D. A. 100

MINISTERO DELLA MARINA

DIREZIONE GENERALE DELLE ARMI E DEGLI ARMAMENTI NAVALI

ISTRUZIONI MILITARI PER LA R. MARINA

MANUALE DELL'ELETTRICISTA

ROMA 1939-XVIII

D. A. 100

MINISTERO DELLA MARINA

DIREZIONE GENERALE DELLE ARMI E DEGLI ARMAMENTI NAVALI

ISTRUZIONI MILITARI PER LA R. MARINA

MANUALE
DELL'ELETTRICISTA

ROMA 1939-XVIII

COPIE STAMPATE N. 2000

Società Anonima Poligrafica Italiana — Roma - Via della Guardiola, 22

ELENCO DI DISTRIBUZIONE

La presente pubblicazione è stata distribuita alle seguenti Autorità:

AUTORITÀ	N. delle copie
Marina	1
Maristat	1
Maripers	2
Maricost	1
Marinarmi	5
Biblioteca centrale e Biblioteche dipartimentali	1
Comandi in Capo e Comandi M. M.	1
Comando Superiore del C. R. E. M.	2
Comando R. Accademia Navale	5
Istituto Guerra Marittima	1
Comando Scuole C. R. E. M.	5
Comandi in Capo di Squadra	1
Comandi di Divisione	1
Corazzate, incrociatori, esploratori, cacciatorpediniere, sommergibili, NS1-NS2	1

La presente pubblicazione è in vendita presso le Scuole C.R.E.M. San Bartolomeo (La Spezia) al prezzo di L. 10.

INDICE

Elenco di distribuzione III

CAPITOLO I

Premessa — L'elettricità . . . . . *Pag.* 1

Par. 1 — Corrente elettrica — Potenziale — Forza elettromotrice . . » 5
» 2 — Circuito elettrico — Poli — Direzione della corrente . » 8
» 3 — Correnti costanti e variabili — Corrente continua ed alternata . » 9
» 4 — Unità di potenziale e di f.e.m. — di quantità di elettricità — di corrente elettrica . . . . . » 11

CAPITOLO II

Par. 5 — Classificazione dei corpi secondo la loro facoltà di trasmettere l'elettricità . . . . . *Pag.* 15
» 6 — Resistenza elettrica . . . . . » 16
» 7 — Influenza della temperatura sulla resistenza . . . . . » 20
» 8 — Legge di Ohm . . . . . » 20
» 9 — Campioni e cassette di resistenza — Reostati . . . . . » 27
» 10 — Conduttori elettrici . . . . . » 46

CAPITOLO III

Par. 11 — Lavoro e potenza della corrente elettrica — Legge di Joule . *Pag.* 59
» 12 — Applicazioni termoelettriche . . . . . » 68

CAPITOLO IV

Par. 13 — Distribuzione della corrente nei circuiti derivati — Principii di Kirchoff — Applicazioni . . . . . *Pag.* 71

CAPITOLO V

Par. 14 — Cariche elettrostatiche . . . . . *Pag.* 77
» 15 — Elettricità atmosferica . . . . . » 81
» 16 — Capacità elettrostatica . . . . . » 83
» 17 — Condensatori . . . . . » 85
» 18 — Condensatori in parallelo e loro accoppiamento . . . . » 86
» 19 — *Condensatori in serie e loro accoppiamento* . . . . » 86
» 20 — Dielettrici e coibenti . . . . . » 88

CAPITOLO VI

Par. 21 — Trasmissione dell'elettricità attraverso gli elettroliti — Elettrolisi *Pag.* 91
» 22 — Leggi elettrochimiche — Applicazioni . . . . . » 93
» 23 — Generalità sulle pile — Polarizzazione e depolarizzazione . . » 96
» 24 — Vari tipi di pile — Accoppiamento delle pile — Potenza e rendimento delle pile . . . . . » 98
» 25 — Teoria dell'accumulatore a piombo — Formazione — Vari tipi di accumulatori a piombo . . . . . » 102
» 26 — Capacità — Densità — Trattamento degli accumulatori a piombo — Carica e scarica — Rendimento ed accoppiamento degli accumulatori . . . . . » 105
» 27 — Accumulatori al ferro nichel (o ad altro elettrolito alcalino) . » 110

CAPITOLO VII

Par. 28 — Magneti naturali ed artificiali — Loro proprietà . . . . *Pag.* 121
» 29 — Magnetismo terrestre . . . . . » 122
» 30 — Ipotesi sulla costituzione del magnetismo . . . . . » 124
» 31 — Campo magnetico — Circuito magnetico . . . . . » 125
» 32 — Permeabilità ed induzione magnetica — Materiali magnetici . » 129

CAPITOLO VIII

Par. 33 — Campo magnetico prodotto da una corrente — Regole per determinare il senso — Solenoidi . . . . . *Pag.* 131
» 34 — Forza magnetizzante - Riluttanza . . . . . » 134
» 35 — Saturazione — Isteresi magnetica . . . . . » 136
» 36 — Elettromagneti . . . . . » 139
» 37 — Azioni fra correnti o fra correnti e campi magnetici . . . » 141

CAPITOLO IX

Par. 38 — Induzione elettromagnetica — Sue leggi . . . . . *Pag.* 145
» 39 — Autoinduzione e coefficiente di autoinduzione . . . . . » 148
» 40 — Mutua induzione e coefficiente di una mutua induzione . » 150
» 41 — Correnti parassite o di Foucault . . . . . » 150

CAPITOLO X

Par. 42 — Generalità sulle correnti alternate . . . . . *Pag.* 153

» 43 Fase di una grandezza alternata — Valori istantanei — Valori medi — Valori efficaci . . . . . » 157

» 44 Azione della capacità e della induttanza sulla corrente alternata — Impedenza . . . . . » 159

» 45 Potenza della corrente alternata — Fattore di potenza . . » 163

» 46 — Perdita di carico e variazione della resistenza dei conduttori per effetto della corrente alternata . . . . . » 165

» 47 Correnti alternate derivate . . . . . » 167

» 48 Correnti alternate polifasi — Aggruppamenti a stella ed a triangolo . . . . . » 167

» 49 — Campo magnetico rotante . . . . . » 172

CAPITOLO XI

Par. 50 — Considerazioni generali sulle misure della pratica — Sistemi di misura . . . . . *Pag.* 175

» 51 Tipi principali di strumenti di misura e loro caratteristiche . » 179

» 52 Misura dell'intensità della corrente e della f.e.m. . . . . » 180

» 53 Misura della resistenza . . . . . » 185

» 54 Misura della potenza elettrica . . . . . » 188

» 55 Misure varie . . . . . » 189

» 56 Misure e prove d'isolamento . . . . . » 192

CAPITOLO XII

Par. 57 Generalità sui generatori a corrente continua . . . . . *Pag.* 199

» 58 — Raddrizzamento della corrente — Collettore — Commutazione . » 200

» 59 Dinamo con indotto ad anello e dinamo con indotto a tamburo . » 204

» 60 Eccitazione — Induttori . . . . . » 207

» 61 — Reazione di indotto — Commutazione — Poli ausiliari — Circuiti compensatori . . . . . » 210

» 62 F.e.m. indotta in un generatore . . . . . » 215

» 63 — Vari tipi di dinamo — Loro comportamento — Caratteristiche » 216

» 64 — Perdite — Potenza — Rendimento della dinamo . . . . . » 223

» 65 — Accoppiamento delle dinamo . . . . . » 225

» 66 — Principio degli avvolgimenti — Avvolgimenti ondulati ed embriciati — Confronti fra i vari tipi — Nozioni di bobinaggio . » 227

CAPITOLO XIII

Par. 67 — Reversibilità delle dinamo — Coppia motrice — Forza controelettromotrice — Velocità dei motori elettrici . . . . . *Pag.* 237

» 68 Reazione di indotto — Posizione delle spazzole . . . . . » 240

» 69 Vari tipi di motori — Loro comportamento . . . . . » 240

Par 70 — Avviamento — Inversione del moto — Frenatura — Variazioni di velocità . . . . . Pag. 244
» 71 — Avvolgimenti e loro avarie più comuni . . . . . » 246
» 72 — Potenza e rendimento dei motori . . . . . » 252

CAPITOLO XIV

Par. 73 — Generalità sugli alternatori . . . . . Pag. 253
» 74 — Alternatori polifasi — Avvolgimenti degli alternatori . . . » 257
» 75 — Perdite — Potenza e rendimento degli alternatori . . . . » 261
» 76 — Accoppiamento e messa in fase degli alternatori . . . . » 262

CAPITOLO XV

Par. 77 — Generalità sui motori a corrente alternata — Motori asincroni Pag. 267
» 78 — Rendimento e potenza dei motori asincroni . . . . . » 273
» 79 — Motori sincroni . . . . . » 273

CAPITOLO XVI

Par. 80 — Generalità sui trasformatori — Trasformatori statici . . . Pag. 277
» 81 — Trasformatori statici polifasi — Rendimento dei trasformatori . » 280
» 82 — Trasformatori rotanti, convertitori . . . . . » 282

CAPITOLO XVII

Par. 83 — Arco voltaico — Generalità sulle lampade ad arco . . . Pag. 285
» 84 — Regolazione delle lampade ad arco . . . . . » 286
» 85 — Lampade ad incandescenza — Vari tipi — Consumo . . . » 290
» 86 — Campanelli elettrici — Telefoni — Telegrafi . . . . . » 293
» 87 — Cenno teorico sul sistema di punteria generale tipo Girardelli . » 301
» 88 — Proiettori . . . . . » 304
» 89 — Proiettore « Sperry Galileo » . . . . . » 311
» 90 — Recentissime modifiche apportate al proiettore « Galileo Sperry » » 333
» 91 — Comando a distanza dei proiettori . . . . . » 335

CAPITOLO XVIII

Par. 92 — La girobussola in generale . . . . . Pag. 337
» 93 — Linee schematiche della bussola Sperry . . . . . » 338
» 94 — Descrizione sommaria del complesso giroscopico Sperry . . . » 341

CAPITOLO XIX

Par. 95 — Cenno sulle centrali di tiro e lancio . . . . . Pag. 351
» 96 — Trasmettitori d'ordini R. Marina a corrente alternata . . . » 354
» 97 — Cenno sulle varie applicazioni dei trasmettitori d'ordini R. Marina » 359

CAPITOLO XX

Par. 98 - Cenni sugli impianti terrestri . . . . . *Pag.* 361
» 99 - Generalità sulle centrali elettriche a bordo delle RR. Navi . . » 366
» 100 - Cenno sulla parte elettrica della dinamo Thomson Houston da 150 Kw. 110 V. . . . . » 371
» 101 - Prove ordinarie delle dinamo . . . . . » 374
» 102 - Avarie principali delle dinamo . . . . . » 375
» 103 - Riparazioni delle dinamo . . . . . » 380
» 104 - Manutenzione delle dinamo . . . . . » 382
» 105 - I quadri - Reti e circuiti di distribuzione a corrente continua . » 383
» 106 - Conduttori e canalizzazioni - Apparecchi accessori degli impianti - Protezione delle linee - Isolamento dell'impianto - Prove sulle linee . . . . . » 384

CAPITOLO XXI

Par. 107 - Nozioni di radiotelegrafia - Introduzione - Onde elettromagnetiche e vari modi di generarle - Circuiti oscillanti . . *Pag.* 389
» 108 - Risonanza . . . . . » 398
» 109 - Generalità sugli apparati trasmittenti . . . . . » 399
» 110 - Generalità sugli apparati riceventi . . . . . » 403
» 111 - Cenno sulle valvole termoioniche - Apparati a valvola . . » 408
» 112 - Cenno di radiotelefonia . . . . . » 425
» 113 - Cenno di radiogoniometria . . . . . » 428
» 114 - Cenno sui segnali sottomarini . . . . . » 430
» 115 - Cenno di radiocomando . . . . . » 432
» 116 - Appendice . . . . . » 435

CAPITOLO XXII

Par. 117 - Norme generali per il funzionamento e la manutenzione delle turbine . . . . . *Pag.* 437
» 118 - Turbodinamo Thompson - Houston - 150 Kw. - 110 v. . . . » 443
» 119 - Turbodinamo S. T. T. da 150-160 Kw. e 220 Volts . . . . » 463
» 120 - Turbodinamo Tosi da 30 Kw. . . . . » 478

CAPITOLO XXIII

Par. 121 - Generalità . . . . . *Pag.* 483
» 122 - Lavori di rettifica e di manutenzione per i motori in genere . » 483
» 123 - Norme generali per la condotta dei motori a combustione . . » 493
» 124 - Gruppo elettrogeno da 150 Kw. - 220 V. con motore Ansaldo . . » 500

Par. 125 Motore Diesel Tosi senza compressore tipo A da 50 HP. . . *Pag.* 510
» 126 Gruppo elettrogeno da 18 Kw. - 115 V. - 550 giri con motore a testa calda - S. Giorgio . . . . . » 516
» 127 Motore a testa calda Muzzi da 7 HP. . . . . » 527

CAPITOLO XXIV

Par. 128 Messa in moto e funzionamento della dinamo . . . . *Pag.* 539
» 129 Manutenzione ordinaria . . . . . » 540
» 130 Collegamento in parallelo . . . . . » 542
» 131 Avarie principali della dinamo . . . . . » 544
» 132 Tabelle riassuntive . . . . . » 550
» 133 Lavori di riparazione delle dinamo . . . . . » 552

CAPITOLO XXV

Par. 134 Utilizzazione delle pile a bordo . . . . . *Pag.* 554
» 135 Utilizzazione degli accumulatori a bordo . . . . . » 557
» 136 Norme per l'esercizio degli accumulatori al piombo . . . » 557
» 137 Accumulatori Edison al ferro - nichel . . . . . » 565
» 138 Norme per l'esercizio degli accumulatori al ferro - nichel . . » 566
» 139 Assegnazione alle R. Navi delle lampade portatili ad accumulatori e relativi accessori . . . . . » 573

CAPITOLO XXVI

Par. 140 Influenza della temperatura sulla capacità degli accumulatori . *Pag.* 575
» 141 Scarica . . . . . » 580
» 142 Carica . . . . . » 581
» 143 Sovraccarica . . . . . » 584
» 144 Manutenzione e trattamento della batteria . . . . . » 586
» 145 Deficienze degli accumulatori . . . . . » 591

CAPITOLO XXVII

Par. 146 — Generalità sull'impiego dell'elettricità a bordo delle navi da guerra *Pag.* 597
» 147 — Generalità sugli impianti elettrici delle navi tipo « Duilio » - « Ancona » - « Trento » - « Pancaldo » . . . . . » 599
» 148 — Accessori degli impianti . . . . . » 606
» 149 — Condotta pratica delle canalizzazioni elettriche . . . . » 616

CAPITOLO XXVIII

Par. 150 — Sistemazione ed esercizio degli apparecchi di illuminazione . . *Pag.* 627
» 151 — Sistemazione e funzionamento dei proiettori . . . . . » 637

CAPITOLO XXIX

Par. 152 — Generalità . . . . . *Pag.* 643
» 153 — Sistemazione dei motori . . . . . » 644
» 154 — Messa in moto dei motori — Resistenza d'avviamento . . . » 646
» 155 — Particolari dispositivi per i grossi motori a bordo . . . » 646
» 156 — Trasformatore rotante . . . . . » 649
» 157 — Convertitori rotanti per proiettori . . . . . » 651
» 158 — Manovra elettrica per il brandeggio dei tubi di lancio . . . » 655
» 159 — Condotta dei motori . . . . . » 660

CAPITOLO XXX

Par. 160 — Suonerie elettriche . . . . . *Pag.* 663
» 161 — Contagiri elettrici . . . . . » 668
» 162 — Telegrafi a macchina . . . . . » 676

CAPITOLO XXXI

OZONIZZAZIONE DELL'ACQUA POTABILE *Pag.* 681

CAPITOLO XXXII

Par. 163 — Generalità sull'impiego dei telefoni a bordo . . . . . *Pag.* 683
» 164 — Cenno sulle centrali telefoniche automatiche . . . . . » 685

CAPITOLO XXXIII

Par. 165 — Circuiti di sparo . . . . . *Pag.* 715
» 166 — Cenni sugli impianti per la direzione del tiro . . . . » 720

BIBLIOGRAFIA . . . . . » 743

INDICE DELLE TABELLE

Tabella	1	Resistenza specifica e coefficiente di temperatura	*Pag.*	19
»	2	Resistenza per reostati di costantana, nichelina e reotano in fili	»	40
»	3	Resistenza di argentana e ferro in fili	»	41
»	4	Resistenza kruppina in fili	»	42
»	5	Resistenza dei nastri di ferro, argentana, nichelina . . .	»	43
»	6	Resistenza di nikrome	»	44
»	7	Resistenza specifica in ohm — cm. delle soluzioni acquose di alcuni sali a 18° C.	»	45
»	8	Conducibilità relativa di alcuni metalli rispetto alla conducibilità dell'argento presa come 100, e del mercurio presa come 1 . .	»	52
»	9	Peso e resistenza dei fili di rame puro a 0°	»	53
»	10	Resistenza in ohm per Km. a 15° e carico di rottura in Kg. dei fili di rame duro di conduttività del 96 %	»	54
»	11	Idem per fili di rame dolce di conduttività del 98 % . . .	»	55
»	12	Corde di rame, peso specifico 8.9	»	56
»	13	Fili di ferro dolce peso specifico 7.7	»	57
»	14	Fili di bronzo per telefoni e telegrafi	»	57
»	15	Piombi fusibili	»	67
»	16	Fusibili in rame	»	67
»	17	Nicromo	»	70
»	18	Argentana	»	70
»	19	Dielettrici	»	89
»	20	Elementi	»	94
»	21	Valori delle correnti alternate ad intervalli di tempo uguali . .	»	153

PREMESSA

L' Elettricità

L'elettricità è un fenomeno naturale che si rivela ai nostri sensi per mezzo di manifestazioni fisiologiche (scossa elettrica), meccaniche (attrazioni, repulsioni, rotazioni), calorifiche (riscaldamento di corpi percorsi da correnti elettriche), luminose (scariche elettriche, arco voltaico, lampadine elettriche), chimiche (galvanoplastica), magnetiche (elettrocalamite). Poichè a ciascuna di queste manifestazioni corrispondono numerosissime applicazioni pratiche in ogni campo dell'attività umana, esiste una scienza, detta appunto Elettrofisica, la quale si propone lo studio di tutti i fenomeni elettrici e delle leggi che li regolano, nonchè dei mezzi atti a permetterne lo sfruttamento pratico.

Mentre è stato possibile all'Elettrofisica stabilire il modo di prodursi di ogni singolo fenomeno elettrico conosciuto, per quanto riguarda la causa prima da cui derivano, cioè l'elettricità, ci si deve accontentare di ipotesi, ossia di supposizioni, con le quali si tenta di spiegarcene l'essenza in maniera che non contrasti con i fenomeni stessi. A questo proposito è opportuno notare come in molti altri campi oltre in quello dell'elettricità, la scienza debba procedere per semplici supposizioni o ipotesi quando si tratti di stabilire la causa, l'origine intima di un fenomeno naturale; così noi sappiamo come si propagano i raggi luminosi ed a quali leggi obbediscono, ma non sappiamo con certezza cosa sia la luce, e lo stesso può dirsi per il calore, per la gravitazione universale, ecc.

Di queste ipotesi, dette anche teorie, sull'elettricità ne sono state enunciate parecchie, ma col progredire della scienza molte di esse si sono dimostrate inverosimili perchè contrastanti con nuovi fenomeni elettrici scoperti e studiati.

Cercheremo di dare un'idea molto sommaria della teoria elettronica che è la più recente e la più accreditata, per passare quindi allo studio dei vari fenomeni elettrici che rappresenta lo scopo, essenzialmente pratico, di queste lezioni.

Secondo la teoria elettronica sulla origine dell'elettricità bisogna ammettere che le particelle infinitamente piccole che costituiscono la materia, alle quali la chimica dà il nome di *atomi* e *molecole*, siano a loro volta costituite da nuclei centrali che diremo positivi, attorno ai quali si muoverebbero con velocità altissima elementi ancora più piccoli chiamati *elettroni* e che diremo negativi (fig. 1).

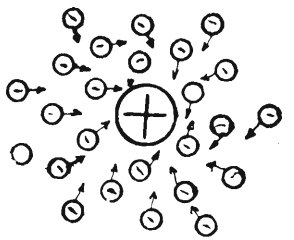


Fig. 1.

In ogni nucleo sarebbe concentrata una infinitesima *quantità di elettricità* positiva o *carica positiva* (+) e nel gruppo di elettroni circostanti una uguale *quantità di elettricità* negativa o *carica negativa* (—). Tra le cariche dello stesso nome si svilupperebbe una reciproca azione repulsiva, vale a dire ogni elettrone tenderebbe ad allontanarsi dagli altri elettroni ed ogni nucleo tenderebbe ad allontanarsi dagli altri nuclei; mentre fra le cariche di nome contrario si svilupperebbero azioni attrattive ossia tutti gli elettroni tenderebbero ad avvicinarsi al nucleo.

In un corpo qualunque non elettrizzato tutte queste forze di attrazione e di repulsione si farebbero equilibrio fra di loro e gli elettroni si muoverebbero attorno ai rispettivi nuclei con moto continuo vibratorio e rotatorio di ampiezza proporzionale alla temperatura del corpo.

Gli elettroni potrebbero divenire liberi, ossia sottrarsi all'azione attrattiva dei nuclei cui appartengono, se sospinti da una forza esterna, a muoversi tutti in una stessa direzione.

La forza che obbligherebbe gli elettroni ad allontanarsi dai rispettivi nuclei, chiamasi forza elettromotrice, ed è una forza che può essere creata in vari modi che verranno in seguito studiati.

L'insieme degli elettroni che si muovono tutti in una stessa direzione formerebbe ciò che si chiama corrente elettrica.

Gli elettroni liberi muovendosi trasportano con loro le rispettive cariche negative; ne consegue che nel punto al quale gli elettroni si allontanano si avrà una preponderanza di cariche positive ossia una elettrizzazione positiva, mentre nel punto al quale gli elettroni affluiscono si avrà una preponderanza di cariche negative, ossia una elettrizzazione negativa. Possiamo dire dunque

che la direzione della corrente elettronica è dai punti dei corpi elettrizzati positivamente verso i punti elettrizzati negativamente.

Lo studio dei fenomeni elettrici viene generalmente suddiviso in due parti principali e cioè studio dei fenomeni elettrici che avvengono nei corpi nei quali sono condensate cariche elettriche ferme ed isolate, e studio dei fenomeni elettrici che avvengono nei corpi attraversati da cariche elettriche in movimento, trasportate da un flusso di elettroni costituente ciò che abbiamo chiamata *corrente elettrica*.

La prima parte viene chiamata *elettrostatica* e gli argomenti ad essa inerenti di interesse pratico formeranno oggetto di un capitolo a parte che studieremo più avanti; la seconda parte, per i nostri scopi di gran lunga più importante, vien chiamata *elettrodinamica*.

Passiamo dunque allo studio dei vari fenomeni prodotti dalla corrente elettrica, ripetendo, per maggior chiarezza, alcune definizioni già date.

CAPITOLO I.

Corrente elettrica

§ 1 — Corrente elettrica — Potenziale — Forza elettromotrice

Si abbiano (fig. 2), due recipienti A e B contenenti un liquido qualsiasi e comunicanti fra di loro per mezzo di un tubo di gomma t, sappiamo dalla fisica che per la nota proprietà dei vasi comunicanti, qualunque sia la posizione nella quale porremo i due recipienti, in essi il liquido tenderà ad assumere lo stesso livello.

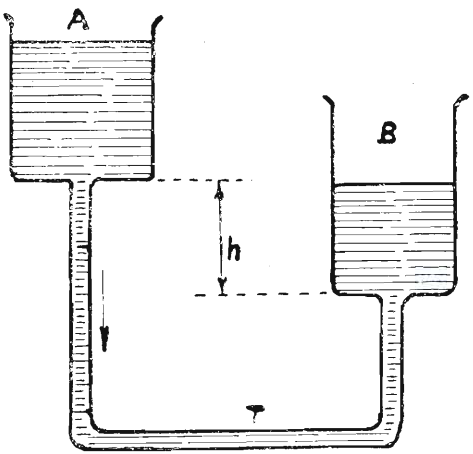


Fig. 2.

Così, per esempio, innalzando il recipiente A al di sopra del recipiente B, di un certo tratto h, vedremo il liquido passare dal primo al secondo attraverso il tubo t finchè in ambedue i recipienti non avrà raggiunto nuovamente lo stesso livello.

La differenza di livello o dislivello idraulico prodotto fra i due recipienti sollevando *A* di un tratto al disopra di *B*, ha provocato una corrente di liquido da *A* verso *B*; ed è facile verificare che tale corrente di liquido è tanto più intensa e rapida, quanto maggiore è il dislivello *h* fra i due recipienti.

Fra due corpi elettrizzati differentemente avviene qualche cosa di analogo a tutto questo, vale a dire mettendoli in comunicazione tra di loro, per mezzo di un corpo adatto, a causa del *dislivello elettrico* esistente si forma una corrente di cariche elettriche, o *corrente elettrica*, in virtù della quale il dislivello scompare mentre i due corpi assumono lo stesso *livello elettrico*.

Anche in questo caso la corrente elettrica sarà tanto più intensa quanto maggiore sarà il *dislivello elettrico* fra i due corpi e sarà diretta dal corpo a livello elettrico più alto verso quello a livello elettrico più basso. Il livello elettrico di un corpo chiamasi *potenziale elettrico* e *differenza di potenziale* chiamasi invece il dislivello elettrico esistente fra i due corpi aventi potenziali diversi.

Come nel caso dei recipienti comunicanti occorreva l'intervento di una forza esterna per creare il dislivello h, ed era precisamente la forza necessaria per sollevare il recipiente A di un tratto h al disopra del recipiente B, così per creare una differenza di potenziale occorre l'intervento di una forza che si indica col nome di *forza elettromotrice*.

Possiamo dunque dire che la forza elettromotrice (f.e.m.) è la causa che crea la differenza di potenziale fra due corpi; la differenza di potenziale a sua volta provoca il passaggio di una corrente elettrica dal corpo a potenziale maggiore verso il corpo a potenziale minore, qualora però essi siano messi in comunicazione per mezzo di un *conduttore*. Si chiamano conduttori quei corpi che sono facilmente attraversati dalla corrente elettrica mentre gli altri, attraverso i quali il passaggio di cariche elettriche non è possibile si chiamano *isolanti* o *coibenti*.

Sia (fig. 3) P una pompa azionata, per esempio, da un motore a vapore, la quale aspiri l'acqua da un pozzo A per mandarla nel serbatoio S dal quale un tubo t la conduca ad agire sopra la ruota a palette R, un secondo tubo t' riporti infine l'acqua nel pozzo A. L'energia della macchina a vapore innalza il livello dell'acqua per mezzo della pompa, l'acqua a sua volta circolando attraverso i tuti t e t' dal livello più alto al livello più basso mette in movimento la ruota R la quale può servire, ad esempio, ad azionare un mulino. In conclusione l'energia meccanica della macchina a vapore si trasforma successivamente in energia potenziale, in energia idraulica, ed infine nuovamente in energia meccanica.

La energia potenziale è accumulata nell'acqua mandata nel serbatoio S, la energia idraulica è immagazzinata nell'acqua in movimento che, a sua volta, per mezzo della ruota R, la trasforma nuovamente in energia mecca-

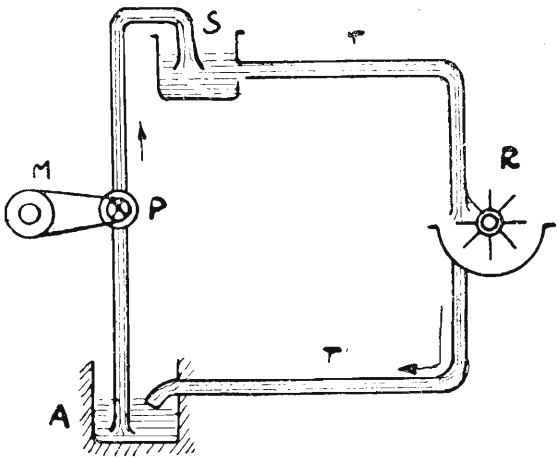


Fig. 3.

nica. Il generatore di potenza idraulica dunque è la pompa che crea il dislivello idraulico il quale a sua volta crea la corrente d'acqua. La ruota R che utilizza la corrente d'acqua per trasformarla in energia meccanica dicesi *ricevitore* od *utente*.

L'acqua dunque non è energia idraulica ma è il mezzo adatto a trasmetterla. Similmente nello schema della fig. 4, G è un generatore di energia

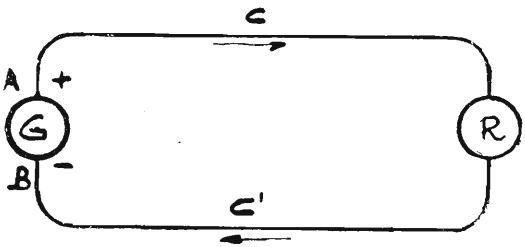


Fig. 4.

elettrica ossia un apparecchio capace di trasformare un'altra specie di energia (meccanica, chimica, termica) in energia elettrica, ed esso crea una f.e.m. che a sua volta stabilisce una certa differenza di potenziale fra i punti A e B obbligando l'elettricità a muoversi lungo i conduttori c c' nel senso indicato dalla freccia; si stabilisce dunque una corrente elettrica la quale parte

dal punto A, percorre il conduttore c, attraversa il ricevitore od utente R e ritorna a G nel punto B percorrendo il conduttore c'.

Il passaggio della corrente elettrica attraverso il ricevitore R determina la trasformazione della energia elettrica immagazzinata nell'elettricità in movimento in un'altra forma di energia (meccanica, termica, luminosa, chimica) che potremo sfruttare per i nostri scopi pratici (locomozione, riscaldamento, illuminazione, ecc.).

§ 2 — Circuito elettrico — Poli — Direzione della corrente

Abbiamo visto nell'esempio della fig. 3 che l'elettricità messa in movimento dalla differenza di potenziale stabilita tra i punti A e B della f.e.m. creata dal generatore G percorre il conduttore c passa attraverso il ricevitore R ed attraverso il conduttore c' ritorna al generatore nel punto D.

La linea chiusa generatore - conduttore c - ricevitore - conduttore c' - generatore chiamasi *circuito elettrico* ed in esso si distingue il tratto A - conduttore c - ricevitore - conduttore c' B col nome di *circuito esterno* mentre il tratto B e A nell'interno del generatore si indica col nome di *circuito interno*.

I punti A e B del generatore si chiamano *poli* e precisamente il punto A dal quale l'elettricità parte verso il circuito esterno si distingue col nome di *polo positivo* e si indica col segno (+) mentre il punto B al quale l'elettricità ritorna dopo aver percorso il circuito esterno si distingue col nome di *polo negativo* e si indica col segno (—).

Perchè la corrente elettrica possa circolare è necessario che generatore, utente e conduttori che li collegano formino una linea chiusa, ossia senza interruzioni, ed in tal caso si dice appunto che *il circuito è chiuso;* se invece vogliamo che la corrente cessi di circolare dobbiamo produrre una interruzione ed in tal caso si dice che *il circuito è aperto* o *interrotto*.

La chiusura e l'apertura dei circuiti si fa mediante i cosidetti *interruttori* di cui studieremo in seguito i vari tipi.

Dalle definizioni date risulta che la corrente elettrica ha nel circuito esterno la direzione dal polo positivo (+) al polo negativo (—) e nel circuito interno, ossia nel generatore, dal polo negativo (—) al polo positivo (+) (1).

(1) La direzione della corrente così stabilita è puramente convenzionale poichè secondo la teoria elettronica già enunciata il movimento delle cariche negative trasportate dagli elettroni avverrebbe precisamente in direzione opposta, ossia dal polo positivo al polo negativo nel circuito interno e viceversa nel circuito esterno.

Nella pratica però questa convenzione è ancora universalmente accettata, vale a dire si considera la corrente elettrica come un movimento di cariche positive nella direzione suddetta.

Anche nel ricevitore R si chiamano *poli* i punti nei quali l'elettricità entra ed esce, e precisamente si chiama polo positivo il punto A' collegato col polo positivo del generatore; e polo negativo il punto B' collegato col polo negativo del ricevitore; si vede che nel caso del ricevitore, contrariamente a quello del generatore il polo positivo è quello nel quale la corrente entra, ed il polo negativo è quello dal quale la corrente esce.

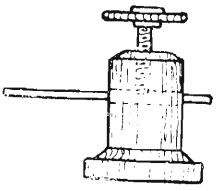


Fig. 5.

Poichè in genere, come vedremo in seguito, i conduttori sono costituiti da fili metallici, per facilitare gli attacchi i poli dei generatori e degli utenti sono generalmente muniti di *morsetti* o *serrafili* simili a quello indicato in fig. 5; nel foro f viene introdotta l'estremità del conduttore che servirà a collegare i poli del generatore e dell'utente e la vite di pressione V la blocca in tale posizione.

§ 3 — Correnti costanti e variabili Corrente continua e alternata

Abbiamo già visto che una corrente elettrica è tanto più intensa quanto maggiore è la differenza di potenziale e quindi la f.e.m. che la crea; inoltre anche la direzione della corrente dipende dalla differenza di potenziale fra i poli del generatore poichè essa va nel circuito esterno dal polo positivo al polo negativo e viceversa nel circuito interno, ed il polo positivo è appunto quello che in virtù della f.e.m. trovasi ad un potenziale elettrico più alto di quello del polo negativo.

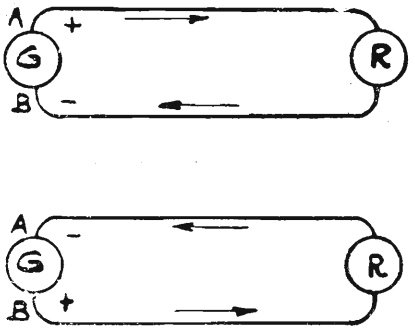


Fig. 6.

In conclusione possiamo dire che se fra i poli A e B di un generatore (fig. 6) la f.e.m. stabilisce una differenza di potenziale in un determinato senso, per esempio da A (+) a B (—), la corrente circola nel senso indicato

dalle freccie, se invece la f.e.m. è opposta alla precedente ossia stabilisce una differenza di potenziale fra A e B in senso inverso A (—), B (+), anche la corrente nel circuito si inverte.

Se poi il valore della f.e.m. cresce o diminuisce anche il valore o intensità della corrente cresce o diminuisce in proporzione.

Come vedremo più avanti esistono dei tipi di generatori nei quali la f.e.m. ha un valore costante e diretto sempre nello stesso senso, ed esistono altri tipi di generatori nei quali invece la f.e.m. è periodicamente variabile in valore e in senso.

Da quanto abbiamo già detto risulta evidente che questi due tipi di generatori saranno capaci di far circolare in un circuito esterno ad essi collegato due diverse specie di correnti elettriche e precisamente nel primo caso la corrente che avrà sempre un valore ed una direzione costanti chiamasi *corrente continua*, nel secondo caso la corrente subirà le stesse variazioni della f.e.m. che la genera e si distingue col nome di *corrente alternata*.

Ricorrendo ancora ad un esempio idraulico possiamo paragonare i due tipi di corrente elettrica ai due tipi di corrente d'acqua che si stabiliscono nei due schemi della fig. 7. Nel primo caso P è una pompa centrifuga a getto

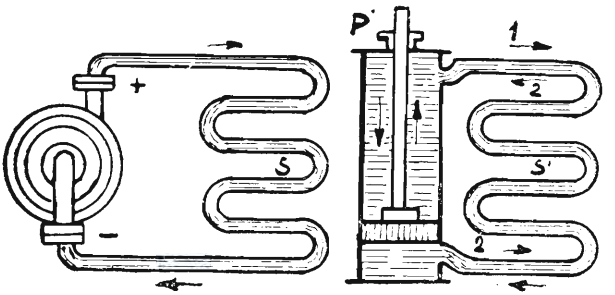


Fig. 7.

continuo che obbliga l'acqua a circolare nella serpentina S costantemente nella direzione indicata dalla freccia, mentre nel secondo caso la pompa a stantuffo P' obbliga l'acqua a circolare nella serpentina S' alternativamente nel senso della freccia 1 e nel senso inverso della freccia 2, e secondo che lo stantuffo si muove verso l'alto o verso il basso.

I due tipi di corrente continua ed alternata, sono quelli che cerchiamo di produrre con i diversi generatori esistenti, perchè meglio si prestano all'utilizzazione pratica, ma in certi casi, che studieremo in seguito, si possono avere anche correnti variabili che non appartengono nè all'uno nè all'altro di questi due tipi.

§ 4 — Unità di potenziale e di f. e. m., di quantità di elettricità, di corrente elettrica

Abbiamo già definita la f.e.m. come la causa che sollecita il movimento delle cariche elettriche; la differenza di potenziale che si viene a stabilire fra i poli del generatore è la conseguenza diretta di questa causa.

Supponiamo adesso di avere un corpo C del peso di 3 Kg. poggiato sopra un piano (fig. 8), e immaginiamo di sospenderlo di un certo tratto *h* dal piano, esercitando un certo sforzo sul filo al quale esso è attaccato.

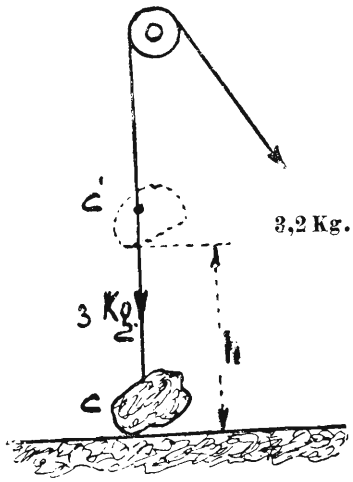


Fig. 8.

Sappiamo che lo sforzo che dovremo esercitare sul filo F sarà un poco superiore a 3 Kg. poichè dovremo vincere, oltre il peso del corpo C, anche l'attrito della carrucola; supponiamo quindi che lo sforzo debba essere di 3,2 Kg. Se si lasciasse poi cadere il corpo C dall'altezza h, esso nel giungere sul piano potrebbe comprimere un altro corpo — o compiere comunque un lavoro.

Ciò chiaramente dimostra che alzando il corpo C, noi abbiamo a quello conferito una certa energia, che è rigorosamente dipendente dalla sua posizione, e che per questo chiamasi « Energia potenziale ».

Il lavoro da noi compiuto e l'energia potenziale di conseguenza accumulatasi nel corpo C sono dunque grandezze della stessa specie, pur non essendo uguali, e si misurano con le stesse unità di misura.

Anche la f.e.m. in un generatore elettrico e la differenza di potenziale ai suoi poli, sono grandezze della stessa specie, pur non essendo uguali (1) e si misurano colla stessa unità di misura che è il Volt (da *Volta*, il celebre fisico italiano inventore della pila elettrica).

Volendo ricorrere ancora ad un esempio idraulico, possiamo dire che la differenza di potenziale fra i poli di un generatore equivale all'altezza di una cascata d'acqua. Ma, come per definire una cascata d'acqua, non basta conoscerne l'altezza, ma occorre anche conoscerne la *portata* o quantità di acqua che cade nell'unità di tempo, così, nel caso dell'elettricità non basta conoscere la differenza di potenziale esistente ai poli di un generatore, ma occorre anche conoscere la portata elettrica o *intensità* della corrente elettrica, corrispondente alla *quantità di elettricità* che passa nell'unità di tempo attraverso una sezione del circuito.

Naturalmente si può parlare di intensità della corrente elettrica soltanto quando la corrente elettrica esista, ossia quando il circuito elettrico sia chiuso attraverso una catena di corpi conduttori dell'elettricità.

Se invece il circuito elettrico è aperto, potremo, oppure no, avere fra i poli di un generatore una certa differenza di potenziale a seconda che il generatore è in moto oppure è fermo, ma non potremo avere passaggio di corrente elettrica: nel qual caso si dice che l'intensità è zero.

Analogamente nel caso di una cascata, se mediante una diga sbarriamo il passaggio all'acqua questa non potrà più cadere, ma avrà sempre immagazzinata in sè una certa energia potenziale, la quale potrà dar luogo ad una corrente d'acqua ogni qualvolta aprendo le feritoie della diga, lasceremo libero il passaggio all'acqua.

La quantità d'acqua si misura in Kg. e la portata si misura in Kg. al secondo: così se da un'altezza di 100 metri precipitano in 20 secondi 2000 Kg. d'acqua, noi diciamo che la portata della cascata è di $\frac{2000}{20} = 100$ Kg. al secondo.

Sappiamo inoltre che la potenza della cascata è data da:

altezza × portata, ossia da: 100 Kg. × 100 metri = 10.000 Kilogrammetri al secondo.

La quantità di elettricità si misura in *Coulomb*, l'intensità della corrente in *ampère* (v. cap. XI).

---

(1) Vedremo in seguito per quali ragioni anche la f.e.m. in un generatore è sempre maggiore della differenza di potenziale ai poli del generatore stesso.

Se, per esempio, nel circuito della fig. 9 attraversato da corrente elettrica, passano ogni 20 secondi 2000 Coulomb di elettricità, possiamo dire che l'intensità di corrente nel circuito è di $\frac{2000}{20} = 100$ Coulomb al secondo, ossia di 100 ampère.

Abbiamo parlato di intensità di corrente nel circuito senza specificare in qual punto di esso poichè è intuitivo che *l'intensità di corrente che circola è la stessa attraverso a tutte le sezioni del circuito stesso*; infatti se così non fosse, l'elettricità dovrebbe crearsi o distruggersi in qualcuna di queste sezioni, il che è assurdo.

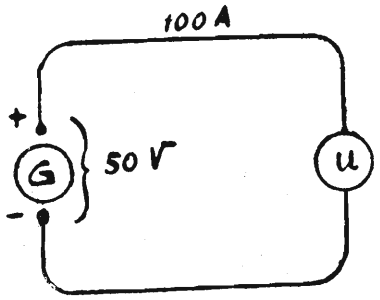


Fig. 9.

Diremo qui incidentalmente, salvo a ritornare più avanti sull'argomento, che anche nel caso del circuito elettrico la potenza si trova, come nel caso della cascata d'acqua, moltiplicando la differenza di potenziale ai poli del generatore per l'intensità della corrente che circola nel circuito. Questa potenza elettrica si misura in *Watt*, essendo il *Watt la potenza assorbita da un circuito nel quale circoli la corrente di un ampère per effetto di una differenza di potenziale di un volt applicata ai suoi estremi.*

Nel caso della figura 9 abbiamo supposto che la differenza di potenziale ai poli del generatore sia di 50 Volt (1) ed avremo quindi che la potenza elettrica sarà da 50 V × 100 A = 5000 Watt.

Le unità di misura, Volt, Coulomb, Ampère sono *unità pratiche* e furono definite dal congresso di Chicago nel 1901 derivandole da altre unità

(1) Nella pratica corrente per Ampère, Volt, Watt si usano rispettivamente (A) (V) e (W); si usa inoltre dire voltaggio o tensione per differenza di potenziale, e amperaggio per intensità di corrente.

di misura dette assolute ricavate a loro volta dal *sistema assoluto di misura C. G. S.* (centimetro grammo-secondo).

Avviene talvolta che le unità di misura pratiche impiegate per misurare alcune grandezze elettriche risultino o troppo grandi o troppo piccole, obbligando ad adottare cifre ingombranti con troppi zeri; si usano perciò per ogni unità dei multipli e sottomultipli, ottenuti aggiungendo opportuni prefissi ai nomi delle unità.

Un decimo, un centesimo, un millesimo, un milionesimo, si indicano rispettivamente con i prefissi, deci, centi, milli, micro; cento, mille, un milione di volte si indicano rispettivamente con etto, kilo, mega.

Ad esempio, 1000 Volt corrispondono ad 1 kilovolt: l'uso di questi prefissi è esteso anche ad altre unità elettriche di cui parleremo più avanti.

CAPITOLO II.

Trasmissione della corrente elettrica

§ 5 — Classificazione dei corpi secondo la loro facoltà di trasmettere l'elettricità

Abbiamo già accennato nel Capitolo I, alla distinzione fra corpi *Conduttori* ed *isolanti*; riprendiamo ora l'argomento per studiare più completamente il modo di comportarsi dei vari corpi esistenti in natura nei riguardi della trasmissione dell'elettricità.

La suddivisione dei corpi nelle due categorie di *conduttori* ed *isolanti* non è scientificamente esatta, poichè non esistono in natura corpi *perfettamente conduttori* o *perfettamente isolanti*, e la facoltà di trasmettere l'elettricità è posseduta in grado variabilissimo dalle diverse sostanze; è quindi più logico parlare di corpi *buoni conduttori* e corpi *cattivi conduttori* dell'elettricità

Le varie sostanze però si differenziano fra di loro anche per il fatto che in alcune di esse il passaggio dell'elettricità determina una alterazione dell'assetto molecolare, ossia una particolare disposizione, diversa dalla normale, delle infinitesime particelle chiamate molecole ed atomi che costituiscono la materia.

In base a queste considerazioni si distinguono i corpi in tre classi:

1. - Corpi che si lasciano attraversare con relativa facilità dalla corrente elettrica senza subire alcuna modificazione molecolare; a questa classe appartengono tutti i metalli, qualche composto metallico e qualche altro corpo fra cui il carbone.

In tutti i conduttori della prima classe la facilità di lasciare passare la corrente elettrica diminuisce con l'aumentare della temperatura, ad eccezione del carbone per il quale avviene il contrario.

2. - Corpi che si lasciano attraversare dalla corrente elettrica subendo però una profonda modificazione molecolare dovuta al fenomeno di *elettrolisi* di cui parleremo più avanti; appartengono a questa classe le soluzioni di sali, basi ed acidi diversi chiamate *elettroliti*.

Nei conduttori della seconda classe la facilità di lasciar passare la corrente elettrica aumenta con l'aumentare della temperatura.

3. - Corpi che si lasciano attraversare dalla elettricità in quantità ordinariamente trascurabile; questi corpi si distinguono col nome di *coibenti* od *isolanti* o *dielettrici*.

Sono corpi isolanti, ad esempio, il vetro, la porcellana, le resine, la paraffina, il petrolio, l'olio di vasellina, ecc.

Nella pratica corrente parlando di conduttori si intende sempre alludere ai corpi della prima classe e principalmente ai metalli con i quali generalmente si costituiscono i vari tratti dei circuiti elettrici; i coibenti invece si usano per proteggere i conduttori e impedire la dispersione della corrente elettrica che vi circola.

Esistono inoltre dei corpi chiamati *semiconduttori* i quali si lasciano parzialmente attraversare dalla corrente elettrica, specialmente se posti in particolari condizioni, quali ad esempio, il legno e la terra umidi, l'aria rarefatta, ecc.

§ 6 — **Resistenza elettrica**

Riprendiamo in esame lo schema idraulico della fig. 2 (pag. 5) affinchè il liquido possa muoversi dal recipiente A verso il recipiente B per raggiungere un certo livello uguale in ambedue, è necessario che i due recipienti siano posti in comunicazione fra di loro per mezzo del tubo t.

Sappiamo dalla pratica che le caratteristiche fisiche del tubo t influiscono direttamente sulla maggiore o minore facilità di movimento del liquido attraverso di esso.

Se infatti il tubo è di sezione molto piccola il liquido stenterà a passare e ci vorrà molto tempo perchè l'uguaglianza fra i due livelli venga raggiunta; possiamo insomma dire che attraverso il tubo passerà una debole corrente di liquido.

Inoltre avrà grande importanza lo stato della superficie interna del tubo, la quale più sarà liscia e levigata e minore attrito opporrà allo scorrimento del liquido.

Infine a parità di sezione e di levigatezza delle pareti interne, un tubo più lungo si lascerà attraversare da una corrente d'acqua più debole di quella che potrà attraversare un tubo più corto, perchè nel primo il liquido dovrà più a lungo vincere l'attrito delle superficie interna.

Possiamo dunque dire che la corrente d'acqua sarà tanto più forte quanto più il tubo sarà largo, corto, e levigato sulla superficie interna.

Abbiamo visto nel paragrafo precedente come in misura più o meno grande tutti i corpi si lascino attraversare dall'elettricità; tutti però offrono al passaggio della corrente elettrica un certo impedimento, analogamente a quello che avviene per un liquido che scorra in un tubo. Questo impedimento si chiama *resistenza elettrica* R e dipende, per un dato conduttore, dalla natura della sostanza con la quale è costituito e dalle sue dimensioni (lunghezza e area della sezione).

I buoni conduttori presentano al passaggio della corrente elettrica una resistenza minima mentre i cattivi conduttori offrono una resistenza massima.

L'unità di misura della resistenza elettrica è l'*ohm* (Ω) definito dal Congresso di Chicago (1893) come *la resistenza elettrica alla temperatura di 0° di una colonna di mercurio della sezione costante di 1 mm.*^{2} *e dell'altezza di cm. 106.*

Chiamasi *resistenza specifica* o resistività (ρ) di una data sostanza, la resistenza offerta al passaggio della corrente elettrica da un conduttore cilindrico della stessa sostanza, lungo 1 cm. ed avente una sezione di un cm^2.

La resistività varia da sostanza a sostanza e varia anche col variare della temperatura.

L'inverso della resistenza $C = \frac{I}{R}$ si chiama *conducenza* ed analogamente l'inverso della resistività $c = \frac{1}{\rho}$ si chiama *conducenza specifica* o *conduttività.*

La conducenza può definirsi come la facilità per un dato conduttore di lasciarsi attraversare dalla corrente elettrica e la conduttività la stessa cosa riferita ad un conduttore cilindrico lungo 1 cm. ed avente una sezione di 1 cm^2.

La pratica ha dimostrato che la resistenza di un conduttore aumenta col diminuire della sezione e con l'aumentare della lunghezza, similmente a quanto avviene nell'esempio idraulico già citato.

Nel caso però dei conduttori elettrici il terzo elemento da considerare per definire la resistenza è la natura della sostanza dalla quale è ricavato il conduttore, poichè, come abbiamo già detto, da questa dipende il valore della resistività.

In definitiva si esprime tutto ciò con la formula:

$$R = \rho \frac{l}{s} \qquad (1)$$

nella quale R è la resistenza in ohm, ρ la resistività pure in ohm, l ed s, rispettivamente la lunghezza del conduttore in centimetri e l'area della sua sezione in cm^2.

Questa formula ci permette di calcolare la resistenza offerta da un conduttore filiforme a sezione costante del quale si conoscano la resistività e le dimensioni (lunghezza e area della sezione); la resistività della sostanza con la quale è costruito il conduttore si ricava da apposite tabelle calcolate sperimentalmente (vedi tabella num. 1 a pagina 19).

Più frequentemente invece di ρ si assume nella pratica, come valore della resistività di una data sostanza, la resistenza K offerta al passaggio della corrente elettrica da un conduttore cilindrico della stessa sostanza lungo un metro ed avente una sezione costante di 1 mm^2.

In conseguenza la formula (1) diventa:

$$R \text{ (ohm)} = K \text{ (ohm)} \frac{1 \text{ metri}}{s \text{ mm}^2}$$

ed è evidentemente $K = 10.000\ \rho$

La formula si presta a calcolare anche uno qualunque dei quattro elementi R, K, l, s, quando si conoscano gli altri tre. (Vedi applicazioni numeriche nell'appendice).

TABELLA I

Resistenza specifica e coefficiente di temperatura

MATERIE	K a 15°	α
Acciaio	0,184	0,0039
Alluminio	0,028	0,0041
Argentana	0,314	0,00036
Argento	0,016	0,0037
Costantana	0,50	0
Ferro	0,10	0,0048
Kruppina	0,848	0,0007
Manganina	0,467	0
Mercurio	0,94	0,007
Nichel	0,85	0,005
Nichel-cromo	0,98	—
Nichelina	0,48	0,00024
Oro	0,022	0,003
Ottone	0,071	0,0017
Pakfong	0,2	—
Piombo	0,207	0,0038
Platino	0,247	0,00037
Rame	0,0175	0,0038
Reotano	0,526	0,00041
Stagno	0,127	—
Zinco	0,06	0,0037
Maillechort	0,40	0,003
Carbone	1÷10	0,0003
Filamento lamp. carbone	0,4	0,0004
Grafite	11,4	0,0009
Ohmnite	1,3	—
Nichel-cromo	0,9	—
Tantalio	0,16	0,003
Ferro-nichel	0,78	0,009

§ 7 — Influenza della temperatura sulla resistenza

Abbiamo già accennato, parlando del modo di comportarsi dei vari corpi nei riguardi della trasmissione dell'elettricità, all'influenza della temperatura sulla resistenza elettrica.

Come già dicemmo, in generale nei corpi conduttori eccettuato il carbone, la resistenza aumenta con l'aumentare della temperatura.

Poichè, come studieremo più avanti, uno degli effetti della corrente elettrica è appunto quello di riscaldare i conduttori che attraversa, è evidente la necessità di conoscere in quale misura e secondo quale legge avvengano le variazioni di resistenza causate nei conduttori elettrici dalle variazioni della temperatura.

Le esperienze eseguite a tale scopo hanno permesso di calcolare per ogni sostanza il *coefficiente di temperatura* α ossia l'aumento di resistenza, per ogni ohm di resistenza iniziale, in un dato conduttore la cui temperatura venga innalzata di un grado.

Se, quindi, la resistenza di un dato conduttore ad una data temperatura è R, innalzando di un grado la temperatura avremo un aumento di resistenza pari a $R \times \alpha$; se l'aumento della temperatura sarà non di un grado ma di t gradi, l'aumento di resistenza sarà $R \times \alpha \times t$, e quindi la resistenza totale del conduttore diventerà $R_t = R + R\,\alpha\,t$, dove R_t indica appunto la resistenza del conduttore alla nuova temperatura raggiunta.

L'ultima uguaglianza può anche scriversi:

$$R_t = R\ (1 + \alpha\, t)$$

la quale formula ci permette di calcolare la resistenza che offrirà un conduttore ad una certa temperatura di t gradi superiore alla temperatura alla quale si riferisce R.

La tabella 1 (pag. 19) fornisce i valori di α per le varie sostanze; è da tener presente che essendo i valori di K calcolati alla temperatura di 15°, l'aumento di temperatura dovrà considerarsi soltanto dai 15° in poi.

§ 8 — Legge di Ohm

Parlando della corrente elettrica (§ 1 pagina 5) abbiamo già accennato al concetto che l'intensità di corrente di un circuito è tanto maggiore quanto maggiore è la forza elettromotrice ai poli del circuito stesso, cioè l'*intensità di corrente è proporzionale alla* f.e.m.

Dalla definizione stessa di resistenza elettrica (§ 6) appare invece evidente che essendo la resistenza un impedimento al passaggio della corrente, l'intensità di questa debba essere in un circuito tanto maggiore quanto minore è la resistenza che incontra nel circuito stesso, cioè l'*intensità di corrente è inversamente proporzionale alla resistenza.*

Tutto ciò risulta evidente se si riflette che la f.e.m. è la causa che crea la corrente, e la resistenza è invece un ostacolo che le si oppone.

Riunendo queste due relazioni, possiamo scrivere:

$$\text{intensità di corrente} = B \frac{\text{f. e. m.}}{\text{resistenza}}$$

dove B è un coefficiente che dipende evidentemente dalle unità di misura che si adottano per misurare la corrente, la f.e.m. e la resistenza.

Vedremo in seguito come siano state scelte le unità pratiche di misura per l'intensità di corrente (ampère) e per la f.e.m. (volt); l'unità di resistenza (ohm) è stata scelta appunto in modo da soddisfare alla condizione di rendere il coefficiente B uguale all'unità quando nella formula la f.e.m. e la intensità di corrente siano misurate rispettivamente in volt ed ampère.

In tal caso la formula precedente può quindi essere scritta:

$$I \text{ (ampère)} = \frac{E \text{ (volt)}}{R \text{ (ohm)}}$$

da cui abbiamo anche:

$E = R\,I$, la quale relazione dice che:

La differenza di potenziale fra due punti di un circuito percorso da corrente, è uguale al prodotto dell'intensità per la resistenza del circuito fra i due punti considerati.

Questa legge importantissima che costituisce la base di tutta la teoria della corrente elettrica, fu scoperta dal fisico tedesco *Ohm* e viene perciò detta *Legge di Ohm.*

La stessa legge, considerando la formula $I = \frac{E}{R}$ può esprimersi anche così: *in ogni circuito elettrico l'intensità di corrente è direttamente proporzionale alla* f.e.m. *applicata ed inversamente proporzionale alla resistenza del circuito stesso.*

Infine la formula $E = R\,I$ può anche scriversi: $R = \frac{E}{I}$, cioè *la resistenza di un circuito elettrico è uguale al quoziente della* f.e.m. *applicata divisa per l'intensità della corrente che circola nel circuito considerato.*

Possiamo dunque dire che con le tre formule: $E = R\,I$ (1); $I = \frac{E}{R}$ (2); $R = \frac{E}{I}$ (3): la legge di Ohm ci permette di calcolare una qualunque delle tre caratteristiche di un circuito elettrico purchè si conoscano le altre due.

Le stesse tre formule ci permettono inoltre di definire le tre unità di misura, volt, ampère, ohm, rispettivamente così:

1° - Ponendo $R = 1$, $I = 1$ si ha $E = 1 \times 1$ cioè: *il volt è la f.e.m. che applicata agli estremi di un circuito avente la resistenza di un ohm, vi fa circolare la corrente di un ampère.*

2° - Ponendo $E = 1$, $R = 1$, si ha $I = \frac{1}{1} = 1$ cioè: *l'ampère è l'intensità della corrente che circola in un circuito avente la resistenza di un Ohm, agli estremi del quale venga applicata la* f.e.m. *di un volt.*

3° - Ponendo $E = 1$, $I = 1$, si ha $R = \frac{1}{1} = 1$ cioè: *l'ohm è la resistenza di quel circuito nel quale circola la corrente di un ampère quando ai suoi estremi viene applicata la* f.e.m. *di un volt.*

E' opportuno notare che la legge di Ohm si verifica qualunque siano i punti considerati in un circuito; così, per esempio, nel caso della figura 10 la legge è vera tanto fra i poli P e P' quanto fra due punti qualunque A e B del conduttore formante il circuito esterno.

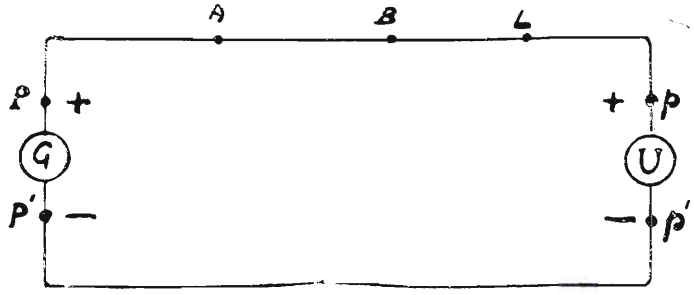


Fig. 10.

Se V è la differenza di potenziale fra i poli P e P' del generatore, R è la resistenza totale di tutto il circuito esterno ed I è la corrente circolante nel circuito, sarà perciò: $V = R\,I$.

Se invece v è la differenza di potenziale fra i due punti A e B, ed r è la resistenza del tratto di conduttore compreso fra i due punti considerati sarà:

$$v = r\,I$$

Osserviamo però che mentre esiste una f.e.m., quella del generatore G, che mantiene la differenza di potenziale V fra i poli P e p' non esiste alcuna f.e.m. fra i punti A e B.

E' necessario quindi stabilire perchè esista la differenza di potenziale v fra A e B; osserviamo anzitutto che se nel circuito non circola corrente, essendo $I = 0$, per la legge di Ohm, sarà anche $v = r \times I = r \times 0 = 0$.

Possiamo dunque affermare che questa differenza di potenziale v è provocata direttamente dal passaggio della corrente.

La stessa cosa non può dirsi della differenza di potenziale V poichè se non circola corrente nel circuito, ad esempio perchè l'interruttore L è aperto, è bensì vero che la corrente diventa $I = 0$, ma un circuito aperto può considerarsi come un circuito avente una resistenza praticamente infinita, ed in tal caso l'espressione $V = R \times I = \omega \times 0$ diventa indeterminata, cioè senza significato.

Sappiamo invece che anche nel caso del circuito aperto V continuerà ad avere un valore finito, dipendente dal valore della f.e.m. del generatore G il quale in tal caso si dice che *funziona a vuoto*.

La differenza di potenziale v si chiama *perdita di carico* o *caduta di tensione* fra i punti A e B e cercheremo di renderne chiaro il significato ricorrendo ancora una volta ad un esempio idraulico.

Sia S (fig. 11-A) un serbatoio d'acqua il quale alimenti, per differenza di livello, un certo numero di case poste a differenti distanze dal serbatoio ed indicate coi numeri 1, 2, 3.

Se tutti i rubinetti dell'impianto sono tenuti chiusi (A) per il principio dei vasi comunicanti l'acqua si dispone ovunque allo stesso livello.

Se invece i rubinetti vengono aperti (fig. 11-B), la pratica dimostra che mentre nella casa 1 l'acqua arriva, ad esempio, fino al 3° piano, nella casa 2 non arriva oltre il 2°, e nella terza non oltrepassa il 1°; in altre parole la forza o pressione dell'acqua diminuisce man mano che si allontana dal serbatoio S.

Questa perdita di pressione è dovuta semplicemente all'attrito che l'acqua incontra scorrendo nella tubolatura e quindi cresce se cresce la lunghezza del tubo percorso, e si annulla se l'acqua è ferma, come nel caso della fig. 11-A.

Se mediante l'apposito strumento detto *Voltmetro*, che studieremo a suo tempo, misuriamo a circuito aperto, ossia con l'interruttore i aperto, (fig. 10-A) la differenza di potenziale fra i punti A e B troviamo che essa è 0 come pure uguale a 0 troviamo la differenza di potenziale fra il polo P ed il punto A od il punto B.

Risulta cioè che tutti i punti del conduttore compreso fra P e l'interruttore i sono allo stesso potenziale elettrico e cioè al potenziale del polo P, come

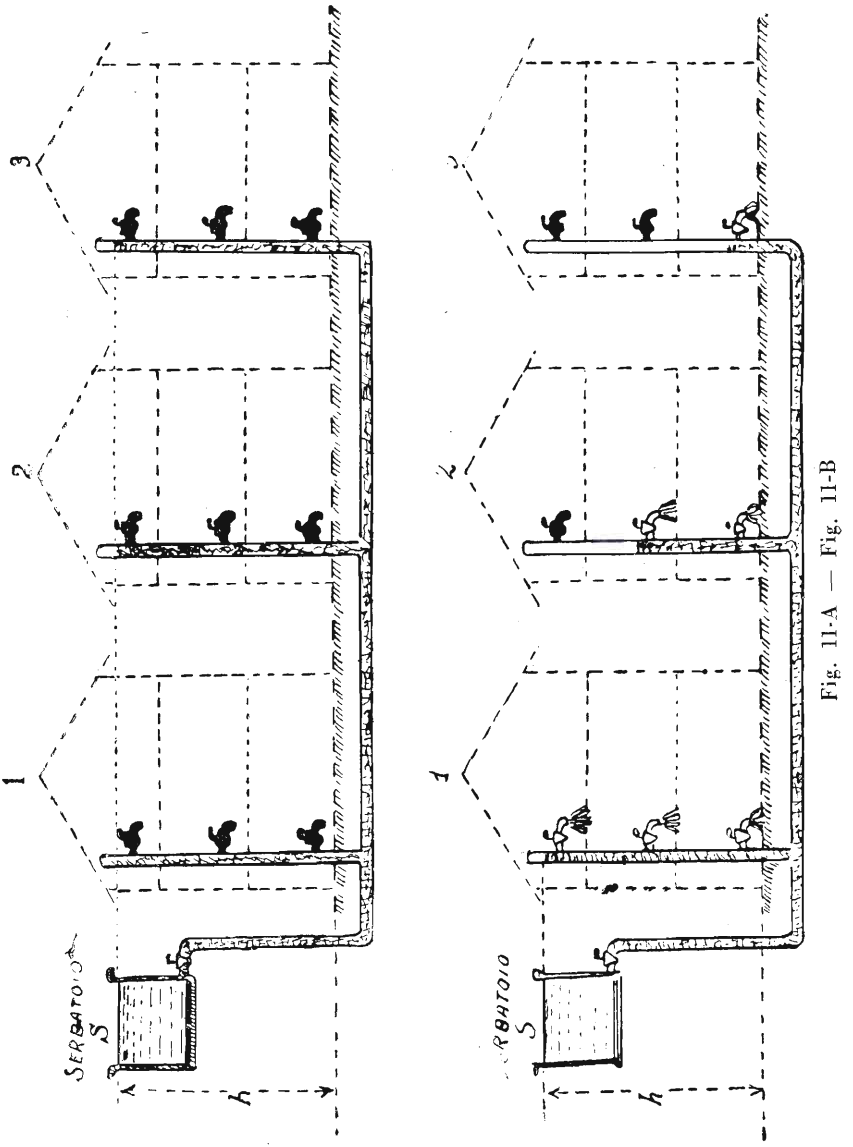


Fig. 11-A — Fig. 11-B

pure tutti i punti del conduttore compreso fra P' e i sono al potenziale del polo P'; fra i primi ed i secondi si misura una differenza di potenziale uguale alla f.e.m. del generatore.

Se invece misuriamo la differenza di potenziale fra i punti A e B, a circuito chiuso (fig. 12-B) verifichiamo che essa ha un valore finito v, e verifi-

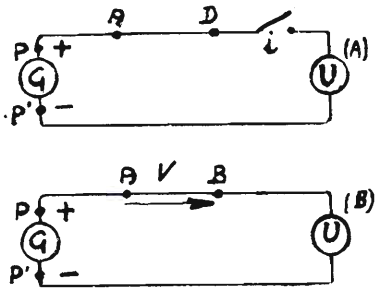


Fig. 12.

chiamo anche che v aumenta se si aumenta il tratto di conduttore interposto fra A e B scegliendo due punti più lontani; inoltre è possibile stabilire che partendo, ad esempio, dal polo positivo P e percorrendo tutto il circuito nel senso della corrente, il potenziale dei vari punti del conduttore e dell'utente formanti il circuito, diminuisce man mano che ci si allontana dal polo P fino a raggiungere il potenziale del polo negativo P' quando avremo percorso tutto il circuito.

In sostanza quindi avviene qualcosa di analogo a quanto abbiamo visto nella fig. 11; a causa dell'*attrito* che l'elettricità in moto incontra per la resistenza del conduttore, il potenziale *cade* e tanto più *cade* quanto maggiore è il percorso fatto e quanto maggiore è la resistenza incontrata.

Succede così in pratica, nelle reti di distribuzione dell'energia elettrica, che agli utenti viene applicata una differenza di potenziale sempre minore, sia pure di poco, della differenza di potenziale esistente ai poli del generatore, e la diminuzione di tensione aumenta con l'aumentare della lunghezza del circuito alimentatore.

Se infine misuriamo a circuito chiuso la differenza di potenziale esistente fra i poli P e P', troviamo un valore V inferiore a quello che si trovava eseguendo la stessa misura a circuito aperto.

Questa diminuzione della tensione ai poli, cui avevamo già accennato nel § 4 parlando di f.e.m. e d.d.p., dipende dal fatto che quando il circuito

è chiuso la corrente circola anche nel circuito interno, ossia nel generatore G, ed offrendo anche questo circuito una certa resistenza detta appunto *resistenza interna*, ha luogo una caduta di potenziale il cui effetto è quello di abbassare la tensione ai poli del generatore.

In altre parole, quando il generatore funziona a vuoto, la differenza di potenziale ai poli è uguale alla f.e.m.; mentre quando il circuito esterno è chiuso e circola corrente, la tensione disponibile ai poli è data dalla f.e.m. diminuita della caduta interna di potenziale, ossia:

$V = E - R_i I$ dove con E si indica la f.e.m. del generatore e con R_i si indica la resistenza interna del medesimo.

La formula precedente può anche scriversi:

$$E = V + R_i I$$ ma siccome sappiamo già essere:

$V = R I$ avremo anche:

$$E = R I + R_i I$$

Questa relazione esprime la legge di Ohm applicata ad un circuito chiuso la quale può essere enunciata così:

In un circuito chiuso nel quale circoli corrente, la f.e.m. generata dal generatore è uguale alla somma della caduta di potenziale esterna più la caduta di potenziale interna.

Alla legge di Ohm è possibile però dare un significato più generale come adesso vedremo.

Si abbia, ad esempio, un tratto di circuito A B (fig. 13) di resistenza R le cui estremità siano mantenute ai potenziali V_a e V_b da una sorgente elettrica qualsiasi (il che equivale a dire che agli estremi del tratto A B viene applicata la differenza di potenziale $V_a - V_b$), e nel punto C si supponga applicata una f.e.m. *e* generata dal generatore G.

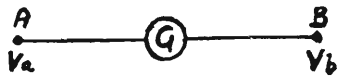


Fig. 13.

Si convenga inoltre di assumere come senso positivo, sia per le forze elettromotrici, come per le correnti, quello da A verso B.

La legge di Ohm applicata in questo caso ci permette di scrivere: $V_a - V_b + e = R I$ ed anche $V_a - V_b = R I - e$ ossia in generale: *La somma delle forze elettromotrici agenti in un tratto di circuito elettrico, è uguale al prodotto della corrente totale moltiplicata per la resistenza del tratto di circuio considerato.*

La corrente totale I che circolerà nel conduttore A B avrà per intensità la somma delle intensità delle due correnti che circolerebbero separatamente per effetto della differenza di potenziale V_a V_b della forza elettromotrice *e*.

L'intensità della corrente totale I rappresenta però la *somma algebrica* delle intensità delle due correnti se esse hanno lo stesso senso ed avrà essa pure il loro medesimo senso; avrà invece un valore uguale alla differenza delle intensità delle due correnti se esse avranno senso contrario ed avrà in tal caso il senso di quella delle due che ha maggiore intensità.

Per rendere più chiaro tutto ciò esaminiamo i vari casi che possono presentarsi in pratica a seconda dei valori e delle direzioni delle f.e.m. *e* delle correnti.

a) Se $V_a > V_b$ (1) ed *e* è positivo (secondo la convenzione già fatta), I risulta positiva ossia diretta da A verso B.

b) Se $V_a > V_b$ ed *e* è negativo si presentano due casi:

1° - La f.e.m. *e* è maggiore della differenza di potenziale $V_b - V_a$ ed allora I risulta negativa avendo perciò la stessa direzione di *e*.

2° - La differenza di potenziale $V_a - V_b$ è maggiore della f.e.m. *e* ed allora I è positiva; in quest'ultimo caso la f.e.m. *e* avente senso contrario alla corrente, si chiama *forza controelettromotrice* (f.c.e.m.).

c) Se $V_a < V_b$ ed *e* è positiva si presentano ancora due casi:

1° - La f.e.m. *e* è minore della differenza di potenziale $V_b - V_a$ ed allora I è negativa e perciò *e* prende ancora il nome di f.c.e.m.

2° - La f.e.m. *e* è maggiore della differenza di potenziale $V_b - V_a$ ed allora I è positiva.

d) Se $V_a < V_b$ ed *e* è negativa anche I è negativa.

§ 9 — **Campioni e cassette di resistenza, reostati**

Vedremo in seguito nel capitolo 11° che molte misure elettriche, come in genere tutte le misure, si fanno paragonando le grandezze da misurare con altre grandezze già conosciute, dette *campioni*.

A tale scopo vengono costruiti, per uso di laboratorio, dei *campioni dell'ohm* ossia delle resistenze esattamente calcolate di tale valore o di valore multiplo o sottomultiplo dell'ohm, le principali caratteristiche delle quali debbono essere l'esattezza e l'inalterabilità a tutte le cause esterne, compresa la variazione di temperatura.

---

(1) I segni $>$ ed $<$ significano rispettviamente « maggiore di » e « minore di ».

Questi campioni dell'ohm si possono costruire in base alla stessa definizione dell'ohm ed infatti il campione definito al Congresso di Chicago (1893) è costruito da una colonna di mercurio dell'altezza di 106,3 cm. e della sezione di 1 mm.^{2} corrispondente alla massa di gr. 14,4521 alla temperatura del ghiaccio fondente.

E' evidente però come un campione così fatto si presti meglio agli usi dei laboratori scientifici di precisione che non agli usi industriali.

Per questo ultimo scopo si preferisce quindi costruire le resistenze campioni con filo di *manganina* che è una lega di rame contenente il 12,2 % di manganese ed il 40 % di nichelio, avente la proprietà di mantenere praticamente invariato il valore della propria resistenza al variare della temperatura.

Generalmente il filo di manganina è protetto da una doppia rivestitura di seta ed avvolta a spirale su cilindri metallici forati per consentire un rapido disperdimento del calore prodotto dal passaggio della corrente.

Alla estremità del filo sono saldate grosse barrette di rame di resistenza praticamente trascurabile, sulle quali sono fissate le prese di corrente.

Quando il valore della resistenza del campione è molto basso, inferiore al decimo dell'ohm, per non introdurre degli errori sensibili nei collegamenti, le sbarrette di rame sono curvate in modo da poterle immergere in appositi pozzetti di mercurio costituenti le prese di corrente (fig. 14).

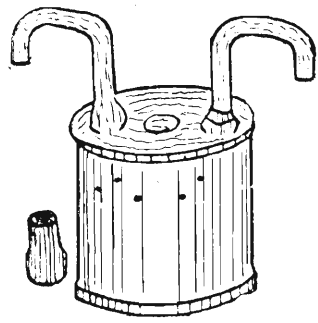


Fig. 14.

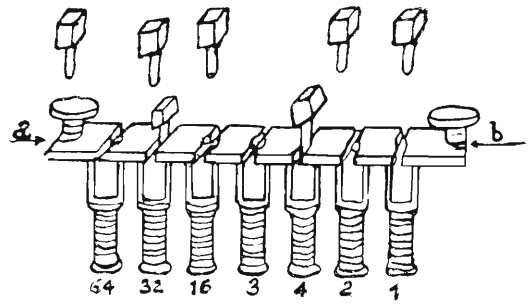


Fig. 15.

I campioni in genere, dopo essere stati accuratamente essicati e laccati, vengono chiusi in scatole metalliche munite di forellini che permettono la libera circolazione dell'aria per agevolare il raffreddamento.

Nella pratica però occorre spesso di avere disponibili valori di resistenza variabili a seconda dei bisogni, ed allora si ricorre alle *cassette di resistenza* di cui un tipo è indicato nella figura 15.

Esso è costituito da una serie di spirali di manganina perfettamente tarate e costruite come il campione già descritto, ciascuna delle quali ha gli estremi saldati ad una serie di blocchetti di rame o di ottone fissati al coperchio di ebanite della cassetta di legno che racchiude lo strumento.

Ai blocchetti estremi sono fissati due grossi serrafili per il collegamento col circuito.

Fra i blocchetti consecutivi si possono introdurre apposite spine di ottone a grossa sezione con le quali è facile escludere ciascuna delle resistenze parziali mettendone in corto circuito gli estremi.

In tal modo il valore totale della resistenza compresa fra i due serrafili è dato dalla somma di tutte le resistenze parziali non cortocircuitate con le spine, considerando trascurabile la resistenza di quest'ultime .

I valori delle singole resistenze sono scelti in modo da poterle combinare fra di loro in guisa da realizzare una serie crescente di valori della resistenza totale, da un minimo rappresentato dal valore della resistenza parziale minore, ad un massimo corrispondente alla somma di tutte le resistenze (tutte le spine tolte).

Le cassette di resistenza sono costruite per essere attraversate da correnti di piccola intensità quali si usano per le misure, ed inoltre non permettono di far variare la resistenza totale in modo continuo.

In molte applicazioni pratiche dell'elettricità che studieremo in altri capitoli, è necessario invece disporre di apparecchi capaci di offrire una resistenza variabile e facilmente regolabile da un massimo ad un minimo, e costruiti in modo da poter sopportare anche il passaggio di correnti di forte intensità.

Tali apparecchi, conosciuti col nome di *reostati*, sono costruiti in gran numero di tipi a seconda degli scopi che si vogliono raggiungere e del materiale impiegato nella fabbricazione.

In linea generale si possono suddividere in *reostati metallici* e *reostati a liquido* riferendosi appunto al materiale impiegato per costituire la resistenza.

I reostati metallici sono, nella maggior parte dei casi, costituiti da un conduttore metallico opportunamente isolato e posto in condizioni tali da permettere facilmente il disperdimento del calore provocato dal passaggio della corrente, e da dispositivi vari atti a permettere l'inclusione nel circuito di una lunghezza variabile di tale conduttore.

Sorvolando per ora su alcuni dispositivi speciali dei quali sono muniti alcuni reostati impiegati per il funzionamento delle macchine elettriche, descriviamo uno dei tipi più comuni di reostati.

Esso si compone (fig. 16) di alcune spirali di conduttore resistente, ad esempio, di ferro o di argentana (lega di rame contenente il 25 % di zinco ed il 25 % di nikel), sostenute da un telaio di materiale isolante e riunite fra di loro in modo da formare un conduttore continuo.

Tutte le connessioni fra spirale e spirale poste su di uno stesso lato del telaio, sono collegate elettricamente ad una serie di piastrine metalliche fissate a semicerchio su di una base isolante.

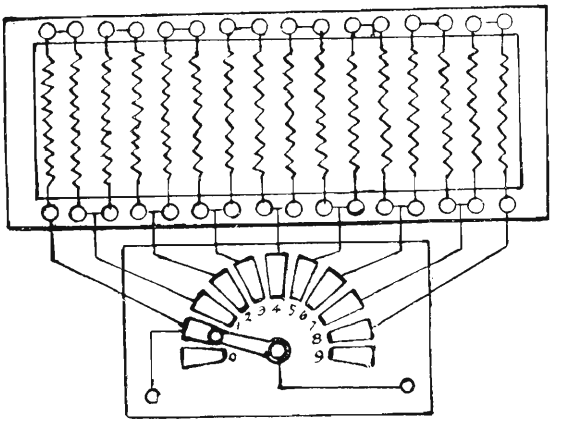


Fig. 16.

Una leva girevole, intorno al centro del semicerchio formato dalle piastrine porta un contatto strisciante sulle piastrine stesse.

Alla piastrina M ed alla leva girevole sono riuniti elettricamente due serrafili per il collegamento in circuito del reostato.

Dall'esame della figura si comprende che quando la leva girevole si trova sulla piastrina O il circuito è aperto, quando si trova sulla piastrina M il circuito è chiuso direttamente senza inclusione di filo resistente; quando si trova sulla piastrina 1 il circuito è chiuso attraverso le prime due spirali, ecc. In sostanza noi potremo far variare la resistenza totale del reostato, spostando la leva da sinistra a destra, da 0 (posizione M) ad un massimo (posizione 8) equivalente alla resistenza di tutto il filo resistente col quale sono costruite le spirali.

Questo tipo di reostato si costruisce nell'industria in una delle forme indicate nella fig. 17 proteggendo spesso le spirali resistenti dagli urti e dai contatti con un involucro costruito generalmente in lamierino bucherellato, allo scopo di permettere la libera circolazione dell'aria per il raffreddamento delle spirali.

Un altro tipo di reostato metallico, più indicato per piccole intensità di corrente è quello mostrato in fig. 18; si compone di un filo resistente avvolto

a spirale intorno ad un cilindro di materiale isolante, sul quale striscia un contatto portato da un corsoio spostabile lungo il cilindro.

Un capo del filo resistente è in comunicazione col serrafili *a* mentre l'altro è isolato; il serrafili *b* invece, è in comunicazione col corsoio scorrevole.

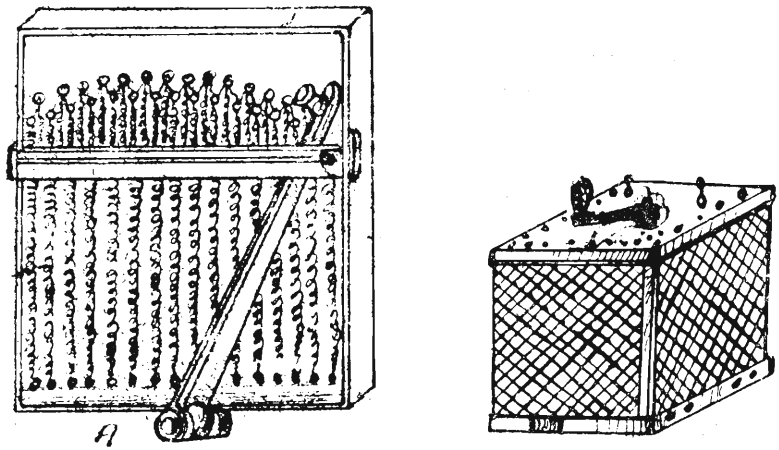


Fig. 17.

A seconda della posizione di quest'ultima varia la lunghezza di filo resistente inclusa fra i serrafili *a* e *b*, variando di conseguenza la resistenza del reostato.

Sovente, nei reostati destinati ad essere attraversati da forti intensità di corrente, le spirali resistenti sono immerse in olio per rendere più agevole il raffreddamento.

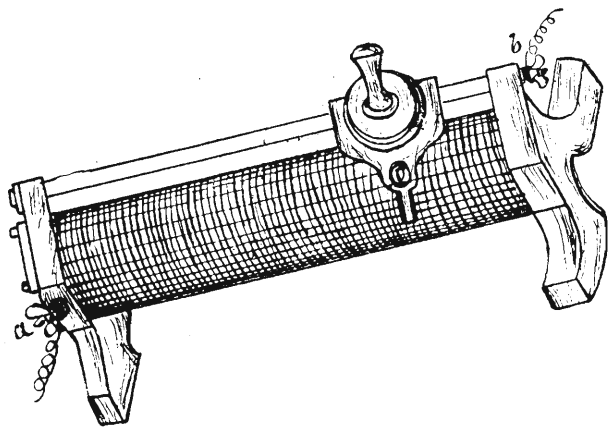


Fig. 18.

I reostati a liquido si compongono essenzialmente di due elettrodi, costituiti generalmente da due piastre di ferro, immersi in una soluzione acquosa di un sale (solfato di zinco, soda, ecc.) e di un dispositivo che permetta di variare la superficie immersa degli elettrodi, oppure la distanza fra essi.

La resistenza vera e propria è rappresentata dalla colonna di liquido compresa fra gli elettrodi, della quale è possibile, come abbiamo detto, variare la lunghezza e la sezione, e quindi la resistenza.

Il liquido resistente è contenuto in un recipiente sul quale è anche fissato il dispositivo di sostegno degli elettrodi.

Nella fig. 19 sono rappresentati schematicamente i due tipi di reostati a liquido; nel primo (fig. 19-A) la variazione della resistenza è ottenuta spostando opportunamente la piastra *a* sostenuta da un attacco scorrevole; nel secondo (fig. 19-B), è ottenuta invece immergendo più o meno nel liquido le due piastre A e B sostenute dalla leva isolante L girevole intorno al punto O.

Le soluzioni acquose più usate nei reostati a liquido sono quelle di solfato di zinco, soda, acido solforico, cloruro di sodio.

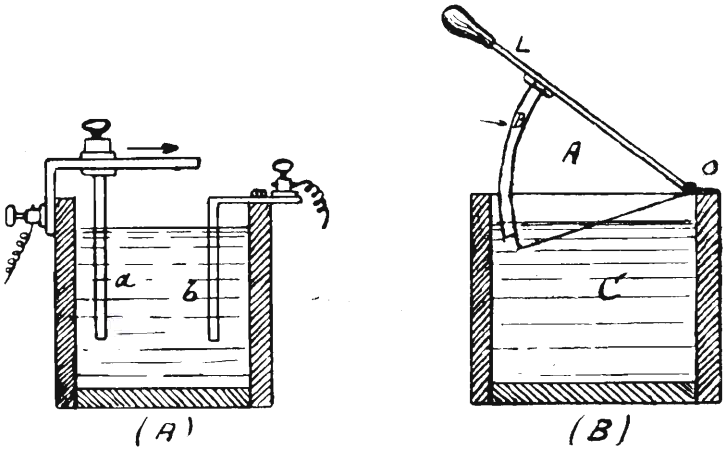


Fig. 19.

Vedremo più avanti, studiando gli effetti chimici della corrente elettrica, perchè i reostati a liquido sieno usati generalmente per correnti alternate.

Iniziando la descrizione dei reostati, abbiamo detto che essi sono apparecchi capaci di offrire alla corrente elettrica una resistenza variabile e facilmente regolabile; vediamo ora come tale proprietà dei reostati venga utilizzata nei circuiti elettrici.

Si abbia (fig. 20) un apparecchio utilizzatore A e si disponga di due fili di alimentazione fra i quali esista la differenza di potenziale di 200 V; si supponga inoltre che l'apparecchio utilizzatore A sia stato costruito per una tensione di 150 V ed una corrente di 15 Ampère, avendo perciò una resistenza di $\frac{150}{15} = 10$ Ohm.

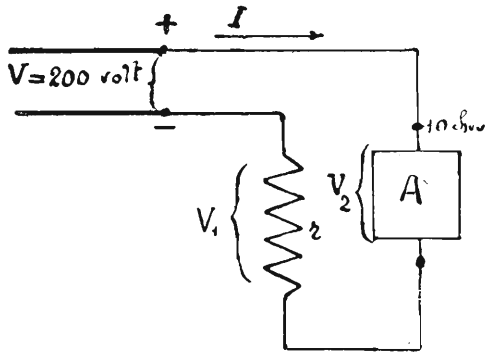


Fig. 20.

Evidentemente noi non potremo senz'altro unire i due fili di alimentazione con i morsetti dell'apparecchio utilizzatore, ma dovremo prima ridurre la tensione da 200 a 150 V.

Dobbiamo cioè produrre una *caduta di tensione* di 200 — 150 = 50 V per mezzo di una resistenza *r* (1) attraversata da una corrente di 15 Ampère; per calcolare questa resistenza basterà applicare la legge di Ohm:

$$r = \frac{V}{I} \text{ ossia } r = \frac{50}{15} = 3,33 \text{ Ohm.}$$

Costruiremo quindi una resistenza del valore di 3,33 Ohm, e faremo in modo che la corrente, partendo dal polo + della linea ritorno al polo — dopo aver attraversato sia la resistenza *r* che l'apparecchio utilizzatore A; usando tale disposizione, che è quella appunto indicata nella figura 20, si dice che la resistenza *r* e l'apparecchio utilizzatore A sono *in serie* fra di loro.

In generale, due o più apparecchi elettrici si dicono collegati elettricamente in serie, appunto quando essi sono disposti in uno stesso circuito in

(1) In tutti gli schemi elettrici le resistenze si indicano convenzionalmente con un tratto a zig-zag, così come in fig. 20.

modo da essere attraversati tutti quanti, successivamente, dalla stessa intensità di corrente.

Richiamandoci a quanto dicemmo a proposito della legge di Ohm applicata ad un circuito chiuso, osserviamo che nel caso della figura 20, la tensione esistente agli estremi della linea di alimentazione (V = 200 V) è uguale alla somma delle due cadute di potenziale che si verificano nella resistenza *r* (v_1 = 3,33 × 15 = 50 Volt) e nell'apparecchio utilizzatore A, (v_2 = 10 × 15 = 150 Volt); infatti è facile verificare che $V = v_1 + v_2$.

Cogliamo l'occasione per far osservare che avendo più apparecchi elettrici in serie (fig. 21) la somma delle cadute di tensione che si verificano in ciascuno di essi è uguale alla tensione che alimenta il circuito; cioè: $V = R_1 I + R_2 I + R_3 I + R_4 I$.

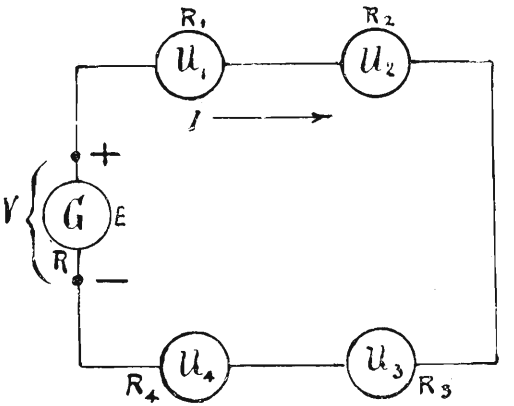


Fig. 21.

Sappiamo però che la tensione di alimentazione V è uguale alla f.e.m. del generatore diminuita della caduta di tensione interna, ossia: V = E — R I, *dove si indica con R la caduta di potenziale interna del generatore.*

Nell'espressione precedente possiamo dunque sostituire a V il suo valore, ed abbiamo: $E - R I = R_1 I + R_2 I + R_3 I + R_4 I$ ossia: $E = R I + R_1 I + R_2 I + R_3 I + R_4 I$.

Questa espressione ci permette di enunciare la legge di Ohm, applicata ad un circuito chiuso nel quale siano inseriti diversi apparecchi di utilizzazione, nel seguente modo: *In un circuito chiuso comprendente vari apparecchi elettrici in serie la f.e.m.* (o la somma delle f.e.m., se ve ne sono diverse) *fa equilibrio alla somma di tutte le cadute di potenziale* (interne nei generatori, esterne negli apparecchi utilizzatori).

Nel secondo membro di questa espressione, tutti i termini sono moltiplicati per il fattore I; possiamo quindi raccogliere a fattore comune e scrivere ancora: $E = (R + R_1 + R_2 + R_3 + R_4) I$.

Il che significa che *in un circuito chiuso comprendente vari apparecchi elettrici in serie, la* f.e.m. *applicata è uguale al prodotto della intensità di corrente moltiplicata per la somma delle resistenze dei singoli apparecchi generatori ed utenti.*

Si noti che sia nel caso della fig. 20 come in quella della fig. 21 si è considerata trascurabile la resistenza offerta dai conduttori che servono a collegare i vari apparecchi. Ove ciò non fosse lecito bisognerebbe aggiungere alle varie cadute di potenziale anche quella prodotta dalla resistenza dei conduttori.

Occupiamoci adesso, dopo averne descritti i vari tipi e la loro funzione nei circuiti elettrici, del calcolo dei reostati.

Nel caso della figura 20 non occorreva un reostato vero e proprio, ma una semplice resistenza addizionale, di valore fisso; come già dicemmo, in pratica occorre spesso, invece, poter variare a piacere la tensione disponibile allo scopo di far assorbire ad un dato apparecchio di utilizzazione una corrente e quindi una potenza più o meno grande.

Si tratta in sostanza di ripetere il ragionamento fatto nel caso della fig. 20, per diversi valori di corrente anzichè per uno solo.

Supponiamo ad esempio che, riferendosi sempre allo stesso caso, si voglia far assumere alla corrente che circola nell'apparecchio A, successivamente i valori di 1, 2, 5, 10, 15 A.

Dovremo quindi costruire un reostato con cinque regolazioni avente una resistenza minima di 0,33 Ohm; calcoliamo i valori delle resistenze delle singole spirali che dovranno costituire il reostato (fig. 22).

Sappiamo già che la spirale B dovrà avere un valore $r_b = 3{,}33$ Ohm; quando la leva M del reostato sarà sul contatto b avremo infatti in serie fra loro l'apparecchio A e la spirale B e quindi una resistenza complessiva di: $10 + 3{,}33 = 13{,}33$ Ohm, e poichè per la legge di Ohm $I = \frac{V}{R}$ avremo: $I = \frac{200}{13.3} = 15$ A, come ci eravamo proposti.

Allorchè la leva M sarà sul contatto *c* la corrente totale dovrà essere 10 Ampère, ossia la resistenza complessiva dovrà essere: $R = \frac{200}{10} = 20$ Ohm e poichè la spirale B e l'apparecchio A rappresentano complessivamente una resistenza di 13,3 Ohm, la resistenza della spirale C dovrà essere $r_c = 20 - 13{,}3 = 6{,}67$ Ohm.

Analogamente con la leva M sul contatto *d* dovremo avere:

$R = \frac{200}{5} = 40$ Ohm e quindi $r_d = 40 - 20 = 20$ Ohm.

Con la leva M sul contatto *e* dovremo avere $R = \frac{200}{2} = 100$ Ohm e quindi $r_e = 100 - 40 = 60$ Ohm.

Infine con la leva sul contatto *f* dovrà essere $R = \frac{200}{1} = 200$ Ohm e quindi $r_f = 200 - 100 = 100$ Ohm.

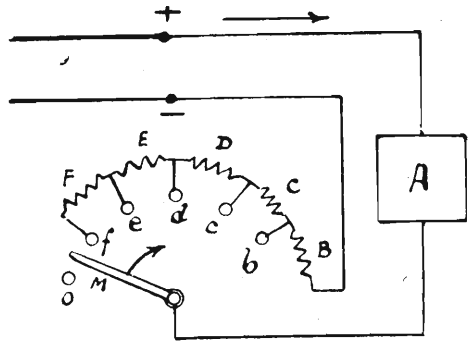


Fig. 22.

Ricapitolando dunque i valori delle singole resistenze debbono essere rispettivamente:

$r_b = 3{,}33$ Ohm. $\qquad r_e = 60{,}00$ Ohm.

$r_c = 6{,}67$ » $\qquad r_f = 100{,}00$ »

$r_d = 20{,}00$ »

Si tratta ora di stabilire il materiale, la forma, la sezione e la lunghezza dei conduttori da impiegare per formare le resistenze.

A tale scopo si usano generalmente conduttori di ferro oppure di leghe metalliche speciali, quali: la Costantana, la Nichelina, il Reotano, l'Argentana, la Kruppina, il Nicromo, ed altre; di ognuno di questi materiali, la tabella n. 1 fornisce la resistenza specifica ed il coefficente di temperatura.

E' possibile quindi, una volta scelto il materiale, calcolare la sezione e la lunghezza delle singole resistenze, applicando la formula $R = K \frac{l}{s}$ che si può scrivere anche in una delle due maniere seguenti:

$$s = K \frac{l}{R} \qquad\qquad l = s \frac{R}{K}$$

Allo scopo però di facilitare il calcolo dei reostati, si costruiscono sperimentalmente delle tabelle (vedi tabelle seguenti nn. 2, 3, 4, 5, 6, 7) che forniscono tutti i dati utili per ognuno dei materiali suddetti.

I conduttori per resistenze si costruiscono in filo ed in piattina (nastro); vedremo più avanti che alcuni di questi conduttori si impiegano anche nelle applicazioni termoelettriche per la costruzione delle resistenze di riscaldamento.

Intanto è necessario ricordare, come già avevamo accennato e come studieremo più avanti, che il passaggio di corrente nei conduttori ne determina il riscaldamento; la quantità di calore che si svolge è proporzionale alla resistenza ed al quadrato dell'intensità di corrente.

La temperatura del conduttore, dunque, appena comincia a circolare la corrente tende ad elevarsi, ma contemporaneamente ha inizio uno scambio di calore con l'ambiente circostante tanto più intenso quanto maggiori sono la superficie del conduttore e la differenza di temperatura fra conduttore ed ambiente; la temperatura del conduttore quindi cresce finchè la quantità di calore generato dalla corrente uguaglia quello che si disperde.

