello scrivere rispetto alla ricezione. Risulterà più facile copiare dapprima gli argomenti più famigliari ed in seguito quelli meno comuni.

Apparati automatici per codice I due apparecchi per far pratica descritti in questo capitolo sono molto utili quando si ha qualcuno con cui esercitarsi. Le macchine automatiche per codice non sono consigliabili a chi abbia la possibilità di avere un compagno con cui fare pratica, che cioè sia

ugualmente interessato ad imparare il codice.

Se non si riesce a trovare un collega e si è costretti a far pratica da soli, il miglior modo di esercitarsi in ricezione consiste nell'uso di una macchina a zona perforata (macchina per la trasmissione automatica del codice) con alcune zone per esercitazione, oppure si possa usare dischi fonografici appositamente incisi. Questi sono utili solo se si dispone di un fonografo con velocità di rotazione facilmente regolabile. La macchina a zona può essere noleggiata con un ragionevole canone mensile.

Una volta che si sia riusciti a copiare alla velocità di 10 p.p.m., si può anche far pratica di ricezione ascoltando col proprio radiorecettore le stazioni che trasmettono più lentamente. Molti dilettanti trasmettono adagio particolarmente nei collegamenti con stazioni lontane. Quando le condizioni di ricezione sono particolarmente difficili, anche molte stazioni commerciali trasmettono lentamente, ripetendo talvolta ogni parola.

Apparecchi per far pratica di codice Se non ci si vergogna a farlo, si può ottenere una certa pratica di codice con l'aiuto di un collega trasmettendosi l'un l'altro messaggi a voce (di-dà), mentre si va al lavoro, si è a tavola ecc. E' meglio però usare un cicalino, o un oscillatore, con un tasto telegrafico.

Siccome un buon tasto può essere considerato un investimento, è bene acqui-

stare uno di ottima marca fin dall'inizio.

Indipendentemente dal tipo di apparato d'esercitazione che si usa, occorre avere un tasto che poi servirà anche per manipolare il trasmettitore. Se si acquista un buon tasto per cominciare, non si deve poi acquistarne un altro.

Il tasto deve essere solido ed avere contatti discretamente pesanti. Non solo il tasto durerà di più, ma inoltre esso contribuirà ad ottenere quella trasmissione nitida che è tanto desiderabile nella pratica radio. Gli operatori telegrafici un po' più velocemente. Ma in radio si usano tasti leggeri e possono trasmettere spesso presenti disturbi di interferenze ed è desiderabile un « punto » più pesante. Usando un tasto duro ci si abitua automaticamente a trasmettere in tal modo.

Per generare un tono che imiti il suono del codice quale si ode in un ricevitore, si può usare sia un cicalino meccanico, sia un oscillatore audio. La figura 5 mostra un semplice dispositivo per esercitazione che usa un cicalino, il quale può essere usato direttamente montandolo su un pannello acustico, oppure può alimentare una o due cuffie telefoniche ad alta impedenza.

Un esempio del tipo di audio-oscillatore per esercitazioni è illustrato nelle fig. 6 e 7. Qualunque tipo di batteria per filamenti può essere usato in questo circuito (fig. 6) per dare una soddisfacente nota per far pratica sul codice.

Circuiti a corrente continua

Tutta la materia allo stato naturale (escluse le sostanze radioattive prodotte artificialmente) è costituita da 92 *elementi*. Questi elementi possono esistere sia isolati, come ad esempio il ferro, l'ossigeno, il carbonio, il rame, l'alluminio, sia come componenti di una combinazione chimica che prende il nome di *composto*.

La più piccola entità che conserva ancora tutte le caratteristiche di un elemento semplice è *l'atomo*.

Le combinazioni di atomi, della stessa specie o di una specie diversa, (e la scomposizione dei composti) danno origine ad un'altra unità fondamentale, chiamata *molecola*, che è la più piccola entità di un composto, che conserva tutte le caratteristiche del composto. Tutti gli elementi capaci di reagire allo stato gassoso, hanno molecole costituite da due o più atomi.

Gli elementi che non reagiscono chimicamente, ovvero i gas nobili: elio, neon, cripto, xeno, argo e radon, sono gli unici elementi gassosi che si trovano sempre allo stato stabile monoatomico a temperatura ordinaria.

L'atomo L'atomo è una particella estremamente piccola di materia: ce ne sono addirittura dei bilioni in un granello di polvere.

Per comprendere però la teoria fondamentale dell'elettricità e delle radiazioni elettromagnetiche, è necessario considerare l'atomo nei suoi principali elementi costitutivi, che sono: un *nucleo* carico positivamente ed un certo numero di particelle, cariche negativamente, che gravitano attorno ad esso, descrivendo ad altissima velocità orbite ellittiche. Queste particelle prendono il nome di *elettroni* e sul loro comportamento, quando si liberano dagli atomi, sono fondati i fenomeni essenziali elettromagnetici. Allo stato attuale delle conoscenze possiamo considerare il nucleo dell'atomo costituito da una dozzina di particelle differenti, elettroni nucleari, negatroni, positroni, neutroni, ecc. Lo studio di queste particelle è compito della meccanica quantistica e della fisica atomica. Per il nostro scopo è sufficiente sapere che l'atomo è composto di un nucleo avente una carica positiva, esattamente neutralizzata dalla totale carica

negativa degli elettroni orbitali.

Gli atomi dei vari elementi si differenziano, oltre che per la massa, anche per la carica positiva del nucleo e conseguentemente per il numero di elettroni che gravitano attorno ad esso. Essi costituiscono una serie che va dall'atomo più semplice, quello dell'idrogeno, con un solo elettrone orbitale, all'atomo dell'uranio, il più complesso, con 92 elettroni. Il numero delle cariche positive del nucleo rappresenta il *numero atomico* dell'elemento.

Gli elettroni ruotano attorno al nucleo in un certo ordine: in un elemento di numero atomico elevato essi sono disposti a « strati » concentrici, ognuno dei quali contiene un numero definito di elettroni. I gas rari sono gli unici elementi i cui atomi abbiano gli strati completi di elettroni; gli altri elementi, al contrario, hanno uno o più strati incompleti. Quando lo strato incompleto è quasi vuoto, l'elemento ha carattere *metallico*; nel caso estremo in cui ci sia un solo elettrone nello strato esterno, il carattere metallico è spinto al massimo. Quando invece allo strato incompleto mancano uno o due elettroni, l'elemento è usualmente un *metalloide*. Allorché manca allo strato incompleto circa la metà degli elettroni, l'elemento presenta caratteristiche di metallo e di metalloide al tempo stesso. Sono esempi il carbonio, il silicio, l'arsenico.

Nei metalli gli elettroni dello strato esterno sono vincolati piuttosto debolmente all'atomo. Di conseguenza c'è un continuo movimento disordinato di questi elettroni ed un continuo spostamento da un atomo all'altro: questi elettroni sono detti « *liberi* » e la loro tendenza a passare da un atomo all'altro rende pos-

sibile la *corrente elettrica*. Se gli elettroni liberi sono numerosi e debolmente vincolati, l'elemento è un buon conduttore; in caso contrario, è un cattivo conduttore. Se gli elettroni dello strato esterno sono fortemente vincolati, l'elemento è un isolante (dielettrico o coibente).

2-1 Fondamenti sulla corrente elettrica Unità elettriche e loro relazioni

Corrente elettrica.

Differenza di potenziale.

Forza elettromotrice

Gli elettroni liberi di un conduttore si dispongono a

caso e cambiano continuamente di posizione. Per produrre una corrente di elettroni, cioè un movimento di cariche e quindi una *corrente elettrica*, in un conduttore filiforme bisogna applicare una *differenza di potenziale* (d. d. p.) fra le estremità del conduttore, collegandole ai morsetti o « poli » di un *generatore elettrico*. In uno di questi poli si ha un eccesso di elettroni e tale morsetto si chiama negativo, mentre all'altro morsetto, positivo, si ha un difetto di elettroni. Quando il generatore è collegato col conduttore, gli atomi incompleti del polo positivo attirano gli elettroni liberi del conduttore per neutralizzare la carica che gli atomi stessi possiedono. Questa attrazione si propaga attraverso il conduttore e l'effetto risultante è che gli elettroni in eccesso al polo negativo del generatore sono attirati dagli atomi carichi positivamente del polo positivo.

Esistono tipi diversi di generatori elettrici: 1°) pile voltaiche ed accumulatori; 2°) pile termoelettriche; 3°) celle fotoelettriche; 4°) cristalli piezoelettrici;

5°) generatori elettrostatici; 6°) generatori dinamoelettrici.

In un generatore elettrico si ha trasformazione di energia di altra specie (chimica, termica, luminosa, meccanica) in energia elettrica. La differenza di potenziale fra i morsetti di un generatore in funzione è dovuta alla *forza elettromotrice* (f.e.m.) che si manifesta nel generatore e che determina la presenza delle due cariche di nome opposto nei due poli.

Affinchè esista una differenza di potenziale fra due punti non è però necessario che in essi siano localizzate cariche di segno contrario: possono infatti esserci in ambedue i punti cariche dello stesso segno, ma di diversa entità. Il punto nel quale si ha il minor numero di elettroni si comporta come positivo rispetto all'altro. Collegando i due punti con un conduttore si ha un movimento di elettroni perchè esiste fra i due punti una differenza di potenziale. E' precisamente la differenza di potenziale esistente fra due punti di un conduttore che determina il movimento degli elettroni. Il potenziale di un corpo va sempre espresso come differenza fra il potenziale del corpo e quello di un altro corpo, assunto come potenziale di riferimento. In pratica si assume come potenziale di riferimento o *potenziale zero* il potenziale della terra.

Da quanto precede risulta che se in un conduttore chiuso (circuito) esiste una fem si ha nel conduttore un movimento continuo di elettroni, cioè una corrente elettrica. Non si deve però ritenere che ogni elettrone si sposti da una estremità all'altra del circuito cioè da un polo all'altro del generatore lungo tutto il circuito e nell'interno del ge-

neratore. Ogni elettrone libero percorre solo una piccola distanza, dopo di che viene in collisione con un atomo. L'urto strappa all'atomo uno o più elettroni, che a loro volta percorrono un breve tratto, urtano altri atomi, ecc.

L'eccesso di elettroni ad una estremità del circuito e la conseguente mancanza all'altra, che dà origine alla corrente elettrica, sono compensati dal generatore di f.e.m. Quando si toglie il collegamento del circuito col generatore si ritorna allo stato normale: lo scambio di elettroni liberi fra gli atomi esiste ancora, ma non vi è più la tendenza generale al movimento in una data direzione.

Ampère e Coulomb Le unità di misura associate alla corrente elettrica sono due e sono spesso confuse fra loro.

Il flusso di elettricità riferito all'unità di tempo, attraverso una superficie, in particolare attraverso la sezione trasversale di un conduttore filiforme si esprime in *ampere*. La *quantità di elettricità* o *carica elettrica* si esprime in *coulomb*. Un coulomb corrisponde alla carica totale, presa in valore assoluto, di $6,28 \times 10^{18}$ elettroni (cioè un elettrone ha la carica di circa $1,6 \times 10^{-19}$ coulomb) e se una quantità di elettricità di un coulomb passa in un secondo attraverso la sezione trasversale di un circuito si dice che in quel circuito circola la corrente di un ampere. Viceversa, se in un circuito circola la corrente di un ampere, ciò equivale a dire che attraverso una sezione trasversale di quel circuito passa in ogni secondo una quantità di elettricità espressa da un coulomb.

Risultano pertanto fra le due unità le seguenti relazioni:

TAVOLA DELLE RESISTIVITA'

TAVOLA DELLE RESISTIVITA'		
MATERIALE	RESISTIVITA' ρ IN Ω mm ² /m	COEFFICIENTE DI TEMPERATURA $\alpha = 10^{-3} \times$
ACCIAIO	0.10 ÷ 0.25	4,5 ÷ 5
ALLUMINIO	0.027 ÷ 0.028	4
ARGENTANA	0.35 ÷ 0.41	0.07
ARGENTO	0.016	3.8
COSTANTANA	0.5	0.0
GHISA	0.6 ÷ 1.6	—
GRAFITE	4 - 20	—
MERCURIO	0.958	0.89
NOLIBDENO	0.057	3.3
NICHEL	0.072	6
NICHEL CROMO	0.9 ÷ 1.04	0.11 ÷ 0.19
ORO	0.023	3.4 ÷ 3.8
PIOMBO	0.22	4
RAME	0.017	3.9
TUNGSTENO	0.055	4.5

un ampere equivale ad un coulomb/sec.
un coulomb equivale ad un ampere x sec.

In altri termini, il coulomb è l'unità di quantità di elettricità; l'ampere l'unità di intensità di corrente.

Si usa ancora dire, secondo una vecchia convenzione, che la corrente elettrica è costituita da un movimento di cariche positive lungo il circuito, dal polo positivo a quello negativo. E' ormai stabilito invece che in un conduttore metallico la corrente è costituita da un flusso di elettroni diretto dal polo negativo del generatore verso il polo positivo. Ciò risulta immediatamente da quanto precede. Diversamente si comportano i conduttori gassosi ed elettrolitici, nei quali si ha un flusso di ioni positivi verso il catodo (elettrodo negativo), in senso opposto cioè a quello del moto degli elettroni in un conduttore metallico, insieme con un flusso di ioni negativi verso l'anodo (elettrodo positivo). (Ione è un atomo o una molecola

a cui mancano o nel quale sono in eccesso uno o più elettroni). In radiotecnica le locuzioni « flusso elettronico » e « corrente » sono divenuti sinonimi; però l'antica terminologia è ancora in vigore nel campo dell'elettricità industriale. Ad evitare confusione, è prudente riferirsi al senso del flusso elettronico anzichè al senso convenzionale della corrente.