In pratica quindi, una volta stabilito il valore di una resistenza, si calcolano le dimensioni del conduttore (forma, sezione, lunghezza), in modo che la temperatura non sorpassi un certo limite consigliato dalla necessità di non deteriorare troppo rapidamente il materiale e di non sprecare in calore una potenza elettrica eccessiva.

Per garantire un rapido smaltimento del calore, si usa, come abbiamo già detto, fare gli involucri dei reostati bucherellati od addirittura immergere le spirali nell'olio; a parità di sezione i nastri metallici, o piattine, permettono un migliore raffreddamento dei conduttori cilindrici offrendo una maggiore superficie esterna.

Ricordiamo che in tutti i conduttori elettrici della prima categoria, eccettuato il carbone, l'aumento della temperatura determini un aumento della resistenza del quale dovrebbe essere tenuto conto nel calcolo dei reostati; però le leghe metalliche generalmente usate per la costruzione delle resistenze hanno un coefficiente di temperatura praticamente trascurabile.

La Costantana, ad esempio, è così chiamata perchè il suo coefficiente di temperatura è praticamente uguale a zero ed offre perciò una resistenza costante alla corrente elettrica.

Ritornando al caso pratico della figura 22, supponiamo di voler costruire le spirali di nichelina; ci serviremo quindi delle tabelle n. 2 e n. 5.

La resistenza r_b = 3,33 Ohm deve essere percorsa da una corrente massima di 15 Ampère; sceglieremo allora per costruirla della piattina di nichelina

delle dimensioni di mm. 0,210 la quale presenta una resistenza di 0,24 Ohm per metro (tabella n. 5).

Per fare 3,33 Ohm ne occorreranno dunque metri $\frac{3,33}{0,24} = 14$

analogamente:

r_c = 6,67 Ohm per 10 A, piattina mm. 0,1 × 10

Ohm 0,48 per metro, occorrono metri $\frac{6,67}{0,48} = 13,90$

r_d = 20 Ohm per 5 A. piattina mm. 0,1 × 5

Ohm 0,96 per metro, occorrono metri $\frac{20}{0,96} = 20,80$

r_e = 60 Ohm per 2 A. piattina mm. 0,1 × 3

Ohm 1,60 per metro, occorrono metri $\frac{60}{1,6} = 37,50$

r_f = 100 Ohm per 1 A. piattina mm. 0,1 × 3

Ohm 1,60 per metro, occorrono metri $\frac{100}{1,60} = 62,50$

Per accorciare la resistenza r si può usare, invece della piattina, del filo di nichelina del diametro di mm. 0,4 che presenta una resistenza di 3,18 Ohm per metro (tabella n. 2); ne occorrono perciò metri $\frac{100}{3,10} = 31,90$.

Si noti che man mano che aumentava nelle successive spirali la resistenza richiesta e diminuiva invece la corrente massima, si sono scelte sezioni sempre minori di nichelina, e ciò allo scopo di impiegare minor quantità di metallo rendendo così la costruzione più economica.

I fili e le piattine quando sono molto sottili si avvolgono su cilindri di materiale isolante (amianto, mica, porcellana, ecc.) mentre con quelli di maggiori dimensioni si fanno semplicemente delle spirali in aria fissate alle estremità su sostegni isolanti.

Vediamo adesso come si procede per determinare le dimensioni dei reostati a liquido.

Volendo costruire un reostato del tipo indicato nella fig. 19-A occorre stabilire la superficie delle piastre, il valore massimo e quello minimo della resistenza.

Supponiamo, per esempio, di voler costruire un reostato con elettrodi di ferro immersi in soluzione di cloruro di sodio al 5 % avente una resistenza massima di 3 Ohm e minima di 0,5 Ohm, e nel quale debba circolare una corrente massima di 6 Ampère.

Normalmente le dimensioni delle piastre sono scelte in modo da non

superare i 3 o 4 Ampère per dm^2. di superficie di elettrodo; nel nostro caso dunque occorreranno piastre di 200 cm^2.

Dalla tabella n. 7 ricaviamo che la resistenza della soluzione al 5 % di cloruro di sodio è $\rho = 15{,}00$ Ohm; applichiamo allora la formula generale $R = \rho \frac{l}{s}$ che porremo sotto la forma $l = R \frac{s}{\rho}$.

Sostituendo a R la resistenza massima e minima del reostato in Ohm, ad *s* la superficie delle piastre in $cm.^2$ ed a ρ il suo valore, otterremo rispettivamente le distanze in cm. massima e minima alle quali dovranno trovarsi le piastre nei due casi:

$$l = R \frac{s}{\rho} = 3 \quad \frac{200}{15{,}00} = 40 \text{ cm. distanza massima.}$$

$$l = R \frac{s}{\rho} = 0{,}5 \frac{200}{15{,}00} = 6{,}65 \text{ cm. distanza minima.}$$

Se avessimo voluto invece costruire il reostato del tipo indicato in figura 19-B, sarebbe bastato fare il calcolo della distanza delle piastre, che non è variabile, per il valore minimo di resistenza, poichè con questo tipo di reostato è possibile sempre raggiungere una resistenza infinita sollevando completamente gli elettrodi dal liquido.

Adottando elettrodi della stessa superficie, anche in questo caso, naturalmente, la distanza delle piastre risulterebbe la stessa di prima, cioè cm. 6,65.

Mentre i reostati metallici si usano in tutte le più svariate applicazioni, i reostati a liquido vengono principalmente impiegati per la messa in moto dei motori a corrente alternata.

Nella generalità dei casi, perciò, essi rimangono sotto corrente per brevissimo tempo, ed appena compiuto l'avviamento sono messi in corto circuito per mezzo di dispositivi speciali. Ricordiamo che la resistenza dei liquidi, i quali sono conduttori della seconda categoria, aumenta con l'aumentare della temperatura.

Si costruiscono anche grandi resistenze regolabili a liquido per le prove di laboratorio delle macchine elettriche.

TABELLA II.

Resistenza per reostati di Costantana, Nichelina e Reotano in fili

Diametro	Sezione	Resistenza in Ohm per metro			Peso per metro corrente gr.
		Costantana K = 0,50	Nichelina K = 0,48	Reotano K = 0,526	
0,05	0,00196	250	204	240	0,017
0,07	0,00384	126	104	123	0,033
0,10	0,00785	62,0	51,0	60	0,068
0,15	0,0177	27,4	22,6	26,8	0,15
0,20	0,0314	15,5	12,7	15,1	0,27
0,40	0,126	3,85	3,18	3,76	0,10
0,60	0,283	1,70	1,42	1,68	2,50
0,80	0,503	0,965	0,794	0,942	4,40
0,85	0,562	0,864	0,712	0,843	4,90
0,90	0,636	0,763	0,628	0,744	5,50
0,95	0,713	0,680	0,561	0,664	6,20
1,00	0,785	0,618	0,509	0,603	6,80
1,50	1,767	0,275	0,226	0,268	15,00
2,00	3,142	0,155	0,126	0,151	27,00
2,50	4,909	0,0988	0,0815	0,0964	43,00
3,00	7,07	0,0686	0,0567	0,0670	61,00

Composizione delle leghe

Costantana: 58 % rame, 1 % manganese, 41 % nichel

Nichelina: 61,6 % rame, 0,18 % manganese, 25,1 % nichel, 19,67 % zinco, 0,24 % ferro

Reotano: 53,28 % rame, 16,89 % zinco, 25,31 % nichel, 4,46 % ferro, 0,37 % manganese.

TABELLA III.

Resistenza di Argentana e Ferro in fili

Diametro in mm.	Sezione in mm.²	Superficie in d.n.² del filo per lunghezza 1 metro	ARGENTANA K = 0,314			FERRO K = 0,13		
			Lunghezza in metri al Kg.	Peso in Kg. per 100 mm.	Resistenza in Ohm per 1 m.	Lunghezza in metri al Kg.	Peso in Kg. per 100 m.	Resistenza in Ohm per 1 m.
0,50	0,196	0,157	583	0,168	1,60	675	0,148	0,699
0,60	0.283	0,138	411	0,213	1,11	466	0,215	0,492
0,70	0,385	0,220	300	0,330	0,816	342	0,282	0,365
0,80	0,503	0,252	231	0,432	0,62	264	0,380	0,275
0,90	0,636	0,283	182	0,547	0,49	207	0,485	0,220
1 —	0,785	0,314	148	0,675	0,40	168	0,595	0,178
1,20	1,131	0.375	100	1,100	0,27	117	0,855	0,122
1,40	1,539	0,440	73,50	1,379	0,204	86	1,165	0,091
1,60	2,009	0,503	56,25	1,780	0,15	66	1,515	0,069
1,80	2,545	0,565	44 —	2,274	0,12	53	1,890	0,055
2 —	3,141	0,630	36 —	2,701	0,10	42	2,390	0,044
2,20	3,801	0,690	29,40	3,357	0,083	35	2,855	0,036
2,40	4,524	0,755	25 —	3,986	0,069	29	3,450	0,030
2,60	5,309	0,815	21 —	4,640	0,059	24	4,180	0,026
2,80	6,158	0,888	18,45	5,420	0,051	21	4,780	0,023
3 —	7,070	0,942	15,90	6,300	0,045	19	5,260	0,018
3,20	8,080	1,020	13,95	7,180	0,039	16	6,250	0,016
3,50	9,620	1,100	11,66	8,615	0,033	14	7,150	0,013
3,80	11.350	1,195	9,89	10,150	0,028	12	8,350	0,011
4 —	12,570	1,260	8,93	11,200	0,025	10,5	9,520	0,010
4,20	13,900	1,320	8,09	12.385	0,023	9,6	10,400	0,009
4,50	15,900	1,410	7,05	14,200	0.0198	8,4	11,90	0,008
4,80	18,100	1,510	6,20	16,150	0,0173	7,3	13,70	0,007
5 —	19,640	1,570	5,71	17,550	0,016	6,7	14,90	0,006

Composizione dell'Argentana

60,16 % Rame - 25,37 % Zinco - 14,03 % Nichel - 0,3 % Ferro

TABELLA IV.

Resistenza Kruppina in fili.

Diametro mm.	Sezione mm^2	Peso per metro gr.	Lunghezza per Kg. mm.	Resistenza per metro ohm	Lunghezza per ohm m.
0,5	0,196	1,588	629,7	4,343	0,230
0,75	0.442	3,581	279,3	1,926	0,519
1,00	0,785	6,360	157,2	1,084	0,922
1,25	1.227	9,941	100.6	0,6938	1,441
1,50	1,767	14,32	69.8	0,4818	2,076
1,75	2,405	19,49	51,3	0,3540	2,825
2,00	3.142	25,46	39,3	0,2709	3,691
2,25	3.976	32,21	31,0	0,2141	4,671
2,50	4,909	39,77	25,1	0,1734	5.767
2.75	5.940	48.13	20,8	0,1433	6.970
3,00	7,069	57,27	17,5	0,1205	8.303
3,50	9.621	77.95	12,8	0,08848	11,302
4,00	12,57	101.84	9,8	0.06772	14,766
4,50	15,90	128,82	7,8	0,05354	18.677
5,00	19.64	159.12	6,3	0,04335	23,071

TABELLA V.

Resistenza dei nastri di Ferro, Argentana, Nichelina.

Spessore nastro mm.	Larghezza nastro mm.	Sezione mm.²	Ferro K. 0,23			Argentana K. 0,314			Nichelina K. 0,48		
			ohm per metro	metri per ohm	intensità normale	ohm per metro	metri per ohm	intensità normale	ohm per metro	metri per ohm	intensità normale
0.1	3	0.3	0.432	2.5	5.5	1.05	0.95	4.1	1.60	0.62	3
	5	0 5	0.26	3.8	9	0.63	1.59	7	0.96	1.04	5
	10	1	0.13	7.7	18	0.314	3.19	14	0.48	2.08	10
0.2	3	0.6	0.217	4.60	7.7	0.52	1.92	6	0.80	1.25	4
	5	1	0.13	7.70	13.6	0.314	3.19	10	0.48	2 08	7
	10	2	0.065	15.4	26	0.157	6 37	20	0.24	4.17	14
0.3	3	0.9	0.144	6.95	9.5	0.35	2.86	7	0.53	1.89	5 2
	5	1.5	0.087	11.50	16	0.209	7.48	12	0.32	3.13	8.6
	10	3	0.043	23.30	32	0.105	9.50	24	0.160	6.20	17.3
0.4	3	1.2	0.108	9.25	11	0.262	3.92	8	0.40	2.50	6
	5	2.0	0.065	15.40	18	0.157	6.37	14	0.24	4.17	10
	10	4.0	0.032	31.30	37	0.078	12.80	28	0.12	8.33	20
0.5	3	1.5	0.087	11.50	12	0.209	4.78	9	0.32	3.13	6.7
	5	2.5	0.052	19.20	20	0.126	7.95	15	0.19	5.27	11.2
	10	5	0.026	38.50	41	0.063	15.90	31	0.096	10.40	22.4
0.6	3	1.8	0.072	13.90	13	0.174	5.75	11	0.27	3.70	7.3
	5	3	0.043	23.10	22	0.105	9.50	18	0.16	6.25	12.2
	10	6	0.022	45.50	45	0.053	18.90	36	0.08	12.50	24.4
0.8	3	2.4	0.054	18.50	16	0.131	7.65	12	0.20	5	8.5
	5	4	0.032	31.30	26	0.078	12.80	20	0.12	8.33	14 1
	10	8	0.016	62.50	52	0.039	25.60	39	0.06	16 70	28.3
1.0	3	3	0.043	23.10	17	0.105	9.50	13	0.16	6.25	9.5
	5	5	0.026	38.50	29	0.063	15.90	22	0.096	10.40	15.8
	10	10	0.013	77	58	0.031	32.30	44	0.5	20.40	31.6

TABELLA VI.

Resistenza di Nikrome K = 0,998 α **= 0,00036**

FILO							PIATTINA			
Diametro mm.	Sezione mm²	Metri per Kg.	Resistenza in ohm per mm.	Portata in ampère			Piattina mm.			Metri per Kg.
				200″	400″	600″	larghezza	spessore	sezione	
0.100	0 0079	14963	123	0.19	0.30	0.43	0.79	0.079	0.0624	1878
0.113	0.0100	11876	98	0.22	0.45	0.60	0.79	0.089	0.0703	1675
0.127	0.0127	9595	78.5	0.30	0.60	0.80	0.79	0.100	0.0790	1509
0.160	0.0201	6039	49.5	0.50	0.80	1.00	0 79	0.127	0.1000	1187
0.203	0.0327	3744	30.5	0.60	1.00	1 30	0.79	0 135	0.107	987
0.254	0.0495	2395	20.0	0.80	1.30	1.70	0.79	0.160	0.126	896
0.287	0.065	1878	15.5	1.00	1.60	2.10	0.79	0.180	0.142	802
0 320	0.085	1509	12.5	1.10	1.80	2.30	0.79	0.200	0.158	744
0.360	0.100	1187	9.8	1.30	2.00	2.70	0.79	0.220	0.174	630
0.433	0.125	896	7.8	1.50	2.30	3.10	0.79	0.250	0.198	593
0.454	0.159	744	6.12	1.70	2.70	3.60	1.588	0.079	0.125	896
0.510	0.204	593	4.9	2.00	3 20	4.20	1.588	0.089	0.141	802
0.574	0.258	469	3.85	2.40	3.70	5.00	1.588	0.100	0.159	744
0.643	0.324	375	3.06	2.70	4.30	5.80	1.588	0.127	0.200	593
0.723	0.410	295	2.45	3.10	5.00	6.80	1.588	0.135	0.214	537
0.810	0.515	234	1.95	3.60	5.80	8.00	1.588	0.160	0.257	469
0.911	0.650	135	1.52	4.20	6.70	9.30	1.588	0.180	0.286	444
1.023	0.825	142	1.23	4.80	7.80	11.0	1.588	0.200	0.318	375
1.290	1.305	92	0.76	6.50	10.7	15.1	1.588	0.220	0.350	328
1.450	1.650	74	0.60	7.60	12.5	17 1	1.588	0 250	0.397	295

Resistenza specifica in ohm-cm. delle soluzioni acquose di alcuni sali a 18° C.

Titolo della soluzione	Densità	Gradi Beaumé	Resistenza specifica in ohm per cm.²
Potassa caustica			
5 %	1.041	5.7	5.88
10 »	1.083	11.2	3.21
15 »	1.128	16.6	2.37
20 »	1.177	22.1	2.02
25 »	1.230	27.5	1.87
30 »	1.288	32.9	1.86
35 »	1.349	37.9	1.96
40 »	1.412	42.9	2.24
Soda caustica			
2.5 %	1.03	4.3	9.26
5 »	1.06	8.4	5 12
10 »	1.11	14.6	3.22
15 »	1.17	22	3.90
20 »	1.23	27.5	3.08
25 »	1.28	32	3.71
30 »	1.34	37	4.99
35 »	1.39	41	6.70
40 »	1.44	45	8.70
Cloruro di sodio			
5 %	1.03	4.3	15
10 »	1.07	8.4	7.66
15 »	1.11	14.6	6.15
20 »	1.15	19	5.16
25 »	1.19	23.5	4.72
Solfato di zinco			
5 %	1.03	7	52.1
10 »	1.11	14.6	31.1
20 »	1.23	27.5	21.5
23.7 »	1.25	29.5	20.87
25 »	1.30	34	20.9
50 »	1.38	40.5	22.6
Solfato di rame			
2.5 %	1.02	3	94.5
5 »	1.05	7	53.3
10 »	1.11	14.6	31.4
15 »	1.17	22	23.9
17.5 »	1.20	24	21.9
Cloruro d'ammonio			
5 %	1.014	2	11
10 »	1.029	2.3	5.68
20 »	1.043	5.8	3
25 »	1.071	8.6	2.50
Bromuro di potassio			
5 %	1.037	5	21.6
10 »	1.075	10	10.8
20 »	1.159	20	5.3
Nitrato d'argento			
5 %	1.042	6	39.5
10 »	1.089	11.5	21.2
20 »	1.195	23.5	11.6
30 »	1.321	35	8.2
40 »	1.477	44.5	6.4
50 »	1.674	58	5.4
Clorato di potassio			
1 %	1.007	1	117
5 »	1.032	4.5	26.5

§ 10 — **Conduttori elettrici**

I conduttori normalmente impiegati per la trasmissione dell'energia elettrica sono costituiti, come già si ebbe occasione di dire nel § 5, da fili metallici.

Il metallo maggiormente impiegato è il rame, ma talvolta si usano anche altri metalli quali l'alluminio, il bronzo, e più raramente il ferro.

Il rame è il metallo preferito, malgrado l'alto costo, per la piccola resistenza specifica (K = 0,0175) e per l'alta resistenza meccanica.

Per comodità di confronto fra i vari metalli, si usa considerare invece della resistenza specifica la conducibilità relativa di ognuno di essi rispetto a quella dell'argento posta uguale a 100 oppure anche rispetto a quella del mercurio posta uguale ad 1.

L'argento è stato scelto come metallo di confronto, essendo il conduttore meno resistente esistente in natura.

La tabella N. 8 contiene i valori della conduttività relativa di alcuni metalli; da essa si rileva appunto come il rame possegga, insieme all'argento, la massima conducibilità.

La conducibilità relativa dell'alluminio è alquanto minore (54,2) e la sua resistenza meccanica molto minore; inoltre l'alluminio ha un coefficiente di temperatura assai maggiore del rame (tabella N. 1) e presenta qualche difficoltà per la saldatura.

Ciò nonostante l'alluminio, per il prezzo, per la tenacità e per la leggerezza che lo rende a pari peso 1,8 volte meno resistente del rame, tende a far concorrenza a quest'ultimo ed ha già avute importanti applicazioni; i conduttori di rame hanno ancora però, per la minore sezione necessaria (data la maggior conducibilità) e per la facilità di saldatura, una indiscussa superiorità.

La conducibilità relativa del rame è 100 soltanto quando il metallo è puro, ottenuto cioè per via elettrolitica nel modo che studieremo più avanti; è stato provato sperimentalmente che basta la presenza nel rame di impurità nella proporzione di 1,24 % perchè la conducibilità relativa scenda a 42.

I primi impieghi di conduttori non di rame si ebbero nelle linee telegrafiche e telefoniche per le quali si usarono in principio conduttori di ferro galvanizzati, ossia ricoperti di uno strato di zinco che li preserva dalla ruggine, ed anche fili di acciaio ricoperti di rame.

In seguito poi si sono adottate, sempre per le linee telefoniche e telegrafiche, leghe di rame quali i bronzi siliciosi, bronzi fosforosi, bronzi cro-

mati, nei quali la conduttività relativa scende notevolmente, il che non è un inconveniente grave trattandosi di deboli intensità di corrente, mentre cresce abbondantemente la resistenza meccanica.

I conduttori di ferro, salvo casi speciali, sono ora quasi completamente abbandonati, non tanto per la loro bassa conduttività quanto per il fatto che essendo il ferro un metallo magnetico, essi davano luogo, per ragioni che conosceremo studiando il magnetismo, a disturbi notevoli specialmente nelle linee telefoniche.

Ragioni di economia, dato l'alto prezzo del rame, hanno portato recentemente alla scoperta di leghe di alluminio con le quali è possibile fabbricare fili di non difficile saldatura, meno pesanti a pari resistenza del bronzo e meno costosi.

Sono stati sperimentati anche fili bimetallici di alluminio ricoperto di rame, nei quali è eliminato uno degli inconvenienti dell'alluminio e delle sue leghe, di formare cioè a contatto dell'aria un ossido detto allumina che aumenta notevolmente il peso dei fili tesi nell'aria.

I conduttori normalmente impiegati, specialmente a bordo delle navi, sono come già abbiamo detto di rame; è opportuno conoscerne i vari tipi fabbricati e gli usi diversi per i quali vengono impiegati.

I conduttori di rame si costruiscono in fili, sbarre e corde, e possono essere lasciati nudi oppure ricoperti e protetti in vario modo a seconda dell'impiego cui sono destinati.

I fili nudi si impiegano per trasporti di energia terrestri con linee aeree, ed allo scopo di garantire loro una sufficiente resistenza meccanica non si costruiscono mai di diametro inferiore ai due o tre millimetri mentre non si superano i dieci millimetri per non farli troppo rigidi.

Occorrendo impiegare sezioni maggiori per forti intensità di corrente si ricorre alle *corde*, formate da più fili semplici di rame attorcigliati come nelle comuni corde di canapa.

Le *sbarre* o nastri di rame si usano invece generalmente per le connessioni dei quadri di distribuzione; a tale scopo per la corrente alternata si usano anche tubi di rame vuoti dei quali conosceremo le proprietà studiando la corrente alternata.

I fili nudi che s'impiegano nelle linee aeree sono sostenuti da isolatori di porcellana, vetro od ambroina, fissati a sostegni metallici o pali.

Quando i conduttori possono venire in contatto con le persone o dar luogo ad incendi od altri inconvenienti, ed in genere nelle condutture interne, si debbono proteggere ed isolare con guaine isolanti di diversa natura e spessore a seconda della tensione di linea.

Si possono distinguere conduttori con *isolamento leggero* costituito da una sola copertura di cotone in nastro o treccia imbevuta di paraffina o bitume, conduttori *con isolamento medio*, costituito da una prima copertura di cautchou vulcanizzato sul conduttore alla quale viene soprapposta una coperta di cotone imbevuto di sostanze isolanti, ed infine conduttori *con forte isolamento* costituito da due o più strati di cautchou vulcanizzato, e da due o più coperture di cotone od altre sostanze tessili.

Questo tipo di conduttore non si può usare per tensioni di linea superiori ai quattro o cinquecento volt.

Per la distribuzione minuta di energia elettrica si usano i *cordoncini flessibili* che si compongono di due conduttori avvolti a spirale e costituiti ciascuno da un certo numero di fili sottilissimi di rame attorcigliati e isolati con uno strato di gomma ed uno di cotone.

Per condutture sotterranee e di bordo, nelle quali occorre garantire un ottimo isolamento dei conduttori, si ricorre ai *cavi* che sono conduttori di rame, generalmente corde, isolati e protetti in modo speciale dall'umidità e dalle azioni meccaniche esterne.

I cavi si dividono in *semplici ed armati* riguardo alla loro protezione; nei primi si ha un certo numero di strati isolanti di cautchou vulcanizzato, carta secca e fibre tessili imbevute di sostanze isolanti, i secondi sono muniti inoltre di una armatura di nastro o filo di ferro od anche di un tubo di piombo od ambedue insieme.

Nei *cavi subacquei* destinati a stare sott'acqua si adopera come materia isolante la guttaperca la quale non è adatta a restare esposta all'aria perchè vi si altera facilmente e si rammollisce a temperature superiori ai 37° C.

I cavi si distinguono inoltre in *cavi semplici* e *cavi multipli* a seconda del numero dei conduttori da essi contenuti; per corrente continua e per usi telegrafici e telefonici si usano cavi unipolari, cioè con un solo conduttore e cavi bipolari, con due conduttori, mentre per corrente alternata si usano cavi a tre conduttori.

Per usi speciali si fanno anche cavi con un numero di conduttori superiore a tre.

I cavi multipli si distinguono a loro volta in *cavi concentrici*, quando i vari conduttori sono costituiti da corone concentriche di fili di rame isolate fra di loro da strati isolanti e *cavi accordonati* quando i conduttori sono posti in prossimità uno dell'altro ed avvolti insieme come i trefoli di una corda.

Nella figura 23 sono indicati in sezione i vari tipi di cavi già descritti.

Per calcolare la resistenza di un qualsiasi conduttore si può applicare la

formula generale $R = K\frac{l}{s}$; in pratica però si usano tabelle sperimentali come quelle N. 9, 10, 11, 12, 13 e 14, riportate a pag. 53 e seguenti.

Speciale importanza ha l'operazione di unione delle estremità di due spezzoni di conduttore; questa operazione, conosciuta sotto il nome di *giunzione*, è delicata e richiede l'osservanza di alcune norme importanti.

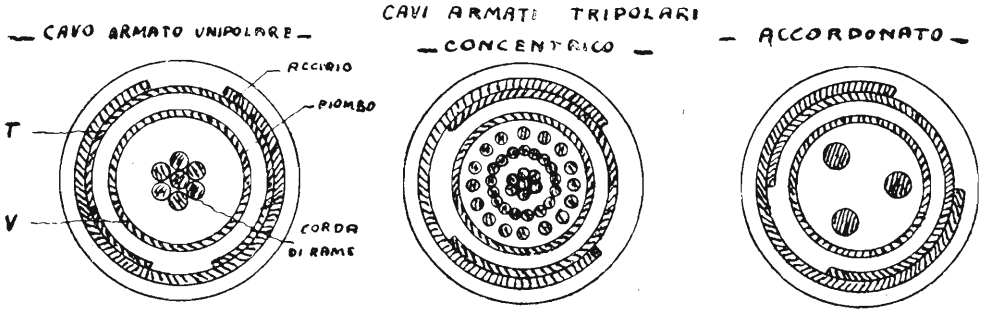


Fig. 23.

Per la giunzione di fili esistono due tipi di giunto.

Il primo, detto giunto *Britannia*, si effettua sovrapponendo i due fili per una lunghezza decupla del diametro dopo averne piegati gli estremi ad angolo retto (fig. 24-A); sui due fili viene poi avvolto strettamente un filo più sottile nel modo indicato in figura.

Il secondo tipo di giunto, detto a torsione, non può essere usato per i fili di diametro troppo grande; si effettua semplicemente attorcigliando gli estremi dei due fili uno sull'altro per una lunghezza complessiva pari al decuplo del diametro (fig. 24-B).

Fig. 24.

La giunzione delle corde è un poco più complicata (fig. 25); occorre disfare le estremità delle due corde per un certo tratto e drizzare i fili come è indicato in figura, quindi avvicinare le corde in modo che i fili di una risultino alternati con quelli dell'altra, ed infine attorcigliare i fili alle corde stesse.

Qualunque sia il sistema di giunzione usato, occorre sempre pulire prrcedentemente con cura i fili con tela smeriglio ed ultimata la giunzione ricoprirla con un'accurata saldatura a stagno.

Trattandosi di fili ricoperti, bisognerà naturalmente denudare le estremità da giuntare ed a giunzione compiuta ricoprirla con nastro gommato isolante.

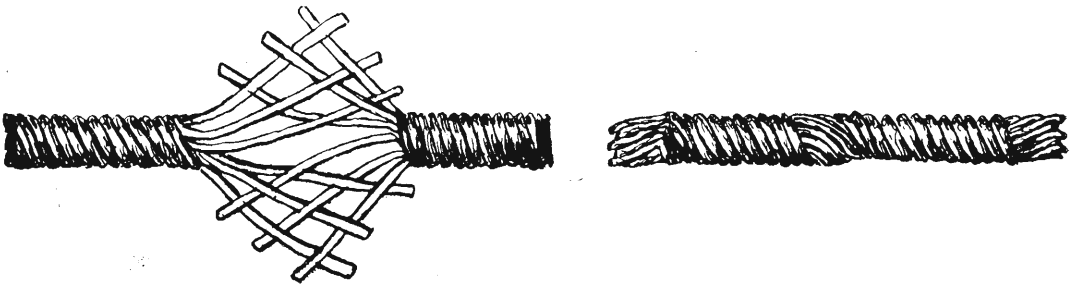


Fig. 25.

Per i cavi l'operazione è più complessa, specialmente se trattasi di cavi armati; per un cavo armato unipolare, con conduttore a treccia, le operazioni da farvi per preparare ognuna delle due estremità sono, ad esempio, le seguenti.

Ad una certa distanza dall'estremità (fig. 26) si pratica sul cavo una legatura con spago, quindi si toglie l'isolante esterno fino alla legatura ponendo allo scoperto l'armatura di ferro; si toglie anche questa limandola attorno alla legatura e mettendo così allo scoperto l'armatura di piombo.

Fig. 26.

Su quest'ultima, a tre o quattro centimetri di distanza dalla legatura, si pratica con un coltello un'incisione circolare togliendo il pezzo di tubo di piombo che così viene a liberarsi.

Resta così scoperto l'isolante interno; su questo, a tre o quattro centimetri dall'estremità dell'armatura di piombo si esegue una seconda legatura attorno alla quale, dalla parte dell'estremità, si toglie l'isolante stesso ponendo a nudo il conduttore.

Si esegue quindi la giunzione delle due corde nel modo che è già stato descritto e poscia si isola la parte rimasta scoperta con più strati di nastro di gomma e di nastro incatramato; è possibile anche sostituire la parte di armatura mancante sulla giunzione con lamierino di ferro piegato intorno al cavo e saldato lungo i bordi di unione.

Spesso però si preferisce giuntare i cavi usando le apposite scatole di ghisa a tenuta stagna di cui la fig. 27 ci mostra un esemplare aperto; i conduttori sono uniti a mezzo del manicotto di rame o serracavo S, quindi la scatola viene riempita di asfalto e chiusa ermeticamente.

Esistono anche cassette per giunzione di cavi a due o più conduttori.

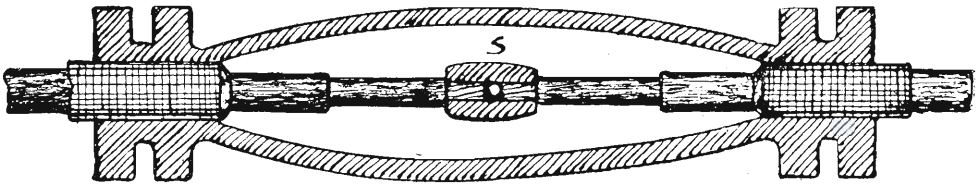


Fig. 27.

TABELLA VIII.

Conducibilità relativa di alcuni metalli rispetto alla conducibilità dell'argento presa come 100 e del mercurio presa come 1

Argento puro	100
Rame puro	100
Bronzo silicioso telegrafico	98
Lega rame-argento 50 %	88,6
Oro puro	78
Alluminio puro	54,2
Bronzo silicioso telefonico	35
Zinco puro	30
Bronzo fosforico telefonico	29
Lega oro-argento 50 %	16,12
Ferro di Svezia	16
Stagno puro	15,4
Acciaio Siemens	12
Platino puro	10,6
Piombo puro	8,88
Bronzo a 20 % di stagno	8,4
Nichelio puro	7,89
Antimonio	3,88
Mercurio	1,61
Mercurio a 0°	1,000
Antimonio ricotto	2,053
Nikelina, reotano	2,8-1,8
Maillechort	3,603
Piombo ricotto	5,111
Platino	6,073
Nikelio	7,374
Ferro	9,685
Stagno	9,874
Zinco	16,64
Alluminio ricotto	30,86
Oro ricotto	44,06
Rame trafilato	52,21
Rame ricotto	55,86
Argento ricotto	63,80
Carbone di storta	0,02

TABELLA IX.

Peso e resistenza dei fili di rame puro a 0°

La resistenza aumenta del 5/100 per il rame elettrolitico commerciale, e del 2/100 ogni 5 gradi centigradi.

Diametro mm.	Sezione mm^2	Grammi per m.	Metri per Kg.	Ohm per Kg.	Metri per Ohm.
0.100	0.0079	0.0669	15000.	2133.1	0.47
0.200	0.0314	0.2796	3580.	533.26	1.9
0.300	0.0707	0.6291	1600.	237.01	4.2
0.400	0.1257	1.1184	900.	133.01	7.5
0.508	0.2027	1.8039	555.	82.656	12.2
0.600	0.2827	2.5164	397.	59.252	17.
0.711	0.3970	3.5336	283.3	42.195	24.
0.800	0.5027	4.4736	224.	33.329	30.
0.914	0.6561	5.8395	171.5	25.534	39.
1.	0.78	6.99	143.06	20.34	49.
1.5	1.77	15.73	63.58	9.04	120.
2.	3.14	27.96	35.76	5.08	197.
2.5	4.91	43.69	22.89	3.25	307.
3.	7.07	62.91	15.90	2.25	443.
3.5	9.62	95.63	11.69	1.66	602.
4.	12.57	111.8	8.94	1.27	787.
4.5	15.90	141.5	7.06	1.	995.
5.	19.63	174.7	5.72	0.814	1229.
5.5	23.76	211.5	4.73	0.672	1487.
6.	28.27	251.6	3.97	0.565	1770.
6.5	33.18	295.3	3.39	0.481	2077.
7.	38.48	342.5	2.92	0.415	2409.
7.5	44.18	393.2	2.54	0.362	2765.
8.	50.26	447.4	2.24	0.318	3146.
8.5	56.74	505.0	1.98	0.282	3552.
9.	63.62	566.0	1.77	0.251	3992.
9.5	70.88	630.8	1.58	0.225	4437.
9.9	76.98	685.1	1.46	0.207	4818

TABELLA X.

Resistenza in Ohm per Km. a 15° e carico di rottura in kg. dei fili di rame duro di conduttività del 96 %

$\rho = 0.0176$ per m. e per mm^2 a 15° C.

Diametro mm.	Sezione mm^2	Resistenza Ohm	Carico di rottura Kg.	Diametro mm.	Sezione mm^2	Resistenza Ohm	Carico di rottura Kg.
1.0	0.785	22.1	31.8	3	7.07	2.46	307
1.1	0.950	18.3	42.7	3.1	7.55	2.30	328
1.2	1.131	15.4	51	3.2	8.04	2.16	350
1.3	1.327	13.1	60	3.3	8.55	2.03	272
1.4	1.539	11.3	69	3.4	9.08	1.91	395
1.5	1.767	9.83	79	3.5	9.62	1.81	417
1.6	2.041	8 64	90	3.6	10.18	1.71	438
1.7	2.270	7.66	101	3.7	10.75	1.62	463
1.8	2.545	6.83	113	3.8	11.34	1.53	488
1.9	2.835	6.13	125	3.9	11.95	1.45	515
2	3.142	5 53	138	4	12.57	1.38	538
2.1	3.464	5 02	153	4 5	15.90	1.09	673
2.2	3.801	4.57	167	5	19.64	0.885	823
2.3	4.155	5.18	183	5.5	23.76	0.732	1010
2.4	4.524	3.84	199	6	28.27	0.615	1160
2.5	4.909	3.54	214	6.5	33.18	0.524	1355
2.6	5.309	3.28	232	7	38.49	0.452	1560
2.7	5.726	3.04	250	8	50.27	0.345	2010
2.8	6.158	2.82	269	9	63.62	0.273	2480
2.9	6.605	3.63	288	10	78.54	0.221	3980

TABELLA XI.

Resistenza in Ohm per km. a 15° C. e carico di rottura in Kg. dei fili di rame dolce di conduttività del 98 %.

$\rho = 0.017$ per m. e mm^2 a 15 C.

Diametro mm.	Sezione mm^2	Resistenza Ohm	Carico di rottura Kg.	Diametro mm.	Sezione mm^2	Resistenza Ohm	Carico di rottura Kg.
1	0 785	21.67	19	3	7.07	2.41	170
1.1	0.950	17.90	23	3.1	7.55	2.26	181
1.2	1.131	15.05	27	3.2	8 04	2.12	193
1.3	1.327	12.80	32	3.3	8.55	1.99	205
1.4	1.539	11.05	37	3.4	9.08	1.87	217
1.5	1.767	9.63	42	3.5	9.62	1.77	230
1.6	2.011	8.46	48	3.6	10.18	1.67	244
1.7	2.270	7.50	54	3.7	10.75	1.58	258
1.8	2 545	6.68	61	3 8	11.34	1.50	272
1 9	2.835	6.01	68	3.9	11.95	1.42	286
2	3 142	5.42	75	4	12.57	1.35	302
2.1	3.464	4.92	83	4.5	15.90	1.07	382
2.2	3.801	4.47	91	5	19.64	0.866	472
2.3	4.155	4.10	100	5.5	23.76	0.716	570
2.4	4.524	3.77	109	6	28.27	0.602	680
2.5	4.909	3.47	118	6.5	33.18	0.514	796
2.6	5.309	3.21	127	7	38.49	0.443	925
2.7	5.726	2.98	137	8	50.27	0.339	1210
2.8	6.158	2.76	148	9	63.62	0.268	1525
2.9	6.605	2.58	159	10	78.54	0.216	1890

TABELLA XII.

Corde di rame peso specifico 8,9

$\rho = 0.017\ \Omega$ a 0° C.

	Diametro di ciascun filo in mm.	Diametro del conduttore in mm.	Sezione del conduttore in mm.²	Resistenza per km. a 0° C.	Peso per km. kg.
a 7 fili	0.8	2.4	3.59	4.625	32.7
	1.0	3.0	5.62	3.008	51.1
	1.2	3.6	8.14	2.088	73.6
	1.4	4.4	11.09	1.570	100.2
	1.6	4.8	14.47	1.174	130.9
	1.8	5.4	18.29	0.927	165.6
	2.0	6.0	22.61	0.751	214.5
	2.2	6.6	27.36	0.621	246.5
	2.4	7.2	32.54	5.521	294.5
a 19 fili	0.8	4	9.75	1.731	88.8
	1.0	5	15.21	1.107	138.7
	1 2	6	22.04	0.769	199.8
	1.4	7	30.03	0.565	272
	1.6	8	39.23	0.433	355.2
	1.8	9	49.53	0.342	449.5
	2.0	10	61.23	0.277	555
	2.2	11	74.10	0.229	671.5
	2.4	12	88.14	0.192	7.995
a 37 fili	0 8	5.6	19.16	0.866	178.2
	1.0	7	29.92	0.503	278.3
	1.2	8.4	43.06	0.395	389
	1.4	9.8	58.69	0 291	497
	1.6	11.2	76.60	0.222	691.5
	1.8	12.6	96.80	0.175	875.5
	2.0	14	119.67	0.142	1080
	2.2	15.4	144.82	0.117	1310
	2.4	14.4	172.26	0.094	1602
a 49 fili	0.8	7.2	25.75	0.644	231.8
	1.0	9	40.43	0.409	375
	1 2	10.8	58.20	0.283	541.2
	1.4	12.6	79.31	0.208	737.5
	1.6	14.4	103.52	0.160	962.5
	1.8	16.2	130.84	0.123	1216
	2.0	18	161.71	0,102	1504
	2.2	19.8	195.70	0 084	1820
	2.4	21.6	232.78	0.067	2165

TABELLA XIII.

Fili di ferro dolce - peso specifico 7,7

Resistenza specifica $\rho = 0{,}13$ Ohm per m. e mm.^{2} a 15° C.

Diam. mm.	Sezione mm.^{2}	Peso per m. gr.	Lunghezza per kg. m.	Resistenza per m. Ohm	Lunghezza per Ohm m.
0.5	0.196	1.51	662	0.664	1.51
1.0	0.785	6.05	165	0.166	6.02
1.5	1.767	13.6	73.5	0.074	13.5
2.0	3.142	24.2	41.3	0.041	24.4
2.5	4.909	37.7	26.5	7.0265	37.7
3.0	7.07	54.4	18.4	0.0184	54.3
3.5	9.62	74.1	13.5	0.0135	74.1
4.0	12.57	96.8	10.3	0.0104	96.2
4.5	15.90	122	8.2	0.0077	123
5.0	19.64	151	6.62	0.0066	152
5.5	23.76	183	5.46	0.0055	182
6.0	28.27	217.5	4.60	0.00346	217

TABELLA XIV.

Fili di bronzo per telefoni o telegrafi

Diametro m.	Sezione mm.^{2}	Carico di rottura per mm.^{2} kg.	Resistenza per kg a 15° C. Ohm.
5.0	19.635	50	0.96
4 5	15.904	50	1.19
4.0	12.566	50.9	1.51
3.0	7.069	52 6	2.67
2.0	3.142	54.1	6.02
1.5	1.167	68.1	14.43

CAPITOLO III.

Lavoro e potenza della corrente elettrica

§ 11 — Lavoro e potenza della corrente elettrica Legge di Joule

Nel Capitolo I abbiamo già accennato al concetto di potenza della corrente elettrica; riprendiamo adesso l'argomento per approfondirlo maggiormente, ricorrendo al consueto paragone della corrente elettrica con una corrente d'acqua.

Nell'esempio della figura 3, viene speso, per azionare la pompa P, un certo *lavoro meccanico* che si misura in kilogrammetri, essendo *un kilogrammetro il lavoro che si compie innalzando di un metro il peso di un kilogrammo.*

Così se per mezzo della pompa P si innalzano 100 Kilogrammi di acqua dal pozzo A fino al serbatoio S superando un dislivello di m. 6, dobbiamo dire di aver compiuto un lavoro di kilogrammetri $6 \times 100 = 600$.

Analogamente nel generatore G della fig. 4 viene compiuto, a spese della potenza meccanica o di altro genere che aziona il generatore stesso, un certo *lavoro elettrico* per trasportare una certa quantità di elettricità da B in A.

Il lavoro elettrico si indica con W e si misura in *joule* essendo un joule *il lavoro corrispondente il trasporto di un coulomb da un certo potenziale ad un potenziale più elevato di un volt.*

Così se per mezzo del generatore G si elevano 100 coulomb dal potenziale di B al potenziale di A, essendo $V_A - V_B = 6$ Volt, il lavoro elettrico compiuto è di joule $6 \times 100 = 600$.

Fra le unità di misura del lavoro meccanico e del lavoro elettrico, esiste la seguente relazione:

$$1 \text{ joule} = 0{,}102 \text{ Kgm.}$$

ossia: per ogni joule di lavoro elettrico che si vuole ottenere da un generatore, occorre impiegare il lavoro meccanico di 0,102 Kgm. per azionare il generatore stesso (teoricamente, trascurando tutte le perdite).

Il lavoro meccanico compiuto nell'unità di tempo si chiama *potenza meccanica*; l'unità di misura della potenza meccanica è il *kilogrammetro al secondo*, ossia *quella potenza necessaria per compiere il lavoro meccanico di un kgm. nel tempo di un secondo.*

Praticamente però si usa per la potenza meccanica un'altra unità di misura chiamata *cavallo-vapore* (si indica con HP dall'inglese Horse-Power) la quale è 75 volte più grande del kgm. al secondo.

Il cavallo-vapore perciò si può definire come la potenza meccanica necessaria per compiere il lavoro di 75 kilogrammetri in un secondo.

Se, ad esempio, riferendosi sempre alla fig. 3, la pompa P innalza 1250 kilogrammi d'acqua all'altezza di 6 metri nel tempo di 10 secondi, in un secondo ne innalzerà $\frac{1250}{10} = 125$ kilogrammi compiendo il lavoro di $125 \times 6 = 750$ kilogrammetri; la potenza impiegata è quindi $\frac{750}{75} = 10$ HP.

Il lavoro elettrico compiuto nell'unità di tempo si chiama analogamente *potenza elettrica*; l'unità di potenza elettrica è il *Watt che equivale al lavoro di un joule al secondo.*

Se, per esempio, il generatore G (fig. 4) trasporta in 10 secondi 1000 coulomb dal potenziale di B al potenziale di A, essendo $V_A - V_B = 50$ volt, possiamo dire che la potenza elettrica del generatore G è:

$$P = \frac{1000 \text{ Coulomb} \times 50 \text{ volt}}{10 \text{ s}} = 5000 \text{ watt}$$

La potenza elettrica si indica normalmente con la lettera P; l'unità di misura, il watt, essendo per i bisogni della pratica troppo piccola si usa normalmente il suo multiplo, il kilowatt (1000 watt) che si indica con kw.

Poichè 1 joule = 0,102 kgmmetri, sarà anche 1 watt = 0,102 kgmmetri al secondo e poichè 1 HP = 75 kgmmetri al secondo sarà:

$$1 \text{ watt} = \frac{0{,}102}{75} = 0{,}0136 \text{ HP.}$$

ossia 1 kw = 1,36 HP ed anche 1 HP = $\frac{1}{1{,}36}$ kw = 736 watt.

Dalle definizioni date risulta che se uno stesso lavoro viene compiuto in

un tempo doppio, la potenza diventa la metà, se viene compiuto in un tempo triplo la potenza diventa la terza parte, ecc.; in generale possiamo dire:

$$\text{Potenza} = \frac{\text{lavoro}}{\text{tempo}}$$

Osserviamo che nel caso della figura 2 la potenza ci viene data da $P = \frac{\text{quantità d'acqua} \times \text{dislivello}}{\text{tempo}}$ ma poichè $\frac{\text{quantità d'acqua}}{\text{tempo}}$ = portata, possiamo anche scrivere: potenza = portata × dislivello.

Analogamente nel caso della figura 3 la potenza ci viene data da $P = \frac{\text{quantità di elettricità} \times \text{differenza di potenziale}}{\text{tempo}}$ e poichè sappiamo già che $\frac{\text{quantità di elettricità}}{\text{tempo}}$ = intensità di corrente, possiamo anche scrivere: potenza elettrica = intensità di corrente × differenza di potenziale, ossia:

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Ampèr} \times 1 \text{ Volt.}$$

Cioè: *il Watt è la potenza elettrica assorbita da un circuito nel quale circola la corrente di 1 Ampère per effetto di una tensione applicata di un Volt.*

In generale: *la potenza di una corrente elettrica è data in Watt dal prodotto della sua intensità espressa in Ampère per la differenza di potenziale che la produce espressa in Volt.*

Vediamo ora come viene distribuita la corrente elettrica in un circuito percorso da corrente.

Nell'esempio idraulico della fig. 3 l'acqua, dopo aver raggiunto in virtù della pompa P il livello del serbatoio S, cade sulla ruota R e la pone in rotazione, restituendo così la potenza impiegata per azionare la pompa.

La restituzione però non è completa poichè una parte di energia immagazzinata nell'acqua in movimento viene impiegata per vincere l'attrito offerto al movimento dell'acqua stessa dalle pareti dei tubi, sia nel tratto dalla pompa al serbatoio nel quale l'acqua sale, sia nel tratto dal serbatoio al pozzo A nel quale l'acqua cade.

Nel circuito della figura 4, avviene qualcosa di perfettamente analogo; la potenza elettrica del generatore, immagazzinata nelle cariche elettriche in movimento, serve in parte a vincere la resistenza del generatore, o caduta interna, in parte a vincere la resistenza del conduttore, o caduta esterna, ed il rimanente è disponibile per l'apparecchio utilizzatore R, il quale la trasformerà, secondo i bisogni, in potenza meccanica, chimica, calorifica, ecc.

Possiamo arrivare a queste stesse conclusioni anche partendo dalla Legge di Ohm; per un circuito chiuso comprendente un generatore ed un utente (fig. 28) si ha:

$$E = R_i\ I + RI + e$$

dove R_i è la resistenza interna del generatore, R la resistenza complessiva del circuito esterno ed *e* è la f.c.e.m. dell'utente; notiamo qui che salvo il caso di utenti costituiti da una semplice resistenza quali sono quelli che, come studieremo più avanti, si impiegano per trasformare l'energia elettrica in energia calorifica o luminosa, tutti gli altri presentano sempre nel circuito nel quale sono inseriti una f.c.e.m.

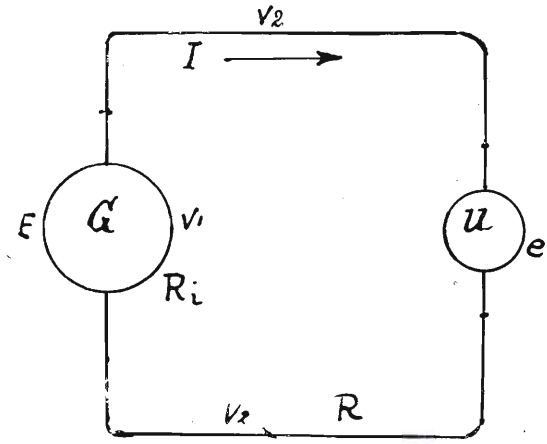


Fig. 28.

L'espressione sopra scritta significa, come già sappiamo, che la f.e.m. E del generatore fa equilibrio alla somma delle cadute di potenziale, interna ed esterna, e della f.c.e.m. esistente nel circuito.

Per semplicità in questo esempio abbiamo considerato un circuito comprendente un solo generatore ed un solo utente; la cosa non cambierebbe se vi fossero invece più generatori e diversi utenti in serie fra di loro poichè in tal caso la somma delle f.e.m. farebbe equilibrio alla somma delle cadute di potenziale interne ed esterne e delle f.c.e.m. esistenti nel circuito.

Chiamiamo con $v_1 = RI$ e $v_2 = RI$ le due cadute di potenziale interna ed esterna che sarà: $E = v_1 + v_2 + e$.

La potenza elettrica del generatore è data come sappiamo da $E \times I$; os-

serviamo che essendo $E = v_1 + v_2 + e$, sarà anche $E\,I = (v_1 + v_2 + e) \times I$ ossia $E\,I = v_1\,I + v_2\,I + e\,I$.

Ciò significa appunto che la potenza E I del generatore si suddivide in una parte $v_1\,I$ che serve a vincere la resistenza del circuito interno del generatore, in una parte $v_2\,I$ che serve a vincere la resistenza complessiva del circuito esterno, ed infine in una parte $e\,I$ utilizzabile nell'apparecchio V.

Tralasciamo per ora di occuparci di quest'ultima parte ed occupiamoci invece della potenza elettrica impiegata per vincere la resistenza dei conduttori del circuito interno e di quello esterno.

Questa potenza $v_1\,I + v_2\,I$ è potenza perduta poichè, come abbiamo visto, soltanto la potenza $e\,I$ è utilizzabile nell'apparecchio V; con questo però vogliamo dire semplicemente che essa non è utilizzabile per i nostri scopi, non già che essa vada distrutta; poichè qualsiasi forma di energia esistente in natura può al massimo trasformarsi in altra forma ma non può essere nè creata nè distrutta.

Vediamo quindi in quale altra forma di potenza si trasforma quella parte impiegata a vincere la resistenza elettrica.

Nell'esempio idraulico della fig. 3, la parte di potenza perduta per attrito dell'acqua contro le pareti dei tubi si trasforma in calore, come è possibile controllare con opportune esperienze.

Ciò succede per qualsiasi specie di attrito meccanico ed è per questo motivo, ad esempio, che si riscaldano i cuscinetti delle macchine in moto, ecc.

Per quella specie di *attrito elettrico* che è appunto effetto della resistenza elettrica dei conduttori, avviene precisamente lo stesso, cioè la potenza elettrica in esso perduta si trasforma in calore.

E' facile rendere visibile questo fenomeno ricorrendo all'apparecchio indicato nella fig. 29.

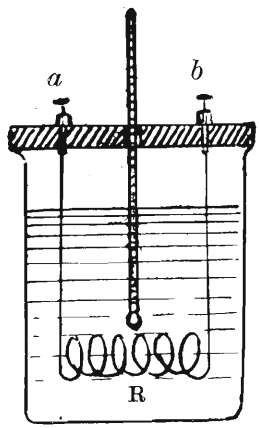


Fig. 29.

In un vaso di vetro, contenente un liquido isolante qualsiasi (ad esempio, acqua pura), è immenso un conduttore in forma di spirale, gli estremi del quale sono uniti rispettivamente ai due serrafili *a* e *b* fissati ad un coperchio di materiale isolante.

Applicando ai due serrafili *a* e *b* una certa differenza di potenziale V, se R è la resistenza del conduttore immerso nell'acqua, sappiamo che in esso circolerà una corrente $I = \frac{V}{R}$; perciò l'apparecchio assorbe una potenza elettrica pari a V I la quale serve tutta a vincere la resistenza del conduttore.

Appena la corrente comincia a circolare si può constatare, a mezzo dell'apposito termometro, che la temperatura dell'acqua comincia a salire.

Poichè l'aumento di temperatura dell'acqua è l'unico fenomeno che si può osservare per tutto il tempo durante il quale il conduttore è percorso da corrente e d'altra parte questo fenomeno cessa di manifestarsi appena interrompiamo la corrente, resta sperimentalmente dimostrato che la potenza elettrica perduta nei conduttori a causa della caduta di tensione che essi provocano si trasforma completamente in calore.

Questo esperimento fu eseguito per la prima volta dal fisico Joule, e per questo l'effetto calorifico della corrente è noto comunemente sotto il nome di *effetto Joule.*

Vediamo adesso come Joule stesso riuscì ad enunciare la legge che regola questo fenomeno.

Anzitutto osserviamo che dal momento in cui noi lanciamo corrente nell'apparecchio della fig. 29 la temperatura aumenta gradatamente per un certo tempo, per rimanere poi stazionaria ad un certo valore.

Ciò è dovuto al fatto che la massa d'acqua contenuta nel vaso riceve calore dalla spirale del conduttore, ma in pari tempo ne cede all'ambiente circostante in misura crescente man mano che aumenta lo squilibrio di temperatura fra l'acqua e l'ambiente stesso.

Si verifica quindi il fatto che, quando la quantità di calore che in un dato tempo la massa d'acqua riceve dalla spirale di conduttore percorsa dalla corrente, eguaglia la quantità di calore che nel tempo stesso si disperde nell'ambiente circostante, la temperatura della massa d'acqua rimane stazionaria.

Se fosse possibile isolare termicamente in maniera perfetta il vaso di vetro dall'ambiente circostante, noi constateremmo quindi che la temperatura della massa d'acqua tenderebbe a salire gradatamente ed indefinitivamente, a patto naturalmente che, sia la resistenza del conduttore come l'intensità di corrente che lo attraversa, rimangano invariate.

Perciò la quantità di calore prodotta dipenderebbe unicamente dal tempo durante il quale noi lasceremmo circolare la corrente del conduttore; ossia può dirsi che, *rimanendo costanti la tensione applicata e l'intensità di corrente, la quantità di calore prodotta è direttamente proporzionale al tempo.*

Supponiamo adesso di avere a disposizione diversi apparecchi simili a quello della fig. 29 e supponiamo di alimentarli in serie fra di loro con un generatore qualsiasi, in modo che essi vengano tutti attraversati dalla stessa intensità di corrente.

Se gli apparecchi sono stati costruiti in modo che le varie spirali di con-

duttore abbiano valori diversi fra di loro, ci sarà facile constatare che le temperature raggiunte in un tempo uguale dai vari apparecchi sono diverse fra di loro e proporzionali alla resistenza della spirale di ogni singolo apparecchio.

Possiam dunque dire che, *rimanendo costanti il tempo durante il quale la corrente circola, ed il valore dell'intensità della corrente stessa, la quantità di calore prodotta è direttamente proporzionale alla resistenza.*

Se infine facciamo passare attraverso un unico apparecchio, sempre per uno stesso intervallo di tempo, prima una certa intensità di corrente I, poi una intensità $2\ I$, poi $3\ I$, $4\ I$, ecc. potremo constatare che si produrrà rispettivamente, prima una certa quantità di calore Q, poi una quantità $4\ Q$, poi $9\ Q$, poi $16\ Q$, ecc.

Cioè *rimanendo costanti il tempo durante il quale circola corrente nel conduttore e la resistenza del conduttore stesso, la quantità di calore prodotto è direttamente proporzionale al quadrato dell'intensità di corrente.*

Dall'insieme di tutte queste constatazioni Joule enunciò la seguente legge che porta il suo nome:

Il lavoro elettrico equivalente al calore sviluppato in un conduttore dalla corrente elettrica in un tempo t è dato dal prodotto della resistenza del conduttore stesso per il quadrato dell'intensità di corrente e per il tempo t : ossia:

$$W = R\ I^2\ t$$

Naturalmente parlando di potenza elettrica, poichè questa non è altro che il lavoro elettrico compiuto nell'unità di tempo, si ha $t = 1$ e quindi $P = R\ I^2$.

Infatti nel caso della fig. 29 la potenza assorbita dall'apparecchio e che abbiamo visto trasformarsi completamente in calore, è data da $P = V\ I$; ma essendo per la legge di Ohm $V = R\ I$ avremo anche: $P = R\ I \times I = R\ I^2$.

Riferendoci a quanto abbiamo già detto a proposito dell'esempio della fig. 28, osserviamo che il circuito dell'apparecchio rappresentato in fig. 29 è appunto un circuito senza f.c.e.m. poichè comprende soltanto il generatore ed un conduttore che presenta una certa resistenza.

In questo caso però, se si riflette al fatto che lo scopo per il quale l'apparecchio è stato costruito è appunto quello di produrre del calore, non possiamo più chiamare potenza perduta tutta la potenza che si trasforma in calore.

Occorrerà invece distinguere la caduta di potenziale totale del circuito in due cadute parziali, una interna all'apparecchio prodotta dalla spirale di conduttore, ad una esterna prodotta dai conduttori che servono a collegare i serrafili dell'apparecchio ai morsetti del generatore. La prima assorbe quella parte della potenza elettrica che noi utilizziamo per i nostri scopi (in questo

caso riscaldamento), mentre la seconda produce soltanto una perdita di potenza, inquantochè il calore che si sviluppa nei conduttori di collegamento del circuito esterno non è utilizzabile.

Occorre adesso stabilire l'equivalente in calore del lavoro elettrico; ricordiamo intanto che l'unità di misura del calore *è la caloria, equivalente alla quantità di calore necessaria per elevare la temperatura di un dcm.*^{3} *di acqua distillata di un grado centigrado.*

Dalla meccanica sappiamo che, nella trasformazione del lavoro meccanico in calore, si ottiene una caloria per 427 Kilogrammetri consumati; il numero 427 si chiama perciò *equivalente meccanico del calore.*

Poichè, come già sappiamo, 1 Joule = 0,102 Kilogrammetri, ossia:

$$1 \text{ Kilogrammetro} = \frac{1}{0{,}102} = 9{,}8 \text{ Joule, avremo anche}$$

$$1 \text{ caloria} = 427 \text{ Kilogrammetri} = 427 \times 9{,}8 \text{ Joule} = 4184 \text{ Joule}$$

ed anche:

$$1 \text{ Joule} = \frac{1}{4184} \text{ calorie} = 0{,}00024 \text{ calorie.}$$

Evidentemente sarà anche un Watt = 0,00024 calorie al secondo (1); possiamo dunque dire che *il calore sviluppato per effetto Joule nell'unità di tempo da una corrente I, che attraversa un conduttore di resistenza R, è dato in calorie da:*

$$C = R \times I^2 \times 0{,}00024$$

dove R è espresso in Ohm ed I in Ampère.

Se un Watt è uguale a 0,00024 calorie al secondo, un Watt-ora sarà uguale a $0{,}00024 \times 3600 = 0{,}864$ calorie, quindi:

$$1 \text{ caloria} = \frac{1}{0{,}864} = 1{,}158 \text{ Watt-ora.}$$

Questa formula insieme alle precedenti serve a calcolare la potenza elettrica necessaria per ottenere un determinato riscaldamento di un dato corpo in un tmpo pure determinato.

---

(1) Comunemente si usa anche un sottomultiplo della caloria che si chiama piccola caloria corrispondente ad $\frac{1}{1000}$ di calorie.

TABELLA XV.

Piombi fusibili

Sezione mm.	Corrente in A.	Corrente fusione	Sezione mm.	Corrente in A.	Corrente fusione
0.75	3	6	35	80	160
1.00	4	8	50	100	200
1.50	6	12	70	130	260
2.50	10	20	95	160	320
4	15	30	120	200	400
6	20	40	150	230	460
10	30	60	210	300	600
16	40	80	300	400	800
25	60	120	500	600	1200

TABELLA XVI.

Fusibili in rame

Diametro mm.	Corrente in A.	Corrente fusione	
0.5	14	28	Per un filo lungo 10 cm.
0.65	22	44	
0.70	24	48	
1.00	36	72	
1.50	72	144	
2.00	112.5	225	
2.50	150	305	

§ 12 — **Applicazioni termoelettriche**

L'effetto termico trova numerosissime applicazioni negli apparecchi termoelettrici (ove si utilizza il calore svolto dal passaggio di una corrente in una apposita resistenza, per riscaldamento di ambienti, per ebollitori per liquidi, per ferri da stiro e ferri da saldare, ecc.), nelle lampade a filamento ove il calore svolto porta all'arroventamento di un filo sottile di grande resistenza, nell'arco voltaico di cui parleremo in seguito, nelle valvole di sicurezza per circuiti, ecc.

La costruzione degli apparecchi elettrotermici deve tendere a mantenere sempre minime le perdite di calore nell'ambiente esterno spesso notevoli, e quindi a migliorare il *rendimento* globale degli apparecchi stessi. Infatti, il conduttore che percorso dalla corrente elettrica si riscalda e cede il calore ad altro corpo, ad esempio, a dell'acqua, è contenuto in generale in un recipiente nel quale la parete interna è a contatto con il sopradetto corpo mentre la parete esterna è a contatto con l'aria ambiente. Il calore trasmesso dal filo caldo all'aria è calore perduto agli effetti dell'utilizzazione dell'apparecchio, e quindi bisogna ottenere che esso rappresenti la minore quantità possibile.

Se, ad esempio, indichiamo con Pt la potenza elettrica sviluppata dal generatore per alimentare l'apparecchio termoelettrico, di questa solo una parte Pu verrà utilizzata per il riscaldamento dell'acqua mentre la rimanente andrà perduta sotto forma di calore comunicato all'ambiente esterno. Potremo quindi chiamare *rendimento elettrico* il rapporto fra la potenza elettrica utilizzata e la potenza elettrica assorbita dall'utente. Si comprende come in un apparecchio nel quale fosse possibile eliminare ogni dispersione di calore la potenza elettrica totale del generatore equivarrebbe a quella utilizzata e quindi avremo:

$$\frac{Pu}{Pt} = 1$$

Se, per concretare quanto è stato sopra esposto, la potenza erogata dal generatore è di 100 Watt e quella utilizzata dall'apparecchio è di 50 Watt il rendimento sarà $\frac{50}{100} = 0{,}50$.

E' da notare che, dal punto di vista del rendimento, nessuna miglioria si può attendere se l'apparecchio termo-elettrico da costruire è una stufa perchè detto rendimento è, in qualunque tipo di calorifero, del 100 per 100:

tutta l'energia elettrica consumata dall'apparecchio è trasformata in energia calorifica.

Il problema che generalmente si presenta è il seguente:

Dato un certo peso in Khilogrammi del corpo che si vuol riscaldare, il salto di *temperatura t* che si vuole compiere, il tempo T in minuti nel quale si vuol ottenere l'effetto, la tensione V della corrente di alimentazione e il genere di lega di cui è costruito il filo resistente, calcolare la lunghezza e la sezione di questo. Prima di procedere al calcolo si deve fissare il rendimento globale dell'apparecchio il quale, come abbiamo detto, sarà tanto migliore quanto più razionalmente si costruirà l'apparecchio elettro-termico e quanto migliori saranno le condizioni esterne.

Esempio:

Si voglia calcolare l'elemento riscaldante per un fornello elettrico capace di far bollire un litro d'acqua in ¼ d'ora.

La tensione di alimentazione è di 150 volts.

Trattandosi di fornelli il rendimento è molto basso e si può ammettere eguale a 0,50. Supposta la temperatura iniziale dell'acqua di 5°, per quanto abbiamo detto definendo la caloria, la quantità di calore in calorie che si deve produrre sarà:

$$Q = \frac{100° - 5°}{0{,}50} = 190$$

sapendo che l'acqua bolle a 100°.

Il numero di Watt-ore sarà: (v. pag. 66)

$$190 \times 1{,}158 = 220 \text{ circa}$$

e quello dei Watts per ¼ d'ora:

$$\frac{220}{1/4} = 880$$

l'intensità della corrente risulta:

$$I = \frac{880}{150} = 5{,}9 \text{ amp}$$

quindi la resistenza del filo deve essere:

$$R = \frac{150 \text{ v}}{5{,}9 \text{ A}} = 25{,}2 \text{ ohms}$$

Adoperando filo di nikel-cromo (Tabella 17) la sua sezione dovrà essere m/m² 0,283 cui corrisponde il diametro di m/m 0,6 e la lunghezza sarà, dato che la resistenza specifica K per il nichel-cromo è uguale circa ad uno (Tabella N. 1):

$$l = \frac{R \times s}{K} = \frac{25{,}2 \times 0{,}283}{1} = \text{m. } 7{,}20$$

Se invece del nikel-cromo si adoperasse l'argentana (Tabella N. 18) il diametro del filo dovrà essere di m/m 0,5, cui corrisponde la sezione di m/m² 0,196. Essendo la resistenza specifica per l'argentana eguale 0,3 circa (Tabella N. 1) si avrebbe:

$$l = \frac{R \times s}{K} = \frac{25{,}2 \times 0{,}296}{0{,}3} = \text{m. } 16{,}60$$

TABELLA XVII.

Nicromo

Diametro in mm.	Sezione in mm.²	Carico necessario in ampère
0.5	0.196	4.5
0.6	0.283	7
0.7	0.385	8.5
0.8	0.503	9.5
0.9	0.636	10
1	0.785	11
1.10	0.950	14
1.5	1.797	18
2	3.14	23
3	7.069	42
4	12.57	60
5	19.64	90

TABELLA XVIII.

Argentana

Diametro in mm.	Sezione in mm²	Carico necessario in ampere
0.5	0.196	5.8
0.7	0.385	8
1	0.785	13
1.5	1.797	18
2	3.14	28
2.5	4.58	39

CAPITOLO IV.

Circuiti derivati

§ 13 — Distribuzione della corrente nei circuiti derivati Principî di Kirchoff - Applicazioni

Fino ad ora abbiamo considerato la trasmissione della corrente in un circuito formato da un solo filo; nei casi pratici però la corrente si distribuisce in molti conduttori che vengono a formare una rete con maglie e nodi (fig. 30).

I princìpi di Kirchoff, che completano le leggi di Ohm, danno la possibilità di calcolare la intensità di corrente in ciascun lato delle maglie, conoscendone la resistenza e la f. e. m. a cui esso è sottoposto.

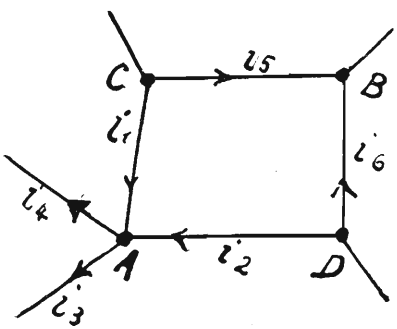


Fig. 30.

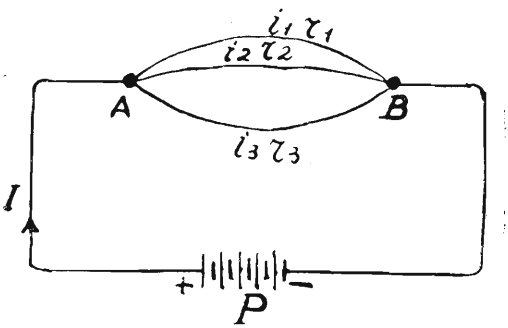


Fig. 31.

Primo principio di Kirchoff:

In un sistema di conduttori a maglie la somma algebrica delle intensità è nulla in ciascun nodo (1).

(1) Circa il senso da attribuire alle correnti che convergono e divergono in un nodo, conveniamo che siano positive le correnti che arrivano al nodo e negative quelle che ne partono.

Se consideriamo il circuito della fig. 31 nel quale P indica un qualsiasi generatore di corrente, evidentemente la intensità I della corrente principale che giunge ad A deve essere uguale alla somma delle intensità i_1, i_2, i_3, delle correnti derivate che partono; cioè per il nodo A si deve avere:

$$I = i_1 + i_2 + i_3$$

ossia

$$I - i_1 - i_2 - i_3 = 0$$

Secondo principio di Kirchoff:

La somma algebrica delle f. e. m. agenti in un circuito chiuso è uguale alla somma algebrica dei prodotti delle singole intensità per le resistenza dei rispettivi lati.

Riferendoci alla figura 32 e ricordando quanto fu precedentemente detto, ammettiamo di avere un circuito a maglia in ognuno dei cui lati sia applicato un generatore.

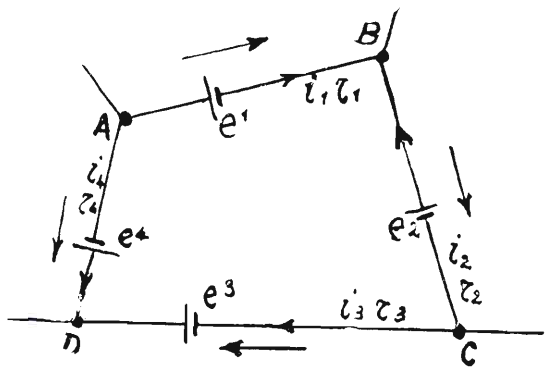


Fig. 32.

Indichiamo con V_A, V_B, V_C, V_D, i potenziali dei quattro vertici e supponiamo che le frecce poste accanto ai conduttori rappresentino la direzione delle f. e. m. agenti mentre quelle poste sui conduttori rappresentino il senso delle correnti.

Circa il senso da attribuire alle correnti ed alle f. e. m. che agiscono nel circuito chiuso conveniamo che siano positive le correnti che vanno nel senso del moto delle lancette dell'orologio e negative le correnti in senso contrario; diamo allora il senso positivo alle f. e. m. che agiscono nel senso delle correnti positive e quello negativo alle f. e. m. che agiscono nel senso delle correnti negative.

Applicando la legge di Ohm avremo:

$$V_A - V_B + e_1 = - i_1 r_1$$
$$V_B - V_C + e_2 = - i_2 r_2$$
$$V_C - V_D + e_3 = - i_3 r_3$$
$$V_D - V_A - e_4 = - i_4 r_4$$

e sommando fra loro queste equazioni si ha:

$$e_1 + e_2 + e_3 - e_4 = i_1 r_1 - i_2 r_2 - i_3 r_3 - i_4 r_4$$

Veniamo adesso a qualche applicazione delle leggi di Ohm e di Kirchoff a circuiti varii:

Raggruppamento delle resistenze.

Più resistenze si possono raggruppare in due modi:

1.° *Resistenze in serie* (fig. 33).

Si abbiano *n* resistenze in prosecuzione l'una dell'altra in modo che la corrente di un generatore sia obbligata ad attraversarle successivamente. Si

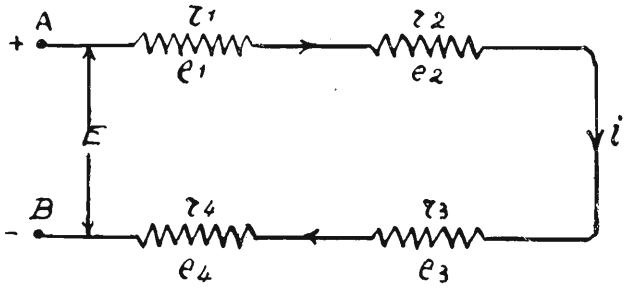


Fig. 33.

dice in tal caso che le resistenze sono collegate *in serie*. L'intensità che le attraversa, di valore *i*, è costante e siano r_1, r_2, r_3 .... i valori delle resistenze ed e_1, e_2, e_3 .... le diverse cadute di tensione agli estremi; per la legge di Ohm avremo:

$$e_1 = r_1 i \qquad e_2 = r_2 i \qquad e_3 = r_3 i \ldots.$$

la caduta complessiva agli estremi sarà:

$$E = e_1 + e_2 + e_3 \ldots..$$

e sostituendo ad e_1, e_2, e_3 il loro valore avremo:

$$E = i\,r_1 + i\,r_2 + i\,r_3 \ldots\ldots \text{ da cui}$$
$$E = i\,(r_1 + r_2 + r_3 \ldots\ldots)$$

e chiamando con R la somma delle diverse resistenze avremo:

$$E = i\,R$$

ossia potremo enunciare il principio:

Più resistenze in serie equivalgono ad una unica resistenza il cui valore è la somma delle resistenze parziali.

2.° *Resistenze in parallelo* (fig. 34).

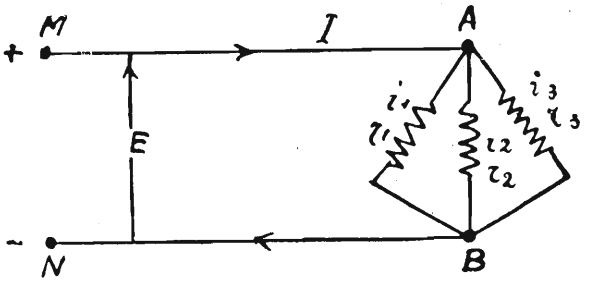


Fig. 34.

Siano più resistenze r_1, r_2 r_3..... intercalate fra i punti A e B in modo che la corrente I debba passare contemporaneamente tra le n resistenze generando delle *correnti derivate* per poi di nuovo ricongiungersi in una sola. Le n resistenze si dicono in *parallelo* o in *derivazione*.

Indicando con E la differenza di potenziale costante fra gli estremi M ed N connessi alle resistenze, si ha:

$$E = r_1\,i_1 \qquad E = r_2\,i_2 \qquad E = r_3\,i_3 \ldots\ldots \text{ da cui}$$
$$i = \frac{E}{r_1} \qquad i_2 = \frac{E}{r_2} \qquad i_3 = \frac{E}{r_3} \ldots\ldots$$

e sapendo per il primo principio di Kirchoff, applicato al nodo A, che la somma delle intensità convergenti nel nodo è uguale alla somma di quelle che partono dal punto e cioè

$I = i_1 + i_2 + i_3 + \ldots\ldots$ si ha sostituendo ad i_1, i_2, i_3 ..... il loro valore

$$I = \frac{E}{r_1} + \frac{E}{r_2} + \frac{E}{r_3} + \ldots\ldots\ldots \text{ da cui}$$

$$I = E\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \ldots\ldots\right)$$

Chiamando con R una resistenza *equivalente* al fascio delle n resistenze primitive avremo:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \ldots\ldots$$

la quale eguaglianza ci dice che la *conducenza di un conduttore equivalente a più conduttori deve essere eguale alla somma delle conducenze dei singoli conduttori.*

Se le resistenze sono tutte eguali ad r avremo:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \ldots\ldots = \frac{n}{r} \text{ da cui}$$

$$R = \frac{r}{n}$$

e questa relazione ci dice che il *conduttore unico equivalente a n conduttori eguali ha una resistenza n volte minore di quella di uno qualunque dei conduttori derivati.* In altre parole: *aumentando le derivazioni in un circuito la resistenza complessiva diminuisce.* Derivando, ad esempio, delle lampadine tra due fili la resistenza complessiva si abbassa e quindi si eleva la corrente totale. Se invece si mettessero le lampadine in serie fra loro la resistenza complessiva andrebbe aumentando.

Un caso particolare si ha quando le resistenze sono eguali ed in numero di due perchè allora si ha:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} = \frac{r + r}{r^2} = \frac{2r}{r^2}$$

e cioè: la resistenza totale del conduttore equivalente è uguale alla somma delle resistenze singole dei due conduttori divisa per il loro prodotto.

Esempio (fig. 35).

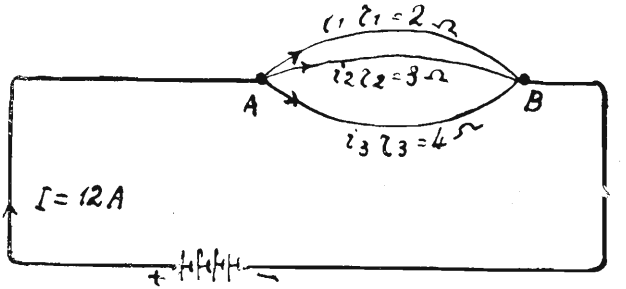


Fig. 35.

Una corrente di 12 A si suddivide nel punto A, percorrendo i tre rami le cui resistenze sono:

$$r_1 = 2\,\Omega,\ r_2 = 3\,\Omega,\ \text{ed}\ r_3 = 4\,\Omega$$

Determinare:

a) la differenza di potenziale fra A e B;
b) l'intensità di corrente in ciascun ramo;
c) la resistenza totale fra A e B.

Soluzioni

a) Le intensità di corrente nei tre rami sono:

$$i_1 = \frac{V}{r_1}, \quad i_2 = \frac{V}{r_2}, \quad i_3 = \frac{V}{r_3}.$$

Sappiamo però che

$$I = i_1 + i_2 + i_3 \text{ quindi } I = V\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right) = 12; \text{ cosicchè}$$

$$V = \frac{12}{\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4}} = \frac{12}{\frac{13}{12}} = \frac{144}{13} = 11{,}11 \text{ V}$$

b) $$i_1 = \frac{V}{r_1} = \frac{11{,}11}{2} = 5{,}5 \text{ A.};$$

$$i_2 = \frac{V}{r_2} = \frac{11.11}{3} = 3{,}7 \text{ A.} \qquad i_3 = \frac{V}{r_3} = \frac{11{,}11}{4} = 2{,}8 \text{ A.}$$

c) Essendo $\frac{V}{R} = V\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right)$ e in generale

$$\frac{I}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \ldots\ldots$$

nel nostro caso sarà

$$\frac{I}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} = \frac{13}{12}$$

da cui

$$R = \frac{12}{13}\ \Omega = 0{,}9\ \Omega.$$

CAPITOLO V.

Elettrostatica

§ 14 — Cariche elettrostatiche

Fondamento delle odierne cognizioni in tutti i rami dell'elettricità è il seguente notissimo fenomeno: se si strofina con un panno di lana un pezzo di ambra essa attrae i corpi leggeri (ad esempio, piccoli ritagli di carta, frammenti di midollo di sambuco, ecc.), i quali si trovano in sua vicinanza. Certo questo fatto è ben poca cosa di fronte alla gigantesca potenza delle odierne macchine elettriche; però fu questo il primo passo che l'ingegno umano fece sulla via che lo condusse poi a conoscere ed a soggiogare la più meravigliosa forma di energia.

Gli stessi fenomeni di attrazione, oltre che dall'ambra sono presentati anche da altre sostanze come, per esempio, il vetro, l'ebanite, la ceralacca, ecc.

Dal nome greco *electron* che vuol dire ambra, furon chiamati fenomeni di elettricità i fenomeni di attrazione già notati, ed in particolare *elettricità* la causa di questi.

Si dicono *elettrizzati* i corpi nei quali per effetto dello strofinio, nasce dell'elettricità; acquistano cioè una *quantità di elettricità* od una *carica elettrica*, e si comportano come il bastoncino di ambra strofinato. Le attrazioni che si manifestano sono dette *forze elettriche*. Un corpo che non sia elettrizzato si trova allo *stato neutro*.

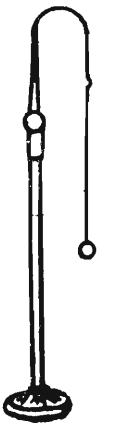


Fig. 36.

La fig. 36 mostra un apparecchio molto semplice detto *elettroscopio* il quale permette di rendere evidenti i fenomeni di attrazione di cui stiamo parlando. Ad un supporto di vetro o di ebanite fissiamo, a mezzo di un filo di seta, una leggera sferetta di midollo di sambuco, o di carta, o di altro materiale purchè leggerissimo, di circa un cm. di diametro. Se strofiniamo con un panno di lana una bacchetta di vetro ben asciutta e la avvi-

ciniamo alla pallina del nostro apparecchio, questa è attirata vivacemente dal vetro con cui viene a contatto. Tale contatto dura, però, qualche breve istante ed è seguìto da una repulsione; nè riusciremo più a fare riaccostare la pallina alla bacchetta.

Il comportamento dei metalli invece è diverso: prendiamo due bacchette piuttosto lunghe, una di vetro e l'altra di metallo, e strofiniamole entrambe con un panno di lana ad una sola estremità e quindi avviciniamo l'elettroscopio in varie zone. Nella bacchetta di vetro l'attrazione si manifesta solo nella zona dello strofinio, mentre nella bacchetta metallica l'attrazione si manifesta in tutta la lunghezza della bacchetta, il che ci dimostra la *propagazione* dello stato elettrico.

Se noi tocchiamo con un dito in un posto qualsiasi, la bacchetta di vetro elettrizzata, lo stato elettrico permane nella zona non toccata, mentre che invece, se tocchiamo quella metallica, la carica elettrica svanisce totalmente. Questo ci dice che l'elettricità si propaga dalle bacchette, attraverso di noi, ai corpi con cui siamo a contatto e quindi alla *terra*. Ma c'è di più:

Con una bacchetta di vetro elettrizzata tocchiamo la sferetta di sambuco di un elettroscopio; come già sappiamo si verificherà prima un'attrazione seguita poi da repulsione. Dopo di questo elettrizziamo una bacchetta di ebanite o di ceralacca ed accostiamola alla medesima sferetta che poco prima era *respinta* dal vetro. Si noterà una viva *attrazione*. In altre parole la sferetta dell'elettroscopio, dopo essere stata prima attratta e poi respinta dal vetro, è attirata dall'ebanite elettrizzata. Questo esperimento ci dimostra:

1° che la sferetta di sambuco, venendo a contatto con un corpo elettrizzato acquista una carica elettrica cedutale dal corpo stesso, e che le due cariche elettriche, quella del corpo e quella che dal corpo è passata alla sferetta, si respingono. Essendo evidentemente le due cariche della stessa specie, perchè della stessa origine, si deduce che *cariche elettriche di eguale specie si respingono.*

2° che la sferetta di sambuco, elettrizzata dalla bacchetta di vetro, viene attratta dalla bacchetta di ebanite. Non essendo evidentemente le due cariche della stessa specie, si deduce che *cariche elettriche di specie diversa si attraggono.*

Si è convenuto di chiamare elettricità *vitrea o positiva* quella dei corpi che si comportano come il vetro strofinato con la lana ed elettricità *resinosa o negativa* quella dei corpi che si comportano come l'ebanite strofinata con la lana.

Da quanto è stato esperimentato dedurremo pure che: *cariche di nome uguale si respingono e cariche di nome contrario si attraggono.*

Il fisico Coulomb trovò, dopo lunghi e pazienti esperimenti, le leggi che regolano le azioni attrattive e repulsive elettriche.

La legge fondamentale che Coulomb trovò si enuncia così:

La forza che due corpi elettrizzati esercitano l'uno sull'altro è uguale al prodotto delle loro quantità di elettricità divise per il quadrato della loro distanza - La legge si esprime con la formula:

$$F = K \frac{Q_1 \times Q_2}{d^2}$$

dove F è la forza elettrica attrattiva o repulsiva, K è una costante che dipende dal mezzo in cui sono immersi i due corpi elettrizzati, Q_1 e Q_2 sono la cariche elettriche di ciascun corpo e d è la distanza tra i centri dei due corpi.

In seguito a questa legge quantitativa si può definire come *unità di quantità elettrica* la carica o quantità di elettricità che attrae o respinge una uguale carica alla distanza di 1 centimetro con la forza di una dine (1). Questa unità elettrostatica è molto piccola per la misura delle comuni quantità di elettricità quando si considera il moto di queste lungo i conduttori per cui in elettrodinamica viene usato il *Coulomb* che corrisponde a 3 miliardi di unità elettrostatiche.

L'esperienza dimostra che la carica elettrica si distribuisce tutta alla *superficie del corpo elettrizzato*. Possiamo anche immaginare che questa carica avvolga i conduttori come in una atmosfera: non perchè questo corrisponda alla realtà, ma unicamente per una finzione che faciliti la comprensione dei fatti. Questa carica non si distribuisce uniformemente sulla superficie dei corpi ma secondo la loro forma e secondo la loro posizione reciproca. In una sfera isolata e lontana da altri conduttori lo spessore di questa atmosfera è costante, ossia la carica si trova distribuita in modo uniforme: in ogni altro caso varia da punto a punto e mostra la tendenza ad essere maggiore nelle parti più accuminate. Chiamasi *densità elettrica* la quantità di elettricità per unità di superficie.

Esiste un modo facile per potere indagare la specie della carica distribuita su di un conduttore mediante l'uso delle cosidette *polveri elettroscopiche*.

La miscela più comune è formata in parti uguali di polvere di minio (rossa) e di zolfo (gialla) mescolate intimamente fra di loro. Proiettando la miscela sul conduttore in esame le polveri si elettrizzano di elettricità di specie

---

(1) *Dine* unità di forza, è definita come quella forza che imprime alla massa di un grammo l'accelerazione di un centimetro.

diversa e propriamente il minio positivamente e lo zolfo negativamente. Si disponga in prossimità (fig. 37) di un conduttore A carico, ad esempio, positivamente un secondo conduttore B, isolato e si proietti su ambedue una certa quantità di polvere elettroscopica. Noteremo subito che mentre il conduttore A acquista una colorazione, competente alla sua carica elettrica, nel conduttore B invece appariranno due colorazioni: rossa nella zona più lontana ad A, e la gialla nella zona più vicina. Allontanando sufficientemente il corpo A, il corpo B non manifesta più alcun fenomeno elettrostatico; e cioè tornato allo stato neutro. Questa esperienza ci dimostra che: *ogni qualvolta un conduttore isolato trovasi in prossimità di un corpo elettrizzato, per il solo fatto della presenza di questo corpo, acquista, in due zone distinte della sua superficie, e propriamente nella zona più vicina ed in quella più lontana, due cariche elettriche diverse. La carica di nome eguale è quella della zona più lontana. La carica svanisce se si allontana il corpo elettrizzato.*

Questo fenomeno è detto *induzione elettrostatica*, ovvero *elettrizzazione per influenza.*

Lo spazio ove si risentono le azioni elettrostatiche di un corpo elettrizzato si chiama *campo elettrostatico* o *campo elettrico* di quel corpo.

I corpi elettrizzati o cariche elettriche che si trovano nell'ambiente di un campo elettrico sono sollecitati a muoversi da forze di attrazione o repulsione. Per aiutare la mente a concepire e, diremo così, materializzare un campo elettrico si è pensato di raffigurarlo con tante *linee dette di forza* le quali partendo dalla superficie di un corpo elettrizzato si irradiano nello spazio. Ogni linea rappresenta la traiettoria (fig. 38) che seguirebbe un punto

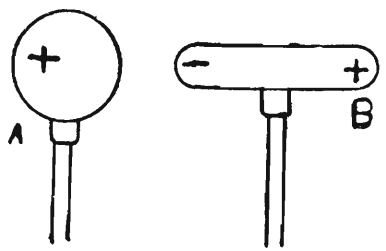


Fig. 37.

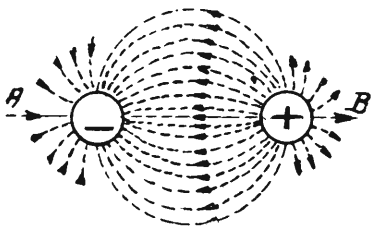


Fig. 38.

elettrizzato per muoversi nel campo. L'insieme delle linee di forza costituisce un *flusso di forza.*

Da quanto si è venuto esponendo si deduce che, nell'ambito di un campo elettrico, ogni carica rappresenta una riserva di energia che si dice *potenziale.* Infatti se abbandoniamo a sè stessa la carica essa verrà attratta o re-

spinta insieme al corpo che la porta e nello stesso tempo fornirà energia meccanica. Viceversa se trasportiamo una carica in opposizione alla forza che la sollecita nel campo dovremo spendere del lavoro; questo lavoro andrà ad accumularsi nel corpo portante la carica. Per avere un'idea comparativa del modo con cui si distribuisce l'energia potenziale nei punti di un campo elettrico si usa riferirla a quella che possiederebbe ciascun punto se in esso fosse concentrata l'unità di quantità di elettricità o Coulomb. Questa energia si chiama il *potenziale* di quel punto. Così, ad esempio, movendo una carica unitaria lungo la linea di forza da un punto A ad un punto B, il lavoro reso o speso sarà espresso dalla differenza fra il potenziale che il punto aveva in A e quello che avrà allorchè giunto in B. L'unità di misura del potenziale è il volt.

Per finire il paragrafo diremo che la terra è un corpo conduttore assai migliore di qualsiasi altro che noi si possa isolare. Mettendo un conduttore elettrizzato, sia pure fortemente, in comunicazione con la terra, si ha un movimento di elettricità che dura fino a quando i potenziali del conduttore e della terra non si sono uguagliati. Data però la enorme massa della terra il potenziale di questa resta praticamente costante. Per convenzione si è stabilito di chiamare *zero* il potenziale costante della terra. *Tutti i conduttori a contatto con il suolo sono a potenziale zero, ossia allo stato neutro.* Ogni potenziale *più alto* di quello della terra è chiamato *positivo*, mentre ogni potenziale *più basso* è chiamato *negativo*.

§ 15 — **Elettricità atmosferica**

Da tempo è stato constatato un fenomeno importante, e cioè che esiste un campo elettrico atmosferico il cui potenziale aumenta man mano che innalzandosi, ci allontaniamo dalla superficie terrestre.

Come conseguenza di ciò, l'atmosfera risulta elettrizzata positivamente rispetto alla superficie terrestre. Il fenomeno più comune dovuto alla elettricità atmosferica è costituito dalle *scariche elettriche* che si hanno fra nube e nube o fra nube e terra durante i temporali e che vengono chiamate *lampi* nel primo caso, *fulmini* nel secondo. Molto si è discusso sull'origine dell'elettrizzazione delle nubi senza venire ad una dimostrazione precisa. Pare però che contemporaneamente vi contribuiscano l'evaporazione delle acque (ipotesi del Volta), lo strofinio delle goccioline di acqua nell'atmosfera, ecc. — I lampi di calore che si notano in estate, anche con cielo limpido, pare siano dovuti a scariche lontanissime fuori del limite del nostro orizzonte. Per definire il concetto di *scarica* diremo che l'esperienza dimostra non solo come

l'elettricità si distribuisca sulla superfice dei conduttori, ma come essa tenda ad espandersi, quasi ad ammettere le dimensioni del corpo elettrizzato. Infatti, se si elettrizza una bolla di sapone, essa aumenta di volume sino a che la tensione della pellicola liquida non fa equilibrio alla forza di espansione dell'elettricità che vi abbiamo portato. Questa forza di espansione per cui l'elettricità tende a diffondersi come un gas compresso, dicesi *pressione elettrica*, ed è massima in quelle parti del conduttore che sono più accuminate e nelle quali perciò vi è maggior facilità di dispersione della carica.

Questo comportamento delle parti accuminate di un conduttore viene chiamato il *potere delle punte.*

Quando la pressione fra le cariche di segno contrario sopra due corpi elettrizzati uno in presenza dell'altro, come, per esempio, fra la terra a potenziale zero ed una nube a potenziale positivo, raggiunge un certo limite, le cariche stesse si combinano repentinamente dando luogo a ciò che si chiama una *scarica elettrica.*

Il tuono che accompagna i fulmini è il rumore dovuto alla scarica, ed è provocato dalla istantanea dilatazione dell'aria nel cammino della scarica e del suo ritorno nel vuoto rimasto. Ad ovviare gli effetti dannosi del fulmine, che si manifestano con incendii, squarciamento di muri, uccisione di esseri viventi, ecc., il fisico Franklyn ideò l'uso dei *parafulmini* (fig. 39) i quali sono

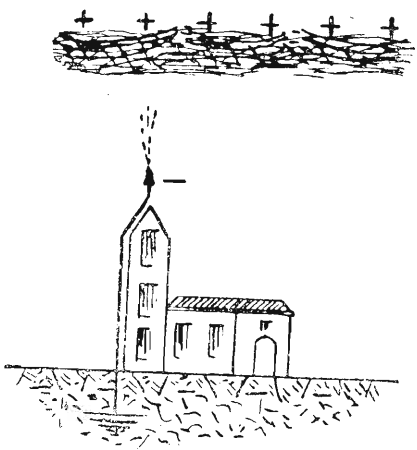


Fig. 39.

basati sul principio del potere delle punte. Essi, nella loro forma più semplice, sono delle aste conduttrici, accuminate in alto, poste alla sommità degli edifici da proteggere, ed in buona comunicazione metallica con la terra.

Se una nube temporalesca, carica positivamente, passa su di un edificio

munito di parafulmine, nella zona del suolo e lei sottostante si manifestano per induzione delle cariche negative (fig. 39); la tensione sarà maggiore nelle zone accuminate dei conduttori, tra i quali il parafulmine, e perciò si avrà un continuo eflusso di cariche elettriche negative verso la nube, eflusso che nelle notti oscure di tempesta diviene visibile sotto forma di pennacchi violacei rivolti verso il cielo, noti con il nome di *fuochi di S. Elmo*. La nube tende perciò a scaricarsi per l'effetto di questo movimento di cariche. La differenza di potenziale tra nube e terra può però giungere ad un valore elevatissimo ed allora si ha la scarica la quale colpisce, in generale, il parafulmine ed attraverso la conduttura metallica, viene convogliata direttamente alla terra, preservando dalla rovina l'edificio.

§ 16 — **Capacità elettrostatica**

Abbiamo già accennato che l'elettricità si comporta nel fenomeno della pressione elettrostatica come un gas compresso. La quantità di un gas qualsiasi, per esempio aria, che si può accumulare in un recipiente dipende dalla pressione a cui si comprime il gas e dalla capacità del recipiente. Analogamente la quantità Q di elettricità che si può accumulare sopra un conduttore isolato e sottratto ad ogni altra azione elettrica, dipende dalla tensione V, e da una quantità C, costante per un dato conduttore, che si chiama la sua *capacità*: risulta cioè che la *quantità di elettricità che si può accumulare sopra un conduttore è proporzionale al prodotto della capacità del conduttore stesso per la differenza di potenziale*, ciò che si esprime colla formula:

$$Q = C \times V$$

Se in questa formula poniamo V = 1, abbiamo C = Q cioè: *la capacità di un conduttore è la quantità di elettricità che il conduttore isolato può ricevere sotto una differenza di potenziale eguale ad uno.*

L'*unità di capacità* è la capacità di un conduttore che può accumulare un Coulomb sotto differenza di potenziale di un volt; questa unità dicesi *faraday*; la formula precedente si può trascrivere:

$$Q \text{ (coulomb)} = C \text{ (faraday)} \times V \text{ (volt)}$$

Questa unità è eccessivamente grande per le misure ordinarie, nelle quali viene perciò adottato il *microfaraday* equivalente ad un milionesimo di faraday.