Resistenza In un dato materiale, a parità di ogni altra condizione, l'intensità della corrente dipende dalla facilità con cui gli elettroni possono staccarsi dagli atomi e dalla struttura molecolare del corpo. In altri termini, quanto maggiore sarà il numero degli elettroni liberi, quanto più grande la facilità con cui essi possono staccarsi dagli atomi e quanto minore il numero delle collisioni tra gli elettroni liberi e gli atomi, tanto maggiore sarà l'intensità della corrente.

La resistenza che gli elettroni incontrano nel loro moto lungo un conduttore si chiama *resistenza elettrica* di un conduttore e si esprime in *ohm*.

La resistenza di un conduttore di una determinata sostanza è direttamente proporzionale alla lunghezza del conduttore ed inversamente proporzionale alla sua sezione trasversale; essa dipende inoltre dalla sostanza di cui è costituito il conduttore stesso e dalla temperatura. Questa dipendenza è espressa mediante un coefficiente fisico, che si chiama *resistività* o *resistenza specifica* e che è caratteristico di ogni sostanza e varia con la temperatura.

La resistenza di un conduttore si esprime quindi mediante la seguente relazione:

$$(1) \quad R = \rho \frac{l}{S}$$

in cui

R=resistenza del conduttore;

l=lunghezza del conduttore;

S=sezione trasversale del conduttore;

ρ =resistività.

La resistività di una data sostanza ad una certa temperatura rappresenta pertanto la resistenza di un conduttore costituito della sostanza data, di lunghezza e sezione unitarie, alla data temperatura.

Se si esprimono le lunghezze in metri e le sezioni in metri quadrati, la resistività risulta espressa in *ohm x m²/m* = *ohm x m*.

Analogamente, se la lunghezza e la sezione si esprimono rispettivamente in cm ed in cm², la resistività risulta espressa in *ohm x cm*. Spesso si esprime la lunghezza in m e la sezione in mm²; la resistività risulta allora espressa in *ohm x mm²/m*.

La resistività, e quindi anche la resistenza, dipende, come si è già detto, dalla temperatura; per la maggior parte delle sostanze (come i metalli) essa aumenta con l'aumentare della temperatura, poichè aumenta la velocità degli elettroni e di conseguenza il numero di collisioni tra questi e gli atomi. Al contrario, nel caso di alcune sostanze, come il carbonio ed il vetro, la resistenza diminuisce quando la temperatura aumenta. Questo vale anche per gli elettroliti. La temperatura può essere aumentata o dal calore fornito da una sorgente esterna o per effetto della corrente che attraversa il conduttore; nel secondo caso il calore è prodotto nell'urto fra elettroni ed atomi (vedi effetto calorifico).

La dipendenza della resistività della temperatura è espressa dalla relazione:

$$(2) \quad \rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

in cui

ρ_t =resistività a temperatura *t* in gradi centigradi;

ρ_0 =resistività a temperatura 0° centigradi;

α =coefficiente di temperatura.

Il coefficiente di temperatura è la variazione relativa della resistività rispetto a quella a zero gradi, per un grado di variazione di temperatura. Si ha infatti dalla espressione precedente:

— Variazione assoluta per *t* gradi

$$\rho_t - \rho_0 = \rho_0 \alpha t$$

— Variazione assoluta per 1 grado

$$\frac{\rho_t - \rho_0}{t} = \rho_0 \alpha$$

— Variazione relativa per 1 grado

$$\frac{\rho_t - \rho_0}{\rho_0 t} = \alpha = \text{coefficiente di temperatura.}$$

Il coefficiente di temperatura, positivo per i metalli, vale per il rame, alla temperatura di zero gradi centigradi, $\frac{1}{234,5}$.

Per il carbone, il vetro e gli elettroliti il coefficiente di temperatura è negativo.

Conduttori e isolanti Nella struttura molecolare di alcune sostanze, come il vetro, la porcellana e la mica, tutti gli elettroni sono fortemente vincolati sulle loro orbite e di conseguenza è esiguo il numero degli elettroni liberi. Tali sostanze sono comunemente conosciute col nome di *isolanti* o *dielettrici*. Esse presentano una elevata resistenza elettrica.

Le sostanze aventi molti elettroni liberi sono dette *conduttori*. La maggior

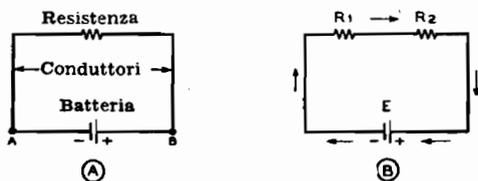


Figura 1.

La Fig. 1-A rappresenta un semplice collegamento in serie di una batteria con una resistenza. Nella fig. 1-B, le resistenze collegate in serie con la batteria sono due. La freccia indica il verso del flusso di elettroni.

parte dei metalli, elementi che hanno uno o due elettroni sulla orbita esterna dei loro atomi, sono ottimi conduttori. L'argento, il rame, l'alluminio sono, in questo ordine, i migliori fra i metalli comunemente usati come conduttori, perchè presentano una piccola resistenza alla corrente elettrica.

Unità elettriche fondamentali Le unità elettriche fondamentali sono: il volt, l'ampere e l'ohm.

Esse sono già state introdotte nei precedenti paragrafi ma non sono state definite in funzione di grandezze note.

L'ampere è l'unità di intensità della corrente. Precisamente, nel sistema Giorgi (o sistema M.K.S.) l'unità di corrente è l'*ampere assoluto*, che differisce molto poco dall'*ampere internazionale*, definito come l'intensità della corrente che attraversando una soluzione di nitrato di argento deposita al catodo 1,118 mg. di argento al secondo.

Analogamente, l'unità di resistenza nel sistema Giorgi è l'*ohm assoluto*, che differisce poco dall'*ohm internazionale*, rappresentato dalla resistenza, a 0° C., di una colonna di mercurio della massa di 14,4521 g., avente una sezione trasversale costante ed una lunghezza di 106,3 cm. Nel caso di resistenze molto elevate,

si usa il mega-ohm, che equivale a 1.000.000 di ohm.

Il *volt assoluto* è la differenza di potenziale necessaria per far circolare una corrente di 1 ampere assoluto in una resistenza di 1 ohm assoluto. Il campione di forza elettromotrice è la pila Weston che a 20° C, a circuito aperto, presenta fra i suoi poli una differenza di potenziale di 1,0183 volt. Questa pila è utilizzata unicamente come elemento di riferimento, giacchè da essa non si può attingere che una corrente estremamente piccola se non si vuole diminuire sensibilmente la f.e.m. della pila.

Le unità sopra definite si rappresentano spesso con i loro simboli:

- A per l'ampere
- V per il volt
- Ω per l'ohm.

Legge di Ohm La relazione fra la forza elettromotrice che agisce in un circuito (in volt) l'intensità della corrente che circola nel circuito (in ampere) e la resistenza del circuito stesso (in ohm) è espressa da una legge semplice, ma rigorosamente esatta conosciuta col nome di *legge di Ohm*. Tale legge dice che *l'intensità della corrente è uguale al rapporto fra la f.e.m. totale agente nel circuito e la resistenza*.

La legge si esprime con la seguente relazione:

$$(3) \quad I = \frac{E}{R}$$

in cui

- I=corrente, espressa in ampere
- R=resistenza, espressa in ohm
- E=forza elettromotrice, espressa in volt.

La (3) consente di determinare il valore di una delle tre grandezze che in

essa figurano, noti i valori delle altre due.

Il segno negativo indica che il senso della corrente, cioè il senso del moto degli elettroni, è contrario a quello secondo il quale il potenziale decresce.

La (3) rappresenta la legge di Ohm applicata ad un circuito chiuso, nel quale si abbiano una o più forze elettromotrici, la cui risultante si è indicata con E .

Spesso si tratta però di considerare un circuito incompleto, cioè un tratto di circuito. Quando il circuito, del quale il tratto considerato fa parte, è percorso da una corrente, fra gli estremi del tratto si ha, in generale, una d.d.p. Fra questa d.d.p., la corrente, la resistenza del tratto e le eventuali forze elettromotrici in esso inserite, esiste una relazione data da un'altra forma della legge di Ohm, come vedremo nel paragrafo seguente.

Altre espressioni della legge di Ohm

Tutti i circuiti elettrici rientrano in uno dei tre seguenti tipi: circuiti in serie, circuiti in parallelo, circuiti in serie-parallelo.

In un circuito in serie (fig. 1) la corrente circola seguendo un percorso unico e continuo e mantenendo lo stesso valore di intensità in ogni punto di esso. In un circuito in parallelo la corrente segue due o più percorsi suddividendosi nei singoli rami derivati come indica la fig. 2. La corrente si divide in due nel punto A: una parte attraversa la resistenza R_1 , l'altra attraversa R_2 e nel punto B le due correnti parziali si sommano per ricostituire la corrente originaria, che attraversa la batteria. La fig. 4 mostra un circuito in serie-parallelo.

Fra A e B si hanno due percorsi, co-

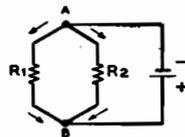


Figura 2.
Le due resistenze R_1 ed R_2 sono collegate in parallelo. Il flusso di elettroni si suddivide nei due rami derivati, precisamente in parti inversamente proporzionali alle resistenze dei rami stessi.

me nel circuito in parallelo, ma in più sono inserite due resistenze in serie in ciascun ramo derivato. Due altri esempi di circuito in serie-parallelo sono mostrati alla fig. 5. Le frecce indicano il modo secondo il quale la corrente si suddivide nei singoli rami paralleli.

Ogni elemento di un circuito possiede una certa resistenza; così il generatore, i conduttori di collegamento e gli apparecchi di utilizzazione hanno tutti una resistenza propria.

Il passaggio della corrente attraverso le singole parti del circuito provoca in ciascuna di esse una *caduta di tensione*; ciò significa che si crea una differenza di potenziale fra le due estremità dell'elemento di circuito. La caduta di tensione vale il prodotto della corrente per la resistenza dell'elemento.

Se il senso della corrente è quello del moto degli elettroni, come si suppone in questo trattato, si deve tener presente, come già detto, che questo senso è quello secondo cui i potenziali crescono.

Gli elettroni, infatti, si muovono da punti a potenziale minore a punti a potenziale maggiore. Per mettere in evidenza ciò si dà al prodotto RI il segno negativo se il tratto di circuito è percorso nel senso della corrente. Così, fra due punti A e B fra i quali il condut-

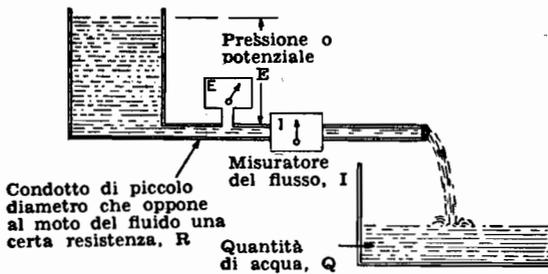


Figura 3.
ANALOGIA FRA IL FLUSSO D'ACQUA IN UN
CONDOTTO E LA CORRENTE ELETTRICA

Lo strumento E indica la pressione dell'acqua in un dato punto del condotto, che corrisponde, nel caso elettrodinamico, al potenziale del punto considerato rispetto ad un punto di riferimento. La portata del condotto, misurata dallo strumento I, corrisponde alla intensità di corrente, mentre la quantità di acqua che attraversa il condotto in un certo tempo, equivale alla quantità di elettricità che nello stesso tempo attraversa una sezione del circuito, espressa in Coulomb.

tores ha la resistenza R_{ab} , si ha una caduta di tensione che coincide con la d.d.p. fra i due punti se non esistono f.e.m. nel tratto stesso, data da:

$$(4) \quad V_{ab} = R_{ab}I$$

La (4) è una seconda espressione della legge di Ohm e precisamente quella relativa ad un circuito incompleto nel quale non agiscono f.e.m.

Un generatore possiede una sua *resistenza interna*; quando viene inserito in un circuito, la corrente che in esso circola dà luogo naturalmente ad una caduta di tensione nel generatore, data in valore assoluto, dal prodotto RI , esattamente come in tutte le altre parti del circuito. Misurando quindi la differenza di potenziale fra i due morsetti del generatore, a circuito aperto, si troverà che essa è più elevata della tensione che si può misurare a circuito chiuso, e la differenza è esattamente uguale alla

caduta di tensione interna. La tensione a circuito aperto si dice *tensione a vuoto* e rappresenta la forza elettromotrice del generatore; quella a circuito chiuso si dice *tensione a carico*.

Si ha:

$$E - V = RI$$

in cui

E = f.e.m. del generatore

V = d.d.p. ai morsetti del generatore a carico.

R = resistenza interna del generatore

I = corrente che attraversa il generatore.

Pertanto, se fra due punti A e B di un circuito non c'è alcuna f.e.m. la d.d.p. fra tali punti vale come si è già visto:

$$V_{ab} = R_{ab}I$$

Se invece nel tratto compreso fra i due punti esiste una f.e.m., allora la d.d.p. fra i due punti è diversa dalla caduta di tensione nel tratto AB di conduttore e vale:

$$(5) \quad V_{ab} = E - R_{ab}I$$

nel caso in cui i sensi della f.e.m. e della corrente siano uguali. Per senso della f.e.m. si intende quello della corrente che la f.e.m. farebbe circolare nel circuito, se agisse da sola.

Può accadere che in un circuito esistano due f.e.m. di senso opposto; la corrente allora circolerà nel senso della f.e.m. che prevale.

La legge di Ohm, applicata al tratto di circuito che comprende la f.e.m. E_2 , il cui senso è opposto a quello della corrente, dà:

$$V_{ab} + E_2 = -R_{ab}I$$

Questa relazione e la precedente possono scriversi compendiosamente:

$$(6) \quad V_{ab} = \pm E - RI,$$

che rappresenta le legge di ohm applicata ad un tratto di circuito nel quale

è inserita una f.e.m. e la corrente circola nel senso da A a B.