Anche per la capacità possiamo ricorrere ad una analogia con i fenomeni idrostatici (fig. 40).

Paragoniamo i conduttori isolati a recipienti: la capacità C può paragonarsi alla superficie del fondo del recipiente, supposto di sezione costante e per esempio cilindrica, il potenziale V, come al solito, al livello del liquido e la carica Q alla quantità di liquido contenuta nel recipiente.

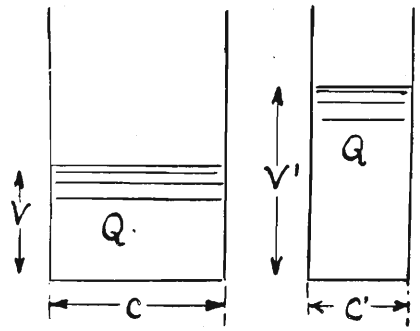


Fig. 40.

Con questa analogia è evidente anzitutto che il livello del liquido (potenziale) per uno stesso recipiente (conduttore isolato) è proporzionale alla quantità di liquido (carica). E' anche chiara la relazione:

Quantità di liquido = superficie fondo recipiente × altezza del liquido.

Da cui:

$$\frac{\text{Quantità di liquido}}{\text{superficie fondo recipiente}} = \text{altezza del liquido}$$

e riportandoci alle grandezze elettriche, avremo

$$\frac{Q}{C} = V$$

il che ci dice come un *conduttore può assumere un potenziale tanto più alto quanto minore è la sua capacità.* Infatti è evidente che una quantità di liquido raggiunge un livello tanto più elevato quanto minore è la sezione del recipiente (fig. 40).

§ 17 — **Condensatori**

Si dice *condensatore* un sistema di due superfici metalliche separate da un isolante il quale prende nome di *dielettrico*. Supponiamo di avere due dischi metallici (fig. 41), paralleli e affacciati l'uno all'altro, isolati, l'uno in comunicazione con una macchina elettrica e *l'altro con la terra*.

I due dischi si chiamano *armature* del condensatore. Se il disco A ha ricevuto una carica +, sul disco B, per induzione, si formerà una carica di

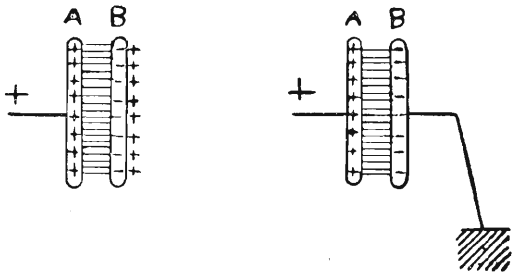


Fig. 41.

segno — nella parte più vicina e nella parte più lontana una carica di segno +: quest'ultima sfugge nel suolo, così che la carica + A del primo conduttore (inducente) si trova sottoposta all'attrazione della carica — A del secondo conduttore (indotto). Avremo quindi un richiamo delle cariche di A nel disco prospiciente B; A perciò può ricevere una nuova quantità di elettricità ossia la sua capacità è aumentata. Si dimostra che questo aumento di capacità è tanto più grande quanto maggiore è la superficie delle armature e quanto più esse sono vicine.

L'armatura sulla quale si distribuisce la carica negativa si chiama *armatura negativa* e quella sulla quale si distribuisce la carica positiva si chiama *armatura positiva*.

Conviene spesso, come si è già detto per le resistenze, accoppiare i condensatori in serie od in parallelo. La capacità del sistema risultante però non è espressa, come vedremo, dalle stesse relazioni che valgono per le resistenze.

§ 18 — Condensatori in parallelo o loro accoppiamento

La fig. 42 rappresenta tre condensatori riuniti in parallelo. La stessa differenza di potenziale è applicata a tutti i condensatori, e la quantità di elettricità accumulata da ciascuno di essi è proporzionale alla rispettiva capacità ($Q = C \times V$). Poco fa abbiamo detto che la capacità di un condensatore dipende ed è proporzionale alla superficie delle armature: riunire i condensatori in parallelo equivale semplicemente ad aumentare l'area delle armature. Se con C_1, C_2, C_3, ecc. indichiamo rispettivamente le singole capacità dei vari condensatori, e C rappresenta la capacità equivalente dell'intero gruppo, possiamo scrivere: $C = C_1 + C_2 + C_3$, ecc.

L'accoppiamento dei condensatori in parallelo dà sempre luogo ad una capacità maggiore di quella di ogni singolo elemento del sistema.

§ 19 — Condensatori in serie e loro accoppiamento

Se diversi condensatori sono collegati come indica la fig. 43, si dice che sono accoppiati in serie. Per trovare la capacità equivalente per un raggruppamento di questo tipo, bisogna tener presente che ciascun condensatore ri-

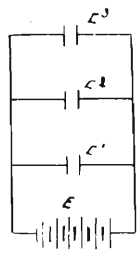


Fig. 42.

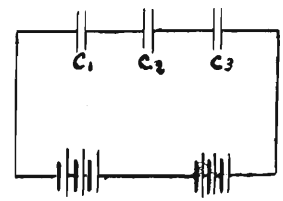


Fig. 43.

ceve la stessa carica, e che la tensione totale E è suddivisa fra i condensatori in ragione diretta delle loro capacità. Possiamo quindi scrivere:

$$E = E_1 + E_2 + E_3, \text{ ecc.}$$

dove con E_1, E_2, E_3, ecc. si indica la tensione di ciascun elemento.

Siccome però:

$$E = \frac{Q}{C}, \quad E_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad E_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad E_3 = \frac{Q}{C_3}$$

avremo

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} + \ldots\ldots$$

e quindi

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots\ldots$$

da cui potremo enunciare che: *l'accoppiamento in serie dei condensatori dà sempre luogo ad una capacità minore di quella di ogni singolo condensatore del gruppo.*

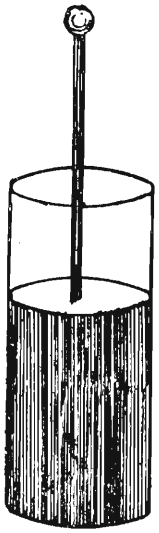


Fig. 44.

In generale i condensatori si classificano in due categorie, secondo che sono atti: a) a bassa tensione minore di 500 volts, o b) ad alta tensione del valore di parecchie migliaia di volt. Con l'aumentare della superficie delle armature tendono ad aumentare la grossezza ed il peso del condensatore. Se le due armature si pongono vicinissime fra loro, e la tensione applicata è elevata, occorre impiegare un dielettrico di alto potere dielettrico. Il condensatore tipo, oggi usato nelle esperienze di laboratorio, è la *bottiglia di Leida* (fig. 44) la quale consta di una semplice boccia a collo largo e di un bicchiere di vetro, avente incollate internamente ed esternamente due lamine di stagnola sino ad una certa distanza dall'orlo. L'armatura intera funziona da armatura condensante ed è a contatto con un conduttore isolato terminante superiormente con una sfera. Se il condensatore è carico ed alle due armature si avvicinano gli estremi di un arco metallico, chiamato *scaricatore*, si possono ottenere nutrite scintille di scarica con un caratteristico schioppettio. Nelle industrie si usano condensatori formati da fogli di stagnola o sottili lamine di alluminio disposte alternativamente con fogli di carta paraffinata o di mica. I fogli di ordine pari sono comunicanti fra loro e formano l'armatura condensante ed i fogli di posto dispari formano l'armatura comunicante con la terra. In generale questo insieme è racchiuso in una cassetta di legno entro cui si versa della paraffina fusa (fig. 45). Per molti usi, in particolar modo per la radiotelegrafia, si costruiscono condensatori a capacità variabile (fig. 46) formati da più lamine a settore circolare sovrapposte e parallele fra loro, sostenute da un asse metallico verticale, isolato, che si può far ruotare

a mano, a mezzo di una apposita manopola munita di indice scorrevole lungo una graduazione. Questi condensatori si chiamano *ad aria* perchè il dielet-

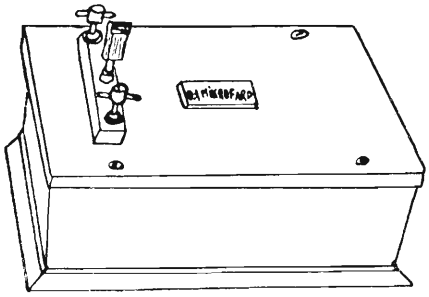


Fig. 45.

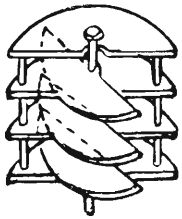


Fig. 46.

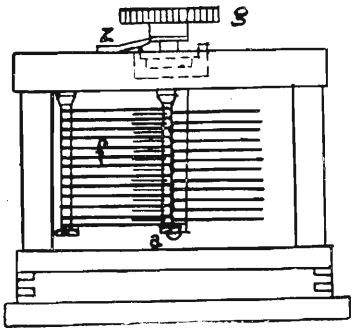


Fig. 47.

trico è aria. Le lamine (di ottone o di alluminio) possono, con il ruotare, trovarsi più o meno prese in una analoga serie di lamine simili, fisse, disposte alternativamente con le prime (fig. 47).

§ 20 — **Dielettrici e coibenti**

La carica che può essere accumulata in un condensatore dipende:

1° dalla differenza di potenziale applicata al condensatore;

2° dalla natura del dielettrico.

Mentre la prima ragione è ovvia per quanto abbiamo già detto in precedenza, una semplice esperienza può dimostrare la seconda e precisamente che la carica elettrica per una data tensione applicata e per una ben determinata distanza fra le armature, dipende dalla natura del dielettrico.

Carichiamo le due armature di un condensatore avente come dielettrico aria secca, ad una certa tensione e misuriamo con mezzi opportuni la carica del condensatore. Poniamo quindi fra le due armature una lastra di paraffina; troveremo che, per la medesima differenza di potenziale applicata, la carica è cresciuta. Indicando con Ca, la capacità con aria e con Cp la capacità con paraffina potremo scrivere:

$$\frac{Cp}{Ca} = K$$

dove K è una costante. Si vede come, con il semplice cambiamento del dielettrico e senza variare la disposizione geometrica delle armature, la capacità è aumentata. L'aria si usa comunemente come termine di paragone, ed il fattore K si dice *costante dielettrica del materiale. La costante dielettrica* di una data sostanza si può quindi definire come *il rapporto fra la capacità di un condensatore avente questa sostanza come dielettrico, e la capacità dello stesso condensatore, avente come dielettrico l'aria.*

Nella tabella N. 19 che segue, sono riportati i valori della costante dielettrica di vari dielettrici.

TABELLA XIX.

DIELETTRICI	Valori della costante dielettrica
Vuoto - aria - gas	1
Carta asciutta	1.5
Carta (trattata come si usa nei cavi)	4
Paraffina	da 2 a 3.3
Ebanite	da 2 a 3.2
Petrolio	2.1
Olio per trasformatori	2.5
Mica	da 4 a 8
Vetro	da 4 a 10
Acqua	81
Cristallo	6.5

Da quanto abbiamo detto possiamo riassumere che la capacità di un condensatore dipende dalla costante dielettrica del materiale dielettrico, dalla superficie delle armature, e dalla distanza fra una armatura e l'altra. Chiamando con S la predetta superficie espressa in cm.^{2}, con d la distanza fra le due armature espressa in cm. e con K la costante dielettrica, ed essendo π una costante di valore uguale a 3,14, la seguente formula della quale tralasciamo la dimostrazione, dà il valore della capacità:

$$C = K \frac{S}{4 \pi d}$$

I dielettrici hanno una grande importanza nelle applicazioni elettriche, perchè servono ad isolare i corpi elettrizzati, per lo più fili percorsi da corrente, dai corpi conduttori attraverso i quali l'elettricità si aprirebbe un passaggio e si disperderebbe. Per questo loro compito di isolare i corpi elettrizzati, i dielettrici prendono più comunemente il nome di *isolanti* o *coibenti*, dei quali è stato già ampiamente parlato.

CAPITOLO VI.

Elettrochimica

§ 21 — Trasmissione dell'elettricità attraverso gli elettroliti - Elettrolisi

Fino a questo punto noi abbiamo esaminato i fenomeni che si compiono nei corpi solidi, specialmente metallici, al passaggio della corrente. Vogliamo ora mettere in evidenza quanto si riferisce ai corpi liquidi, i quali si dividono, come i solidi, in *conduttori* ed in *coibenti*. Tralasciamo per il momento i coibenti e prendiamo in esame i liquidi conduttori, ai quali è stato dato il nome di *elettroliti* e che sono in generale gli acidi, le basi, le soluzioni di acidi e di sali. Come abbiamo detto, questi elettroliti trasmettono la corrente ma, al passaggio dell'elettricità, oltre all'effetto Joule, subiscono una decomposizione nella loro costituzione molecolare; questa decomposizione dicesi *elettrolisi*. Si chiamano *ioni* i due gruppi risultanti dalla decomposizione e più precisamente *anione* il gruppo che si porta sull'elettrodo positivo o *anodo*, e *catione* il gruppo che si porta sull'elettrodo negatico o *catodo*. Un elettrolito assorbe dunque due diverse quantità di energia al passaggio della corrente; una corrispondente alla resistenza chimica che si manifesta in calore, misurata da 1^2 R, dove R si calcola con la formula:

$R = \rho \frac{1}{S}$ essendo ρ dato dalla tab. N. 7 per le soluzioni più comunemente impiegate;

l'altra corrispondente al lavoro chimico che si compie nell'elettrolito misurata dalla quantità di questo lavoro. L'elettrolisi risulta una *trasformazione di energia elettrica in energia calorifica ed in energia chimica o molecolare*. L'apparecchio nel quale avviene la decomposizione molecolare della sostanza, chiamasi *voltametro* e consta (fig. 48) di un bicchiere di vetro di forma cilindrica, attraversato da due sottili fili di platino, terminanti, all'in-

terno, con due piccole lamine dello stesso metallo, dette *elettrodi*, ed all'esterno con due serrafili. In corrispondenza delle due laminette, disposte verticalmente, trovansi sospese due provette graduate.

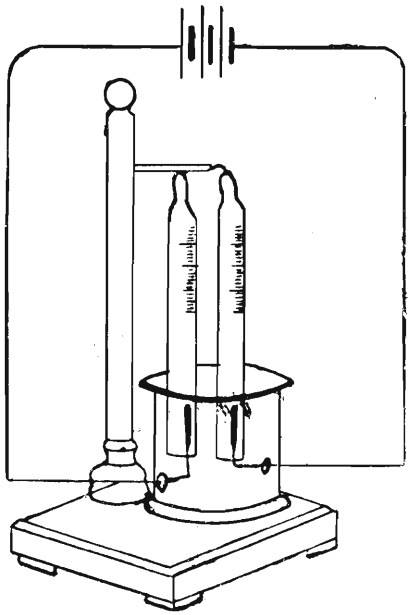


Fig. 48.

Riempiamo la vaschetta con acqua distillata resa acida dall'aggiunta di acido solforico (1) e contemporaneamente riempiamo con lo stesso liquido le due provette; il che potrà farsi levandole dai loro sostegni, riempiendole tenendole capovolte, ed infine rituffandole nel liquido del bicchiere avendo cura di far ciò solo dopo avere provvisoriamente otturata la bocca della provetta con un dito per impedire che nel rovesciamento della provetta il liquido venga a sfuggire. Nelle due provette rimarrà il vuoto. Dopo di ciò congiungiamo i due elettrodi con i poli del generatore di corrente. Non appena il circuito sarà chiuso si noterà un abbondante sviluppo di bollicine gassose in corrispondenza degli elettrodi di platino, bollicine gassose che si raccoglie-

(1) La resistenza specifica dell'acqua è grandissima. L'acqua chimicamente pura può considerarsi come isolante; ma bastano poche traccie di sostanze sciolte in essa, perchè la sua resistenza diminuisca notevolmente e permetta il passaggio di corrente e quindi la propria decomposizione molecolare.

ranno quindi nelle due campanine sovrapposte agli elettrodi. Dei due gas raccolti nelle campane, si potrà constatare che uno è *idrogeno* e uno è *ossigeno* e che questi appunto sono i componenti chimici dell'acqua. Se nel voltametro si pone invece di acqua una soluzione (sale) di rame, o di zinco o di nikel, ecc., si osserverà che, al passaggio della corrente al polo negativo si deposita il metallo formante parte della soluzione, mentre il resto del sale (acido) si concentra intorno al positivo corrodendolo. Le recenti teorie sulla elettrolisi attestano che le molecole dei sali od acidi in soluzione sono formate da aggruppamenti (ioni); gli uni caricati di elettricità positiva, gli altri di elettricità negativa. Ovverosia: gli uni hanno in sè un eccesso di elettroni (elementi negativi costituenti l'elettricità negativa) ed altri una deficienza. Dato che due elettrodi immersi in una soluzione rappresentano due corpi carichi di elettricità opposta, avremo che essi, esercitando una azione di attrazione sugli ioni resi liberi dalla corrente, determineranno nella massa dell'elettrolito una direzione ai movimenti di quelli. Gli ioni carichi di elettricità positiva vengono attratti dal catodo (—), quelli carichi di elettricità negativa dall'anodo (+). Venendo a contatto con gli elettrodi tanto gli uni che gli altri cedono la loro carica. Gli ioni quindi trasportano le cariche elettriche, e la corrente negli elettroliti è quindi dovuta a tale trasporto.

§ 22 — **Leggi elettrochimiche - Applicazioni**

Con la teoria sopra esposta si possono spiegare le leggi (scoperte dal fisico Faraday) che regolano i fenomeni elettrolitici. Anzitutto si vede che essendo il numero delle cariche trasportate proporzionale agli ioni, la quantità di elettricità che in un dato tempo attraversa l'elettrolito sarà proporzionale al peso dei decomposti; viceversa: il peso degli elementi decomposti sarà proporzionale alla quantità di corrente.

Potremo quindi enunciare la *prima legge dell'elettrolisi*:

La quantità di elettrolito decomposto dal passaggio della corrente è direttamente proporzionale alla quantità di elettricità che ha attraversato l'apparecchio elettrolitico. In altre parole, per ogni Coulomb corrisponde un determinato peso di elemento decomposto sopra un elettrodo e sopra l'altro. Questa legge è facilmente verificabile ricorrendo ad un circuito nel quale, oltre che al generatore di corrente ed al voltametro, sia intercalato un reostato ed uno strumento di misura. Si osserverà che raddoppiando la corrente, o triplicandola, ecc., raddoppierà o si triplicherà la quantità dei prodotti raccolti agli elettrodi in uno stesso tempo.

La quantità costante, espressa in grammi, di una data sostanza che si libera dall'elettrolito al passaggio di un coulomb attraverso di questo, *dicesi equivalente elettrochimico di quella sostanza.*

TABELLA XX.

ELEMENTI	Equivalente chimico	Equivalente elettrochimico
Argento	107.93	0.001118
Alluminio	9.033	0.00009354
Idrogeno	1.098	0.00001046
Nichelio	29.35	0.000304
Ossigeno	8	0.000083
Oro	65.74	0.000681
Rame rameici	31.8	0.0003294
Rame rameosi	63.6	0.0006588
Zinco	32.7	0.0003387

Prima di enunciare la seconda legge dell'elettrolisi è necessario ricordare una delle principali leggi della chimica: i corpi semplici si combinano fra di loro non in una proporzione qualsiasi ma sempre secondo determinati rapporti di peso, semplici o multipli. Così un peso determinato d'idrogeno (per es. un grammo) si combina solo con 8 pesi di ossigeno, 16 di zolfo, 35,37 di cloro per formare dei composti ben definiti. A loro volta 8 parti di ossigeno si combinano con 35,37 di cloro, con 23 di sodio, con 39 di potassio, ecc. Questi numeri 1 - 8 - 16 - 35,37 - 23 - 39, ecc., si dicono *equivalenti chimici.* Poichè la trattazione elementare di questo manuale dell'elettricista impedisce di approfondire ulteriormente la presente questione che riguarda principalmente la chimica, rimandiamo lo studioso ai numerosi trattati diffusi in commercio.

In seguito alla definizione di equivalente chimico potremo enunciare la seconda legge dell'elettrolisi:

Se la stessa quantità di elettricità passa attraverso diversi elettroliti, i pesi dei diversi ioni liberati sono proporzionali ai rispettivi equivalenti chimici.

Nella tabella N. 20 sono riportati i valori degli equivalenti chimici e degli equivalenti elettrochimici delle principali sostanze.

Esempio:

Un voltametro con un sale d'argento ha depositato in 30 minuti primi grammi 0,320 di argento. Qual'è l'intensità della corrente passata nel voltametro?

Per depositare grammi 320 di argento occorrono:

$$\frac{\text{peso in grammi}}{\text{equiv. elettroch.}} = \frac{0{,}320}{0{,}001118} = 286 \text{ coulomb.}$$

Essendo un coulomb equivalente ad un ampère al minuto secondo la intensità di corrente in 30 minuti primi, ossia 1800 minuti secondi, sarà:

$$\frac{286}{1800} = 0{,}158 \text{ ampère.}$$

Le applicazioni della elettrolisi sono, nella pratica, svariatissime e possono raggrupparsi:

1° - Deposizioni di metalli sopra altri metalli od oggetti metallizzati. Appartengono a questa classe la *galvanoplastica, la ramatura, la nichelatura, l'argentatura e doratura per via galvanica, l'elettrotipia* per le incisioni sul legno o su metalli.

2° - L'estrazione industriale dei metalli dai minerali e loro raffinazione. Appartengono a questa categoria l'estrazione del rame, dell'oro, dell'alluminio, dello stagno, ecc., la fabbricazione dei tubi e delle lamiere di ferro puro. (*Elettro-metallurgia*).

3° - Preparazione dei composti industriali come, per esempio, la fabbricazione della soda caustica, del cloro, dell'ossigeno, dell'idrogeno, ecc.

4° - Applicazioni di laboratorio chimico come, ad esempio, la determinazione dei composti di alcune soluzioni, il controllo della quantità di corrente e dell'intensità di corrente impiegata in un determinato processo, ecc.

§ 23 — Generalità sulle pile - Polarizzazione e depolarizzazione

Abbiamo detto che l'elettrolisi è un fenomeno di trasformazione di energia elettrica in energia chimica o molecolare; esiste però anche il fenomeno contrario e precisamente: *se si provocano reazioni chimiche in determinate condizioni nell'interno dei liquidi si può ottenere della corrente elettrica.* Tale è il fenomeno che si compie in un apparecchio chiamato *pila.* Vi sono due tipi principali di pile: il primo nel quale gli elementi chimici che lo costituiscono, quando sono esauriti, debbono essere rinnovati e si dice *pila primaria.* L'altro nel quale le sostanze chimiche necessarie possono essere ricostituite mediante un processo di carica, inviando corrente attraverso la pila, e si chiama *pila secondaria od accumulatore.*

Occupiamoci per il momento della pila primaria, la quale è formata da due metalli, immersi in una soluzione acida o salina con la quale i due metalli, od un metallo solo, possono entrare in combinazione (cioè provocare una reazione chimica). All'estremità dei due elettrodi si rivela una differenza di potenziale e se il circuito esterno viene chiuso per mezzo di una resistenza esterna attraverso questa si ottiene un passaggio di corrente continua.

Se i due elettrodi sono per esempio (fig. 49) uno di rame ed uno di zinco, in un vaso contenente acqua acidulata, gli elettrodi sono diversamente attaccati dall'azione del liquido. Misurando il potenziale dei due elettrodi potremo constatare che gli elettrodi stessi hanno potenziali diversi e che quello meno attaccato dal liquido (nel nostro caso il rame), ha potenziale più elevato.

La corrente va quindi lungo il conduttore dall'elettrodo meno attaccato, e che ha il potenziale più elevato, a quello più attaccato che ha il potenziale meno elevato. Il primo di questi due elettrodi dicesi *elettrodo positivo* e la sua estremità emergente dal liquido, *polo positivo;* il secondo dicesi *elettrodo negativo* e la sua estremità emergente dal liquido, *polo negativo.*

Chiamansi costanti *voltaiche* di un elemento la *forza elettromotrice* e la *resistenza interna.* La prima dipende quasi esclusivamente dal modo di comportarsi chimicamente del liquido rispetto alle lamine polari. La seconda è la resistenza che le varie parti metalliche e liquide, componenti l'elemento, presentano al passaggio della corrente; essa varia molto con il grado di concentrazione del liquido, con la sua temperatura, e dipende strettamente dalla

superficie attiva delle lamine polari, dalla loro distanza e dallo stato delle loro superfici.

Mentre la corrente circola nel circuito esterno (fig. 49), l'idrogeno che la reazione chimica mette in libertà, è portato dalla corrente sull'elettrodo positivo e lo circonda ben presto di una patina gassosa. Essendo i gas cattivi conduttori dell'elettricità la resistenza interna viene aumentata di molto e quindi viene diminuita la corrente che l'elemento stesso fornisce. Per di più l'idrogeno allo stato nascente depositato sul rame ha grande tendenza a ri-

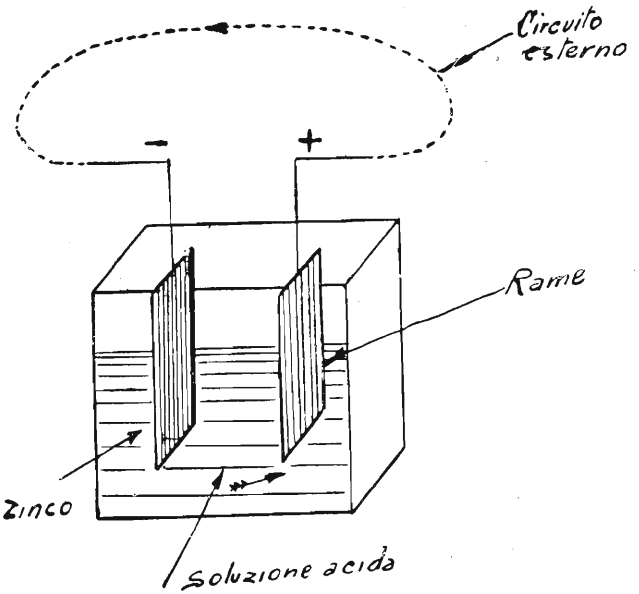


Fig. 49.

comporsi, generando una forza elettromotrice di senso opposto a quella dell'elemento. Tale *forza controelettromotrice* è un nuovo ostacolo al passaggio della corrente. Questo fenomeno chiamasi *polarizzazione*. Per impedire la polarizzazione e far si che la corrente si mantenga presso a poco costante, è evidentemente necessario impedire che l'idrogeno si depositi sull'elettrodo positivo, ciò che si ottiene facendo assorbire o combinare tale gas, lungo il suo percorso, da sostanze appropriate chiamate *depolarizzanti*. I depolarizzanti più impiegati sono il solfato di rame, i cloruri metallici, l'acido nitrico, ecc., ed in generale tutti i corpi molto ricchi di ossigeno.

§ 24 — Vari tipi di pile - Accoppiamento delle pile Potenza e rendimento delle pile

Gli svariatissimi tipi di pile ora esistenti si differenziano fra loro per i materiali e per le particolarità di costruzione, ma il concetto fondamentale è quello esposto ed è uguale per tutti. Il valore della f. e. m. in nessun tipo supera i 2 volts.

Una pila perfetta dovrebbe possedere le qualità seguenti:

a) Avere una forza elettromotrice elevata e costante qualunque possa essere il lavoro da compiere sul circuito esterno.

b) Avere una resistenza interna molto debole e costante.

c) Essere formata con sostanze di poco prezzo.

d) Essere costituita in modo che sia facile sorvegliarla e rifornirla di nuovi reagenti quando necessari.

e) Non contenere sostanze liquide o contenerle racchiuse in modo che non possano colare all'esterno.

f) Non avere parti fragili.

Nessuna pila realizza tutte queste condizioni ad un tempo e per ciascun caso si deve scegliere il tipo di pila che possiede le qualità più acconcie per l'uso al quale deve essere adibita.

Le pile si dividono in *pile a liquido* come *la Daniell*, la *Leclanchè*, ecc., le quali non interessano la presente esposizione perchè non di uso a bordo, ed in *pile a secco* nelle quali, per impedire che i liquidi eccitatori e depolarizzanti si mescolino e si versino, le soluzioni sono racchiuse in corpi porosi, inerti, quali la spugna, il feltro, il carbone, la sabbia, ecc.

Le pile di questo tipo sono, in parte molto limitata, le uniche usate a bordo: ad esempio, gli elementi alla colloidina *tipo R. Marina* le cui caratteristiche sono:

e = 1,5 volt ed r = 0,2 ohm; le pile tipo Italia; tipo Leclanchè, ecc.

La fig. 50 rappresenta la pila a secco tipo Leclanchè.

L'importanza delle pile sulle navi è andata man mano diminuendo, sia perchè in gran parte sostituite dalle pile secondarie od accumulatori e sia perchè vengono ora molto impiegati a bordo i piccoli *devolvatori*, i quali hanno l'ufficio di abbassare la corrente di bordo dalla tensione normale di 110 o 220 volts, a quella variabile di 12 - 15 - 20, fino a 50 volts a seconda delle necessità. Al giorno d'oggi a bordo delle navi si può dire che le pile hanno quasi fatto il loro tempo. La causa di ciò è da ricercarsi sia nei requisiti mi-

gliori che presentano gli altri sistemi di alimentazione, sia per i difetti propri delle pile, come la scarsa corrente che possono produrre, il costo elevato dei materiali che le compongono, l'incostanza della f. e. m., ecc.

Circa la conservazione a bordo delle pile è opportuno che esse siano isolate fra di loro e dallo scafo, che i serrafili siano puliti, che siano conservate in luoghi asciutti ed in posizione verticale, che siano lontane da sorgenti di calore, che non prendano scosse, ecc.

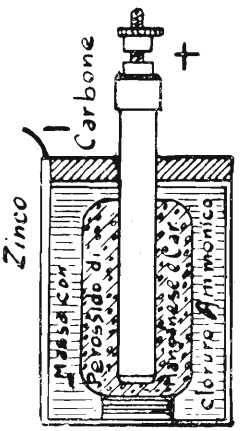


Fig. 50.

Le pile si possono accoppiare fra loro formando delle *batterie*:

1) *In serie* cioè mettendole in catena ed unendo il polo + dell'una con il polo — della successiva (fig. 51).

2) *In derivazione* ed in questo caso tutti i poli positivi si uniscono ad un conduttore e tutti i poli negativi ad un altro (fig. 52).

Mettendo le pile in serie si sommano tutte le loro tensioni come pure tutte le loro resistenze interne; disponendole in derivazione si sommano le singole intensità.

Indicando con E la f. e. m. totale di una batteria di pile, I la intensità del circuito esterno, n. il numero di pile, *i* l'intensità di ciascuna pila (supposto che tutte le pile siano eguali), *e* la f. e. m. in volts di ciascun elemento,

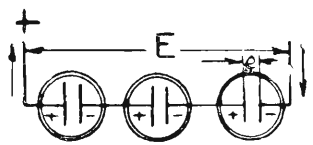


Fig. 51.

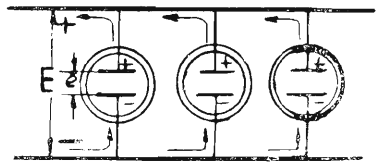


Fig. 52.

r la resistenza interna di ciascun elemento, R la resistenza del circuito esterno inserita fra i capi della batteria, avremo: *batteria di pile in serie*:

$$I = i \qquad E = n\,e$$

Applicando la legge di Ohm al circuito completo interno ed esterno avremo:

$$I = \frac{n\,e}{R + r\,n}$$

Batteria di pile in derivazione:

$$I = n\,i \qquad E = e$$

ed anche:

$$I = \frac{e}{R + \frac{r}{n}}$$

Delle due disposizioni converrà quella in serie quando la resistenza esterna è grande in confronto di quella interna della batteria e piccola la corrente (linee telegrafiche, telefoniche, segnalazioni). Converrà invece la disposizione in derivazione quando la resistenza esterna è piccola e grande l'intensità desiderata.

Oltre ai due sistemi sopra indicati vi sono dei sistemi misti di accoppiamento e precisamente:

1) *Accoppiamento in serie di gruppi in parallelo* (fig. 53).

2) *Accoppiamento in parallelo di gruppi in serie* (fig. 54).

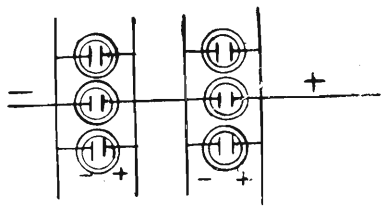


Fig. 53.

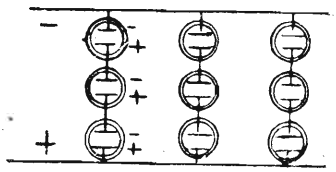


Fig. 54

Esempio:

Si abbia un certo numero di pile di f. e. m. 1,5 volt e resistenza interna 0,3 ohm. Supponiamo che la resistenza esterna R del circuito sia 0,2 ohm e che si voglia realizzare una corrente di 6 ampère.

Se usiamo una sola pila, la legge di Ohm dà:

$$I = \frac{1{,}5}{0{,}2 + 0{,}3} = 3 \text{ A.}$$

corrente che non è sufficiente ai nostri bisogni; se disponiamo due pile in serie:

$$I = \frac{3}{0{,}2 + 0{,}6} = 3{,}75 \text{ A.}$$

La corrente è ancora troppo debole, e si vede che, pur essendosi raddoppiata la tensione, la corrente ha avuto solo un aumento del 25 %. Proviamo tre pile in serie:

$$I = \frac{4,5}{0,2 + 0,9} = 4,08 \text{ A}$$

corrente ancora troppo debole, benchè la tensione si sia triplicata. Se disponiamo invece due pile in parallelo:

$$I = \frac{1,5}{0,2 + \frac{0,3}{2}} = 4,3 \text{ A}$$

Si è in migliori condizioni ma la corrente non è ancora sufficiente. Se disponiamo sei pile in parallelo:

$$I = \frac{1,5}{0,2 + \frac{0,3}{6}} = 6 \text{ A}$$

ossia si ha la corrente cercata. Ma lo stesso valore di corrente si può avere con due gruppi di due pile in serie ciascuno ed i due gruppi in parallelo fra loro, ossia con quattro pile complessivamente.

$$I = \frac{2\,e}{R_e + \frac{2\,r}{2}} = \frac{3}{0,2 + 0,3} = 6 \text{ A}$$

Chiameremo *potenza totale* di una batteria il prodotto della intensità I della corrente per la f. e. m. *e* della batteria stessa, e *potenza utile* il prodotto della intensità I della corrente per la differenza di potenziale E che si ha ai poli della batteria. La differenza e — E non è altro che la perdita di potenziale che ha luogo nell'interno della batteria per vincere la resistenza interna r.

Il rapporto $\frac{E\,I}{e\,I}$, ossia della potenza utile per la potenza totale, è quello che si chiama (ved. Cap. 3.°) *rendimento elettrico* del generatore, che si indica di solito con la greca η.

Dal rapporto $\frac{E\,I}{e\,I} = \frac{P\,u}{P\,t}$ si vede che il rendimento sarà tanto maggiore quanto più la potenza utile eguaglia la potenza totale e che il suo massimo valore è eguale ad 1.

La tabella N. 20 in appendice dà il valore della f. e. m. e della resistenza interna per diversi tipi di pile.

§ 25 — Teoria dell'accumulatore a piombo - Formazione Vari tipi di accumulatori a piombo

Dicesi pila secondaria od accumulatore, un generatore chimico reversibile, nel quale le sostanze chimiche necessarie possono essere ricostituite mediante un processo di carica, inviando corrente elettrica attraverso di esse. Questa reversibilità si ottiene, in condizioni industriali da un sistema elettrolitico formato da due elettrodi immersi in una soluzione:

\+ —

Piombo — soluzione acquosa di acido solforico — piombo.

Quando la corrente di carica attraversa l'elettrolito, decompone l'acqua; (H_2O); nei suoi elementi, ossigeno (O) ed idrogeno (H).

L'ossigeno liberato va in direzione opposta a quella della corrente, e si porta sull'elettrodo o piastra positiva, ossidandola e formando uno strato aderente rosso bruno di perossido di piombo (PbO^2); l'idrogeno invece segue la direzione della corrente e si porta sull'elettrodo o *piastra negativa*, dove si combina con le traccie di ossido che incontra su di essa per formare acqua, e vi lascia uno strato sottile di piombo spugnoso, di aspetto metallico brillante. Il sistema elettrolitico così modificato, è pronto per fornire dell'energia elettrica e si dice che è *carico;* se infatti si chiude il circuito fra gli elettrodi sopra una resistenza, il circuito è percorso da una corrente che dicesi di scarica. Le materie attive di un accumulatore carico sono dunque, dopo la carica,

\+ —

Perossido di piombo — acqua acidulata — piombo spugnoso.

La differenza di potenziale a cui si trovano gli elettrodi di un accumulatore carico, dà luogo, appena si chiude il circuito sopra una resistenza esterna, ad una corrente di scarica, la quale ha direzione opposta a quella di carica. L'ossigeno, che come sopra è stato detto, va in direzione opposta a quella della corrente, si porta ora sull'elettrodo negativo producendovi dell'ossido di piombo, mentre l'idrogeno va sull'elettrodo positivo riducendo il perossido di piombo ad ossido di piombo, con formazione di acqua. Gli ossidi di piombo infine in presenza dell'acido solforico della soluzione, formano del solfato di piombo e dell'acqua. Si riproduce insomma, inversamente, il fenomeno chimico già descritto per la carica.

Si tralasciano le formule chimiche che rappresentano queste trasforma-

zioni perchè non confacenti al carattere elementare del presente manuale rimandando lo studioso a quanto è ampiamente riportato su molti testi di elettricità esistenti in commercio. Da queste formule appare come, durante la scarica, la quantità di acido solforico diminuisca e durante la carica invece si riproduca; ciò si verifica infatti usando un apposito apparecchio di misura che si chiama *densimetro*, con il quale si constata che *durante la scarica la densità della soluzione diminuisce e durante la carica successiva aumenta riprendendo quasi il valore primitivo.*

Evidentemente la quantità di energia che si può accumulare dipende dalla quantità di azione chimica che si produce e quindi dalla quantità di *materia attiva* che si può ottenere sulle piastre. Il fisico francese Plantè aveva osservato che lo spessore degli strati attivi si poteva accrescere, aumentando così la capacità, facendo subire all'elemento una lunga successione di cariche e di scariche; il perossido di piombo allora non si forma più solamente alla superficie, come si vede nella fig. 55 a), ma penetra successivamente e si propaga nel piombo come si vede nella fig. 55 b), acquistando così maggior volume e maggiore aderenza.

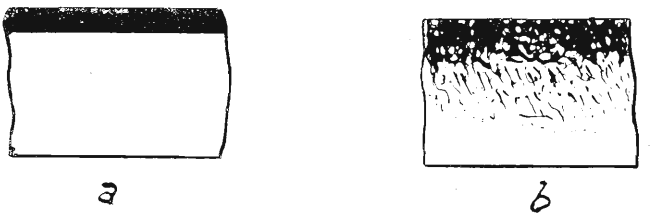


Fig. 55.

Questa maniera di formare le piastre viene detta *formazione Plantè* od a grande superficie, ma ha il grande inconveniente di essere molto laboriosa e lunga. Fu Camillo Faure, assistente del Plante, che pensò di preparare direttamente la materia attiva sulle piastre di piombo.

In questi accumulatori a formazione rapida detta *Formazione Faure od a pasta* viene compressa sugli elettrodi positivi una pasta di minio ($P^{b_3}\ 0^4$) e sugli elettrodi negativi una pasta di *litargirio* ($P^b\ 0$); queste materie sono tenute aderenti agli elettrodi con diaframmi isolanti porosi, onde impedire che se ne stacchino. La fig. 56 rappresenta una lastra positiva e la fig. 57 una lastra negativa a reticolato, di accumulatore del tipo a pasta.

Dalle modificazioni e dai perfezionamenti successivi, introdotti nel formare le piastre, derivano molti tipi di accumulatori fra i quali accenneremo

brevemente all'accumulatore Tudor ed a quello Hensemberger perchè usati nella R. Marina.

Nell'accumulatore Tudor vennero dapprima riuniti i sistemi Plantè e Faure. Le piastre, fuse con scanalature sulle faccie, furono durante due mesi sottoposte alla formazione Plantè la quale vi preparava uno strato di peros-

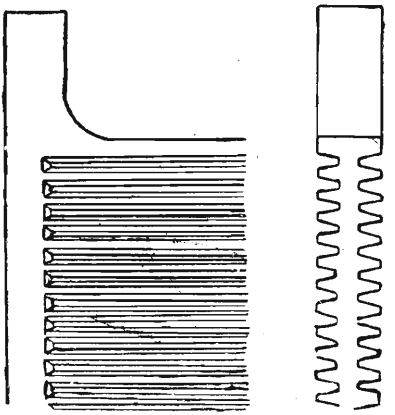


Fig. 56.

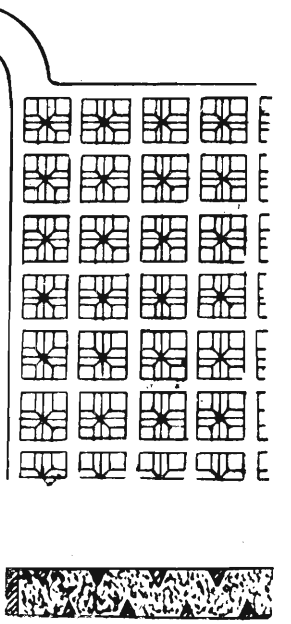


Fig. 57.

sido intimamente aderente alla piastra; su questo strato veniva stesa poi una pasta di sali di piombo. Le piastre in seguito erano trattate di nuovo con il *sistema Plantè per circa due settimane, ottenendo così una grande aderenza* della materia attiva. In seguito questa preparazione venne modificata per le piastre positive, le quali si fecero a superficie più estesa, ottenuta con mezzi chimici. Un tipo di accumulatore Tudor, detto a *repulsione*, ha gli elettrodi preparati con il semplice sistema Plantè, e può sopportare cariche e scariche intensissime.

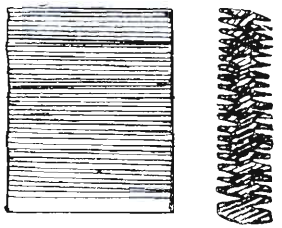


Fig. 58

Negli accumulatori Hensemberger la piastra positiva è formata con il semplice sistema Plantè; essa è del tipo originario di quella Tudor ed è rappresentata di fronte in sezione dalla fig. 58; la sua preparazione è però fatta con processi speciali.

Appena ultimata la carica, un accumulatore a piombo, ha una f.e.m. di V 2,2; misurata a circuito aperto, ma che si riduce rapidamente a V 2 appena all'accumulatore si fa erogare energia.

Col procedere della scarica la tensione continua progressivamente a diminuire, ma con grande lentezza.

La scarica deve essere arrestata quando l'accumulatore, a circuito aperto, dà una tensione di V 1,8.

§ 26 — **Capacità - Densità - Trattamento degli accumulatori a piombo - Carica e scarica - Rendimento ed accoppiamento degli accumulatori a piombo**

La caratteristica principale di un elemento di accumulatore è la *capacità* la quale ordinariamente è definita come la quantità di elettricità che un elemento può fornire, a un dato regime di scarica, prima che la sua f.e.m. scenda al disotto di volts 1,8 che è la condizione di buon funzionamento. La capacità è espressa in ampère-ore e varia con la superficie degli elettrodi, con lo spessore della materia attiva e con la durata della scarica. Siccome questa capacità aumenta col diminuire della corrente di scarica si usa dire che essa cresce a misura che si diminuisce l'intensità di scarica.

Per esempio, per un certo tipo di accumulatore, si hanno le seguenti capacità:

1200	Ampères	per	1	ore	-	1200	ampères
800	»	»	2	»	-	1600	»
480	»	»	4	»	-	1920	»
285	»	»	8	»	-	2280	»
205	»	»	12	»	-	2460	»
50	»	»	60	»	-	3000	»

Ma questo non deve essere preso nel senso che la capacità dell'accumulatore cresca veramente con il diminuire della scarica, ma significa solo che l'accumulatore in parola ci fornisce 120 ampères per un'ora, ma se a noi serve solo un'intensità di 800 ampères, questa può fornircela per due ore; se vogliamo un'intensità di 480 ampères, può fornircela per quattro ore, e così via.

Nei diversi casi su esposti gli ampèrora andranno sempre aumentando man mano che diminuisce l'intensità richiesta nella scarica.

Ogni Casa costruttrice indica di ogni elemento, oltre che le dimensioni ed il peso, la capacità in ampèrora per diverse intensità di scarica.

Ad ogni valore di ampèrora spesi (in qualunque modo essi siano stati erogati) corrisponde un valore unico della *densità* dell'elettrolito. La densità, come abbiamo detto, diminuisce con la scarica; la misura di essa quindi dà una indicazione sufficientemente esatta circa l'energia consumata e quella residua. La densità dell'elettrolito di un accumulatore carico è di 1,24-1,25. Bisogna però tener conto della temperatura dell'elettrolito giacchè la densità varia con essa sensibilmente.

L'elettrolito è costituito da acido solforico puro diluito in acqua distillata e per misurarne la densità esso viene tolto dall'accumulatore con una peretta di gomma e versato in un vaso dove si mette il densimetro; questo è un aerometro Beaumè (1) che si immerge nel liquido e si lascia galleggiare. La densità è indicata dal rigo della graduazione che collima con la superficie del liquido.

L'acido ordinario del commercio è quasi sempre impuro. Le impurità che si riscontrano più sovente (ferro) producono una lenta scarica dell'elemento, ed altre (cloro, acido nitrico, ecc.) distruggono rapidamente le piastre positive. Si deve quindi evitare che si introducano negli elementi impurità qualsiasi. A tale scopo si devono lavare con cura servendosi di acqua distillata, tutti i recipienti per l'acido solforico, le damigiane, i filtri, ecc.

Gli accumulatori si caricano mettendoli in comunicazione con un generatore qualsiasi che fornisca corrente continua, in modo che il polo positivo del generatore sia connesso con il positivo della batteria. Per la carica, quando è fatta con i mezzi di bordo, conviene procedere nel modo seguente:

La *corrente di carica* si regola all'inizio in modo da non superare la metà della massima consentita nella scarica. L'intensità di questa corrente cade per effetto della forza contro elettro-motrice degli elementi, mentre la tensione di ognuno di essi aumenta continuamente. Quando questa è giunta al valore di 2,4 volts unitari comincia negli accumulatori lo sviluppo dei gas dovuti al fatto che allora solo una parte della corrente di carica viene utilizzata, mentre il resto si trasforma in calore e determina l'elettrolisi dell'acqua dell'elettrolito, e cioè la decomposizione di detta acqua in ossigeno ed idrogeno. Questo gas idrogeno che viene liberato durante la carica, può formare con l'aria dell'ambiente una pericolosa miscela esplosiva. Occorre quindi quando la tensione di ogni elemento raggiunge, come abbiamo detto, la ten-

(1) Spesso la graduazione è in gradi Beaumè; così espressa la densità dell'elemento carico è circa 30° e quella dell'elemento scarico è circa 16°.

sione di 2,4 volts, eliminare il gas sviluppatosi ed allora, *mantenendo costante la tensione*, si lascia diminuire la corrente fino ad ¼ del valore iniziale; lo sviluppo del gas scompare e si continua così fino alla carica completa e cioè fino a che la tensione di ogni elemento non abbia raggiunto il valore di 2,7 volts.

Il sopraccennato sviluppo di gas si chiama ebollizione ed è dannoso, non solo per la miscela esplosiva che forma, quanto perchè esso provoca lo sgretolamento e la caduta della pasta dalle piastre positive.

La f.e.m. del generatore deve essere alquanto maggiore della f.e.m. che si sviluppa nell'accumulatore o nella batteria di accumulatori e cioè non inferiore a 3 volts per ogni elemento (1).

Il *locale di carica* deve essere provveduto di buona ventilazione, in modo che i gas sviluppati siano cacciati all'esterno. I ventilatori vanno tenuti in moto anche dopo cessata la carica perchè gli accumulatori continuano a produrre gas per un certo tempo anche a corrente interrotta. E' bene tener presente che i gas sviluppati dagli accumulatori (ossigeno e idrogeno) sono assolutamente inodori; l'odore caratteristico che si sente nei locali non è dovuto a questi gas ma all'acido solforico in sospensione nell'aria dell'ambiente. Per mantenere ottimo l'isolamento degli accumulatori essi devono essere appoggiati su appositi scaffali per mezzo di isolanti di porcellana.

La carica si fa per mezzo di un apposito *quadro di distribuzione*, il quale ha tante derivazioni (con resistenze, reostati regolabili) e tante prese di corrente quante sono le batterie che si suppone di dover caricare contemporaneamente.

Per piccole intensità di carica si fa uso di lampadini, come resistenze, per ottenere le variazioni di questa intensità (fig. 59). Organo essenziale per il quadro è un *interruttore a minima*, ossia un interruttore che automaticamente apra il circuito di carica nel caso che venga a mancare od a diminuire la tensione alimentatrice, e ciò per impedire che gli accumulatori si scarichino sulla linea.

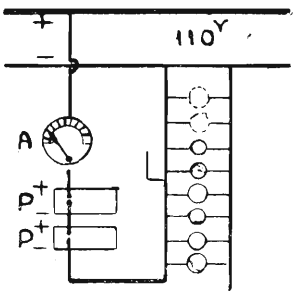


Fig. 59.

Occorre sistemare gli interruttori di corrente al di fuori del locale dove avviene la carica degli accumulatori perchè una causa occasionale qualunque, quale la scintilla di un interruttore, potrebbe far detonare la miscela esplosiva detta gas tonante che può essersi formata come sopra è stato accennato.

(1) Così per caricare una batteria di 10 elementi in serie si deve disporre di una sorgente con tensione di 30 volts.

Se V è la tensione della linea di alimentazione, *n* il numero degli elementi in serie da caricare, *e* la f.e.m. di ciascun elemento al momento della carica ed *i* la corrente di carica, la resistenza R da inserire sarà data da (legge di Ohm):

$$V = n\,e + i\,R \text{ da cui } R = \frac{V - n\,e}{i}$$

All'inizio della carica avremo $e = 1{,}8$ volts ed alla fine $e = 2{,}7$ volts, quindi la resistenza da inserire dovrà essere gradualmente graduata fra i valori:

$$\frac{V - n \times 1{,}8}{i} = R_{massimo} \text{ ed } \frac{V - n \times 2{,}8}{i} = R_{minimo}.$$

La *temperatura* dell'elettrolito deve essere mantenuta la più bassa possibile e non dovrebbe passare mai i 45°. Caricando o scaricando a intensità troppo forti la temperatura non si distribuisce uniformemente nelle piastre e provoca dilatazioni che contribuiscono a deteriorarle.

Pur essendo o apparendo l'accumulatore completamente carico può occorrere di prolungare la carica per eliminare, per esempio, le disuguaglianze dello stato di carica degli accumulatori collegati in serie nella stessa batteria.

Questa operazione si chiama *sovraccarica*. Essa deve eseguirsi sempre ad intensità di corrente minima ed a tale scopo sarà bene, finita la carica, lasciare le batterie in riposo per qualche ora, per far sì che l'ebollizione avvenga regolarmente senza che gli accumulatori si riscaldino. Si ripete tale operazione, con intervalli di riposo, fino a che la densità e la tensione non aumentino più e lo sviluppo dei gas si produca non appena si riattiva la sovraccarica.

Benchè risulti utile praticare la sovraccarica di tanto in tanto, è bene non abusarne onde non danneggiare gli elementi. E' utile che essa venga eseguita quando si prevede che per un lungo periodo di tempo gli accumulatori non debbano essere impiegati attivamente o debbano subire un periodo di inazione.

Durante la *scarica*, la densità di un accumulatore discenderà all'incirca proporzionalmente agli ampèrora erogati. La tensione degli accumulatori diminuisce lentamente durante la scarica.

Quando la densità è discesa ad un certo punto, con una scarica a forte intensità e non è più possibile continuare la scarica con tale valore di corrente, vuol dire che l'elettrolito non è più sufficientemente ricco di acido per consentire la velocità di azione chimica necessaria onde continuare a produrre la corrente di tale intensità; però il grado di acidità residuo consente la eroga-

zione di correnti minori che richiedono una più piccola velocità nelle reazioni chimiche.

Le batterie vanno sorvegliate con cura; devono essere ispezionate di frequente illuminando l'interno delle cassette con una lampadina a incandescenza. Se parte della materia attiva si è distaccata rimanendo a contatto con le due piastre, bisogna farla andare a fondo spingendola con una bacchettina di vetro, in modo da evitare corti circuiti.

Se vi è un corto circuito nell'accumulatore la corrente di carica passa attraverso ad esso senza agire sulle piastre e l'accumulatore non si carica; la densità non cresce e così pure la differenza di potenziale ai morsetti, che, in tal caso, è data soltanto dalla caduta di tensione attraverso l'elemento.

Nell'accumulatore in corto circuito le piastre si coprono subito di una crosta spessa e dura di solfato di piombo, che la corrente non riesce a far scomparire. La resistenza interna r dell'accumulatore aumenta, ed a volte a tal segno che la differenza di potenziale ai morsetti E, malgrado sia piccola la f.e.m. e dell'elemento risulta durante la carica maggiore del valore normale, a causa del grande valore della caduta interna di potenziale ($E = n\,e + I\,r$). In tal caso l'elemento dicesi *solfatato* e detta solfatazione può eliminarsi mediante la sovraccarica, ma spesso è così forte che bisogna assolutamente rinnovare le piastre.

Quando un elemento è guasto e non si ha modo di sostituirlo, lo si esclude dalla batteria mettendo in contatto i due elementi laterali ad esso, senza però che l'elemento guasto rimanga in corto circuito.

Si deve aver cura che il liquido ricopra sempre tutte le piastre ed arrivi almeno ad un centimetro al disopra di esse. Quando il livello del liquido si abbassa, si fa il *riboccamento* degli accumulatori, vale a dire si aggiunge acqua distillata.

Quando si deve lasciare a riposo l'accumulatore è necessario caricarlo prima completamente e, durante il riposo, ripetere la carica ogni 20 o 30 giorni per impedire la lenta autoscarica che si avrebbe, con pericolo di solfatazione.

Diremo in ultimo che prima di iniziare la carica di un elemento nuovo, il quale viene spedito dalla Casa costruttrice secco e già formato, bisogna riempirlo della soluzione di acido solforico puro in acqua distillata alla concentrazione di 17° Beaumè (circa il 20 % di acido) in modo che il liquido sorpassi di poco l'orlo superiore delle piastre e lasciarlo in riposo per tre o quattro ore al massimo. Quindi può avere inizio la carica per la quale ogni Ditta fornitrice di accumulatori, a seconda del processo usato nella formazione delle piastre, dà particolari indicazioni.

Trattandosi di grandi impianti di batterie, per mantenere costante il voltaggio agli estremi della batteria di accumulatori, durante la scarica sopra un circuito da alimentare, al diminuire della f.e.m. di ogni singolo elemento, si usa un così detto *inseritore* che serve ad introdurre o levare dal circuito alcuni elementi. Questo inseritore può funzionare sia a mano che automaticamente.

Il *rendimento* di un accumulatore è dato dal rapporto fra la quantità di energia di cui fu scaricato e quella necessaria per riportare l'accumulatore nelle condizioni in cui si trovava prima della scarica.

Questo rendimento, si indica in watt-ora, ed è all'incirca del 70 %.

Ordinariamente si considera il rendimento in ampèrora che è il rapporto del numero degli ampèrora scaricati e quello degli ampèrora da caricare per riportare l'accumulatore nelle condizioni precedenti alla scarica. Questo rendimento è di circa 90 % in media ed il suo valore serve ad indicare che il numero degli ampèrora da caricare per rimpiazzare quegli erogati è circa del 10 % superiore a questi ultimi.

Per l'accoppiamento degli accumulatori vengono usati gli stessi sistemi già descritti per l'accoppiamento delle pile e valgono le stesse norme.

§ 27 — **Accumulatori al ferro-nichel (o ad elettrolito alcalino)**

Un tipo di accumulatore molto in uso e che nella nostra marina sta sostituendo quello a piombo, è quello «*Edison*» al *ferro-nichel* o ad *elettrolito alcalino.*

Generalità: Questo accumulatore che suscitò e suscita tuttora tante speranze, è costituito da numerose e sottili lastre di acciaio nichelato, separate da diaframmi di ebanite.

Le piastre positive e quelle negative sono esternamente identiche, e male si distinguono le une dalle altre. Sono però essenzialmente differenti per la composizione chimica delle materie attive.

Il numero delle piastre negative, negli accumulatori alcalini in uso nella R. Marina, è superiore di una al numero delle piastre positive, e nel montaggio rimangono esterne. Le piastre sono isolate tra loro e dal recipiente mediante una striscia a sottili regoli di ebanite, collocati in apposite scanalature ottenute con laminazione, sulle piastre stesse.

La sostanza attiva delle piastre positive è essenzialmente composta di *idrato di nichel* [N_1 (O H)$_2$]. Tale sostanza viene costipata tra due striscie di lamierino perforato, strette da una cornice di acciaio; oppure in tubetti senza saldature, disposti in apposito telaietto.

CURVE INDICANTI LA RELAZIONE TRA VOLTAGGIO E DURATA DI CARICA E SCARICA PER ACCUMULATORI « NIFE »

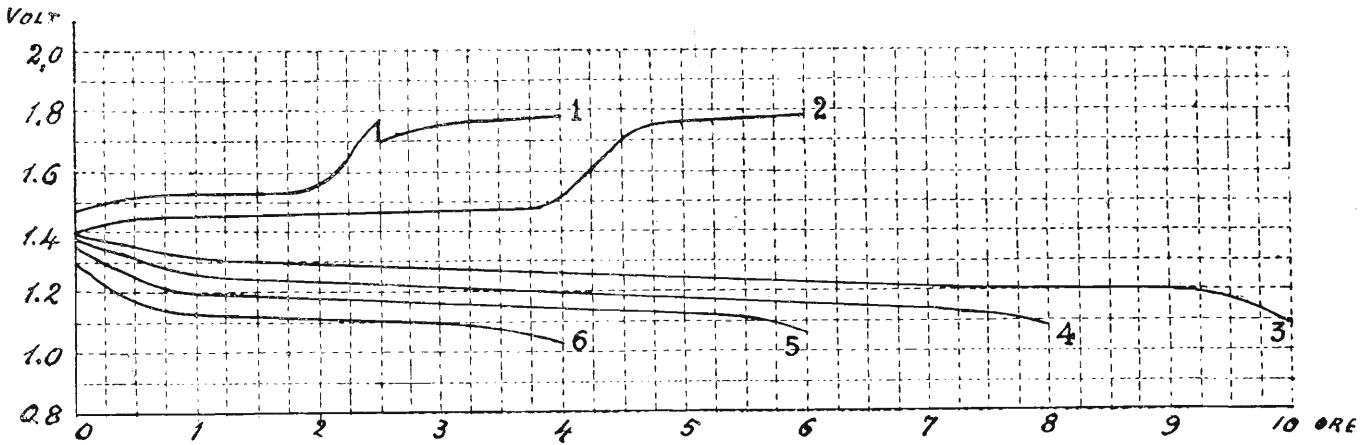


Fig. 60.

1 - Carica forzata.

2 - Carica normale

3 - Scarica in 10 ore.

4 - Scarica in 8 ore (normale).

5 - Scarica in 6 ore.

6 - Scarica in 4 ore.

CURVE DI CARICA E SCARICA PER ELEMENTI « EDISON »

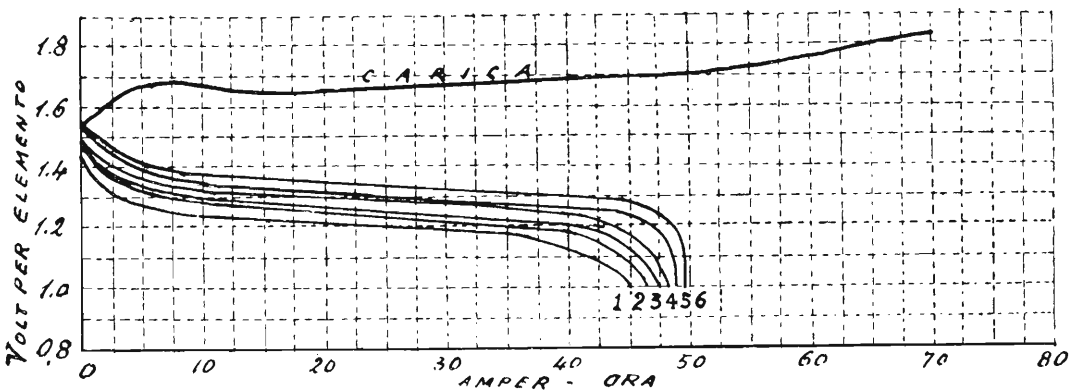


Fig. 61.

1. Scarica a 7,5 Ampère
2. » » 5 »
3. » » 3,75 »
4. Scarica a 2 Ampère
5. » » 1 »
6. » » 0,5 »

La materia attiva delle piastre negative è *sesquiossido di ferro* ($Fe_2 O_3$) che viene compresso entro scatolette rettangolari, ricavate con laminazione da due striscie di lamierino di acciaio perforato.

Le materie attive sono ambedue mescolate con un volume presso a poco eguale di sottili scaglie di grafite, che aumenta la conducibilità della sostanza.

L'insieme delle piastre è contenuto in un recipiente di acciaio nichelato con coperchio saldato autogenamente. Attraverso ad appositi fori di questo, passano i due reofori, mentre un terzo foro, chiudibile con valvola o tappo, serve per il riempimento o per lo sfogo dei gas durante la carica. Dei due reofori, uno è isolato, l'altro è a contatto metallico col recipiente il quale perciò assume polarità positiva o negativa, a seconda del reoforo a contatto.

Elettrolito: L'elettrolito consta di una soluzione di *potassa caustica in acqua distillata* [K (O H) + H_2 O]. Ha densità variabile da 1,19 a 1,25 (rispettivamente 23° e 29° Beaumé). Il valore normale della densità dell'elettrolito è di 1,24 circa ed a differenza con gli accumulatori a piombo, tale densità resta pressochè inalterata durante le operazioni di carica e scarica e per un lungo periodo di esercizio. Ciò prova che l'elettrolito non partecipa alle reazioni che si svolgono durante il trattamento dell'accumulatore, ma è solo un mezzo di trasmissione dell'ossigeno che deve passare dalla piastra negativa alla positiva e viceversa.

La soluzione per temperature tra — 10° C. e + 45° C. resta quasi inalterata, però a questi limiti estremi la capacità dell'accumulatore risulta leggermente diminuita.

L'elettrolito *è caustico* e corrode qualsiasi oggetto che non sia di vetro o di acciaio nichelato, corrode i tessuti, dà bruciori molestissimi alla pelle, è terribile per gli occhi, non può rimanere esposto liberamente ed a lungo all'aria perchè avido di acido carbonico, e non deve mai andare a contatto di soluzioni acide o di recipienti ed oggetti già impiegati per soluzione acida.

Deve pertanto evitarsi l'uso di quanto attualmente serve per gli accumulatori a piombo. Come si è detto, l'elettrolito ha grande affinità per l'acido carbonico. Pertanto si deve sempre evitare di collocare le batterie in ambienti in cui sia contenuta forte quantità di tale gas (locali caldaie, locali macchine, ecc.).

Reazioni chimiche durante la carica e scarica: Secondo esperienze recenti circa le reazioni chimiche che si svolgono durante le cariche e scariche degli accumulatori alcalini, risulta che durante la carica la corrente elettrica riduce la materia attiva della piastra negativa, cioè il sesquiossido di ferro, trasformandolo in ferro metallico allo stato spugnoso. L'ossigeno che si libera soprossida l'idrato di nichel della piastra positiva che si trasforma in perossido

CURVE DI CARICA E SCARICA PER ELEMENTI « EDISON »

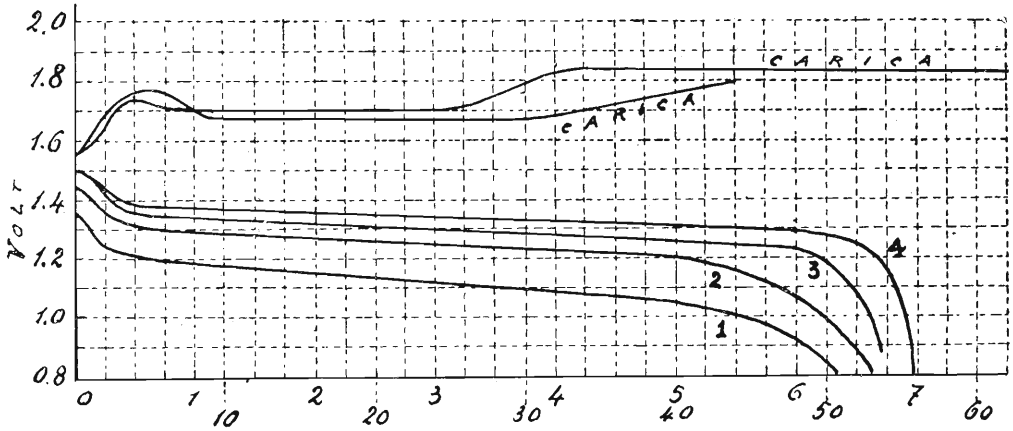


Fig. 62.

1. Scarica a ore 2 1/2
2. » » » 5 1/4
3. Scarica a ore 22
4. » » » 55

di nichel e sesquiossido di nichel. Al primo composto di nichel ed ossigeno (N_1 O_2), instabile, corrisponderebbe il maggior valore del potenziale che si riscontra durante la prima mezz'ora di scarica; in seguito poi il nichel della piastra positiva perde spontaneamente ossigeno trasformandosi in Ni_2 O_3, composto più stabile, cui corrisponde il potenziale minore che si rileva subito dopo.

Durante la scarica l'ossido di nichel si riduce ed il ferro spugnoso si ossida. L'accumulatore « Edison » è dunque un trasportatore di ossigeno che dal ferro passa momentaneamente nel nichel durante la carica, e fa il passaggio inverso nella scarica.

L'azione chimica è quindi molto diversa da quella che si produce negli accumulatori a piombo, poichè l'elettrolito serve unicamente di veicolo agli ioni di ossigeno e non attacca i corpi costituenti l'elemento, nessuno dei quali è solubile nella potassa.

La f.e.m. dell'accumulatore Edison a fine di carica è di circa 1,5 Volts, e durante la scarica di 1,2 Volts.

L'accumulatore al ferro-nichel offre sull'accumulatore a piombo il pregio di una capacità rilevante congiunta al permettere un trattamento facile e rozzo. Però dal punto di vista economico, a parità di energia, il costo degli elementi al ferro-nichel è due o tre volte superiore a quello degli elementi a piombo.

Anche il rendimento non è molto elevato e si aggira sul 40 ÷ 50 %.

Una recente modifica, o meglio un perfezionamento degli accumulatori Edison, sono gli accumulatori Gonin-Marseille, nei quali, la materia attiva, è posta negli elettrodi positivi, entro tubi di nichel puro, perforati, stretti mediante fili dello stesso metallo, e ripieni di idrossidi di nichel.

Gli elettrodi negativi sono costituiti da sacchetti metallici di ferro, montati fra due traverse pure di ferro e collegate insieme nella parte superiore da una lamina di nichel.

Con questi accumulatori, si è ottenuta una capacità totale variante da 28 a 30 Watt-ora per Kg. di elemento; simile cioè a quella degli accumulatori Edison.

La durata degli elettrodi, è molto superiore a quella degli accumulatori a piombo, e quasi eguale a quella degli Edison. Si possono raggiungere dei regimi di carica e scarica di 20 a 25 Watt per ogni Kg. di elemento, molto superiore agli accumulatori a piombo, che raggiungono solo i 7 od 8 Watt.

Hanno il vantaggio rispetto agli accumulatori Edison di un minor costo perchè supera solo del 30 % circa quello degli accumulatori a piombo.

Il loro rendimento è dal 7 al 10 % più elevato di quello degli elementi Edison.

Costituzione e formazione delle batterie al ferro-nichel: Generalmente gli elementi sono forniti già riuniti per la tensione voluta e sistemati in adatte cassette di legno, che a mezzo di piccoli isolatori di sostegno e di opportuni diaframmi, mantengono isolati e separati tra loro e dalla massa i diversi elementi, il cui recipiente, come si è detto, assume tensione positiva o negativa.

Le batterie possono essere fornite sia cariche, cioè formate e pronte all'uso, sia da formare. Nel primo caso, prima di impiegarle vanno trattate come sarà specificato in seguito nel « Governo delle batterie inoperose ».

Per le batterie da formare, l'elettrolito è generalmente liquido in fusti od in polvere dentro scatole di ferro. Per versare il liquido negli accumulatori si usa un tubo di gomma, preventivamente tenuto pieno per almeno due ore, di elettrolito stesso che poi non sarà più impiegato. Si versa l'elettrolito dentro l'elemento senza preoccuparsi eccessivamente del livello di esso dentro l'accumulatore; basta solo che le piastre siano completamente coperte.

Nel caso in cui l'elettrolito venisse fornito in polvere, questa sarà versata, subito e senza essere esposta lungamente all'aria, in un recipiente di ferro o di ferro nichelato o di porcellana (non di vetro che si romperebbe per l'alta temperatura che acquista il liquido allorchè si versa l'acqua). Tale recipiente sarà preventivamente ben pulito e sciacquato con elettrolito stesso o con acqua distillata, e riempito di una quantità di acqua distillata o piovana, indicata dalle norme scritte nella scatola stessa in cui è contenuta la polvere. La densità sia verificata con un densimetro.

Non usare mai oggetti impiegati per gli accumulatori a piombo.

Tale soluzione di elettrolito si lascia raffreddare almeno fino a 36° C. Se occorre si decanta o si filtra con lana di vetro e non con cotone idrofilo che viene sciolto dalla soluzione.

Carica e scarica: La carica sarà sempre possibilmente fatta con tutti gli elementi in serie onde evitare irregolarità di carica. Prima di iniziare la carica occorre assicurarsi che gli elementi siano bene isolati, puliti e con i tappi delle cassette tolti per il libero sfogo dei gas. L'elettrolito deve coprire le piastre ed in caso contrario si deve aggiungervi acqua distillata. Occorre sempre evitare di eseguire la carica in locali angusti e poco ventilati od eccessivamente riscaldati.

Se durante la carica, la temperatura della soluzione di un accumulatore supera i 45° C., sospendere la carica ed attendere che l'elemento o gli elementi si siano raffreddati.

Carica normale o ad intensità costante: E' il metodo di carica ordinario e più consigliabile. Scelta una sorgente di energia elettrica a corrente continua e che abbia una tensione minima eguale o superiore al numero degli elementi moltiplicato per 1,85; si dispone una resistenza variabile in serie in modo da mantenere costante l'intensità della corrente di carica.

La durata della carica è diversa per i vari tipi di accumulatori.

Generalmente però gli amperora da fornire durante la carica sono quelli dati dalla scarica più il 15 ÷ 20 % della capacità scaricata.

Non potendosi valutare la quantità di elettricità già scaricata, la carica può prolungarsi fino a che sia raggiunta la tensione massima che è di volts 1,8 ÷ 1,9, e che dovrà mantenersi costante per almeno 30 minuti. Il valore dato nella tensione massima non è assoluto, e la carica potrà ritenersi completa quando il voltametro segna, per almeno mezz'ora, sempre lo stesso valore di f. e. m.

Tenere presente che le letture al Voltametro, fatte a circuito aperto, non danno nessuna indicazione circa lo stato di carica e scarica degli accumulatori e perciò la tensione dovrà essere sempre letta sotto carica.

Gli accumulatori ad elettrolito alcalino non soffrono se si sottopongono ad una carica con polarità invertite, ma in questo caso per ripristinarli è consigliabile impiegare un trattamento come si dirà nel « Governo delle batterie ». Tali accumulatori non soffrono se si cessa la carica in un momento qualsiasi per impiegare poi la batteria.

Sovraccarica: Si fa con intensità costante ed eguale a quella prescritta per i diversi tipi, dopo terminata la carica normale. Può durare dalla metà al doppio del periodo normale di carica.

Carica forzata: Se per necessità occorre caricare rapidamente la batteria, tale carica può essere effettuata con elevati regimi di corrente. Il valore della intensità di carica non è fissato e può essere qualunque, purchè non sia superata la temperatura di 45° C. nella soluzione degli elementi. E' prudente però non superare un regime di carica di quattro volte il normale.

Carica lenta: E' buona norma negli accumulatori al ferro-nichel di non caricare mai ad una intensità inferiore a quella normale, eccettuato nei casi in cui il regime di scarica è eguale od inferiore a quello lento scelto per la carica.

Per il funzionamento normale è sempre meglio sovraccaricare che caricare lentamente.

Scarica normale: L'intensità normale di scarica è fissata per i diversi tipi. Nella prima mezz'ora di scarica la tensione cade più rapidamente che in seguito (*vedi curve*). La tensione utile di lavoro può ritenersi di volts 1,2. La tensione minima è di volts 1 ÷ 0,9.

Tali accumulatori possono anche essere scaricati senza pregiudizio alcuno, fino a zero volt, e chiusi anche in corto circuito. Però nell'intervallo tra volt 1 e 0 la capacità erogata è minima, avendosi una caduta precipitosa nella tensione.

Essendo necessario, il regime di scarica può essere qualunque, sempre però entro il limite dei 45° C. massimi di temperatura che non devono essere superati.

Governo delle batterie durante l'uso: Per la buona manutenzione di tali accumulatori è necessario:

1°) Evitare il contatto della soluzione alcalina con quelle acide (soluzione solforica di accumulatori a piombo) o con materiali ed oggetti impiegati per le soluzioni acide.

2°) Non avvicinare alle aperture degli elementi fiammiferi accesi o fiamme qualsiasi. Evitare scintille e scariche causate da corto circuito fra gli elementi.

3°) Salvo che si faccia il riempimento e durante la carica, tenere sempre chiusi gli appositi fori.

4°) Curare che gli elementi siano sempre asciutti e puliti.

5°) Assicurarsi prima della carica che l'elettrolito copra almeno le piastre, altrimenti fare il rimboccamento con acqua distillata.

6°) Non occorre verificare spesso la densità dell'elettrolito, ma solamente quando l'accumulatore non dà tutta la capacità normale. Cambiando l'elettrolito la batteria deve essere sottoposta a sovraccarica.

7°) Tenere presente che assoggettando tali accumulatori ad un buon lavoro essi migliorano.

Batterie inoperose e pigre: Le batterie ad elettrolito alcalino, possono rimanere inoperose per lungo tempo, giacchè avendo una scarica interna praticamente nulla, la perdita di capacità è relativamente trascurabile. Però per riattivarle, occorre usare loro il trattamento consigliato anche per le batterie pigre od eventualmente caricate con polarità invertita.

Sono chiamate *pigre* quelle batterie che non hanno, alla scarica, la capacità normale. Ciò può dipendere:

a) da scariche persistenti e latenti dovute a poca pulizia degli elementi od a poco isolamento di essi;

b) da frequenti scariche a basso regime;

c) da inoperosità;

d) da elementi cortocircuitati o inseriti nella batteria con polarità invertita;

e) da soluzione debole.

All'infuori dell'ultima circostanza accennata, le batterie si riprendono quasi generalmente. Pertanto si farà la scarica della batteria deficiente fino a zero volt a regime normale, indi si lascerà in corto circuito per qualche ora ed infine si caricherà e si darà una sovraccarica.

La soluzione deve ritenersi debole se l'elettrolito ha peso specifico inferiore a 1,16 (20° Beaumé).

Nel caso di sostituzione dell'elettrolito, occorre: preparare la nuova soluzione, scaricare la batteria fino a zero, cortocircuitarla, indi togliere una parte della soluzione da ricambiare, con la rimanente soluzione, sciacquare energicamente gli elementi che saranno quindi vuotati e poi riempiti con nuova soluzione.

CAPITOLO VII.

Magnetismo

§ 28 — **Magneti naturali ed artificiali, loro proprietà**

Esiste in natura un minerale di ferro, chiamato *magnetite*, il quale ha la proprietà di esercitare una forza di attrazione principalmente sul ferro e suoi composti col carbonio (ghisa e acciaio) ed in misura minore anche su altri corpi.

Questa forza di attrazione può facilmente essere messa in evidenza immergendo un pezzo di magnetite nella limatura di ferro ed osservando che le particelle metalliche restano aderenti al minerale.

I pezzi di magnetite si chiamano anche *magneti o calamite naturali*, e la proprietà di cui godono di attrarre il ferro ed altri metalli, dicesi *magnetismo*.

Il magnetismo può essere comunicato ad una sbarretta di acciaio strofinandola semplicemente più volte, e sempre nel medesimo senso, con la stessa estremità di un magnete naturale.

La sbarretta di acciaio così trattata chiamasi *magnete artificiale* ed acquista temporaneamente tutte le proprietà delle calamite o magneti naturali.

L'attrazione magnetica che si produce fra i magneti ed i metalli magnetici, si verifica anche fra magnete e magnete.

Immergendo un magnete naturale od artificiale nella limatura di ferro, si osserva che le particelle metalliche aderiscono al magnete in misura decrescente dalle estremità verso il centro, e che nella parte centrale, chiamata appunto *linea* o *zona neutra* non ne aderisce alcuna (fig. 63).

Ciò dimostra che la forza di attrazione di ogni magnete è concentrata alle due estremità che si chiamano *poli* del magnete.

Anche con i magneti artificiali è possibile produrre altri magneti artificiali; l'operazione consiste anche in questo caso nello strofinare ripetuta-

mente sempre nello stesso senso e sempre con lo stesso polo di un magnete, la sbarretta di acciaio da magnetizzare. Quindi con un magnete si possono indefinitamente produrre altri magneti artificiali, anche di potenza maggiore, dotati cioè di una forza magnetica capace di attrarre non solo le piccole particelle di limatura di ferro, ma anche dei grossi pezzi metallici.

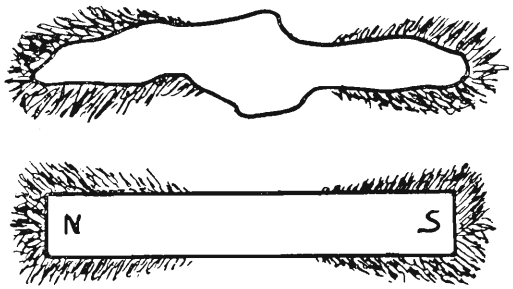


Fig. 63.

Non è però possibile aumentare all'infinito la forza magnetica o, come si usa chiamare, la *forza portante* di una calamita; oltrepassato un certo limite per quanto si continui la magnetizzazione, la forza portante non aumenta più e si dice allora che la calamita è *satura*.

§ 29 — **Magnetismo terrestre**

Tutta la magnetite ed i minerali magnetici contenuti nelle viscere della terra concorrono a formare un immenso magnete i cui poli (*poli magnetici*) sono situati in prossimità dei poli geografici.

In magnetismo terrestre può essere messo in evidenza mediante l'uso di un magnete, formato da una sbarra di acciaio sottile sospesa per il suo centro di gravità e libera di ruotare, quasi senza attrito, nel piano orizzontale.

Un magnete così fatto si chiama *ago magnetico* e tende a disporsi sempre con il suo asse nella direzione dei poli magnetici della terra (fig. 64).

Il piano verticale che passa per l'asse dell'ago disposto in tale posizione dicesi *meridiano magnetico*. Su tale principio dell'ago magnetico che tende a mantenere invariata la posizione è basata la *bussola* ad uso dei naviganti.

Notandosi che l'ago magnetico dirige sempre una stessa estremità verso il polo Nord magnetico e l'altra verso il polo Sud magnetico, si trae da ciò la conclusione che esistono due ben diverse specie di magnetismo in uno

stesso magnete, concentrate alle estremità e che vengono perciò distinte coi nomi di *magnetismo Nord* e *magnetismo Sud*.

Ciò è anche confermato dall'azione reciproca di due aghi magnetici posti in vicinanza uno dall'altro; in tal caso si nota che il polo Nord di un ago attrae il polo Sud dell'altro, mentre ne respinge il polo Nord, e viceversa; possiamo dunque dire che *magnetismi dello stesso nome si respingono mentre magnetismi di nome contrario si attraggono* (fig. 65).

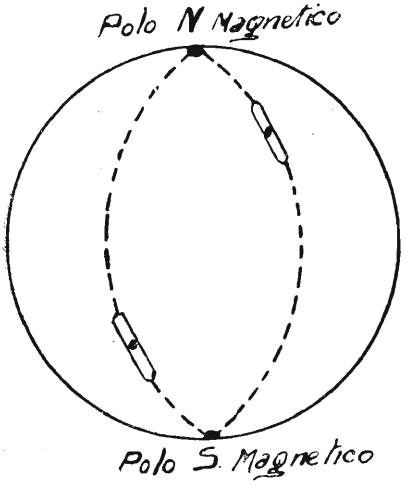


Fig. 64.

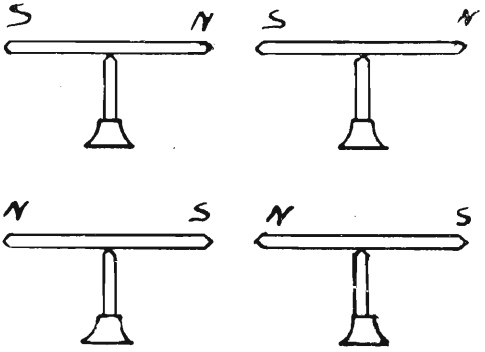


Fig. 65.

Per convenzione si chiama polo Nord o positivo dell'ago l'estremità che si dirige verso il polo Nord magnetico, e polo Sud o negativo l'altra.

Da quanto si è detto risulta che tra due magneti posti vicini si esercitano delle forze di attrazione o repulsione, concentrate nei poli dei magneti le quali si compongono in una risultante che sarà di attrazione o repulsione a seconda che, prevale l'azione dei poli dello stesso nome o quella dei poli di nome contrario.

Il fisico Coulomb dopo lunghe e pazienti esperienze dimostrò che le forze di attrazione magnetica obbediscono, come le forze di attrazione elettrostatiche, alle leggi di Newton, e verificò inoltre che la quantità di magnetismo contenuta in un polo di un magnete, è sempre uguale a quella contenuta nell'altro polo dello stesso magnete.

La legge di Coulomb è espressa dalla formula:

$$F = \frac{m_1 \, m_2}{d^2} \, K$$

nella quale m_1 ed m_2 sono le due masse magnetiche fra le quali si esercita la forza magnetica da misurare, d è la distanza fra le due masse, e K un coefficiente che dipende dal mezzo nel quale le due masse sono immerse.

Come si vede dalla formula, F può essere positiva (repulsione) e negativa (attrazione) a seconda dei segni di m_1 ed m_2; infatti se m_1 ed m_2 sono entrambi positivi (Nord) od entrambi negativi (Sud) il loro prodotto sarà positivo e quindi anche F (repulsione); se invece m_1 e m_2 sono di segno contrario il loro prodotto sarà negativo e quindi anche F (attrazione).

In base alla legge di Coulomb si definisce come *unità di quantità magnetica o di massa magnetica*, quella quantità magnetica Nord che respinge con la forza di una dine una massa identica posta alla distanza di un centimetro.

§ 30 — Ipotesi sulla costituzione del magnetismo

Le due diverse specie di magnetismo Nord e Sud sono sempre coesistenti, vale a dire non è possibile avere in un magnete soltanto un polo Nord o soltanto un polo Sud. Se infatti rompiamo per metà un magnete possiamo facilmente verificare che ciascuna delle due metà diventa un magnete perfetto dotato cioè di un polo Nord e di un polo Sud e questa operazione si potrebbe ripetere all'infinito sempre con lo stesso risultato (fig. 66).

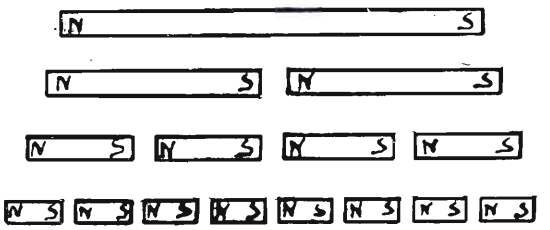


Fig. 66.

Ciò convalida una delle più diffuse ipotesi sulla costituzione del magnetismo secondo la quale nei magneti tutti gli atomi o gruppi di atomi, di cui il magnete è composto, sarebbero dei magnetini elementari disposti tutti con i poli omonimi nella stessa direzione; nell'interno del magnete tutti gli infiniti poli Nord e Sud influenzandosi si annullerebbero fra di loro mentre alle estremità concorrerebbero a formare le polarità opposte del magnete.

Nei corpi magnetizzabili invece esisterebbero egualmente infiniti magnetini elementari ma essi sarebbero orientati liberamente in tutte le direzioni in modo che le loro polarità opposte si annullerebbero tutte a vicenda.

L'azione magnetizzante di un altro magnete consisterebbe appunto nel far sì che tutti i magneti elementari si orientino ugualmente disponendosi con tutti i poli del medesimo nome da una stessa parte.

Questa teoria ci dà anche ragione della *saturazione* dei magneti artificiali poichè è evidente che quando si sarà ottenuto, coll'operazione della magnetizzazione, che tutti i magneti elementari si siano orientati, avremo ottenuto il massimo risultato possibile, con il metallo di cui ci siamo serviti per costituire il magnete artificiale.

§ 31 -- **Campo magnetico - Circuito magnetico**

Si definisce *campo magnetico* di una massa magnetica lo spazio nel quale sono sensibili le forze magnetiche generate dalla massa stessa; si chiamano *direzione*, *senso* e *intensità* di un campo magnetico in un dato punto, la direzione, il senso e l'intensità della forza con la quale sarebbe sollecitata a muoversi un'unità di massa magnetica posta in quel punto.

L'unità di intensità del campo magnetico si chiama *Gauss* e corrisponde all'intensità di un campo di un punto nel quale la massa magnetica unitaria è sollecitata a muoversi con la forza di una dine.

Se, per esempio, in un certo punto di un dato campo magnetico constatiamo che la massa magnetica 1 è sollecitata a muoversi con la forza di 100 dine, diremo che l'intensità del campo in quel punto è di 100 Gauss; oppure se in un altro punto constatiamo che la massa magnetica 3 è sollecitata a muoversi con la forza di 50 dine, diremo che l'intensità del campo, in quest'altro punto, è di:

$$3 \times 50 = 150 \text{ Gauss.}$$

L'intensità del campo si usa indicare con la lettera H.

Disponiamo adesso una calamita sopra un tavolo, e poggiamovi sopra un cartoncino sul quale faremo cadere lentamente della limatura di ferro molto fine; se avremo cura durante l'operazione di dare dei leggeri colpetti con le dita al cartoncino e se distribuiremo uniformemente la limatura vedremo in breve che questa assume una disposizione particolare secondo certe linee le quali ci dimostrano il modo con cui si esercitano le azioni magne-

tiche (fig. 67). Queste linee si chiamano *linee di forza* ed il loro sistema costituisce il cosidetto *spettro magnetico*.

Le particelle di ferro della limatura, appena entrano nel campo magnetico della calamita, per un fenomeno di cui parleremo in seguito, divengono esse stesse dei piccoli magneti, e, come tali, appena giunte sul cartoncino si orientano tutte secondo le linee di forza passanti per i punti del campo nei quali sono venute a trovarsi e si attaccano le une con le altre.

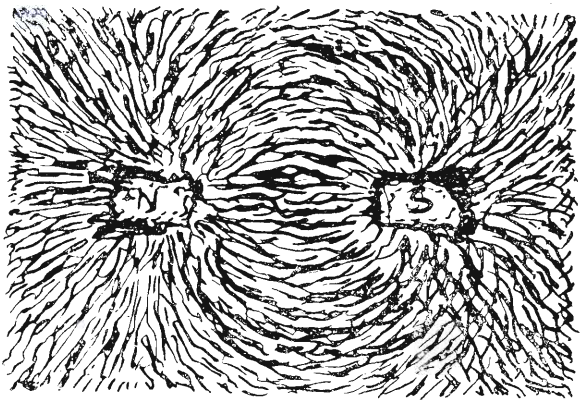


Fig. 67.

In definitiva vedremo disegnarsi sul cartoncino tante linee di limatura le quali non sono altro che la materializzazione di altrettante linee di forza del campo magnetico; se in un punto qualsiasi di una di queste linee si pone un ago magnetico noi lo vedremo disporsi in modo che il suo asse longitudinale risulti tangente alla linea nel punto scelto, ammesso però che la calamita sia sufficientemente potente da potersi considerare trascurabile l'influenza del campo magnetico terrestre, in confronto all'azione del suo campo.

Lo spettro magnetico ci mostra che le linee di forza partono da un polo e raggiungono il polo opposto. Le più esterne però si disperdono ad una certa distanza dalla calamita, e ciò perchè, come insegna la legge di Coulomb, la forza magnetica diminuisce rapidamente man mano che ci si allontana dalla calamita e diventa insufficiente ad orientare le particelle di limatura più lontane (fig. 68).

Poichè per definizione il senso del campo è quello nel quale si muoverebbe una massa magnetica unitaria Nord, si usa dire che le linee di forza *escono* dal polo Nord ed *entrano* per il polo Sud; si ammette però che le

linee di forza continuino anche nell'interno del magnete andando dal Sud al Nord in modo da percorrere una linea chiusa che si chiama *circuito magnetico.*

In pratica si usa spesso, nella rappresentazione grafica dei campi magnetici, disegnare un numero di linee di forza uguale o proporzionale all'intensità del campo, ed in tal caso si usa anche dire che l'intensità è di tante linee di forza per cm^2 (fig. 69).

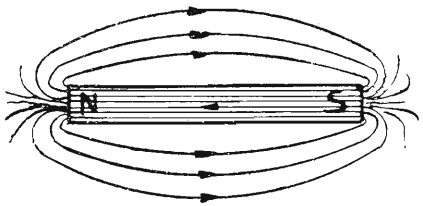


Fig. 68.

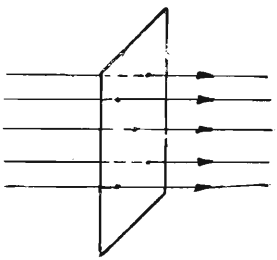


Fig. 69.

Se, per esempio, l'intensità di un campo magnetico è di 5 Gauss si disegnano le linee di forza in maniera che ve ne siano cinque per ogni cm^2 di superficie perpendicolare al campo.

Questa convenzione permette facilmente di distinguere, nei campi non uniformi, le zone di diversa intensità del campo poichè dove questa è più forte le linee di forza saranno più fitte e viceversa (1).

Il prodotto di questa superficie per l'intensità del campo magnetico, supposto uniforme e perpendicolare alla superficie stessa, si chiama *flusso magnetico* e si indica in generale con la lettera greca Φ. L'unità di flusso magnetico viene chiamata *Maxwell.*

Indicando quindi con S la superficie di un piano supposto normale in ogni suo punto alle linee di forza avremo: $\Phi = H\ S$.

Ad esempio pratico si può dire che in una tale superficie di un metro quadrato, attraversata da un campo magnetico di 0,50 Gauss, il flusso sarebbe 0,50 Gauss $\times$ 10.000 cm^2 = 5.000 mawell.

Se si curva a cerchio (fig. 70-a) un magnete in modo che i due poli si trovino avvicinati, le linee di forza si troveranno addensate fra i poli, cioè il flusso magnetico passerà quasi totalmente da un polo all'altro senza disper-

(1) Naturalmente però le linee di forza di qualsiasi campo magnetico sono in realtà infinite poichè ne passa una, per ciascuno degli infiniti punti dello spazio compresi nel campo magnetico.

dersi nello spazio intorno. Se si avvicinano ancora i poli fino a portarli a contatto (fig. 70-b) nessuna linea di forza attraverserà più lo spazio, non vi saranno più poli, non vi saranno più azioni magnetiche esterne; si dice allora che un tal sistema costituisce un *circuito magnetico chiuso.*

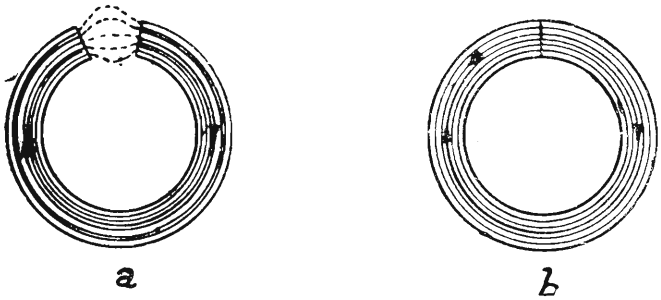


Fig. 70.

Considerando l'azione del campo magnetico sopra il magnete stesso che lo produce, possiamo notare come, dato che il flusso magnetico emesso si diffonde in tutte le direzioni, una parte di esso ritornerà al polo Sud passando dall'interno del magnete stesso ed eserciterà così una azione contraria al flusso esterno che si chiude attraverso il magnete dal polo Sud al polo Nord.

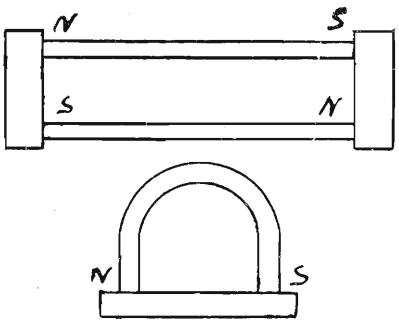


Fig. 71.

Questa azione di contrasto dicesi *forza smagnetizzante* e tende a diminuire il magnetismo proprio di un magnete. E' necessario quindi cercare di annullare o ridurre questa forza e questo lo si ottiene costruendo magneti molto lunghi rispetto alle sezioni e chiudendo il circuito magnetico con un pezzo di ferro o *àncora*, che unisce i due poli. In questo modo non essendovi più poli la forza magnetizzante è nulla (fig. 71).

§ 32 - Permeabilità e induzione magnetica Materiali magnetici

La magnetizzazione per influenza, dopo le considerazioni esposte, può essere attribuita ad una proprietà del ferro, o comunque di altri corpi, di concentrare nel loro interno le linee di forza del campo magnetico nel quale i corpi sono immersi. Questa proprietà si esprime dicendo che i diversi materiali godono di una *permeabilità magnetica* più o meno accentuata.