Il segno della f.e.m. è positivo o negativo a seconda che il senso della f.e.m. è uguale o contrario a quello della corrente.

La (6) è l'espressione più generale della legge di Ohm e comprende come casi particolari la (3) e la (4).

Resistenze in serie La corrente di un circuito, in cui si abbiano diversi resistori in serie ha la stessa intensità in ogni punto ed è uguale al rapporto fra la tensione applicata agli estremi del circuito e la resistenza totale, sempre nella ipotesi che nel tratto di circuito considerato non agiscano f.e.m.

La resistenza totale risulta dalla somma dei valori delle singole resistenze:

$$(7) \quad R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Nel caso in cui sia $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$ la resistenza totale sarà $R_t = nR$.

Resistenze in parallelo Si considerino due resistenze in parallelo, una di 100, l'altra di 10 ohm. La tensione applicata al circuito costituito dalle due resistenze sia di 10 volt. La stessa tensione si può considerare applicata a ciascuna delle resistenze e quindi è possibile calcolare separatamente l'intensità della corrente in ognuna di esse:

$$(8) \quad I' = \frac{E}{R'} \quad I'' = \frac{E}{R''}$$

Sostituendo i valori dati, risulta:

$$I' = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ amp.} \quad I'' = \frac{10}{10} = 1 \text{ amp.}$$

La corrente totale vale $I_t = I' + I'' = 0,1 + 1 = 1,1 \text{ amp.}$

Questa corrente circola nel conduttore che collega il punto A al polo negativo della batteria, quindi si suddivide fra i due rami derivati e riprende poi lo stesso valore nei punti fra B e il polo positivo.

Poichè la corrente totale è superiore a quella che percorre la più piccola delle due resistenze, se ne deduce che la resistenza totale risultante dall'accoppiamento in parallelo di R' ed R'' è minore della più piccola di esse. Possiamo calcolare R_t applicando la legge di Ohm:

$$R_t = \frac{E}{I_t} = \frac{10}{1,1} = 9,09 \text{ ohm.}$$

Per calcolare la resistenza totale di due rami in parallelo si può usare la seguente espressione:

$$(9) \quad R_t = \frac{R'R''}{R' + R''}, \text{ ricavata dalla:}$$

$$R_t = \frac{E}{I' + I''} \text{ in cui si sostituisce:}$$

$$I' = \frac{E}{R'} \quad I'' = \frac{E}{R''}$$

$$R_t = \frac{E}{\frac{1}{R'} + \frac{1}{R''}} = \frac{R'R''}{R' + R''}$$

Se vogliamo accoppiare in parallelo ad una resistenza nota R' una resistenza incognita R_x , tale che il valore risultante sia uguale ad un valore dato R , applichiamo la formula precedente:

$$R = \frac{R'R_x}{R' + R_x}$$

e ricaviamo:

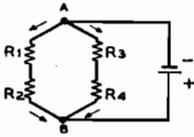


Figura 4.
CIRCUITO SERIE-PARALLELO
I due rami derivati sono costituiti ciascuno da due resistenze in serie.

$$(R' + R_x)R = R'R_x$$

da cui

$$R_x(R' - R) = RR'$$

e quindi

$$R_x = \frac{R'R}{R' - R}$$

Si può anche dire che la resistenza totale risultante da un collegamento in parallelo vale l'inverso della somma delle conduttanze dei singoli rami derivati, chiamando conduttanza l'inverso della resistenza, cioè:

$$(10) \quad R_t = \frac{1}{\frac{1}{R'} + \frac{1}{R''} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Questa formula è utile se le resistenze in parallelo sono più di due; nel caso che esse siano solo in numero di due conviene applicare la formula semplificata (9).

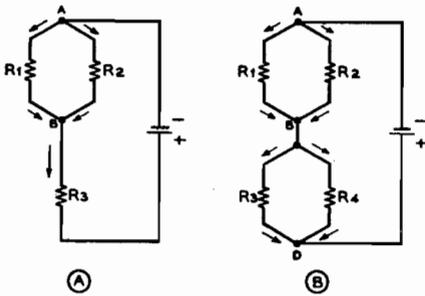


Figura 5.
ALTRI ESEMPI DI CIRCUITI SERIE-PARALLELO

Se le resistenze in parallelo hanno tutte lo stesso valore, allora la resistenza totale è data dal valore di una delle resistenze diviso il numero delle resistenze: stesse:

$$(11) \quad R_t = \frac{R}{n}$$

in cui

R è il valore comune a tutte le resistenze ed n è il numero delle resistenze in parallelo.

Infatti, ponendo nella (10):

$$R_1 = R_2 = R_3 = \dots R_n = R, \text{ si ha:}$$

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{n} + \frac{1}{n} + \dots + \frac{1}{n}} = \frac{1}{\frac{n}{n}} = \frac{1}{1} = R$$

Il valore della resistenza risultante dal collegamento di due o più resistenze in parallelo è sempre inferiore al valore della più piccola fra le resistenze considerate. E' comodo tener presente questa semplice regola per facilitare il calcolo delle resistenze in parallelo.

Derivatore (shunt)

Se due o più resistenze sono in parallelo, i valori della corrente nei singoli rami sono inversamente proporzionali alle resistenze dei rami stessi. Questa proprietà applicata al caso di due rami in parallelo di resistenza molto diversa porta al risultato che nel ramo di resistenza maggiore la corrente sarà una piccola frazione della corrente totale, la quale passerà quasi totalmente nel ramo di piccola resistenza.

La proprietà si applica nella misura di correnti continue molto intense con un apparecchio amperometrico la cui portata sia molto piccola rispetto alla intensità della corrente da misurare. Baste-

rà disporre in parallelo con l'apparecchio un ramo di resistenza molto piccola (derivatore) rispetto a quella dell'apparecchio. Questo sarà allora attraversato da quella parte, molto piccola, della corrente totale che esso può misurare, mentre l'altro ramo è attraversato quasi dalla corrente totale. In tal modo è possibile aumentare notevolmente il campo di misura dello strumento.

Se la corrente che attraversa lo strumento deve essere la n^{ma} parte della corrente totale I da misurare, allora la resistenza del derivatore R_d , è legata a quella R_a dell'amperometro dalla relazione, dedotta dall'applicazione della legge di Ohm ai due rami in parallelo (8):

$$\frac{R_d}{R_a} = \frac{\frac{I}{n}}{\frac{(n-1)I}{n}}$$

da cui:

$$(12) \quad R_d = \frac{R_a}{n-1}$$

Resistenze in serie-parallelo

Per trovare il valore totale di più resistenze disposte in serie-parallelo è opportuno applicare prima o la formula delle resistenze in serie o quella delle resistenze in parallelo, al fine di ridurre il circuito ad uno più semplice.