Abbiamo detto al principio di questo capitolo che i magneti erano capaci di attirare in modo ben visibile il ferro ed il nikel; se si agisce con mezzi di ricerca più delicati si può osservare che l'attrazione si manifesta molto più debolmente per altre sostanze dette *paramagnetiche* quali sono il cobalto, il manganese, ecc.

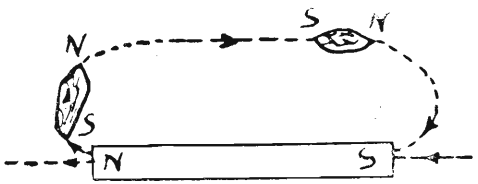


Fig. 72.

Alcune altre come l'aria, il vetro, ecc., sono *inerti* ed altre infine come l'antimonio, il bismuto, l'alluminio, il rame subiscono una azione repulsiva estremamente debole e diconsi sostanze *diamagnetiche*. Se in un campo magnetico si pone una sostanza paramagnetica questa sotto l'azione del campo diviene una calamita e nella zona colpita per primo dalle linee di forza, considerate nel senso positivo (da Nord a Sud), si manifesta una polarità Sud, e nella zona da cui le linee di forza escono si genera una polarità Nord (fig. 72). Questo fenomeno ha preso il nome di *induzione* magnetica, analogamente alla induzione elettrica.

Se il corpo indotto è di ferro dolce la magnetizzazione cessa quasi totalmente se si annulla il campo; per l'acciaio invece la magnetizzazione permane in parte (*magnetismo residuo*) e questo ci permette di ottenere con l'acciaio delle *calamite permanenti*.

CAPITOLO VIII.

Elettromagnetismo

§ 33 — Campo magnetico prodotto da una corrente Regole per determinare il senso - Solenoidi

Facciamo attraversare, da un conduttore disposto verticalmente, un foglio orizzontale di carta (fig. 73) sul quale cada della limatura di ferro. Inviando corrente nel conduttore vedremo che i granelli di limatura si disporranno secondo circonferenze concentriche. Questo fatto ci dimostra chiaramente che intorno al conduttore si è creato un campo magnetico, le cui linee

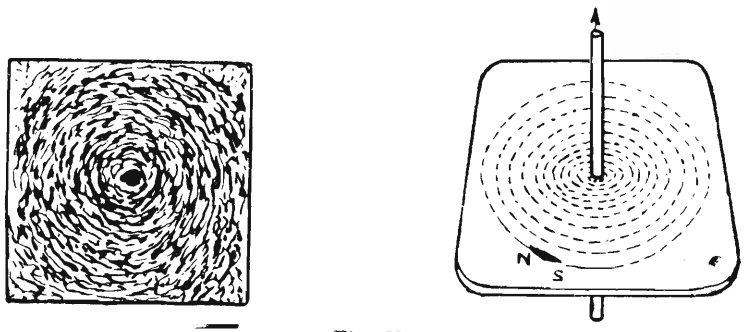


Fig. 73.

di forza sono delle circonferenze disposte in piani perpendicolari all'asse del conduttore ed aventi i centri su questo asse. Se in un punto qualunque delle circonferenze (linee di forza) sistemiamo un ago magnetico, osserveremo che esso si disporrà tangenzialmente alla circonferenza stessa; inoltre se invertiamo il senso della corrente del conduttore, l'ago si disporrà sempre tangenzialmente alla circonferenza, ma, dopo aver ruotato sul suo asse di 180°. Ciò dimostra che la inversione del senso della corrente produce la inversione della direzione delle linee di forza del campo magnetico da essa corrente generato.

Per determinare la direzione delle linee di forza in relazione al senso della corrente esistono varie regole delle quali citeremo la regola di Ampère e la regola di Maxwell.

Ampère caratterizzò il verso del campo magnetico prodotto da una corrente elettrica che percorre un conduttore, constatando che è diretto verso la sinistra dell'osservatore qualora esso osservatore si immagini disteso lungo il conduttore col corpo attraversato dalla corrente nel senso dai piedi alla testa.

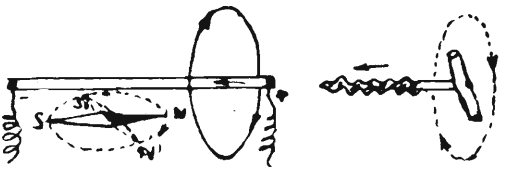


Fig. 74.

La regola di Maxwell, che dà pure la direzione del campo, si enuncia così: Supposto che l'asse di una vite ordinaria o di un cavaturaccioli rappresenti il filo percorso da una corrente e la direzione della corrente sia quella del movimento dell'asse; quando si fa girare la vite entro una sede fissa (madrevite), la direzione del campo magnetico è quella del movimento di rotazione della vite.

Se diamo forma circolare al conduttore percorso dalla corrente vedremo (fig. 75) che, in questo caso, tutte le linee di forza create dalla corrente sono

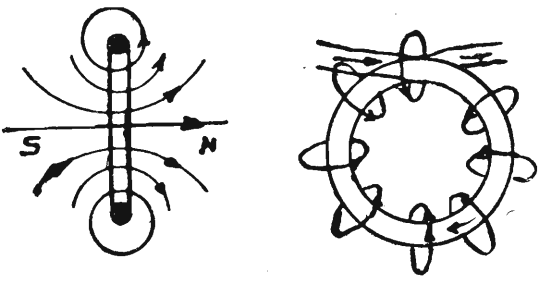


Fig. 75.

dirette nell'interno nel medesimo senso e quindi una corrente circolare chiusa si può ritenere, dal punto di vista magnetico, eguale ad una lamina magnetizzata trasversalmente e della quale le due faccie costituiscono i poli.

Se ora immaginiamo di avvolgere un conduttore su se stesso, a forma di

spirale (fig. 76) e di farlo percorrere da una corrente continua, avremo, per quanto è stato sopra detto, che ogni spira formerà una lamina magnetizzata e questo sistema di lamine eliderà, nell'interno della spirale stessa, tutte le polarità a contatto non rimanendo liberi agli estremi della serie che due poli

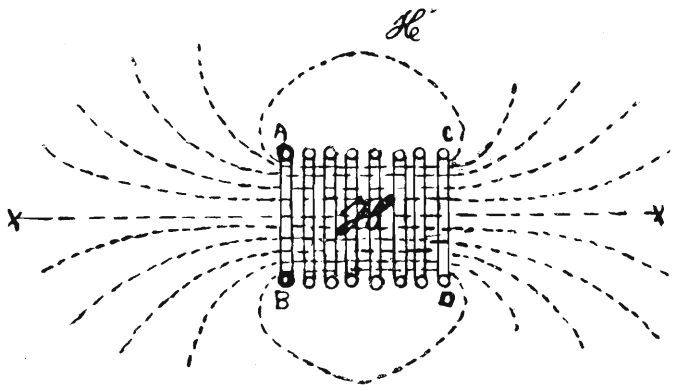


Fig. 76.

diversi. Una simile spirale prende il nome di *solenoide*. Se un solenoide si sospende in modo da poter liberamente girare esso si orienta come un ago magnetico. Disponendo lungo l'asse del solenoide un piano orizzontale (fig. 77) e lasciando cadere sopra il piano della limatura di ferro, vedremo

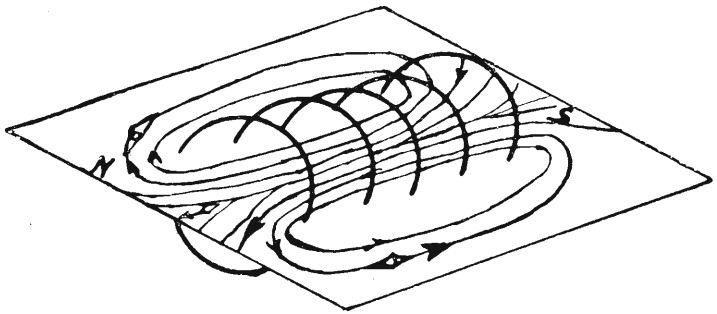


Fig. 77.

che i granelli si dispongono secondo le ben conosciute linee di forza. Un solenoide crea dunque all'interno ed all'esterno un campo magnetico e può quindi essere paragonato ad una sbarra magnetica cilindrica. Un solenoide,

inoltre, può essere curvato ad anello e non presentare estremità libere; in questa forma esso si comporta come un magnete circolare chiuso.

I solenoidi hanno una grande importanza nella pratica per la creazione di campi magnetici intensi.

E' assai utile poter conoscere il valore dell'intensità del campo magnetico di un determinato solenoide. Indicandone con l la lunghezza in centimetri, con n il numero delle spire, con I l'intensità della corrente che in esso circola, si dimostra che il valore del campo magnetico espresso in Gauss è:

$$H = \frac{4 \pi n I}{10 l} \text{ dove } \pi \text{ ha il solito valore di } 3{,}1416;$$

ossia: $$H = 1{,}257 \frac{n I}{l}$$

Da questa formula si vede che l'*intensità del campo nell'interno di un solenoide è inversamente proporzionale alla sua lunghezza e direttamente proporzionale al prodotto del numero delle spire per l'intensità della corrente.* Questo prodotto chiamasi *ampère-spire.*

Applicazione: Calcolare l'intensità del campo nell'interno di un solenoide di lunghezza l = un metro, avente n = 400 spire, percorso da una corrente I = 20 ampère.

Avremo:

$$H = 1{,}257 \frac{400 \times 20}{100} = 100 \text{ gauss.}$$

§ 34 — **Forza magnetizzante - Riluttanza**

Quando nell'interno di un solenoide si introduce un nucleo di ferro, il flusso magnetico acquista un valore considerevole, maggiore di quello che aveva prima. Il numero delle linee di forza che attraverso il nucleo di ferro è molto maggiore di quello che prima attraversava l'aria.

Se il campo magnetico nell'interno di un solenoide, prima della introduzione del nucleo di ferro, aveva un certo valore H, dopo la introduzione del nucleo esso acquista un valore molto grande, che la teoria dimostra essere:

$$B = \mu H = \mu \frac{4 \pi n I}{10 l}$$

B dicesi *induzione magnetica* prodotta dal campo di *intensità* H e μ dicesi *coefficiente di permeabilità del ferro.* La tabella 21 in appendice ci fornisce

i valori di H, B e μ per la ghisa grigia e per il ferro forgiato. Il nucleo di ferro introdotto nel solenoide diventa un vero magnete e l'intensità H, che è causa di questa magnetizzazione, prende perciò il nome di *forza magnetizzante*.

Abbiamo definito il flusso magnetico di un magnete e lo abbiamo espresso con la formula:

$$\Phi = H\ S, \text{ dove H era l'intensità del campo;}$$

analogamente esprimeremo il flusso magnetico attraverso un nucleo di ferro di sezione S, introdotto in un solenoide, con la formula:

$\Phi = B\ S = \mu\ H\ S$ dalla quale, dando ad H il proprio valore, avremo:

$$\Phi = \mu \frac{4\pi\, n\, I\, S}{10\ l}$$

Questa formula, con semplice procedimento aritmetico, si può anche scrivere:

$$\Phi = \frac{\frac{4\pi\ n\ I}{10}}{\frac{l}{\mu\ S}}$$

Al numeratore di questa frazione si dà il nome di *Forma magnetomotrice* ed al denominatore quello di *resistenza magnetica* o *riluttanza*.

Avremo in definitiva:

$$\text{Flusso magnetico} = \frac{\text{forza magneto-motrice}}{\text{riluttanza}}$$

analoga alla formula che già conosciamo per la corrente elettrica (legge di Ohm):

$$\text{corrente elettrica} = \frac{\text{forza elettro-motrice}}{\text{resistenza}}$$

I circuiti magnetici delle macchine elettriche sono quasi sempre circuiti complessi di ferro lamellare, ferro forgiato, ghisa, acciaio, aria. Nei calcoli si presenta quasi sempre il problema: dato un flusso Φ di linee di forza, cercare gli ampère spire necessari per ottenere il detto flusso con determinate qualità di materiali, e determinate lunghezze e sezioni di nuclei. In questi casi si stabiliscono in via approssimativa con schizzi e disegni le dimensioni

del circuito magnetico nelle sue varie parti. La sezione dei nuclei è arbitraria e si fissa ritenendo che usualmente nella costruzione delle macchine elettriche il valore di B sia:

da 6000 a 12000 gauss per i nuclei di ferro lamellare
» 2000 » 6000 » per i nuclei di ghisa grigia
» 3000 » 8000 » per i nuclei di ghisa malleabile
» 10000 » 15000 » per i nuclei di ferro forgiato o di acciaio.

In altri casi si presenta il problema contrario: date le dimensioni delle parti di un circuito magnetico e la forza magneto-motrice, trovare il flusso Φ di linee di forza.

In ambedue i problemi valgono, per la risoluzione, le formule precedenti.

L'analogia fra magnetismo ed elettricità si può spingere oltre. Un circuito magnetico può essere costituito da diversi tronchi di diversa sezione, di diversa permeabilità. Con espressioni analoghe a quelle usate per i circuiti elettrici, affermiamo senz'altro che, supponendo il flusso costante in tutte le sezioni e cioè nulle le dispersioni magnetiche, la *riluttanza di un circuito magnetico è eguale alla somma delle riluttanze distribuite nel circuito* e che *la forza magneto-motrice totale di un circuito magnetico è eguale alla somma delle forze magneto-motrici distribuite nel circuito*. Ai circuiti magnetici si applicano cioè, come ai circuiti elettrici, le leggi di Kirchoff.

Lo specchietto seguente riassume le analogie fra elettricità e magnetismo:

Elettricità	**Magnetismo**
Circuito elettrico	Circuito magnetico
Corrente o flusso elettrico	Flusso magnetico
Forza elettromotrice	Forza magneto motrice
Resistenza	Riluttanza
Conducibilità	Permeabilità

E' necessario però ricordare sempre che l'analogia fino ad ora affermata è però solamente analogia di formule e di espressioni e non analogia fisica tra i fenomeni messi a confronto.

§ 35 — **Saturazione - Isteresi magnetica**

Prendiamo una semplice spirale di conduttore e facciamola percorrere da una corrente continuamente crescente di intensità. Misurando ripetutamente il valore del campo magnetico prodotto, noi vedremo che esso aumen-

terà sempre, fino a che il filo della spirale possa sopportare la crescente intensità di corrente.

Se invece si fa percorrere da una corrente di intensità sempre crescente, un solenoide con nucleo di ferro, noi osserveremo che il valore del magnetismo aumenta rapidamente fino ad un certo valore; oltre a questo valore l'aumento diventa piccolissimo, anche continuando ad aumentare l'intensità della corrente che lo produce. In altre parole, il ferro si magnetizza assai rapidamente sul principio, ma poi, raggiunta una certa magnetizzazione, anche aumentando notevolmente l'intensità della corrente magnetizzante, esso non è più suscettibile di concentrare un numero maggiore di linee di forza. Si dice allora che il ferro ha raggiunto lo stato di *saturazione magnetica*. (Vedi fiig. 78).

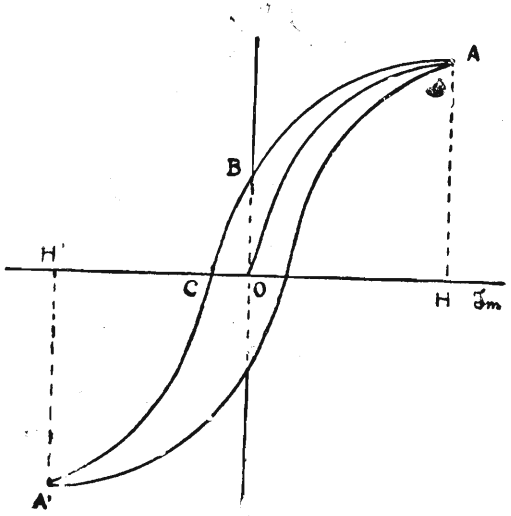


Fig. 78.

Dopo che un solenoide ha raggiunto il suo massimo stadio di magnetizzazione (punto indicato in figura colla lettera A), se facciamo diminuire la intensità della corrente magnetizzante fino al valore zero, osserviamo che il nucleo di ferro conserva ancora una certa quantità di magnetismo che chiamasi magnetismo residuo (segmento O B). Il valore di questo magnetismo varia secondo la natura e la specie del metallo di cui è composto il nucleo: per l'acciaio è, ad esempio, maggiore che per il ferro e per la ghisa. Per annullare questo magnetismo residuo creiamo, *invertendo la corrente nella spirale*, un campo magnetico contrario a quello che lo ha prodotto. Ci accorge-

remo che la nuova magnetizzazione non va di pari passo con la corrente elettrica ma la segue in ritardo; il fenomeno, cioè, si presenta come se la sostanza magnetica ritardasse l'azione della forza magnetizzante opponendo una certa resistenza od un certo *attrito*.

Tale proprietà dei corpi magnetici è stata chiamata *isteresi magnetica* e si può definire come la conseguenza di un attrito molecolare che le particelle del metallo, di cui è composto il nucleo, trovano nell'orientarsi sotto l'azione della corrente variabile in senso alternativamente contrario (v. cap. preced. circa l'ipotesi sulla costituzione del magnetismo). Riassumendo potremo dire che quando un nucleo di ferro, o di altra sostanza magnetica, viene sottoposto alla magnetizzazione di una corrente che cambi alternativamente di senso, si compie in esso un lavoro di orientamento negli infiniti magneti elementari che compongono il corpo magnetico stesso; questo lavoro rappresenta una pura perdita di energia la quale, come è facile notare, si trasforma in calore. A tale perdita ed a tale riscaldamento sono soggette, come vedremo in seguito, le armature di ferro delle dinamo, i nuclei degli indotti degli alternatori, i nuclei dei trasformatori, ecc. I fabbricanti di macchine elettriche, ove sovente si trovano nuclei di ferro soggetti a fenomeni di isteresi, fanno accurati studi per usare qualità di ferro ove siano ridotte al minimo le perdite, per isteresi, e notevoli sono gli ultimi progressi raggiunti in questo campo. Accenneremo, a vantaggio dello studioso, che la perdita per isteresi al secondo, in un corpo di volume V e soggetto a corrente variabile con n variazioni al secondo, è data dalla formula:

$$V_{joule} = \eta \frac{B^{1,6}\, V\, n}{10^7}$$

dove il coefficiente η è riportato, per diverse sostanze, dalla Tab. 22 in appendice.

I fenomeni di induzione ci hanno dunque mostrato che per ottenere un magnete basta immergere una sostanza paramagnetica in un campo magnetico sufficientemente intenso. Abbiamo anche visto che le sostanze magnetiche conservano, in parte più o meno grande, la magnetizzazione raggiunta per effetto del campo. L'acciaio, per esempio, dato il forte valore di magnetismo residuo che può accumulare, è usato per la costruzione di magneti o calamite artificiali, mentre che il ferro dolce o le altre sostanze paramagnetiche sono usate nei casi dove è necessario che la magnetizzazione svanisca subito dopo il cessare del campo.

§ 36 — **Elettromagneti**

Abbiamo detto che un nucleo di ferro introdotto nell'interno di un solenoide percorso da una determinata corrente, diventa un vero magnete.

Il sistema costituito dal nucleo e dal solenoide prende il nome di *elettromagnete;* il solenoide, per lo più formato da un gran numero di spire avvolte sopra un'anima di cartone, o di legno, o di un metallo non magnetico, dicesi *rocchetto.* Il nucleo di *ferro dolce,* introdotto nel solenoide, perde quasi totalmente la magnetizzazione quando viene a cessare la corrente e per questo chiamasi *magnete temporaneo.* Ciò è necessario negli elettromagneti, perchè in essi il magnetismo residuo può essere in molti casi dannoso, quando ad esempio, si vogliono provocare su di una barretta di ferro attrazioni che debbono scomparire al cessare della corrente, come avviene nelle macchine telegrafiche e negli avvistatori elettrici.

La forza complessiva degli elettromagneti varia moltissimo secondo gli scopi per i quali vengono costruiti; la loro sezione è però generalmente circolare, onde evitare, riducendo al minimo il perimetro delle spire, una eccessiva lunghezza dell'avvolgimento. Ordinariamente si usa la forma a *ferro di cavallo* (fig. 79). E' opportuno notare come, affinchè le azioni magnetiz-

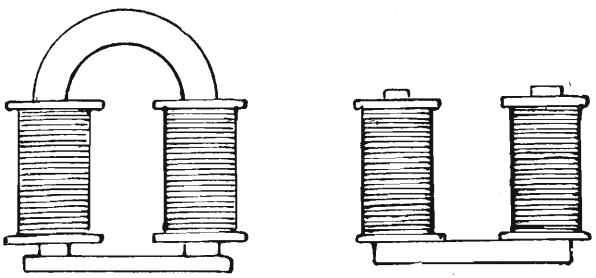


Fig. 79.

zanti dei due rocchetti presentino agli estremi del nucleo di ferro due poli di nome contrario, gli avvolgimenti delle spire sui due rocchetti *devono essere fatti in senso contrario,* rispetto ad un osservatore che guarda i poli.

Gli elettromagneti sono in generale usati per attirare, quando una corrente li attraversa, un'àncora mobile di ferro, la quale, quando in riposo, si trova affacciata ai poli ed a piccolissima distanza da essi (fig. 80). Nell'industria si usano elettrocalamite per sollevare pesi di varie tonnellate e con ottimo rendimento.

Per aumentare la sensibilità degli elettromagneti, ciò che è di massima importanza in telegrafia con o senza fili, si aumenta la forza magneto-motrice dei rocchetti costruendoli con un numero grandissimo di spire. Questi elettromagneti sensibili prendono il nome di *relais* o *soccorritori* (fig. 81).

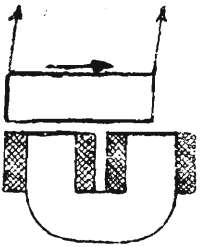


Fig. 80.

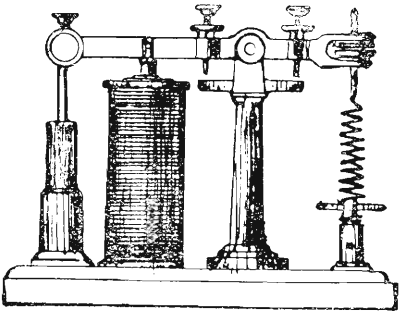


Fig. 81.

In questo tipo di relais la distanza fra l'àncora H ed il polo dell'elettromagnete è facilmente regolabile. L'attrazione dell'àncora determina inoltre l'abbassamento di un'asta metallica entro un tubo di vetro contenente mercurio. Se l'asta ed il mercurio fanno parte di un circuito locale il quale possa essere percorso da una corrente abbastanza intensa da produrre effetti considerevoli, questo circuito vien chiuso quando il relais riceve una corrente anche minima cioè quando l'àncora abbassandosi viene a contatto con il mercurio. Si può quindi ottenere su di un determinato circuito una azione intensa, inviando solo una debolissima corrente nel rocchetto.

E' possibile calcolare la forza portante degli elettromagneti: essa è data in kilogrammi dalla semplice formula:

$$F_{Kg.} = \frac{B^2 S}{25000000}$$

dove S è la sezione in centimetri quadrati del nucleo e B è espresso in gauss.

Applicazione: Calcolare la forza portante di un elettromagnete che abbia la sezione di 10 centimetri quadrati e per il quale l'induzione B si può ritenere di 2000 gauss.

Avremo:

$$F_{Kg} = \frac{2000^2 \times 10}{25000000} = 1600$$

Se invece dell'induzione è dato il valore della corrente che circola nel solenoide, la sua lunghezza ed il numero delle spire dell'avvolgimento (ampère-spire), si può facilmente da queste passare al valore dell'induzione mediante le formule precedentemente riportate nel § 33.

I procedimenti con i quali in passato si magnetizzavano sbarre di acciaio per fabbricare *magneti artificiali* consistevano sommariamente nel far scorrere in contatto di esse ed in senso opportuno altri magneti artificiali; ciò equivaleva, per quanto abbiamo detto, a sottoporle all'azione di un campo magnetico. In modo più rapido si ottengono oggi dei magneti artificiali facendo passare le linee di forza del campo magnetico creato da un elettromagnete attraverso le sbarre di acciaio e nel senso della loro lunghezza.

Per finire l'argomento diremo due parole sul *potere succhiante dei solenoidi.*

Abbiasi un magnete N-S (fig. 82) sospeso per il suo centro di gravità ed in prossimità di un solenoide percorso da corrente. Noteremo subito come il magnete si dispone con il suo asse parallelo a quello del solenoide. Esso verrà respinto od attratto secondo che i poli affacciati sono dello stesso nome e di nome contrario (fig. 82-a-b).

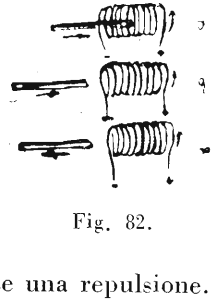


Fig. 82.

Nel primo caso le linee di forza del magnete uscenti dal polo N incontrano quelle che escono dalla estremità del solenoide che gli è affacciata, la quale è N, e ne nasce una repulsione. Se invece è il polo S del magnete che si trova di fronte a questa faccia N, le linee uscenti dal solenoide entrano per il polo S del magnete e, per una loro certa tendenza ad accorciarsi, attirano il magnete. Siccome questa attrazione, per la sovrapposizione dei due campi, è aumentata, il magnete entrerà nell'interno del solenoide; sarà come si suol dire *aspirato* (fig. 82-c) e continuerà a spostarsi fino a che il suo centro non coinciderà con quello del solenoide (fig. 82-d), perchè in questa posizione la faccia S del magnete respingerà il polo S del solenoide ed altrettanto avverrà tra la faccia N ed il polo N. In ciò consiste il potere succhiante dei solenoidi.

§ 37 — **Azioni fra correnti o fra correnti e campi magnetici**

Abbiamo visto come, dal punto di vista magnetico, le correnti ed i magneti si equivalgono completamente. Per esempio, una corrente circolare chiusa equivale ad una lamina magnetica avente lo stesso contorno; ne derivano quindi le attrazioni e repulsioni fra i magneti e le correnti così come

avveniva l'orientamento dei solenoidi. Il fisico Ampère, con una serie di esperienze, ha verificato e calcolato queste azioni e ne ha determinato il senso.

Passiamo ad esaminare i diversi casi che hanno importanza nella pratica:

1° - *Due correnti parallele se sono dirette nello stesso senso si attraggono: se dirette in senso contrario si respingono.*

Infatti (fig. 83) facendo una sezione del flusso intorno ai fili con un piano passante per i due fili, e segnando con + e — le polarità delle linee di forza, si riscontra che tra i due fili esistono polarità opposte e quindi attrazione.

Fig. 83.

2° - *Due correnti inclinate tendono a disporsi parallelamente.* Dalle figure 84 e 85, in cui sono segnate le polarità delle linee di forza sezionate, risulta il movimento che tendono a prendere i due conduttori in relazione alla direzione della corrente.

Fig. 84.

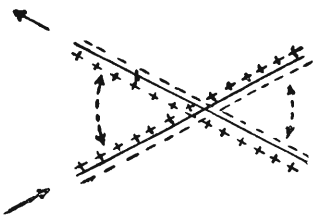


Fig. 85.

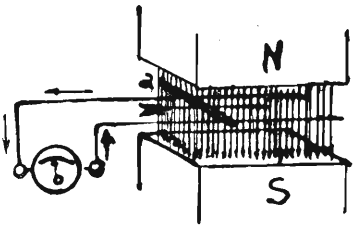


Fig. 86.

3° - *Un filo percorso da una corrente continua posto in un campo magnetico tende a muoversi trasversalmente tagliando le linee di forza in senso perpendicolare* (fig. 86). La più completa applicazione di questo principio si ha, come vedremo in seguito, nei motori elettrici.

Ampère trovava poi che, l'*azione fra due correnti è proporzionale al prodotto delle intensità delle correnti per le loro lunghezze ed inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.*

In particolare avendo due tratti di conduttori percorsi dalle correnti

I ed I_1 paralleli, di lunghezza rispettivamente l ad l', e posti alla distanza d, la forza che si esercita fra essi può ritenersi espressa da:

$$F_{dine} \frac{2 I I_1}{10^2} \frac{l l'}{d^2}$$

dove le lunghezze sono espresse in centimetri e le intensità in ampères. La forza risulterà *positiva*, cioè di attrazione, se le correnti avranno eguale direzione e quindi le intensità eguale segno; risulterà *negativa*, cioè di repulsione, se le correnti avranno direzione contraria e quindi le intensità avranno segno diverso.

CAPITOLO IX.

Induzione elettromagnetica

§ 38 — Induzione elettromagnetica - Sue leggi

Supponiamo di avere due circuiti C_1 e C_2 a breve distanza l'uno dall'altro e che quello C_1 sia percorso da una corrente (fig. 87). Esso genererà un campo magnetico le cui linee di forza passeranno, in parte, anche attraverso il circuito C_2. Se nel circuito C_2 è inserito uno strumento di misura, noi potremo constatare che esso non accusa alcun passaggio di corrente; ma se noi, in modo qualsiasi, facciamo variare il flusso generato dal circuito C_1 osserveremo che lo strumento indica passaggio di corrente. Così pure se spingiamo (fig. 88) una sbarra magnetica nell'interno di un conduttore avvolto a spirale,

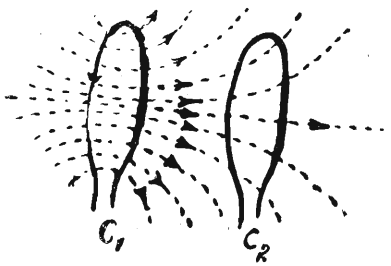


Fig. 87.

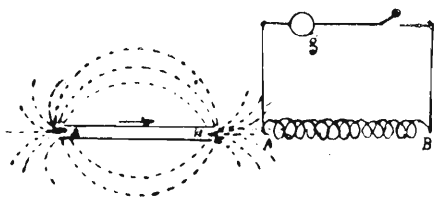


Fig. 88.

vedremo che, durante il tempo nel quale il magnete si muove verso l'avvolgimento, lo strumento di misura g accusa passaggio di corrente in un certo senso; estraendo poi il magnete dall'avvolgimento lo strumento indicherà passaggio di corrente in senso contrario. Il circuito, od il magnete che produce il campo si chiama *inducente*; il circuito nel quale si genera la corrente si chiama *indotto*. Da questi esperimenti possiamo trarre due considerazioni

utilissime. La prima che già conosciamo, mostra che il campo magnetico prodotto da un magnete ha lo stesso effetto sul circuito C_2 o sull'avvolgimento A B del campo magnetico prodotto da una corrente elettrica in un circuito.

La seconda ci dice che, per generare corrente in un circuito indotto, si può sia variare il numero delle linee di forza che un altro circuito inducente concatena con esso, sia spostare uno dei due circuiti rispetto all'altro.

In altre parole, in un circuito indotto, si crea una f. e. m. quando esso si sposta in un campo magnetico comunque prodotto, in modo da variare il numero delle linee di forza che lo attraversano, cioè il flusso concatenato con esso.

La f.e.m. così generata chiamasi f.e.m. indotta.

Potremo quindi enunciare il seguente principio: *Si ha f.e.m. indotta in un circuito conduttore tutte le volte che varia il flusso magnetico concatenato col circuito stesso.*

È comunque sia causata questa variazione del flusso, cioè con spostamenti del circuito nel campo magnetico, o con variazioni nel campo, ed in qualunque modo sia creato il campo, cioè con sistemi di correnti o con magneti, la grandezza della f.e.m. indotta può essere determinata mediante l'applicazione della seguente legge:

La f.e.m. indotta in un circuito è uguale al rapporto fra la variazione del flusso concatenato col circuito stesso, ed il tempo nel quale detta variazione è avvenuta.

Legge che può anche essere così espressa:

La f.e.m. indotta è, in grandezza, uguale alla velocità con la quale varia il flusso concatenato.

Se il circuito è chiuso, la f.e.m. indotta vi produce una corrente che chiamasi essa pure corrente indotta e cessa al cessare della f.e.m. quando termina la variazione del flusso.

Questi fenomeni vengono detti fenomeni di induzione.

La corrente indotta suscita a sua volta un campo magnetico proprio; quando le linee di forza del campo creato dalla corrente indotta hanno la stessa direzione delle linee di forza del campo induttore, la corrente dicesi *positiva;* dicesi *negativa* quando le linee di forza del campo da essa creato hanno direzione opposta a quella delle linee di forza del campo induttore. L'esperienza dimostra che la corrente indotta è positiva quando il flusso induttore diminuisce, è negativa quando il flusso induttore aumenta, risultato che ora ci permette di enunciare la *legge di Lenz:*

Il senso della corrente indotta è sempre tale da opporsi alla causa che la produce.

Esistono due regole semplici mnemoniche le quali ci indicano il senso della corrente indotta, conoscendo la direzione del campo magnetico induttore e quella del moto del circuito rispetto al campo stesso. Una di esse, trovata dal fisico Fleming da cui prende il nome, dice:

Si dispongono le prime tre dita della mano destra ad angolo retto (fig. 89) *in modo che il pollice sia diretto nel senso del campo, cioè secondo le linee di forza, ed il medio nel senso dello spostamento. L'indice indicherà la direzione della f.e.m. e quindi il senso della corrente che si sviluppa nel conduttore* (fig. 89).

L'altra regola mnemonica, pure molto utile, si presta in particolar modo per riconoscere la direzione della f.e.m. nelle macchine dinamo elettriche. La figura 90 rappresenta schematicamente una veduta parziale d'una sezione

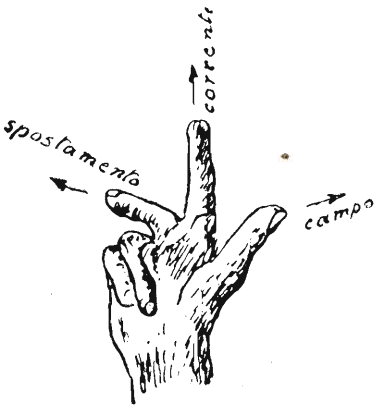


Fig. 89.

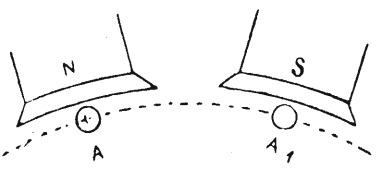


Fig. 90.

trasversale di una macchina elettrica; in essa con le lettere A ed A_1 è indicata in due posizioni successive la traccia d'un conduttore perpendicolare al piano delle figure.

Quando il conduttore ruota nel senso delle lancette dell'orologio, girando nell'interno di una corona di poli, la f.e.m. è in esso diretta in modo che entra nel piano della figura quando passa davanti al polo N ed esce dal piano stesso, quando passa davanti al polo S. L'artifizio della regola consiste nella coincidenza della prima consonante della prima sillaba della parola entra con N ed esce con S.

Abbiamo detto come sia una variazione del flusso attraverso un circuito, e quindi un aumento od una diminuzione del numero delle linee di forza intercettate dal circuito stesso, che in esso sviluppa una f.e.m. Nessuna f.e.m. si svilupperà dunque in un circuito che, pur muovendosi, non sia soggetto a

questa variazione. Immaginiamo un campo magnetico uniforme, nel quale le linee di forza saranno equidistanti e parallele; se un circuito di forma qualsiasi si muove nel campo mantenendosi parallelo a sè stesso, passando, per esempio, dalla posizione a alla posizione b oppure alla posizione c, il numero delle linee di forza che esso intercetta non varia e nessuna f.e.m. si svilupperà in esso. Ma se il circuito passasse dalla posizione a alla posizione d mediante una rotazione, il numero delle linee di forza da esso abbracciate andrebbe diminuendo e si svilupperebbe in esso una f.e.m. e quindi una corrente nel senso indicato dalla freccia (fig. 91).

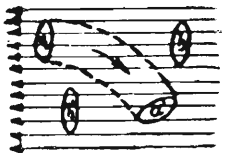


Fig. 91.

§ 39 — Autoinduzione e coefficiente di autoinduzione

Riprendendo in esame la figura 87 noi potremo notare che la variazione del campo magnetico prodotto dalla spira C_1 non solo influenza il circuito C_2 creando in esso una f.e.m. indotta, ma egualmente deve influenzare sè stesso e quindi possiamo dire che in un conduttore attraversato dalla corrente si manifestano delle f.e.m. e quindi delle correnti di induzione, dette di *autoinduzione* (1) ogni qualvolta si fa variare la intensità della corrente principale. Anche la f.e.m. di autoinduzione è diretta in modo da opporsi alla causa che la produce. Ed infatti quando la intensità della corrente *cresce* quella di autoinduzione ha senso contrario ad essa e quindi tende ad indebolirla; nel caso invece che la corrente principale decresca, quella di autoinduzione ne ha lo stesso senso e quindi tende a rinforzarla.

Il fenomeno delle correnti di autoinduzione può perciò paragonarsi ad un fenomeno di *inerzia* dell'elettricità, simile a quella delle masse materiali, studiata in meccanica. Il paragone riesce evidente se si ricorre all'analogia fra masse elettriche in moto lungo i conduttori e masse liquide in moto lungo i tubi. Se si cerca di accrescere il volume di liquido che passa nell'unità di tempo (intensità della corrente) si dovrà vincere l'inerzia del liquido che si manifesta come una forza antagonista (f.e.m. di autoinduzione); e viceversa se si cerca di diminuire il volume del liquido, l'inerzia anche questa volta si opporrà alla variazione come una forza diretta nel senso della corrente.

Un esempio, che chiarificherà meglio quanto si è detto lo possiamo

(*) Dette anche di selfinduzione.

prendere dal fenomeno della *extracorrente*, fenomeno che facilmente si può verificare quando si apre un circuito per mezzo di un interruttore.

Interrompendo un circuito, nel momento in cui la corrente principale tende a zero, si sviluppa una corrente di autoinduzione, detta *extracorrente di apertura*, diretta nello stesso senso, che sovrapponendosi alla corrente principale, provoca nel punto ove avviene l'apertura una visibile scintilla che può essere fortissima e pericolosa per l'interruttore e per il circuito se grande è l'autoinduzione del circuito stesso.

Il fenomeno della extracorrente di apertura può paragonarsi, nelle sue caratteristiche, al noto fenomeno del colpo di ariete in idraulica e cioè alla pericolosa sopraelevazione della pressione interna che si ha in una conduttura nella quale scorre l'acqua, allorchè se ne interrompe il moto bruscamente agendo su di un rubinetto.

Analogamente, chiudendo un circuito l'intensità della corrente dal valore zero deve raggiungere istantaneamente il valore di regime e questo rapido aumento, producendo un altrettanto rapido aumento nel valore del flusso prodotto dalla corrente stessa, dà luogo ad una notevole corrente di autoinduzione di direzione contraria a quella della corrente che si vuole lanciare nel circuito. Questa corrente detta *extracorrente di chiusura*, si sovrappone alla corrente principale, ne diminuisce l'intensità per un certo tempo ritardando lo stabilirsi della corrente di regime.

Il flusso prodotto da una corrente che percorre un determinato circuito può ritenersi proporzionale alla corrente stessa. Sarà cioè:

$$\Phi = L\,I$$

L è un coefficiente che dipende dalla autoinduzione presentata dal circuito e chiamasi *coefficiente di autoinduzione*.

Se nella formula precedente facciamo I = 1 ampère, cioè se supponiamo che la corrente nel circuito abbia per valore l'unità di intensità, avremo:

$$\Phi = L$$

Possiamo quindi dire che *il coefficiente di autoinduzione L è numericamente eguale al flusso che attraversa un circuito percorso dalla unità di corrente*. Esso dipende dalla forma del circuito e dal mezzo nel quale si sviluppa il flusso. L'unità di misura del coefficiente di autoinduzione si chiama *Henry*. Negli svariati manuali di elettricità che si trovano in commercio, lo studioso potrà trovare formule le quali danno il valore di L per diversi casi pratici.

§ 40 — **Mutua induzione e coefficiente di mutua induzione**

Due circuiti vicini percorsi da corrente variabile, evidentemente, dopo quanto abbiamo detto, si influenzano a vicenda. Infatti in ciascuno di essi, oltre alla f.e.m. applicata ed a quella di autoinduzione, si ha una f.e.m. che nasce dalla variazione di linee di forza prodotta dall'altro circuito. Questi due circuiti dànno cioè luogo a fenomeni di *mutua induzione*.

Si definisce come *coefficiente di mutua induzione fra due circuiti il flusso magnetico che proviene da un circuito ed attraversa l'altro quando ambedue i circuiti sono percorsi dall'unità di corrente.*

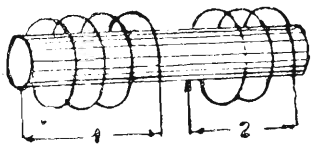


Fig. 92.

Consideriamo infatti i due circuiti chiusi 1 e 2 come nella figura 92. Quando si fa variare la corrente nel circuito 1 si formerà una corrente indotta nel circuito 2. Questa corrente produrrà un campo magnetico il quale attraversando le spire del circuito 1 vi susciterà una f.e.m. indotta. Per la legge di Lenz questa ultima f.e.m. indotta nel circuito 1 sarà diretta in senso contrario alla f.e.m. propria del circuito stesso se la corrente è in aumento, in senso opposto se in diminuzione. Analogamente avverrà se si farà variare la corrente nel circuito 2.

Conviene in molti casi, come ad esempio, nella telefonia con e senza filo, eliminare i fenomeni di autoinduzione. A questo si può in parte arrivare o formando il circuito con due fili eguali e paralleli od anche avvolgendo il filo conduttore in rocchetti in modo che gli strati successivi abbiano le spire in senso contrario. Con queste disposizioni la corrente avendo senso contrario nelle due metà del circuito, dà luogo a due campi cóntrari, eguali e vicini che si annullano. Non sempre è però possibile far ciò, perchè annullando i campi magnetici si vengono ad annullare gli effetti utili che si possono da essi ritrarre. Le resistenze prive di autoinduzione si chiamano *non induttive*.

§ 41 — **Correnti parassite o di Foucault**

Fino ad ora abbiamo considerato delle correnti indotte nei conduttori filiformi, i quali formano una guida naturale alla corrente. Invece di fili e solenoidi sottoponiamo dei pezzi metallici massicci, ad esempio: lamine, dischi, ecc., ad una variazione di campo magnetico. In tal caso le correnti

indotte si formano ugualmente, ma, non essendo il circuito determinato, esse circoleranno vorticosamente entro dei piani perpendicolari al flusso induttore. Queste correnti indotte poi, come quelle che abbiamo già studiate, si oppongono alla causa che le produce e quindi al movimento che le genera. Esse si chiamano correnti parassite o di Foucault, dal nome del fisico che per primo le studiò.

Foucault faceva rapidamente girare un disco di rame massiccio fra i poli di un potente elettromagnete (fig. 93); il disco girava con facilità fino a che l'elettromagnete non era eccitato. Non appena veniva eccitato, alla rotazione si opponevano le correnti indotte che creavano una resistenza considerevole, capace di riscaldare fortemente il disco qualora si fosse continuato a fornire il lavoro necessario per mantenerlo in rotazione. Queste correnti dunque rappresentano dell'energia che va perduta sotto forma di calore.

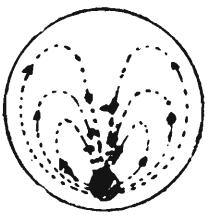


Fig. 93.

Si cerca sempre, nella pratica, di ridurre queste correnti nocive e ciò specialmente nella costruzione delle macchine elettriche le quali hanno ragguardevoli masse metalliche lanciate ad elevata velocità di rotazione. Questo si ottiene creando, opportunamente nelle masse degli ostacoli al propagarsi delle correnti indotte, mediante tagli praticati nelle masse stesse, oppure sostituendo i nuclei massicci con fasci di lamine isolati fra loro con carta e con vernici, e poi compressi insieme.

L'azione induttrice di un campo magnetico sopra un circuito viene affievolita dall'interposizione, fra induttore e indotto, di una lastra metallica.

Le variazioni del campo magnetico sviluppano allora nella lastra delle correnti indotte le quali, alla loro volta, sviluppano un campo contrario a quello che le ha generate. Una lastra metallica adibita a questo uso chiamasi *schermo elettromagnetico*.

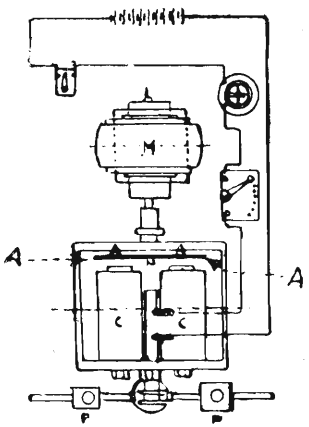


Fig. 94.

Il fenomeno delle correnti indotte è stato sfruttato nell'industria applicandolo alla costruzione di un freno elettromagnetico per la misura della potenza delle macchine (fig. 94). Le sue parti essenziali sono un elettromagnete a due rocchetti C C sospeso in equilibrio stabile sopra un coltello da bilancia, e di un disco massiccio di rame A A che si fissa all'albero della macchina in prova M e che viene a girare di fronte ai poli dell'elettromagnete.

Le correnti di Foucault dànno luogo ad una coppia che tende a trascinare l'elettromagnete nel senso della rotazione del disco. A questa coppia si fa equilibrio spostando due pesi P P scorrevoli lungo un giogo rigidamente connesso all'elettromagnete. Conoscendo il valore del peso spostato, la lunghezza dello spostamento ed il numero dei giri che l'albero compie al minuto primo, si può calcolare la potenza della macchina.

Un'altra importante applicazione delle correnti di Foucault si ha nello smorzamento, che esse possono compiere, delle oscillazioni degli aghi magnetici negli strumenti di misura.

CAPITOLO X.

Correnti alternate

§ 42 — Generalità sulle correnti alternate

Abbiamo definita (vedi § 3) la corrente alternata, quella corrente la cui direzione s'inverte ad intervalli di tempo brevissimi ed uguali, e la cui intensità varia periodicamente da un massimo di una direzione ad un massimo nella direzione opposta per poi tornare al valore precedente e così via e ne abbiamo dato una abbastanza chiara dimostrazione intuitiva con il fenomeno idraulico rappresentato in figura 7. Il valore massimo che la corrente assume in un senso è eguale al valore massimo della corrente nell'altro senso. Dando inoltre alla corrente le solite denominazioni diremo che essa assume periodicamente, e ad intervalli di tempo regolari, tutti i suoi valori positivi e negativi.

Per poter chiaramente rappresentare una corrente alternata (1), consideriamo il caso nel quale le alternative si succedano tanto lentamente che un amperometro possa indicarcele. Nella tavola che segue sono riportati i va-

TABELLA XXI.

Tempo (secondi)	Corrente (ampère)	Tempo (secondi)	Corrente (ampère)	Tempo (secondi)	Corrente (ampère)
0	0	13	2.50	25	2,59
1	2.59	14	5	26	5
2	5	15	7.07	27	7.07
3	7.07	16	8.66	28	8.66
4	8.66	17	9.66	29	9.66
5	9 66	18	10	30	10
6	10	19	0 66	31	9.66
7	9.66	20	8.66	32	8.66
8	8 66	21	7.07	33	7.07
9	7.07	22	5	34	5
10	5	23	2.9	35	2,59
11	2 59	24	0	36	0
12	0				

(1) Per semplicità ci limitiamo a considerare la corrente ad onda sinussoidale.

lori della corrente ad intervalli di tempo eguali. La corrente considerata ha un valore massimo di 10 ampères.

L'indice dell'amperometro nel nostro caso dovrebbe spostarsi lentamente fino alla massima indicazione di 10 ampères, ritornare gradualmente a zero, invertire il senso del suo moto ed indicare una intensità di 10 A nel senso opposto; poi ripassare per zero, spostarsi nuovamente nel senso primitivo e così di seguito. Naturalmente la corrente assume successivamente tutti i valori compresi fra zero ed il massimo (10 A), ed in ogni istante ha la stessa intensità in ciascun punto del circuito.

Tracciamo adesso (fig. 95) su di un foglio di carta due righe ad angolo retto una con l'altra e queste siano le OA ed B'OB. Sulla linea orizzontale OA riportiamo i diversi tempi nei quali sono stati presi i diversi valori della corrente e sulla linea verticale B'OB riportiamo i valori stessi della corrente, sia i positivi che i negativi. Per ogni coppia di valori tempo-corrente segniamo un punto (1-2-3-4-5-6.... della figura), congiungiamo questi punti con una linea. Si ottiene una linea continua sinuosa.

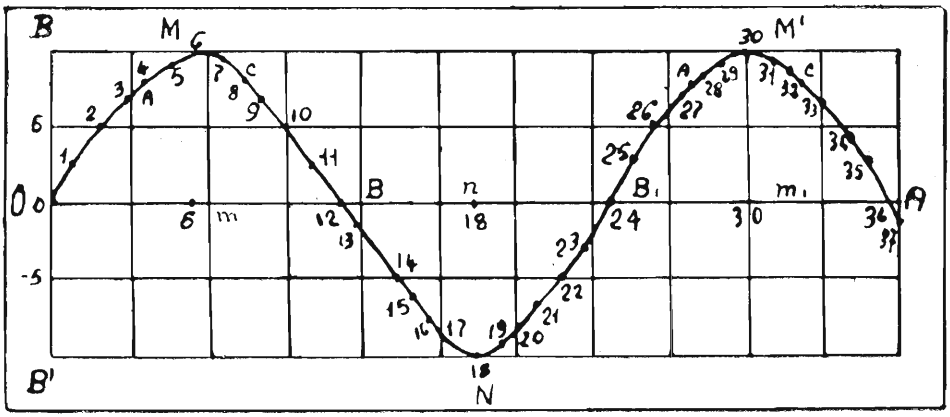


Fig. 95.

In un circuito in cui l'intensità di corrente è alternativa sono grandezze alternative anche la f.e.m. e la differenza di potenziale, che vengono quindi rappresentate con curve analoghe.

Una corrente ed una f.e.m. simili a quelle ora considerate si producono in una spira la quale ruoti in un campo magnetico: e vediamone il perchè.

Sappiamo che una variazione di flusso magnetico attraverso un circuito

sviluppa in esso una f.e.m. indotta e quindi una corrente. Un campo magnetico intenso si può realizzare mantenendo affacciati i due poli di un elettromagnete. Se collochiamo in questo campo (induttore) un circuito chiuso (indotto) e lo manteniamo *immobile*, per variare continuamente il flusso non avremo che da variare la corrente eccitatrice dell'elettromagnete ed effettivamente in questo modo potremo ottenere nel conduttore indotto delle correnti. Ma la variazione del flusso induttore si può ottenere in modo assai migliore provocando un moto relativo fra induttore e indotto, moto che faccia variare la quantità di flusso abbracciato da quest'ultimo. Vedremo come, in detto caso, la f.e.m. e la corrente indotta siano alternative. La disposizione più semplice che possiamo immaginare per raggiungere questo scopo è quella della figura 96. Le linee parallele ed equidistanti NS rappresentano

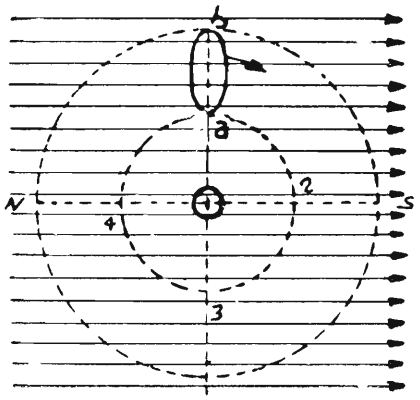


Fig. 96.

un campo magnetico uniforme creato dalle facce di un potente elettromagnete; *a b* è una spira di conduttore, di superficie S, la quale è posta in posizione perpendicolare al piano del foglio e può ruotare nel senso delle lancette dell'orologio.

Supponiamo che la spira parta dalla posizione 1 e che si muova intorno all'asse O con moto di rotazione uniforme. Nella posizione 1 essa si trova perpendicolare alla direzione del campo magnetico ed intercetta perciò il massimo numero di linee di forza; questo numero diminuisce mentre la spira passa dalla posizione 1 alla posizione 2 ed in questa posizione il numero delle linee di forza attraverso la spira è zero. Continuando la rotazione il numero delle linee di forza attraverso la spira aumenta dalla posizione 2 alla

posizione 3, nella quale è di nuovo massimo, diminuisce dalla posizione 3 alla posizione 4, nella quale diventa zero, ed infine aumenta dalla posizione 4 alla posizione 1, nella quale ritorna massimo.

Vediamo ora, durante questa variazione di flusso, il senso della f.e.m. indotta (legge di Lenz): nel passaggio dalla posizione 1 alla posizione 2 la spira si muove nella direzione del campo, il flusso abbracciato diminuisce e si sviluppa una f.e.m. crescente e_1; dalla posizione 2 alla posizione 3 la spira si muove in direzione opposta a quella del campo, il flusso aumenta e si sviluppa una f.e.m. e_2 decrescente, ma nel medesimo senso di quella e_1; dalla posizione 3 alla posizione 4 la spira si muove in direzione contraria a quella del campo, il flusso diminuisce e sviluppa una f.e.m. e_3 crescente, di senso opposto a quella e_1 ed e_2; infine dalla posizione 4 alla posizione 1 la spira si muove nella direzione del campo, il flusso cresce di nuovo e si sviluppa una f.e.m. e_4 decrescente, però sempre nello stesso senso di e_3. Ad ogni cambiamento di senso della f.e.m. avremo un cambiamento di senso della corrente che percorre la spira, vale a dire che, in questa, la corrente durante mezzo giro avrà un senso ed avrà senso opposto durante il mezzo giro successivo.

I pregi delle correnti alternate sono molti, come vedremo in seguito; esse, pur non essendo adatte per l'elettrolisi e per la carica degli accumulatori, presentano tali vantaggi da farle in genere preferire nei grandi impianti alle correnti continue.

Il massimo valore che una grandezza alternata assume dicesi ampiezza della grandezza stessa.

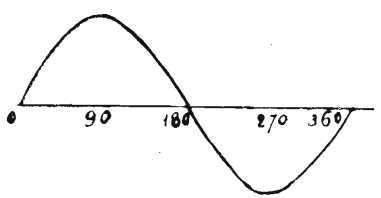


Fig. 97.

Ad ogni posizione angolare della spira rispetto al campo magnetico corrisponde un valore ben definito della corrente e della f.e.m. e perciò noi potremo sulla linea orizzontale O A della figura 95 portare, invece del tempo, gli angoli di cui la spira si sposta nella rotazione rispetto al campo magnetico (fig. 97).

Infatti quando nella spira la corrente, ad esempio, avrà il valore massimo, essa avrà compiuto una rotazione di 90°; quando la corrente ritornerà al suo primitivo valore zero, la spira avrà ruotato di 180° e così via.

Chiamasi periodo l'intervallo di tempo in cui la grandezza assume tutti i valori positivi e negativi. In figura 95 il periodo è rappresentato dal tratto

O B oppure nel tratto mm che è a quello uguale. In un periodo si hanno due inversioni di segno della grandezza alternativa.

Nelle correnti industriali la durata del periodo è una piccola frazione di secondo (da 1/30 ad 1/100); e per questo invece della durata del periodo, si considera il numero dei periodi completi che la grandezza alternativa presenta in un secondo.

Tale numero è chiamato *frequenza*.

Evidentemente la frequenza è il valore inverso del periodo; si ha cioè:

$$f = \frac{1}{T}$$

dove *f* è la frequenza e T è il periodo.

Esempio: A Roma la frequenza della corrente alternata è di 45 periodi: il periodo è quindi 1 : 45 = 0,02 secondi circa.

§ 43 — Fase di una grandezza alternata - Valori istantanei Valori medi - Valori efficaci

Due correnti aventi lo stesso periodo si dicono *in fase* quando passano contemporaneamente per il valore zero e per i valori massimi e minimi. In caso contrario si dicono *spostate di fase*; se lo spostamento è di un quarto di periodo si dicono *in quadratura* (fig. 98) e se invece lo spostamento è di mezzo periodo si chiamano in *opposizione* (fig. 99); in quest'ultimo caso le due correnti si annullano.

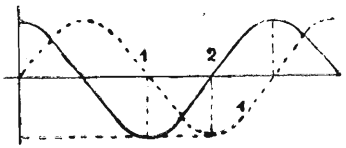


Fig. 98.

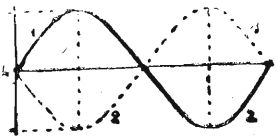


Fig. 99.

Poichè le grandezze elettriche alternate variano da un istante all'altro dovremo sempre riferirci al valore che esse hanno nel momento in cui si considerano; esso prende il nome di *valore istantaneo*.

Data questa continua variazione di valore, non è possibile parlare di

amperaggio e di voltaggio, come si è fatto per la corrente continua, senza ricorrere ad una convenzione. Si potrebbe prendere come valore della corrente e della f.e.m. alternativa il valore della *corrente e della f.e.m. media* che sarebbe rappresentato dalla media dei valori istantanei durante mezzo periodo e che si dimostra essere eguale alla intensità massima ed alla f.e.m. massima, ciascuna moltiplicata per il numero costante 0,637; e precisamente:

$$I_{media} = I_{mass.} \times 0{,}637 \qquad V_{media} = V_{mass.} \times 0{,}637$$

Potremo in tal modo riuscire a misurare le grandezze alternative facendo astrazione dalle loro periodiche variazioni. Ma purtroppo non esistono apparecchi adatti per fornire una simile misura.

Possiamo allora sfruttare, per questa misura, il noto fenomeno del riscaldamento provocato in un conduttore dal passaggio della corrente elettrica.

E' evidente che il conduttore si riscalderà sia che venga attraversato da corrente continua come se verrà attraversato da corrente alternata. Cominciamo allora dalla misura della intensità di corrente. Supponiamo che una corrente alternata, percorrendo un circuito, svolga in un dato tempo, ad esempio in 30 secondi, un dato numero di calorie. Abbiamo visto (§ 11) che il numero di calorie prodotto nell'unità di tempo da una corrente che percorre un circuito è espresso dalla formula:

$$C = R\, I^2\, 0{,}00024$$

dalla quale chiaramente risulta che la quantità di calore svolto è indipendente dalla direzione della corrente nel conduttore.

Sostituiamo alla corrente alternata una corrente continua regolandone l'amperaggio in modo che nello stesso tempo, cioè in 30 secondi, svolga il medesimo numero di calorie. Supponiamo che questa corrente che noi possiamo misurare, abbia l'intensità di 10 A; ossia che 10 A di corrente continua producano lo stesso effetto termico della corrente alternata che consideriamo. Questa intensità di corrente di 10 A non è eguale all'amperaggio massimo della corrente alternata, perchè altrimenti produrrebbe un numero maggiore di calorie. Non corrisponde neppure all'amperaggio medio sopra definito, ma è maggiore; è dunque compresa tra il valore massimo ed il valore medio e precisamente si dimostra che è eguale al valore massimo diviso per la radice di 2.

Dunque avremo che per gli effetti termici a una corrente continua di un certo amperaggio corrisponde una corrente alternata di un altro ampe-

raggio. Il primo può servire di misura al secondo e così infatti avviene nella pratica. Si chiama *intensità efficace* di una corrente alternata la intensità di una corrente continua la quale sviluppi nel medesimo tempo ed in un circuito di eguale resistenza, la stessa quantità di calore della corrente alternata. Definito così l'amperaggio efficace, ne viene come conseguenza la analoga definizione della *tensione o voltaggio efficace*. Abbiamo quindi le seguenti formule delle quali tralasciamo la dimostrazione:

$$I_{eff.} = \frac{I_{mass.}}{\sqrt{9}} \qquad V_{eff.} = \frac{V_{mass.}}{\sqrt{2}}$$

E' necessario ricordare sempre che gli strumenti di misura delle grandezze alternate indicano i valori efficaci delle grandezze stesse.

§ 44 — **Azione della capacità e della induttanza sulla corrente alternata - Impendenza**

Le correnti alternate dànno luogo ad una continua variazione del flusso proprio della corrente e quindi, com'è già stato detto nel capitolo precedente a fenomeni di autoinduzione. Se questi fenomeni non si verificassero, la intensità di una corrente alternata sarebbe eguale, in ogni istante, alla f.e.m. divisa per la resistenza del circuito (legge di Ohm) e così pure la potenza della corrente sarebbe in ogni istante misurata dal prodotto della intensità della corrente per la f.e.m.

Facendo percorrere un conduttore da una corrente alternata, si produce all'intorno un flusso magnetico il quale varia in modo analogo alla corrente che lo genera. Le variazioni di tale flusso dànno origine ad una f.e.m. alternata di autoinduzione nel circuito stesso.

Questa f.e.m. reagisce sul circuito in senso tale da opporsi al passaggio della corrente stessa. Ne consegue da ciò che l'autoinduzione produce un ritardo di fase della intensità della corrente rispetto alla f.e.m.

Graficamente il fenomeno si rappresenta con due curve le quali ci indicano il modo di variare delle due grandezze elettriche rispetto al tempo, curve sfasate fra di loro di un quarto di periodo (in quadratura). *La curva che rappresenta la f.e.m. è in anticipo di fase rispetto a quella che rappresenta la corrente* (fig. 100).

E' noto che un circuito può essere più o meno induttivo, può cioè presentare molta e scarsa autoinduzione. Un conduttore rettilineo, per esempio,

dà luogo ad una autoinduzione praticamente trascurabile; se invece lo si avvolge a spirale l'autoinduzione che esso presenterà sarà notevole; si potrà poi ancora aumentarla eseguendo l'avvolgimento intorno ad un nucleo di ferro, poichè sappiamo bene che esso concentra un grande numero di linee di forza del campo magnetico.

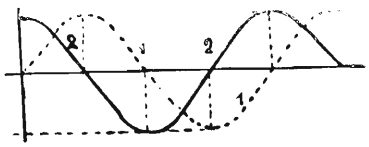


Fig. 100.

In un circuito non induttivo le due curve rappresentanti f.e.m. ed intensità della corrente coincidono, cioè sono in fase; al circuito si può in tal caso applicare la legge di Ohm. Quindi se R è la resistenza ohmica del circuito ed E la f.e.m., l'intensità della corrente sarà espressa nella formula:

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

Se invece il circuito è induttivo, e quindi si ha spostamento di fase tra la f.e.m. e l'intensità della corrente la legge di Ohm non è più valida. Per renderla tale occorre sostituire alla resistenza ohmica R un'altra quantità Z maggiore di questa, che è chiamata *impedenza* o *resistenza apparente*. Dunque nel caso di un circuito induttivo la legge di Ohm applicata alla corrente alternata si esprime con la formula:

$$I = \frac{E}{Z}$$

Senza entrare in calcoli matematici, diremo che il quadrato dell'impedenza Z è dato dal quadrato della resistenza sommato al quadrato di un'altra resistenza speciale chiamata *reattanza*. In altre parole, l'autoinduzione crea dunque nel circuito una resistenza induttiva o reattanza la quale componendosi con la resistenza ohmica dà luogo all'impedenza.

Indicando con r la reattanza, da quanto si è ora detto, avremo:

$$Z^2 = R^2 + r^2 \qquad \text{ossia } Z = \sqrt{R^2 + r^2}$$

La geometria elementare ci insegna che l'ipotenuta di un triangolo rettangolo è uguale alla radice quadrata della somma dei cateti ed allora si possono rappresentare graficamente le tre quantità anzidette con un triangolo rettangolo (fig. 101) di cui l'ipotenusa corrisponde all'impedenza Z ed i cateti alla resistenza R ed alla reattanza r.

Applicazione. — Si abbia una bobina di autoinduzione la cui resistenza ohmica sia di 3 Ohm e la reattanza di 4 Ohm; si vuol sapere l'intensità della corrente che attraversa la bobina se alle sue estremità esiste una d. d. p. di 100 volts.

Dalla relazione

$$Z = \sqrt{R^2 + r^2} \quad \text{si ha, sostituendo:}$$

$$Z = \sqrt{3^2 + 4^2} \sqrt{25} = 5 \text{ Ohm.}$$

Quindi applicando la legge di Ohm per le correnti alternate:

$$I = \frac{E}{Z} \qquad \text{da cui} \qquad I = \frac{100}{5} = 20 \text{ ampères}$$

Ricordiamo che un *condensatore* è formato da un sistema di due conduttori separati da un dielettrico; uno dei due conduttori può essere alla terra. Oltre ai condensatori propriamente detti, si comportano notevolmente come condensatori i cavi sotterranei e sottomarini (fig. 102), le lunghe linee di trasmissione dell'energia elettrica, ecc. Ricorderemo anche che la intensità della corrente di carica è proporzionale alla f.e.m. ed alla *capacità*.

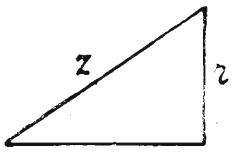


Fig. 101.

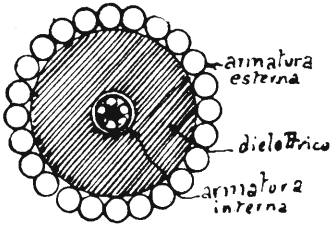


Fig. 102.

Diremo subito che un condensatore inserito in un circuito, mentre ostacola ed impedisce il passaggio della corrente continua, lascia passare la corrente alternata; e di questa proprietà si fa larghissima applicazione nella telefonia per separare in un circuito le due specie di correnti. Un paragone idraulico chiarificherà quanto sopra.

Si abbiano (fig. 103) due recipienti A e B comunicanti fra loro mediante un tubo di gomma nella cui metà sia inserita una membrana elastica C. In *a* e *b* sieno disposti due rubinetti. Quando i recipienti sono ad uguale livello, la membrana risulta piana perchè ha la medesima pressione sopra ambedue le facce. Si chiudano ora i due rubinetti *a* e *b* e, dopo aver sopraelevato un

recipiente rispetto all'altro, si riaprano. Avverrà allora che la membrana si infletterà come in figura, mentre nascerà nel tubo una corrente liquida dal recipiente a livello più alto verso quello a livello più basso, e la sua velocità diminuirà man mano che la membrana si inflette. Tale corrente cessa appena la reazione della membrana eguaglia la differenza di pressione che viene esercitata sulle sue due superfici. Se si imprime ai due recipienti un movimento verticale alternativo, la membrana verrà ad essere sottoposta ad una pressione che agisce alternativamente ora contro una faccia ed ora contro l'altra e la cui intensità varia periodicamente in grandezza e senso. Anche il moto del liquido sarà evidentemente alternativo. Facendo astrazione dalla inerzia del liquido, esso seguirà immediatamente le variazioni di pressione. Man mano che cresce la differenza di livello dei due recipienti aumenta la deformazione della membrana ed il liquido si sposta in un certo senso; il movimento si annulla allorchè il dislivello raggiunge il massimo valore. Quando questo torna a diminuire il liquido è spinto in senso contrario dalla tensione della membrana, la quale riacquista la forma piana appena i recipienti raggiungono lo stesso livello; allora la velocità del liquido risulta massima. Continuando il movimento il fenomeno si ripete, ma in senso inverso. Dunque, riassumendo, quando il recipiente A discende dalla massima altezza fino al punto più basso, la corrente è diretta da B verso A; essa è diretta in senso opposto quando A risale verso la posizione più alta. La velocità massima della corrente si verifica quando i due recipienti sono allo stesso livello e l'inversione di senso si ha negli istanti di massimo dislivello.

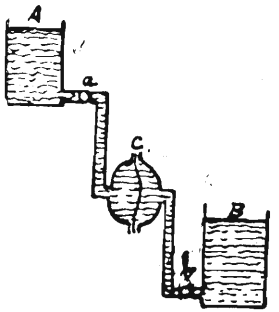


Fig. 103.

Il fenomeno si può rappresentare graficamente nel modo già descritto precedentemente (fig. 104).

Quando la pressione è massima e sta per diminuire, la corrente è zero e sta per invertirsi; quando invece la pressione è nulla la corrente è massima. Se quindi la curva *a* rappresenta la variazione della pressione, la curva *b* che la precede di un quarto di periodo, rappresenta le variazioni della velocità del liquido.

Ciò premesso consideriamo il caso, frequentissimo nella pratica elettrotecnica, di un condensatore inserito tra due conduttori aventi una differenza di potenziale alternativa. Il condensatore (fig. 105) agisce in modo analogo alla membrana. Dunque se, come al solito, la corrente idraulica ci rappresenta la corrente elettrica ed il dislivello la f.e.m. si vede come la corrente

di carica di un condensatore è in anticipo di un quarto di periodo rispetto alla differenza di potenziale alternativa applicata alle sue armature; cioè *un condensatore inserito in serie in un circuito a corrente alternata determina un anticipo di fase della corrente rispetto alla f.e.m.*

Il condensatore dà luogo quindi all'effetto opposto dell'autoinduzione.

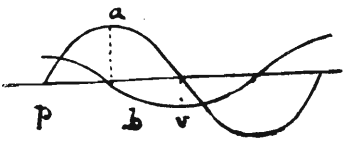


Fig. 104.

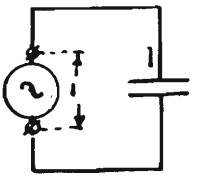


Fig. 105.

Come nel caso dell'autoinduzione abbiamo considerato la resistenza induttiva o reattanza, nel caso del condensatore occorre considerare la resistenza di capacità e *capacitanza.*

L'impedenza, la resistenza ohmica e la capacitanza sono legate da una relazione analoga a quella esistente fra l'impedenza, la resistenza ohmica e la reattanza: cioè, indicando con *c* la capacitanza, avremo:

$$Z^2 = \sqrt{R^2 + c^2}$$

Anche questa formula si può esprimere graficamente con un triangolo rettangolo di cui *c* sarà uno dei cateti R l'altro cateto e Z l'ipotenusa.

§ 45 — Potenza della corrente alternata - Fattore di potenza

Abbiamo veduto, parlando degli effetti dell'autoinduzione in un circuito, che nel caso di autoinduzione trascurabile la curva rappresentante la f.e.m. coincide con quella della intensità della corrente. La potenza espressa in watts sarà data allora dalla ben nota formula:

$$W = E\ I$$

Se invece il circuito presenta autoinduzione e quindi l'intensità è sfasata in ritardo rispetto alla f.e.m. occorre tener conto di tale sfasamento. Invero la potenza della corrente diminuisce tanto più quanto maggiore è lo sfasamento. Essa corrisponde cioè al valore primitivo E I moltiplicato per un numero, chiamato *fattore di potenza,* il quale varia entro i limiti da zero, come

minimo, ad uno, come massimo. La spiegazione di questo fattore di potenza esorbita dalla trattazione elementare del presente manuale; a noi basti solo di sapere che esso dipende esclusivamente dallo sfasamento che le caratteristiche di un circuito producono fra la f.e.m. e la corrente. Maggiore è lo sfasamento, minore è il fattore di potenza. Il fattore di potenza si usa rappresentare con la denominazione di « cos φ ».

La potenza di una corrente alternata che percorre un circuito induttivo risulta perciò espressa dalla formula:

$$W = E\ I \cos \varphi$$

dove cos φ, è una funzione trigonometrica che, come abbiamo detto, può assumere un valore compreso fra zero e l'unità. Si noti inoltre che E ed I sono in ogni caso valori efficaci.

Per chiarire le idee facciamo un semplice esempio: Supponiamo di avere un circuito nel quale il fattore di potenza sia eguale a 0,8 e che uno strumento di misura ci indichi il passaggio di 100 ampères. La tensione sia inoltre di 100 volts.

La potenza della corrente alternata espressa in watts sarà:

$$P = 100 \times 100 \times 0{,}8 = 8000\ w$$

Una uguale corrente che percorresse un circuito nel quale il fattore di potenza fosse uguale ad uno avrebbe invece una potenza:

$$P = 100 \times 100 = 10000\ w$$

L'autoinduzione dà dunque luogo ad una diminuzione della potenza tanto maggiore quanto più grande è il suo valore. Negli impianti industriali è assolutamente necessario correggere l'effetto nocivo dell'abbassamento del fattore di potenza ed a questo si giunge con diversi mezzi, dei quali uno consiste nell'applicazione di condensatori sul circuito. Infatti allorchè si inserisce in un circuito a corrente alternata induttivo un condensatore, i due effetti producono spostamenti di fase in senso opposto; lo spostamento effettivo della corrente rispetto alla f.e.m. sarà allora dato dalla risultante dei due sfasamenti. La corrente sarà dunque in ritardo od in anticipo a seconda che prevale l'effetto dell'autoinduzione ovvero quello della capacità. Se i due effetti sono eguali, lo sfasamento è nullo ed il circuito si comporta come se fosse costituito da semplice resistenza ohmica. In tal caso si dice che il circuito è in *risonanza*. Altro mezzo per migliorare il fattore di potenza è quello di

inserire speciali motori elettrici (sincroni) i quali hanno appunto la proprietà di poter variare il suddetto fattore. Ma di ciò parleremo a suo tempo.

Poichè il fattore di potenza dipende dalla natura del circuito percorso dalla corrente, dovremo distinguere in ogni alternatore una potenza apparente, indicata in volt-ampère e di una *potenza effettiva* espressa in watts. La potenza apparente è eguale a quella effettiva solo quando il fattore di potenza è eguale all'unità.

I circuiti dell'illuminazione con lampade ad incandescenza sono quasi privi di autoinduzione, quindi il fattore di potenza corrisponde approssimativamente all'unità. I circuiti invece nei quali sono inseriti motori e lampade ad arco, riducono il fattore di potenza da un valore di 0,9 a quello di 0,5. In pratica ogni circuito presenta resistenza ohmica, autoinduzione e capacità.

Abbiamo precedentemente visto come l'effetto della autoinduzione, è contrario all'effetto della capacità, cioè che la prima causa uno sfasamento della corrente in ritardo sulla f.e.m., mentre la capacità causa invece uno sfasamento della corrente in anticipo sulla f.e.m.

Nella pratica industriale si ha in ogni circuito un eccesso della autoinduzione sulla capacità, ed è questa la ragione per cui si ha sempre uno sfasamento della corrente in ritardo sulla f.e.m.

§ 46 — Perdita di carico e variazione della resistenza dei conduttori per effetto della corrente alternata

Abbiamo visto nel paragrafo precedente che l'autoinduzione dà luogo ad una perdita di carico tanto più sensibile quanto maggiore è il valore dell'autoinduzione stessa. Il modo più semplice per tener conto dell'effetto della f.e.m. di autoinduzione consiste, nei casi più comuni della pratica, nel moltiplicare per un fattore K_i (maggiore dell'unità) e chiamato *fattore di impedenza*, la perdita di carico che si avrebbe se la corrente fosse continua. In tal caso essendo:

$$E = I_{eff}\ R$$

la perdita di carico che si avrebbe in un conduttore di resistenza ohmica R, percorso da corrente continua di intensità I_{eff} ; per la corrente alternata la perdita di carico sarà:

$$E_i = K_i\ E = K_i\ I_{eff.}\ R$$

I valori di K_i sono dati da apposite tabelle per diversi diametri del conduttore e per diverse frequenze.

La scelta e la disposizione dei conduttori richiede il massimo studio quando si tratta di correnti a bassa tensione e grande intensità. Infatti, dipendendo l'autoinduzione dal flusso e quindi dall'intensità della corrente, i suoi effetti sono rilevanti ed il conseguente ritardo di fase della corrente sulla f. e. m. può causare perdite inattese e disastrose.

Il fisico Kelvin ha dimostrato che la corrente alternata a frequenza notevole non si distribuisce uniformemente in tutta la sezione del conduttore: essa si mantiene alla periferia, formandovi come uno strato di corrente di spessore tanto minore quanto più grande è la frequenza. Si può, con una certa analogia, pensare a quel che accadrebbe se alternativamente si portasse o si sottraesse calore alla superficie di una sbarra metallica; le modificazioni termiche non penetrerebbero all'interno della sbarra. A causa di questa non uniforme penetrazione della corrente nel conduttore, la parte interna di questo rimane inutilizzata e quindi la resistenza R_a che il conduttore oppone alla corrente alternata è maggiore della Resistenza R_c che lo stesso conduttore opporrebbe ad una corrente continua; questo aumento di resistenza determina un aumento della qualità di calore che si sviluppa nel conduttore per effetto Joule e che rappresenta energia perduta.

Conoscendo il valore R_c della resistenza ohmica offerta da un conduttore al passaggio della corrente continua si può ottenere il valore R_a della resistenza corrispondente al passaggio di una eguale corrente alternata, moltiplicando R_c per un fattore K riportato nella pratica da apposite tabelle in funzione del diametro del conduttore e della frequenza (vedi appendice tabella 23). Quindi avremo:

$$R_a = K R_c$$

E' bene però aggiungere che per le correnti alternate industriali aventi frequenze inferiori a 100 periodi, e per conduttori di rame di diametro non maggiore di un centimetro, l'aumento di resistenza supera difficilmente l'1 % e si può ritenere trascurabile. Il fenomeno sopra descritto prende il nome di *skin-effect* (effetto della pelle).

Diremo ancora che gli elettromagneti hanno un fattore di potenza variabile con l'aumentare del nucleo di ferro nell'interno dei rocchetti. Se perciò si inseriscono nel circuito di una corrente alternata, essi possono regolarla esattamente come fatto i reostati per la corrente continua.

§ 47 — Correnti alternate derivate

Un circuito percorso da corrente alternata può, fra due punti, diramarsi in vari circuiti; la corrente si dividerà allora in essi. Ogni derivazione sarà soggetta alla medesima d. d. p., cioè alla d. d. p. esistente fra i due punti di diramazione. Le correnti di ciascun ramo ed il loro spostamento di fase rispetto alla d. d. p. dipenderanno dalla natura dei singoli rami. Se le correnti derivate risultassero rappresentate da curve simili in concordanza di fase, l'intensità efficace totale sarebbe eguale alla somma aritmetica dei valori efficaci delle correnti derivate; se invece le correnti risultassero rappresentate da curve spostate di fase, l'intensità efficace sarebbe minore di detta somma. Il calcolo delle correnti in questi casi, subordinato al calcolo della capacità e delle autoinduzioni della rete di distribuzione, è assai complesso e non tentiamo neppure di accennarvi, anche perchè quanto abbiamo esposto è sufficiente al calcolo di applicazioni modeste.

§ 48 — Correnti alternate polifasi
Aggruppamenti a stella ed a triangolo

L'energia elettrica fornita da una corrente alternata fu impiegata in principio solo a scopo di illuminazione; in seguito poi si potè risolvere l'importante problema della trasmissione dell'energia a grandi distanze mercè l'impiego di correnti alternate spostate fra loro di fase.

Per ben comprendere come queste correnti alternate si possono combinare fra loro e dar luogo ad una corrente unica risultante, partiamo da una corrente monofasica alimentante un determinato circuito R (fig. 106). La corrente del filo A di linea è sempre eguale e contraria a quella del filo B e le due correnti sono sempre in opposizione di fase, cioè si possono considerare come due correnti alternate spostate fra di loro di $\frac{1}{2}$ periodo (fig. 99).

Consideriamo adesso (fig. 107) due generatori di corrente alternata G′ e G″ disposti in modo che le due f.e.m. sieno *in fase e della medesima ampiezza* (v. § 42).

Se i due ricevitori R′ ed R″ sono identici anche le due correnti di linea sono eguali ed in fase. Però se noi portiamo la nostra attenzione sulle due correnti che circolano nei fili centrali, vediamo che esse sono costantemente

in opposizione di fase. Ad economizzare il filo di linea, sorge spontanea l'idea di riunire insieme i due fili centrali come se si trattasse di un sistema a tre fili (fig. 108). Ma il terzo filo, quello centrale, riesce ora superfluo perchè in esso la somma delle correnti è costantemente eguale a zero, e sopprimendolo si arriva al caso di trasmissione a corrente unica, dal quale ave-

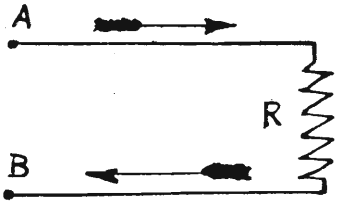


Fig. 106.

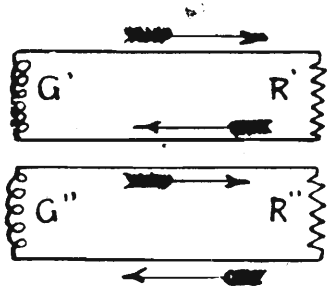


Fig. 107

vamo iniziato le nostre mosse. Se invece le correnti sono spostate di ¼ di periodo, la riunione dei fili centrali può ancora effettuarsi, ma la corrente nel terzo filo ha un valore efficace ben definito ed *eguale alla corrente risultante delle due fasi* (1), spostate di ¼ di periodo. Le tre correnti (componenti e risultante) si possono rappresentare come tre forze delle quali due (fig. 109) *a* e *b* e disposte in modo da formare fra loro un angolo di 90°

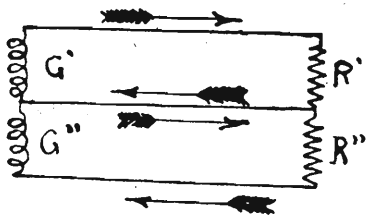


Fig. 108.

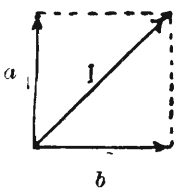


Fig. 109.

(correnti componenti) e la terza I risultante delle altre due. Questa risultante si trova facilmente, avendo dalla meccanica conosciuto il modo di comporre le forze. Evidentemente, per il teorema di Pitagora si ha:

$I^2 = a^2 + b^2$ cioè $I = \sqrt{a^2 + b^2}$ e se *a* e *b* hanno il valore massimo unitario avremo:

$$I = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2} = 1{,}41$$

(1) Nei sistemi polifasi in genere si sostituisce al vocabolo *corrente* il vocabolo *fase*.

il che ci dice come il valore massimo della corrente nel filo centrale è 1,41 volte più grande del massimo di ognuna delle altre due correnti; quindi la distribuzione della corrente nel sistema bifase sarà come nella figura 110, dove S_1 ed S_2 sono i due generatori, le correnti nei fili estremi sono le cor-

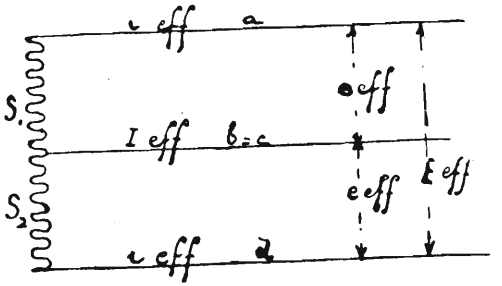


Fig. 110.

renti componenti e la corrente $I_{eff.}$ nel filo centrale è la corrente risultante ed eguale ad 1,41 $I_{eff.}$

Analogamente il voltaggio fra i due conduttori di fase diversa e precisamente fra i due conduttori estremi, è eguale (fig. 110) al voltaggio $e_{eff.}$ sviluppato da una fase moltiplicato per $\sqrt{2}$. Riassumendo avremo:

$$I_{eff.} = 1{,}41\ i_{eff.} \qquad \text{ed} \qquad E_{eff.} = 1{,}41\ e_{eff.}$$

In pratica una corrente alternata bifase si può realizzare con una stessa macchina elettrica nel modo seguente: riprendiamo in esame la nostra spira, della quale ci siamo serviti al principio del presente capitolo. Uniamo a quella spira un'altra spira spostata rispetto alla prima di un quarto di periodo, ossia di 90°. Ciascuna spira fornirà corrente alternata e ciascuna di queste correnti sarà spostata rispetto all'altra di un quarto di periodo.

Le considerazioni sopra esposte si possono applicare ad un sistema di tre correnti alternate semplici. Potremo svilupparle disponendo oltre alla spira primitiva altre due spire. Ogni spira sarà spostata, rispetto alle altre, di 120°. In tal modo ciascuna delle tre correnti che verranno generate sarà in ritardo di 1/3 di periodo rispetto alla corrente precedente. Un tal sistema prende il nome di sistema *trifase*. La corrente trifase dovrebbe essere trasmessa con sei conduttori come si vede nella figura 111, nella quale S_1 S_2 ed S_3 sono le tre spirali generatrici applicate in pratica nella macchina. Si usano invece tre soli conduttori, collegando le spirali in due modi diversi e cioè *a stella* (fig. 112) ed *a triangolo* (fig. 113).

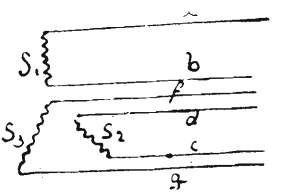


Fig. 111.

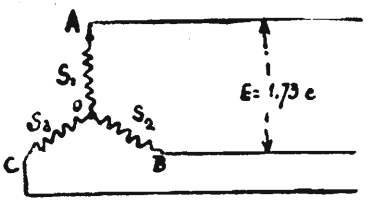


Fig. 112.

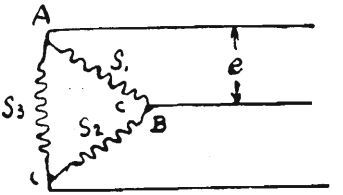


Fig. 113.

Il primo collegamento consiste nel riunire fra loro gli estremi delle tre spirali formando il punto neutro O. I tre conduttori partono dalle estremità libere delle spirali. Per trovare il valore delle tensioni e delle intensità della corrente si ricorre al solito metodo grafico, dal quale (fig. 114) rappresentando in un certo istante, i tre potenziali con delle forze, potremo vedere che *la somma dei valori istantanei delle tre tensioni è nulla.* Infatti costruendo il parallelogrammo appare chiaro come la risultante fatta tra due qualunque di queste forze è eguale e contraria alla terza. Prendiamo adesso un istante qualunque del funzionamento della macchina generatrice, e, per esempio, quello nel quale la f.e.m. nel conduttore S_3 passa per lo zero, ossia è nulla. Per quanto abbiamo detto le f.e.m. nei due altri conduttori S_1 ed S_2 dovranno essere eguali e di senso opposto. Rappresentiamole con le due forze O A ed O B spostate fra di loro di 1/3 di periodo (120°). La meccanica ci insegna che per fare il parallelogramma di due forze eguali e contrarie è necessario invertire sulla carta la direzione di una di esse (fig. 115).

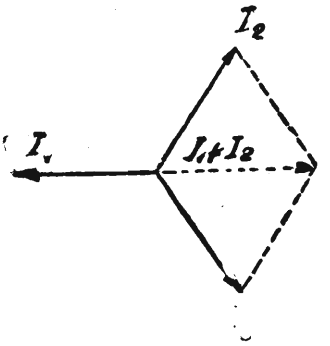


Fig. 114.

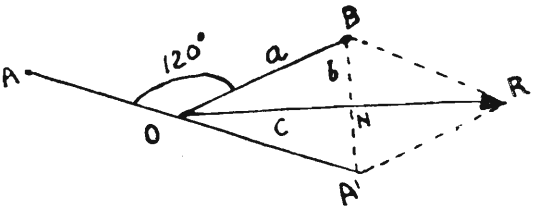


Fig. 115.

Il triangolo O A^1 B è equilatero e perciò avremo: B N = b = $\frac{a}{2}$ ed allora, considerando il triangolo O N B, il teorema di Pitagora ci dice:

$$c = \sqrt{a^2 - b^2} = \sqrt{a^2 - \frac{a_2}{4}} = \sqrt{\frac{4\,a^2 - a^2}{4}} = \sqrt{\frac{3\,a^2}{4}} = \frac{a}{2}\sqrt{3}$$

Ma poichè O R = 2 c, sostituendo a *c* il suo valore, sarà:

$$OR = \sqrt{3}\,a = 1{,}73\,a$$

e cioè, nel collegamento a stella, il potenziale E fra i due punti A e B è eguale al potenziale e fra il punto neutro ed una delle estremità libere moltiplicato per il numero 1,73, ossia:

$$E = 1{,}73\ e$$

L'intensità della corrente invece, in ciascun conduttore è la stessa di quella sviluppata da una spira.

Il secondo collegamento, e precisamente quello a triangolo, consiste nel riunire le tre spirali in modo da costituire un circuito chiuso (figura 113) e nel diramare tre conduttori dai punti di riunione. Si dimostra analogamente che con questo collegamento la d.d.p. fra due conduttori qualsiasi è eguale a quella di una spira, cioè *e*, mentre invece l'intensità I è data dal numero 1,73 moltiplicato per *i*, essendo *i* l'intensità di una fase.

Dunque riassumendo: nel raggruppamento a stella l'intensità della corrente che percorre un conduttore è la medesima di quella di ciascuna spira, mentre la tensione esistente alla estremità di ogni spira è minore di quella esistente fra i conduttori; invece nel collegamento a triangolo l'intensità della corrente nei conduttori è maggiore di quella di ciascuna spira e la tensione fra i conduttori è eguale a quella di ciascuna spira.

Abbiamo veduto che la potenza di una corrente alternata monofase è espressa dalla relazione (v. § 44):

$$W = E\,I\cos\varphi$$

La potenza della corrente bifase è data dalla somma delle potenze di ciascuna fase. Da quanto si è fino ad ora detto essa risulta espressa da:

$$W = E\,I\cos\varphi\ 1{,}41$$

La potenza della corrente trifase è espressa da:

$$W = E\,I\cos\varphi\ 1{,}73$$

Applicazione: 1) Si abbia un alternatore bifase avente la d.d.p. di 2500 V e l'intensità di 200 A e sia $\cos\varphi = 0{,}8$.

La potenzialità dell'alternatore sarà:

$$W = 2500 \times 200 \times 0{,}8 \times 1{,}41 = 565000\ w = 565\ KW$$

2) Si consideri un alternatore trifase di cui i valori della tensione, intensità e cos siano eguali a quelli dell'alternatore precedente. La potenza sarà espressa da:

$$W = 2500 \times 200 \times 0{,}8 \times 1{,}73 = 692000\ w = 692\ KW$$

§ 49 — Campo magnetico rotante

Abbiamo detto nel capitolo VIII che se si fa passare una corrente in un conduttore piegato in modo da costituire una spira circolare o rettangolare, si produce un campo normale al piano della spira. La direzione di questo campo magnetico si può determinare mediante la regola di Maxwell. Nel caso particolare della figura 116 se la corrente ha la direzione della freccia *f*, il campo magnetico avrà la direzione della freccia F. Invertendosi la corrente si inverte conseguentemente pure la direzione del campo magnetico. Se nella spira si fa circolare corrente alternata, il campo magnetico generato cambierà periodicamente di direzione, cioè oscillerà fra un massimo in una direzione e lo stesso massimo nella direzione opposta.

Si abbiano ora due spire disposte normalmente fra loro (fig. 117) e si facciano circolare in esse due correnti alternate indipendentemente, ma eguali

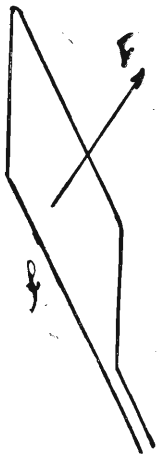


Fig. 116.

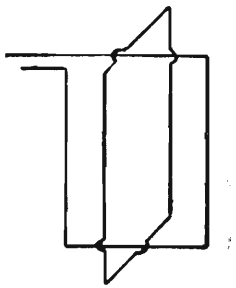


Fig. 117.

e spostate di fase fra loro di 90° cioè di un quarto di periodo. Ogni spira genererà un campo magnetico alternato e normale al piano della spira stessa. I due campi risultano eguali ma spostati di 90° e se noi li componiamo con il solito metodo del parallelogramma, la loro risultante sarà sempre eguale al valore massimo di uno dei due campi componenti. Però questa componente varia di posizione ad ogni istante e compie un giro completo ad ogni periodo.

Vediamo di spiegare il fenomeno con maggior chiarezza. Sia *a b* la proiezione (fig. 118) di una spira e *c d* quella dell'altra; ambedue risultano evidentemente normali fra loro. Il campo generato dalla *a b* avrà direzione normale, cioè secondo *d c*, e quello rappresentato dalla *c d* avrà direzione *a b*.

Rappresentiamo con le due curve *a b* e *c d* (fig. 119) le due correnti alternate sfasate fra loro di 90°.

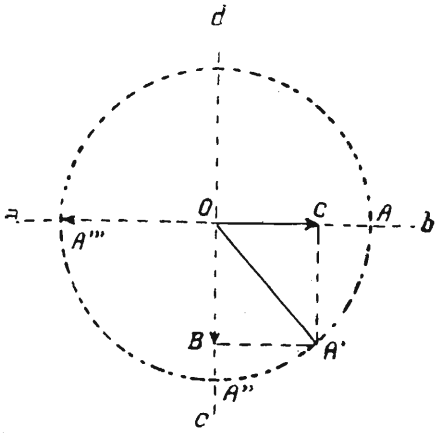


Fig. 118.

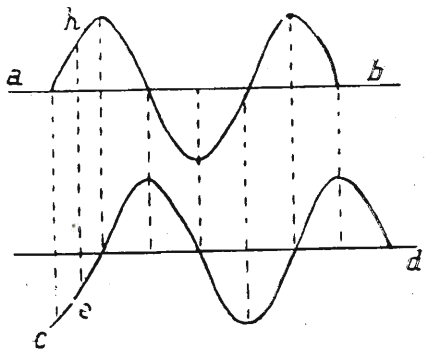


Fig. 119.

All'inizio del periodo la corrente che passa nella *a b* avrà valore zero e quindi sarà zero il campo magnetico generato: nello stesso istante la corrente che passa per *c d*, essendo in ritardo di un quarto di periodo, sarà massima in un senso, e sarà perciò massimo il campo prodotto da questa; siccome l'altro campo abbiamo visto che è zero, O A rappresenterà la risultante fra i due (fig. 118). Dopo un istante la corrente che passa per *a b* avrà acquistato, in un senso, un piccolo valore e si avrà quindi un piccolo campo magnetico generato dalla spira *a b* per esempio *O B*, ma nello stesso istante la corrente che passa per *c d* sarà alquanto diminuita, per cui il campo da essa prodotto invece del valore O A avrà quello O C.

Se si compongono i due campi O B ed O C si avrà il campo risultante O A la cui intensità sarà eguale ad O A, ma la cui direzione sarà diversa. Si arriva così gradatamente alla fine del primo quarto di periodo nel quale la corrente passante per *a b* è massima, mentre è zero quella che passa per *c d*: il campo sarà rappresentato con la O A''. Nell'altro quarto di periodo esso continua a ruotare nel medesimo senso fino a che al termine del mezzo periodo viene a trovarsi in O A''' e così di seguito.

Dunque, due correnti alternate sfasate di 90° nel percorrere le due spire normali l'una dall'altra, dànno luogo a due campi alternati che si compongono dando luogo ad un *campo magnetico rotante* di intensità costante.

E' chiaro che il numero dei giri del campo è uguale alla frequenza della corrente, cioè il campo compie in un secondo tanti giri quanti sono i periodi della corrente durante lo stesso tempo.

Procedendo nel ragionamento in modo analogo, si vede come, avendo tre spire inclinate fra loro di 120° e percorse da tre correnti sfasate di 120°, cioè da una corrente trifase, esse originano ancora un campo magnetico rotante di intensità costante e che compie un giro ad ogni periodo.

In pratica invece di due semplici spire si possono formare quattro bobine avvolte su nuclei di ferro disposti a 90° fra loro ed applicati entro un anello di ferro; le due bobine opposte saranno collegate fra loro in serie (fig. 120). In due bobine opposte dovrà circolare la corrente di una fase nello stesso senso, in modo che i campi magnetici vengano a comporsi.

Nel caso di sistema trifase, i nuclei provvisti di avvolgimenti saranno 6, i collegamenti saranno eseguiti fra due bobine opposte ed inoltre i circuiti si disporranno a stella (fig. 121) od a triangolo.

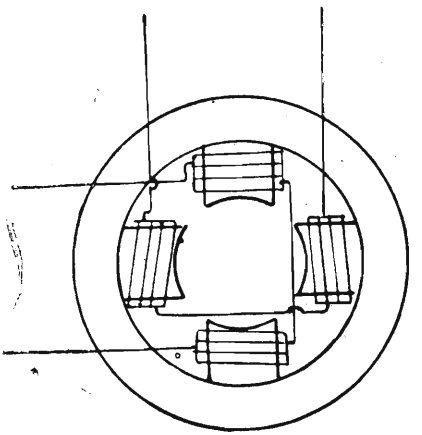


Fig. 120.

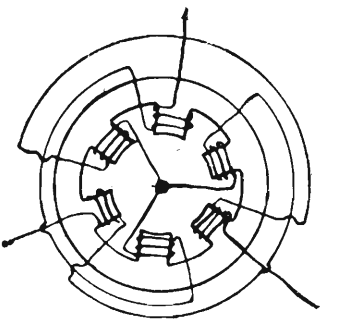


Fig. 121.

CAPITOLO XI.

Misure e strumenti di misura

§ 50 — Considerazioni generali sulle misure della pratica Sistemi di misura.

Misurare una grandezza significa trovare il rapporto fra essa ed un'altra della stessa specie scelta come termine di confronto e detta *unità di misura*.

Le cognizioni che abbiamo svolto sino a qui rimarrebbero incomplete se non imparassimo ad esprimere in numeri, cioè a *misurare*, la grandezza dei diversi elementi che partecipano ai fenomeni elettrici. L'argomento delle misure elettriche è vastissimo ma noi dovremo però limitarci a rendere noti e chiari i principî sui quali si fondano gli strumenti ed i metodi di misura più comuni.

Le principali unità si possono classificare:

1.° - *Unità geometriche* per misure di lunghezze, superfici, volumi, angoli, ecc.

2.° - *Unità di tempo* per misure di tempo.

3.° - *Unità meccaniche* per la misura della velocità, accelerazione, forza, lavoro, potenza, pressione, ecc.

4.° - *Unità magnetiche* per la misura della intensità del campo magnetico, induzione, permeabilità, ecc.

5.° - *Unità elettriche* per la misura della f.e.m., della intensità, resistenza, capacità, ecc.

6.° - *Unità termiche* per misure di calore.

7.° - *Unità fotometriche* per misura della intensità luminosa, della chiarezza delle superfici, ecc.

Nel Congresso di Parigi del 1881 i fisici delegati delle principali Nazioni, considerando che tutte le unità di misura meccaniche, elettriche e magnetiche potevano derivarsi dalle tre sole unità di misura di lunghezza di massa e di tempo, convennero di adottare come base di tutte le misure magnetiche ed elettriche le tre unità fondamentali *centimetro, grammo, secondo*. E ciò venne fatto in virtù delle relazioni e delle leggi che legano le grandezze elettriche e magnetiche con quelle meccaniche. Le tre unità fondamentali centimetro - grammo - secondo formano il *sistema assoluto*.

Per i casi che si presentano ordinariamente le unità C. G. S. (centimetro-grammo-secondo) sono troppo grandi o troppo piccole, cosicchè i valori delle grandezze che si incontrano in pratica, se espressi con tali unità, risultano enormi o piccolissimi, e non hanno un significato ben preciso alla nostra mente. Si è cercato di adottare un nuovo sistema con tre unità fondamentali scelte in modo da dare, in ogni caso della pratica, numeri di uso agevole. Ma non è stato possibile creare un simile sistema. Si è tenuta così una via di mezzo e mentre per le misure delle grandezze magnetiche si è mantenuto il sistema assoluto elettromagnetico, per le grandezze elettriche si è adottato un sistema avente ancora per unità di tempo il secondo, ma per unità di lunghezza 10 centimetri e come unità di massa $\frac{1}{1.000.000.000}$ di grammo. Questo sistema è stato chiamato *sistema pratico* e le sue unità sono oggi universalmente adottate. Ad esempio, l'unità assoluta del lavoro elettrico è l'*erg* e l'unità pratica è l'eguale a 10^7 *erg* e prende il nome di Joule (v. § 11); così pure l'unità della potenza elettrica è eguale $\frac{10^7 \text{ erg}}{\text{sec.}}$ e prende il nome di watt (v. § 11).

Riassumeremo adesso brevemente le definizioni delle unità di misura delle grandezze elettriche e le divideremo nelle due grandi categorie: unità assolute del sistema C. G. S. ed unità pratiche,

1 - Unità assolute del sistema C. G. S.

Unità magnetiche:

a) *di quantità di magnetismo*; è la massa magnetica che ne respinge una eguale posta ad un centimetro di distanza con la forza di una dine (v. § 28).

b) *di intensità di campo magnetico*; è l'intensità di un punto del campo nel quale si esercita la forza di una dine sull'unità di massa magnetica (chiamata Gauss - v. § 30).

c) *di flusso magnetico;* è il flusso magnetico passante per una superficie di 1 cm.^{2} posta normalmente alla direzione del campo e quando il campo ha l'intensità di 1 Gauss (chiamata Maxwell - v. § 30).

Unità elettriche:

a) *di intensità di corrente;* è la corrente che percorrendo un circuito di raggio 1 cm. esercita, nel percorso di un cm., la forza di una dine sopra l'unità di massa magnetica posta al centro del circuito stesso.

b) *di quantità di elettricità;* è la quantità che passa nell'unità di tempo in un circuito dove circola una corrente di intensità unitaria.

c) *di forza elettromotrice;* è la f.e.m. che si produce per induzione in un conduttore lungo un centimetro, che taglia normalmente un flusso magnetico della intensità di un Maxwell con la velocità di un centimetro in un minuto secondo.

d) *di resistenza;* è la resistenza di un conduttore che viene percorso dall'intensità di corrente unitaria quando ad esso si applica una d.d.p. unitaria.

e) *di capacità;* è la capacità di un condensatore che con una d.d.p unitaria fra le sue armature si carica della quantità unitaria di elettricità.

f) *di induttanza;* è l'induttanza di un circuito nel quale alla regolare variazione di una unità di corrente in un secondo, corrisponde una f.e.m. indotta unitaria.

Come si è già detto per la misura delle grandezze magnetiche si usano in pratica le unità del sistema assoluto C. G. S., mentre per la misura delle grandezze elettriche si usano in pratica le cosidette unità pratiche, definite nel Congresso Internazionale di Chicago del 1901. Esse sono:

2. - Unità pratiche.

a) *Ohm internazionale*; è la resistenza offerta ad una corrente costante da una colonna di mercurio della sezione costante di 1 mm^2 dell'altezza di cm. 106 ed alla temperatura di 0° centigradi. Corrisponde ad 1.000.000.000 di unità assolute (v. § 6).

Multiplo: Megaohm = 1.000.000 ohm ($M\Omega$)

$$\text{Sottomultiplo: Microohm} = \frac{1}{1.000.000} \text{ ohm } (\mu\Omega)$$

b) *Ampère internazionale*; è l'intensità di quella corrente costante la quale attraversando una soluzione acquosa di nitrato di argento deposita in

un minuto secondo grammi 0,001118 di argento. Corrisponde ad $^1/_{10}$ di unità assoluta

$$\text{Sottomultipli: Milliampère} = \frac{1}{1.000} \text{ A (m A)}$$

$$\text{Microampère} = \frac{1}{1.000.000} \text{ A } (\mu \text{ A})$$

c) *Volt internazionale;* è la costante differenza di potenziale che, applicata ad un conduttore della resistenza di 1 Ohm, genera la corrente di 1 ampère. Corrisponde a 100.000.000 unità assolute.

Multiplo: Chilovolt = 1.000 V (K V).

d) *Coulomb;* è la quantità di elettricità che passa nell'unità di tempo in un circuito dove circola una corrente di intensità unitaria. Corrisponde ad $^1/_{10}$ di unità assoluta.

$$\text{Sottomultiplo: Microcoulomb} = \frac{1}{1.000.000} \text{ C } (\mu\text{C})$$

Nell'industria si usa come unità di quantità di elettricità l'ampère-ora (Ah) = 3500 C.

e) *Joule;* è l'energia consumata in un conduttore fra i cui estremi vi è la d.d.p. di 1 volt, quando vi passa una quantità di elettricità di 1 coulomb. Corrisponde a 10.000.000 unità assolute.

L'unità di energia usata nell'industria è il wattora (Wh) = 3600 J.

Multiplo: Kilowatt-ora = 3.600.000 J.

f) *Watt;* è la potenza consumata in un conduttore fra i cui estremi vi è applicata la d.d.p. di 1 volt, quando vi circola la corrente di 1 ampère. Corrisponde a 10.000.000 unità assolute (v. § 4).

Multiplo: Kilowatt = 1.000 W (K W).

g) *Farad;* è la capacità di un condensatore che, con una differenza potenziale di 1 volt fra le sue armature, si carica della quantità 1 di elettricità. Corrisponde a $\frac{1}{1.000.000.000}$ unità assolute.

$$\text{Sottomultiplo: Microfarad} = \frac{1}{1.000.000} \text{ F } (\mu) \text{ F}$$

f) *Henry*; è l'induttanza di un circuito nel quale alla regolare variazione di una unità di corrente in un secondo corrisponde una f.e.m. indotta di 1 volt. Corrisponde a 1.000.000.000 unità assolute.

$$\text{Sottomultipli: Millihenry} = \frac{1}{1.000}\ \text{H (mH)}$$

$$\text{Microhenry} = \frac{1}{1.000.000}\ \text{H } (\mu\text{H})$$

§ 51 — **Tipi principali di strumenti di misura e loro caratteristiche**

Gli strumenti per misurazioni elettriche si possono classificare in diverse categorie a seconda del principio di costruzione, dello scopo e dell'impiego delle grandezze da misurare.

Anzitutto vi sono due categorie di strumenti che si distinguono nettamente e sono:

1. - *Gli strumenti scientifici da laboratorio.*
2. - *Gli strumenti di misura industriali.*

Noi ci occuperemo solo della seconda categoria perchè la spiegazione degli strumenti appartenenti alla prima categoria esorbita dai limiti di questo manuale.

Gli strumenti industriali si dividono:

a) *Strumenti indicatori* che segnano i valori medi istantanei ed efficaci delle diverse grandezze elettriche.

b) *Strumenti registratori* che segnano e registrano sopra una lista o foglio di carta la variazione delle grandezze da misurare, per mezzo di penne scriventi.

c) *Strumenti integratori* che fanno la somma dell'energia elettrica erogata.

Noi tratteremo degli strumenti indicatori perchè essi solo interessano la nostra esposizione e diremo che, a seconda delle grandezze da misurare, essi si dividono in:

Amperometri; misuratori dell'intensità della corrente in ampères;
Voltmetri; misuratori della tensione o f.e.m. in volts;
Wattmetri; misuratori della potenza dei circuiti;

Ohmmetri; misuratori di resistenze molto grandi;
Ponti per resistenze; misuratori di resistenze comuni e piccole;
Ponti per capacità; misuratori della capacità;
Ponti per induttanza; misuratori dell'induttanza;
Fasometri; misuratori dello spostamento di fase fra la corrente e la f.e.m.;

Frequenziometri; misuratori della frequenza di una corrente alternata.

A seconda poi del principio di costruzione gli apparecchi elettrici di misura industriali si dividono in: elettromagnetici, magneto-elettrci, elettrodinamici, elettrostatici, termici od a filo caldo, ecc.

La maggior parte delle misure di corrente e di d.d.p. si fondano sull'azione reciproca di due parti metalliche, una mobile fornita dell'indice ed un'altra fissa, delle quali almeno una è percorsa dalla corrente: lo spostamento o deviazione dalla parte mobile e quindi dell'indice misura la corrente o la d.d.p.

La parte mobile è sottoposta a due azioni; una azione elettrica che tende a spostarla ed una azione antagonista, che tende a mantenerla in una determinata posizione. La parte mobile si sposta per effetto della grandezza elettrica da misurare fino a che non ha preso una posizione nella quale le due azioni si equilibrano; l'indice si muove con essa su di una *scala* graduata e la misura si riduce alla valutazione dello spostamento, cioè alla lettura della deviazione dell'indice. La scala viene dai costruttori tracciata in base a prove di confronto con altri strumenti, operazione che si chiama *taratura.*

§ 52 — **Misura dell' intensità della corrente e della f. e. m.**

Chiamansi *Ampèrometri* gli strumenti indicatori che dànno direttamente la misura dell'intensità della corrente, e *Voltmetri* quelli che dànno la misura della d.d.p. fra due punti di un circuito.

Tutti gli ampèrometri sono elettromagnetici; i voltmetri possono essere elettromagnetici ed elettrostatici. La prima essenziale qualità di un ampèrometro è di avere una resistenza totale piccolissima, affinchè *posto in serie* in un dato circuito, esso produca una variazione inapprezzabile dell'intensità di corrente da misurare. Per contro, la resistenza di un voltmetro deve

essere talmente grande da non produrre alcuna variazione sensibile nella differenza di potenziale fra i due punti *fra i quali è derivato.*

All'infuori di tali differenze sostanziali, e di quelle altre costruttive che dipendono dai diversi valori delle grandezze da misurare, non ve ne sono altre importanti che distinguono la costruzione e teoria degli ampèrometri e voltmetri elettromagnetici.

A bordo delle nostre navi vengono adoperati come strumenti di misura i tipi elettromagnetici a bobina mobile Weston commerciali (ampèrometri e voltmetri). L'apparecchio è costituito da un magnete foggiato a ferro di cavallo (fig. 122), all'estremità del quale sono fissati due blocchetti di ferro dolce, costruiti in modo da formare una cavità cilindrica. In questa cavità

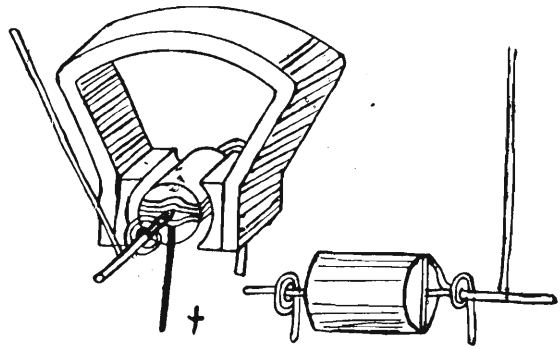


Fig. 122.

oscilla la parte mobile costituita da un sottile filo di rame isolato ed avvolto a spira sopra un telaietto pure di rame, girevole intorno al proprio asse. L'asse è di acciaio e le sue estremità poggiano su sostegni di metallo. All'intorno del telaio vi è un blocchetto cilindrico di ferro dolce fissato alla sca tola dell'apparecchio e che ha lo scopo, con gli altri blocchetti di ferro dolce citati, di impedire le dispersioni delle linee di forza nello spazio circostante, rendendo così il campo magnetico della calamita più intenso e praticamente uniforme. Il telaio nella posizione di riposo, è disposto a 45° rispetto alla congiungente dei magneti ed è mantenuto in questa posizione da due molle a spirale che agiscono sui due perni del telaio opponendosi al suo movimento; inoltre le molle portano la corrente alla bobina. La deviazione che si ottiene, dovuta alla reazione magnetica fra la corrente che percorre la bobina ed il campo magnetico permanente, risulta proporzionale alla corrente. Al telaio è collegato un indice che scorre su di una gra-

duazione fissa. Tale graduazione sarà evidentemente uniforme, cioè costituita di parti tutte eguali fra loro.

La corrente, dovendo percorrere prima di entrare nella bobina le molle a spirale che, per ragioni di sensibilità, sono lunghe e sottili, non può essere molto intensa. Inoltre in tal caso il filo della bobina dovrebbe essere di sezione rilevante e quindi aumenterebbe il peso dell'*equipaggio mobile* con svantaggio della sensibilità e perciò della precisione dell'apparecchio.

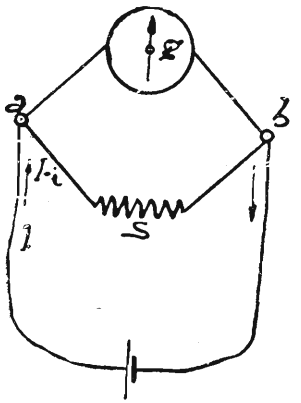


Fig. 123.

Per gli ampèrometri, volendo misurare correnti intense, si deve ridurre allo *shunt*. Lo shunt o riduttore è un conduttore derivato fra i poli dello strumento di misura (o di qualsiasi altro apparecchio), affinchè lo strumento stesso sia attraversato solamente da una frazione data dalla corrente principale.

Consideriamo, ad esempio, il circuito della figura 123, nel quale la corrente totale ha una intensità I; fra i due punti *a* e *b* biforchiamo la corrente principale in due correnti, una che attraversi l'ampèrometro *g* di resistenza *r*, l'altra che attraversi uno shunt di resistenza S. Essendo *i* ed I-i le intensità della corrente rispettivamente nello strumento e nello shunt, dovremo avere per la legge di Ohm:

$$ri = S\ (I\text{-}i) \qquad \text{da cui} \qquad I = \frac{r + S}{S}\ i$$

Il rapporto $\frac{r + S}{S}$ prende il nome di *potere moltiplicatore dello shunt*. Il prodotto del potere moltiplicatore per la lettura dell'ampèrometro, dà il valore della corrente che si vuol misurare. Per gli ampèrometri da quadro tale prodotto è eseguito dal costruttore stesso il quale gradua in relazione la scala dello strumento. Lo shunt è fissato all'interno od all'esterno dell'apparecchio e secondo le sue dimensioni.

Voltmetro campione: esso è costituito nello stesso modo; però, essendo un apparecchio di precisione, i particolari di costruzione sono più curati. Il telaietto si fa di alluminio perchè sia più leggero e su di esso è avvolto il filo di rame. L'asse del telaietto appoggia su sostegni di agata e l'apparecchio è munito di interruttore a pulsante. L'indice è di alluminio e fatto a coltello; è disposto con il suo piano normale al piano della graduazione, sotto la quale vi è uno specchio per poter fare più esattamente la misura

(fig. 124). Lo strumento ha tre serrafili; uno (3) è il positivo, due (1 e 2) sono negativi, e (4) è l'interruttore. Fra il serrafilo 2 e la bobina è inserita in serie una resistenza molto forte che permette di usare il voltmetro per misure di tensione fino a 150 volts; fra il serrafilo 1 e la bobina è inserita invece una resistenza più piccola la quale permette di usare il voltmetro per tensioni da 0 a 3 volts.

Gli strumenti a bobina mobile non si prestano per misurare grandezze alternate perchè variando il senso della coppia motrice dell'equipaggio mobile ad ogni inversione della direzione della corrente, l'ago dovrebbe mettersi ad oscillare sincronicamente con la corrente. D'altra parte una misura di questa specie, anche se possibile, non avrebbe alcun significato perchè l'intensità di una corrente alternata non si misura in base al suo valore istantaneo ma in base al suo valore efficace. Invece tutti gli strumenti nei quali l'azione meccanica della corrente non cambia in senso al variare della direzione della corrente stessa, possono servire alla misura della corrente alternata: così sono quegli strumenti che hanno le deviazioni proporzionali al quadrato dell'intensità della corrente. Il loro indice si ferma in una posizione corrispondente al valore medio del quadrato dell'intensità nei successivi istanti e quindi essi possono servire a misurare l'intensità efficace. Gli strumenti più usati per la misura delle intensità e tensioni alternate sono quelli *elettromagnetici a ferro mobile* e quelli *a filo caldo*.

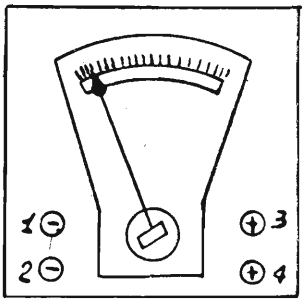


Fig. 124.

Strumenti elettromagnetici a ferro mobile: Si riducono quasi tutti alla disposizione della figura 125. Sotto l'azione del campo creato dal solenoide S, percorso dalla corrente da misurare, due segmenti cilindrici di ferro dolce *a* e *b*, dei quali il primo è fisso ed il secondo solidale con l'equipaggio mobile, si magnetizzano nello stesso senso e si respingono dando luogo ad una coppia il cui valore dipende in modo assai complesso dalla corrente. La coppia antagonista è data, come al solito, da una molla. Invertendo il senso della corrente nel solenoide, la coppia motrice non cambia senso, perchè cambia il senso della magnetizzazione in entrambi i segmenti. Cosicchè simili strumenti sono atti a misurare tanto le correnti continue come le correnti alternate. La deviazione però non è rigorosamente proporzionale al quadrato del valore efficace della corrente e quindi la taratura deve essere fatta per confronto con altri apparecchi.

Il grande pregio di questi strumenti è la semplicità costruttiva e quindi la robustezza.

Strumenti a filo caldo: Negli strumenti di questo tipo il valore dell'intensità della corrente si deduce dall'allungamento che subisce un filo sottile quando sia percorso e quindi riscaldato dalla corrente stessa. Il tipo migliore è quello Hartmann e Braun (fig. 126). Il filo *a b* che deve allungarsi

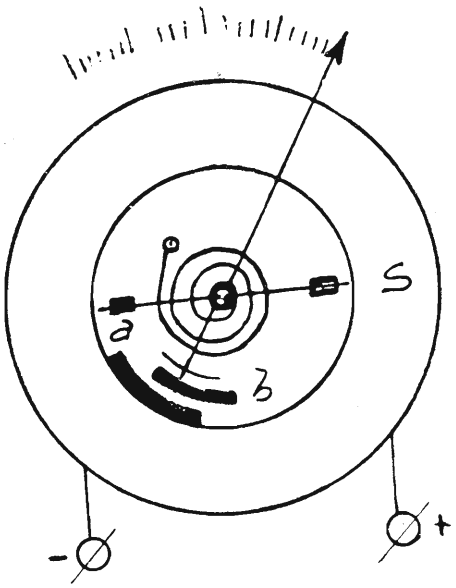


Fig. 125.

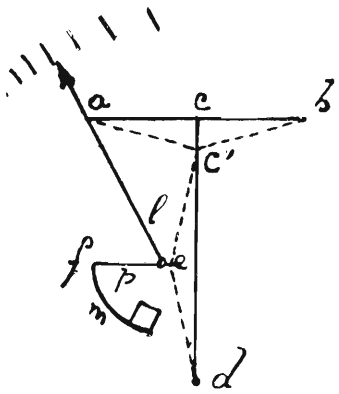


Fig. 126.

al passaggio della corrente, è molto breve ed è costituito da una lega di platino e argento; a metà esso è congiunto con un filo *c d* il quale a sua volta è unito nel punto di mezzo con il filo *e f*. Il sistema di questi tre fili è sollecitato a distendersi da una molla *m*. Il filo *e f* inoltre è avvolto sopra la puleggia *l* che porta con sè fissato l'indice dello strumento. Quando per effetto del riscaldamento prodotto dalla corrente, *a b* si allunga, il punto *c* scende in *c'*, *c d* si inflette, la molla si stende, la puleggia *l* ruota e l'indice si sposta.

Con tale disposizione l'allungamento del filo *a b* risulta moltiplicato e si possono avere dall'indice ampi spostamenti. L'allungamento del filo è proporzionale alla temperatura che esso raggiunge; la temperatura è proporzionale al calore sviluppato dalla corrente ed il calore è, a sua volta proporzionale al quadrato della intensità della corrente. Quindi la deviazione dell'ago è proporzionale al quadrato della corrente.

Di conseguenza la scala degli strumenti termici non è uniforme, ma è più rada in fine che in principio. Tali strumenti si prestano a misurare correnti sia continue che alternate.

Diremo in ultimo che negli amperometro il filo *a b* è messo in derivazione sullo shunt mentre nei voltmetri è posto in serie con una resistenza addizionale.

La verifica o taratura degli ampèrometri si fa mettendo in serie con l'apparecchio A da controllare un ampèrometro A′ campione ed una piccola dinamo o più accumulatori, in parallelo fra loro. La variazione degli ampères si ottiene con una resistenza regolatrice R in serie con gli apparecchi (fig. 127).

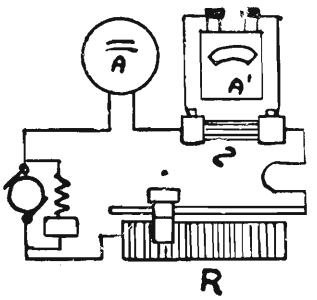


Fig. 127.

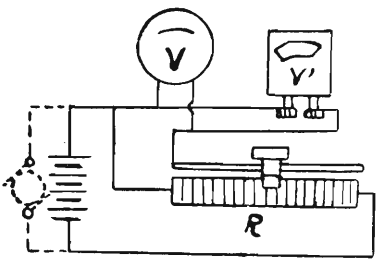


Fig. 128.

La taratura dei voltmetri si fa mettendoli in parallelo (fig. 128) con voltmetri campione V′ e variando la tensione per mezzo di resistenze, od impiegando piccole dinamo di qualche ampère e con tensione variabile fra grandi limiti. Si adoperano batterie di accumulatori piccolissimi, a due o tre placche, messi in serie in gran numero.

§ 53 — **Misura della resistenza**

Il metodo più in uso per la misura di medie e piccole resistenze è quello del ponte che serve per misure nei limiti da 1 ohm a 100000 ohm circa. Esso dà la misura di una resistenza in funzione di quella di altre resistenze note e l'apparecchio del genere più conosciuto è il cosidetto Ponte di Wheatstone.

E' costituito (fig. 129) da un quadrilatero di resistenze e sulla diagonale di esso si inserisce un sensibilissimo strumento di misura G (galvanometro)

ed una pila *p*. Se nella diagonale C D non circola corrente, ossia se lo strumento non dà indicazione, la corrente i_1 che percorre il lato r_1 deve (circuiti derivati) percorrere anche il lato r_2; così pure la corrente i_2 che percorre il lato r_3 deve percorrere anche il lato r_4.

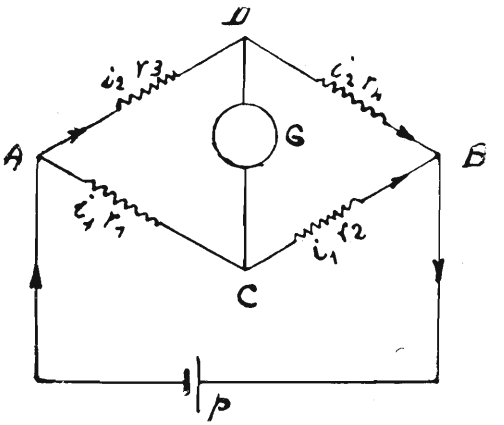


Fig. 129.

Inoltre per la legge di Ohm ($V = R\,I$) si avrà, dato che non passando corrente nello strumento non vi può essere d.d.p. fra C e D:

$$i_1\ r_1 = i_2\ r_3 \qquad\qquad i_1\ r_2 = i_2\ r_4$$

cioè le cadute di tensione lungo i lati A C e C B debbono essere rispettivamente eguali alle cadute lungo i lati A D e D B.

Dividendo fra loro le due eguaglianze si ha:

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4} \qquad \text{da cui} \qquad r_4 = r_2 \frac{r_3}{r_1}$$

Vale a dire che, note le tre resistenze r_1, r_2, r_3, si può ricavare il valore della resistenza r_4.

In pratica la disposizione è quella della figura 130 e le tre resistenze r_1, r_2, r_3 vengono riunite in una sola cassetta. Sui due lati A C, A D si inseriscono resistenze di valore 10, 100, 1000 ohm che permettono di dare al rapporto $\frac{r_3}{r_1}$ i valori di $^1/_{100}$, $^1/_{10}$, 1, 10, 100. Sul lato C B trovasi una cassetta di resistenza, per mezzo della quale si inserisce la resistenza r_2 necessaria perchè lo strumento non segni passaggio di corrente.

Questa resistenza moltiplicata per il rapporto $\frac{r_3}{r_1}$ ci dà il valore della resistenza incognita x inserita sul lato D B. Il tasto t' serve a chiudere il circuito della f.e.m. nel solo istante nel quale si effettuano le misure, il tasto t ad inserire il galvanometro. In pratica per la misura è necessario variare le

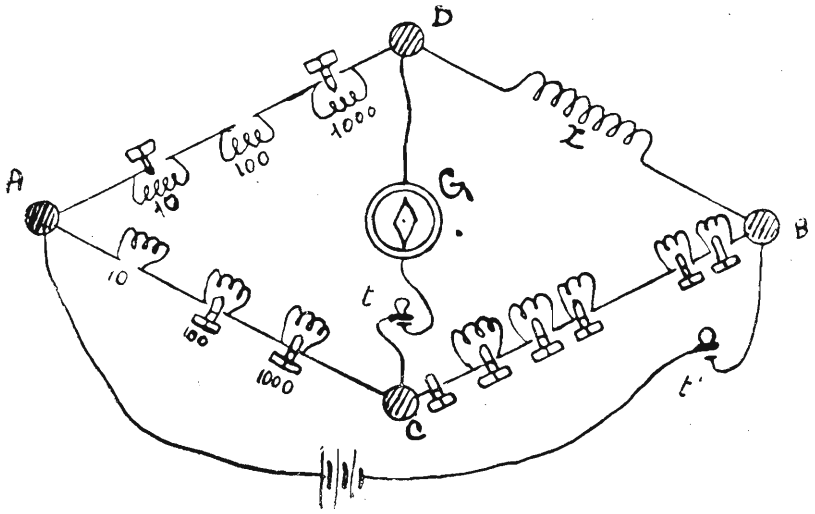


Fig. 130.

resistenze conosciute in modo da ottenere il perfetto equilibrio nel ponte, equilibrio che si raggiunge quando nello strumento non passa più corrente.

Nell'effettuare la misura bisogna tener presente di abbassare prima il tasto t', poi quello t per inserire la f.e.m. ed il galvanometro, ed a misura eseguita invece, alzare prima il tasto t, poi il tasto t'; e ciò perchè lo strumento di misura che è delicatissimo non venga percorso e danneggiato dalla extracorrente di apertura e di chiusura.

Altro metodo per misurare una resistenza è quello che si ottiene mediante l'uso dell'ampèrometro e del voltmetro (fig. 131). Con questo metodo, per misurare una resistenza R si fa passare una corrente continua adatta e con un ampèrometro ed un voltmetro si misura l'intensità I e la f.e.m. E alle estremità della resistenza R. La resistenza R sarà data (legge di Ohm) da:

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

Per fare in modo che la corrente non sia troppo grande si può inserire una resistenza variabile R'. Per questo metodo si usano strumenti tipo Weston, ed esso è molto usato per la misura della resistenza dei circuiti delle macchine elettriche. Occorre che gli strumenti siano esatti altrimenti si possono commettere sensibili errori.

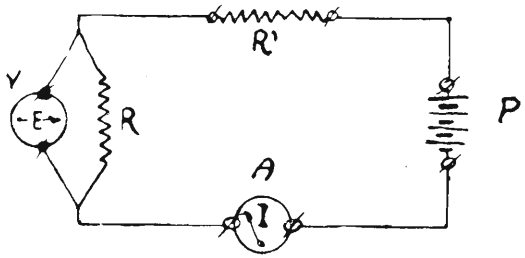


Fig. 131.

Dalla formula sopraindicata si deduce che se E fosse costante, si potrebbe sull'ampèrometro segnare per ogni divisione di scala il valore di E : I ossia la resistenza in ohm. Cioè l'ampèrometro potrebbe indicare direttamente la resistenza.

Su questo principio sono costruiti gli *ohmmetri* che sono apparecchi portatili molto diffusi e che servono per misurare la resistenza di isolamento dei circuiti, di solito grandissima, dell'ordine di qualche migliaio di ohm fino a parecchi megaohm. Questi apparecchi contengono oltre allo strumento di misura, una piccola dinamo magneto-elettrica di un centinaio di volt azionata a mano. Vedremo, parlando delle macchine elettriche e della distribuzione e manutenzione dei circuiti a bordo, in quali casi particolari vengono adoperati gli ohmmetri.

§ 54 — **Misura della potenza elettrica**

Per misurare la potenza erogata da un generatore si dispongano i circuiti come in figura 132. Le indicazioni V del voltmetro ed I dell'amperometro, introdotte nella formula

$$P = V\,I$$

daranno il valore della potenza P erogata dalla macchina generatrice e fornita all'utente.

Vi sono in commercio strumenti che forniscono direttamente il valore della potenza (Wattmetri) e noi ne daremo un breve cenno. Quasi tutti i wattmetri impiegati nella pratica sono del *tipo elettrodinamico*, ossia si basano sulle azioni magnetiche delle correnti e constano di una bobina fissa da inserirsi in serie sul circuito da misurare e di una bobina mobile da inserirsi in derivazione sullo stesso circuito. La bobina mobile ruota su due perni, mentre due piccole molle servono da forza antagonista ed a portare la corrente (fig. 133).

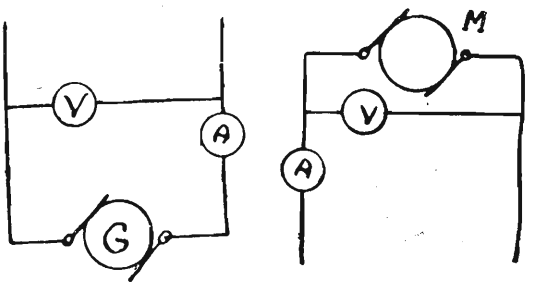


Fig. 132.

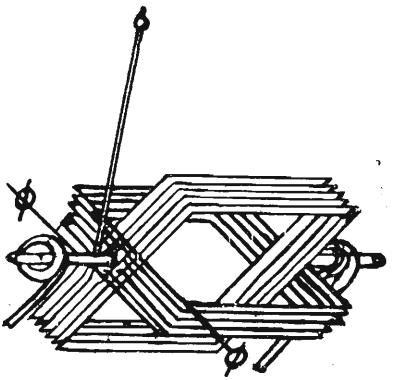


Fig. 133.

Le due bobine fissa e mobile sono perpendicolari fra loro e passando corrente nelle due bobine quella mobile è sollecitata, come se fosse una calamita, a ruotare per disporre il suo asse magnetico coincidente con quello della bobina fissa (v. capitolo VIII).

La coppia motrice è, in ogni istante, proporzionale alle correnti nei circuiti, cioè è proporzionale alla intensità ed alla tensione e quindi ai watt. Le due summenzionate bobine prendono il nome di *amperometrica*, quella in serie, e *voltometrica* quella in derivazione.

E' evidente che un simile apparecchio serve per la misura della potenza della corrente continua come per quella della corrente alternata.

§ 55 — **Misure varie**

Misura della differenza di fase e della frequenza:

Può essere utile qualche volta in pratica conoscere lo spostamento di fase fra due correnti simili alternate, ma per noi è di maggiore interesse la conoscenza esatta dell'istante nel quale le due grandezze alternate raggiun-

gono lo stesso valore o, come si suol dire, sono in concordanza di fase. Il sapere questo è assolutamente indispensabile come vedremo, per accoppiare due macchine generatrici alternate sul medesimo circuito. Gli apparecchi che possono fornirci questa determinazione si chiamano *indicatori di fase* e noi li studieremo quando, più oltre, tratteremo dei generatori di corrente alternata.

Circa la determinazione della frequenza di una corrente, cioè del numero dei periodi al secondo, esso si può in pratica ottenere misurando con un contagiri la velocità al minuto secondo del generatore di corrente e moltiplicando questa velocità per il numero di periodi corrispondenti a ogni giro.

Misura della capacità:

I metodi per la misura della capacità sono diversi e gli apparecchi sono di tipo svariato.

Noi accenneremo brevemente ad un metodo il quale si basa sul confronto con capacità note campioni. Carichiamo con una pila un condensatore campione C′ e con uno strumento di misura, osserviamo la deviazione che l'ago segna sotto la scarica del condensatore stesso. Sia A la deviazione, la quale è proporzionale alla quantità di elettricità. Con la medesima pila carichiamo ora la capacità incognita C″, scarichiamola sullo strumento di misura e chiamiamo B la deviazione dell'ago osservata. Essendo la capacità proporzionale alle quantità di elettricità e quindi proporzionale alle deviazioni, avremo:

$$\frac{C'}{C''} = \frac{A}{B} \qquad \text{da cui} \qquad C'' = \frac{B}{A} C'$$

Il principio, come si vede, è semplice; però all'atto pratico la risoluzione di tale metodo comporta strumenti delicatissimi, la cui descrizione esorbita dai limiti di questo manuale. Altri apparecchi per la misura delle capacità sono i *ponti di capacità*, i quali si basano su di un principio analogo a quello su cui sono basati i ponti per misura di resistenza già descritti. Di un ponte fondato su questo solito principio ci serviremo per ottenere la misura di induttanza.

Misura di induttanza:

Si ricorre ad uno schema analogo a quello della figura 129. Da un lato del ponte (fig. 134) vi sono due resistenze delle quali una R è variabile ed una R′ è fissa. Dall'altro lato del ponte si inseriscono una induttanza cam-

pione variabile A della quale perciò si conosce anche la resistenza R_a e l'induttanza incognita B. Cominciamo con il determinare la resistenza R_b dell'induttanza incognita ed a questo scopo il ponte non rappresenta, con la sua pila ed il suo strumento di misura nè più nè meno che un ponte a resi-

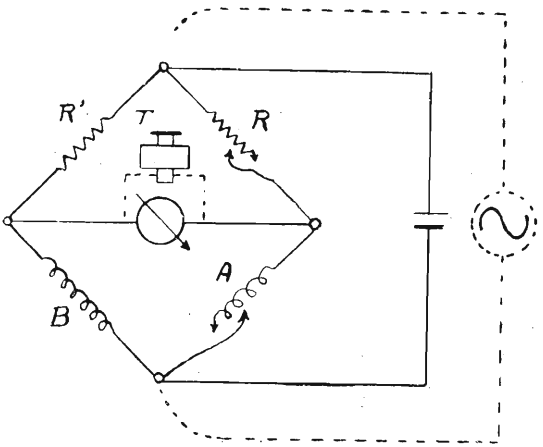


Fig. 134.

stenza già descritto. Equilibriamo il ponte facendo in modo che per lo strumento non passi corrente; manovrando opportunamente le due resistenze R e R' avremo allora:

$$R_b = R_a \frac{R}{R'}$$

Modifichiamo adesso il ponte, sostituendo allo strumento di misura un ricevitore telefonico T ed alla pila una sorgente di corrente alternata. Si equilibra nuovamente il ponte variando l'induttanza campione e questo equilibrio sarà raggiunto quando scomparirà al telefono ogni rumore dovuto alla variazione della corrente alternata. Faremo allora una lettura A' della induttanza campione. Avremo allora:

$$B = A' \frac{R}{R'}$$

Si intende che la modifica dello schema del ponte avviene nell'apparecchio stesso mediante la manovra di un semplice pulsante.

Misure magnetiche:

Esse comprendono la misura della *forza magnetizzante* (v. capitolo VII), dell'*induzione* (v. capitolo VII), della *permeabilità* (v. capitolo VII), e della *isteresi* (v. capitolo VIII), tutte importanti per la scelta del materiale, nella costruzione delle macchine elettriche generatrici di correnti.

Ne daremo un breve cenno, facendo presente che molti dei metodi di misura sono da laboratorio e che una descrizione più profonda non sarebbe consona al carattere elementare di questo manuale.

La misura della forza magnetizzante si può fare con il metodo delle *oscillazioni*, per mezzo del quale si deduce l'intensità di un campo dalla durata delle oscillazioni di un piccolo ago magnetico sospeso nel punto in esame, durata che dipende dalla intensità del campo stesso. Spostato l'ago dalla sua posizione parallela alle linee di forza del campo e lasciatolo quindi nuovamente libero, esso riprenderà la posizione primitiva dopo un numero di oscillazioni tanto minore quanto maggiore sarà la forza magnetizzante.

Per la misura della induzione e della permeabilità accenneremo al metodo *della forza portante*, basato sulla misura della forza necessaria a separare, nella direzione delle linee di forza del campo, le due parti di un circuito magnetico.

Le misure dell'isteresi si riducono alla misura della potenza assorbita nel fenomeno e fra i metodi accenneremo al *metodo del wattmetro*, il quale consiste nel costruire con il materiale in esame un circuito magnetico, sul quale si dispone un avvolgimento; inviata in questo una corrente alternata di frequenza nota, si determina con un wattometro la potenza assorbita dal circuito.

La misura del lavoro o dell'energia meccanica compete alla meccanica; ma spesso nelle applicazioni elettriche si presenta la necessità di misurare la potenza di un motore ed a tal uopo si usano i *freni* sui quali non ci fermeremo avendone descritto già un tipo nel capitolo IX.

§ 56 — **Misure e prove di isolamento**

Prova d'isolamento dei conduttori sotto corrente con l'uso del voltmetro. — Con un voltmetro (di resistenza interna R_v) appropriato alla tensione di linea, misuriamo le differenze di potenziale V_1 e V_2 esistenti fra gli estremi A e B della linea e la terra (v. fig. 135). Dette i_1 ed i_2 le correnti che si hanno attraverso il voltmetro, avremo:

$$i_1 = K\ V_1 \qquad i_2 = K\ V_2$$ essendo K la costante del voltmetro

Indichiamo con r_1, r_2, R, rispettivamente le resistenza dei tratti A C e C B del circuito esterno e della derivazione alla terra.

Nel fare la prima misura tra A e la terra, abbiamo costituito due circuiti derivati fra i punti A e C. Le intensità di corrente che circolano in essi,

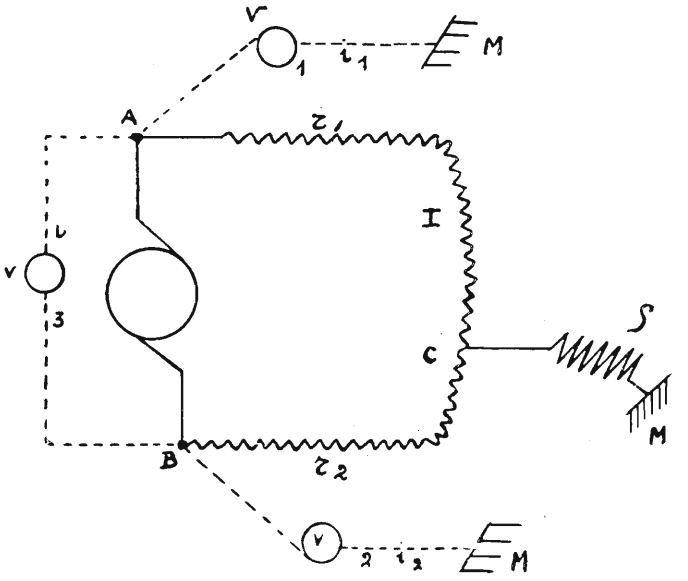


Fig. 135.

sono inversamente proporzionali alle resistenze e quindi, essendo I la intensità di corrente che percorre il circuito A C B e quindi anche il tratto A C:

$$\frac{I}{i_1} = \frac{Rv + R}{r_1} \quad \text{cioè} \quad I\, r_1 = i_1\,(R_v + R) \quad (\alpha)$$

Nella seconda misura i due circuiti derivati presentano le resistenze r_2 e $R_v + R$, onde analogamente si ha:

$$\frac{I}{i_2} = \frac{Rv + R}{R_2} \quad \text{cioè} \quad I r_2 = i_2\,(R_v + R) \quad (\beta)$$

Eseguiamo poi una terza misura, misurando la differenza di potenziale fra A e B, chiamando con i la corrente che traversa il voltmetro, e con V la lettura di questo; abbiamo che $i = K\,V$, ed osservando che rispetto alla dinamo, circuito esterno e circuito del voltmetro sono derivati, si ha:

$$\frac{I}{i} = \frac{R_v}{r_1 + r_2} \quad \text{cioè} \quad R_v\, i = 1\,(r_1 + r_2) \quad (\gamma)$$

sommando la α) con la β) otteniamo:

$$I\ (r_1 + r_2) = (i_1 + i_2)\ (R_v + R)$$

e sostituendo i valori della (γ)

$$R_v\, i = (i_1 + i_2)\ (R_v + R) \text{ cioè } R_v\ (1 - 1_1 - I_2) = R\ (1_1 + 1_2)$$

da cui:

$$R = \frac{(i - i_1 - i_2}{i_1 + i_2}\ R_v$$

oppure:

$$R = \left(\frac{i}{i_1 + i_2} - 1\right) R_v$$

ed essendo i_1, i_2, ed i, proporzionali alle indicazioni V_1; V_2; V del voltmetro si ha:

$$R = \left(\frac{V}{V_1 + V_2} - 1\right) R_v$$

Esempio. — Con una dinamo da 105 volts, adoperando un Weston di 20.000 ohm di resistenza, si fanno le seguenti letture:

1ª lettura = 105; 2ª lettura = 10; 3ª lettura = 25. Avremo:

$$R = \left(\frac{105}{10 + 25} - 1\right)\ .\ 20.000 = 40.000 \text{ ohm.}$$

Usando un voltmetro Weston di resistenza 20.000; si può ritenere che l'isolamento di un impianto sia buono quando esso è superiore ai seguenti valori:

Impianti a 110 volts quasi nuovi, circa 50.000 ohm.

Impianti a 110 volts che hanno molto funzionato, circa 12.000 ohm.

Se la prima e seconda lettura (V_1 e V_2) sono presso a poco eguali, i due conduttori della dinamo si trovano nelle medesime condizioni di isolamento e queste saranno tanto migliori quanto minore sarà la somma delle due letture. Se le due letture invece sono assai diverse vi sarà una dispersione maggiore sul conduttore che dà lettura minore. In ultimo, se la V_2 è eguale a zero e la V_1 è eguale a V, vi è un contatto diretto con lo scafo.

Prove d'isolamento con il cerca guasti elettromagnetico. — E' costituito da una scatola in legno che contiene:

1) Una piccola dinamo con indotto a doppio T con avvolgimento a gomitolo.

2) Una elettrocalamita con un'ancoretta sensibilissima che oscilla intorno ad un asse centrale, e dà movimento ad un battente che urta contro due campane metalliche.

3) Una resistenza R di circa 6000 ohm.

La disposizione dei circuiti è indicata nella figura 136. Agendo su di un manubrio esterno, si dà movimento mediante una serie di ingranaggi all'indotto. La f.e.m. alternativa che in esso si produce, genera corrente nei

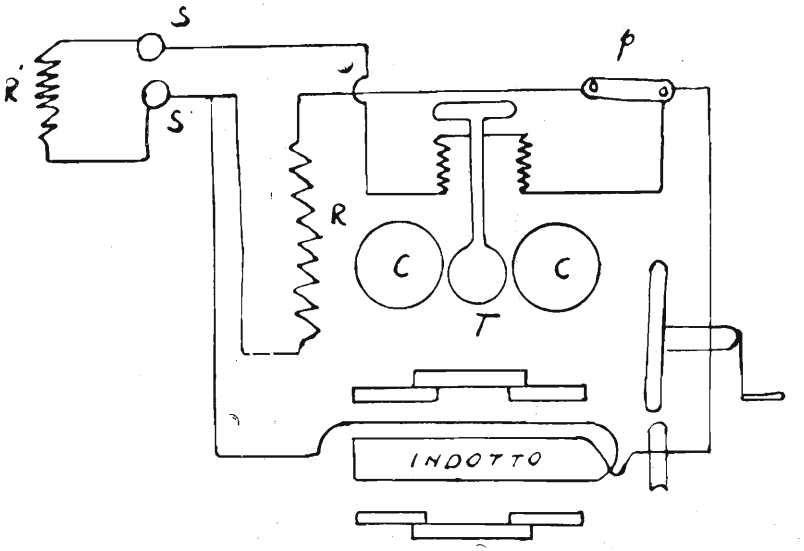


Fig. 136.

due circuiti derivati, sull'uno è inserita la resistenza R, sull'altro la elettrocalamita, e tra i serrafili s e s_1, la resistenza R' che si vuol paragonare. Allorchè il valore di questa resistenza è maggiore di 6000 ohm, la corrente che circola in quest'ultimo circuito non ha una intensità sufficiente da determinare la oscillazione dell'ancoretta; quando invece è minore di 6000 ohm, la intensità del campo alternativo che la corrente induce nella elettrocalamita è tale da determinare la oscillazione dell'ancoretta, e quindi si ha il suono dell'apparecchio.

Per provare quindi l'isolamento di un cavo conduttore si unisce un estremo di questo ai serrafili s, e l'altro ai serrafili s_1, si unisce un filo in comunicazione con lo scafo; se la resistenza d'isolamento del cavo è inferiore a 6000 ohm il cerca guasti suonerà mentre per valori della resistenza d'isolamento superiori non si ha alcun movimento del battente T.

Trattandosi di verificare la continuità di un circuito non si ha che da riunire gli estremi di esso ai serrafili s ed s_1; se la suoneria entra in azione la continuità esiste.

Prova d'isolamento di un avvolgimento o d'un conduttore non sottoposto a corrente, per mezzo del voltmetro. — Si dispone una batteria di pile P della quale si conosce la f.e.m. E, in serie con il circuito del quale vogliamo verificare l'isolamento, ponendo alla massa un polo della batteria come indicato dalla figura 137.

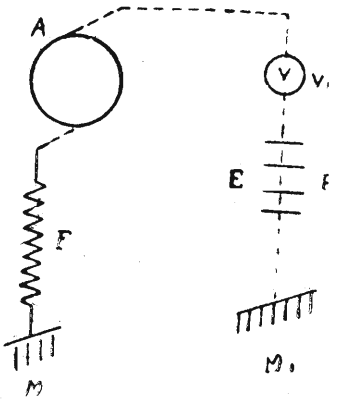


Fig. 137.

Si esegue al voltmetro la lettura V_1. Essendo effettivamente trascurabili rispetto al valore della resistenza da determinare, i valori della resistenza del circuito elettrico in esame e della resistenza interna della batteria di pile, avremo:

$$R = V_1 + R_x i$$

avendo chiamato R_x la resistenza cercata ed i la corrente che percorre il circuito M A M_1.

Indicando con R_v la resistenza del voltmetro, per la legge di Ohm abbiamo:

$$i = \frac{V}{R_v}$$

e sostituendo:

$$E = V_1 + \frac{V_1}{R_v} R_x$$

da cui:

$$R_x = \left(\frac{E - V_1}{V_1}\right) R_v$$

oppure:

$$R_x = \left(\frac{E}{V_1} - 1\right) R_v$$

Prova d'isolamento d'un conduttore nuovo. — La prova d'isolamento di un conduttore nuovo, da mettersi in opera, si fa immergendo l'intera bobina del conduttore in una vasca piena di acqua (fig. 137 bis). Le due estremità sono tenute isolate fuori acqua e ben asciutte: una di esse viene guarnita ad una batteria di 30 o 35 elementi di pile in serie, cui viene unito un voltmetro Weston; all'altro serrafili del Weston viene unito un conduttore portante una piastra di rame.

Toccando la prima volta con la piastra di rame il polo della batteria unita al conduttore si farà la prima lettura, leggendo cioè la tensione E fornita dalla batteria, immergendo poi la piastra nell'acqua si farà la seconda lettura. La resistenza d'isolamento è data dalla stessa formula del caso precedente, quindi la resistenza chilometrica d'isolamento del conduttore si avrà facendo la seguente operazione: (1ª lettura — 2ª lettura), resistenza grande Weston, lunghezza conduttore (Km.): 2ª lettura.

Esempio. — Con un voltmetro Weston di resistenza 18251 si fa la prova d'isolamento di un conduttore lungo metri 1200.

1ª lettura = 53
2ª lettura = 1,5

la resistenza chilometrica d'isolamento sarà:

$$(53 - 1{,}5) \times 18251 \times 1{,}2 : 1{,}5$$
$$51{,}5 \times 18251 \times 1{,}2 : 1{,}5 = 751941.$$

La resistenza chilometrica deve essere eguale o di poco inferiore a quella data per ogni conduttore regolamentare nel catalogo.

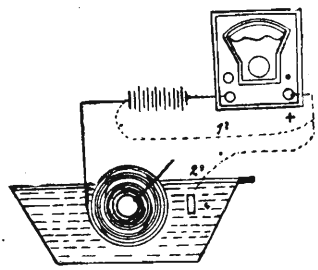


Fig. 137-bis.

Più l'isolamento sarà deficiente e maggiore sarà la 2ª lettura; se esistesse un vero contatto del conduttore con l'acqua, la 2ª lettura sarebbe uguale alla prima. In questo caso, tenendo sempre la piastra immersa nell'acqua, si comincia a ritirare a poco a poco dall'acqua il conduttore, avendo cura di asciugarlo bene, e si farà attenzione all'ago del voltmetro. Appena si vedrà la deviazione sparire o diminuire fortemente si sarà certi di aver estratto dall'acqua la parte avariata, che così risulterà subito nota.

La stessa prova d'isolamento si può fare col galvanometro-pila, usato come solo galvanometro (serrafili X), in unione ad una batteria di pile. In questo caso la prova non può dare un risultato numerico, perciò si farà soltanto la 3ª lettura e la grandezza della deviazione darà un'idea del grado d'isolamento.

Invece di una batteria di pile, si può adoperare una dinamo, che mantenga un voltaggio costante, da verificarsi per tutta la durata della prova per mezzo di altro voltmetro.

I conduttori multipli e quelli con speciali isolanti, per cui non si può logicamente adottare questo metodo, come sarebbero i cordoncini per lampadine portatili e campanelli, quelli per accensione delle artiglierie, ecc., saranno provati distendendoli sopra piani metallici in modo che il loro rivestimento, sia con essi nel miglior contatto possibile; si faranno le prove d'isolamento tra i piani metallici ed i conduttori e queste saranno ripetute diverse volte cambiando la posizione del conduttore.

CAPITOLO XII

Generalità sulle dinamo

§ 57 — Generalità sui motori a corrente continua

Le macchine elettriche si usano per convertire energia meccanica o termica od idraulica in energia elettrica e viceversa. Quando esse convertono una potenza meccanica in potenza elettrica prendono il nome di generatori ed in questo caso debbono essere poste in movimento da un motore quale può essere una macchina a vapore, un motore a scoppio, un motore a combustione interna od a turbina idraulica. Quando invece convertono la potenza elettrica in potenza meccanica, prendono il nome di *motori* e sono utilizzate per molteplici usi della pratica, quali ad esempio, il movimento di macchinari, veicoli, ecc.

Benchè si abbiano vari tipi di motori e vari tipi di generatori, la differenza fra essi è più nel loro uso che nei loro particolari di costruzione e nell'aspetto; infatti tale differenza è così lieve che la stessa macchina può usarsi per entrambi gli scopi senza alcuna variante e solamente con qualche modificazione di più o meno lieve entità. Le macchine elettriche generatrici possono essere costruite sia per generare corrente continua che per generare corrente alternata.

Esse si basano su tre principii fondamentali che noi abbiamo già studiato:

1° Quando un conduttore si muove in un campo magnetico viene percorso da una corrente indotta (v. cap. IX).

2° Quando una corrente percorre un conduttore immerso in un campo magnetico il conduttore stesso è sollecitato a muoversi attraverso il campo (v. cap. VIII).

3° Quando una corrente percorre un conduttore avvolto su di un nucleo di ferro, il nucleo si magnetizza (v. cap. VIII).

Chiameremo allora più propriamente *generatori* quelle macchine nelle quali, per effetto dell'induzione dovuta al movimento di un sistema di con-

duttori rispetto ad un campo magnetico, si genera nei conduttori stessi una f.e.m. indotta.

Per alcuni tipi di generatore il sistema di conduttori si muove in un campo magnetico fisso; per altri, come vedremo in seguito, il sistema di conduttori è fisso e si muove il campo magnetico.. In ogni caso vi è sempre un campo magnetico *induttore* ed un sistema di conduttori *indotto*, che sono più semplicemente chiamati rispettivamente *induttore* ed *indotto*. La parte mobile della macchina prende il nome di *rotore* e la parte immobile di *statore* indipendentemente dal loro ufficio di induttore o di indotto.

La f.e.m. che si produce è alternata. Però la corrente che si raccoglie per utilizzarla nel circuito esterno, può essere raddrizzata ed in tal caso il generatore è a corrente continua e prende il nome di *dinamo*. Quando invece la macchina è disposta in modo da fornire al circuito esterno una corrente alternata prende il nome di *alternatore*.

A bordo delle novi della R. Marina si usano per la produzione della energia elettrica, le dinamo.

Per avere il massimo rendimento nella produzione del campo magnetico, il circuito magnetico deve essere formato con materiali di forte permeabilità magnetica.

Poichè l'indotto e l'induttore debbono spostarsi l'uno rispetto all'altro, è necessario che vi sia tra essi un certo lasco il quale prende il nome di *intraferro* e nel quale le linee di forza attraversano l'aria; è evidente, dopo quanto è stato detto sui fenomeni magnetici, che lo spessore di intraferro debba essere nelle macchine ridotto al minimo.

Per comprendere bene il funzionamento di una dinamo riduciamo la macchina ad una semplice spira avvolta su di un anello di ferro e rotante in un campo magnetico uniforme, e rimandiamo il lettore a quanto abbiamo detto nel capitolo X parlando delle correnti alternate. La corrente e la f.e.m. di un tale generatore hanno l'andamento della curva rappresentata nella fig. 95; vedremo adesso come tali grandezze possano venire raddrizzate in modo da fornire al circuito esterno corrente e tensione continua.

§ 58 — **Raddrizzamento della corrente Collettore - Commutazione**

Ritornando alla figura 96 si chiama *asse neutro* la linea 1-3 ed il piano passante per questo asse e perpendicolare al piano della figura prende il nome di *piano di commutazione*. Quando la spira, nel suo movimento di rota-

zione, passa per tale piano, la corrente, in essa indotta, si inverte e questo fenomeno è stato ampiamente spiegato nel capitolo X sopraccennato.

Se si vuol raccogliere una corrente nel circuito esterno basta unire i due estremi della spira a due anelli metallici fissati sull'asse della macchina isolati fra loro e dall'asse stesso. Su questi due anelli metallici si fanno strisciare due spazzole metalliche alle quali fanno capo i due estremi del circuito esterno. In tal modo il circuito resterà chiuso ed una corrente (alternata in questo caso) circolerà nel circuito esterno. Volendo invece raccogliere nel circuito esterno una corrente diretta sempre nello stesso senso, cioè una corrente continua, bisogna ricorrere a sistemi meccanici per mezzo dei quali si possono invertire gli estremi della spira sugli anelli ogni qualvolta la f.e.m. passa per zero. A tale scopo, invece dei due anelli sopradetti, vi è calettato sull'asse della macchina un anello diviso per metà (fig. 138); ogni metà è

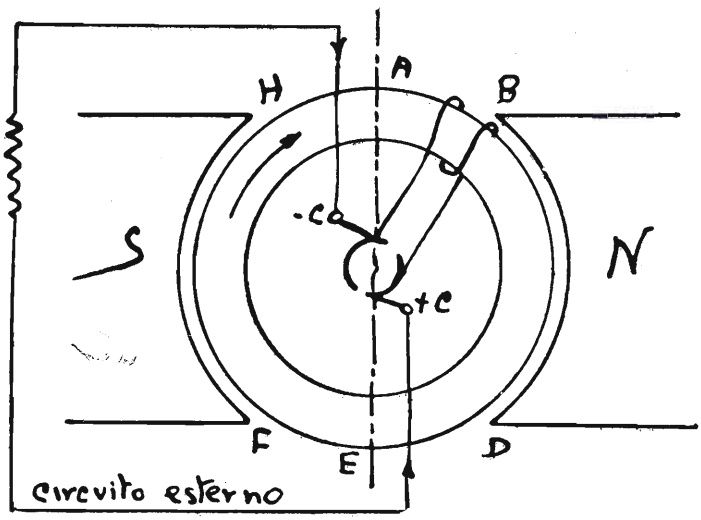


Fig. 138.

isolata dall'altra ed ambedue sono isolate dall'asse. Sopra di esse strisciano due spazzole + C e — C, immobili, collocate a 180° l'una dall'altra e connesse ciascuna ad un estremo del circuito esterno. Le spazzole debbono essere poste in modo da passare da una metà dell'anello all'altra nello stesso istante nel quale la spira passa per l'asse neutro. In tal modo la corrente che si raccoglie nel circuito esterno sarà una corrente unidirezionale *pulsante*, una corrente cioè che acquisterà, in una rotazione della spira, tutti i valori

rappresentati nella curva della fig. 139. Riassumendo, è bensì vero che nell'interno della spira la f.e.m. (e la corrente quando il circuito è chiuso) è alternata, ma, quando la f.e.m. nella spira si inverte, sotto ciascuna spazzola cambia il mezzo anello raccoglitore della corrente ed in conseguenza nel circuito esterno circola sempre corrente diretta nello stesso senso. L'anello prende il nome di *collettore*.

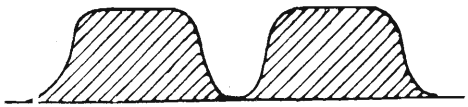


Fig. 139.

Volendo ottenere una corrente nel circuito esterno meno pulsante e che non si riduca mai a zero, bisogna aumentare il numero delle spire e distribuirle uniformemente sull'indotto. Esaminiamo la figura 140 che rappre-

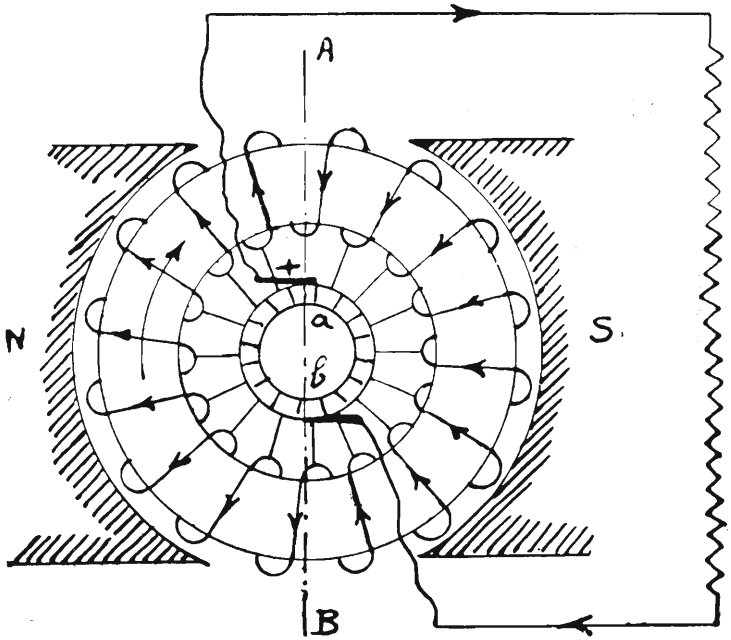


Fig. 140.

senta il caso semplice di una dinamo a due poli (*bipolare*), dove l'indotto è formato da un anello di ferro dolce sul quale sono avvolte uniformemente sedici spire riunite fra loro in modo da formare un avvolgimento continuo, chiuso su sè stesso.

L'albero dell'indotto porta il collettore il quale è ora formato da tanti segmenti di rame, quante sono le spire ed isolati uno dall'altro mediante sottili strati di mica. I tratti di connessione delle spire successive sono collegati con i segmenti del collettore per mezzo di conduttori radiali. Se tutto il sistema indotto ruota nel senso della freccia, le spire del mezzo anello di sinistra, passando davanti al polo N, sviluppano (regola della mano destra) una f.e.m. diretta nel senso delle freccie poste sulle spire stesse, ciò da davanti a dietro il piano della figura (entrante) nello stesso istante nelle spire del mezzo anello di destra, la f.e.m. è diretta dal di dietro al davanti della figura (uscente). Le spire che si trovano nel piano A B hanno f.e.m. nulla. Data la simmetria con la quale sono disposte le spire sull'anello, ne viene di conseguenza che in ogni istante la f.e.m. totale che si genera nel mezzo avvolgimento di sinistra è eguale a quello totale che si genera nel mezzo avvolgimento di destra. Ciascuna di queste due f.e.m. è la somma delle f.e.m. elementari di tutte le spire componenti un mezzo avvolgimento. Le f.e.m. totali dei due mezzi anelli non sono tuttavia costanti. Difatti le f.e.m. elementari che le costituiscono variano con il ruotare dell'indotto. Nella fig. 140, ad esempio, muovendosi l'indotto, la f.e.m. varia e riprende il valore corrispondente alla posizione della figura, solo quando la macchina ha ruotato 1/16 di giro. Si comprende come, quanto più numerose sono le spire, tanto meno pulsante è la f.e.m. ed in pratica le spire sono così numerose che la f.e.m. si può ritenere costante.

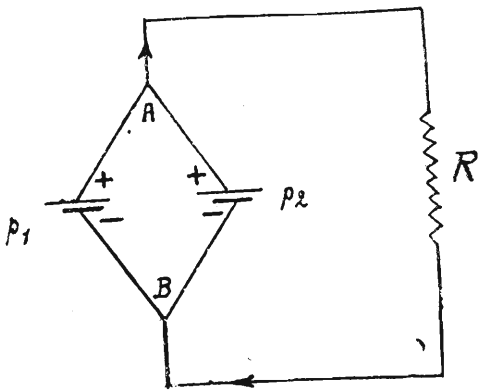


Fig. 141.

Le due f.e.m. dei due mezzi avvolgimenti sono dunque in opposizione fra loro e perciò nell'indotto stesso non circola corrente. Queste due metà si possono paragonare a due pile identiche ed accoppiate fra loro in serie ed in opposizione (fig. 141). Se mettiamo in comunicazione fra loro i punti

A e B le due pile risultano accoppiate in parallelo ed inviano corrente nel circuito ARB.

Così se, ritornando alla figura 140 in corrispondenza del piano di commutazione della dinamo si appoggiano sul collettore due spazzole nei punti *a* e *b* in comunicazione con un circuito esterno, si stabilisce sull'intero circuito esterno, una corrente che circola nel senso delle freccie; precisamente la corrente esce dalla spazzola *a* chiamata positiva, percorre il circuito esterno e rientra nell'indotto per la spazzola *b* chiamata *negativa*.

In pratica le spire sono numerosissime e sarebbe perciò meccanicamente impossibile costruire un collettore con un eguale numero di piastrine e segmenti. L'avvolgimento perciò si divide in tante sezioni ciascuna delle quali è composta da un certo numero di spire, identico per tutte; il numero delle piastrine del collettore è eguale a quello delle sezioni ed i tratti che uniscono due sezioni successive sono messi in comunicazione con una piastrina del collettore.

§ 59 — **Dinamo con indotto ad anello e dinamo con indotto a tamburo**

Il tipo di dinamo sopra descritto prende il nome di *dinamo con indotto ad anello*.

La figura 142 rappresenta una dinamo a quattro poli (*tetrapolare*), dinamo che in genere si costituiscono fino a potenze di 100 KW; per potenze maggiori si costruiscono con un numero ancora più grande di poli (*dinamo multipolari*).

Sull'indotto della dinamo della fig. 142 sono avvolte 16 spire, il collettore ha 16 piastrine. In questo caso, essendo il campo magnetico prodotto da 4 poli, è chiaro che invece di un piano di commutazione se ne abbiano due, corrispondenti alle mezzerie AA′ e BB′ degli spazi interpolari. Infatti la f.e.m. che si produce in ciascun gruppo di spire cambia direzione ogni qualvolta esso passa per le suddette mezzerie.

Riferendoci all'esempio della figura 141, paragoniamo il circuito chiuso dell'avvolgimento indotto della macchina, a quello della figura 143 nel quale non può circolare corrente. Se però noi colleghiamo fra loro i punti PP′ e QQ′ ed uniamo fra loro questi collegamenti, noi avremo nel conduttore SR una corrente diretta da S verso R, ed S con R diventano i poli di una batteria di pile in parallelo.

Nella dinamo della fig. 142 bisogna quindi applicare sul collettore quattro spazzole poste a 90° l'una dall'altra. Di queste spazzole due (Q e Q') sono positive e due (P e P') sono negative; possiamo perciò collegare insieme le spazzole positive e quelle negative e costituire così i poli della macchina.

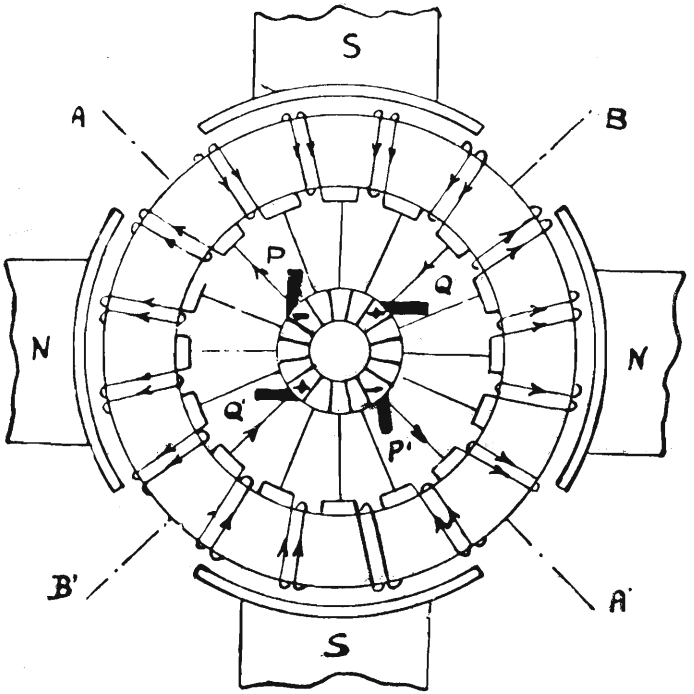


Fig. 142.

Restando in tal modo l'indotto diviso in quattro sezioni in parallelo fra loro, ne deriva che la tensione della macchina sarà quella di una sezione e l'intensità sarà la somma delle intensità di corrente circolanti in ognuna delle sezioni. Analogo ragionamento si può fare per una dinamo che abbia un numero maggiore di coppie polari.

Gli indotti ad anello hanno fatto ormai il loro tempo e sono quasi abbandonati.

Le dinamo si costruiscono oggi con gli *indotti a tamburo* i quali sono costituiti da un cilindro di materiale magnetico alla cui periferia sono disposti i fili utili dell'avvolgimento, secondo le generatrici. La fig. 144 rappresenta una dinamo bipolare a tamburo con 12 fili utili. Le connessioni a linea continua sono quelle che si trovano sulla fronte anteriore dell'indotto

e quelle a linea tratteggiata si trovano sulla fronte posteriore. Perchè le f.e.m. di differenti conduttori possono sommarsi, non debbono venire connessi conduttori esposti alla influenza del medesimo polo; fra due conduttori collegati fra loro deve intercedere una certa distanza, chiamata *passo o*

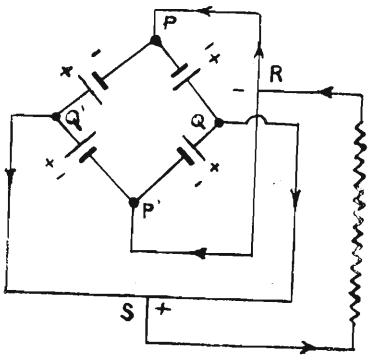


Fig. 143.

salto e misurata dal numero di fili utili che è necessario contare per giungere dall'uno all'altro. Nella dinamo della fig. 144 il passo è *cinque* su entrambe le fronti.

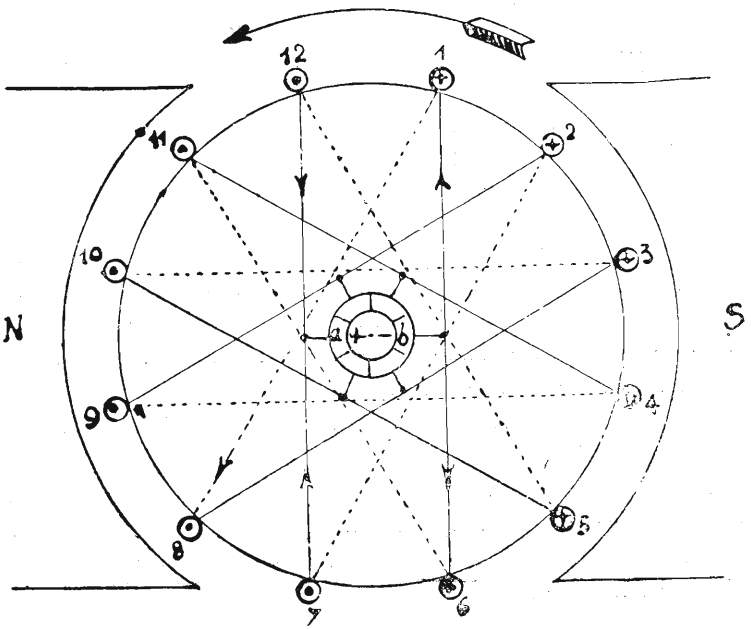


Fig. 144.

Così possiamo fare l'avvolgimento partendo dal filo 1, eseguendo il primo collegamento con il filo 6 muovendoci quindi nel senso perpendicolare al piano del foglio. Nei conduttori del mezzo tamburo di sinistra le f.e.m. indotte sono uscenti dal piano della figura e nel mezzo tamburo di destra sono entranti (Regola di Fleming della mano destra). Percorrendo l'avvolgimento si vede che la f.e.m. dei conduttori 1 - 8 - 3 - 10 - 5 - 12 sono in serie e la f.e.m. loro somma è in opposizione con la f.e.m. somma delle f.e.m. dei conduttori 6 - 11 - 4 - 9 - 2 - 7, pure in serie. Le lamelle del collettore sono in numero di metà di quello dei fili utili, ossia tante quante è il numero delle spire ed ogni lamella è connessa con il punto di mezzo dei collegamenti anteriori. Le spazzole, come al solito, sono in comunicazione con queste lamelle e la spazzola positiva va posta in *a*, quella negativa in *b* e la linea che le congiunge è perpendicolare al piano di commutazione, dividendo l'avvolgimento in due correnti in parallelo, eguali.

§ 60 — **Eccitazione - Induttori**

Si presenta ora la questione del come ottenere il campo magnetico dentro il quale deve ruotare l'indotto per ottenere la trasformazione di energia meccanica, in energia elettrica.

In alcune macchine antiche si usavano le calamite permanenti le quali però sono presto cadute in disuso perchè di prezzo elevato e per la scarsa intensità del campo che potevano fornire. Attualmente si usano quasi esclusivamente elettrocalamite le quali, con molta minore spesa, possono fornire campi intensi.

Il sistema induttore è formato da nuclei di ferro collocati in direzione radiale e sui quali sono avvolte le spirali di eccitazione; la carcassa che li riunisce si può fare di ghisa, ma meglio è di ferro o di acciaio dolce, ed inoltre deve avere una sezione conveniente per dare passaggio al flusso. Nel tratto su cui si avvolgono le spire di eccitazione i nuclei si fanno di sezione costante; terminano poi verso l'intraferro con le espansioni polari. Le figure 145, 146 e 147 rappresentano alcuni tipi di induttori più in uso.

Per inviare corrente nel circuito di eccitazione ci si può servire di una sorgente esterna, quale un'altra dinamo od una batteria di accumulatori, ed in tal caso abbiamo la dinamo ad *eccitazione indipendente;* oppure ci si può servire della corrente fornita dalla dinamo stessa ed allora abbiamo la dinamo *autoeccitatrice*. L'avvolgimento può essere messo in serie con l'indotto e con il circuito esterno ed in tal caso tutta la corrente fornita dall'in-

dotto circola nell'eccitazione. La macchina prende il nome di *dinamo in serie* (fig. 148).

D rappresenta l'indotto, M la spirale di eccitazione ed L gli utenti.

L'avvolgimento invece può essere messo in derivazione tanto sull'indotto che sul circuito esterno; in tal modo si hanno due circuiti derivati L

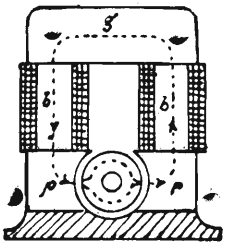


Fig. 145.

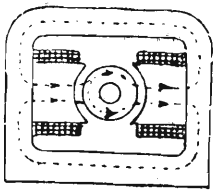


Fig. 146

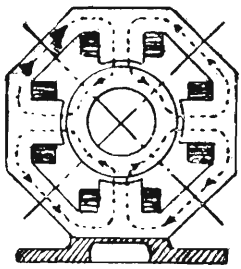


Fig. 147.

ed M ed un circuito principale costituito dall'indotto G. La macchina prende allora il nome di *dinamo in derivazione* (fig. 149).

Dipendendo l'intensità del campo magnetico dal numero di ampère spire (v. cap. VIII) dell'avvolgimento, nella dinamo in serie, nella cui eccitazione circola tutta la corrente dell'indotto, saranno necessarie per il campo induttore poche spire di filo, mentre che nella dinamo in derivazione, circolando nell'eccitazione debole corrente, il campo induttore dovrà essere costituito da un numero di spire molto maggiore che nel caso precedente.

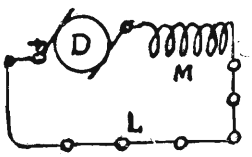


Fig. 148.

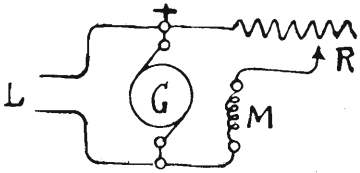


Fig 149.

Infatti, dovendo cercare di ridurre sempre al minimo le perdite per effetto Joule, date dal prodotto RI^2, e non potendo *nella dinamo in serie* diminuire la corrente I circolante nell'eccitazione, sarà necessario diminuire R costruendo l'eccitazione stessa con filo di grande sezione. Nella dinamo in

derivazione invece, la corrente dell'indotto si suddivide fra il circuito esterno ed il circuito induttore e, se indichiamo con V la d. d. p. alle spazzole e con R la resistenza del circuito induttore, la corrente che circola in quest'ultimo sarà $i = V/R$ e la potenza perduta per effetto Joule sarà: V^2/R e per renderla piccola, non potendo diminuire V, bisognerà aumentare R.

Dalle due precedenti disposizioni derivano altri due tipi di dinamo nei quali i nuclei induttori portano due spirali di eccitazione, una in serie ed una in derivazione ed essa prende il nome di *dinamo composta o compound.*

Però il collegamento si può fare in due modi diversi. Nella disposizione della figura 150 la spirale D è in derivazione alle spazzole e la spirale S è in serie sul circuito esterno; nella disposizione della figura 151 la spirale S è in serie con l'indotto e la spirale D è derivata ai poli del circuito esterno. La prima prende il nome di *dinamo composta con derivazione breve* e la seconda di *dinamo composta con derivazione lunga.*

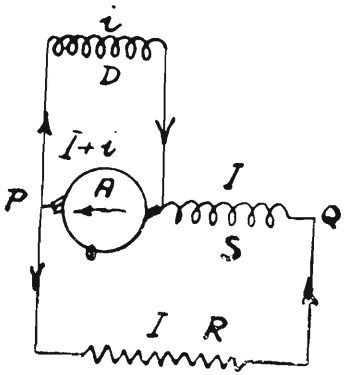


Fig. 150.

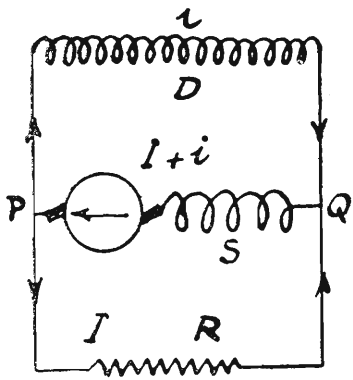


Fig. 151.

L'autoeccitazione è possibile perchè, appena costruita la macchina, si magnetizzano gli induttori inviando corrente negli avvolgimenti. Cessata la corrente non cessa la magnetizzazione ma rimane nei nuclei del magnetismo residuo capace di generare nell'indotto, quando una forza agente lo fa girare, una piccola f.e.m. Tale f.e.m. a sua volta produce nell'indotto una corrente la quale, percorrendo gli induttori, aumenta la loro magnetizzazione; aumenta in tal modo la f.e.m. indotta e così via fino a che la macchina non ha raggiunto il suo regime stabile.

§ 61 — Reazione di indotto - Commutazione Poli ausiliari - Circuiti compensatori

Reazione d'indotto. — Chiudendo su di una resistenza esterna l'indotto di una dinamo, circola in esso una corrente, che come qualunque altra corrente elettrica percorrente un conduttore qualsiasi, produce un campo magnetico. Questo si compone con il campo magnetico induttore, modificandone il valore e la distribuzione. La resistenza ohmica dell'indotto produce inoltre una caduta di tensione.

L'insieme di questo fenomeno prende il nome di *reazione d'indotto.* Per studiarlo, scegliamo il caso più semplice, di una macchina bipolare. (Vedi figura 152).

Con la regola mnemonica citata nel paragr. 37 del Capit. IX, facilmente si ricorda che muovendosi l'indotto come è indicato in figura, i fili passanti sotto il polo N danno f.e.m. entrante (+), quelli passanti sotto il polo S danno f.e.m. uscente dal piano del disegno (.).

Il gruppo di fili che sta di fronte al polo N dà luogo ad un flusso disegnato in figura che è concorde con il flusso induttore nella metà destra della faccia polare Nord e contrario nella metà sinistra.

Il flusso risultante della faccia polare N e delle spire d'indotto innanzi a quella, sarà un flusso aumentato nella metà destra, ed indebolito nella metà sinistra.

Analogamente si vede che il flusso risultante della faccia polare Sud e delle spire d'indotto innanzi a quella, sarà un flusso aumentato nella metà sinistra, ed indebolito nella metà destra.

Il flusso non si annulla dunque più in corrispondenza del piano O O', ma si annulla in corrispondenza del piano A B ruotato rispetto al primo in avanti nel senso di rotazione dell'indotto.

E nel piano A B, dovranno dunque essere portate le spazzole, perchè quello è il piano d'inversione effettivo della dinamo sotto carico, cioè che fornisce corrente, mentre O O' è il piano d'inversione della dinamo a vuoto, cioè a circuito esterno aperto.

Lo spostamento delle spazzole portate come si è detto in avanti nel senso della rotazione dell'indotto, causa però una modificazione nel senso della corrente che percorre i conduttori compresi negli spazi interpolari, e precisamente dopo effettuato detto spostamento i fili percorsi da corrente entrante

sono quelli compresi fra i piani A A' O B, mentre gli altri conduttori sono percorsi da corrente uscente.

Tracciando per comodità di studio, un piano B' A' simmetrico del piano A B rispetto al piano O O', potremo fare quattro suddivisioni dei conduttori.

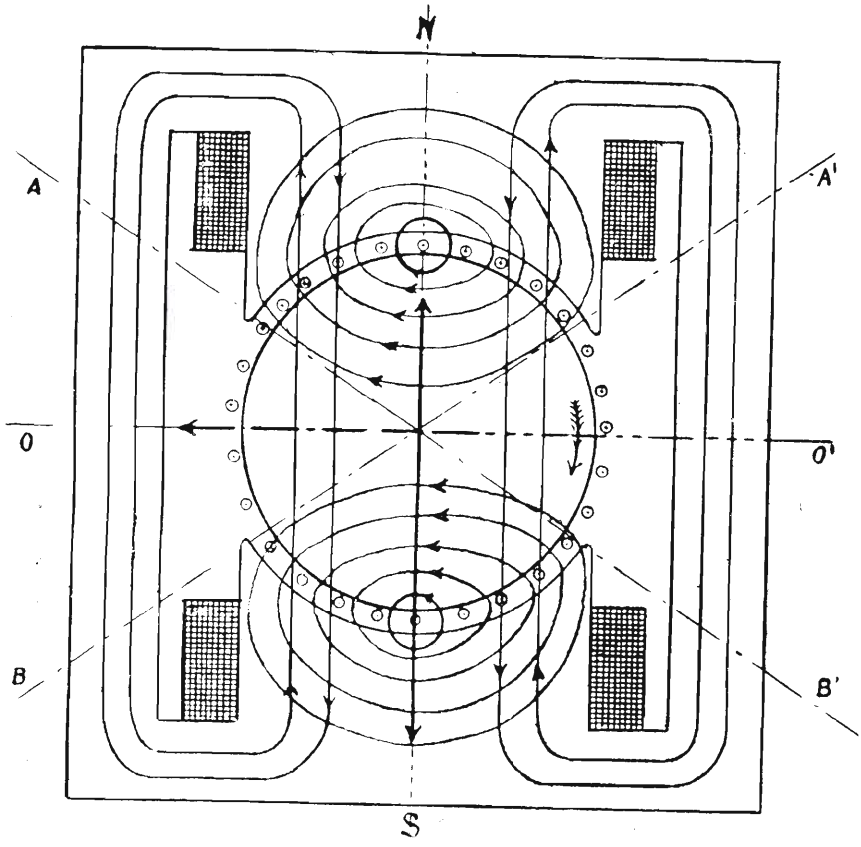


Fig. 152.

Nei due gruppi di conduttori compresi tra i piani A B e A' B' la corrente circola in modo da produrre un flusso contrario al flusso induttore. (Le linee di forza si chiudono attraverso il circuito magnetico formato dall'indotto e dall'induttore).

A queste spire che producono un flusso contrario, si dà il nome di spire contrarie o controspire.

Nei due gruppi di conduttori compresi fra i piani A A', e B B' la corrente invece circola come abbiamo già visto in modo da produrre un campo che deforma, che storce il campo induttore.

Alle spire suddette che producono questo flusso si dà il nome di spire trasverse.

Si è molto studiato di trovare rimedio a questo grave inconveniente della deformazione del flusso induttore, sperimentando forme asimmetriche di masse polari.

Ma il miglior provvedimento ideato è l'avvolgimento di compensazione. Esso è un avvolgimento (fig. 153) che alloggia in scanalature praticate nei poli induttori, parallelamente ai fili dell'indotto. Tale avvolgimento è percorso dalla corrente in modo da produrre un campo magnetico contrario e della medesima intensità di quello prodotto dall'indotto stesso. Poichè con l'aumentare della corrente fornita dalla dinamo aumenta il campo prodotto dall'indotto, è necessario aumentare analogamente il campo creato dall'avvolgimento di compensazione e ciò si ottiene ponendo detto avvolgimento in serie con l'indotto. In tal modo si evita lo spostamento delle spazzole in conseguenza della reazione dell'indotto.

Ma vi è anche un altro effetto che determina uno spostamento ancora maggiore e questo è l'effetto della selfinduzione delle spire nel momento nel quale esse passano per il piano di commutazione. La figura 154 rappresenta

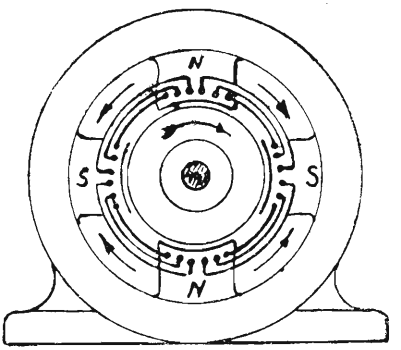


Fig. 153.

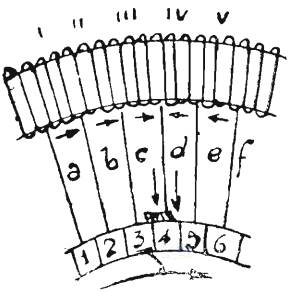


Fig. 154.

un settore del sistema indotto-collettore con i relativi collegamenti fra ogni segmento e gruppo di spire. Supponiamo che in un certo istante la spazzola positiva tocchi il segmento 4. La corrente arriva alla spazozla, da una parte, attraverso i gruppi di spire I - II - III, dall'altra per i gruppi IV - V. Un momento dopo, girando l'indotto nel senso della freccia, la spazzola dovrà

toccare insieme i due segmenti 3 e 4; allora la spirale III resta chiusa in corto circuito perchè i suoi capi terminano in 3 e 4. La corrente allora passa direttamente alla spazzola per i conduttori *c* e *d* e la spirale III è per un istante esclusa dal circuito.

Siccome tutto ciò avviene quando la spira passa per il piano di commutazione, quando cioè in essa non si produce alcuna f.e.m., può sembrare che questo sia il momento più opportuno per ottenere una buona commutazione. Ma non è così, perchè bisogna notare che, quando la spazzola abbandona la piastrina 4, la spira III passa sulla destra del piano di commutazione e, mettendosi in serie con i gruppi IV e V, viene investita repentinamente da una forte intensità di corrente diretta in senso contrario alla corrente che precedentemente l'aveva percorsa.

Questo aumento istantaneo di corrente dal valore vero al valore normale, provoca nella spirale III una f.e.m. di autoinduzione la quale ostacola tanto il passaggio di corrente da far sì che la corrente si trovi più agevole ad evitare la spira III e passare direttamente alla spazzola saltando attraverso la piastrina 4, e producendo un conseguente arco voltaico. L'arco voltaico produce il riscaldamento e l'asportazione di particelle di rame dal collettore stesso. Al susseguirsi delle piastrine sotto alle spazozle il fenomeno si rinnova continuamente e lo scintillìo aumenta sia per la temperatura sempre maggiore che assume il collettore, che per la minor resistenza offerta dall'aria così riscaldata al passaggio della corrente, con evidente rapido deterioramento del collettore stesso.

Vediamo ora quali siano i rimedi escogitati per annullare od attutire questi pericolosi inconvenienti. Un primo mezzo logico è quello di rendere possibilmente piccola l'induttanza delle spirali e ciò si ottiene facendole di poche spire, aumentando di conseguenza il numero delle piastrine del collettore. Inoltre, le spazzole si spostano in avanti, nel senso del moto dell'indotto, più di quanto non sia stato richiesto dalla reazione dell'indotto.

Infatti, come abbiamo detto, il piano di commutazione, essendo normale alla direzione del campo, rappresenta una zona nella quale non vi è influenza del flusso ed è per questo che la spirale, passando per il piano di commutazione non è sede di alcuna f.e.m. Ma se noi spostiamo le spazzole in avanti, la commutazione non avverrà più in una zona di flusso zero; questo flusso, benchè debole, sarà sensibile e di direzione tale da produrre nella spira che viene a trovarsi in corto circuito, una f.e.m. di senso eguale a quello della corrente che un istante dopo dovrà percorrerla. Se questa f.e.m. è di intensità tale da far equilibrio alla f.e.m. di autoinduzione che si desta nella spirale all'atto della commutazione, l'arco voltaico scompare.

E' chiaro che il fenomeno della commutazione è tanto più sensibile quanto maggiore è la f.e.m. di autoinduzione e quindi la corrente che percorre l'indotto. Sarà perciò necessario spostare le spazzole a seconda della variazione di questa corrente.

L'angolo del quale vengono spostate le spazzole dal piano di commutazione a vuoto, per effetto della reazione dell'indotto e per il fenomeno della commutazione, viene chiamato *angolo di calaggio*. Praticamente questo angolo si trova per tentativi; il collare porta-spazzole viene spostato fino a che lo scintillio che si verifica sul collettore e prodotto dagli archi voltaici, non scompare. E' ovvio, dopo quanto si è venuto esponendo, che l'angolo di calaggio deve essere variato a seconda che la *dinamo lavora a maggiore o minore carico*.

Per evitare, almeno in parte, lo spostamento delle spazzole dipendente dal fenomeno della commutazione, le macchine moderne hanno i *poli ausiliari od interpoli*. Essi sono piccoli poli induttori, sistemati fra i poli induttori principali (fig. 155), i quali danno luogo, in corrispondenza della mezzeria

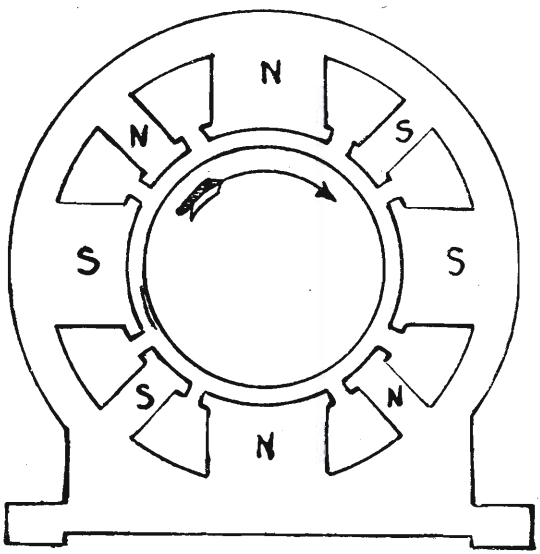


Fig. 155.

degli spazi interpolari, al campo necessario per la commutazione; a quello cioè che, poco fa, cercavamo di creare spostando le spazzole negli interpoli, per produrre nella spirale commutata una f.e.m. indotta dello stesso senso della f.e.m. e quindi della corrente che in un istante successivo percorrerà

la spira, deve essere inviata corrente in modo da produrre un campo di polarità dello stesso nome del polo immediatamente successivo nel senso del movimento dell'indotto. L'intensità del campo ausiliario deve crescere e diminuire insieme all'intensità di corrente fornita dalla macchina affinchè la commutazione si compia in condizioni favorevoli; di conseguenza il mezzo generalmente adottato per eccitare gli interpoli consiste nell'avvolgere sopra di essi alcune spire di filo, in serie con l'avvolgimento indotto.

Gli interpoli, oltre ad evitare il fenomeno della commutazione per il quale sono stati ideati, aiutano a compensare, appunto per il campo che producono e per la sua direzione, anche la reazione dell'indotto.

§ 62 — **F. E. M. indotta in un generatore**

Vediamo, prima di ogni cosa, quale sia il valore della f.e.m. indotta in una sola spira. Indichiamo con T il tempo impiegato dall'anello della fig. 138 a compiere un giro completo e con Φ il flusso totale uscente dalla faccia Nord del campo induttore. Il flusso che esce dalla faccia Nord si divide in due parti ognuna delle quali percorre una metà dell'anello e quindi facile vedere che il massimo flusso intercettato da una spira è eguale a $\Phi/2$, come il minimo è eguale a zero. Tale variazione di flusso sappiamo che ha luogo 4 volte ogni giro completo. Vale a dire che una variazione di flusso eguale a $\Phi/2$ si ha in ogni quarto di giro dell'indotto, ossia in un tempo T/4. Sappiamo che la f.e.m. indotta in una spira è rappresentata dalla variazione di flusso in un determinato tempo e sarà dunque:

$$E = \frac{\frac{\Phi}{2}}{\frac{T}{4}} = \frac{4\,\Phi}{2\,T} = \frac{2\,\Phi}{T}$$

Se ora indichiamo con n il numero dei giri che l'indotto fa in un secondo, il tempo T impiegato a compiere un solo giro dato da 1/n. Sostituendo a T il suo valore avremo:

$$e = \frac{2\,\Phi}{\frac{1}{n}} = 2n\,\Phi$$

Se N è il numero delle spire la somma delle f.e.m. indotte in tutte le spire sarà dato da:

$$e = 2\,N\,n\,\Phi$$

Ma essendo le due metà delle spire poste in parallelo, la f.e.m. risultante è quella di una sola metà e quindi:

$$e = \frac{2\,e\,N\,n\,\Phi}{2} = N\,n\,\Phi$$

Se il flusso è espresso in unità C. G. S. per avere il risultato in volts dovremo dividere per 100.000.000.