Per esempio, nella fig. 4 le resistenze in serie in ciascun ramo si sommano e risultano così due sole resistenze in parallelo, delle quali è facile calcolare la resistenza equivalente. Analogamente in fig. 6, dopo di avere sommato, per ogni

ramo, le resistenze in serie del ramo, risultano tre sole resistenze in parallelo.

Nel circuito di fig. 5 si riducono dapprima i due gruppi di due resistenze ciascuno in parallelo alle loro resistenze equivalenti in serie e poi si sommano tali due resistenze.

Tornando al caso del circuito di fig. 6, si sostituisce ad ogni gruppo di resistenze in serie la loro somma e si ottengono i valori di tre resistenze equivalenti rispettivamente al I, II e III gruppo. Quindi combinando la formula delle resistenze in serie e quella delle resistenze in parallelo, si perviene al valore complessivo di R espresso dalla:

$$(13) \quad R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3 + R_4} + \frac{1}{R_5 + R_6 + R_7}}$$

Divisori di tensione (potenziometri)

Un divisore di tensione è costituito da

un resistore o da una serie di resistori alle estremità della quale è applicata una tensione e dalla quale è possibile ottenere tensioni di valore differente ed inferiore a quello della tensione applicata, mediante prese in vari punti della serie di resistori. I divisori di tensione hanno una importanza fondamentale nei ricevitori radio, nei trasmettitori, negli amplificatori, in quanto danno la possibilità di ottenere tensioni di placca, di griglia e di polarizzazione di valori differenti, da una comune alimentazione. Possono essere inoltre utilizzati per ottenere piccole tensioni comprese fra 0,01 e 0,001 volt con un alto grado di precisione, anche in mancanza di strumenti



Figura 6.

ALTRO TIPO DI CIRCUITO SERIE-PARALLELO

di misura. Il metodo per effettuare una tale misura può essere meglio esposto con un esempio. Si supponga di avere un voltmetro tarato, la cui scala sia compresa 0 e 150 volt, ed una tensione di 100 volt applicata ad una resistenza di 1000 ohm, uniformemente distribuita sopra un sostegno. La tensione fra i diversi punti del resistore ed una estremità è proporzionale ai tratti di resistore compresi fra questa estremità e quelli considerati. Applicando la legge di Ohm, si trova che l'intensità della corrente che attraversa il resistore vale 0,1 ampere; ne consegue che in un punto in cui la resistenza abbia il valore di 500 ohm (la metà cioè della resistenza totale), la tensione rispetto ad una estremità sarà ridotta a 50 volt (la metà della tensione totale). Si ha infatti dalla equazione $V = IR$, sostituendo in essa i valori numerici:

$$V = 500 \times 0,1 = 50 \text{ volt.}$$

Nel punto in cui la resistenza ha il valore di 250 ohm la tensione rispetto alla estremità considerata sarà ridotta a 25 volt (un quarto del valore totale); infatti, sempre per la legge di Ohm, si ha:

$$V = 250 \times 0,1 = 25 \text{ volt.}$$

Proseguendo, sarà possibile trovare un punto in cui la resistenza valga esattamente un ohm e la tensione, di conseguenza, 0,1 volt. E' evidente che, poten-

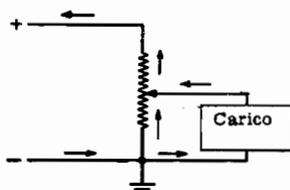


Figura 7.

SEMPLICE DIVISORE DI TENSIONE

do misurare la tensione totale applicata al resistore, è possibile calcolare con facilità la differenza di potenziale fra un punto qualsiasi di essa ed una estremità, o, in generale, fra due qualsiasi punti, a condizione che l'intensità della corrente resti costante e non si derivi dalla presa una corrente, a meno che di questa corrente non si conosca il valore e non si effettuino i calcoli necessari.

Calcolo di divisori di tensione Il calcolo esatto di un divisore di tensione per un qualsiasi apparecchio radio, costituisce un problema relativamente semplice. In primo luogo è necessario conoscere il valore della corrente nel divisore, la tensione voluta e l'intensità esatta della corrente in ciascuna derivazione del divisore.

La fig. 7 mostra la distribuzione della corrente in un divisore e nel suo circuito di carico. Nell'esempio seguente si mostra il calcolo di un resistore stabilizzatore e di un divisore accoppiati, come spesso si usano negli apparecchi radio.

Un generatore fornisce una tensione di 300 volt ed è proporzionato in modo da poter dare la corrente necessaria al ricevitore e una corrente nel divisore, di 10 milliampere. Si vogliono ottenere le seguenti tensioni e correnti: 75 volt

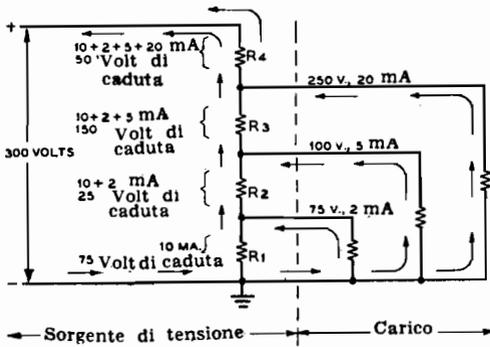


Figura 8.

DIVISORE DI TENSIONE DI TIPO COMPLESSO

e 2 milliampere per la valvola rivelatrice, 100 volt e 5 milliampere per le griglie schermo; 250 volt e 20 milliampere per gli anodi dei tubi.

La caduta di tensione in R_1 deve valere 75 volt, in R_2 25 volt, in R_3 150 volt e in R_4 50 volt. Questi valori di tensione e le rispettive correnti sono indicati nella fig. 8.

Applicando la legge di ohm si ottiene:

$$R_1 = \frac{V}{I} = \frac{75}{0,01} = 7500 \text{ ohm}$$

$$R_2 = \frac{V}{I} = \frac{25}{0,012} = 2083 \text{ ohm}$$

$$R_3 = \frac{V}{I} = \frac{150}{0,017} = 8823 \text{ ohm}$$

$$R_4 = \frac{V}{I} = \frac{50}{0,037} = 1351 \text{ ohm}$$

$$R_t = 7500 + 2083 + 8823 + 1351 = 19757 \text{ ohm.}$$

Si sceglierà quindi un resistore di 20.000 ohm con tre prese mobili, data la difficoltà di trovare in commercio quattro resistori separati con valori di resistenza corrispondenti esattamente a

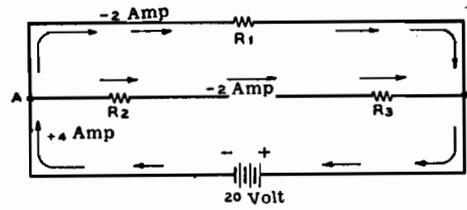


Figura 9.

ILLUSTRAZIONE DELLA PRIMA LEGGE DI KIRCHHOFF

quelli ottenuti col calcolo. Una volta regolati i contatti mobili, i valori delle tensioni risulteranno uguali a quelli richiesti, finchè l'intensità delle varie correnti resta costante.