Questa formula serve per calcolare la f.e.m. tanto in una dinamo bipolare ad anello quanto in una dinamo multipolare, perchè sappiamo che anche la f.e.m. di una di tali dinamo è eguale a quella fornita dai fili utili compresi fra due piani di commutazione successivi. Vale anche per le macchine multipolari a tamburo con avvolgimento in parallelo, perchè, anche in tale tipo di macchina, i fili utili dell'avvolgimento sono divisi in un numero di parti eguale a quello dei poli, come nelle macchine multipolari ad anello.

§ 63 — **Vari tipi di dinamo - Loro comportamento Caratteristiche**

Le dinamo si dividono in tipi diversi a seconda del loro numero di poli, per cui si possono distinguere in bipolari e multipolari.

Ogni casa costruttrice ha cercato di dare al suo tipo qualche vantaggio che possa farlo prescegliere rispetto agli altri tipi in commercio.

Circa i particolari costruttivi ne abbiamo accennati alcuni durante la esposizione dei principii fondamentali; diremo ancora che il nucleo dell'indotto è formato da un pacco di lamierini di ferro dolcissimo, tagliati a disco mediante trancie. I dischi, di spessore di mm. 0,3 circa, sono isolati fra loro con vernice o con sottilissimi fogli di carta. I pacchi di dischi vengono pressati, imbullonati ed infilati sull'albero della dinamo. Tutto ciò è fatto, come abbiamo già visto, per evitare il generarsi, nella massa metallica, delle correnti parassite di Foucault. Il collettore è costituito da segmenti circolari di rame *indurito*, isolati fra loro da strati di carta, mica, ecc.

Le spazzole si facevano una volta metalliche, cioè con un mazzo di sottili lamelle di rame o di rete; attualmente si fanno con blocchetti di carbone grafitico. Questi blocchetti sono portati da una porta-spazzole e muniti di molle mediante le quali si può regolare la pressione delle spazzole stesse sul collettore. I porta spazzole sono infilati su di un braccio di ottone fissato su di un anello coassiale all'albero dell'indotto, in modo che, spostando l'anello, si spostano contemporaneamente tutte le spazzole del collettore.

Nelle distribuzioni dell'energia elettrica è in generale necessario che ai poli dei ricevitori derivati sopra un circuito esterno la corrente mantenga una d.d.p. costante oppure che l'intensità della corrente che percorre i ricevitori in serie in un circuito sia costante. Bisogna quindi che la dinamo generatrice mantenga costante la corrente erogata o la d.d.p. a seconda che gli utenti alimentari sono in serie oppure in derivazione. Nelle dinamo eccitate in serie od in derivazione la corrente si regola mediante reostati, i quali introducono in serie con l'avvolgimento induttore delle resistenze variabili che modificano il campo stesso. La manovra dei reostati può essere fatta a mano oppure automaticamente. Le dinamo ad eccitazione compound sono, entro certi limiti, autoregolatrici; nella pratica però non hanno dato quei risultati che si speravano dalla teoria ed il loro impiego è rimasto perciò limitato. In generale si preferiscono le dinamo eccitate in derivazione e le dinamo autoeccitatrici.

Praticamente importa conoscere se le dinamo, a seconda del modo nel quale sono eccitate, sono capaci di funzionare a corrente costante e f.e.m. variabile, ovvero a tensione costante e corrente variabile, ed in caso contrario a quali artifici bisogna ricorrere per ottenere la voluta regolazione. Questo studio viene eseguito mediante l'esame di speciali curve dette curve caratteristiche.

Dalla relazione $e = K\, n\, \Phi$ sappiamo che la f.e.m. di un generatore e quindi la corrente non variano solo con la resistenza del circuito esterno e dell'intensità del campo, ma anche con la velocità di rotazione della macchina. E' stato necessario rappresentare graficamente le relazioni che intercedono fra questi elementi, e si è così costruito le curve caratteristiche, diverse per ogni tipo di dinamo e rappresentanti il loro singolo funzionamento. Le caratteristiche che si possono ottenere da una dinamo sono diverse a seconda che si considerano le variazioni della f.e.m. della dinamo a circuito aperto od a circuito chiuso, oppure le variazioni della f.e.m. a circuito chiuso quando ad essa vengono aggiunte o no le relative perdite di carico interne. Le curve che così si ottengono prendono rispettivamente il nome di *caratteristica a circuito aperto, caratteristica totale a circuito chiuso e caratteristica esterna.*

Noi accenneremo brevemente alla caratteristica esterna che si ottiene quando la dinamo è già costruita, facendo funzionare la macchina alla sua velocità normale e mantenendo il circuito chiuso su di una resistenza regolabile, in modo che la corrente possa farsi aumentare da zero fino al valore massimo. Un amperometro inserito sul circuito esterno ed un voltmetro posto in derivazione ai poli della dinamo ci dànno, in ogni momento i valori delle grandezze elettriche. Come abbiamo fatto per studiare le curve dei valori di

una corrente alternata, prendiamo un foglio sul quale siano tracciati due assi a 90°. Sopra quello verticale segneremo i diversi valori della tensione ai poli della macchina e su quello orizzontale i valori della corrente nel circuito esterno. Ad ogni variazione della resistenza esterna avremo un valore della tensione ai poli ed un valore della corrente. Portando questi valori rispettivamente sugli assi avremo, per ogni coppia di valori, aa^1, bb^1, cc^1, ecc., un punto A, B, C, ecc., rappresentato dall'incontro ipotetico delle due linee, una verticale ed una orizzontale, passanti per i valori stessi (fig. 156).

Dopo aver preso molte coppie di valori uniamo con una linea continua tutti i punti di incontro. Detta curva ci darà il modo di variazione della tensione ai poli della dinamo in relazione alla variazione della corrente nel circuito esterno.

Caratteristica della dinamo ad eccitazione indipendente od autoeccitatrice (fig. 157).

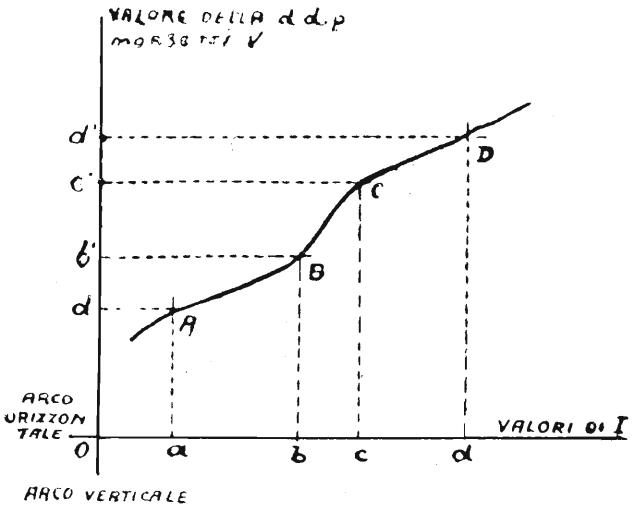


Fig. 156.

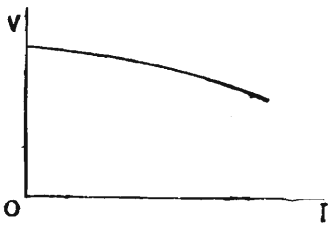


Fig. 157.

L'esame della curva ci dice che la dinamo si avvicina, almeno nel primo tratto, a dare una tensione presso a poco costante e quindi si presta per alimentare una rete di distribuzione in parallelo.

La tensione ai morsetti della dinamo è (legge di Ohm):

$$V = E - r\,I$$

dove E è la f.e.m. della dinamo, che differisce dalla tensione ai poli V della caduta di tensione dovuta alla resistenza r dell'indotto.

Col crescere della corrente nell'indotto, anche considerando r costante, si vede bene che V diminuisce.

Realmente con l'aumento della corrente che percorre l'indotto, questo si riscalda, e per questo aumento di temperatura la sua resistenza non è costante, ma aumenta, e provoca quindi al crescere della intensità della corrente, una caduta di tensione ancora maggiore.

Per mantenere costante il potenziale V, si varia la eccitazione della macchina variando la corrente nel circuito di eccitazione agendo sulla sorgente esterna che alimenta detto circuito, mediante un reostato in serie inserito sul circuito stesso.

Caratteristica della dinamo ad eccitazione in serie (fig. 158).

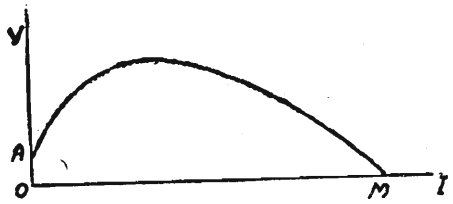


Fig. 158.

In questa dinamo la corrente di eccitazione è quella stessa del circuito esterno. Quando la macchina è a circuito aperto non vi è altro flusso induttore che quello dato dal debole magnetismo residuo. La f.e.m. risulta perciò piccola e poichè, come sappiamo la d. d. p. a vuoto ai morsetti V è eguale alla f.e.m., la d. d. p. ha il piccolo valore OA. Chiudendo il circuito su di una forte resistenza esterna e diminuendo poi gradatamente la resistenza stessa abbiamo ottenuto tanti valori delle grandezze V ed I con i quali abbiamo tracciato la curva caratteristica AM.

Dall'esame di questa si vede chiaramente che, in condizioni ordinarie, la dinamo in serie non è adatta a dare nè tensione nè corrente costanti. Tuttavia essa si presta, con la regolazione opportuna, ad alimentare un circuito a corrente costante. La dinamo in serie, fornisce una corrente che va continuamente aumentando al diminuire della resistenza esterna.

La regolazione si fa (e può anche essere automatica) inserendo in derivazione agli estremi della eccitazione, un reostato R (fig. 159). Quando il circuito esterno ha la minima resistenza e richiede quindi una piccola f.e.m. si riduce la resistenza del reostato in modo che soltanto una piccola frazione

della corrente passi per il circuito di eccitazione ed il flusso perciò sia debole. Man mano che cresce la resistenza del circuito esterno e si richiede quindi maggiore f.e.m. per mantenere la corrente costante, si inserisce maggiore resistenza nel reostato e così cresce la corrente eccitatrice.

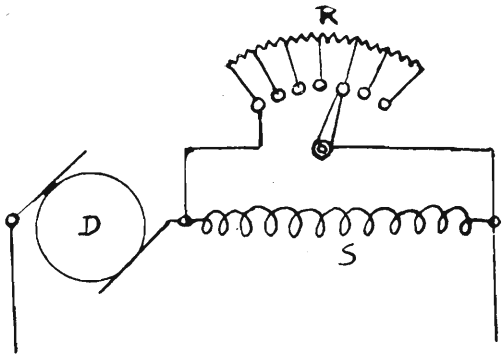


Fig. 159.

Caratteristica della dinamo ad eccitazione in derivazione (fig. 160). Riprendiamo in esame le due relazioni:

$$E = K\,n\,\phi \qquad e \qquad V = E - r\,I$$

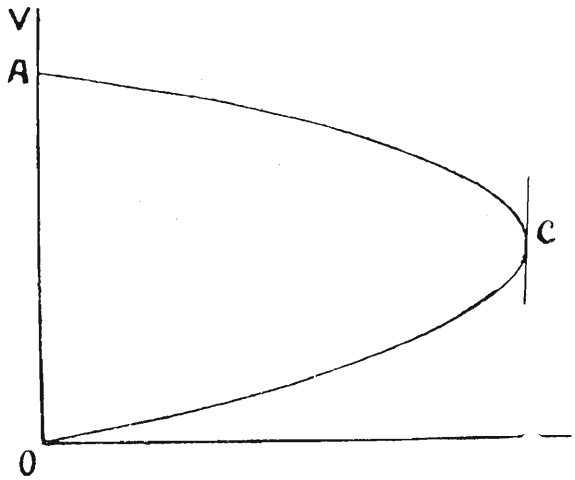


Fig. 160.

le quali ci dànno il valore della f.e.m. della dinamo e la d. d. p. ai suoi corsetti. Noi sappiamo che nella dinamo in derivazione (figura 149) la corrente fornita dalla macchina si divide nel circuito induttore e nel circuito esterno

e ciò proporzionalmente alle resistenze rispettive. Supponiamo che la resistenza del circuito esterno diminuisca; aumenterà allora la corrente erogata dalla dinamo. Ma se la resistenza esterna diminuisce, la corrente troverà più facile passaggio attraverso il circuito esterno che attraverso il circuito di eccitazione e perciò in quest'ultimo essa diminuirà, producendo una diminuzione nel flusso induttore. Questa diminuzione, unita all'aumentato effetto della reazione dell'indotto dovuto alla maggiore corrente circolante, causerà una diminuzione nella f.e.m. della dinamo provocando un abbassamento della d. d. p. ai morsetti V. Osservando infatti la curva caratteristica rappresentata nella figura 160, constateremo questo abbassamento nel tratto AC. Escludendo ancora resistenza, per quanto abbiamo sopra detto, la corrente nell'eccitazione si indebolisce maggiormente tanto che presto il flusso induttore risulta annullato dalla reazione dell'indotto ed allora la dinamo si diseccita (tratto C O della curva caratteristica).

In conclusione questo tipo di macchina si diseccita se la resistenza esterna è troppo piccola. E' chiaro che, con una regolazione opportuna, la dinamo in questione può essere utilizzata per alimentare una linea con distribuzione in parallelo. Non si presterebbe invece ad alimentare una linea con distribuzione in serie che nel tratto di caratteristica prossimo a C ma, come si vede, detto tratto è assai poco stabile. Per la regolazione si ricorre ad un reostato in serie con l'eccitazione, analogamente a quanto si è detto per la dinamo ad eccitazione separata (fig. 161).

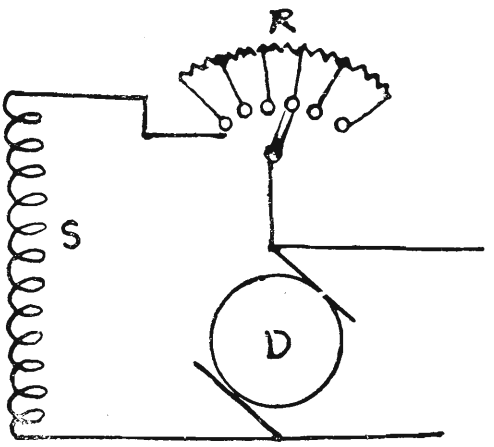


Fig. 161.

Il tipo di dinamo in parola ha il pregio, per le sue caratteristiche, di poter essere usata per *la carica delle batterie di accumulatori*.

Nell'eseguire la carica di una o più batterie di accumulatori, se per un istante, ad esempio, per una diminuzione di velocità dell'indotto, viene a ridursi la f.e.m. generata dalla dinamo fino ad essere di valore inferiore a quella della f.c.e.; m. della batteria in carica, la corrente si inverte, e nel breve periodo di tempo nel quale si mantiene la condizione suddetta, non è più la dinamo che fornisce energia agli accumulatori, ma sono questi che inviano corrente nell'indotto.

Nell'esaminare le conseguenze di questa inversione, consideriamo per primo il caso di una dinamo ad eccitazione in serie (fig. 162).

In questo caso, la corrente che si inverte nel circuito, si inverte pure nell'avvolgimento di eccitazione, producendo la inversione della polarità della macchina, che da quel momento in poi, eroga una corrente di senso opposto a quella prima erogata.

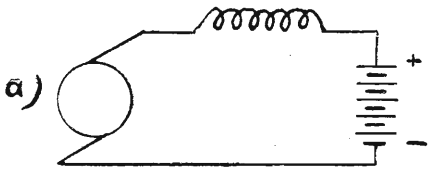


Fig. 162.

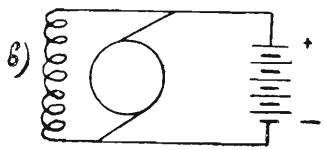


Fig. 163.

Se si considera, che la forza contro-elettromotrice degli accumulatori che prima si opponeva al passaggio della corrente, adesso invece la aumenta, si comprende come la corrente invertita possa assumere valori rilevanti (di corto circuito), causando la immediata scarica e gravi avarie agli accumulatori stessi.

Consideriamo invece il caso di una dinamo eccitata in derivazione.

Osserviamo subito che all'analogo ridursi della f.e.m. erogata dalla dinamo, la corrente si inverte nel circuito di carica, ma non nella eccitazione.

La dinamo eccita in derivazione cioè continua ad erogare corrente nello stesso senso, ed appena l'indotto compierà nuovamente il regolare numero di giri, riprenderà a caricare la batteria.

Da quanto sopra, chiaramente risulta che per effettuare la carica di batterie di accumulatori, è conveniente scegliere per generatrice una dinamo eccitata in derivazione anzichè una dinamo eccitata in serie.

Caratteristica della dinamo ad eccitazione composta.

Nella (fig. 164) sono riportate le curve caratteristiche di una dinamo in derivazione e di una dinamo in serie. Osservandole bene si vede come, facendo lavorare la macchina nel primo tratto della curva, mentre per la dinamo in derivazione la d. d. p. ai morsetti diminuisce all'aumentare della corrente, per la dinamo in serie avviene il contrario. Se allora si sovrappongono, nella stessa macchina, le due eccitazioni studiandone il modo migliore, si potrà ottenere una macchina che funzioni a tensione costante e la cui curva caratteristica sia quindi una linea orizzontale. Tale condizione si può rag-

giungere quasi in modo assoluto inserendo un reostato in serie sulla spirale di eccitazione in derivazione.

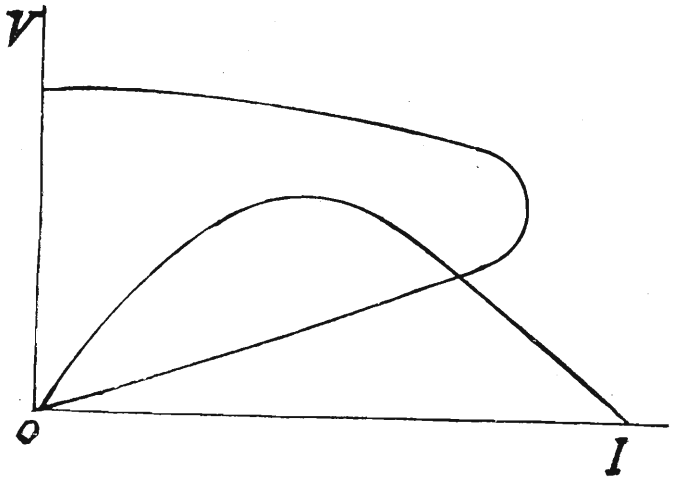


Fig. 164.

Come si vede dalla relazione $E = K\, n\, \Phi$, una variazione di velocità produce una variazione della f.e.m. della dinamo e perciò è assolutamente necessario che i motori destinati a trascinare le dinamo abbiano perfetti regolatori di velocità.

§ 64 — **Perdite - Potenza - Rendimento della dinamo**

Sappiamo bene che una dinamo per erogare energia ed alimentare un circuito esterno deve essere mantenuta in rapido movimento di rotazione per mezzo di un motore che può essere termico, idraulico, od elettrico; motore il quale applica alla dinamo una certa energia meccanica. Supponiamo di conoscere il valore della potenza di questo motore e di confrontarlo con la potenza elettrica fornita dalla dinamo al circuito esterno che è eguale *alla d. d. p. ai suoi morsetti V moltiplicata per la corrente I circolante nel circuito esterno*. Noi vedremo che la potenza spesa dal motore per mantenere in moto la dinamo è maggiore della potenza ricavata ai morsetti dalla macchina. Ciò vuol dire che nella trasformazione dell'energia meccanica in energia elettrica, si sono avute delle perdite. Elenchiamole brevemente per sommi capi: vi sono *perdite meccaniche* rappresentate dalla potenza spesa per vincere l'at-

trito dell'asse della macchina con i cuscinetti e l'attrito del tamburo con l'aria ambiente (*perdite per ventilazione*). Vi sono poi le *perdite nel ferro* che sono perdite per isteresi nel nucleo di ferro dell'indotto, il quale è sottoposto a magnetizzazione alternata nella sua rotazione di fronte alle masse polari. Queste perdite dànno luogo a riscaldamento del nucleo stesso. Vi sono inoltre le perdite dovute alle correnti parassite nel nucleo metallico dell'indotto, perdite che si rivelano, anche, sotto forma di calore.

La potenza disponibile nella dinamo, dopo queste perdite, prende il nome di *potenza elettrica totale* ed è rappresentata dal prodotto della f.e.m. della dinamo moltiplicata per la corrente circolante nel circuito esterno. Avremo perciò:

$$P_t = E\ I$$

Non tutta questa potenza però viene utilizzata nel circuito esterno perchè vi è la perdita dovuta al riscaldamento dell'avvolgimento indotto e di quello induttore se la dinamo è autoeccitatrice. Considerando una dinamo ad eccitazione separata, nella quale la potenza al circuito induttore è fornita da una sorgente esterna, indicando con r la resistenza dell'avvolgimento indotto, e con I la corrente che circola, avremo la solita ben conosciuta espressione:

$$E = V + rI \qquad \text{e moltiplicando tutto per I:}$$

$$E\ I = V\ I + r\ I^2$$

Il prodotto E I sappiamo che rappresenta la potenza elettrica totale, il prodotto V I è la *potenza utile* ed il prodotto rI^2 rappresenta la potenza consumata in calore per effetto Joule nell'avvolgimento indotto, ossia rappresenta quella che si chiama la *perdita nel rame*.

Abbiamo già detto (v. cap. III) che quando si trasforma dell'energia da una forma all'altra, il rapporto fra la potenza che si ricava e quella che si fornisce all'apparecchio, dove la trasformazione avviene, prende il nome di *rendimento*. Nelle dinamo si considerano due rendimenti e cioè quello *industriale*, dato dal rapporto fra la potenza utile e la potenza meccanica:

$$\mu = \frac{P_u}{P_m}$$

e quello *elettrico* dato dal rapporto fra la potenza utile e la potenza elettrica:

$$\mu = \frac{P_u}{P_t}$$

Nelle dinamo moderne di grande potenza il rendimento elettrico arriva fino al 97 %, mentre il rendimento industriale può giungere fino al 94 %. Il rendimento è maggiore quanto più la dinamo lavora intorno al carico massimo.

§ 65 — **Accoppiamento delle dinamo**

Dalla curva caratteristica del rendimento di una dinamo, che per semplicità tralasciamo dal considerare, risulta che la macchina funziona con rendimento tanto più elevato quanto più il carico si avvicina al valore massimo che essa può sopportare. E' facile intuire come una qualsiasi rete di distribuzione assorbe nelle 24 ore della giornata carichi differenti che dipendono generalmente dalla diversa richiesta di energia a seconda delle ore diurne o notturne, e delle ore di riposo o di lavoro delle officine ed utenti alimentati. Se la centrale elettrica possedesse una sola macchina elettrica per l'alimentazione della rete è logico che la macchina stessa dovrebbe lavorare per molte ore al giorno con cattivo rendimento per il poco carico richiesto. E' necessario quindi che una centrale elettrica abbia tutta la potenza disponibile suddivisa in un certo numero di macchine e che queste possano sommare la loro potenza, ovvero possano *accoppiarsi*, a seconda delle necessità del circuito alimentato.

Il caso delle dinamo in derivazione accoppiate in parallelo è quello che si incontra più sovente nella pratica e serve per l'alimentazione di una rete a tensione costante. La fig. 165 si riferisce a due macchine, ma è ovvio che le medesime connessioni possono estendersi ad un numero maggiore di complessi. Supponendo che la dinamo 1 sia in funzione sulla linea AB, per accoppiarvi la dinamo 2 si porta questa alla velocità normale, quindi si manovra il suo *reostato da campo* (reostato dell'eccitazione) finchè il complesso 2 non sviluppa f.e.m. eguale alla tensione della dinamo 1. Poichè la macchina 2 funziona a vuoto, la sua f.e.m. è eguale alla d. d. p. ai morsetti e quindi è indicata dal voltmetro V_2. Si può allora chiudere l'interruttore T_2 che connette la dinamo 2 alla linea; la macchina non dà corrente. Eseguito il collegamento si manovrano i reostati Re_1 ed Re_2 delle due dinamo regolando le rispettive eccitazioni in modo che il carico si ripartisca egualmente in ambedue le dinamo, se esse sono di eguale potenza, e proporzionalmente alle rispettive potenze in caso diverso. Se si chiudesse l'interruttore T_2 senza che le due macchine generino la stessa tensione ai morsetti si darebbe luogo ad erogazioni di corrente dall'una all'altra macchina, da quella a potenziale maggiore all'altra; erogazioni che potrebbero anche avere valori intensi e

danneggiare gli avvolgimenti. Infatti se la f.e.m. della dinamo che si inserisce fosse minore della d. d. p. V dell'altra, essa assorbirebbe una corrente:

$$I = \frac{V - E}{r}$$

la quale, dato il valore assai piccolo di r, potrebbe essere molto intensa anche essendo piccola la differenza V — E.

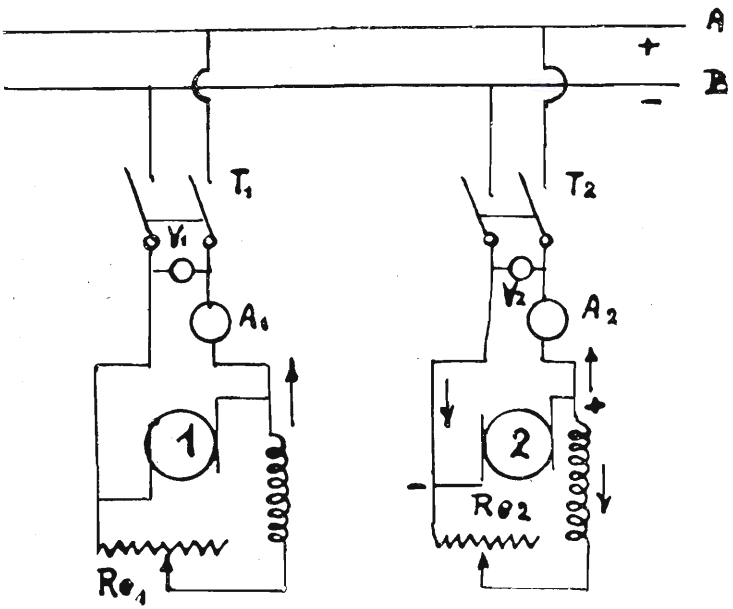


Fig. 165.

Per disinserire una macchina si fa la manovra inversa e cioè si manovra il reostato di eccitazione in modo da ridurre gradatamente quasi a zero l'intensità prodotta dalla macchina che si vuole disinserire, aumentando contemporaneamente l'eccitazione delle altre dinamo in servizio, per mantenere costante la tensione alle sbarre; quindi si apre l'interruttore principale e si ferma la macchina, mentre si diseccita il campo con l'inserire il relativo reostato.

Analogamente alle dinamo eccitate in derivazione si accoppiano le dinamo in eccitazione indipendente. Infatti per ambedue i tipi di dinamo le curve caratteristiche hanno andamento simile. L'accoppiamento in serie ed in derivazione delle dinamo eccitate in serie e lo accoppiamento in serie delle dinamo eccitate in derivazione è più laborioso e non interessa la presente trattazione perchè le dinamo in serie e gli accoppiamenti in serie non vengono generalmente usati nella R. Marina.

§ 66 — Principio degli avvolgimenti — Avvolgimenti ondulati ed embriciati — Confronti fra i vari tipi — Nozioni di bobinaggio

Considereremo in questa breve esposizione solo gli avvolgimenti per gli indotti a tamburo, essendo gli avvolgimenti ad anello ormai completamente abbandonati. Ripetiamo quanto abbiamo detto ai § § 56 e 57 e precisamente che l'idea dell'avvolgimento è nata dalla necessità di rendere la corrente generata da una macchina elettrica meno pulsante e sempre di valore superiore allo zero. Ciò si è potuto ottenere aumentando il numero delle spire e distribuendole uniformemente sull'indotto.

Quanto poi si è detto sulla dinamo con indotto a tamburo aveva solo valore di esempio per spiegare il funzionamento di una tale macchina.

Nell'avvolgimento ad anello i soli tratti attivi delle spire sono quelli disposti lungo le generatrici della superficie cilindrica esterna dell'indotto. Gli altri tratti non hanno che lo scopo di connettere fra loro i fili utili, ma non cooperano alla produzione della f.e.m. Essi tuttavia sono percorsi dalla corrente e poichè hanno una certa resistenza, provocano per questo fatto una caduta di tensione cui corrisponde una perdita per effetto Joule. Conviene quindi cercare di ridurre la lunghezza delle connessioni fra i fili attivi; in tal guisa resta ridotta la caduta di tensione interna della dinamo ed in conseguenza risulta maggiore la d.d.p. ai morsetti.

Si rimedia all'inconveniente lamentato con l'indotto a tamburo che oggi si costruisce per ogni tipo di dinamo. Negli indotti a tamburo i fili attivi sono connessi fra loro mediante conduttori che corrono lungo le basi del cilindro costituente il rotore. Consideriamo una macchina multipolare, ad esempio, tetrapolare (fig. 166). L'avvolgimento deve evidentemente essere fatto in maniera tale che le f.e.m. indotte nei vari fili attivi si sommino e quindi ciascun filo deve essere collegato con un altro filo posto ad una distanza tale da esso, che i due fili siano sempre sotto i poli di nome contrario. L'avvolgimento può essere fatto in senso progressivo, andando da un filo sotto un polo ad un filo sotto il polo di nome contrario seguente e quindi ad un filo sotto il polo dello stesso nome successivo girando sempre nello stesso senso; si ha allora un avvolgimento *ondulato*. Oppure dal polo di nome contrario si può tornare indietro al polo di partenza e si ha allora un avvolgimento *embriciato*. L'avvolgimento deve essere completamente chiuso e quindi il numero N di fili attivi distribuiti alla periferia del rotore deve essere pari. Poichè i fili vanno connessi fra loro in modo da sommare in ogni istante le loro f.e.m. il salto do-

vrebbe essere esattamente eguale al numero dei fili che si trovano in un semipasso polare, chiamando *semipasso polare* l'intervallo che separa fra loro due poli omonimi. Completeremo la definizione già data del salto dicendo che esso rappresenta il numero dei fili che si debbono contare alla periferia del rotore, a partire da un filo qualunque, per trovare il filo che con questo è collegato.

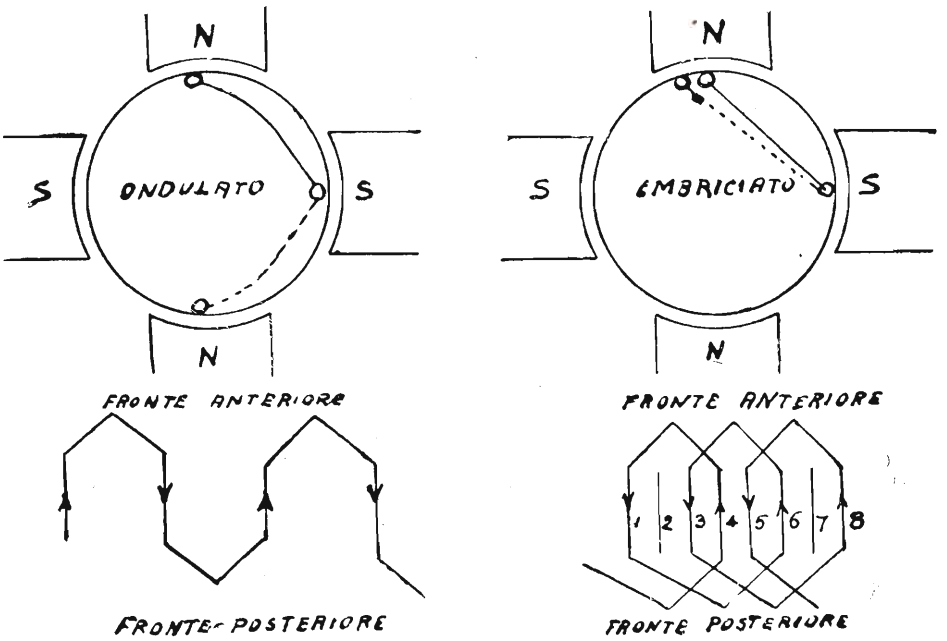


Fig. 166.

In genere esso si indica con la lettera y. Il numero dei fili che si trovano in un semipasso polare è evidentemente eguale a $\frac{N}{2p}$ dove 2 p indica il numero delle masse polari.

Ma il salto y non deve essere esattamente eguale al numero di fili che si trovano in un semipasso polare e cioè a N/2p: infatti in tal caso, se si tratta di avvolgimento ondulato, l'avvolgimento stesso si chiuderebbe dopo un solo giro di rotore; nella dinamo della figura 136 N = 12 ed il numero dei fili in un semipasso N/2p = 6. Se il salto fosse eguale a 6 avremo dopo un giro la chiusura dell'avvolgimento. Nel caso di avvolgimento embriciato poi, l'avvolgimento si chiuderebbe comprendendo solo due conduttori attivi, e senza toccare gli altri.

Bisogna quindi avvicinarsi quanto più è possibile a questa condizione senza raggiungerla, ossia bisogna fare y molto prossimo ad N/2p, ma non eguale. Riassumendo abbiamo stabilito due regole importantissime:

1° - *Il numero N dei fili deve essere pari.*

2° - *Il salto deve differire di poco da N/2p.*

Perchè l'avvolgimento sia chiuso è necessario che, partendo da un certo filo attivo su di una fronte del rotore, si finisca, dopo aver toccato tutti i fili, a quello di partenza. E' evidente come per giungere al punto di partenza si debba fare un numero intero di giri intorno al motore e siccome ad ogni giro si *contano* N fili il numero totale dei fili contati dovrà essere un multiplo di N. Da quanto abbiamo fino ad ora detto risulta inoltre che N deve essere anche multiplo del salto y e perciò questo numero totale di fili, che bisogna contare per compiere l'avvolgimento, è il *minimo comune multiplo* fra N ed y. Chiamandolo con M e se vogliamo collegare tutti i fili posti sul rotore, dovrà essere:

$$\frac{M}{y} = N \qquad \text{da cui} \qquad M = N\,y$$

Un esempio chiarirà meglio la cosa. Prendiamo in esame ancora la figura 136; in tale indotto abbiamo N = 12 ed y = 5 e quindi:

$$M = 12 \times 5 = 60$$

Infatti per arrivare a completare l'avvolgimento è facile vedere, percorrendolo tutto, come sia necessario fare 5 giri intorno all'indotto e quindi contare un totale di $5 \times 12 = 60$ fili.

Inoltre se M è il minimo comune multiplo di N ed y, N ed y devono, come ci insegna la matematica, essere primi fra loro e poichè sappiamo che N è sempre pari, y deve essere dispari.

Enunciamo allora la terza regola egualmente sostanziale:

3° - *N ed y debbono essere primi fra loro.*

Noi non ci occuperemo delle regole che si debbono applicare perchè l'avvolgimento riesca embriciato od ondulato e perchè soddisfi a determinate particolari esigenze; ci accontenteremo soltanto di considerare alcuni esempi e di vedere quali proprietà presentano i vari tipi di avvolgimenti per indotti a tamburo.

a) *Indotto a tamburo bipolare.*

Consideriamo la figura 167; l'indotto è costituito da 16 fili attivi ed il salto è eguale a 7. Le connessioni a linea piena sono del fronte anteriore, e quelle a linea punteggiata sono del fronte posteriore. Il collettore ha otto piastrine e questo è logico perchè *ogni spira, unita al collettore, è composta*

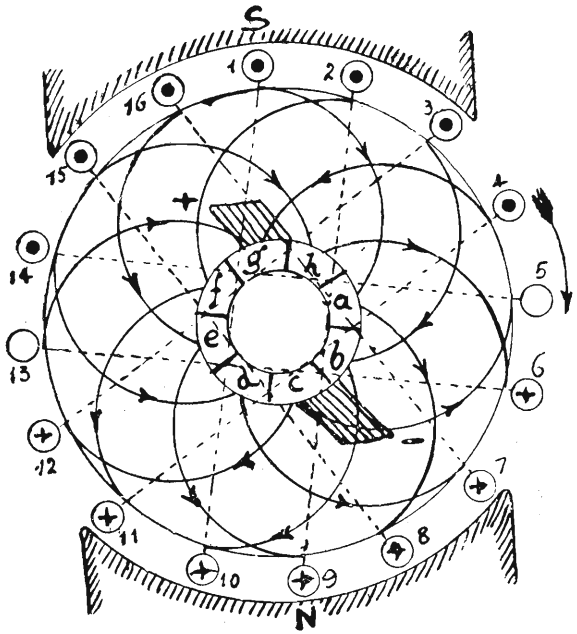


Fig. 167.

di due fili attivi. Le connessioni fra i vari fili utili sulla fronte anteriore sono unite con una delle piastrine del collettore. Segniamo, con la solita rappresentazione, la direzione della f.e.m. in ciascun filo attivo trovata mediante la regola delle tre dita. Percorriamo l'avvolgimento partendo, ad esempio, dal filo 4. Troviamo che hanno f.e.m. tutte in serie nell'avvolgimento i conduttori:

4 - 11 - 2 - 9 - 16 - 7 - 14 - 5

A questo punto la f.e.m. nell'avvolgimento si inverte e troviamo i conduttori:

12 - 3 - 10 - 1 - 8 - 15 - 6 - 13

percorsi da f.e.m. in serie ma di direzione contraria a quelle del gruppo dei conduttori precedenti.

In definitiva i fili sono connessi nell'ordine seguente:

$$+ \left\{ \begin{matrix} 4 - 11 - 2 - 9 - 16 - 7 - 14 - 5 \\ 13 - 6 - 15 - 8 - 1 - 10 - 3 - 12 \end{matrix} \right\} -$$

Si hanno così due gruppi sedi di f.e.m. eguali ed opposte; le spazzole vanno poste dove le f.e.m. cambiano direzione, ossia dove si trovano le piastrine del collettore *c* e *g* a cui sono connessi i fili 4 e 13; 5 e 12.

La dinamo considerata corrisponde quindi, perfettamente, alla dinamo bipolare ad anello della figura 140; anche per questa l'avvolgimento risulta diviso in due parti, chiamate *vie interne*, sedi di f.e.m. eguali, le quali vengono messe in parallelo mediante le spazzole. Un indotto con 16 fili attivi non sarebbe pratico perchè darebbe una f.e.m. troppo pulsante ed in realtà i fili sono molti di più.

Tuttavia l'esempio è sufficiente per mostrare alcune proprietà importanti degli indotti a tamburo. I conduttori 5 e 12, che sono in comunicazione con la spazzola negativa, sono i due a potenziale più basso fra tutti i conduttori che costituiscono l'indotto, mentre i conduttori 4 e 13 invece sono i due a potenziale più alto.

Ora si osservi ancora che i conduttori 4 e 5, vicini geometricamente, sono i più lontani elettricamente e lo stesso si può dire per i fili 12 e 13. Durante la rotazione del rotore tutte le coppie di fili contigui vengono successivamente a trovarsi in tali condizioni. Di tale particolarità, comune a tutti gli avvolgimenti a tamburo, bisogna tenere conto quando si stabilisce lo spessore della copertura isolante dei fili affinchè resista a tutta la tensione prodotta dalla dinamo. Così pure debbono essere isolate le connessioni frontali che si tagliano tutte, poichè fra esse vengono ad aversi, durante la rotazione del rotore, d.d.p. eguali alla tensione che la dinamo sviluppa.

Infine è da osservarsi che, anzichè avere un filo unico per ogni scanalatura dell'indotto, si hanno ordinariamente sulla macchina delle vere e proprie matasse, avvolte come nella figura 168 dove è rappresentata una metà dell'indotto svolta sopra un piano orizzontale. I numeri 9 - 10 - 11, ecc., rappresentano le scanalature dove sono alloggiate le matasse.

Dal conduttore 12 si va al conduttore 3, poi, anzichè andare al conduttore 10 toccando la piastrina *b* del collettore, si torna alla scanalatura dove è il conduttore 12, ponendovi un secondo conduttore 12′, poi alla scanalatura 3 ponendovi un secondo conduttore 3′ e così via facendo una vera e propria matassa composta di un certo numero di fili attivi; si passa infine alla piastrina *b* da cui si va al conduttore 10, avvolgendo quindi una seconda matassa, ecc.

b) *Indotti multipolari a tamburo.*

Consideriamo la dinamo tetrapolare della figura 169 nella quale N = 24 ed i salti sono diversi per il fronte anteriore e per quello posteriore. Chiamandoli rispettivamente y_1 ed y_2 sia $y_1 = 5$ ed $y_2 = 7$. Inoltre il salto ante-

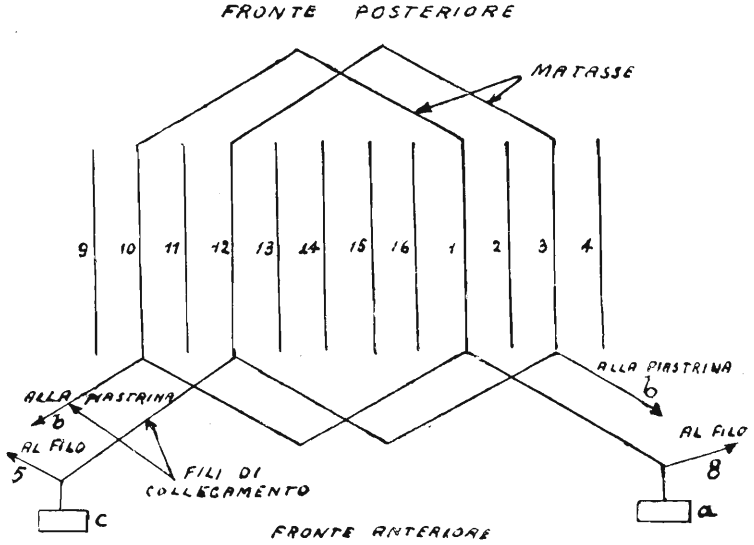


Fig. 168.

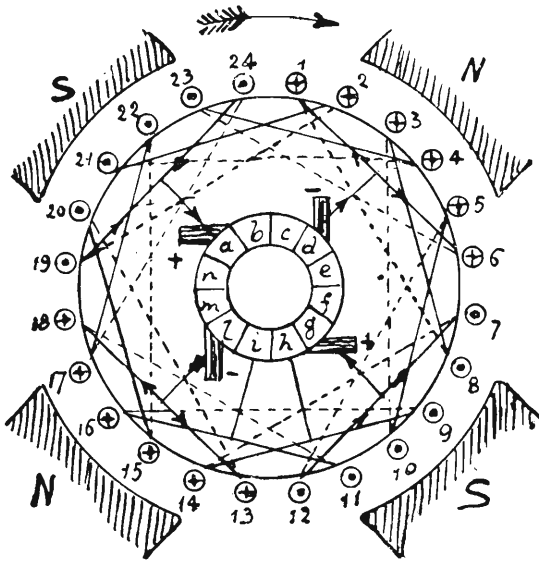


Fig. 169.

riore è fatto nel senso della rotazione delle lancette dell'orologio ed il salto posteriore in senso contrario. L'avvolgimento è quindi *embricato*. Percorriamo l'avvolgimento partendo, ad esempio, dal filo 1 e noteremo quattro inversioni nel senso delle f.e.m. Troveremo in definitiva i quattro gruppi:

$$+ \begin{cases} 6 - 23 - 4 - 21 - 2 - 19 \\ 13 - 20 - 15 - 22 - 17 - 24 \\ 18 - 11 - 16 - 9 - 14 - 7 \\ 1 - 8 - 3 - 10 - 5 - 12 \end{cases} -$$

ciascuno dei quali è costituito da f.e.m. elementari in serie; la f.e.m. si inverte da gruppo a gruppo. E' evidente che le spazzole si debbono collocare in corrispondenza di quelle connessioni dove avviene l'inversione della f.e.m.; le spazzole positive dovranno quindi essere poste dove sono le piastrine *a* e *g* che comunicano con i fili 19 e 24, 7 e 12 rispettivamente; mentre le due spazzole andranno poste dove sono le piastrine *d* ed *l* che comunicano con i fili 1 e 6, 13 e 18, rispettivamente.

La dinamo considerata ha un numero di vie interne eguale al numero dei poli, ed in questo caso prende il nome di *dinamo con avvolgimento in parallelo*.

L'avvolgimento embricato è sempre un avvolgimento in parallelo, mentre l'avvolgimento ondulato può essere in parallelo, come nel caso precedente, ed anche in serie. Si chiamano dinamo con *avvolgimento in serie* quelle che hanno due sole vie interne pure essendo multipolari; che hanno cioè un avvolgimento che richiede due sole spazzole, qualunque sia il numero dei poli, precisamente come avviene nelle dinamo bipolari.

Esaminiamo, ad esempio, l'avvolgimento della figura 170. Esso si riferisce ad una dinamo a sei poli (esapolare) con 40 fili attivi. Il salto, su ambedue le fronti, è eguale a 7. Partendo dal filo 30 si trova che sono percorsi da f.e.m. in serie i fili:

30 - 23 - 16 - 9 - 2 - 35 - 28 - 21 - 14 - 7 - 40 - 33 - 26 - 19 - 12 - 5 - 38 - 31 - 24 - 17 - 10 - 3

qui la f.e.m. si inverte e si incontrano fili con f.e.m. di direzione contraria a quella prima trovata. Essi sono:

36 - 29 - 22 - 15 - 8 - 1 - 34 - 27 - 20 - 13 - 6 - 39 - 32 - 25 - 18 - 11 - 4 - 37.

Le spazzole vanno messe in corrispondenza delle connessioni dove la f.e.m. cambia segno, ossia la positiva fra 3 e 36 e la negativa fra 30 e 37. Come in tutti gli avvolgimenti a tamburo, fra i fili contigui si hanno diffe-

renze di potenziale che raggiungono il valore della tensione totale fornita dalla dinamo. Siccome in questi indotti la f.e.m. è sempre molto elevata, perchè sono messe in serie le f.e.m. di metà dei fili attivi (si ricorre infatti alle connessioni in serie per avere delle grandi f.e.m.), si richiede per i suddetti avvolgimenti un isolamento assai accurato.

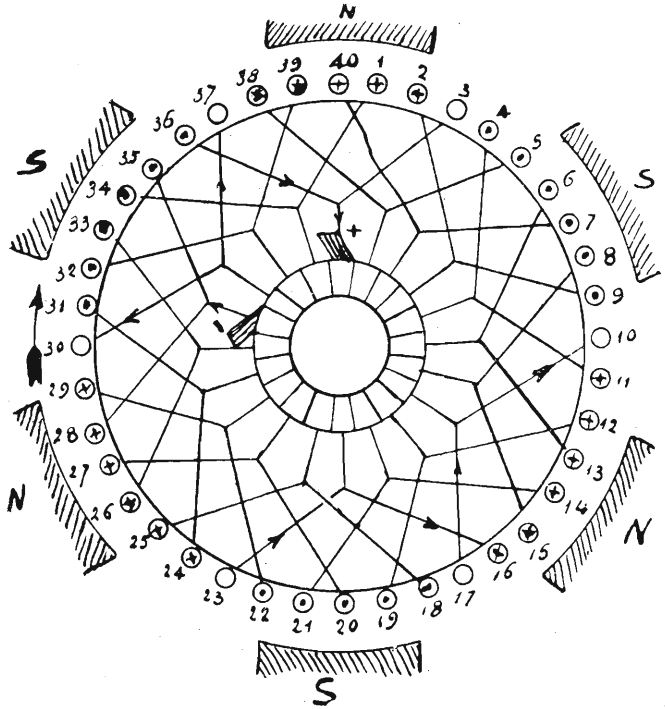


Fig. 170.

Oltre agli avvolgimenti in parallelo ed in serie si possono avere i cosidetti *avvolgimenti misti*. Per questi ultimi il numero delle vie interne è minore di quello dei poli e maggiore di due.

Concludendo:

Gli avvolgimenti ondulati possono essere in serie, in parallelo e misti; gli avvolgimenti embriacati sono sempre avvolgimenti in parallelo, hanno cioè un numero di vie interne eguale o maggiore del numero dei poli.

Spesso nelle macchine generatrici di elevata potenza cause accidentali di varia natura fanno sì che le f.e.m. indotte nelle varie vie interne non siano rigorosamente eguali; in questo caso si producono correnti locali, o correnti di circolazione, che si chiudono attraverso lo avvolgimento ed, almeno in

parte, passano per le spazzole, accrescendo così la difficoltà della commutazione. Allora si può, senza turbare affatto il funzionamento della dinamo, riunire elettricamente le piastrine opposte del collettore. Simili connessioni permanenti non possono nuocere perchè i punti connessi fra loro, essendo situati sempre identicamente rispetto ai poli dello stesso nome da cui entrambi si allontanano od a cui entrambi si avvicinano, sono sempre allo stesso potenziale. Dette connessioni prendono il nome di *connessioni equipotenziali*. Esse aprono alle correnti di circolazione un passaggio indipendente dalle spazzole migliorando la commutazione.

A seconda delle varie esigenze richieste alla macchina si può scegliere uno oppur l'altro degli avvolgimenti, tenendo presente che:

La dinamo con avvolgimento in serie sviluppa una f.e.m. che è eguale a p volte la f.e.m. di una dinamo eguale ma con avvolgimento in parallelo.

La dinamo con avvolgimento in parallelo sviluppa una corrente che è eguale a p volte la corrente di una eguale dinamo con avvolgimento in serie.

Con p si indica il numero delle coppie di poli.

In relazione alla potenza però diremo che:

Comunque sia fatto l'avvolgimento dell'indotto, a parità di altre condizioni, la potenza che si ricava dalla dinamo è teoricamente la stessa. Nella pratica di bordo capita sovente la necessità di dover *rifare* l'avvolgimento o, come si suol dire, di *bobinare* piccoli indotti di ventilatori, motorini per torni, estrattori, ecc.

Prima di iniziare questo lavoro bisogna formarsi un concetto ben chiaro del sistema di avvolgimento dell'indotto o della sezione da sostituire. Occorre perciò, nello smontare il filo da sostituire, tenere nota del modo con il quale esso è collocato sull'armatura procurando di stabilire con chiarezza il tipo dell'avvolgimento, il passo sia anteriore che posteriore, il numero di spire di cui è composta una matassa, il numero delle piastrine del collettore che si trovano fra il principio e la fine di ogni matassa, e prepararsi quindi una tabella di tutti questi dati ed uno schema dell'avvolgimento da eseguire.

Il filo di rame di ricambio deve essere dello stesso diametro di quello vecchio, deve essere ben isolato con doppia fasciatura di cotone ed avere un alto grado di conducibilità. Non si devono adoperare fili di rame crudo o già usati, aventi per conseguenza delle piegature.

Per ricambiare una o più sezioni, si monta l'armatura su due solidi cavalletti, in modo che possa girare, quindi si segano le legature trasversali prendendo nota del modo con cui sono fatte e del posto che occupano.

Se il sistema di avvolgimento lo rende possibile si tolgono soltanto le

sezioni difettose, dissaldandone prima gli estremi dal collettore e facendo un pro-memoria della maniera con la quale erano collegate.

Si taglia quindi una lunghezza di filo nuovo un poco maggiore di quella del filo di una sezione già smontata; si puliscono bene le superfici o scanalature dei nuclei , e poi si ricoprono con nastro isolante; se lo spazio è sufficiente si adoperano anche sottili striscie di cotone paraffinato o lamine di micanite.

Si può quindi cominciare l'avvolgimento delle sezioni badando che il filo di rame non deve mai poggiare direttamente sul ferro.

E' necessario collocare il filo sulla superficie del nucleo, ben disteso, perciò, se il conduttore è grosso e riesce difficile di tirarlo a mano, si dovrà raddrizzare battendolo leggermente su di un piano con una mazzuola ed obbligandolo ad occupare la posizione giusta con una zeppa di legno sulla quale si batterà leggermente con la mazzuola.

Terminato l'avvolgimento si prova l'isolamento di ciascuna sezione con il metodo indicato più avanti nel capitolo XVIII, § 88, comma 8-c, quindi si fissano i fili al collettore e si verifica poi se la corrente passa regolarmente e se l'isolamento si è mantenuto perfetto.

Si possono allora verniciare tutti gli strati dei conduttori con due mani di vernice sterling ed eseguire le legature trasversali come erano fatte precedentemente.

In generale queste legature si eseguono così: Si prepara sotto ciascuna legatura uno strato di fogli di mica o di cotone isolante un poco più largo della legatura stessa e su questo strato si avvolge del filo di cotone crudo o meglio packfong, del diametro da 0,5 mm. a 1,5 mm. secondo le dimensioni dell'indotto, badando che il filo resti ben teso e che le spire si avvolgano in perfetto contatto l'una con l'altra.

Quando la legatura ha acquistato la larghezza voluta (da 1 a 3 cm.) si saldano le estremità per fissarle, poi si fa squagliare dello stagno con un saldatoio su sutta la larghezza e lunghezza della fasciatura, avviando i fili con un pennello poco bagnato nell'acido, evitando che questo sgoccioli sullo avvolgimento indotto. Terminato tutto il lavoro si farà essicare lentamente l'armatura tenendola alcune ore ad una temperatura di circa 100°.

Un lavoro di bobinaggio, quando si tratta di piccoli indotti, non è difficile ma richiede sopratutto diligenza e pazienza. Uno sbaglio anche lieve, una dimenticanza può rendere inutile il lavoro di molte ore. Circa le avarie a cui vanno soggetti maggiormente gli indotti parleremo nel capitolo XIII e per le avarie solite degli indotti delle dinamo parleremo nel capitolo XVIII.

CAPITOLO XIII

Motori a corrente continua

§ 67 — Reversibilità delle dinamo - Coppia motrice Forza controelettromotrice - Velocità dei motori elettrici

Come abbiamo detto nel capitolo precedente, parlando sulle generalità delle macchine elettriche, ogni macchina può servire sia da generatore che da motore. Le macchine elettriche sono cioè *reversibili*. Prendiamo, ad esempio, la dinamo bipolare della figura 140 e supponiamo di connettere la spazzola superiore con il suo negativo. La corrente entra nell'avvolgimento indotto per la spazzola inferiore, passa alla piastrina corrispondente del collettore, si suddivide in parti eguali fra i due mezzi avvolgimenti di sinistra e di destra e ritorna al generatore per la spazzola superiore. La corrente percorre l'avvolgimento nel senso indicato dalle freccie. Ricordando quanto si è detto parlando delle azioni magnetiche delle correnti elettriche, sappiamo che la corrente stessa, circolando nei due mezzi avvolgimenti genera due campi magnetici uguali sia per il solenoide costituito dal mezzo indotto di destra, quanto per quello corrispondente al mezzo indotto di sinistra rispetto al piano di commutazione. Ogni polarità dei campi magnetici prodotti dalla corrente circolante nell'indotto, reagisce con le polarità del campo induttore e fra queste polarità avvengono attrazioni e repulsioni le quali, a causa della simmetria dell'avvolgimento e del campo induttore, formano tante coppie le quali ammettano una risultante chiamata *coppia motrice* che tende a far ruotare l'indotto rappresentato in figura 140 nel senso contrario a quello delle lancette di un orologio. La direzione di questo moto è contraria a qualla secondo cui si sarebbe dovuta far ruotare la macchina nel suo funzionamento come dinamo, affinchè, con la medesima polarità degli induttori, fornisse una corrente della stessa direzione di quella che noi abbiamo mandato nell'avvolgimento.

Ci possiamo riferire ora ad un caso più generale e considerare, per esempio, la macchina multipolare delle figure 169 e 170. Se noi deriviamo una di queste macchine tra i fili di una linea, in modo che la corrente entri dalle due spazzole segnate come negative ed esca dalle spazzole segnate come positive, la corrente circola negli avvolgimenti come è indicato dai punti e dalle crocette messe su ciascun filo utile, cioè come circolava nella macchina funzionante da dinamo, ma il rotore ruota in senso contrario. Il senso del moto di un motore si può facilmente ricavare ricordando la regola detta della mano sinistra, perchè si usa appunto la mano sinistra disponendo pollice, indice e medio ad angolo retto fra loro ed orientando il dito medio nella direzione del campo e l'indice nella direzione della f.e.m. Il pollice rivela il senso del moto.

Quanto si è detto si può estendere a tutte le macchine a corrente continua e si può dire in generale che, se si lancia ad una macchina a corrente continua, una corrente che percorra l'indotto in un certo senso, questa funziona come motore e *ruota in senso contrario a quello nel quale ruoterebbe funzionando come dinamo ed avendo l'indotto percorso da corrente nello stesso senso.*

Dalle figure già considerate si vede come, invertendo la polarità negli induttori e contemporaneamente la direzione della corrente nel rotore, il motor gira sempre nello stesso senso, mentre, invertendo la sola corrente o la sola polarità degli induttori, *il motore cambia il senso della rotazione.*

Quando il motore è in moto, l'avvolgimento indotto ruota in un campo magnetico tagliandone le linee di forza e quindi diviene sede di una f.e.m. indotta; sotto questo riguardo l'indotto funziona come un generatore di corrente e perciò la direzione di questa f.e.m. indotta è *opposta* a quella della corrente che fa funzionare il motore, come si può verificare applicando la regola di Fleming della mano destra (v. paragr. 37 del cap. IX). La f.e.m. indotta, avendo senso contrario alla corrente che circola nell'indotto, è anche opposta alla tensione applicata ai morsetti e ne ostacola l'azione. Questa f.e.m. indotta prende il nome di *forza controelettromotrice* del motore, ed è espressa dalla relazione (cap. XII):

$$e = n\,N\,\Phi$$

La d.d.p. alle spazzole del motore V, diminuita della f.e.m. e deve far equilibrio alla caduta di tensione nell'indotto, ossia:

$$V - e = r\,I$$

se r è la resistenza interna presentata dall'indotto ed I è la corrente che vi circola. Da questa relazione si ha:

$$V = e + rI \qquad \text{da cui} \qquad I = \frac{V - e}{r}$$

formula che ci dà il valore della intensità di corrente assorbita dal motore.

Si comprende che la f.c.e.m. non può mai eguagliare la d.d.p. ai morsetti; infatti, se questo avvenisse, I si annullerebbe ed il motore cesserebbe di ruotare, ma risulta molto prossima al valore della d.d.p. alle spazzole, essendo la r piccolissima.

Abbiamo detto che quando il rotore di una macchina ruota in un campo magnetico, sia che essa funzioni da generatore o da motore, diviene sede di una f.e.m. indotta. In entrambi i casi le correnti che circolano nei fili utili generano un campo che reagisce con il campo induttore.

Se la macchina funziona da generatore, ossia se mediante l'applicazione di una potenza meccanica al suo asse la costringiamo a ruotare, la f.e.m. indotta e la corrente generata hanno la medesima direzione, la dinamo fornisce corrente al circuito esterno ed ai suoi morsetti si ha una d.d.p. che è eguale alla f.e.m. generata diminuita della caduta di tensione interna. Si ha cioè la ben conosciuta relazione: $V = E - r\,I$. Il campo generato dalla corrente circolante nell'indotto, reagendo con il campo induttore dà luogo ad una *coppia resistente* che si oppone al movimento dell'indotto e fa equilibrio alla coppia motrice applicata sull'asse della macchina.

Se la macchina funziona come motore, ossia se noi le inviamo corrente mediante una qualunque sorgente di energia elettrica, la f.e.m. indotta ha direzione contraria a quella della corrente fornita e la d.d.p. esistente ai morsetti della macchina deve fare equilibrio a questa f.e.m. aumentata dalla caduta di tensione interna. La f.e.m. si chiama in tal caso, come già sappiamo, forza controelettromotrice e si ha la relazione già riportata: $V = e + r\,I$. La reazione del campo generato dalla corrente che percorre l'indotto con il campo induttore, dà luogo ad una coppia che produce il movimento dell'indotto e prende il nome di *coppia motrice*. La coppia motrice deve essere equilibrata dalla coppia resistente del macchinario che l'indotto stesso trascina.

Dalla relazione che ci dà la f.c.e.m. di un motore:

$$e = n\,N\,\Phi \qquad \text{si ha:} \qquad n = \frac{e}{N\,\Phi}$$

dove N è costante; sostituendo ad e il valore $V - r\,I$ si ha:

$$n = \frac{V - r\,I}{N\,\Phi}$$

formula che ci dice che *il numero dei giri al secondo fatto dalla macchina è direttamente proporzionale alla f.e.m. indotta nel rotore a forza controelettromotrice, ed inversamente proporzionale al flusso uscente da un polo.* Vedremo in seguito, trattando dei vari tipi di motori, come si può farne variare la velocità.

§ 68 — **Reazione di indotto - Posizione delle spazzole**

Senza analizzare il fenomeno della reazione dell'indotto, fenomeno del tutto analogo a quello presentatosi per le macchine generatrici, affermiamo che nel motore, come nella dinamo, quando in esso si manda corrente, la corrente stessa produce un campo magnetico il quale si compone con il campo magnetico induttore modificandone il valore e la distribuzione. Inoltre la commutazione, ossia l'effetto della auto-induzione delle spire nel momento nel quale esse passano per il piano di commutazione, produce il caratteristico e dannoso scintillìo al collettore. Reazione di indotto e commutazione obbligano a spostare le spazzole, rispetto all'asse neutro, di un certo angolo, detto *angolo di calaggio*. Si dimostra però che questo angolo va preso in senso contrario a quello del moto del rotore, mentre, *ricordiamo bene*, nelle dinamo le spazzole venivano spostate nel senso del moto dell'indotto. Lo spostamento varia con il valore della corrente assorbita dal motore.

Nelle macchine moderne i due fenomeni si combattono, come abbiamo già visto fare per le dinamo, mediante gli *avvolgimenti compensatori* ed i *poli ausiliari* con i quali non esiste più la necessità di variare la posizione delle spazzole con il variare del carico.

§ 69 — **Vari tipi di motori - Loro comportamento**

Ci proponiamo ora di vedere come si comportano i motori a seconda che il loro funzionamento è *stabile* o *instabile*, ed a seconda del loro tipo di eccitazione, supponendo che essi siano alimentati a tensione costante, il che, quasi sempre, si presenta in pratica.

Ricordiamo che un motore ed il macchinario che esso trascina sono in equilibrio quando la coppia motrice C del primo eguaglia la coppia resistente C′ del secondo. Se la coppia resistente C′ aumenta in modo da diventare maggiore di C, l'equilibrio non esiste più ed il complesso rallenta. Se il motore rallettando può dare una coppia motrice C_1 maggiore, tale che sia

$C_1 = C'$, esso trova nuovamente l'equilibrio ad una velocità però minore della prima. Inversamente, se la coppia resistente diminuisce, il complesso accelera l'andatura e se il motore accelerando dà una coppia motrice minore, in modo da fare equilibrio alla nuova coppia resistente, esso si troverà sempre in condizioni di marcia equilibrata, ad una velocità, però, maggiore della prima.

In tale caso il funzionamento del motore è *stabile*. Più brevemente diremo che un motore ha andamento stabile quando col crescere della velocità la coppia motrice diminuisce.

Ma se invece il motore è tale che la sua coppia motrice aumenta e diminuisce con l'aumentare ed il diminuire della velocità, il suo funzionamento dicesi instabile. Difatti in questo caso ad un rallentamento, derivante da aumento della coppia resistente, corrisponde una diminuzione della coppia motrice; cresce allora la differenza fra coppia motrice e coppia resistente ed il complesso rallenta sempre più, fino a fermarsi, non avendo trovato a nessuna velocità, per quanto piccola, un valore di coppia motrice eguale a quello della coppia resistente. Analogamente avverrebbe nel caso che si avesse una diminuzione della coppia resistente; allora il complesso accelererebbe l'andatura fino a raggiungere velocità pericolose che potrebbero causare anche lo sfasciamento dell'avvolgimento indotto.

Queste condizioni di funzionamento ci sono rivelate dalle *curve caratteristiche* dei motori, curve che, a somiglianza di quanto è stato esposto per le dinamo, si tracciano in relazione al funzionamento della macchina. Le curve caratteristiche dei motori si fanno in funzione della coppia motrice e della velocità dell'indotto.

Esse sono diverse a seconda del tipo di motore, a seconda cioè che il motore ha l'eccitazione in serie (motore in serie) oppure l'eccitazione in derivazione (*motore in derivazione*). Le figure 171 e 172 rappresentano rispettivamente un motore in serie ed uno in derivazione con le loro rispettive caratteristiche.

Osserviamo il comportamento di questi due tipi di motore ed il risultato a cui si giunge dall'esame delle loro caratteristiche.

Prima ancora però dobbiamo riportare una formula importante, formula che ci dà il valore della coppia motrice e che ci dimostra (noi per semplicità ne omettiamo la dimostrazione) essere:

$$C = K\, I\, \Phi$$

dove Φ rappresenta il flusso induttore, I la corrente nell'indotto e K un fattore costante. Questa formula dice cioè che la coppia motrice dipende ed è proporzionale al valore del flusso ed a quello della corrente.

Motore con eccitazione in serie (fig. 171):

Riprendendo le tre formule:

$$(1)\ I = \frac{V - e}{r}\ ;\ (2)\ C = K\,I\,\Phi\ ;\ (3)\ n = \frac{V - r\,I}{N\,\Phi}$$

osserviamo che non appena si applica al motore la tensione V costante, non essendovi f.c.e.m. (perchè il motore è fermo), la corrente acquista subito il valore massimo dato da $I = V/r$ (1), sia nell'indotto che nell'eccitazione e quindi anche Φ è massimo. La coppia motrice all'avviamento assume dunque

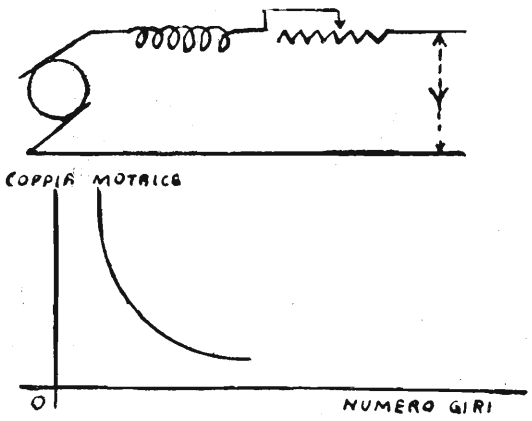


Fig. 171.

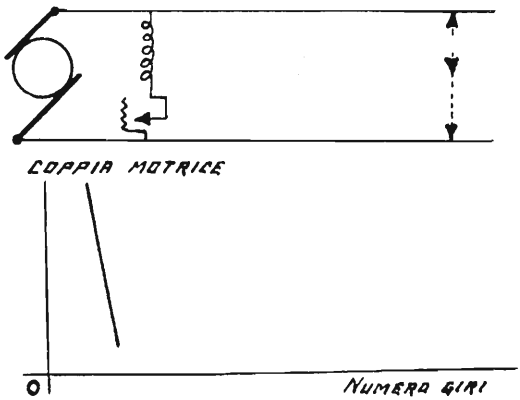


Fig. 172.

un valore molto elevato. Se durante il funzionamento aumenta la velocità, la corrente e l'intensità del flusso induttore diminuiranno (3) e con loro la coppia motrice (2); mentre inversamente accade se il motore rallenta. Quindi l'andamento del motore in serie è *stabile* e per di più sviluppa una notevole coppia motrice all'avviamento. Inoltre dall'esame della sua caratteristica si osserva che detto motore aumenta e diminuisce di velocità a seconda che il carico diminuisce od aumenta e quindi esso non richiede dalla linea alimentatrice grandi sbalzi di potenza. Per queste sue particolari proprietà il motore in serie è il motore tipico per la trazione tranviaria. Ma d'altra parte la sua velocità ampiamente variabile al variare, anche di poco, della coppia motrice rappresenta un inconveniente sensibilissimo per quasi tutte le applicazioni di bordo (compressori, elevatori, ecc.) per le quali è d'uopo ricorrere al motore in derivazione.

Il motore con eccitazione in serie non si presta a marciare a vuoto perchè in tal caso la velocità può crescere fino allo sfasciamento del motore stesso (1); perciò è applicato a quei macchinari nei quali la coppia resistente non manca mai ed ha anche poche variazioni (pompe, ventilatori, ecc.).

Motore con eccitazione in derivazione (fig. 172):

Ricordando le tre formule sopracitate, vediamo come in questo tipo di motore, essendo costante la tensione di alimentazione, risulta pure costante la corrente nella spirale di eccitazione. Il motore si avvia con una coppia motrice elevata perchè, come in quello in serie, essendo all'avviamento nulla la f.c.e.m., l'intensità I nel rotore è massima; però il flusso degli induttori non avrà mai un grande valore e quindi la coppia motrice non sarà mai alla messa in moto così elevata come nel motore in serie. Inoltre dall'osservazione della caratteristica si rileva come assai poco vari la velocità al variare della coppia motrice. Questo motore si presta quindi per azionare macchinari soggetti a frequenti variazioni di carico (compressori, elevatori, alzaceneri, ecc.).

Un altro tipo di motore, che non ha però applicazioni pratiche a bordo delle navi è il:

Motore con eccitazione indipendente (fig. 173).

In questo motore il flusso Φ si mantiene sempre costante e perciò la coppia motrice non dipende che dalla corrente che percorre l'indotto. All'av-

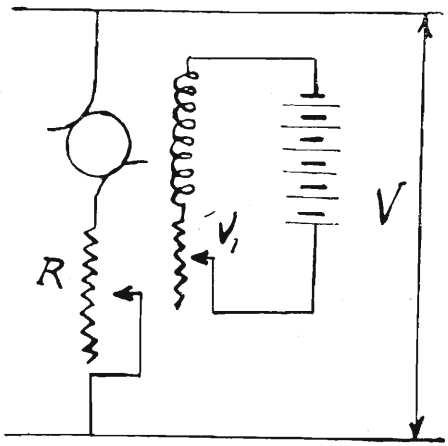


Fig. 173.

viamento, non essendovi f.c.e.m. nel rotore, si stabilisce in esso la corrente massima ed il motore si avvia con la coppia motrice massima corrispondente alla eccitazione data. Durante il funzionamento, al crescere del carico, ossia della coppia resistente, il motore rallenta, la f.c.e.m. diminuisce, la corrente

nell'indotto aumenta e così pure la coppia motrice che aumenta proporzionandosi al maggior carico. Se il carico diminuisce, la velocità aumenta, la f.c.e.m. cresce e quindi diminuisce la corrente nell'indotto e con essa la coppia motrice. Il funzionamento è quindi stabile.

§ 70 — **Avviamento - Inversione del moto - Frenatura Variazioni di velocità**

Poichè, all'atto di avviare un motore a corrente continua, esso non sviluppa f.c.e.m., la corrente assorbita dal motore espressa dalla relazione $I = V/r$ può essere tanto intensa da danneggiare l'avvolgimento del rotore che è calcolato per una intensità corrispondente al funzionamento normale. E' quindi necessario disporre di una resistenza in serie con l'indotto che dicesi *reostato di avviamento*; essa va tutta inserita all'atto dell'avviamento ed esclusa poi lentamente, man mano che il motore aumenta di velocità (figg. 173 - 174 - 175).

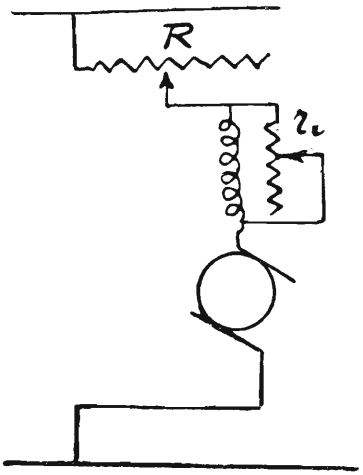


Fig. 174.

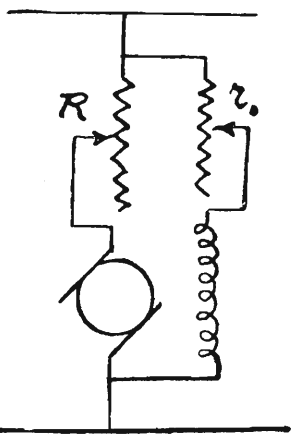


Fig. 175.

Per invertire la marcia di un motore basta invertire la corrente nell'eccitazione o nell'indotto. Siccome l'inversione della corrente di eccitazione porta ad invertire la polarità degli induttori, si preferisce invertire la corrente nell'indotto.

Si può arrestare un motore elettrico interrompendo la corrente ad esso fornita dal circuito esterno e, nel caso del motore ad eccitazione in deriva-

zione, si può interrompere corrente al solo indotto. Con questo mezzo però il motore si arresta lentamente a misura che, per le resistenze passive, viene spenta l'inerzia degli organi in movimento, mentre spesso occorre che il motore si fermi in un tempo molto breve e qualche volta anche che l'arresto avvenga bruscamente. Ciò si ottiene chiudendo gli elettromotori in corto circuito.

Consideriamo (fig. 176) un motore in derivazione; supponiamo che la corrente circoli nel senso delle piccole frecce e che l'indotto ruoti nel senso delle frecce grandi. Allorchè vogliamo arrestarlo, non solo interrompiamo il circuito dell'indotto ma chiudiamo questo in corto circuito su sè stesso, riunendo fra loro le due spazzole.

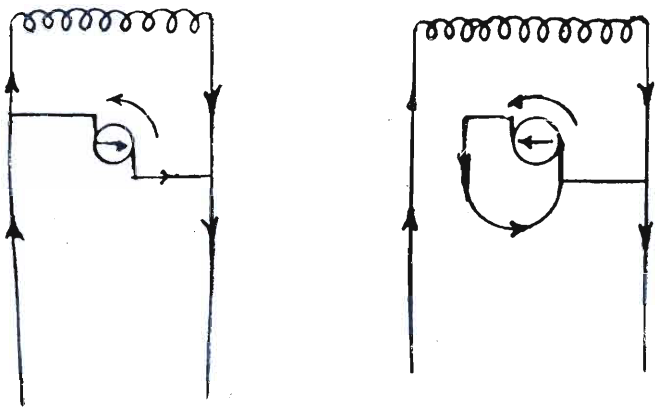


Fig. 176.

Abbiamo detto che nel movimento dell'indotto si sviluppa una f.c.e.m. di direzione contraria alla corrente che alimenta il motore. Quando si apre il circuito, la corrente alimentatrice cessa mentre la sopradetta f.c.e.m. dà origine ad una corrente in senso contrario a quella della corrente che manteneva il motore in movimento, e questa f.c.e.m. perdura fino a che il rotore non si ferma. Cosicchè chiudere l'indotto in corto circuito equivale a mandarvi una corrente in senso contrario e quindi a sollecitarlo a muoversi in senso inverso. E' evidente come ciò si opponga al movimento di inerzia del rotore e tenda a fermarlo.

Il motore con eccitazione separata si può fermare in modo simile. Anche il motore in serie si può frenare con la sua chiusura in corto circuito, ma occorrono in questo caso dispositivi speciali, dei quali non si fa cenno non avendo essi applicazione a bordo.

Le caratteristiche già studiate ci hanno mostrato come al variare del carico e quindi della coppia motrice, varia la velocità del motore; nella pratica conviene quasi sempre che le modificazioni di velocità siano contenute entro limiti brevi. Vi sono vari metodi per la regolazione della velocità:

a) *Variando il campo induttore.*

b) *Variando la tensione ai morsetti dell'indotto.*

In tutti e due questi casi bisogna tener presente le solite formule:

$$n = \frac{V - rI}{N\,\Phi} \qquad \text{ed} \qquad n = \frac{e}{N\,\Phi}$$

a) Aumentando o diminuendo il campo induttore, diminuisce od aumenta il quoziente $\frac{e}{N\,\Phi}$ e quindi il valore di n, numero di giri del motore al minuto secondo.

b) Aumentando o diminuendo la tensione ai morsetti V, aumenta o diminuisce il quoziente $\frac{V - rI}{N\,\Phi}$ e quindi il valore della velocità del motore.

Il risultato di cui al paragrafo *a*) si ottiene con un reostato convenientemente inserito nel circuito induttore e quello di cui al paragrafo *b*) si ottiene mediante un reostato in serie con l'indotto.

§ 71 — **Avvolgimento e loro avarie più comuni**

Gli avvolgimenti possono essere dello stesso tipo di quelli descritti per le dinamo e cioè: in serie (con due vie interne) ed in parallelo (con un numero di vie interne eguale a quello dei poli).

Le principali avarie alle quali gli indotti vanno soggetti, si limitano a poche e le cause che le producono, in genere si palesano durante il funzionamento. Una delle più frequenti è quella della *scintilla circolare* la quale parte da una data piastrina del collettore (sempre la stessa) per poi spegnersi nell'aria. E' questo un inconveniente che bisogna eliminare subito, poichè produce irregolare funzionamento della macchina con probabilità di danneggiare seriamente il collettore. La sua causa può essere dovuta da un contatto fra spira e spira, oppure da un contatto fra lamine del collettore. Entrambi questi inconvenienti producono il dissaldamento dei conduttori che collegano le spire alla piastrina del collettore. Per localizzare questo guasto è necessario togliere l'indotto dalla macchina e verificare il collettore.

Prima però di venire a questa determinazione, poichè il lavoro richiede

molto tempo, sarà bene tentare ogni mezzo che possa eliminare il dubbio che l'umidità abbia potuto influire sull'isolamento dei conduttori, che alloggiano nei solchi dell'indotto. Si sistema allora presso l'indotto, e nel modo più adatto, una stufa elettrica e si inizia così l'essicamento dell'indotto ad una temperatura che non dovrà oltrepassare gli 80°. Eseguita questa operazione si lascia raffreddare l'armatura e quindi si salda il conduttore che erasi distaccato dalla piastrina del collettore, si spalma l'avvolgimento con gomma lacca sciolta nell'alcool al 30 % e si ripete l'essicamento.

Indi si levigano le piastrine del collettore o, se necessario, si tornisce il collettore stesso; bisogna essere certi di aver tolto sia la bravatura che si è potuta formare fra la mica e le piastrine, sia quelle particelle di carbone provenienti dalla carbonizzazione dell'olio lubrificante; l'una e l'altra potendo formare dei contatti nel collettore. Ultimate queste operazioni e rimontato l'indotto si fa funzionare la macchina, sia essa dinamo oppure motore, e se non si ripete l'inconveniente si raggiunge l'intensità di regime continuando il servizio; se poi la scintilla persistesse, allora è necessario smontare l'indotto e staccare il collettore dall'avvolgimento. Fatto questo si possono provare indipendentemente indotto e collettore e dire con certezza a quale dei due organi si debba attribuire l'inconveniente. Queste prove si fanno con l'ausilio di un voltmetro Weston.

Si verifica il collettore prendendo (fig. 177) una derivazione dalla li-

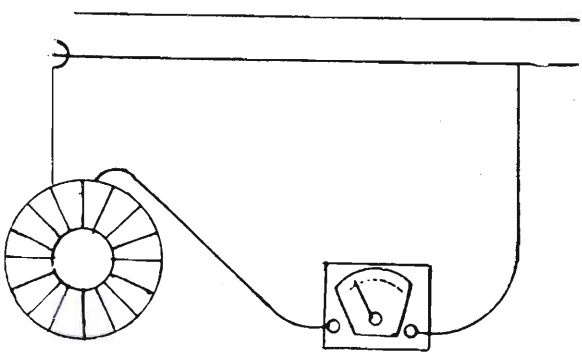


Fig. 177.

nea e ponendo il voltmetro in serie con uno dei conduttori (tenendo presente di adoperare i serrafili della grande resistenza) secondo la disposizione della figura. Si provano le piastrine vicine, a due a due, segnando, con un pezzo di gesso quelle che fanno deviare l'ago dello strumento. Ciò dimostra evidentemente che le due piastrine sono in contatto. Questo potrebbe essere

causato dal trasporto di una leggerissima parte di metallo da una piastrina all'altra, o da limatura dello stesso metallo frappostasi fra due segmenti. Prima di smontare il collettore è consigliabile di tentare la fusione di queste piccole particelle metalliche, e ciò si ottiene facendo passare una corrente di un dato voltaggio tra le due piastrine. Però occorre intercalare nel circuito (fig. 178) un filo fusibile di piombo perchè possa fondere nel caso che il corto circuito creatosi non fosse passeggero e non si distruggesse al primo passaggio di corrente. Se questa operazione fallisse, si può ancora tentare di passare con una punta di acciaio fra lamina e lamina, e se anche con questo procedimento non si riuscisse a togliere il contatto, allora si staccheranno le piastrine dal gotto che le avvince, avendo cura di fare preventivamente due mezzi collari A (fig. 179) affinchè possa poi riuscire facile il montamento.

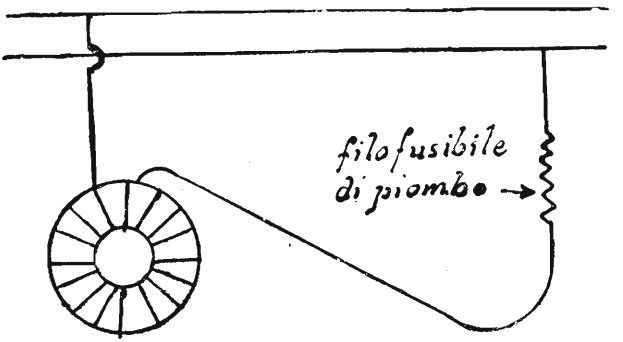


Fig. 178.

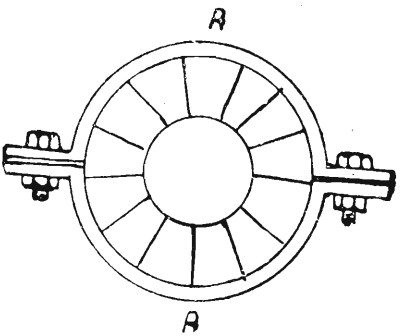


Fig. 179.

Verificati tutti i settori e la mica che li isola, è facile accertarsi dove era il guasto e, riparatolo, si lavano tutti i pezzi con alcool e si ravvivano con stagno gli alloggi dei conduttori dell'avvolgimento. Questo allo scopo di ottenere poi più rapida e sicura la saldatura. Ciò fatto si rimontano le piastrine facendo molta attenzione di stringere bene il collare A perchè, nell'avvitare il dado circolare del gotto che frena tutto il sistema, le piastrine non abbiano a risultare inclinate rispetto ad una delle facce del collettore. Si tenga presente che le divisioni appariscenti della mica sulla superfice laterale del collettore dovranno risultare come le generatrici di un cilindro e quelle della superfice frontale dovranno convergere al centro. Si rimette quindi a posto il collettore e per eseguire nuovamente le saldature, si adatta l'indotto su di un cavalletto di legno, improvvisato per la circostanza, avendo cura di tenere l'asse inclinato nella parte anteriore, onde evitare che dello

stagno possa scorrere tra i capi delle spire. Essendo necessario adoperare la lampada a benzina per riscaldare il collettore (servendosi dei saldatori unicamente per far scorrere lo stagno), è conveniente, per non danneggiare la sostanza isolante del conduttore, di mettere nel punto dove l'estremità dell'avvolgimento viene collegata al collettore un disco di amianto quale difesa dalla fiamma della lampada a benzina (fig. 180). E' assolutamente nocivo l'uso dell'acido muriatico. Per compiere il lavoro di saldatura si suggerisce di preparare della resina secca polverizzata, impastata con alcool

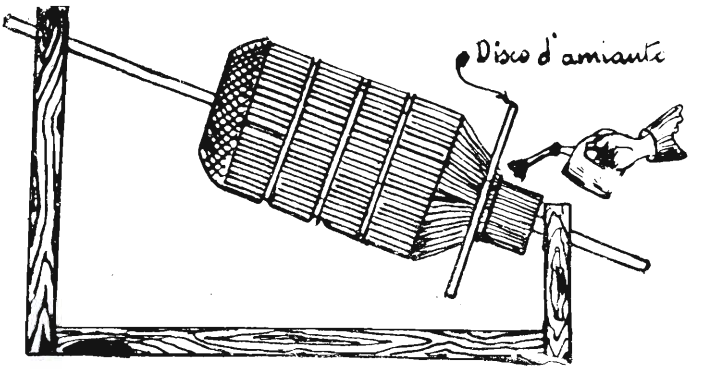


Fig. 180.

puro in modo da dare una pasta non troppo densa. Con questa miscela si spalma il posto dove deve scorrere lo stagno. Il saldatore non deve essere troppo caldo, poichè *rifiuta* lo stagno, nè troppo freddo, poichè non avrebbe il calore necessario per farlo liquefare e scorrere. Ad operazione ultimata è assolutamente necessario osservare se qualche gocciolina metallica di stagno si sia interposta fra l'avvolgimento, poichè questo inconveniente potrebbe rendere inutile il lavoro eseguito. Quindi si tornisce il collettore sul proprio asse. Si procede allora al montamento della dinamo o motore e si fanno le prove; se il risultato è buono ciò significherà che la scintilla circolare era causata o da deficienza d'isolamento fra le spire per umidità o per avaria al collettore.

Può però accadere che il contatto fra spira e spira sia molto più serio ed allora bisognerà sfare l'avvolgimento e rifarlo con conduttore nuovo, secondo le norme per il bobinaggio già impartite nel capitolo precedente.

Non di rado avviene che urga cambiare il collettore ad un elettromotore. Sarebbe impossibile costruirne uno per dinamo, data la mancanza di mezzi dei quali si può disporre a bordo delle navi, ma trattandosi di un motore

da non oltre 2 o 3 HP, a preferenza di inutilizzare il motore, specie se la nave trovasi lontana dalle sue basi, si può, avendo verghe in rame od anche in bronzo, costruirlo benissimo. Sopra un foglio di carta si disegna la vista di fronte (fig. 181) del collettore e si costruisce un calibro di lamie-

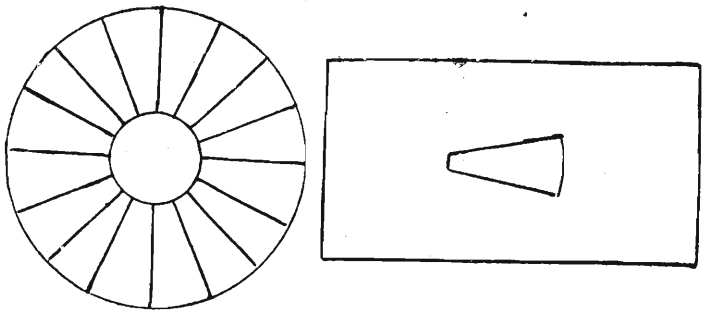


Fig. 181.

Fig. 182.

rino di ferro, con una sfinestratura eguale alla sezione di una piastrina perchè queste ultime risultino tutte eguali. Ultimato ciò si aggiustano le anzidette piastrine e quindi si pone, tra l'una e l'altra, la mica in lamine avendo cura di metterla dello stesso spessore, facendo poscia una legatura tutta all'intorno per farle aderire provvisoriamente. Si costruisce un cerchio di ferro, lo si tornisce internamente con una leggera conicità lasciandone il diametro minimo interno di circa 3 mm. più piccolo del diametro del cilindro formato dalle piastrine provvisoriamente legate; indi lo si infila a viva forza sul collettore in formazione. Perciò si prende un martinetto, che è facile avere a

bordo, e si cerca un punto di appoggio il quale possa sostenere lo sforzo che detto martinetto dovrà fare; si spinge il cerchio con forza, in modo da mandare le piastrine verso il centro (fig. 182). La dimensione di 3 mm. data al diametro interno minimo del cerchio di serraggio serve appunto per questo scopo.

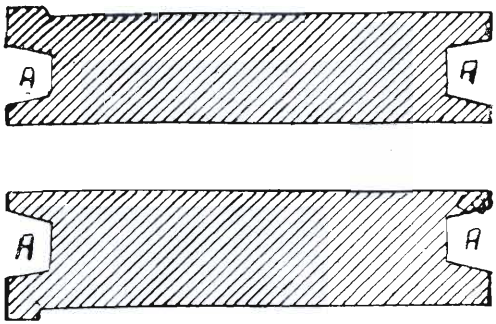


Fig. 183.

Mandato il cerchio a metà del collettore si mette il tutto sul tornio, per dargli la foggia del vecchio, cioè si intesta alla lunghezza voluta e gli si praticano con cura i solchi anulari A (fig. 183) dove alloggia il cerchio, pure conico, fuso sulla corona circolare del gotto (fig. 184). Ciò fatto si serra il collettore nel gotto (che deve essere isolato dalle piastrine) e poscia

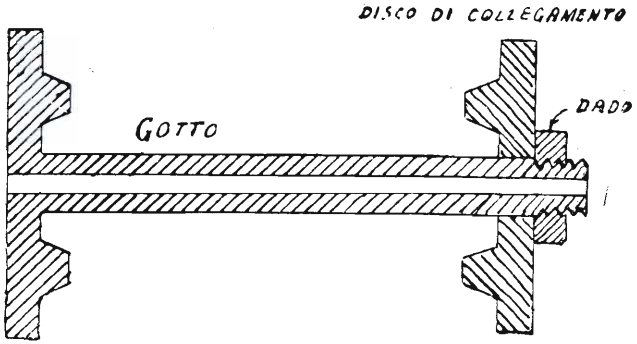


Fig. 184.

con una unghietta si taglia il cerchio di ferro di serraggio. Si tornisce allora la superficie esterna e si accerta con il voltmetro Weston che le piastrine siano isolate una dall'altra e dal gotto, ricorrendo, in caso di contatti, a quei mezzi che sono già stati indicati.

§ 72 — **Potenza a rendimento dei motori**

Al motore si fornisce una potenza elettrica P_t che è data dal prodotto V I della d.d.p. ai morsetti del motore per la corrente che il motore assorbe. Se si trascura il modo di eccitazione del motore, ossia se si suppone che il motore sia ad eccitazione separata, si ha:

$$P = V\,I \text{ ma sappiamo che } V = e + r\,I \text{ e quindi sarà}$$

$$P_t = e\,I + r\,I^2$$

Il termine $r\,I^2$ rappresenta la potenza che va consumata nell'avvolgimento del rotore sotto forma di calore. Il termine $P_e = e\,I$ rappresenta la parte di potenza elettrica che va trasformata in potenza meccanica. Il rapporto:

$$\eta_i = \frac{P_e}{P_t}$$

dà il *rendimento elettrico* del motore. Non tutta la potenza elettrica P_e è utilizzata come potenza meccanica, ma essa va in parte spesa per compensare le perdite per correnti parassite e per isteresi nel nucleo dell'indotto e le perdite per attrito e ventilazione le quali, come per le dinamo, dànno luogo ad altrettante coppie resistenti che si oppongono al movimento del motore.

Il rapporto fra la potenza meccanica misurata sull'asse motore e la potenza elettrica totale fornita dalla linea:

$$\eta_i = \frac{P_m}{P_t}$$

ci dà il *rendimento industriale* del motore.

Per motori abbastanza grossi i valori dei rendimenti sono eguali a quelli della dinamo, ossia il rendimento elettrico può giungere fino al 97 % ed il rendimento industriale fino al 94 %.

CAPITOLO XIV

Alternatori

§ 73 — Generalità sugli alternatori

Si chiama *alternatore* il generatore di corrente alternata. Ogni macchina ad induttore mobile, con avvolgimento di uno dei tipi già descritti, può essere utilizzata per produrre una corrente alternata. Come si è detto nel capitolo XII, una macchina costituita con un *indotto ad una sola spira* può essere utilizzata come alternatore, collegando i due capi della spira a due anelli, mobili con il rotore, sui quali striscino (fig. 185) due spazzole connesse ai capi del circuito

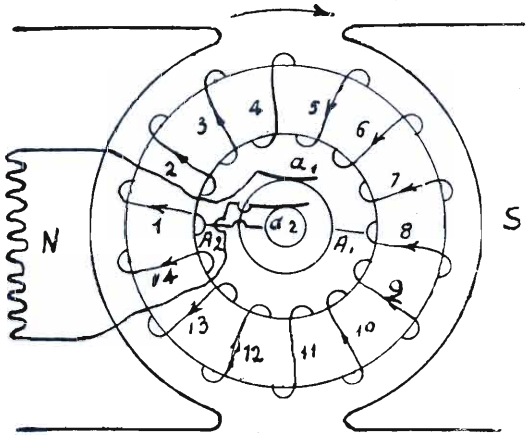


Fig. 185.

esterno. La frequenza della f.e.m. prodotta è data in tal caso dal numero di giri dell'indotto in un minuto secondo, perchè, ad intervalli di un giro, la f.e.m. ripassa per gli stessi valori. Qualunque indotto di *dinamo bipolare* ad anello od a tamburo, se si collegano in modo stabile due punti opposti dell'avvolgimento con un collettore ad anelli, dà f.e.m. e corrente alternata di frequenza eguale al numero di giri della macchina al minuto secondo.

Gli alternatori però, a differenza della dinamo, sono costruiti, nella grande maggioranza, con indotto fisso e induttore mobile. Infatti sappiamo che un conduttore spostandosi in un campo magnetico diviene sede di f.e.m. tanto se il conduttore effettivamente si muove come se si muove il campo magnetico rispetto al conduttore (fig. 186). Supponiamo che il magnete N S sia fatto ruotare

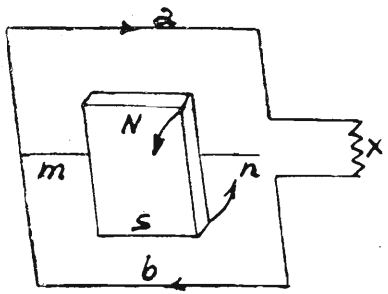


Fig. 186.

intorno all'asse $m\,n$ con moto uniforme. La spira $a\ b$ sia fissa e le sue estremità siano collegate al circuito esterno X. Ogni qualvolta il flusso uscente dal polo N taglia a si induce in a una f.e.m. diretta verso destra (regola della mano); contemporaneamente il flusso entrante in S taglia b e si induce in b una f.e.m. diretta verso sinistra. La corrente quindi circola nel senso indicato dalle frecce. Quando il magnete ha fatto mezzo giro, i poli hanno cambiato il posto rispetto ad a e b, la f.e.m. e la corrente hanno quindi direzione opposta a quella indicata dalle frecce. Di conseguenza durante una rotazione completa del magnete si hanno due pulsazioni di f.e.m. (e di corrente se il circuito è chiuso), dirette in senso contrario. Il dispositivo descritto è quindi un alternatore.

Si avrà una f.e.m. massima quando il magnete è nel piano della spira; in tale posizione si avrà infatti il massimo numero di linee di flusso tagliate dal conduttore. La f.e.m. sarà nulla e cambierà direzione quando il magnete è normale al piano della spira. In tale posizione il conduttore ruotando non taglia, nel movimento, linee di flusso. Per questa macchina la frequenza risulta eguale al numero dei giri del magnete per minuto secondo. Le frequenze più comunemente adottate nei circuiti industriali sono comprese fra 40 e 60 (in Italia sono usate le frequenze di 42, 45 e 50). In radiotelegrafia si usano frequenze molto maggiori.

Se si costruissero alternatori bipolari sarebbe necessario per avere notevoli frequenze far ruotare i magneti a velocità praticamente non convenienti e addi-

rittura irrealizzabili. Si ricorre quindi agli induttori multipolari. La figura 187 rappresenta un alternatore monofase tetrapolare. I poli N e S sono alternati. Nella carcassa di ferro dolce, in apposite scanalature, sono alloggiati i fili utili, rivestiti di materia isolante. Le scanalature sono riunite in tanti gruppi quanti sono i poli. I gruppi distano fra loro di un intervallo polare. Le linee di flusso hanno l'andamento segnato in figura. In questo alternatore si hanno tanti pe-

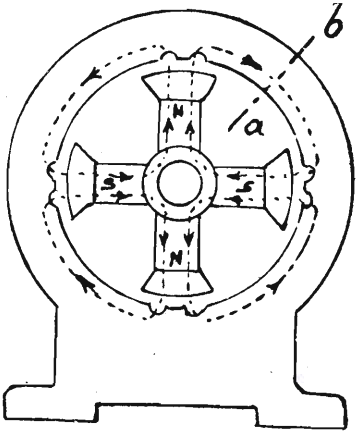


Fig. 187.

riodi in un giro per quanti poli dello stesso nome passano durante un giro davanti al medesimo conduttore, ossia due. La frequenza sarà quindi data in generale dalla relazione:

$$f = n\,p$$

dove n è il numero dei giri al minuto secondo e p il numero delle coppie di poli dell'alternatore.

La f.e.m. dell'alternatore multipolare risulta maggiore di quella dell'alternatore bipolare, perchè si vengono a sommare le f.e.m. dei vari fili attivi. Senza dare la dimostrazione basterà riportare l'espressione che ci dà la f.e.m. di un alternatore:

$$E = Y\,p\,n\,N\,\Phi$$

dove Y è un coefficiente che dipende dalla forma della corrente alternata e dal numero delle scanalature per ogni gruppo di conduttori, p il numero delle coppie polari, n il numero dei giri al minuto secondo, N il numero dei fili attivi e Φ il flusso uscente da un polo.

Il sistema induttore è costituito da un rotore a poli *salienti* come quelli della fig. 187. Attorno a ciascun polo vi è una bobina che, percorsa dalla corrente continua nel senso opportuno, fa assumere a ciascuno di essi la polarità adatta. Gli alternatori hanno, nella quasi totalità, l'eccitazione separata nella quale come abbiamo detto, circola corrente continua, sebbene siano stati fatti tentativi per utilizzare come corrente magnetizzante la corrente prodotta dall'alternatore medesimo e raddrizzata mediante dispositivi speciali.

L'avvolgimento induttore fa capo a due anelli metallici fissati sull'asse dell'alternatore come è indicato in figura 185, sui quali strisciano due spazzole fissate alla parte immobile della macchina e collegate ai due morsetti della sorgente di f.e.m. continua. Mediante un reostato inserito nel circuito di eccitazione si varia la corrente nell'avvolgimento degli induttori e quindi la f.e.m. dell'alternatore.

Anche negli alternatori la corrente dell'indotto genera un campo magnetico il quale, deformando il campo induttore produce la *reazione* d'indotto. Questa reazione però non è costante perchè prodotta da una corrente variabile. D'altra parte mentre durante il moto per una identica posizione dell'indotto rispetto all'induttore, si ha sempre la stessa tensione non così avviene per la corrente che si trova sfasata in anticipo ed in ritardo a seconda della capacità e dell'induttanza del circuito esterno (vedi cap. X).

Se l'alternatore ruota a circuito aperto la d.d.p. ai morsetti è eguale alla f.e.m.; ma quando si chiude il circuito esterno nasce la reazione di indotto la quale non dipende solo dall'intensità di corrente che circola, ma anche dalla differenza di fase fra la tensione e la corrente.

Queste variazioni della reazione d'indotto che dipendono da variazioni di carico e dànno luogo a variazioni di tensione si riportano ai morsetti degli utenti in derivazione. E' quindi necessario che esse siano ridotte al minimo per non pregiudicare il funzionamento degli stessi utenti. Nei buoni alternatori la caduta di tensione che si verifica tra la marcia a vuoto e la marcia a pieno carico, è dal 5 al 7 % con carico non induttivo e sempre minore del 20 % per carichi induttivi e con fattore di potenza non minore di 0,8 (v. cap. X). L'alternatore è quindi indicato ad alimentare circuiti a *tensione costante;* gli abbassamenti di voltaggio che si verificano con il variare del carico si possono correggere mediante una conveniente regolazione che, come per la dinamo, si compie agendo sull'eccitazione con un reostato inserito sul circuito induttore ed anche regolando la tensione della dinamo eccitatrice.

§ 74 — Alternatori polifasî - Avvolgimenti degli alternatori

Se sullo statore sul quale è già un avvolgimento indotto, in cui si origina una f.e.m. alternata monofase, si sovrappongono altri avvolgimenti regolarmente spostati rispetto al precedente, si hanno diversi circuiti distinti nei quali le f.e.m. differiscono soltanto per uno spostamento di fase costante. Si hanno così delle *forze elettromotrici polifasi* (1).

Supponiamo di avere un alternatore con 4 poli induttori e con 4 fili attivi: 1_a , 2_a , 3_a , 4_a , collocati in altrettante scanalature (fig. 188). Pratichiamo poi altre 4 scanalature nello statore intercalate fra le precedenti ed in modo che

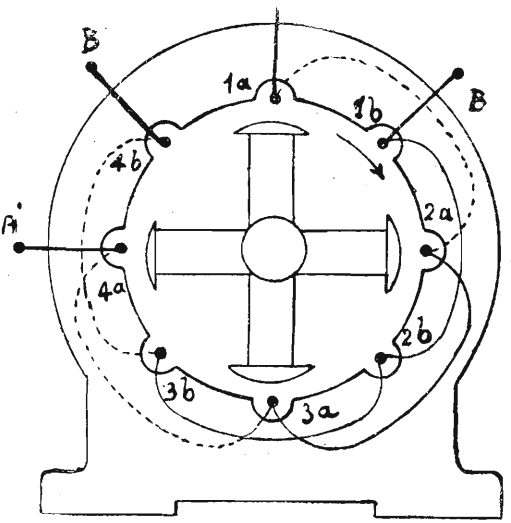


Fig. 188.

ciascuna sia ad eguale distanza fra le due del sistema precedente che la comprendono. Nelle nuove scanalature collochiamo altri 4 fili attivi e colleghiamoli in modo da formare un secondo avvolgimento, 1b, 2b, 3b, 4b. Nell'avvolgimento B B′ la f.e.m. è in ritarno di ¼ di periodo su quella dell'avvolgimento AA′ (fig. 189); i due avvolgimenti si equivalgono e possono essere collegati a due diversi circuiti esterni. Si dice che un tale alternatore fornisce *correnti bifasi*.

(1) Per comprendere bene quanto si viene esponendo è necessario essere perfettamente a conoscenza di quanto si è detto nel capitolo X sulle correnti alternate.

Ma il caso più importante è quello delle *correnti trifasi*.

Supponiamo (fig. 190) di avere tre alternatori monofasi, ad esempio, bipolari, identici, I, II e III con induttore mobile ed indotto fisso. Le tre macchine siano disposte una parallela all'altra in modo da poter montare i tre induttori sopra un unico asse azionato da una sola motrice. Abbiamo tre alternatori i quali attivano indipendentemente tre circuiti che supporremo eguali.

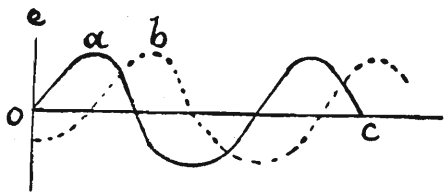


Fig. 189.

I tre avvolgimenti siano spostati fra di loro angolarmente di 1/3 di periodo, cioè 120°, nel senso contrario alla rotazione dell'induttore e così le tre f.e.m. che si ottengono sono eguali e sfasate fra loro di 1/3 di periodo ed altrettanto potremo dire delle correnti, dato che i tre circuiti estremi siano

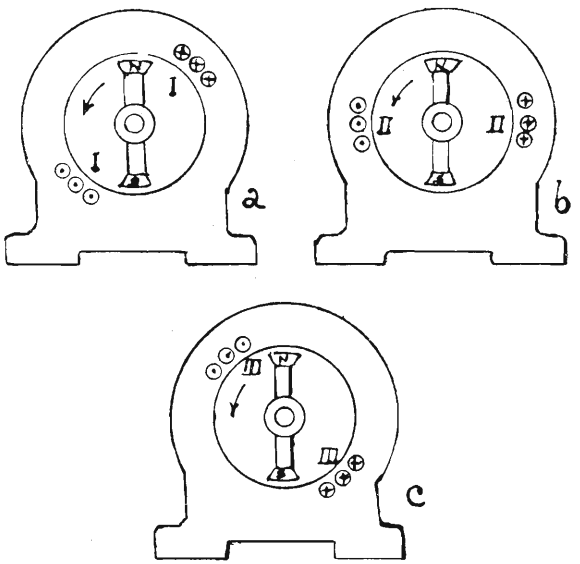


Fig. 190.

eguali. Semplifichiamo ora il gruppo delle tre macchine e riduciamolo ad una sola; cioè senza cambiare l'orientamento immaginiamo di far scorrere i tre indotti uno dentro l'altro, come i tubi di un cannocchiale, e di fondere i tre induttori in uno solo; avremo allora un indotto a tamburo unico con tre avvolgimenti indotti, cioè tre *fasi*, indipendenti e spostati successivamente di 1/3

di periodo ciascuno ed ognuno dei quali alimenta il proprio circuito (fig. 191). Ecco un *alternatore trifase*. Il sistema delle tre f.e.m. e delle tre correnti è pure *trifase*. Dato che l'induttore è il rotore, avremo sull'indotto sei morsetti, due per fase. Il rotore avrà due anelli con spazzole striscianti per inviare corrente agli induttori. La figura 192 rappresenta schematicamente le tre fasi A A′,

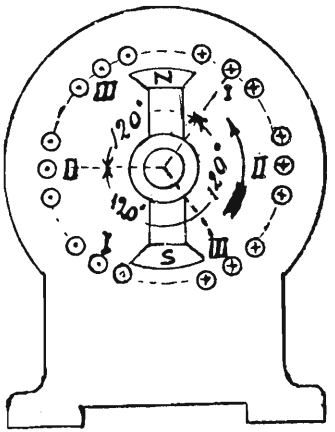


Fig. 191.

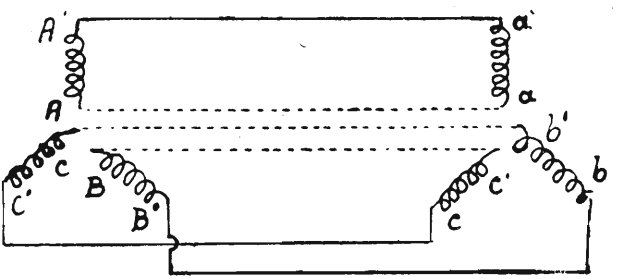


Fig. 192.

B B′, C C′, le quali, come si è detto, dànno luogo alle tre f.e.m. sfasate di 1/3 di periodo ed i tre utenti identici aa′, bb′, cc′, ai quali le fasi dell'alternatore mandano rispettivamente corrente. I tre conduttori centrali possono essere considerati come i fili di ritorno dei tre circuiti; ma, poichè la somma della cor-

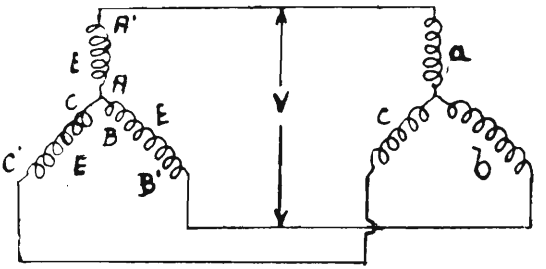


Fig. 193.

rente che li percorre è costantemente nulla, essi possono essere soppressi. Basta a questo scopo riunire in un unico punto, il *punto neutro*, i tre avvolgimenti generatori e fare la stessa cosa per i ricevitori. Si ha (fig. 193) il *collegamento a stella* (cap. X). Ma sappiamo che i tre circuiti dell'alternatore si

possono anche combinare in modo differente, e precisamente (fig. 194) si possono *collegare a triangolo* (cap. X). Parlando delle correnti alternate abbiamo trovato quali siano i valori della corrente e della f.e.m. in ciascuno dei due collegamenti e siano giunti alla conclusione che, ai fini della potenza, *con l'uno e con l'altro collegamento la potenza risulta la medesima.*

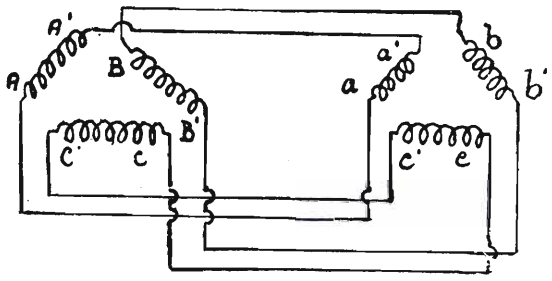


Fig. 194.

Allo scopo di poter utilizzare a volontà l'una o l'altra delle tensioni relative alle due specie di collegamento, si adotta frequentemente, nelle installazioni industriali, una distribuzione a stella con un quarto filo che parte dal centro della stella ed è chiamato *filo neutro* (fig. 195). Attaccando allora un utente P fra uno dei fili A, B, C e il neutro N esso viene alimentato con la tensione E di una fase; attaccando un utente Q fra due fili di linea come A e B lo si alimenta con la tensione $V = \sqrt{3}\ E$.

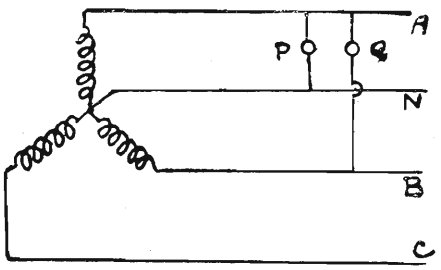


Fig. 195.

Con questo tipo di distribuzione si utilizza di solito la tensione E tra il filo di linea neutro per alimentare le lampade; si utilizza invece la tensione V fra filo e filo di linea per alimentare i motori. I morsetti della macchina saranno quattro e non più sei.

La f.e.m. che si sviluppa in un solo conduttore dell'indotto di un alternatore non supera uno o due volts, perciò l'avvolgimento si compone sempre

di un gran numero di conduttori disposti ordinariamente in matasse e bobine, ciascuna di parecchie spire, incastrate entro le scanalature ricavate nel nucleo e poi collegate fra loro. I capi di ciascuna bobina si saldano insieme e si ricoprono accuratamente con nastro od altro materiale isolante. Le bobine sono di filo di rame, rivestito di materie isolanti (comunemente cotone), ed avvolte sopra forme le quali abbiano il profilo desiderato.

Le scanalature dell'indotto sono rivestite spesso di carta o fibra. Le bobine si forzano nelle scanalature e vi sono mantenute a posto per mezzo di cunei di fibra o di legno.

Quando il tratto di indotto a cui è affacciata ciascuna faccia polare, comprende più di una scanalatura nella quale vengono a trovarsi distribuite le spire della bobina, l'avvolgimento dicesi *distribuito* come, ad esempio, quello delle figure 190 e 191 dove ogni bobina è distribuita in tre scanalature; se invece tutte le spire dell'avvolgimento di una bobina, influenzata da una coppia di poli, sono raccolte in una sola scanalatura per ciascun polo, l'avvolgimento dicesi *concentrato*.

§ 75 — **Perdite, potenza e rendimento degli alternatori**

Le perdite delle macchine generatrici di corrente alternata sono:

1°) Perdite meccaniche;
2°) Perdite nel ferro (per isteresi e per correnti parassite di Foucault);
3°) Perdite nel rame (effetto Joule).

Le perdite meccaniche dipendono dalla velocità di rotazione (attrito, resistenza dell'aria); sono quindi costanti, dato che l'alternatore per dare frequenza costante deve marciare a velocità costante. Le perdite nel ferro dipendono dalla tensione che la macchina sviluppa e quella nel rame dipendono dall'intensità di corrente che circola nell'avvolgimento indotto.

Anche nel caso dell'alternatore la potenza è limitata dal riscaldamento; siccome poi il riscaldamento dipende dalle perdite, le quali abbiamo visto che alla loro volta dipendono dalla tensione e dalla corrente che l'alternatore sviluppa, dedurremo che da un determinato alternatore noi non potremo avere più di un certo numero di volt e di un certo numero di ampère.

La conoscenza della massima tensione e della massima corrente che possiamo richiedere da un alternatore non basta però ad indicare la massima potenza che l'alternatore può sviluppare. Questa infatti è espressa dalla formula:

$$P = E\ I \cos \varphi$$

dove cos φ dipende dalle caratteristiche induttive e capacitive del circuito esterno (v. cap. X). Ne viene che se un circuito sul quale lavora l'alternatore ha un fattore di potenza uguale a uno, l'alternatore può sviluppare una potenza $P = E\ I$; ma se il fattore di potenza è zero l'alternatore sviluppa la massima f.e.m. e la massima corrente riscaldandosi al massimo e non fornendo alcuna potenza. Ricorderemo ancora che se in un alternatore è determinata la potenza apparente che l'alternatore stesso può sviluppare, non è affatto determinata la potenza reale, la quale dipende dalle caratteristiche del circuito esterno.

Nei riguardi del rendimento si debbono considerare per l'alternatore:

a) *il rendimento elettrico*, cioè il rapporto fra la potenza elettrica utilizzata nel circuito esterno e la potenza elettrica totale sviluppata dall'alternatore.

b) *il rendimento industriale*, cioè il rapporto fra la potenza elettrica utilizzata nel circuito esterno e la potenza meccanica fornita all'albero dell'alternatore.

Il rendimento totale degli alternatori moderni di grande potenza può giungere fino al 96 %.

§ 76 — **Accoppiamento e messa in fase degli alternatori**

Abbiamo già detto, parlando delle dinamo, come nelle centrali elettriche a corrente continua convenga l'uso di varie generatrici di adeguata potenza, invece di una sola capace di fornire la massima potenza che richiede il circuito alimentato; questa convenienza sussiste anche per le centrali a corrente alternata, se non che, mentre le dinamo si accoppiano in serie ed in parallelo, gli alternatori si accoppiano *solo in parallelo*. Infatti l'accoppiamento in serie degli alternatori non è stabile. Per accoppiare in serie due alternatori, le f.e.m. delle macchine, oltre ad avere la stessa frequenza, dovrebbero essere sempre in fase per potersi sommare aritmeticamente nel circuito. Ora queste due condizioni si potrebbero solo verificare quando i due alternatori fossero accoppiati rigidamente sullo stesso asse, ciò che sarebbe contrario al principio per il quale si fa uso di più generatori. Azionando gli alternatori con motori indipendenti, è impossibile avere velocità perfettamente eguali in ogni istante e quindi essi non tarderebbero a porsi in opposizione non fornendo più alcuna corrente al circuito esterno.

L'equilibrio, dunque, di due alternatori in serie è instabile.

L'*accoppiamento in parallelo di due alternatori è invece stabile.*

Infatti si dimostra che quando i due alternatori sono in parallelo, se le velocità cominciano a differire, e cioè se uno degli alternatori accelera l'andatura rispetto all'altro tendendo così a disturbare l'equilibrio, nasce nel circuito degli alternatori stessi una f.e.m., e quindi una corrente, detta di *sincronizzazione* la quale, facendo funzionare da motore l'alternatore che ritarda, automaticamente ristabilisce l'equilibrio; i due generatori riacquistano di nuovo la medesima velocità e le loro f.e.m. riprendono la stessa fase.

Per poter accoppiare in parallelo gli alternatori, o collegarli ad una linea già mantenuta in tensione da altre macchine, *bisogna che siano eguali le f.e.m., le fasi e le frequenze*. Abbiasi, ad esempio, due alternatori A_1 ed A_2 (fig. 196),

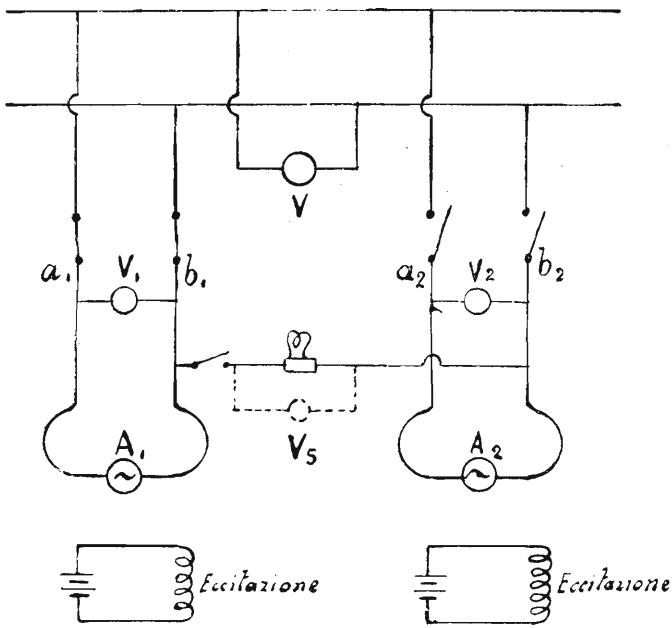


Fig. 196.

il primo dei quali sia già collegato alle sbarre del quadro con i suoi morsetti a_1 e b_1 essendo chiuso l'interruttore corrispondente. Per accoppiare l'alternatore A_2 si comincia con il metterlo in moto portandone la velocità quanto più possibile prossima al sincronismo; a quella tale velocità cioè per la quale

le due macchine raggiungono la medesima frequenza e sono in fase, in modo che i massimi ed i minimi delle rispettive grandezze elettriche coincidano. Regolando l'eccitazione si otterrà al voltmetro V_2 la tensione di linea, la quale sarà indicata da un altro apposito strumento V.

Per riconoscere l'eguaglianza di fase si inserisce una lampada ad incandescenza fra i morsetti dello stesso nome dei due alternatori, cioè quelli uniti alla medesima sbarra del quadro (*indicatori di fase*).

Se vi è concordanza di fase i poli a_1 e a_2 hanno lo stesso potenziale e così pure b_1 e b_2; la lampada rimane spenta. Se le fasi sono in diretta opposizione, si ha fra a_1 e a_2 e fra b_1 e b_2 la massima differenza di potenziale e la lampada brilla con la massima intensità.

Siccome è difficile mantenere la velocità esattamente eguale, fino a che l'alternatore A_2 non è accoppiato, la differenza di fase varia. Se la velocità dei due alternatori sono poco diverse, allora fra la concordanza e l'opposizione di fase (quindi fra lo spegnimento ed il massimo splendore del lampadino) passerà un certo tempo. Se invece le velocità sono molto diverse, allora si avrà una ripetizione molto più rapida del fenomeno.

Regolando la velocità dell'alternatore A_2 si riesce facilmente ad ottenere una oscillazione di luce sufficientemente lenta perchè si possa cogliere il momento in cui la lampada è spenta e chiudere l'interruttore per inserire l'alternatore A_2. Allora, se vi è ancora una piccolissima differenza di fase o di

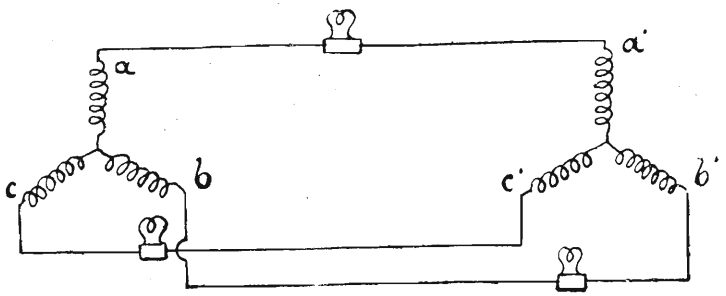


Fig. 197.

velocità, la corrente sincronizzante, che circola nelle due macchine, corregge subito questa differenza e porta le macchine al sincronismo perfetto. Il circuito contenente le lampadine, detto anche *circuito di messa in fase*, può inoltre essere inserito fra a_1 e b_2 o fra a_2 e b_1. In tal caso quando le due f.e.m. sono in fase, la lampada ha il massimo splendore ed in questo istante

si deve chiudere l'interruttore di parallelo. Invece delle lampade si può mettere un voltmetro V_s e l'accoppiamento si fa quando quest'ultimo segna o il doppio della tensione di un alternatore o zero, a seconda del modo di inserzione.

Quando si è venuto esponendo riguarda il parallelo di alternatori monifasi e si può estendere anche agli alternatori polifasi. Basta, evidentemente, stabilire l'accordo per una fase con una delle disposizioni sopra descritte. Lo schema di due alternatori trifasi è quello della fig. 197; le tre lampade A, B e C durante la regolazione si accendono e si spengono simultaneamente. L'accoppiamento si fa quando le lampadine sono spente.

CAPITOLO XV

Motori a corrente alternata

§ 77 — Generalità sui motori a corrente alternata Motori asincroni

I motori a corrente alternata sono di vari tipi ed i più importanti sono:

i motori asincroni ed a campo rotante;

i motori sincroni.

Abbiamo visto nel Capitolo X, parlando dei campi magnetici rotanti, che due campi magnetici prodotti dalla corrente circolante in due spire, disposte perpendicolarmente fra loro, si compongono in un campo magnetico risultante il quale ruota nel piano determinato dai due campi componenti, con velocità uniforme. Si dimostra che non è necessario che le due spirali formino fra loro un angolo retto come non è necessario che sia $\frac{1}{4}$ di periodo la differenza di fase fra le due correnti, per avere un campo magnetico rotante. Il campo rotante si può ottenere con angoli e differenze di fase differenti; in questo caso esso non ha più valore costante.

Quanto si è detto per due correnti vale e si può ottenere per tre correnti o più (v. cap. X).

I *motori asincroni* si basano sul fenomeno della produzione in un campo magnetico rotante per mezzo di correnti alternate, fra loro sfasate, ed inviate in sistemi di spire opportunamente disposte. Si deve al celebre elettrotecnico Galileo Ferraris non solo il concetto ma anche il primo dispositivo di utilizzazione pratica di un campo rotante in un motore elettrico. Questo dispositivo era costituito (fig. 198) da due spirali, disposte con i loro piani verticali e perpendicolari fra loro; nello spazio intorno era sospeso un cilindro di rame, vuoto e chiuso, girevole intorno ad un asse verticale. Se si mandano nelle due spire correnti alternate di eguali intensità, ma sfasate fra loro di $\frac{1}{4}$ di periodo, si produce un campo rotante intorno all'asse del cilindro. Per effetto di tale rotazione in una spira a-b posta sul cilindro, il flusso di induzione

varia periodicamente ed in conseguenza la spira chiusa sopradetta diviene sede di una f.e.m. indotta. Questa f.e.m. indotta genera delle correnti parassite che magnetizzano il cilindro di rame e poichè il campo da essi prodotto tende a disporsi parallelamente al campo magnetico rotante, il cilindro stesso si mette in rotazione. Basta quindi, per concepire il funzionamento del motore, rap-

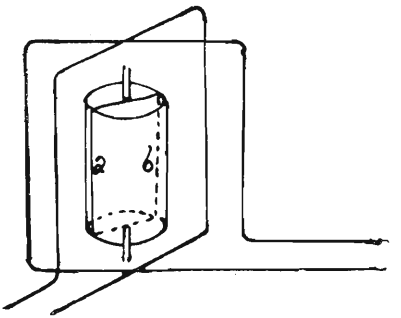


Fig. 198.

presentarsi i due campi magnetici ambedue rotanti, uno per effetto delle correnti sfasate e l'altro generato dalle correnti indotte e trascinato dal cilindro in rotazione, i quali si inseguono senza raggiungersi mai. Infatti la velocità del cilindro non potrà mai essere eguale a quella del campo rotante, perchè, in tal caso, mancando il movimento relativo fra i due campi, il flusso abbracciato dalla spira sarebbe costante, cesserebbe la variazione di flusso e quindi la condizione necessaria alla produzione delle correnti indotte. La velocità del nucleo risulta perciò inferiore a quella del campo. La differenza fra le due velocità prende il nome di *scorrimento*. Esso di solito è dal 4 al 6 per cento; vale a dire che il rotore resta indietro da 4 a 6 giri su ogni 100 giri eseguiti dal campo rotante. Se, per esempio, la velocità del campo rotante è di 400 giri al minuto lo scorrimento è del 5 per cento, esso corrisponderà a:

$$\frac{400 \times 5}{100} = 20 \text{ giri}$$

ed il rotore compirà $400 - 20 = 380$ giri al minuto.

E' evidente anzitutto che per ottenere effetti potenti conviene adottare tutte quelle disposizioni che permettano di produrre un flusso magnetizzante con la minima forza magneto-motrice (v. cap. VIII); conviene chiudere quindi il circuito magnetico attraverso masse di ferro e ridurre al minimo l'intraferro.

Lo statore è perciò formato da un anello di ferro di sezione uniforme (fig. 199) e gli avvolgimenti destinati a ricevere le correnti magnetizzanti si fanno con fili disposti entro fori o canali, presso la periferia interna, come nell'indotto degli alternatori ordinari che abbiamo già studiato. Per attenuare

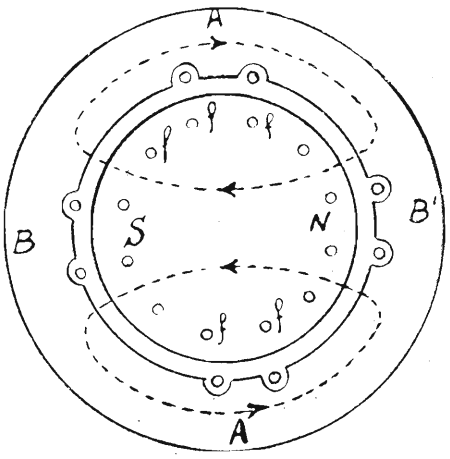


Fig. 199.

le correnti parassite l'anello è formato con sottili lamiere di ferro isolate fra loro.

Per rinforzare il flusso, il rotore è costituito da un cilindro di ferro laminato, con tanti fori *f* uniformemente distribuiti presso la periferia nei quali si introducono delle sbarrette di rame riunite poi fra loro sulle due facce piane del cilindro per costituire un sistema di spire conduttive e favorire così la produzione delle correnti indotte. Un rotore di questo tipo si trova solo in motori di piccola potenza e dicesi a *gabbia di scoiattolo*.

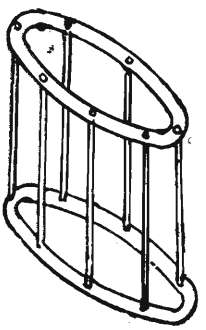


Fig. 200.

L'intraferro comunemente si aggira intorno ad un millimetro; nei piccoli motori lo si riduce anche ad una frazione di millimetro. L'armatura del motore rappresentato nella fig. 200 è costituita da spire che abbracciano mezzo statore; lo statore è dunque *bipolare*. Infatti una metà circa della superficie interna dello statore rappresenta una faccia polare nord, mentre l'altra metà rappresenta una faccia polare sud: le due facce polari

ruotano continuamente, con moto uniforme, compiendo un giro ad ogni periodo della corrente alternata impressa. Nell'istante a cui si riferisce la figura la corrente è massima nell'avvolgimento A, nulla nell'avvolgimento B.

Poichè il rotore, come abbiamo detto, ha una velocità angolare poco inferiore a quella del campo rotante, in un motore bipolare il numero di giri in un minuto primo è quasi eguale alla frequenza della corrente. Per ridurre il numero dei giri, che spesso e specialmente nei motori di grande potenza sarebbe eccessivo (per f = 50, il numero dei giri al minuto sarebbe pari a 3000), *bisogna diminuire la velocità angolare del campo rotante*, il che si dimostra essere ottenibile facendo lo statore multipolare, disponendo cioè le bobine in modo che invece di abbracciare mezzo statore, ne abbraccino una frazione minore.

Se le spire abbracciano ¼ dello statore, il motore è tetrapolare. Nella figura 201 l'avvolgimento della fase 1 parte dal morsetto A, tocca successiva-

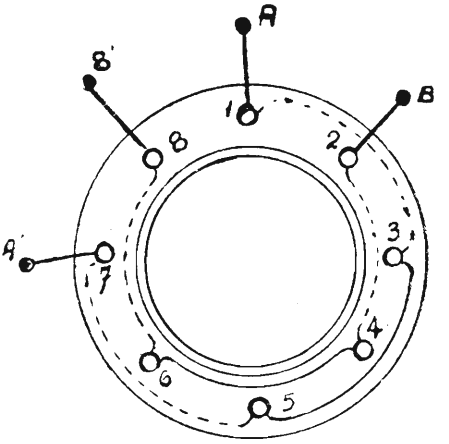


Fig. 201.

mente, mediante connessioni alternativamente posteriori ed anteriori, i fili 1 - 3 - 5 - 7 e viene all'altro morsetto A^1; l'avvolgimento della fase 2 del morsetto B, per i fili 2 - 4 - 6 - 8, viene al morsetto B^1.

Anche nel caso di *statori trifasi*, analoghi a quelli bifasi, si potrà variare il numero dei giri del motore variando in modo identico il numero dei poli. Si intende poi che gli avvolgimenti (bobine) si potranno sempre collegare fra loro a stella od a triangolo.

Indicando con 2p il numero dei poli, se f è la frequenza della corrente ed n

il numero dei giri del motore al secondo, facendo astrazione dallo scorrimento, si ha la relazione:

$$n = \frac{f}{p}$$

dove p è il numero delle coppie di poli.

Se, per esempio, un motore alimentato da corrente alternata di 48 periodi al secondo ha 12 poli, il numero di giri al minuto secondo del rotore, astraendo dallo scorrimento, sarà di:

$$n = \frac{48}{6} = 8$$

Se si vuol sapere il numero di giri effettivo n′ al minuto primo, considerando uno scorrimento del 5 %, si avrà:

$n' = \frac{f\,60}{p}\ \frac{48 \times 60}{6}$ = 480 giri (velocità del campo rotante e di sincronismo)

e poi:

$\frac{480 \times 5}{100}$ = 24 (numero di giri corrispondenti allo scorrimento)

ed ancora

n′ = 480 — 24 = 456 (numero di giri effettivo del rotore).

Se noi ora tracciamo una curva, con il solito metodo grafico già applicato nelle caratteristiche delle dinamo, ponendo (fig. 202) sulla linea verticale del diagramma i valori della coppia motrice in relazione ad altrettanti valori della velocità, posti sulla linea orizzontale, potremo, dall'osservazione della predetta curva, vedere come, quando si avvia il motore (n = O), la coppia motrice ha il valore Oa; quindi essa cresce fino a raggiungere il massimo valore b′ per diminuire rapidamente fino ad annullarsi quando il rotore raggiunga la velocità di sincronismo *n*. La coppia di avviamento risulta piuttosto piccola e basta una coppia resistente di valore poco superiore ad Oa perchè il motore non si avvii più. Ciò è dovuto alla notevole autoinduzione che presenta il motore all'inizio del funzionamento, autoinduzione che, come sappiamo, provoca uno spostamento di fase fra la f.e.m. e la corrente.

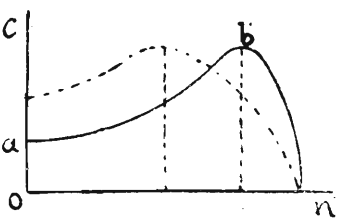


Fig. 202.

E' stato dimostrato teoricamente e la pratica lo ha confermato, che per aumentare la coppia motrice di avviamento è necessario inserire in serie con il rotore una resistenza ohmica, la quale ha lo scopo di evitare la produzione di correnti indotte troppo intense; questa resistenza va esclusa gradatamente a misura che il rotore si avvicina alla velocità normale.

La necessità quindi di avere un rotore con resistenza variabile complica il sistema semplicissimo del rotore a gabbia di scoiattolo, cui abbiamo accennato, e che si trova soltanto nei motori di piccola potenza. Per motori di maggiore potenza, nei quali occorre avere la possibilità di inserire una resistenza, il rotore non è più fatto a gabbia di scoiattolo: al posto delle sbarre di rame riunite frontalmente da due anelli, ed in corto circuito, esso presenta degli avvolgimenti distinti, dello stesso numero di quelli dello statore. Per esempio, se lo statore è trifase anche il rotore è trifase. Con l'inserzione della resistenza sul rotore la curva della coppia motrice (fig. 202) sarà quella punteggiata; la coppia motrice presenta quindi all'avviamento del motore un valore molto maggiore di prima. La figura 203 mostra lo schema di

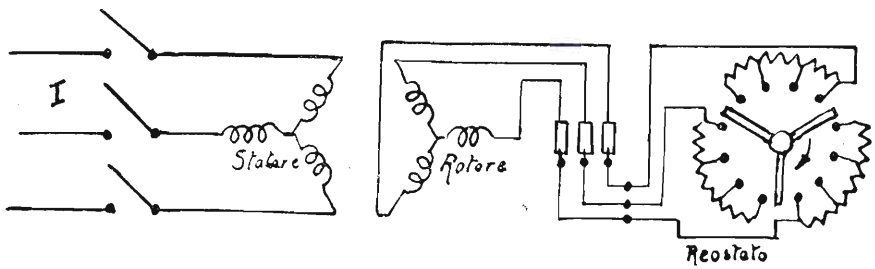


Fig. 203.

avviamento di un motore trifase. L'interruttore I si chiude mantenendo la leva del reostato fuori contatto, poi, ruotando la leva nella direzione della freccia si pongono le tre resistenze in serie con le tre fasi del rotore e quindi si esclude gradatamente la resistenza e si pone il rotore in corto circuito.

Il motore a campo rotante, è un motore di larghissimo impiego nell'industria, presentando il vantaggio di non richiedere, per l'assenza del collettore, eccessiva sorveglianza come la richiede un motore a corrente continua; ciò che rappresenta un notevole risparmio di mano d'opera.

Per arrestare il motore basta interrompere la corrente allo statore; per invertire la marcia, se il motore è trifase, si invertono due delle fasi, con il che si viene ad invertire la direzione del campo rotante.

Diremo infine che la velocità di rotazione di un motore a campo rotante al variare del carico è pressochè costante. Siccome inoltre la velocità si varia variando il numero dei poli, è chiaro che queste variazioni non possono essere infinite ma in numero molto limitato. I motori asincroni hanno quindi un numero ristretto di velocità; sui grossi locomotori delle FF. SS. per treni celeri si hanno quattro velocità: 100, 75, 50, 37,5 Km. all'ora.

§ 78 — **Rendimento e potenza dei motori asincroni**

Come è noto il rendimento di un motore è il rapporto fra la potenza utilizzata P_u e la potenza assorbita P_t. Si dimostra che nel motore asincrono il rendimento

$$n = \frac{P_u}{P_t} = \frac{n}{n'}$$

dove con n' si indica la velocità del campo rotante e con n la velocità del rotore.

Questo rendimento di solito oscilla fra 0,85 e 0,95. Per uno stesso motore è basso a piccolo carico e massimo a carico normale.

Riguardo allo sfasamento della corrente rispetto alla f.e.m. esso è tanto maggiore quanto minore è il carico. In pratica i motori al disotto di 3,4 HP hanno un $\cos \varphi$ oscillante fra 0,4 e 0,3 a carico piccolo e raggiungente 0,6 o 0,7 a carico normale. I motori di grande potenza hanno invece un $\cos \varphi$ variabile fra 0,7 e 0,9.

La potenza assorbita è data dalla formula che già conosciamo:

$$W = E\ I \cos \varphi$$

e se il motore è trifase da:

$$W = E\ I \cos \varphi\ 1{,}73.$$

nella quale E è la tensione esistente fra due fili qualunque del circuito.

§ 79 — **Motori sincroni**

Si abbia un alternatore monofase del tipo a induttore rotante e supponiamo di inviare dall'esterno nell'avvolgimento dell'indotto una corrente monofase di frequenza industriale. In ciascun istante, intorno ad ognuno dei conduttori dell'indotto, si producono linee di induzione che danno luogo

sulla superficie interna dell'indotto stesso alla formazione di polarità magnetiche, alternativamente Nord e Sud (fig. 204). Supponiamo inoltre che il rotore sia fermo ed abbia i poli eccitati con corrente continua. In queste condizioni, le forze che si sviluppano fra i poli induttori e le polarità dell'indotto non possono mettere in moto la parte mobile della macchina. Infatti tali forze cambiano alternativamente di segno un grande numero di volte in un tempo brevissimo: tante volte cioè quanti sono i periodi della corrente alternata alimentatrice. Il rotore invece, alimentato dalla corrente continua avrà i suoi poli Nord e Sud sempre fissi. E' chiaro che per la rapidissima inversione dei poli dello statore, il rotore, data l'inerzia della massa stessa che lo costituisce, non sarà soggetto a forza alcuna e quindi resterà fermo.

Ma supponiamo di avviare mediante una coppia motrice esterna il rotore ad una velocità tale che durante un semiperiodo della corrente alternata alimentatrice, il rotore ruoti di un semipasso. Dopo un semiperiodo dalla rappresentazione della fig. 204 avremo la rappresentazione della figura 205, cioè ancora la medesima posizione relativa della parte mobile ri-

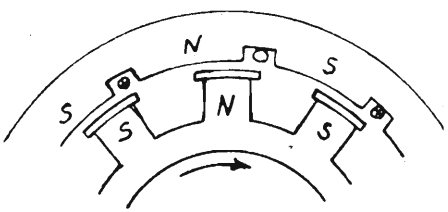


Fig. 204.

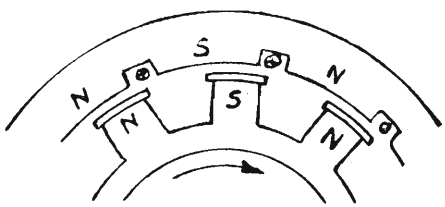


Fig. 205.

spetto a quella fissa della figura precedente; avremo perciò delle forze dirette nello stesso senso, per effetto delle quali il rotore continua a ruotare anche se noi sopprimiamo la coppia esterna.

La velocità di rotazione del rotore è evidentemente quella per la quale esso compie un semipasso ad ogni semiperiodo della corrente alternata: tale velocità dicesi *velocità di sincronismo*, perchè è la velocità con cui si dovrebbe, mediante una coppia motrice applicata dall'esterno, far ruotare il sistema induttore perchè la macchina, funzionando da alternatore, generasse una corrente alternata di frequenza pari a quella che, nel funzionamento della macchina da motore, noi inviamo nell'indotto. Un motore di questo tipo dicesi *sincrono* in quanto *non può funzionare che alla velocità di sincronismo* a differenza del motore asincrono per il quale, come abbiamo visto, le condizioni di funzionamento sono affatto contrarie.

Quanto si è detto per un motore monofase vale per un motore polifase.

Il numero dei giri di un motore sincrono nell'unità di tempo dipende dal numero dei poli; se i poli sono due soli, ad ogni periodo della corrente corrisponde un giro, ed in generale, se i poli sono 2p e la frequenza è f, il numero dei giri è:

$$n = \frac{f}{p}$$

dove p rappresenta il numero delle coppie polari.

Data la rapidità di successione della corrente alimentatrice, i successivi spostamenti del rotore saranno così rapidi da dar luogo a velocità di rotazione del rotore praticamente costante.

Dal funzionamento di questi motori risulta evidente che il senso di rotazione di essi dipende dal senso della spinta iniziale occorsa per avviarli.

L'avviamento di questi motori si può ottenere in diversi modi:

I motori monofasi, se sono piccoli, si avviano a mano, dando loro una spinta iniziale. Se sono provvisti di dinamo eccitatrice si può utilizzare quest'ultima per avviare il motore, facendola funzionare come motore a corrente continua alimentandola con una batteria di accumulatori.

Altro sistema per avviare i motori sincroni è quello di ricorrere ad un motorino ausiliario di potenza circa decima di quella di motore stesso e che può essere sia termico che elettrico. In quest'ultimo caso si farà uso di un motorino il quale si avvii da sè (motore asincrono). La manovra si compie nel seguente modo: si aziona il motore sincrono a vuoto mediante il motorino ausiliario, quindi si eccita gradatamente il motore e appena questo ha raggiunto la velocità di sincronismo si immette la corrente alternata e si stacca il motorino ausiliario.

Il motore sincrono ha il pregio particolare di variare il fattore di potenza cos φ dell'impianto e, regolando l'eccitazione del motore stesso, si riesce a farlo lavorare con fattore di potenza eguale ad uno; perciò migliora il funzionamento degli apparecchi inseriti nel circuito, specialmente quando questi, per la loro induttanza, sfasano notevolmente la corrente rispetto alla f.e.m. (v. cap. X).

CAPITOLO XVI

Trasformatori

§ 80 — Generalità sui trasformatori - Trasformatori statici

Il trasformatore statico è un apparecchio ad induzione formato essenzialmente da due spirali isolate, avvolte su di un medesimo nucleo di ferro (fig. 206); mandando una corrente variabile in una delle spirali si produce un flusso pure variabile e quindi l'altra spirale diventa sede di una f.e.m. indotta. Questo apparecchio acquistò una grande importanza industriale da quando fu messo in evidenza come una spirale possa essere alimentata da

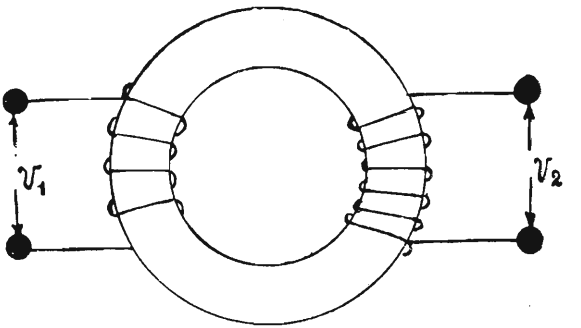


Fig. 206.

una corrente alternata trasferendo nell'altra spirale l'energia comunicatagli, *se non integralmente, tuttavia con un rendimento molto elevato;* e che inoltre si può, proporzionando opportunamente il numero delle spire nei due circuiti, raccogliere l'energia nella seconda spirale con una tensione alta o bassa a seconda del bisogno. Dato però che, come abbiamo detto, la potenza viene trasmessa attraverso le due spirali quasi interamente, è evidente che le variazioni di tensione comportano contrarie variazioni nella intensità di corrente. La potenza elettrica viene per tal modo trasformata nei

suoi componenti tensione ed intensità, di qui la denominazione di *trasformatore*.

Delle due spirali del trasformatore si dice *primaria* la inducente, cioè quella che riceve la potenza da trasformare e *secondaria* l'indotta, cioè quella nella quale si ha la potenza trasformata in virtù delle variazioni del flusso magnetico prodotte dal variare della intensità della corrente primaria.

Quando si deve trasmettere la potenza elettrica a grandi distanze bisogna adottare f.e.m. molto elevate e correnti di piccola intensità, per attenuare la perdita dovuta alla linea, perdita che sappiamo essere eguale al prodotto della resistenza della linea stessa per il quadrato della intensità della corrente che la percorre cioè RI^2 (perdita per effetto Joule). Stabilito, che questa perdita RI^2 non superi una frazione della potenza totale da trasmettere, potendo, aumentare la tensione e diminuire la intensità della corrente, si può proporzionalmente aumentare la resistenza e quindi adoperare conduttori a piccola sezione, riducendo in tal modo il peso ed il costo della linea. Operando così sarà però necessario aumentare corrispondentemente la tensione ed allora alla stazione ricevitrice questa corrente ad alta tensione non si può inviare negli apparecchi utenti (lampade, motori, ecc.) i quali ordinariamente richiedono invece tensioni relativamente basse, ma bisognerà trasformarla nuovamente. Il trasformatore risolve il problema, nel senso che esso serve anzitutto a rialzare la tensione della corrente fornita dagli alternatori nella stazione generatrice; questa corrente secondaria ad alta tensione e piccola intensità viene quindi inviata alla linea. Nella stazione ricevitrice si effettua la trasformazione inversa con un trasformatore che abbassa la tensione al valore, che si ritiene più conveniente, per distribuire l'energia elettrica ai centri di consumo.

Le due spirali primaria e secondaria si debbono tenere quanto più vicine possibile, in modo che il secondario abbracci tutto il flusso prodotto dal primario ed inoltre bisogna far sì che questo flusso attraversi un mezzo di grande permeabilità; quindi il trasformatore nella sua forma elementare è costituito da un nucleo di ferro ad anello su cui sono avvolti il primario ed il secondario e prende il nome di *trasformatore a circuito magnetico chiuso*. Nei trasformatori industriali il circuito magnetico è completamente nel ferro. Hanno ormai fatto il loro tempo i *trasformatori a circuito magnetico aperto* i quali consistono in un fascio di fili di ferro ricoperti dalle spire dell'avvolgimento primario, a sua volta ricoperto dalle spire dell'avvolgimento secondario. Un tipo di questi trasformatori, è il famoso *rocchetto di Ruhmkorff*, trasformatore classico, premiato dal Governo francese con 50.000 franchi (1848). Esso è destinato ad elevare sino a diecine di migliaia di volt

la tensione di pochi volt di una pila ed ha acquistato importanza industriale dalle recenti applicazioni dei raggi X e della radiotelegrafia senza fili. Si compone essenzialmente (fig. 207) di un fascio di fili di ferro, sul quale è avvolto il primario di poche spire di filo grosso ed il secondario di moltis-

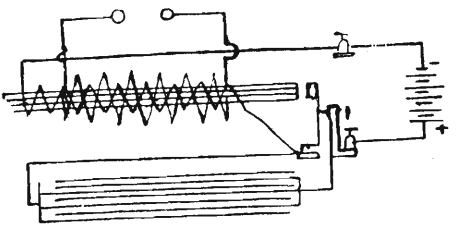


Fig. 207.

sime spire di filo sottile. La variazione del flusso induttore è prodotta inviando nel primario una corrente continua, interrotta da un martello inserito su di esso e che lo chiude con il suo contatto di platino regolato da apposita vite. Quando al passaggio della corrente continua il nucleo si magnetizza, attira il martello staccandolo dalla vite e interrompendo il circuito; con ciò il nucleo si smagnetizza, il martello ristabilisce il contatto e la corrente poi l'interrompe di nuovo e così via.

Amplifichiamo ora e studiamo un poco più da vicino il funzionamento del trasformatore:

Allorchè si inserisce sulla linea alimentatrice il circuito primario di un trasformatore lasciando aperto il circuito secondario, il trasformatore quasi non assorbe energia. Infatti la corrente, nel circolare, magnetizza alternativamente il nucleo di ferro in un senso e nell'altro e sviluppa una f.e.m. di autoinduzione nel primario stesso che agisce in senso opposto alla corrente circolante neutralizzandola. In pratica si consuma solo una piccola parte di energia che corrisponde alle perdite della macchina e che generalmente è del 4 e 5 %. Se invece si chiude il circuito secondario su di un apparecchio qualsiasi di utilizzazione allora il flusso magnetico alternato induce nel secondario correnti indotte dirette in senso contrario a quelle del primario; l'induzione fra primario e secondario cresce mentre diminuisce l'autoinduzione del primario cioè la f.e.m. di autoinduzione. Tale diminuzione è proporzionale all'aumento del carico. Dunque l'energia assorbita dal circuito primario di un trasformatore è proporzionale al carico: cioè all'energia utilizzata. Il trasformatore allora è autoregolatore. *Nei trasformatori*

la tensione del circuito primario sta alla tensione del circuito secondario sensibilmente nello stesso rapporto del numero delle spire nei due avvolgimenti. Se dunque il circuito primario è percorso da una corrente alla tensione di 100 volts e comprende 100 spire, la corrente indotta nel secondario avrà la tensione di 1.000 volts se il numero delle spire è di 1.000, di 10.000 volts se questo è di 10.000 spire, ecc.

Indicando con E′ ed E″ le f.e.m. del primario e del secondario e con N′ ed N″ i numeri di spire dei due avvolgimenti, la legge enunciata si esprimerà con la formula:

$$\frac{E'}{E''} = \frac{N'}{N''} = K$$

Il numero K esprime questo rapporto e si chiama *coefficiente di trasformazione del trasformatore.*

Un'altra relazione importante che si verifica in ogni trasformatore è che le intensità di corrente stanno in ragione inversa delle tensioni. Infatti se noi indichiamo con E′ ed I′ la tensione e l'intensità della corrente primaria e con E″ ed I″ la tensione e l'intensità della corrente secondaria, avremo che, a parte le perdite, la potenza primaria e la potenza secondaria dovranno essere eguali; perciò sarà:

$$E' I' = E'' I''$$

da cui

$$\frac{E'}{E''} = \frac{I'}{I''} = K$$

Tornando quindi all'esempio precedente del trasformatore, l'intensità diminuirà dunque proporzionalmente e diventerà 10, 100 volte più piccola in modo che il prodotto E I = W risulti il medesimo, astrazione fatta delle perdite.

§ 81 — **Trasformatori statici polifasi - Rendimento dei trasformatori**

Per trasformare correnti bifasi e trifasi si possono usare due o tre trasformatori monofasi, ora descritti, i quali si inseriscono separatamente in ciascuna fase. La corrente trasformata si ricaverà dai due o tre avvolgimenti secondari. Si intende che per le correnti trifasi sia i primari che i secondari

possono essere collegati a stella o triangolo. Invece poi di far uso di tre trasformatori separati, più spesso si adoperano trasformatori unici trifasi i quali hanno la parte magnetica analoga a quella dei trasformatori monofasi a circuito magnetico chiuso e così gli avvolgimenti sui tre nuclei. Come abbiamo detto gli avvolgimenti si possono collegare a stella (fig. 208) od a triangolo (fig. 209).

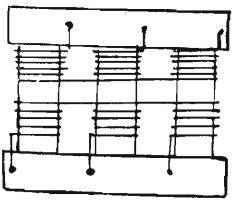


Fig. 208.

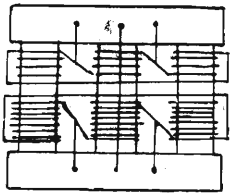


Fig. 209.

I trasformatori sono soggetti a riscaldarsi notevolmente, perciò debbono essere costruiti in modo da permettere una buona ventilazione. I tipi di potenza considerevole sono raffreddati ad olio circolante.

I trasformatori con raffreddamento ad aria si costruiscono generalmente per tensioni non superiori a 20.000 volts. Il raffreddamento può essere naturale od artificiale; è naturale quando avviene per la naturale circolazione dell'aria ambiente; è invece artificiale quando si fa uso di speciali ventilatori azionati elettricamente.

Il trasformatore, essendo una macchina statica, cioè senza organi in movimento, non è soggetto a perdite meccaniche. Le sole perdite verificantisi sono: elettriche e magnetiche.

Le perdite elettriche sono date dall'energia che si converte in calore sia nell'attraversare il circuito primario che quello secondario. Se r' ed r'' sono le resistenze dai due circuiti ed I' ed I'' le intensità delle correnti rispettive, le perdite totali elettriche del trasformatore (effetto Joule) saranno:

$$W\ r'\ I^2 + r''\ I^2$$

Queste perdite sono piccolissime a vuoto ad aumentano man mano che aumenta il carico. Le perdite magnetiche sono dovute ai noti fenomeni di isteresi e delle correnti di Foucault. Allo scopo di ridurre la produzione di queste correnti si fanno i nuclei laminati. Le perdite magnetiche sono indipendenti dal carico quindi hanno luogo anche mentre il trasformatore funziona a vuoto.

La potenza dei trasformatori viene generalmente indicata con il numero dei voltamperes (potenza apparente), la quale poi sappiamo che corrisponde alla potenza effettiva nel caso che non vi fosse sfasamento fra la corrente e la tensione, cioè nel caso che cos φ sia eguale ad uno.

Il rendimento di un trasformatore è espresso dal rapporto della potenza ricavata dal secondario e quella assorbita dal primario. Indicando con W′ e W″ le energie del primario e del secondario sarà:

$$\eta = \frac{W''}{W'}$$

ed esso, da quanto abbiamo detto, varia al variare del carico aumentando man mano che questo aumenta.

§ 82 — **Trasformatori rotanti, convertitori**

Si presenta a bordo il problema (nelle stazioni radiotelegrafiche) di convertire la corrente continua in corrente alternata.

Per raggiungere lo scopo la via più semplice è quella di ricorrere ad un gruppo costituito da un motore a corrente continua e da un alternatore. Siccome però in un complesso di questo tipo il passaggio dall'una all'altra forma di corrente avviene attraverso una conversione intermedia di energia elettrica in energia meccanica, il rendimento del complesso risulta piuttosto basso.

Questo fatto e l'opportunità di ridurre l'ingombro hanno condotto alla adozione di macchine speciali: i *convertitori o trasformatori rotanti.*

Si ricordi che un motore a corrente continua sviluppa una f.e.m. alternata del tutto simile a quella che si sviluppa in una dinamo. Questa f.c.e.m. può essere raccolta e mandata in un circuito esterno mediante un collettore formato da due anelli; si utilizza allora una f.e.m. alternata e nel circuito esterno si ha una corrente alternata. E' facile comprendere tutto ciò per quanto si è detto parlando dell'alternatore con indotto mobile. Il convertitore è appunto una macchina con un ordinario avvolgimento a corrente continua munita di due collettori: uno a lamelle, l'altro ad anelli. Per il collettore a lamelle si manda nel motore una corrente continua, la macchina ruota come un ordinario motore e dal collettore ad anelli si raccoglie una corrente alternata (fig. 210).

Nella figura il collettore a lamelle non è segnato ma le spazzole *mm* strisciano direttamente sui fili.

Se si manda corrente alternata nel motore attraverso gli anelli, ossia facendolo funzionare da motore sincrono, il rotore ruota con velocità co-

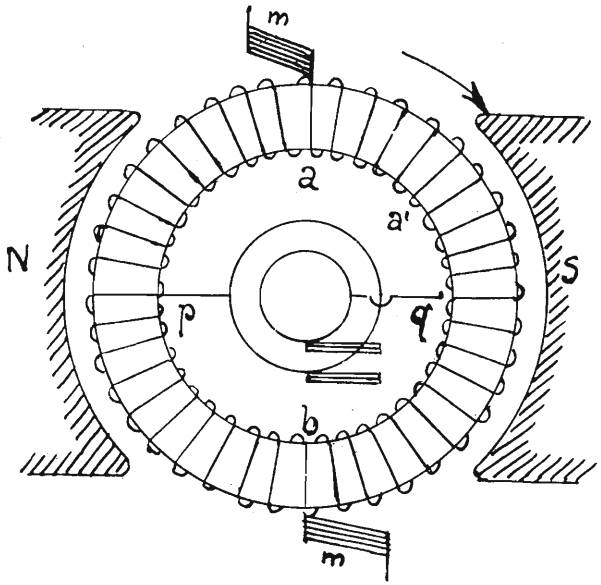


Fig. 210.

stante determinata dalla frequenza della corrente alternata e dal collettore a lamelle ricaveremo corrente continua. Le due correnti, alternata e continua si sovrappongono nell'unico avvolgimento e quindi la corrente risultante subisce una serie di oscillazioni.

CAPITOLO XVII

Applicazioni elettriche varie

§ 83 — Arco voltaico - Generalità sulle lampade ad arco

Se si pongono a contatto le estremità di due bacchette di carbone alle quali è applicata una d.d.p. costante di valore opportuno (circa 45 o 50 volts) e se poi si allontanano fra di loro di pochi millimetri, si stabilisce nell'intervallo un arco luminoso che permane finchè la distanza fra i due carboni rimane piccola e prende il nome di *arco voltaico*. Gli estremi delle due bacchette assumono una forma speciale che si conserva invariata durante il funzionamento (fig. 211). L'estremo del carbone connesso al polo positivo della sorgente prende una forma conica con la punta troncata e incavata, formando

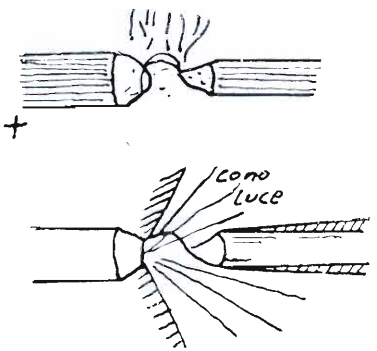


Fig. 211.

il cosidetto *cratere*; il negativo prende una forma acuminata. Le estremità dei carboni diventano incandescenti: la maggior parte della luce viene emessa dal cratere e si ritiene che sia quasi l'85 % della luce totale emessa dalla sorgente. Per questo motivo le lampade ad arco che servono per la illuminazione di strade o di grandi ambienti, vanno collocate con il carbone positivo in alto in modo che la luce venga diretta verso il basso.

L'arco ha una temperatura elevatissima che supera i 3500°. Il carbone positivo si consuma assai più del negativo e perciò nelle lampade si pongono carboni di diametro diverso e si regolano i diametri in modo che i consumi in lunghezza riescano sensibilmente eguali.

L'arco si stabilisce anche se è alimentato da corrente alternata ed in questo caso richiede tensione minore (da 28 a 35 V.) e si ha un eguale consumo dei carboni; a parità di intensità però l'arco a corrente alternata dà meno luce di quello a corrente continua.

I carboni sono costituiti da un impasto di grafite e di carbone di storta mescolato con nerofumo e catrame, pressato e cotto poi ad altissime temperature.

L'arco ha tre stadi di funzionamento che dipendono dalla sua lunghezza e cioè: arco *fischiante*, arco *silenzioso* ed arco *fiammeggiante*. Quando è silenzioso si trova nelle condizioni di regolare funzionamento e si ha la massima intensità luminosa del cratere. Se l'arco si accorcia la luce diventa azzurrastra, non è fissa e si ha l'arco fischiante. Se la lunghezza diventa eccessiva l'arco diventa fiammeggiante, si sposta tutto in giro ai carboni formando lunghe fiammate e tende a spegnersi. E' quindi necessario munire le lampade ad arco di speciali regolatori che tendano a mantenere costante la distanza fra i carboni.

L'arco non obbedisce alla legge di Ohm. La tensione che si ha fra i due carboni, l'intensità della corrente di alimentazione e la lunghezza dell'arco sono legate fra loro in modo molto complesso e non esattamente conosciuto. Se si allontanano i carboni *diminuisce* l'intensità della corrente che percorre l'arco ed aumenta la caduta di tensione fra i due carboni; se si avvicinano aumenta l'intensità di corrente e diminuisce la caduta di tensione.

Si chiama *resistenza apparente dell'arco* il rapporto fra la d.d.p che si misura fra i due carboni e l'intensità della corrente di alimentazione.

§ 84 — **Regolazione delle lampade ad arco**

La distanza fra gli estremi di un arco voltaico, ossia fra i carboni, varia con il consumo di questi, cagionando la instabilità dell'arco il quale finisce poi per spegnersi se la distanza supera un certo limite. Perchè un arco si mantenga silenzioso e la sua luce abbastanza fissa, è necessario che i carboni siano tenuti sempre alla stessa distanza.

A questo scopo provvedono i *regolatori automatici* il cui funzionamento è basato sulle variazioni di intensità di corrente o sulle variazioni di tensione,

che si hanno al variare della lunghezza dell'arco. Si hanno perciò il *regolatore in serie* od a intensità costante, il *regolatore in derivazione* od a tensione costante ed il *regolatore differenziale*. Il funzionamento dei regolatori è basato sull'equilibrio di due forze: una rappresentata dall'attrazione magnetica su di un nucleo di ferro dolce da parte di uno o più rocchetti percorsi da correnti proporzionali alle quantità da mantenere costanti, l'altra da una forza antagonista.

Regolatore in serie.

E' rappresentato schematicamente dalla figura 212. Il carbone positivo C_1 è mobile ed è fissato ad un estremo di una leva di primo grado che all'altro

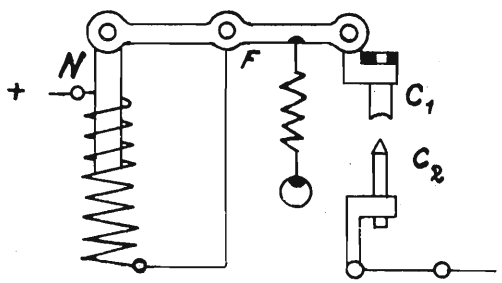


Fig. 212.

estremo porta una molla la quale tende a tenere i carboni a contatto fra loro. A interruttore aperto quindi i due carboni si toccano. Sulla leva stessa è fissato un nucleo di ferro dolce N che può essere succhiato da un elettromagnete, il quale agisce in contrasto con la molla. L'avvolgimento dell'elettromagnete è in serie con l'arco e quindi è attraversato dalla stessa corrente che alimenta la lampada. Quando si chiude l'interruttore passa una forte intensità di corrente perchè la resistenza fra i carboni è piccolissima, l'elettromagnete crea un campo intenso, succhia il nucleo di ferro, i due carboni si allontanano e la lampada si accende. La molla è regolata in modo da fare esattamente equilibrio all'elettromagnete quando l'arco è percorso dalla corrente normale. Se durante il funzionamento l'arco si allunga, diminuisce la intensità di corrente che lo attraversa, la forza attrattiva del solenoide diventa minore di quella della molla ed i carboni si avvicinano. Inversamente se l'arco si accorcia. Così attraverso successive oscillazioni l'arco assume sempre la sua posizione di equilibrio.

Regolatore in derivazione.

E' rappresentato schematicamente dalla figura 213. Il carbone superiore è collegato come antecedentemente all'estremo di una leva, sull'altro estremo della quale agiscono in contrasto un elettromagnete ed una molla M. L'avvolgimento dell'elettromagnete è in derivazione sui carboni dell'arco, la molla tende a mantenere i carboni *lontani* l'uno dall'altro, cosicchè a interruttore

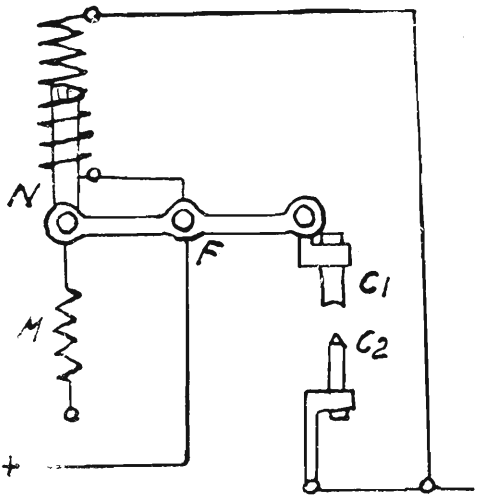


Fig. 213.

aperto essi sono staccati. La corrente che circola nel solenoide dipende dalla d.d.p. fra i carboni.

Quando si chiude l'interruttore i due carboni non sono a contatto, e fra essi esiste una d.d.p. eguale a quella che si ha fra i due fili della linea che alimentano la lampada. La corrente nel solenoide è intensa, l'elettromagnete succhia energicamente il nucleo vincendo l'azione della molla ed i due carboni vengono a contatto. La corrente passa allora da un carbone all'altro ed è molto intensa, la d.d.p. fra i carboni diventa piccolissima, la corrente nel solenoide diventa molto debole, la molla vince l'azione dell'elettromagnete, i due carboni si allontanano e la lampada si accende. La regolazione della molla è fatta in modo che la molla stessa e l'elettromagnete si facciano equilibrio per quella d.d.p. fra i carboni che corrisponde alle *condizioni di arco silenzioso*.

Se durante il funzionamento l'arco si allunga aumenta la d.d.p. fra i carboni, cresce la corrente nel solenoide che sposta la leva in modo da avvicinare i carboni. Inversalmente se l'arco si accorcia.

Regolatore differenziale.

In questo tipo di regolatore (fig. 214) l'estremo della leva opposto ai carboni porta due nuclei di ferro sui quali agiscono due elettromagneti in contrasto fra loro, uno in serie con l'arco, l'altro in derivazione. La molla è soppressa. Il regolatore funziona sempre qualunque sia la posizione iniziale dei due carboni. Se, quando si chiude l'interruttore, essi sono a contatto la lam-

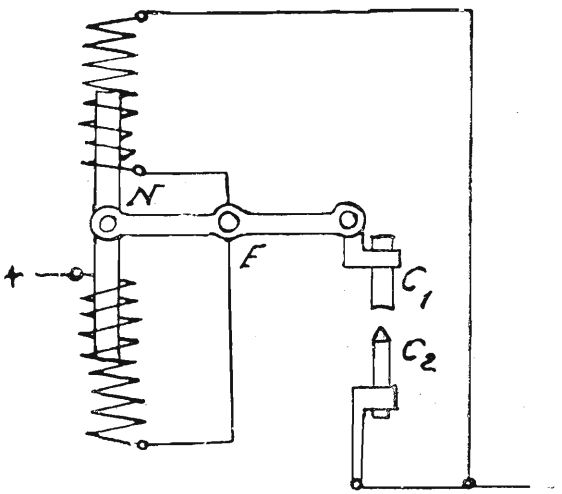


Fig. 214.

pada si accende perchè entra immediatamente in funzione il regolatore in serie; se sono staccati entra in funzione il regolatore in derivazione. I due elettromagneti sono costruiti in modo da farsi equilibrio quando l'arco è in condizioni di funzionamento normale.

Ogni lampada ad arco derivata direttamente dalla rete di alimentazione va soggetta a forti oscillazioni dell'intensità luminosa, oscillazioni che spariscono quando si ponga in serie con essa una certa resistenza addizionale detta *resistenza zavorra*. Il suo valore può variare da qualche Ohm a qualche decina di Ohm secondo la resistenza della conduttura, l'intensità e la tensione. La resistenza zavorra serve anche ad evitare il corto circuito della linea quando per accendere la lampada se ne portano i carboni a contatto.

La lampada ad arco viene usata a bordo nei proiettori dei quali ve ne sono in servizio diversi tipi e di cui il più moderno è il proiettore Sperry. Scopo del proiettore è quello di riflettere la luce della sorgente luminosa in una unica direzione. Ciò si ottiene ordinariamente con specchi parabolici, i quali emet-

tono raggi riflessi paralleli all'asse principale, purchè la sorgente sia nel fuoco e puntiforme. Se la sorgente non è puntiforme il fascio luminoso del proiettore non è cilindrico ma conico. Il proiettore Sperry rappresenta un importante progresso, dovuto alla realizzazione di un maggiore splendore della fonte luminosa, il che è stato ottenuto adoperando carboni contenenti sali minerali i quali, all'incandescenza emettono un notevole flusso luminoso. In questo proiettore alla luce emessa dalla superficie incandescente del cratere del carbone positivo, si somma quella data dai sali minerali volatizzati trattenuti nel cratere dalla fiamma proveniente dal carbone negativo. Lo splendore dell'arco raggiunge in tal modo le 500 candele per mm^2 di superficie.

§ 85 — **Lampade a incandescenza - Vari tipi, consumo**

Le lampade a incandescenza si sono incominciate ad usare in epoca relativamente abbastanza remota: fin da quando l'unica sorgente nota di corrente era la pila, si pensò alla possibilità di ottenere la luce per mezzo di conduttori resi incandescenti dalla corrente. Siccome si sapeva che lo splendore dei corpi incandescenti cresce assai più rapidamente della temperatura, si sperimentarono i fili di metallo aventi un punto di fusione molto elevato, cioè il platino e l'irridio e come sostanza capace di sopportare senza alterarsi temperature anche più elevate, il carbone.

Gli unici materiali impiegati oggi sono il carbone ed il tungsteno. Il tungsteno usato ora, mentre ha una temperatura di fusione inferiore al carbone, può essere fatto funzionare ad una temperatura molto più alta del carbone.

In un palloncino di vetro a tenuta di aria penetrano due serrafili che, mediante gancetti sostengono il sottile filamento al quale portano la corrente; il filamento, reso incandescente, emette la luce.

Buona parte della potenza elettrica (watt) assorbita da una lampada è consumata dal calore irradiato dal filamento caldo. Parte dell'energia è asportata dal filamento per effetto dei gancetti di supporto e dei reofori che adducono la corrente ai filamenti. L'energia trasformata in luce è piccolissima in rapporto all'energia totale consumata dalla lampada, essendo 0,5 % nelle lampade a carbone, circa 1,5 % nelle lamapde cosidette *monowatt* (funzionanti nel vuoto), e dal 2 al 4 % nelle lampade cosidette ½ watt (funzionanti in atmosfera gassosa). Una piccola variazione nella temperatura del filamento porta come conseguenza una grande variazione nella quantità di luce emessa mentre il consumo di potenza (watt) varia di poco. La temperatura massima del filamento è evidentemente il punto di fusione, ma siccome la sostanza di

cui è composto il filamento evapora rapidamente anche a temperatura sensibilmente inferiore al punto di fusione, dando luogo ad una diminuzione della durata del filamento stesso ed all'annerimento del palloncino, la temperatura a cui viene fatto funzionare il filamento è di molto inferiore al punto di fusione, e ciò allo scopo di poter ottenere una durata ragionevole.

Il filamento si ottiene mettendo la polvere di tungsteno in una forma metallica e comprimendola ad alta pressione in forma di un piccolo massello, fino a che le particelle aderiscono fra di loro sufficientemente per poterlo maneggiare. Si fa poi passare della corrente elettrica attraverso il massello, riscaldandolo fino quasi al punto di fusione, ed in tal modo le particelle si compenetrano insieme. Il massello così formato viene riscaldato e sottoposto ad una martellatura, la quale ne riduce il diametro ed aumenta la compressione e l'aderenza delle particelle. Questa operazione viene ripetuta fino a raggiungere il diametro della grafite di una matita da lapis, dopo di che è possibile effettuarne le trafilature successive onde raggiungere il diametro voluto.

Qualunque sia il modo di preparare il filamento, la costruzione della lampada richiede molte avvertenze. Il filo che attraversa il vetro deve essere di platino perchè questo metallo ha un coefficiente di dilatazione quasi eguale a quello del vetro, e ciò assicura la chiusura ermetica dell'ampolla di vetro anche con forti variazioni di temperatura. Ciò nonostante si osserva che con il tempo, l'unione del vetro con il platino non si mantiene perfetta, ed un poco di aria riesce a penetrare; l'ossigeno dell'aria si combina con il filamento caldo il quale brucia immediatamente. Il palloncino durante la preparazione della lampada è munito di un tubetto che serve a stabilire la comunicazione con la pompa per fare il vuoto.

Per scacciare interamente i gas dal palloncino, mentre la pompa funziona, si fa passare la corrente nel filamento di carbone e se ne accresce l'intensità a poco a poco fino a renderlo incandescente: ciò favorisce l'espulsione dei gas che sono contenuti nel filamento stesso. Ottenuto il grado voluto di vuoto, con un colpo di fiamma sul tubetto si salda il palloncino. Un vuoto elevato è necessario se si vuole che la lampada dia un buon rendimento.

Quando si indica la intensità luminosa di una lampada ci si riferisce alla *candela orizzontale media* la quale non è altro che la media delle intensità di luce, misurate in tutte le direzioni, in un piano perpendicolare all'asse della lampada e passante per il centro del filamento.

Il rapporto fra il numero di watt assorbiti dalla lampada e l'intensità luminosa, prende il nome di *consumo specifico* della lampada (in watt per

candela); l'inverso, ossia il numero di candele emesso per ogni watt prende il nome di *rendimento della lampada*.

Il consumo specifico di una lampada a filamento di carbone è da watt 3,5 a watt 5 per candela; le lampade con filamento metallico nel vuoto (monowatt) hanno un consumo specifico di poco più di un watt per candela, le lampade con filamento metallico in atmosfera gassosa un consumo di poco più di ½ watt per candela e tanto più vicino a questo limite quanto maggiore è la potenza della lampada.

La durata pratica della lampada a filamento di carbone a 110 watt, con consumo specifico iniziale di 3 watt a candela, è di circa 400 ore. Il suo rendimento va man mano diminuendo con il crescere del periodo di servizio, sia per l'entrata di gas che per la volatizzazione del filamento.

In questi ultimi anni si è riuscito a fabbricare lampade a rendimento luminoso assai più elevato di quelle a filamento di carbone, e queste sono le lampade a filamento metallico di cui si è già parlato.

Nelle lampade a ½ watt, il filamento è costituito da metalli terrosi e nel palloncino vengono immessi gas cosidetti *inerti*, come, ad esempio, l'azoto e l'argon, il cui ufficio è quello di arrestare sul filamento le particelle che volatizzano. Queste lampade si prestano specialmente per forti intensità luminose e se ne hanno in commercio svariati tipi a forte candelaggio.

Il fatto che il rendimento delle lampade a filamento metallico è superiore a quello delle lampade a filamento di carbone è dovuto alle proprietà dei corpi irradianti. Poichè la conduttività dei metalli terrosi è circa 80 volte quella del carbone, per realizzare una determinata resistenza del filamento occorre una lunghezza di filo assai maggiore: di qui l'aspetto ad arcolaio, a zig zag, ecc., dei filamenti delle lampade a filamenti terrosi.

Per quanto esse costino più delle lampade a filamento di carbone, la loro durata è circa il doppio della durata di queste; esse però presentano nel filamento una grande fragilità e per tale motivo non hanno a bordo esclusivo impiego nonostante i maggiori vantaggi.

La d.d.p. indicata sulla lampada indica a quale d.d.p. la lampada in questione deve essere fatta funzionare. Se la tensione a cui si fa funzionare la lampada è inferiore a quella indicata sulla lampada stessa, questa darà:

Meno luce.
Minor rendimento.
Maggior durata.
Maggior costo per ogni candela usata.

E' essenziale quindi che le lampade siano fatte funzionare alla loro esatta tensione, onde avere un massimo rendimento ed un buon servizio dato che, per una determinata quantità di luce, ne consegue una spesa di energia che non compensa affatto la maggior durata della lampada.

Le lampade ricevono la corrente dal porta-lampade al quale vengono fissate. Le lampade ordinarie hanno l'attacco a vite o Edison. Esse vengono avvitate al porta-lampade. Il maschio della vite fa capo ad un estremo del filamento, l'altro estremo fa capo ad una piastrina che limita il fondo della lampada. La tensione arriva alla madrevite del porta-lampade e ad una piastrina fissata nel porta-lampade stesso che fa contatto con la corrispondente piastrina della lampada.

Per alcune lampade di uso speciale si adoperano l'attacco a piuoli e l'attacco a baionetta.

§ 86 — Campanelli elettrici - Telefoni - Telegrafi

Il principio del campanello è quello del cosidetto *interruttore a martello*. Quando una corrente circola in un conduttore avvolto attorno ad un pezzo di ferro dolce lo magnetizza. Il magnete così formato attira un'àncora, ma subito, per una speciale disposizione, la corrente viene interrotta e l'àncora si allontana dal magnete perchè attirata da una apposita molla; il circuito allora tornerà a chiudersi, la elettro-calamita agirà di nuovo e così di seguito.

Il campanello è schematicamente costruito come in (fig. 215) da una elettro-calamita E, davanti alla quale è posta un'àncora di ferro A alla quale è unito il battente N a contatto della campana D. Una molla tiene l'àncora A scostata dalla elettro-calamita E e la obbliga a rimanere a contatto col bottone B.

Se noi mandiamo corrente nel circuito, la corrente percorrerà il tratto 1-2-E-A-B-3-4, ossia passerà per il bottone, l'àncora di ferro, le spire dell'elettro-calamita e tornerà al generatore. Allora la calamita magnetizzata attirerà a sè l'àncora A e quindi il battente darà un colpo nella campana. Ma appena attirata l'àncora, il circuito si interromperà perchè la corrente non potrà più passare da A in B ed allora la elettro-calamita, non più magnetizzata, lascierà l'àncora A in potere della molla che la respingerà a contatto di B. Nuovamente la corrente circolerà e si ripeterà il movimento.

Il telefono.

Il telefono che va sotto il nome dell'americano Bell si compone (fig. 216) di un magnete a ferro di cavallo M che porta infilati sui suoi poli due rocchetti di filo sottile C posti in serie, i cui estremi fanno capo ai morsetti A

dell'apparecchio. Davanti ai rocchetti è fissata per i bordi una sottile lamina di ferro L, la quale entra facilmente in vibrazione, per effetto delle onde sonore, quando le si parla davanti. Due apparecchi simili collegati da una linea permettono la riproduzione della voce a distanza.

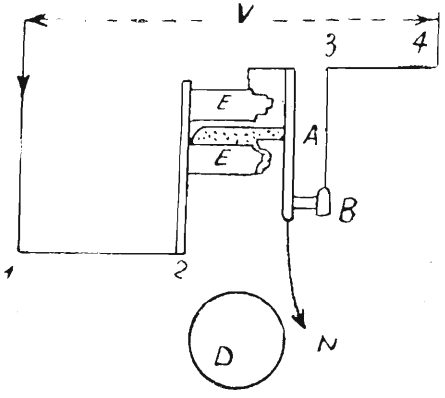


Fig. 215.

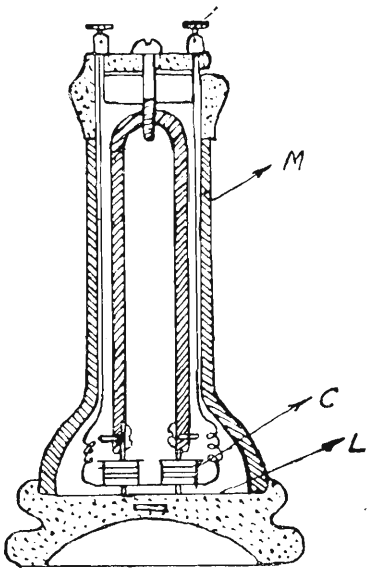


Fig. 216

Infatti, se si parla davanti ad uno dei due telefoni la laminetta, vibrando, modifica continuamente il flusso magnetico abbracciato dai due rocchetti; da ciò nasce in essi una debole f.e.m. indotta, la quale dà origine nel circuito dei due apparecchi ad una debole corrente. Questa, circolando nei rocchetti dell'altro telefono, dà luogo ad un campo magnetico che varia con la stessa legge con cui varia il campo magnetico dell'apparecchio trasmittente; la sua laminetta è quindi sollecitata a vibrare sincronicamente con quella dell'altro telefono e riproduce la voce (fig. 217).

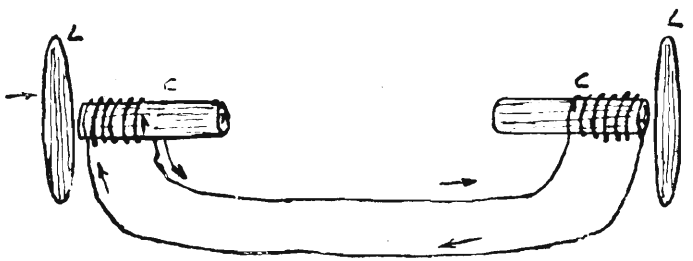


Fig. 217.

Essendo le f.e.m. debolissime, specialmente se la linea, come accade spesso, è lunga, e quindi abbia una certa resistenza, la corrente nel circuito risulta piccolissima e le vibrazioni della lamina ricevente riescono di ampiezza insufficiente per riprodurre la voce in modo sensibile.

Per questo motivo negli impianti telefonici il telefono di Bell è usato esclusivamente come apparecchio ricevente, mentre per la trasmissione, si usano i *microfoni* i quali sono basati sul seguente fenomeno: se due corpi conduttori sono a contatto fra loro, nel punto di contatto si ha una resistenza diversa secondo che i due corpi sono più o meno premuti l'uno contro l'altro.

Questo fenomeno che è poco sensibile con i metalli, lo è molto con i corpi non perfetti conduttori ed in modo speciale con il carbone.

Consideriamo ora la disposizione della figura 218. Alla tavoletta B sono fissati i due prismi di carbone fissi M ed N fra i quali è trattenuto, da apposita cavità, un bastoncino di carbone C in modo che esso abbia una certa libertà di oscillazione. Il circuito di una pila passa dall'uno all'altro dei due prismi di carbone attraverso il bastoncino, e comprende un telefono magnetico. Se si produce un suono in prossimità della tavoletta B essa entra in oscillazione, il movimento comunicandosi agli organi del carbone, produce delle vibrazioni nella pressione con cui il bastoncino mobile si appoggia sui blocchi fissi ed in conseguenza si hanno delle variazioni nella resistenza di contatto che dànno luogo alla loro volta, dato che la f.e.m. della pila è costante, a variazione della intensità della corrente, accusata dal telefono inserito nel circuito.

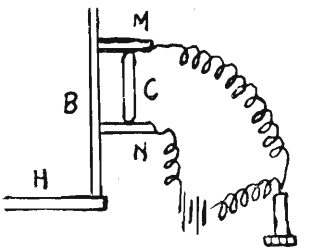


Fig. 218.

Però con tale disposizione non può essere trasmessa la parola. Per rendere il telefono atto alla trasmissione della parola furono adottate svariatissime disposizioni comprese nell'appellativo generale di microfoni, che sono oggi generalmente costituiti da granuli di carbone contenuti fra i due elettrodi dei quali uno è fisso e l'altro è costituito da una lamina che può vibrare sotto l'azione del suono. Le vibrazioni di corrente nel circuito si hanno a causa delle variazioni di resistenza di contatto fra la lamina vibrante ed i granuli di carbone.

Nella figura 219 è rappresentato un microfono il quale consta di una membrana metallica B molto sottile davanti alla quale si parla mediante l'imboccatura A. La membrana appoggia al suo bordo, con l'intermediario di un anello di carta, sopra una scatola di ottone C e al centro poggia contro un blocco cilindrico di carbone E nel quale è praticata una cavità cilindrica

ripiena di granuli di carbone. Il blocco di carbone è fissato alla scatola mediante una vite P; blocco e vite sono isolati dalla scatola metallica. La punta della vite appoggia contro una molla connessa ad un polo della pila, mentre l'altro polo della pila è connesso ad un anello destinato ad impegnarsi in una scatola Q, in modo che questo polo rimane in comunicazione con la membrana.

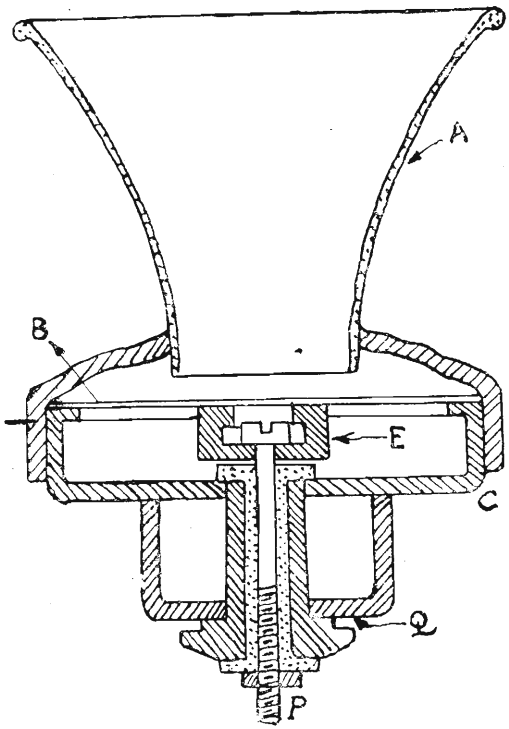


Fig. 219.

Poichè le variazioni di resistenza del microfono risultano molto piccole in confronto della resistenza totale del circuito, anche con questo apparecchio la corrente finisce per avere variazioni insufficienti a fare vibrare in modo sensibile la lamina ricevente. La sola spirale del telefono, che è formata da un numero molto grande di spire sottilissime, offre una resistenza di alcune centinaia di ohm, mentre le variazioni di resistenza fra i contatti di carbone non sono che frazioni assai piccole del suo valore normale. Per rendere più vistosi i fenomeni e più distinta la produzione della voce si usa un piccolo trasformatore.

Nella stazione di partenza si ha un circuito costituito dal microfono M (fig. 220), dalla pila P e dal primario del trasformatore T. E' questo un circuito di piccola resistenza complessiva, in cui sono molto sensibili le variazioni di resistenza prodotte dalle vibrazioni del microfono e risultano quindi anche notevoli le variazioni della corrente che vi circola. Alle variazioni della

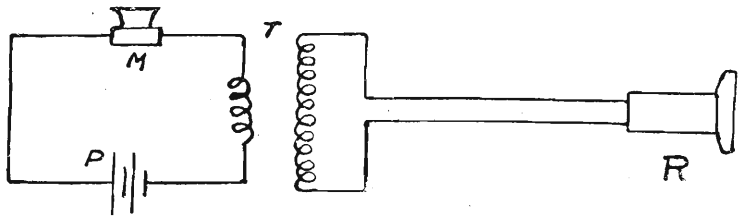


Fig. 220.

corrente nel primario del trasformatore corrisponde nel secondario una f.e.m. indotta e, poichè le variazioni di corrente nel primario e quindi del flusso magnetico prodotto sono come si è detto abbastanza grandi, la f.e.m. nel secondario ha delle variazioni abbastanza ampie per poter produrre nella linea e nel ricevitore R le variazioni di corrente necessarie ad azionare la lamina.

Naturalmente in ogni stazione si deve avere sia l'apparecchio trasmittente che l'apparecchio ricevente, e di più è necessario avere un apparecchio per la chiamata. Se le distanze sono piccole, come apparecchio di chiamata si usa un comune campanello elettrico; più spesso, e specialmente per le grandi distanze, si usano suonerie elettromagnetiche, le quali sono più costose ma garantiscono il funzionamento.

I telefoni in uso sulle RR. NN. sono chiamati *altisonanti* per le loro particolari caratteristiche intese ad ottenere che venga conservata, anzi ingrandita, la forza dei suoni emessi in prossimità del trasmettitore; ciò è ottenuto sia costituendo il microfono in modo che possa essere attraversato da una corrente molto intensa, sia con speciali ricevitori nei quali si hanno per piccole variazioni di flusso ampie vibrazioni della lamina, od anche moltiplicando l'ampiezza di queste vibrazioni con opportuni dispositivi meccanici.

Il telegrafo.

Per due proprietà la corrente elettrica è specialmente adatta per trasmettere le notizie a grandi distanze; la prima consiste nella grande velocità con cui la corrente stessa si propaga nei conduttori, la seconda è che essa si pro-

paga esclusivamente in un cammino assegnato. Si pensò di applicare queste proprietà della corrente alla risoluzione del problema della trasmissione di messaggi utilizzando semplicemente dei conduttori ben isolati colleganti i diversi centri urbani. I primi tentativi comprendevano un *generatore di corrente* (pila), un *interruttore* alla stazione di partenza, un *conduttore* che collegava le due stazioni ed un adatto apparecchio ricevitore il quale poteva rendere manifesto il passaggio della corrente alla stazione di ricezione (fig. 221.) Tale ricevitore era in origine un semplice strumento di misura, ed i segnali si rendevano evidenti con una serie di deviazioni dell'ago dell'apparecchio, ciascuna delle quali corrispondeva ad una chiusura del circuito a mezzo dell'interruttore *i*. Si poteva poi formare un vero alfabeto combinando per ogni lettera un certo numero e specie di impulsi, escondo precedenti accordi. In seguito si semplificò la linea abolendo uno dei fili e servendosi cioè della terra come *conduttore di ritorno;* e difatti se alla stazione di partenza si collega a terra il negativo della pila, il positivo assume un potenziale più alto che quello della terra. Alla chiusura dell'interruttore *i* le cariche positive si scaricano a terra lungo il circuito: linea, ricevitore, terra.

Vediamo un poco più da vicino come possa essere trasmessa la parola scritta:

Nella stazione A (fig. 222), dalla quale si vuole trasmettere un dispaccio alla stazione B, esiste un tasto manipolatore T, formato da una leva metallica

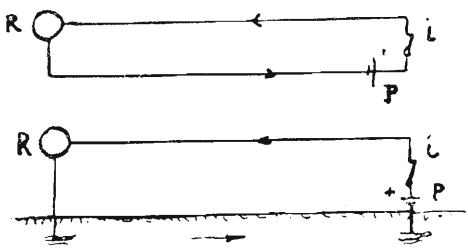


Fig. 221.

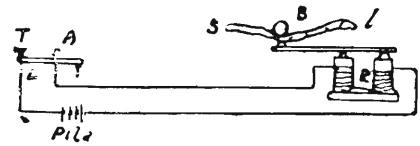


Fig. 222.

girevole in C, che una piccola molla tiene staccata dal contatto L comunicante con un polo della pila. La detta leva, mediante la cerniera, è permanentemente in comunicazione con la linea, la quale, nella stazione B, fa capo ad una elettro-calamita R; l'altro estremo dell'avvolgimento di questa elettro-calamita si collega ad una seconda linea che ritorna alla pila ed alla stazione A. Si vede subito che il circuito resta aperto finchè, premendo sul bottone T, non si porta il manipolatore in contatto con L. Allora la corrente della pila circola nella elettro-calamita R la quale viene così eccitata ed attira

una ancoretta di ferro sovrastante *l* la quale, a circuito aperto, è tenuta discosta da una molla. L'àncora *l*, quando viene attratta dalla elettro-calamita, porta un nastro di carta S in contatto con una piccola ruota intrisa nell'inchiostro oleoso. La carta non è ferma ma si sposta con moto uniforme, mossa da un apparecchio di orologeria, e quindi nel tempo nel quale il tasto è tenuto abbassato in A, una punta scrivente traccia in B un segno continuo sulla striscia di carta.

Evidentemente, tenendo più o meno abbassato il tasto si possono trasmettere dei segni brevi e dei segni lunghi, detti *punti* e *linee*, e, mediante combinazioni predisposte in questi punti e linee, si possono trasmettere le parole dell'alfabeto e quindi le parole e le frasi. Le combinazioni suaccennate formano il cosidetto *alfabeto Morse*, oggi universalmente adottato.

La parte più dispendiosa nelle comunicazioni telegrafiche sono i fili di collegamento fra le stazioni, e perciò bisogna cercare di renderli meno numerosi possibile. Abbiamo già detto che la linea di ritorno fra l'apparato ricevitore della stazione B e la pila della stazione A, può essere soppressa e sostituita con la terra. Di più, combinando gli apparecchi come è indicato nella figura 223, si possono trasmettere dei dispacci servendosi della medesima

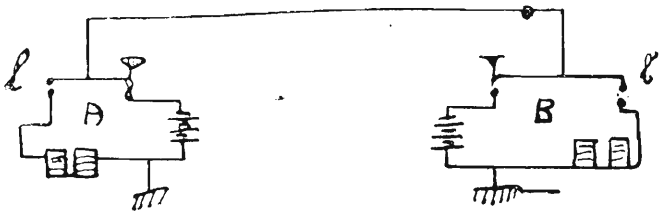


Fig. 223.

linea. I manipolatori quando sono alzati, sono in comunicazione, mediante gli appoggi *l* ed *l'* ciascuno con uno degli estremi dell'avvolgimento dell'elettro-magnete dell'apparato ricevente della rispettiva stazione. Quando sono abbassati staccano la linea, che è in comunicazione con le cerniere, degli apparati riceventi e la mettono in comunicazione ognuno con uno dei poli della rispettiva pila. Gli altri estremi degli elettro-magneti e gli altri poli delle pile sono in comunicazione con la terra. Supponiamo che si abbassi il tasto A, la corrente della pila di questa stazione, per il tasto andrà alla linea, e trovando in B il tasto alzato, passerà all'elettro-magnete dell'apparato scrivente e per la terra ritornerà alla pila della stazione A. Reciprocamente, abbassando il tasto in B il segnale sarà trasmesso da B in A, mediante la corrente fornita

dalla pila di B. Questo sistema di telegrafia si chiama Morse dal nome di chi lo ha inventato ed è quello più comunemente usato.