Svantaggi dei divisori di tensione

Uno degli svantaggi più gravi dei divisori di tensione si manifesta quando varia la corrente in uno dei circuiti derivati. E' evidente che le singole cadute di tensione sono interdipendenti e proporzionali alle intensità delle correnti circolanti nelle varie sezioni del divisore. L'unico rimedio è l'impiego di una corrente base elevata, in modo che le singole correnti rappresentino una frazione minima di quella totale. Ogni variazione di una corrente derivata produrrà in questo caso solo una piccola variazione della tensione. Ciò in pratica è realizzabile solo raramente a causa dell'eccessivo valore necessario per la corrente base.

Leggi di Kirchhoff

La legge di Ohm è sufficiente per il calcolo di circuiti non molto complessi come quelli incontrati in precedenza. In casi più complessi, quando vi siano pa-

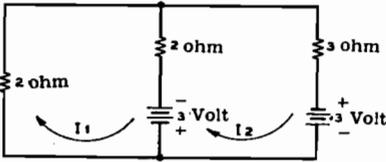


Figura 10.
ILLUSTRAZIONE DELLA SECONDA LEGGE
DI KIRCHHOFF

1. Si esprime che in ogni maglia la fem. risultante circolando in un determinato senso è uguale alla somma algebrica delle cadute di tensione:

- 1) $3 = 2I_1 - 2(I_1 - I_2)$ maglia ABCA
- 2) $-3 = -2I_1 - 3I_2$ maglia EBDE

2. Semplificando:

$$4I_1 - 2I_2 = -3$$

$$2I_1 + 3I_2 = 3$$

3. Si ricava dalla seconda equazione:

$$3 - 2I_1$$

$$I_2 = \frac{3}{3}$$

e si sostituisce nella prima:

$$4I_1 - 2 \frac{3 - 2I_1}{3} = -3$$

4. Semplificando:

$$16I_1 = -3I_1 = -\frac{3}{16} \text{ ampere}$$

5. Sostituendo nella espressione di I_2 :

$$I_2 = \frac{3 + 2 \cdot \frac{3}{16}}{3} = \frac{9}{8} \text{ ampere}$$

recchie maglie e alimentazione con diverse tensioni e forze elettromotrici, si applicano le due leggi di Kirchhoff, che rappresentano, la prima, l'equazione di continuità e la seconda, una estensione della legge di Ohm.

La prima legge di Kirchhoff dice che « la somma algebrica delle intensità delle correnti nei tratti di circuito (rami) confluenti in un punto (nodo) vale zero ».

Ciò vuol dire che la somma delle correnti dirette verso il nodo è uguale alla somma delle correnti che si dipartono dal nodo, così che, considerando positive le une e negative le altre, la somma

algebrica, tenendo conto cioè dei segni, è nulla.

La fig. 9 illustra la prima legge. Poiché la resistenza equivalente del circuito è di 5 ohm, si vede subito che nel ramo in cui è inserita la f.e.m. passa una corrente di 4 ampere diretta al punto A, mentre una corrente di 2 ampere si allontana da A attraverso il ramo costituito dai due resistori di 5 ohm in serie, mentre una terza di 2 ampere si allontana da A attraverso il resistore di 10 ohm. In definitiva, 4 ampere vanno verso il punto A e 4 se ne allontanano. Se R è la resistenza totale del circuito (5 ohm), $R_1 = 10$ ohm, $R_2 = R_3 = 5$ ohm, e la f.e.m. $E = 20$ volt, possiamo scrivere la seguente equazione:

$$\frac{E}{R} - \frac{E}{R_1} - \frac{E}{R_2 + R_3} = \frac{20}{5} - \frac{20}{10} - \frac{20}{10} = 0$$

La seconda legge di Kirkoff dice che « in un circuito o maglia la somma algebrica delle cadute di tensione RI è uguale alla somma algebrica delle f.e.m. agenti nella maglia ».

Il senso delle correnti nei vari rami, che è incognito, come è incognito il valore delle correnti, si fissa ad arbitrio.

Per stabilire il segno delle f.e.m e dei prodotti RI che figurano nella equazione di una qualsiasi maglia, si stabilisce un senso di percorrenza arbitrario della maglia e si assumono i segni delle grandezze in gioco positivi o negativi, a seconda che il senso della f.e.m. o del prodotto RI considerato sia concorde o discorde con quello di percorrenza stabilito.

Se dalla soluzione del sistema di equazioni che si ottiene, risulta una corrente col segno negativo, ciò significa che il

senso stabilito inizialmente per quella corrente è opposto al senso che la corrente stessa ha in effetti.

In fig. 10 è riportato un esempio di calcolo ad illustrazione della seconda legge di Kirchhoff.

Potenza elettrica in circuiti costituiti da resistori Per provocare il movimento degli elettroni in un circuito sappiamo già

che occorre inserire nel circuito una forza elettromotrice. La potenza necessaria per far circolare una corrente in un circuito di data resistenza dipende dal valore della intensità della corrente. Tale potenza è espressa precisamente dal prodotto della f.e.m. agente nel circuito per la intensità della corrente che circola nel circuito stesso:

$$(14) \quad P = - E \times I$$

in cui P indica appunto la potenza. Il segno negativo si giustifica tenendo conto dei segni diversi della f.e.m. e della corrente, come abbiamo detto a proposito della legge di Ohm.

Se la f.e.m. è espressa in volt e la corrente in ampere, la potenza risulta espressa in *watt*. L'unità di potenza watt rappresenta quindi il valore della potenza fornita della f.e.m. di 1 volt ad un circuito nel quale essa faccia circolare la corrente di 1 ampere.

Se il circuito è, come abbiamo supposto, costituito da resistori, è possibile ed opportuno esprimere la potenza in funzione della resistenza del circuito e della intensità della corrente, ricordando la legge di Ohm nella sua forma (3) che qui ripetiamo:

$$E = - RI.$$

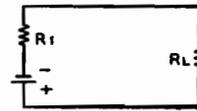


Figura 11.

ADATTAMENTO DI RESISTENZE

Per ottenere la massima potenza applicando un carico ad una sorgente di tensione, è necessario rendere la resistenza R_L del carico eguale alla resistenza interna R_i della sorgente.

Se sostituiamo nella (14) ad E il prodotto $- RI$, otteniamo:

$$(15) \quad P = RI^2.$$

Se invece sostituiamo ad I , l'espressione $\frac{E}{R}$, risulta:

$$(16) \quad P = \frac{E^2}{R}.$$

Riassumendo, la potenza elettrica in circuiti costituiti da resistori si può rappresentare con una delle tre seguenti espressioni:

$$P = EI \quad ; \quad P = I^2R \quad ; \quad P = \frac{E^2}{R}$$

in cui:

P = potenza, espressa in watt

E = f.e.m., espressa in volt

I = corrente, espressa in ampere.

Se invece di un circuito completo si ha un tratto di circuito nel quale non sia inserita alcuna f.e.m., occorrerà applicare la legge di Ohm nella forma (4) e quindi la potenza è data da una delle tre espressioni:

$$(17) \quad P = VI \quad ; \quad P = I^2R \quad ; \quad P = \frac{V^2}{R}$$

in cui V rappresenta la tensione fra gli estremi del tratto di circuito considerato ed R la resistenza dello stesso tratto.

Facciamo un esempio numerico.

La caduta di tensione in un resistore catodico di un amplificatore di potenza è di 50 volt; la corrente di placca che attraversa la resistenza è di 150 milliampere. La potenza dissipata nella resistenza sarà $50 \cdot 0,150 = 7,5$ watt.

Dall'esempio precedente deriva che una resistenza da 7,5 watt può sicuramente essere attraversata dalla corrente indicata; per avere un margine di sicurezza è opportuno però utilizzare una resistenza da 10 o da 20 watt.

Se è dato il valore della resistenza, anziché quello della caduta di tensione, per determinare la potenza dissipata si applicherà la seconda delle (17). Se sono note la caduta di tensione e la corrente, si utilizzerà invece la terza delle (17).

Potenza, energia E' importante tener presente che la potenza esprime il lavoro (o energia) compiuto nella unità di tempo; cioè la potenza è data dal rapporto fra il lavoro in un dato tempo e il tempo stesso, nel suo valore medio nel caso in cui si tratti di potenza variabile.

L'unità di energia è allora espressa dall'unità di potenza moltiplicata per l'unità di tempo:

$$\text{watt} \times \text{secondo} = \text{joule}$$

oppure

$$\text{watt} \times \text{ora} = \text{wattora} = 3600 \text{ joule.}$$

Altra unità di energia è la *caloria*.

Effetto termico Una corrente elettrica percorrendo un conduttore sviluppa una determinata quan-

tità di calore per ogni unità di tempo. Come è stato precedentemente illustrato, il fenomeno dell'effetto calorifico di una corrente si manifesta come conseguenza delle collisioni degli elettroni con gli atomi del materiale. Sarà maggiore il calore sviluppato in un conduttore di elevata resistenza che non in un conduttore di piccola resistenza, perchè gli elettroni liberi urtano gli atomi con maggiore intensità per strappar loro altri elettroni.

Poichè la potenza spesa in un tratto di circuito in cui non esistano f.e.m., nel quale circoli la corrente I e fra gli estremi del quale si abbia una d.d.p. V , è espressa dalla (17) e tutta questa potenza è dissipata e quindi si converte in calore, si rappresenta la potenza spesa in calore in una resistenza R attraversata dalla corrente I con la

$$(18) \quad P = RI^2$$

che esprime la *legge di Joule*.

2-2 Elettrostatica Condensatori

Condensatori L'energia elettrica può essere immagazzinata creando un campo elettrostatico.

Un dispositivo capace di immagazzinare energia sotto forma elettrostatica prende il nome di *condensatore* e si dice che esso possiede una certa *capacità*.

Un condensatore è costituito da due conduttori, detti *armature*, che possono essere piani e paralleli ovvero cilindrici coassiali, separati da un isolante o *dielettrico*.

Quando le due armature vengono collegate con i poli di un generatore a corrente continua nel circuito così costi-

tuito, interrotto nella sua continuità metallica in corrispondenza del dielettrico si ha un movimento di elettroni, cioè una corrente elettrica, variabile e di breve durata. Quando il fenomeno cessa, il condensatore è *carico*; in queste condizioni ciascuna delle sue armature possiede una carica o quantità di elettricità espressa da

$$(19) \quad Q = CV$$

in cui:

Q = carica del condensatore, in coulomb,
 C = capacità del condensatore, in farad,
 V = d.d.p. fra le armature del condensatore, in volt.

L'unità di capacità è il *farad*, che si può definire come la capacità di un condensatore il quale assume la carica di 1 coulomb quando fra le sue armature si applica una d.d.p. di 1 volt.

Questa definizione deriva subito dalla (19) ponendo in essa

$$Q = 1 \text{ coulomb}$$

$$V = 1 \text{ volt.}$$

Risulta allora $C = 1$ farad.

Quando un condensatore è carico, nel dielettrico fra le armature si stabilisce un campo elettrostatico e il dielettrico stesso diventa sede di energia, che si dice appunto energia elettrostatica.

Questa energia, che si accumula durante la carica del condensatore, è espressa da una delle tre seguenti relazioni:

$$(17) \quad W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

in esse:

W = energia, in joule

C = capacità, in farad

V = d.d.p. fra le armature, in volt

Q = carica del condensatore, in coulomb.

TAVOLA DEI MATERIALI DIELETTRICI			
MATERIALE	COSTANTE DIELETTRICA	FATTORE DI POTENZA	PUNTO DI RANNOIAMENTO
ANILINA-FORMALDEIDE RESINA	3.4	0.004	126° C.
OLIO DI CASTORO	4.67		
ACETATO DI CELLULOSA	3.7	0.04	82°
VETRO COMUNE	6-8	ELEVATO	1095°
VETRO PIREX	4.5	0.02	
METILE-METACRILATO LUCITE	2.6	0.007	71°
NICA	5.4	0.0003	
NICALEX	7.0	0.002	343°
FENOL-FORMALDEIDE GIALLA A BASSA PERDITA	5.0	0.015	132°
FENOL-FORMALDEIDE BACHELITE NERA	5.5	0.03	176°
PORCELLANA	7.0	0.005	1540°
POLIETILENE	2.25	0.0003	105°
POLISTERENE	2.55	0.0002	80°
QUARZO FUSO	4.2	0.0002	1430°
GHMA-FRANITE DURA	2.8	0.007	66°
STERTITE	6.1	0.003	1480°
SOLEFURO	3.8	0.003	113°
BIOSSIDO DI TITANIO	100-175	0.0006	1480°
OLIO DA TRASFORMATORI	2.2	0.03	
UREA-FORMALDEIDE	5.0	0.05	126°
RESINE VINILE	4.0	0.02	93°
LEGNO ACERO	4.4	ELEVATO	

Figura 12.

Quando si applica una d.d.p. fra le armature di un condensatore si ha, come si è detto, un movimento di elettroni che non è continuo, in quanto il circuito non è metallicamente chiuso, e dura per il tempo, sempre molto breve, necessario perchè sulle due armature si manifesti una carica (eccesso di elettroni su una, difetto sull'altra) tale da far sorgere fra le armature stesse una d.d.p. che compensi la f.e.m. del generatore al quale è collegato il condensatore.

In tale situazione la risultante della f.e.m. del generatore e della tensione fra le armature è nulla e il flusso di elettroni cessa.

Se ora noi separiamo il condensatore dal generatore, il condensatore resta carico fino a quando non vengano collegate metallicamente le due armature fra di loro. Il sistema delle armature e del conduttore che le collega viene a costituire un unico conduttore alle cui estremità esistono cariche uguali e di segno opposto. Si avrà allora uno spostamento