Un sistema di trasmissione rapida è quella dell'*apparato scrivente Hughes*, del quale accenneremo il principio e che permette di ottenere il messaggio in lettere anzichè in segni convenzionali. Si compone alla stazione ricevente di una *ruota di tipi*, che ha sul contorno, in rilievo, i diversi segni e lettere. La ruota gira con un moto uniforme, mossa dal solito congegno di orologeria, e di fronte ad essa si trova una striscia di carta, in corrispondenza del contorno. Se giunge corrente ad una elettro-calamita, mediante un apposito congegno, la carta viene a premere per un breve istante contro il contorno della ruota e su di essa si imprime *quella lettera che in quell'istante le si trovava di fronte*.

Quando la carta torna in posizione normale si sposta automaticamente di uno spazio che corrisponde all'intervallo fra due lettere consecutive. Cosicchè, se giunge di nuovo corrente, si verrà ad imprimere sulla carta un nuovo segno in prossimità del primo, e così di seguito. Per scrivere una parola bisognerà perciò fare agire l'elettro-calamita a dati istanti consecutivi, e cioè quando si troveranno in giusta posizione le varie lettere di cui abbiamo bisogno.

L'*apparecchio trasmettente* si compone di una tastiera simile a quella delle macchine da scrivere, con le varie lettere dell'alfabeto segnate sui tasti, e dello stesso numero delle lettere che sono impresse sulla ruota dei tipi del ricevitore. Premendo i tasti si provoca il sollevamento di altrettante asticciuole metalliche, disposte lungo una circonferenza ad egual distanza tra loro e nello stesso ordine di successione di quello della ruota dei tipi. Al disopra delle asticciuole gira con moto uniforme una specie di carrello, in modo che questo viene a toccare durante la rotazione quella delle asticciuole che si trova sollevata. Ogni qualvolta avviene un contatto tra il carrello ed una delle asticciuole si lancia corrente alla linea e quindi all'apparato ricevente.

Se ora si regolano le cose in modo che la ruota dei tipi ed il carrello girino con eguale velocità e cioè in *sincronismo*, e si fa in modo che premendo ad esempio, la lettera A' si venga a scrivere A alla stazione ricevente (e cioè con le stazioni in *fase*), è chiaro che per ogni lettera che si batte al trasmettitore si imprimerà una eguale lettera al ricevitore.

Il sincronismo e la messa in fase, si fanno con opportune manovre. Così se si preme A più volte e colui che riceve trova scritto consecutivamente L, M, N, ecc., vuol dire che la ruota dei tipi *corre* troppo e si deve rallentare, agendo sull'apposito meccanismo di regolazione del movimento di orologeria. Ciò sin quando si avrà sempre una stessa lettera, ad esempio, B, B, B, ecc.

Dopo ciò si dovrà operare solo la messa in fase in modo da ricevere A. Anche ciò si fa con un semplice congegno.

La notevole capacità dei cavi transoceanici, i quali funzionano da veri condensatori per la presenza del liquido circostante rende particolarmente difficili le comunicazioni telegrafiche in modo da ostacolare l'uso degli ordinari apparecchi. L'effetto della capacità sulle correnti variabili telegrafiche è quello di produrre una deformazione, per così dire, dei segnali.

E difatti se si lancia corrente da un estremo di un cavo transoceanico si nota che all'altro estremo la corrente è avvertita dallo strumento di misura dopo un tempo che va da una frazione di secondo e cresce poi fino al valore normale di pochi istanti (uno o più secondi). Similmente avviene all'interruzione. In tal modo per non generare confusione fra i segni consecutivi, si dovrebbe trasmettere troppo lentamente, il che contrasta con la necessità economica.

Si ricorre oggi comunemente a speciali ricevitori scriventi, basati sul principio di uno strumento di misura sensibile con equipaggio mobile privo di inerzia e con punta scrivente. I messaggi, in alfabeto Morse, sono ricevuti come una serie di ondulazioni, registrate sulla carta, più ampie per le linee e più brevi per i punti.

§ 87 — **Cenno teorico sui sistemi di punteria generale tipo Girardelli**

Il congegno di punteria generale tipo Girardelli permette di sostituire tutti i puntatori dei pezzi, con due unici puntatori (uno per il brandeggio, ed uno per la elevazione) che ad un apparecchio centrale di punteria seguono costantemente il bersaglio.

Con questo congegno, si ottiene un notevole risparmio di personale e notevolissimi vantaggi nella esecuzione del tiro, che risulta più preciso, e più concentrato per la eliminazione dei numerosi puntatori, ognuno dei quali introduce nella punteria un suo errore ottico personale di apprezzamento, della collimazione centro cannocchiale bersaglio.

Altro notevole vantaggio è la possibilità di iniziare il tiro a distanze maggiori, quando cioè il bersaglio che non può ancora essere visto dai puntatori ai pezzi, situati sul piano di coperta, è invece sufficientemente visibile ai puntatori del congegno di punteria centrale, situato in una coffa elevata di qualche decina di metri sul piano di coperta.

L'apparecchio Girardelli è sistemato sulle grandi navi da battaglia in

coffa di trinchetto e si compone di un apparecchio e di tanti apparecchi ricevitori di brandeggio quante sono le torri e di tanti ricevitori di elevazione quanti sono i pezzi. Il trasmettitore (fig. 224) si compone di una struttura cilindrica A girevole sulla base B con l'interposizione di una corona di sfere: la base B, che risulta fissa allo scafo, è graduata da 0° a 360° di quinto in

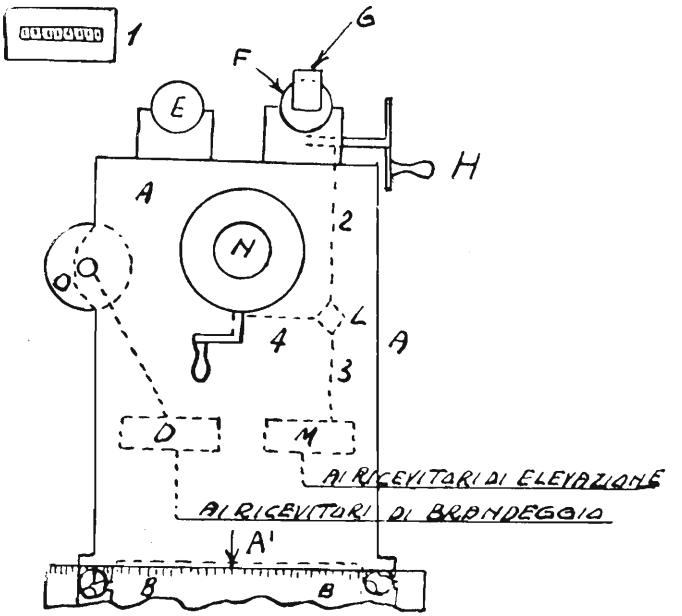


Fig. 224.

quinto grado; l'angolo di cui ruota il cilindro A è indicato dall'indice A'. Lo spostamento di A è provocato dal volantino O del puntatore in direzione il quale punta servendosi del cannocchiale F; nel mentre che il puntatore fa ruotare A, manovra contemporaneamente il commutatore elettrico D. Il volantino H muove il sistema di prismi G onde poter eseguire la punteria di bersagli elevati o depressi e contemporaneamente aziona, attraverso l'asse 2, il differenziale L_e, l'asse 3, il commutatore elettrico M. I commutatori D ed M sono elettricamente collegati ai motori ricevitori di brandeggio e di elevazione.

Questi hanno la forma (fig. 225) di un grande orologio e sono composti di due parti mobili: un disco centrale A ed un anello esterno B, inframezzati da un anello fisso con graduazione C. Il disco centrale A ruota per

effetto del motorino R che segue a sua volta i movimenti del commutatore di brandeggio o di elevazione; l'anello esterno B ruota meccanicamente in relazione ai movimenti di brandeggio e di elevazione dei pezzi. Nel caso della figura 225, che si riferisce ad un ricevitore di elevazione, la trasmissione è rappresentata dai rocchetti H ed X e dagli assi 1 e 2, il tutto azionato dal settore dentato M, solidale con il pezzo.

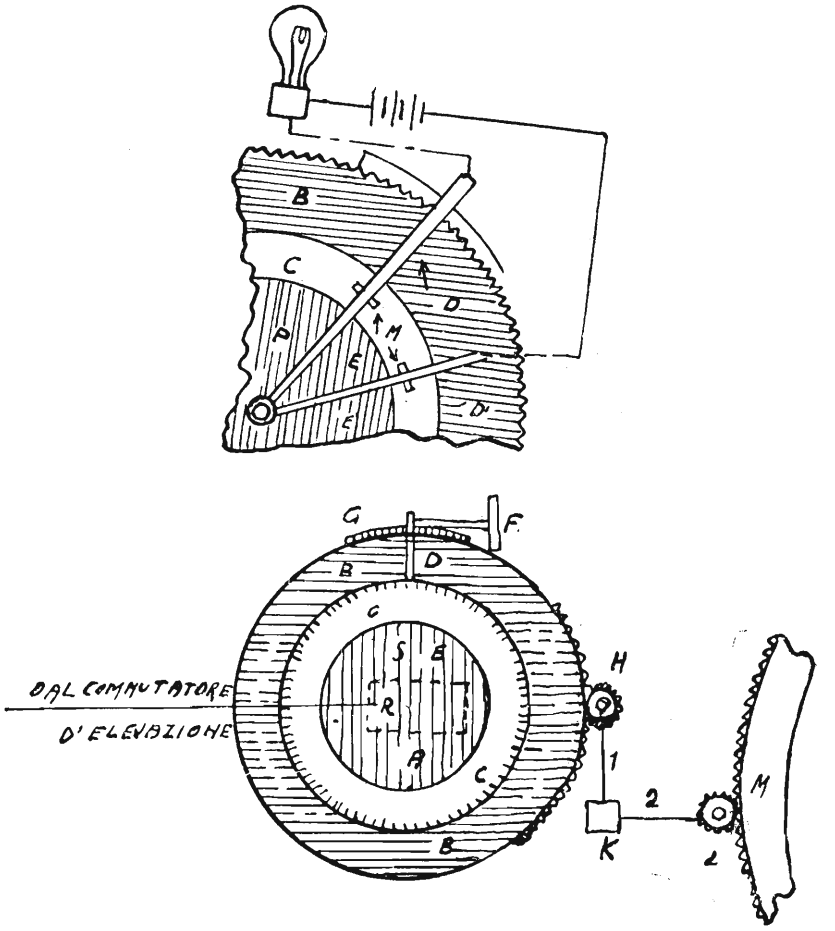


Fig. 225.

Il disco centrale A e l'anello esterno B sono muniti di indici: quelli appartenenti ad A sono chiamati indici elettrici e quelli appartenenti a B indici meccanici. I primi saranno azionati, mediante i commutatori, dal pun-

tatore ed i secondi dai motori di brandeggio e di elevazione delle torri e dei pezzi. Gli indici elettrici, dopo avere assunto una posizione fissa in relazione ai dati del tiro (direzione e distanza), subiranno nel caso di mare agitato, un movimento oscillatorio intorno a questa loro posizione dovuto alle variazioni di punteria per effetto della oscillazione della nave.

I ricevitori di brandeggio e di elevazione sono sistemati in numero sufficiente per ogni impianto ed i destinati alla loro manovra, vedendo spostarsi gli indici elettrici azionano opportunamente i congegni di brandeggio o di elevazione della torre e dei pezzi in modo da agire sulla corona B la quale ruota e quindi ruotano anche gli indici meccanici del ricevitore, inseguendo gli indici elettrici. Il movimento dovrà continuare sino a che le due coppie di indici non siano in collimazione, del che l'operatore sarà informato dall'accendersi di un lampadino spia M guarnito sul ricevitore. In queste condizioni i pezzi risulteranno brandeggiati od in elevazione secondo la punteria eseguita in coffa dal puntatore al cannocchiale.

Contemporaneamente ai movimenti eseguiti dagli indici elettrici per effetto del movimento del cannocchiale di punteria, ad essi possono sempre, tramite i commutatori elettrici D ed M (fig. 224), essere trasmessi i dati del tiro (distanza e direzione) e le loro relative correzioni. Gli apparecchi elettrici del complesso Girardelli comprendono in linea generale:

1°) il gruppo dei commutatori trasmettitori (un trasmettitore D per il brandeggio ed uno M per l'elevazione).

2°) Il gruppo dei ricevitori.

3°) Le linee relative con un quadro di collegamento o smistamento.

§ 88 — **Proiettori**

Scopo del proiettore è quello di riflettere la luce della sorgente luminosa di un'unica direzione, dando luogo ad un fascio luminoso cilindrico.

Ciò si ottiene con gli specchi parabolici i quali emettono raggi riflessi paralleli all'asse principale, purchè la sorgente sia nel fuoco puntiforme. In questa ipotesi la zona illuminata di un piano perpendicolare all'asse focale dello specchio ha le dimensioni della circonferenza del proiettore. Poichè nessuna sorgente luminosa può a rigore essere un punto, il fascio luminoso anzichè cilindrico risulta conico; in un proiettore nel quale il diametro dello specchio sia D = 90 cm., la distanza focale f = 40 cm. e l'altezza della sorgente luminosa 2 cm., l'apertura del cono è 1,10.

L'intensità luminosa del fascio dipende anzitutto dallo *splendore intrin-*

seco (intensità luminosa per unità di superficie) della sorgente; poi dal *potere condensatore* dello specchio, cioè dall'attitudine dello specchio a riflettere un fascio cilindrico anzichè conico, e che cresce col diminuire dell'altezza della sorgente luminosa e col crescere del diametro e della distanza focale dello specchio; infine dal *coefficiente di assorbimento dello specchio*. Questo è minore negli specchi di vetro a superficie posteriore argentata che negli specchi metallici i quali, per evitare una rapida ossidazione, si devono costruire a superficie dorata. Lo specchio metallico presenta invece i vantaggi di non essere inutilizzato se è colpito da scheggie e di non andare soggetto a rompersi come lo specchio di vetro quando, essendosi fortemente riscaldato per una prolungata accensione della lampada, sia colpito da una corrente di aria fredda per improvvisa apertura dei portelli. La maggior parte degli specchi sono attualmente costruiti di vetro.

Il diametro degli specchi dovrebbe essere il massimo possibile, non solo nell'intento di accrescere il potere condensante dello specchio, ma anche perchè tutto il flusso luminoso emesso dall'arco possa essere riflesso dallo specchio: solo ragioni di sistemazione limitano a 90 cm. il diametro degli specchi per i proiettori delle navi, mentre nei proiettori terrestri si raggiungono diametri anche di m. 2,50.

Se si vuole illuminare una zona estesa può essere utile che il fascio di luce sia assai divergente in senso orizzontale. A tale scopo si impiegano sistemi di lenti, che sono lenti piano-cilindriche, convesse, disposte verticalmente davanti al proiettore in modo da intercettare il fascio riflesso.

Se si suppongono i carboni verticali e il positivo in alto ed a partire dal centro dell'arco, si tracciano nelle varie direzioni dei segmenti proporzionali all'intensità luminosa in ciascuna direzione e si congiungono con una curva gli estremi di tali segmenti, si ottiene il così detto *diagramma fotometrico*, cioè una curva che mostra come varia l'intensità luminosa con la direzione. Tale curva è rappresentata nella figura 226.

Il massimo dell'intensità luminosa si ha in una direzione che fa con l'orizzontale un angolo compreso fra 40° e 60°.

Per questo motivo nei proiettori i carboni si disponevano inclinati in modo che la direzione della massima intensità luminosa coincidesse con l'asse dello specchio e che il cratere si trovasse nel fuoco dello specchio, e rivolto verso di esso. Difficoltà sia costruttive che di regolazione hanno portato a sostituire la disposizione accennata con quella orizzontale, in maniera che il cratere sia rivolto verso lo specchio.

Con uno specchio abbastanza ampio per raccogliere la maggior parte dei

raggi luminosi emessi dalla sorgente (fig. 227) l'utilizzazione della luce risulta così maggiore. Il carbone negativo deve essere sottile quanto più è possibile allo scopo di rendere minimo il cono d'ombra da esso proiettato sullo specchio.

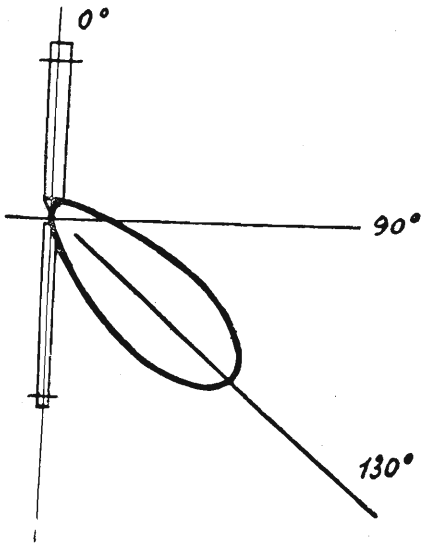


Fig. 226.

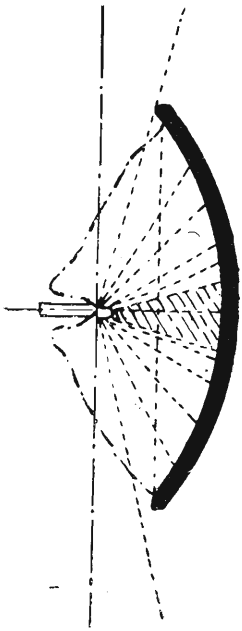


Fig. 227.

Proiettore Sperry. — Esso rappresenta un importante progresso dovuto alla realizzazione di un maggiore splendore intrinseco della fonte luminosa, che è stato ottenuto adoperando carboni contenenti sali minerali, i quali all'incandescenza, emettono un notevole flusso luminoso.

Mentre negli altri tipi di proiettori lo splendore intrinseco è dovuto al solo cratere positivo, ed oscilla fra 120 e 130 candele per m/m^2, nel proiettore Sperry alla luce emessa dalla superficie incandescente del carbone positivo, si somma quella data dai sali volatizzati, per cui lo splendore intrinseco dell'arco raggiunge le 500 candele per m/m^2.

Vi sono due tipi di proiettori Sperry: da 90 cm. e da 150 cm. entrambi zenitali.

La lampada del proiettore Sperry è da 150 ampères. E' orizzontale con regolatore in derivazione, per cui la regolazione dell'arco è comandata soltanto dalla tensione esistente agli estremi dell'arco stesso.

Questo funziona a 73 volts, con carboni di differente diametro (positivo di mm. 16 e animato; negativo di mm. 11 animato e ramato).

Le principali caratteristiche della lampada sono le seguenti:

1 - Bracci portacarbone fissi, con carboni scorrevoli.

2 - Raffreddamento dei carboni a mezzo di corrente d'aria iniettata attraverso i bracci che sono perciò tubolari.

3 - Rotazione intorno al proprio asse del carbone positivo; in modo da mantenere il cratere di forma regolare.

4 - Scorrimento, a mezzo del congegno automatico, del solo carbone negativo, perchè la distanza fra i carboni resti costante.

5 - Movimento (solo in avanti) automatico del carbone positivo, comandato da un apparecchio chiamato termostato, il quale fa sì che il cratere si mantenga sempre nel fuoco dello specchio.

6 - La lampada ha un motorino, il cui movimento mediante opportuni ingranaggi produce:

a) La rotazione del carbone positivo;

b) L'avanzamento del carbone negativo, quando entra in funzione il regolatore dell'arco;

c) L'avanzamento del carbone positivo, quando entra in funzione il termostato;

d) Il movimento del ventilatore.

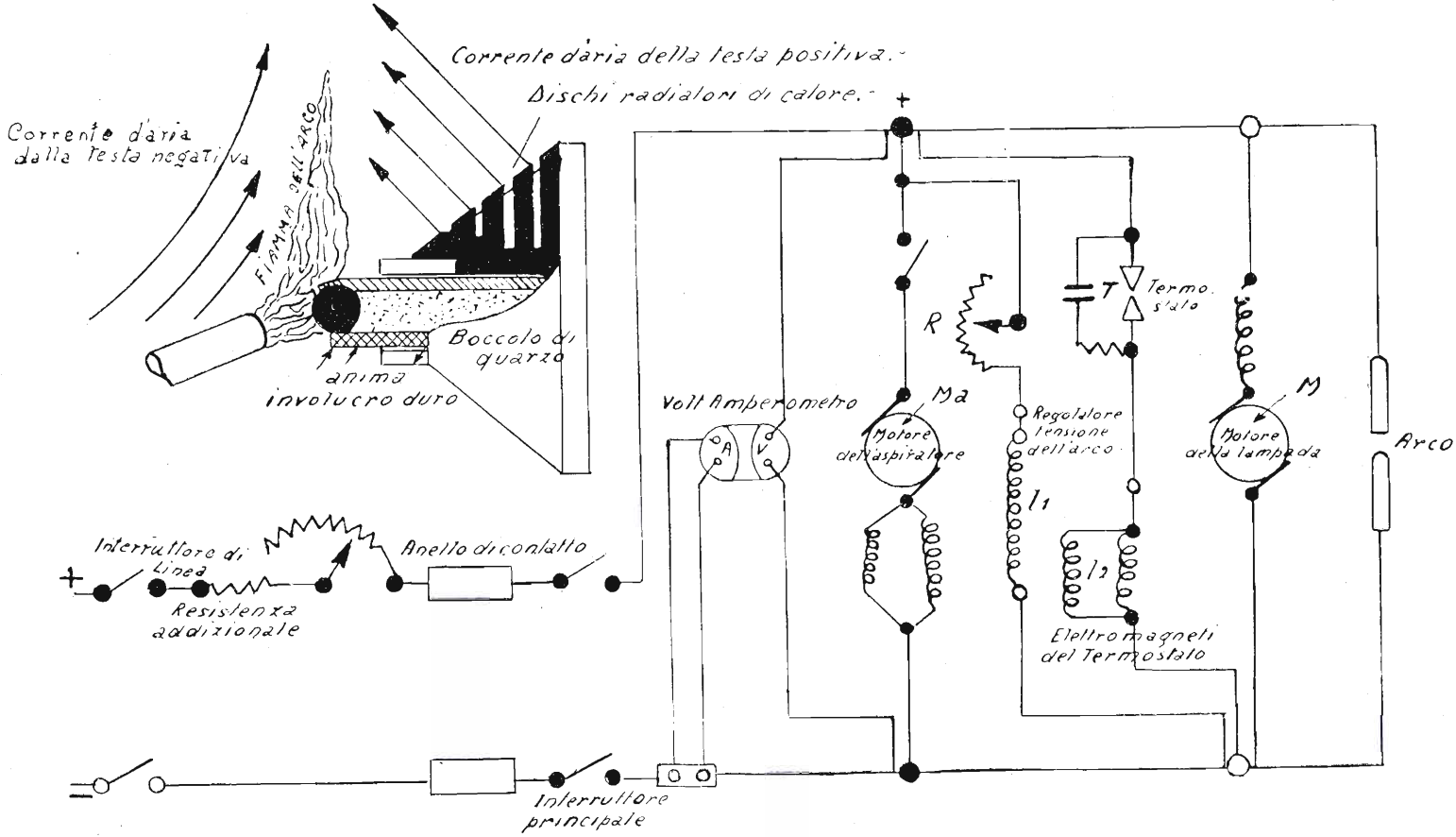
Come si vede il motorino è un organo essenziale per la lampada la quale deve essere messa senz'altro fuori servizio qualora per una ragione qualsiasi esso si arresti.

Lo schema degli apparecchi di regolazione della lampada è rappresentato dalla figura 228. La regolazione è a tensione costante. Il motorino (M) del proiettore è ad eccitazione in serie. Esso è continuamente in movimento, ed entra in funzione automaticamente fino da quando si dà corrente alla lampada.

Il *raffreddamento* si ottiene con aria iniettata da un ventilatore (mosso dal motorino anzidetto) entro i due bracci porta carbone.

L'aria mandata al supporto positivo non investe mai direttamente il carbone per non provocarne la combustione, ma passando attorno ad appositi dischi radiatori, sfugge da sfinestrature ristrette (con alette di riparo) praticate superiormente alla cuffia tronco conica, con cui finisce il sostegno verso l'arco. Detta cuffia termina in una boccola di quarzo fuso, che circonda la parte più calda del carbone positivo. La boccola può bruciare facilmente, specie quando non si ha ancora pratica nella regolazione, e costituisce un lato debole della

Proiettori Sperry Zenitale da 150 cm.-
Schema delle connessioni.- Fig. 228.-



lampada. E' in ogni modo opportuno possederne qualcuna di rispetto. L'aria mandata al carbone negativo (in minore quantità per la maggiore lontananza del braccio dell'arco) investe il carbone stesso, che è protetto contro l'ossidazione da una leggera ramatura.

La regolazione di tensione dell'arco. — Si ottiene, come si è visto con il solo avanzamento del carbone negativo. Il comando è fatto dall'ancoretta di un elettromagnete (1_1) in derivazione sugli estremi dell'arco, e sistemata nella base della lampada, ma il movimento di scorrimento del carbone è dato sempre dal motorino di cui sopra. L'elettromagnete è a succhiamento. L'ancoretta viene attratta più o meno, a seconda delle variazioni di tensione dell'arco dovute al consumo dei carboni, ed a sua volta compie l'ufficio di asservire il movimento persistente (continuo ed opportunamente trasformato) del motorino della lampada, alla rotazione alternativa di un complesso di assi e ingranaggi che fa capo a due rulli, prementi sul carbone negativo. Detto carbone quindi scorre avanti o indietro nel proprio supporto fino a ristabilire il valore normale della tensione dell'arco. L'attrazione dell'ancoretta è bilanciata da una molla regolabile con la quale si può variare la tensione, e quindi la lunghezza dell'arco, oltre a ciò, nello stesso circuito dell'elettromagnete è inserita una resistenza R regolabile a mano, sistemata sul proiettore esternamente alla lampada, con tale resistenza come a mezzo della molla anzidetta si può pure variare la lunghezza dell'arco.

Il carbone negativo può essere avanzato anche a mano a mezzo di una manovella sporgente dalla base della lampada.

Il supporto del carbone negativo è sviluppato nel senso dell'asse della lampada, in modo da rendere minimo l'occultamento del cratere allo specchio. Il complesso elettrico e meccanico per la regolazione dell'arco è molto robusto, e di regolare funzionamento. All'estremità del supporto il carbone negativo è circondato da un cilindretto di rete metallica allo scopo di impedire che nel funzionamento zenitale del proiettore, le eventuali perline di rame fuso, proveniente dal carbone negativo ramato, investano e danneggino il meccanismo esistente nel rapporto stesso.

All'innesto dell'arco provvede automaticamente lo stesso regolatore ora descritto, facendo avanzare il carbone negativo, fino a contatto col positivo, non appena si mette sotto tensione la lampada. Appena scocca l'arco il carbone negativo è poi subito automaticamente tirato indietro, fino a che non si ha la lunghezza normale dell'arco stesso, l'innesco avviene in pochi secondi, perchè il motorino della lampada gira ad una velocità superiore alla normale quando l'arco non si è ancora formato, essendo in derivazione sui carboni. E', pertanto necessario, prima di mettere la lampada sotto tensione, verificare che

i carboni siano all'inizio spostati, poichè in caso contrario il motore della lampada non potrebbe avviarsi.

La rotazione del carbone positivo intorno al proprio asse si ottiene con lo stesso movimento continuo del motore della lampada, opportunamente utilizzato a mezzo di assi verticali e ingranaggi appositi. La parte anteriore però del supporto positivo, contenente i dischi radiatori, cuffia e boccola di quarzo, non gira. La corrente al carbone positivo in continua rotazione, è portata per mezzo di quattro spazzole d'argento (due per lato), premute contro il carbone da apposite molle.

Per regolare l'*avanzamento del carbone positivo*, allo scopo di mantenere sempre l'arco nel fuoco dello specchio, vi è uno speciale dispositivo chiamato *termostato*. Sul carbone positivo e ruotanti con esso, sono premuti per mezzo di molle due rulli facenti parte di un complesso di ingranaggi, che ruota anch'esso. Rulli ed ingranaggi sono immobili però rispetto al carbone positivo, fino a quando non interviene un apposito organo. Questo è comandato da una lunga asta verticale, la quale provoca col suo sollevamento l'avanzamento del carbone positivo. Finchè l'asta è sollevata, il carbone ad ogni giro riceve un piccolo impulso, avanzando nel suo supporto. Il sollevamento di detta asta si produce per mezzo dell'ancoretta di un elettromagnete l_2 sistemato nella base della lampada, e derivato al solito sull'arco. Sullo stesso circuito è inserito il termostato T, il quale, aprendo o chiudendo il circuito, come vedremo, fa sollevare o no l'asta verticale. Esso è pertanto il vero organo automatico di comando per l'avanzamento del carbone positivo. Notiamo in ogni modo che tale movimento può ottenersi anche a mano, sollevando la suddetta asta verticale per mezzo di una leva, che ha un'appendice sporgente posteriormente dalla base della lampada.

Il termostato non è in sostanza che un interruttore unipolare che si apre o si chiude per dilatazione dei suoi organi, sotto l'influenza del calore. E' costituito da due laminette metalliche fissate ad un'estremità, e attaccate a leve moltiplicatrici all'altro estremo. Queste leve alle loro estremità libere, portano dei contatti che si allontanano quando un raggio di luce emesso dall'arco, e riflesso da uno speciale specchietto, cade sopra una delle lamine metalliche, dilatandole. Mentre il termostato è sistemato da un lato del proiettore, esternamente, lo specchietto riflettente è messo dal lato opposto del fanale, internamente. Le cose sono disposte in maniera che, quando il cratere della lampada è nel fuoco dello specchio del proiettore, il raggio riflesso dell'arco colpisce, attraverso una stretta apertura nel fanale, una delle lamine del termostato. Questa, dilatandosi, allontana i contatti ed apre il circuito. Quando

però, in seguito al consumarsi del carbone positivo, il cratere si sposta, il raggio riflesso non colpisce più la lamina del termostato: questa si raffredda, e, contraendosi, avvicina i contatti, chiudendo il circuito dell'elettromagnete. L'ancoretta di questo, attratta, mette in azione il meccanismo di avanzamento del carbone positivo, riportando il cratere in fuoco. Lo specchietto riflettente può regolarsi nell'orientazione a mezzo di una vite sporgente del fanale.

Il sistema di costruzione del termostato a due leve porta contatti ed a due lamine, fa che esso sia perfettamente compensato e non suscettibile di essere influenzato dalle variazioni della temperatura ambiente.

Lo sviluppo piuttosto elevato di gas che si ha con questo tipo di arco obbliga ad una estrazione degli stessi dalla lanterna del proiettore, mediante un estrattore mosso dal motore M_a e ciò resta agevolato dalle correnti d'aria che provengono dai portacarboni.

§ 89 — **Proiettore Sperry-Galileo**

La Ditta Galileo di Firenze, concessionaria di brevetti Sperry per la riproduzione dei proiettori di tale tipo, ha apportato al proiettore Sperry alcune innovazioni e migliorie.

Il vantaggio principale di questo proiettore *Sperry-Galileo* è da attribuirsi quasi unicamente alla lampada ad arco Sperry ed ai suoi speciali carboni. Tale lampada dà una intensità di luce di gran lunga superiore a quella degli ordinari proiettori da cui si differenzia parecchio.

I carboni usati sono del genere di quelli già da tempo impiegati per le lampade stradali e cioè impregnati di sali di terre rare quali il Cerio ed altri. L'arco Sperry fornisce un grande splendore intrinseco, poichè mediante opportuni dispositivi la fiamma dell'arco non si apre a ventaglio. Invece tutti i gas vengono concentrati nel cratere positivo della fiamma che emana dal carbone negativo, in modo che la luce ottenuta è la somma di quella data dalla superficie incandescente del cratere positivo e di quella procurata dai sali minerali volatilizzati, contenuti entro il cratere.

Ciò dà luogo ad uno splendore intrinseco di circa 500 candele per m/m^2 mentre lo splendore intrinseco di un arco ordinario varia da 120 a 160 candele per m/m^2.

In sostanza il proiettore *Galileo-Sperry* non è altro che il vecchio tipo Galileo (sbarcato dalle nostre navi) in cui è stata sostituita la vecchia lampada « Pasqualini » con quella « Sperry ». Si è aggiunto, per necessità di fun-

zionamento della lampada Sperry, l'aspiratore dei prodotti della combustione e la scatola del *termostato* con i relativi accessori.

La vera ed originale modifica apportata dalla Ditta Galileo alla lampada Sperry è la disposizione per il rovesciamento della fiamma, eliminando così il grave inconveniente dei proiettori Sperry; cioè quello di illuminare il terreno immediatamente antistante al proiettore per effetto della sviluppata fiamma dell'arco, riflessa in basso dallo specchio.

Proiettore. — Il proiettore propriamente detto, si presenta nella forma non dissimile dei proiettori ordinari. E' fornito della manovra a distanza sia per il brandeggio che per l'elevazione, e la chiusura o l'apertura dell'oscuratore ad iride può egualmente venire eseguita a distanza. Il proiettore è zenitale.

Poggia su di uno zoccolo (1) (figg. 229, 230, 231) che sostiene tutta la costruzione. Su di esso sono sistemati:

a) le prese di corrente principali (2) che portano corrente ai due anelli (3) (fig. 230) interni alla piattaforma;

b) la leva (4) dell'interruttore bipolare principale;

c) una valvola bipolare con presa di corrente (5) (fig. 229) per una lampada portatile;

d) un innesto femmina a sei spine (6), per il collegamento elettrico del proiettore alla cassetta (7) dei motori;

e) un innesto femmina a sette spine, per collegare elettricamente il proiettore al manipolatore per la manovra a distanza;

f) un anello di ottone (8) con linee di fede e graduazione per la lettura degli angoli azimutali.

Sullo zoccolo poggia infine, ma in maniera da poter liberamente ruotare, la *piattaforma* (9).

Nell'interno della piattaforma vi sono due spazzole sfreganti sugli anelli (3) che, come si è detto, portano la corrente principale; ed inoltre vi è una terza spazzola strisciante su di un altro piccolo anello che porta la corrente al meccanismo per la chiusura od apertura a distanza dell'oscuratore ad iride. Vi sono inoltre gli ingranaggi per la riduzione della velocità nel movimento di brandeggio ed elevazione. Sopra la piattaforma sono sistemati i due volantini (10) e (11) per la manovra a mano dei movimenti del proiettore.

Il volantino (10) di brandeggio può essere reso folle dalla piattaforma

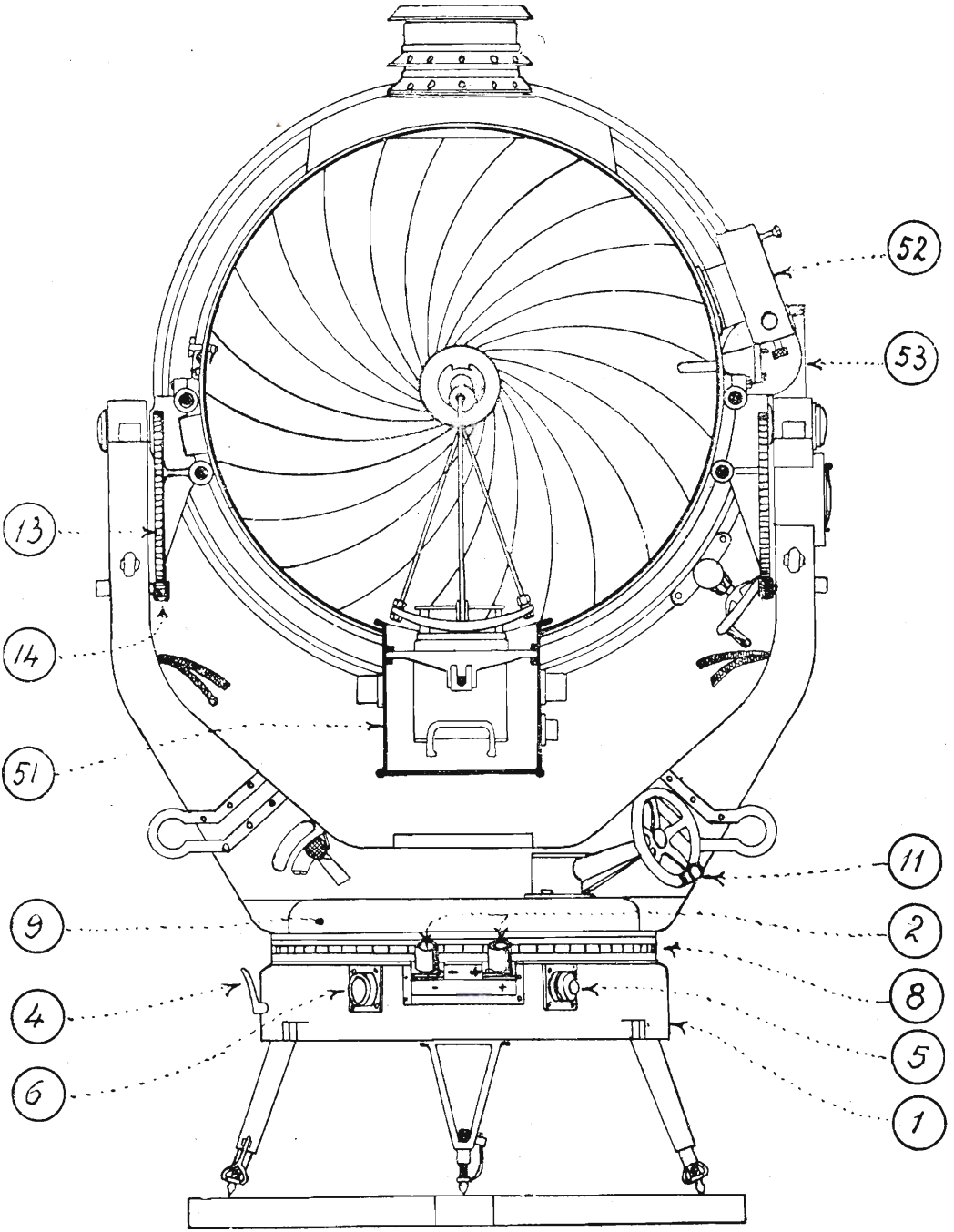


Fig. 229.

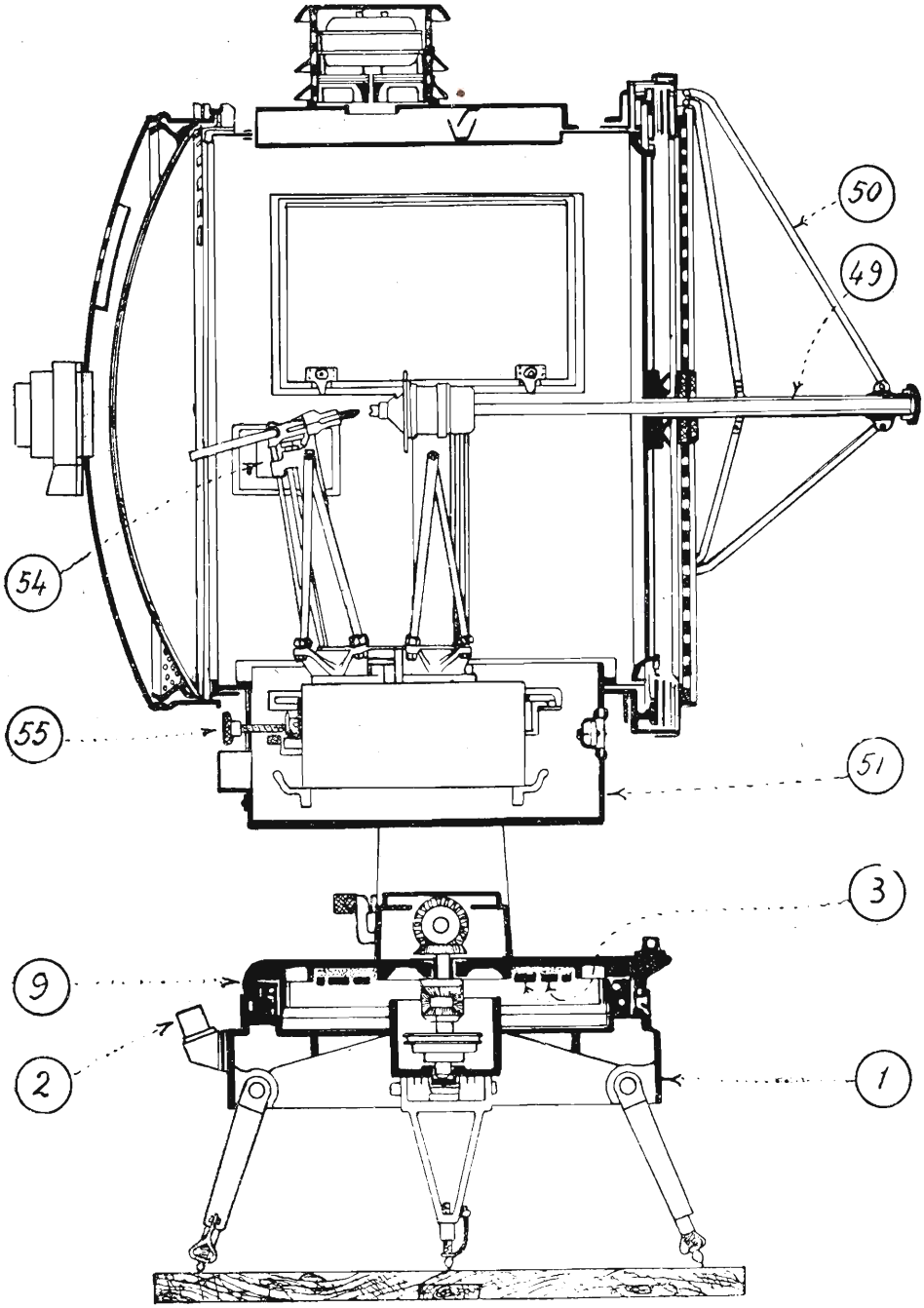


Fig. 230.

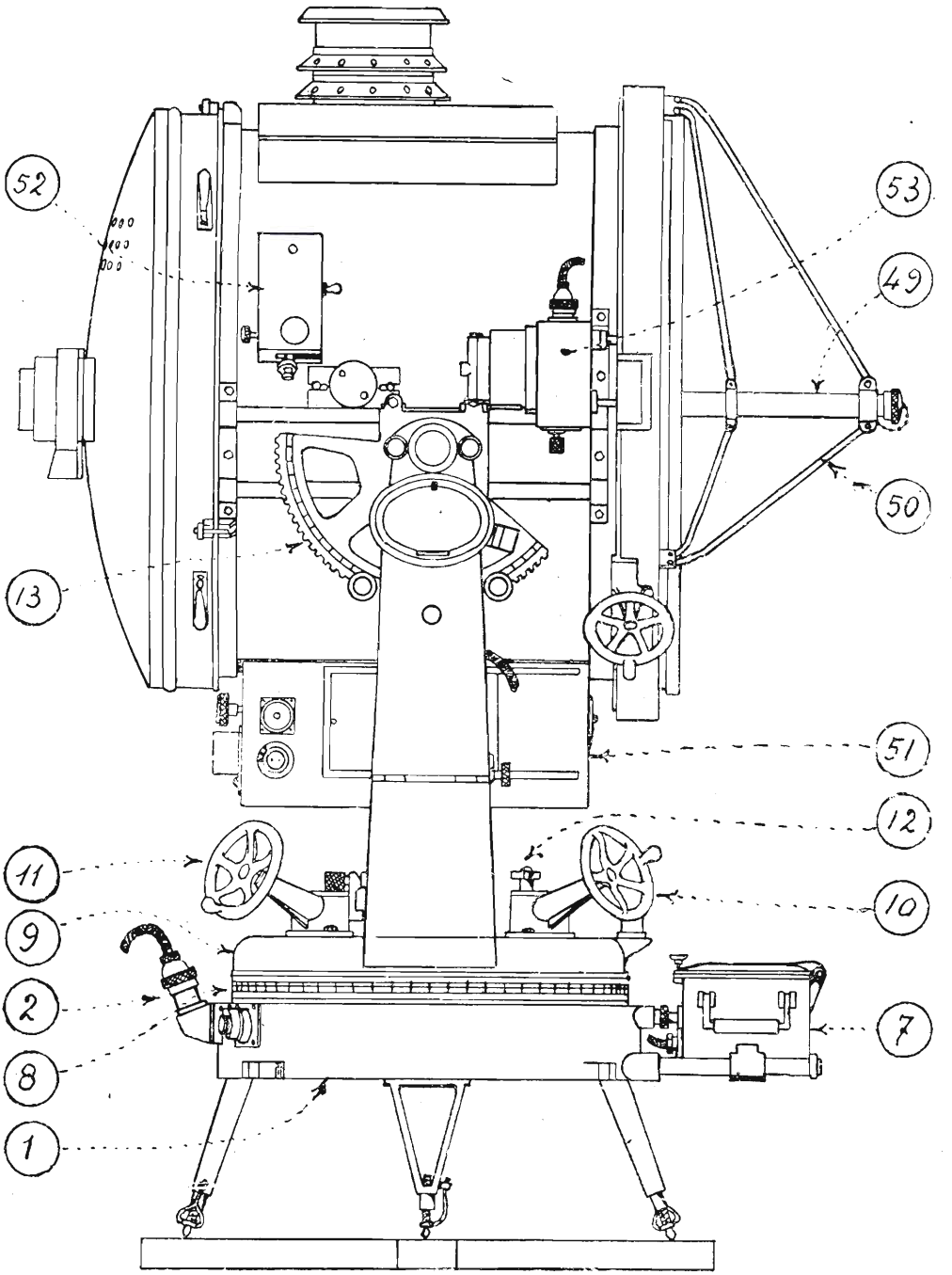


Fig. 231.

mediante il bottone a stella (12) (fig. 231) che avvitato collega e svitato libera la piattaforma. Quando il brandeggio sarà fatto a distanza elettricamente ricordarsi bene di accoppiare il volantino (10) di brandeggio avvitando completamente il bottone a stella. In caso contrario girerebbe il motorino elettrico e l'anello circolare (3), ma la piattaforma e quindi il proiettore rimarrebbero fermi.

La figura 232 mostra gli ingranaggi vari per i movimenti zenitali ed azimutali del proiettore sia con manovra a mano che con quella elettrica. I dispositivi sono fatti in modo che si possa sempre ed in qualsiasi momento manovrare sia a mano che elettricamente senza compiere alcuna manovra.

Manovra verticale o zenitale. — Il proiettore ruota per effetto dei due settori laterali (13) (fig. 229) che ingranano con due ruote dentate (14) a loro volta collegate mediante ruote dentate coniche all'asse con ruota dentata (15) (fig. 232). L'asse (16) alle cui estremità sono fissate le due ruote dentate (17) può essere oppur no ingranato con la ruota (18) folle sui di esso, mediante il giunto (19). La ruota (18) ingrana con la (20) calettata sull'asse (21) sulla cui estremità inferiore è fissata la ruota dentata (22). Quest'ultima ingrana con (23) a cui è collegata di fusione la ruota dentata (24) a sua volta ingranata alla ruota (25) folle sull'asse (21) e fissata alla sua estremità ai due semiasse (26).

Sulle estremità di questi possono ruotare folli i due satelliti (27), che sono poi quelli che permettono in qualsiasi momento la manovra a mano o elettrica.

I due satelliti (27) ingranano a loro volta sulle due ruote dentate (28) e (29) rispettivamente di ferro con le ruote e denti elicoidali (30) e (31).

La (30) riceve movimento dalla vite senza fine (32) dal motorino elettrico, la (31) da quella (33) all'estremità dell'asse (33) della manovra a mano (11).

Ruotando (32), ruotano gli ingranaggi (30) e (28).

Essendo la ruota (29) fissa (per la irreversibilità del meccanismo: ruota elicoidale vite senza fine) (33) ruotano i due satelliti (34) trasportando il pezzo (35) la ruota (25) quella (24) ad essa ingranata, la ruota (23) e quindi la (22) e cioè l'asse (21).

Manovrando invece a mano (11), ruota (33) e quindi l'ingranaggio (31) con quello (29). I satelliti ruotano perchè fissa la ruota (28) e trasportano ugualmente il pezzo (35) e l'ingranaggio (25) come detto avanti.

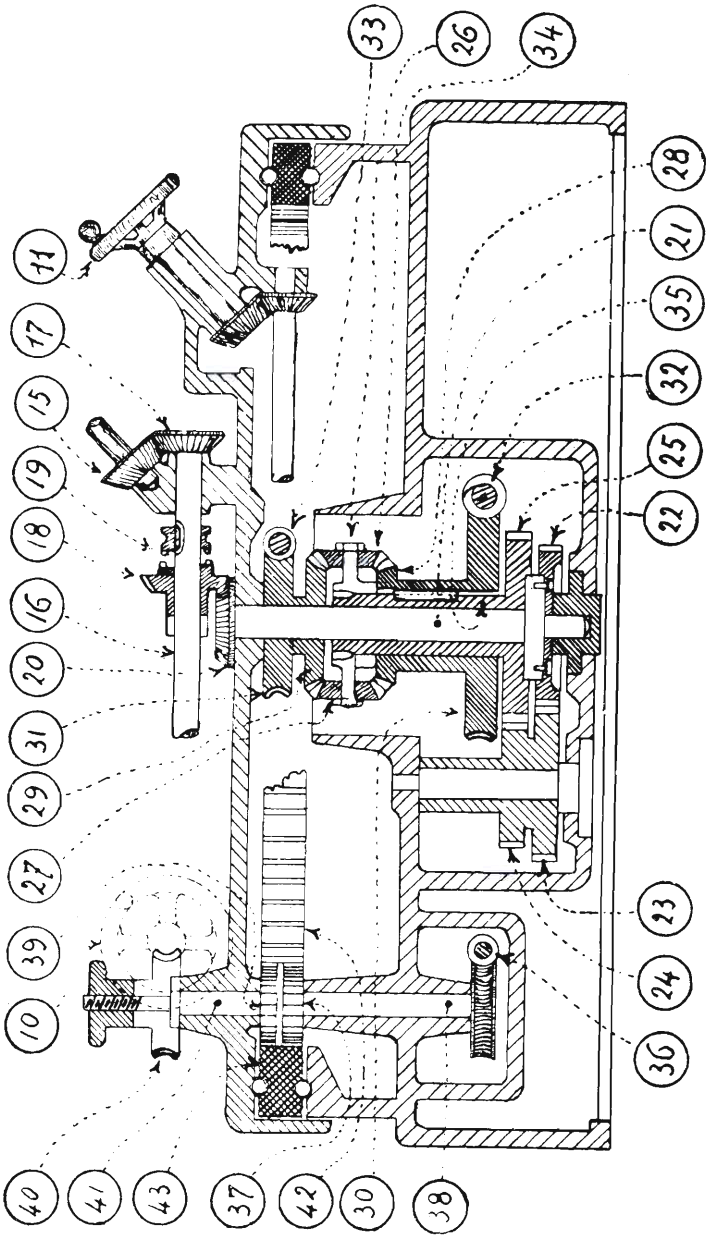

33
26
34
28
21
35
32
25
22
11
17
15
19
18
16
20
31
29
27
39
10
23
24
36
40
41
43
37
42
30
38

Fig. 232.

Manovra azimutale od orizzontale. — Il movimento orizzontale può essere impresso elettricamente mediante l'asse (36) ed a mano dal volantino (10).

Da (36) si comunica il movimento a mezzo di vite senza fine e ruota a denti elicoidali alla ruota dentata (37) mediante l'asse (38). Egualmente da (10) si comunica movimento alla ruota (39) a mezzo del collegamento vite senza fine-ruota elicoidale (40) ad asse (41). Ambedue le ruote dentate (37) e (39) ingranano internamente ad una cremagliera circolare (42) a cui è fissato esternamente l'anello (43) che la sostiene e che poggia inferiormente, a mezzo di sfere, sullo zoccolo e superiormente alla piattaforma mobile. I due assi (38) e (41) sono indipendenti.

Se il moto viene trasmesso da (36) che è fisso, ruota l'ingranaggio pure fisso allo zoccolo (37). La cremagliera (42) e quindi l'anello (43) ruotano insieme al proiettore, facendo lavorare le sfere inferiori.

La ruota (39) rimane ferma e ruota in blocco insieme a tutta la piattaforma.

Manovrando da (10) a mano, ruota l'ingranaggio (39) e siccome la cremagliera (42) è fissata mediante la ruota dentata (37) irreversibile, la piattaforma girerà con tutto il volantino. L'anello (43) rimarrà fermo e lavoreranno le sfere superiori.

Tutto il meccanismo dei rotismi, per quanto complesso, non può dare luogo ad avarie essendo chiuso e protetto.

La piattaforma porta una graduazione in 640 parti distribuita su tutta la circonferenza. Ogni divisione equivale a 10 millesimi convenzionali.

Motori per la manovra a distanza. — Sono tre e possono essere manovrati dal controller rappresentato nella figura 233. I due motori per l'elevazione ed il brandeggio sono sistemati sullo zoccolo nella cassetta (7) (fig. 231). Quello per la chiusura ed apertura dell'oscuratore ad iride sul fanale, a dritta. Tutti e tre i motori sono ad eccitazione indipendente ed i loro magneti restano costantemente eccitati, derivati direttamente tra il + ed il —. Un fanaletto spia, manovrato da un commutatore sul fanale, permette di verificare se il motorino dell'oscuratore è eccitato.

L'inversione di marcia nei motori, si ha invertendo corrente nell'indotto. Tale inversione, viene fatta nell'interno del controller per i motorini di elevazione e di brandeggio; ed a mezzo di un apposito *relais* manovrato dal volantino (44) per l'oscuratore (fig. 234).

Il motore di brandeggio e quello di elevazione consentono molteplici variazioni di velocità, mediante variazioni della tensione applicata al mo-

tore. Questa si cambia inserendo con un manipolatore (a quattro movimenti: alto, basso, dritta, sinistra, e che provvede anche alla inversione del moto), un numero variabile di spire nel divisore di tensione R.

Sia R la resistenza totale del divisore di tensione A B (fig. 233), divisa in parti uguali; V la caduta di tensione A B; v la caduta di tensione A C fra le spazzole del motore M.

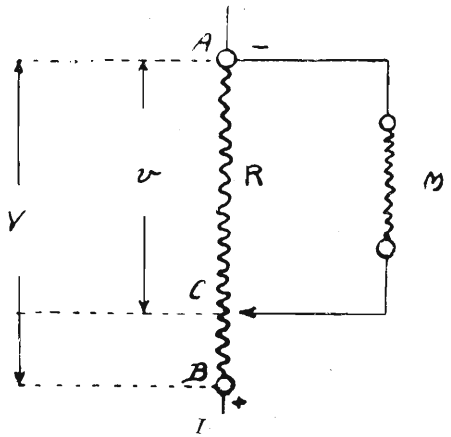


Fig. 233.

Variando col manipolatore la posizione del contatto mobile C, si applica al motore una tensione variabile e quindi si ha una velocità variabile di esso.

Il manipolatore è rappresentato nella figura 234.

Esso è un controller portatile nel quale sono sistemati:

1. — Una presa di corrente (45), a sette spine.

2. — Un interruttore generale (46), posto di fianco.

3. — Un volantino (47), per il comando dei movimenti orizzontali del proiettore, il quale gira nello stesso senso della rotazione del volantino.

4. — Un volantino (48), posto di fianco, all'altezza dell'interruttore, per la manovra dei movimenti verticali, il quale gira nello stesso senso della elevazione del proiettore.

5. — Un volantino (44), posto di fianco all'altezza dell'interruttore per la manovra dell'oscuratore.

6. — Le resistenze costituenti il reostato, contenute nell'interno della colonna.

Il cavo per la manovra a distanza è costituito da 7 fili dei quali uno positivo, uno negativo, (quattro (1-2-3-4) che portano a due a due la corrente

a ciascuno dei motorini per la manovra verticale ed orizzontale, ed un settimo che serve per l'apertura e la chiusura del circuito di comando dell'oscuratore.

Fanale. — Serve essenzialmente ad impedire la diffusione laterale della luce ed a tenere giustamente piazzati lo specchio e la lampada.

Anteriormente il fanale è chiuso dall'oscuratore ad iride e dalla porta

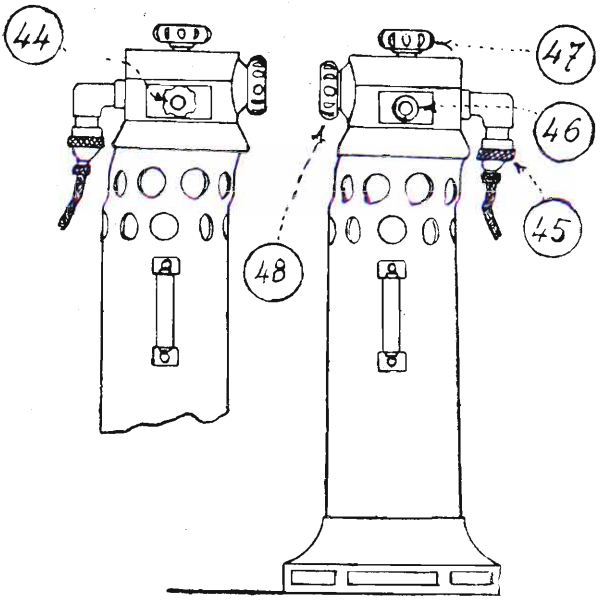


Fig. 234.

piana che ha al centro un tubo (49) (figg. 230 e 231) fissato da un sostegno a treppiede (50) per la protezione del carbone positivo.

Posteriormente è chiuso dallo specchio col portaspecchio ed inferiormente dalla cassetta della lampada (51).

Il fanale ha superiormente un camino con elettroaspiratore dei prodotti della combustione. Lateralmente, dalla parte destra, vi è il *termostato* (52) (figg. 229 e 231) ed il motorino per l'apertura a chiusura dell'oscuratore (53). Dalla scatola che contiene tale motorino sporge inferiormente una leva che serve a passare dal funzionamento elettrico dell'oscuratore a quello a mano. A sinistra del fanale trovasi la scatola di protezione (54) (fig. 230) dello specchietto per il comando termostatico; su tale scatola sono praticati due fori con tappo a vite che possono dare allo specchietto un giuoco verticale ed orizzontale.

Dei due settori dentati (13), che servono per la manovra di elevazione uno è esternamente graduato in millesimi (ogni graduazione è 10 millesimi convenzionali).

Dal cassone (51) della lampada sporgono le viti (55) per la messa a fuoco della lampada, gli innesti per il cavo della corrente principale della lampada, l'innesto a tre vie per il comando dell'oscuratore e l'innesto per il ventilatore dello specchio.

Lo specchio è parabolico, di vetro molato. I prodotti della combustione lasciano abbondanti depositi sullo specchio, ed occorre pulirlo molto leggermente dopo ogni accensione. Usare un pannolino finissimo e *pulito* imbevuto di alcool; oppure un pennellino per la polvere.

Lampada. — E' quella Sperry a sua volta ricavata e perfezionata dalla lampada Beck. Funziona ad alto voltaggio e precisamente ad una tensione che si aggira attorno ai 75 volts. L'intensità normale è di 150 ampère.

La lampada è automatica e può solo in parte funzionare a mano. Ha carboni speciali ad alta densità di corrente e ad effetto bianco. I carboni sono molto lunghi perchè si consumano rapidamente. Una coppia dura circa tre ore.

Il diametro del carbone positivo, non ramato, è di 16 m/m (larghezza m/m 940).

Il diametro del carbone negativo, ramato, è di m/m 11 (lunghezza m/m 300).

L'effetto bianco si ottiene costruendo il carbone positivo con un'anima interna a base principalmente di cerite, minerale composto di terre rare (Cerio, ecc.).

Per questa sua speciale composizione, il carbone positivo brucia più rapidamente nel suo interno che non nell'involucro e s'incava, creando un profondo cratere atto a contenere i vapori luminosi nei quali si trasforma l'anima stessa. Sono questi vapori luminosi che costituiscono per il loro grande splendore intrinseco la principale sorgente di luce.

I congegni per la regolazione automatica della lampada sono solo in parallelo sui carboni.

Nella lampada Sperry ad arco rovesciato la corrente viene portata alla testa del carbone negativo a mezzo di un cavo isolato che percorre il braccio positivo e poi di una lamina di rame nudo che sovrasta la posizione dell'arco e che alla fine è unita ad una treccia di rame fissata alla estremità ai morsetti di contatto della testa negativa.

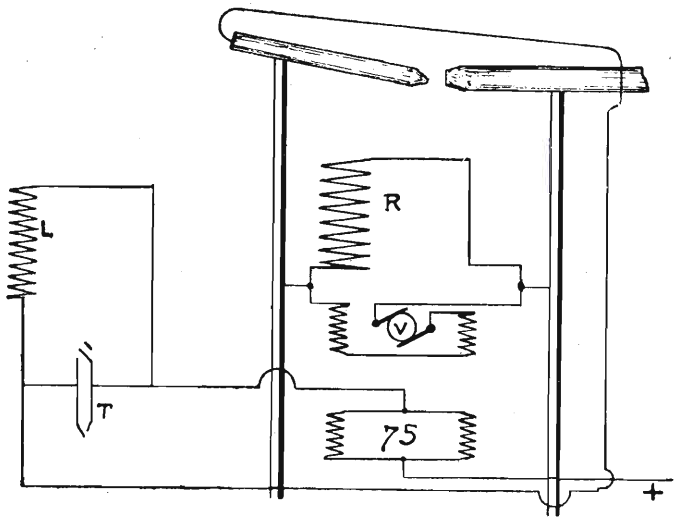


Fig. 235.

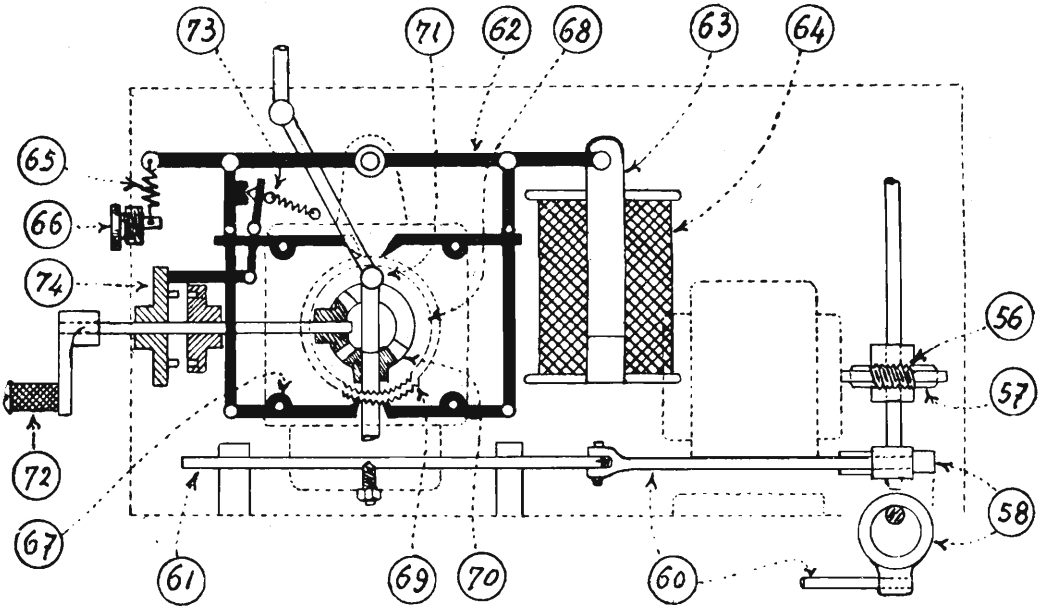


Fig. 236.

Con tale disposizione l'arco viene soffiato verso il basso (legge di Ampère: due correnti parallele si attraggono se dirette nel medesimo senso; si respingono se dirette in senso contrario).

Per non avvicinare troppo la fiamma al braccio positivo, la lamina di rovesciamento è spostata di una quarantina di gradi a destra guardando la lampada dal lato del braccio positivo.

La testa positiva, ha una copertura di protezione, che era costruita in lastra di ottone sottilissima con tre ampie feritoie per l'uscita dell'aria. Si avevano però facili fusioni dovute ad imperfetta soffiatura della fiamma ed alla piccola massa di metallo che trovavasi sfiorata dalla fiamma stessa.

Si è eliminato questo inconveniente costruendo le lastre di rame più spesse (3 m/m) con due sole feritoie, ravvicinate ed impiccolite, ottenendo così anche una migliore soffiatura della fiamma.

Le principali caratteristiche costruttive di tale lampada sono le seguenti:

1°) I bracci porta-carbone sono fissi. I carboni scorrono nelle testate dei porta carboni.

2°) I carboni sono raffreddati da una corrente di aria iniettata attraverso i bracci porta-carboni che sono tubolari e vuoti internamente.

3°) il carbone positivo ruota continuamente intorno al proprio asse e riceve la corrente per mezzo di spazzole d'argento fisse. Oltre a tale movimento rotatorio continuo ha anche un movimento automatico in avanti regolato e comandato da un organo proprio indipendente detto *termostato*..

4°) Un motorino elettrico che funziona continuamente è l'organo vitale della lampada. Esso è ad eccitazione in serie. La sezione del filo della eccitazione è stata successivamente cambiata, in modo da non variare sensibilmente la resistenza ohmica pure aumentando il campo che risultava assai debole e lontano dal punto di saturazione.

Con questo, oltre a ridurre in termini assai più favorevoli la densità di corrente dell'avvolgimento di eccitazione, e con l'aggiunta di un volantino sull'asse del motore, si è ottenuta una spinta molto più potente, tale da permettere la accensione dell'arco in modo perfetto, anche a carboni molto avvicinati (6-7 m/m). Tale motorino dà movimento a tutti gli organi della lampada e cioè provvede alla ventilazione dei carboni attraverso i bracci porta-carboni tubolari; dà movimento rotatorio continuo al carbone positivo; dà movimento di avanzo o di rientro al carbone negativo per la regolazione dell'arco.

La disposizione schematica della lampada è data dalla figura 235 e quella meccanica per la manovra dei carboni è data dalle figure 236, 237, 238.

Elettricamente la lampada è costituita da un motorino ad eccitazione in serie che ha una velocità media di 4800 giri al minuto primo; da un elettromagnete R per la regolazione del carbone negativo ed infine dal circuito termostatico che mantiene in fuoco la lampada. Tutti questi circuiti sono in derivazione tra i poli dell'arco.

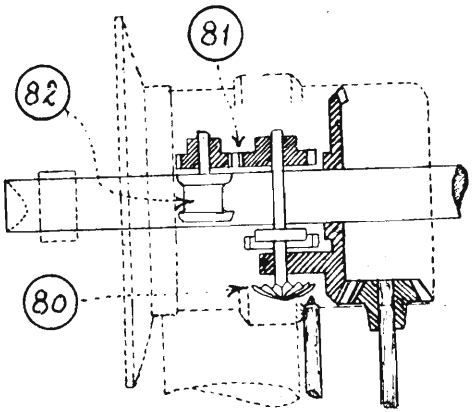


Fig. 237.

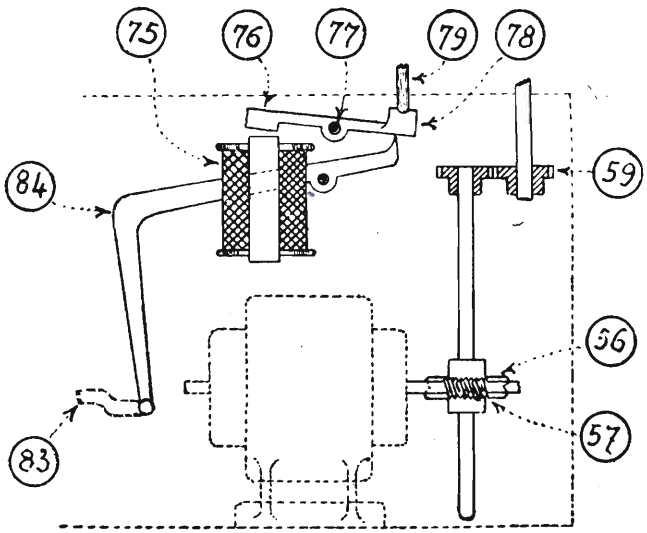


Fig. 238.

Mediante vite senza fine (56) e ruota elicoidale (57), il movimento del motorino viene trasmesso da un unico asse e contemporaneamente ad un eccentrico (58) calettato all'estremità inferiore ed alla coppia di ruote dentate (59 (fig. 238) superiormente. L'eccentrico trasforma il movimento rotatorio in alternato rettilineo mediante l'ausilio dell'asticella (60) e (67). Fissato all'asticella (61) vi è il telaio porta cricchetti, snodato ai vertici, che regola la distanza del carbone negativo da quello positivo. Tale telaio è imperniato nella parte superiore a mezzo dell'asta (62) che fa fulcro al centro in un punto fisso ed alle estremità è imperniata da un lato al nucleo (63) della bobina (64) e dall'altro ad una molla antagonista (65) regolabile a mezzo di un bottone (66) esterno alla lampada. I cricchetti sono quattro e fanno fulcro sui perni (67) fissi al telaio mobile.

A seconda delle variazioni di tensione della corrente principale che avvengono ai capi dell'arco, il nucleo (63) sarà oppur no attirato dalla bobina (64) in contrasto con la molla (65), ed il telaio snodato si deformerà in modo da appoggiare una delle due coppie in *diagonale* dei cricchetti sulla propria ruota dentata. Le ruote dentate sono due di eguale diametro, ma con i denti in senso inverso e su ognuna di esse poggia una coppia di cricchetti.

A causa del movimento continuo alternato rettilineo dell'asse (61) e del telaio ad esso collegato e quindi dei cricchetti, la ruota dentata (68 e 69) su cui poggia la coppia in diagonale dei cricchetti ruoterà, azionando un asse che mediante ingranaggi conici (70) e snodo cardanico (71) comunicherà lo spostamento assiale al carbone negativo (vedi fig. 236). Questo si sposterà in un senso o nell'altro a seconda che la ruota dentata che viene mossa è con i denti verso un lato oppure dal lato opposto.

Il carbone negativo, prima, come abbiamo già visto nella sommaria descrizione della lampada Sperry, veniva trascinato per mezzo di rulli fortemente premuti sul rame del carbone stesso, ma si avevano facili slittamenti e conseguenti rotture della copertura di rame.

Si è rimediato a questo inconveniente, facendo trascinare il carbone negativo per mezzo di una chiocciola pure di carbone, o per meglio dire, da una scatola metallica contenente in apposite scanalature tanti mezzi vermi componenti la chiocciola; entro questa, ruota una vite e dà il moto di avanti ed indietro al catodo, e che riceve il movimento come sopra è stato detto.

Il movimento del carbone negativo può anche ottenersi con apposita manovella (72) che trovasi all'esterno della lampada, e che per essere ingranata deve essere spinta verso la lampada.

In tal modo a mezzo del cono (73) si blocca il telaio porta cricchetti nella

sua posizione centrale e si ingrana il giunto a piuoli (74), che permette di comandare direttamente il dispositivo di avanzo o retrocessione del catodo.

Tale giunto può fissarsi nella posizione d'ingranamento mediante una piccola rotazione di un bottone godronato coassiale al volantino e munito d'incastro a sciabola baionetta.

E' stato aggiunto inoltre un dispositivo per l'arresto del carbone negativo, quando questo sia giunto a fine corsa.

Il regolatore automatico, nel comandare il dispositivo del moto del carbone negativo, comanda pure una vite, che porta una chiocciola, opportunamente guidata, e munita di due arresti fine corsa.

Questa, quando trovasi vicinissima ad uno dei due arresti, comanda una leva che col suo estremo porta il bilanciere nella posizione di folle. Così, quando il carbone negativo si trova all'estremità della sua corsa, non può essere più comandato in quel senso, ma non è per niente ostacolato il comando nel senso opposto.

Il moto di avanzamento del carbone positivo avviene per effetto del termostato. Questi non è che un interruttore unipolare che permette alla corrente di percorrere la coppia di bobine (75) (figg. 235 e 238). Queste attirano l'ancoretta (76) imperniata in (77), alzando di conseguenza il pezzo (78) e quindi l'asta (79). Ad ogni giro della testa positiva, l'estremità di detta asticella va ad impegnarsi negli appositi denti di una ruota a stella (80) (fig. 237) che, girando, comunica il movimento ad una coppia di ruote dentate (81) ed ai rulletti (82) di avanzamento del carbone positivo. Tale movimento può ottenersi anche a mezzo di un apposito bottone sulla scatola del termostato che chiude in corto circuito il termostato stesso, oppure con una leva (83) (fig. 238) che a mezzo di altra lega (84) spinge in alto lo scodellino (78).

Questo congegno è stato successivamente modificato; e nei proiettori più recenti, la punta è costantemente alzata, cioè l'avanzamento del carbone positivo è continuo. Naturalmente per ottenere una giusta velocità di avanzamento si sono adottati opportuni rapporti diversi da quelli precedentemente applicati.

Il termostato, interviene quindi semplicemente nel caso in cui l'avanzamento continuo risulti scarso, facendo entrare in azione una seconda punta, diametralmente opposta alla prima, e raddoppiando quindi la velocità di avanzamento.

La punta mobile può essere anche comandata a mano mediante una levetta situata sulla parte posteriore della lampada.

E' stato inoltre aggiunto un dispositivo che permette la inversione di marcia del carbone positivo.

Per mezzo di un gruppo conico e di opportuno giunto a denti, comandato dalla medesima leva dell'avanzamento accelerato, solamente agendo nel senso opposto, si può invertire la marcia dell'anodo, invertendo il senso di rotazione di tutta la testa positiva.

E' opportuno notare che, sia nell'avanzamento accelerato, sia nella inversione di marcia, interviene sempre la punta mobile, e viene bloccato automaticamente, mediante opportuno dispositivo, il moto dell'ancora della elettrocalamita del termostato.

Per potere eseguire il cambio del carbone negativo, il braccio negativo può ruotare di circa 10° sul suo asse, in modo che l'asticella scorre con la sua estremità inferiore sul piano inclinato e si solleva, allargando con l'altra estremità le gamme che tengono il carbone in virtù di due mollette.

Termostato: E' in sostanza un interruttore unipolare che si apre e si chiude per dilatazione dei suoi organi sottoposti all'influenza del calore.

Ha la funzione di mantenere il cratere del carbone positivo nel fuoco dello specchio parabolico man mano che questo si consuma.

Consiste essenzialmente (Vedi Fig. 239) in una coppia di *lamine di zinco*, delle quali una (85), riceve direttamente il calore dal cratere e dall'immagine di questo che gli viene riflessa dallo specchietto (86) (fig. 240); l'altra (87) (fig. 239) è invece protetta dai raggi diretti del cratere per mezzo di un apposito schermo (88) e si dilata o si restringe esclusivamente in relazione alla temperatura esistente nella scatola in cui è contenuta. Tutte e due le lamine quindi risentono l'influenza della temperatura della scatola del termostato ed è per questo che costituiscono un sistema differenziale *indipendente* da tale temperatura. L'avanzamento quindi del carbone positivo non dipende affatto dai progressivi aumenti di temperatura che si producono nel fanale durante il suo funzionamento.

Le due lamine sono tese all'estremità superiore da molle. La lamina interna (87) è fissa al telaio nella sua parte inferiore, quella esterna (85) invece è applicata inferiormente al telaio a mezzo di apposita vita (69) con controdado, in modo che si può variarne la tensione ed aumentare o diminuire, come vedremo, la distanza tra i contatti. Alla estremità superiore delle lamine sono fissate due leve moltiplicatrici del movimento con fulcro sull'asse (90). Ad una estremità, quella superiore, sono contropesate con i pesi (90) e (91) perchè non influiscono sul termostato i movimenti del fanale in senso verticale (mo-

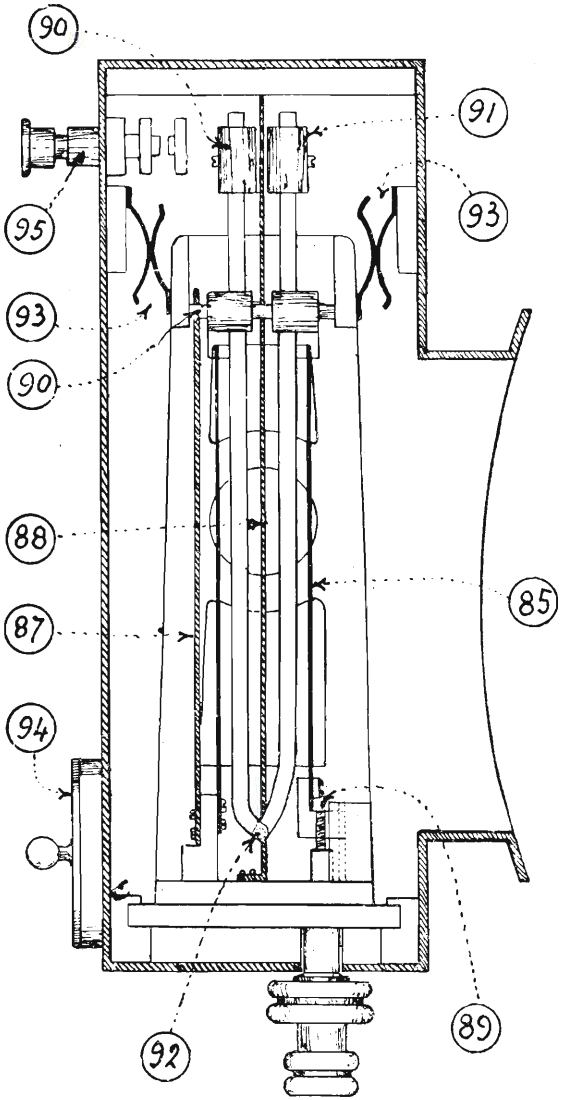


Fig. 239.

vimenti zenitali); dall'altra portano il contatto di *tungsteno* o *platino iridio* (92). Le lamine e le leve sono tra loro isolate e solamente queste ultime sono percorse da corrente che ricevono da due contatti a molla (93). Quando la lamina esterna è colpita dall'immagine del cratere sia direttamente che attraverso lo specchio (86) (fig. 240) e si allunga, i due contatti di *tungsteno* devono trovarsi in posizione normale a circa m/m 0,5 di distanza e se non lo fossero si agisca sulla vite (89). Tali contatti si possono osservare attraverso apposita lente d'ingrandimento (94) fissa alla scatola del termostato.

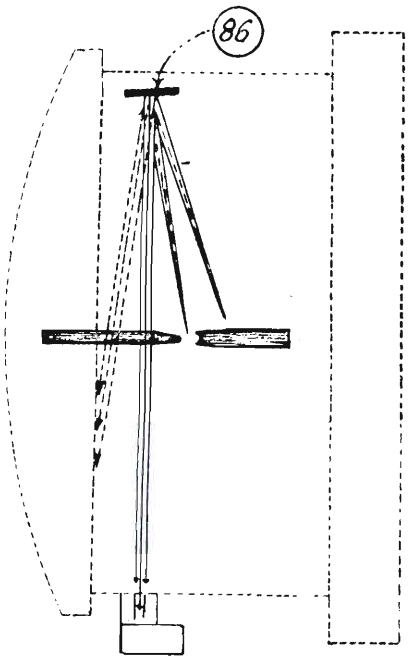


Fig. 240.

E' importantissimo che i contatti siano tra loro a giusta distanza perchè da questi dipende la sensibilità del termostato. Tale distanza deve essere tale che appena l'immagine del cratere *non* colpisce più la lamina esterna, questa contraendosi deve chiudere il circuito. Se i contatti sono troppo lontani, la chiusura non avviene ed il positivo non avanza; se i contatti sono troppo vicini può darsi che l'allungamento della lamina esterna, dovuto all'immagine del cratere, non sia sufficiente ad aprire il circuito. In tal caso il carbone positivo avanza continuamente con *grave* pericolo della lampada. Sulla scatola vi è un apposito bottone (95) con il quale si può chiudere od interrompere

a mano il circuito del termostato. In derivazione sui contatti del termostato, è sistemata una resistenza di circa 1000 Ω (Ohm) allo scopo di diminuire l'intensità dell'altra corrente di apertura nel circuito ed evitare che lo scintillio troppo forte rovini rapidamente le punterie dei contatti.

Tale resistenza sostituisce la resistenza con il condensatore, usata nei primi proiettori di questo tipo.

Eessendo il termostato assai sensibile, ne viene che lo spostamento dalla posizione normale del cratere del carbone positivo non supera di regola la lunghezza di uno a due m/m.

Lo specchietto del termostato è supportato nell'apposita scatola da un telarino metallico che, a mezzo di due apposite viti, si può scostare tanto in senso verticale quanto in senso orizzontale.

Lo spostamento in senso verticale serve a centrare l'immagine del cratere sulla fenditura del termostato. Ciò è assai importante perchè il termostato funziona tanto meglio quanto più è maggiore la quantità di calore che può battere sulla lamina.

Si deve quindi fare attenzione che la lamina venga colpita in pieno dall'immagine del cratere.

Lo spostamento in senso orizzontale serve a regolare il funzionamento del termostato quando siano avvenuti movimenti della lampada nel senso dell'asse del fanale.

I due spostamenti suddetti si ottengono automaticamente per mezzo di un sistema di leve che ricevono il moto di traslazione della lampada, la quale si sposta nel proprio seggio, e lo trasformano in moto di rotazione che imprimono allo specchietto del termostato, attorno ad uno dei lati verticali del telaietto. Le leve sono contrastate da apposita molla. Poichè ad ogni moto di traslazione corrisponde un analogo spostamento dello specchietto, è evidente che si viene ad avere la regolazione automatica. Ne deriva il vantaggio che qualunque sia la posizione che si fa assumere alla lampada per mezzo della vite apposita, il termostato non subisce regolazioni.

Ventilazione: (Fig. 241). Nel cielo del fanale è fissato un aspiratore (96) elettrico. Tenendo ben chiuso il fanale, l'aria sarà aspirata solamente attraverso le fessure praticate sul fondo della lampada.

Lo specchio inoltre è raffreddato indipendentemente, da un apposito ventilatore mosso da un motorino elettrico.

Oscuratore ad iride. — Si compone di una scatola anulare contenente delle lamine semi circolari che, girando simultaneamente attorno ad un perno fis-

sato ad una delle loro estremità, possono mascherare quasi completamente l'apertura del fanale ad eccezione di un foro centrale per cui passa il carbone positivo.

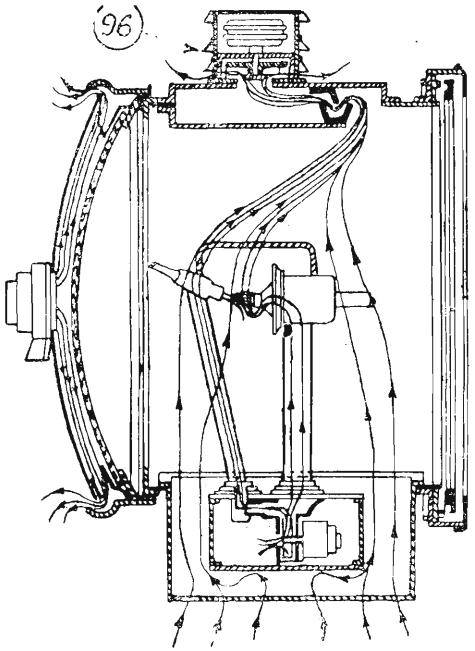


Fig. 241.

L'apertura o la chiusura dell'oscuratore si può effettuare a mano od elettricamente a distanza. Le due manovre sono completamente indipendenti e separate. Quella a mano (Fig. 242) si effettua per mezzo di un volantino (94) sul cui asse è calettata la ruota conica (94) che trasmette alla coppia di ruote dentate (99) e (100) e quindi alla corona dentata (101) il movimento di rotazione. La guida (104) ruota anch'essa e manovra le lamine dell'oscuratore. Ognuna delle 12 lamine di cui è costituita l'iride porta due perni, uno (102) fisso alla parete esterna ed uno (103) scorrevole nella guida (104). Il perno (103) scorrevole fa girare la lamina intorno all'altro perno fisso (102) e si ottiene così l'apertura o chiusura dell'iride.

Per effettuare la manovra a distanza (vedi Fig. 243) bisogna anzitutto innestare il giunto (105) a mezzo della vite (106) che fa ruotare l'eccentrico (107) e libera l'asse (108). Allora la molla spinge una parte del giunto ad innestarsi.

Il motorino ha eccitazione indipendente alimentata continuamente. L'in-

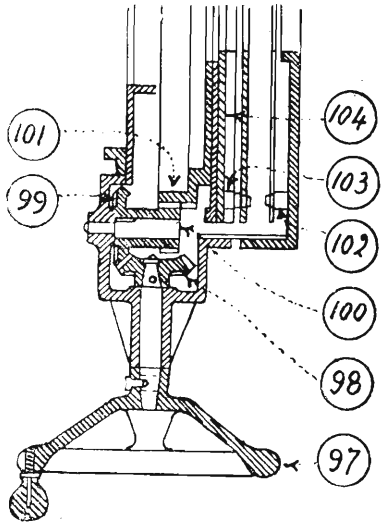


Fig. 242.

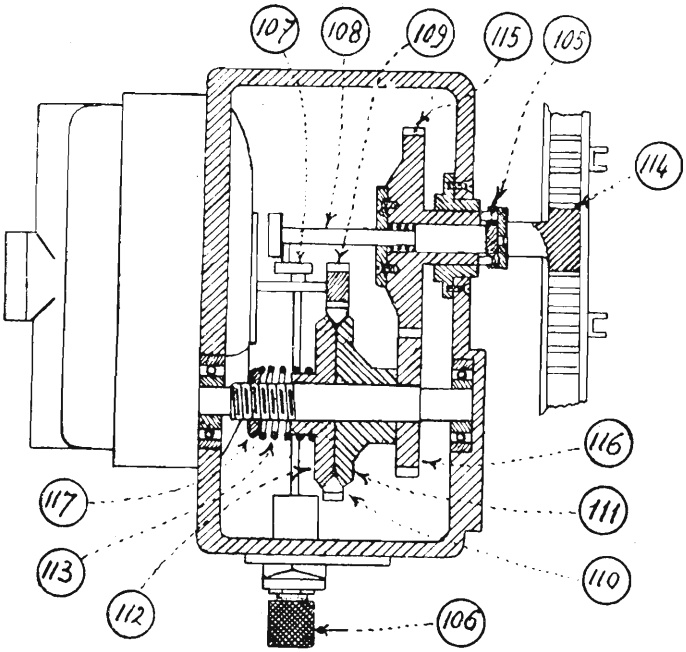


Fig. 243.

dotto invece riceve corrente in un senso o nell'altro dell'apposito *relais* e quindi gira in un senso o nell'altro. La rotazione del motorino si trasmette alla ruota dentata (109) alla corona (110) portata da un anello di sezione triangolare. Questa sezione va ad appoggiarsi su due ruote (111 e 112) munite di apposita sede e che sono spinte l'uno contro l'altra da una robusta molla (113). Quando l'iride giunge a fine di corsa, la corona si arresta, si fermano quindi le ruote (114), (115), (116) nonchè la (111). Se il motorino continua a ricevere corrente, la ruota (112) gira slittando contro la ruota (111) e così pure la parte dell'anello (110) a contatto con la ruota (111).

Tutto il sistema della corona (110) e delle ruote (112 e 111) con la molla (113) funziona da giunto a frizione. Se la frizione slitta durante l'apertura o la chiusura dell'iride si regola la pressione della molla (113) a mezzo del dado (117) munito di controdado.

Quando si manovra l'iride elettricamente a distanza, è bene sgranare il volantino per la manovra a mano mediante estrazione della coppiglia sistemata sul mozzo che rende il volantino folle sul suo asse permettendo anche di essere sfilato.

§ 90 — **Recentissime modifiche apportate al proiettore « Galileo-Sperry »**

Abbiamo precedentemente visto la costituzione ed il funzionamento del congegno detto termostato, che ha per scopo di mantenere il cratere del carbone positivo esattamente nel fuoco dello specchio parabolico durante tutto il funzionamento del proiettore.

Questo congegno però, nonostante sia stato profondamente studiato ed accuratamente costruito, è rimasto di funzionamento molto delicato, così da richiedere, oltre ad una scrupolosa manutenzione, soventi esatte e lunghe tarature, necessarie per mantenere almeno soddisfacente il suo funzionamento.

Le modifiche apportate recentemente al proiettore « Galileo Sperry », hanno avuto appunto per scopo l'abolizione del termostato.

Ciò si è ottenuto, facendo avanzare il carbone positivo in un determinato tempo, di una lunghezza esattamente uguale a quella consumata nello stesso intervallo.

Così il cratere del carbone positivo viene mantenuto sempre esattamente nel fuoco dello specchio parabolico.

Il continuo avanzamento viene impresso al carbone positivo per mezzo di un dente sistemato superiormente al blocco portacarbone fisso, dente che

si ingrana colla vite a stella (80) (Fig. 237), che ruotando, fa a sua volta ruotare i rulli del carbone positivo, e quindi ne provoca con continuità lo spostamento in avanti. Per ottenere la velocità di avanzamento esattamente appropriata, è stata diminuita la velocità di rotazione del motorino (Fig. 235), mediante la inserzione sulla linea di alimentazione del motorino stesso di una resistenza regolabile.

E' stata considerata però l'evenienza che, per cause accidentali, (quale, ad esempio, un consumo anormale del carbone per sua parziale imperfezione costruttiva), nonostante il suo continuo ed esattamente calcolato spostamento in avanti, il carbone positivo non si venga a trovare con il suo cratere esattamente nel fuoco dello specchio, ed essendo questa irregolarità dovuta a cause imprevedibili, è stata considerata la possibilità sia che il carbone risulti avanzato per una lunghezza maggiore del consumo, sia che il suo avanzamento risulti invece inferiore al consumo stesso.

Da questa considerazione, la necessità di poter correggere la posizione del carbone mediante spostamenti sia in avanti che indietro.

Per ottenere questa possibilità di correzione, mentre prima il carbone positivo era animato da un movimento di rotazione intorno al suo asse in un solo senso, con opportuna modifica può ora ruotare anche in senso contrario, mediante la manovra a mano di una opportuna levetta.

Se il carbone positivo non è avanzato sufficientemente; si fa con la leva primitiva, che serviva pure a fare avanzare il carbone positivo in caso di imperfetto mancato funzionamento del termostato, ingranare il piccolo ingranaggio a farfalla che comunica il movimento ai rulli che portano avanti il carbone, che allora avanza con velocità doppia. Se il carbone positivo risulta troppo avanzato, si inverte il movimento di rotazione del carbone stesso intorno al proprio asse, poi colla stessa leva usata nel caso precedente, si fa ingranare il piccolo ingranaggio, a farfalla che comunica agli stessi rulli il movimento, questa volta invertito, causando lo spostamento indietro del carbone.

Abbiamo pure precedentemente visto che è stata ridotta sensibilmente la velocità del motorino mediante l'inserzione di una resistenza regolabile sul suo circuito di alimentazione.

Questa riduzione di velocità del motorino, avrebbe causato una riduzione nell'avanzamento del carbone negativo onde per mantenere inalterati gli spostamenti di detto carbone, è stata sistemata superiormente al braccio di detti carboni, una vite senza fine a passo rapido, in modo che ad ogni giro del rollino, che adesso ha una minore velocità di rotazione, corrisponda uno spostamento maggiore del carbone negativo.

I nuovi proiettori, hanno tutti il carbone negativo, inclinato dal basso verso l'alto, come è rappresentato nella Fig. 230; mentre nelle costruzioni precedenti, in qualche proiettore il carbone negativo era inclinato dall'alto in basso, come si vede nella Fig. 233.

§ 91 — **Comando a distanza dei proiettori**

E' di somma importanza che durante un combattimento notturno, i proiettori di una Nave, possano essere puntati sul nemico, prima ancora dell'accensione dei proiettori stessi, onde i fasci luminosi improvvisamente accesi rischiarino in pieno ed immediatamente il bersaglio, e lo continuino a rischiarare durante il tiro svolto contro di esso.

Da considerazioni geometriche, confermate dalla esperienza, risulta che per dirigere e mantenere il fascio luminoso di un proiettore, è necessario che il proiettore stesso sia guidato da un osservatore posto ad una certa distanza dalla sorgente luminosa, perchè l'eccessiva vicinanza al fascio rende difficile la percezione degli oggetti lontani illuminati. Si è anzi constatato che la posizione che permette la migliore visibilità è quella nella quale la visuale dell'osservatore al bersaglio fa un angolo di circa 20° con il fascio luminoso.

Ciò richiede una discreta distanza dell'osservatore dal proiettore, distanza che a bordo è praticamente impossibile a realizzarsi. Inoltre, quando il proiettore ruota, dovrebbe spostarsi anche l'osservatore per mantenere costante l'angolo fra la visuale dell'osservatore ed il fascio luminoso.

Si cerca in ogni modo sulle navi di porre l'osservatore il più lontano possibile dal proiettore e per questo scopo si hanno due tipi di manovre dei proiettori: Manovra elettrica a distanza. — Asservimento dei proiettori a contro indice.

Manovra elettrica a distanza. — Questo sistema è già stato particolareggiatamente descritto durante la trattazione del proiettore « Galileo Sperry ».

E' da osservarsi che, con tale sistema, difficilmente il proiettore risulta puntato sul bersaglio prima della sua accensione perchè chi lo manovra non potrà a lampada spenta conoscere l'orientamento preciso del proiettore.

Solo dopo acceso il proiettore, il fascio luminoso verrà portato sul bersaglio.

Comando dei proiettori con l'asservimento a contro indice. — Questo sistema è perfettamente analogo al sistema di comando a contro-indice delle artiglierie che è particolareggiatamente descritto nelle pagine seguenti.

Un puntatore ad un apposito cannocchiale centrale esegue la punteria sul bersaglio, e mediante trasmettitori elettrici R. Marina a corrente alternata (pure descritti nelle pagine che seguono) trasmette ai proiettori la elevazione ed il brandeggio, che vengono indicate da indici che si spostano su quadranti graduati, disposti in vicinanza di ciascun proiettore.

I destinati alla manovra dei proiettori, spostano il proiettore in elevazione ed in brandeggio, inseguendo l'indice elettrico di elevazione o di brandeggio, con il corrispondente indice meccanico solidale al proiettore.

Si comprende così che se il puntatore centrale è in punteria, se i destinati eseguono con esattezza e con continuità la collimazione dei due indici, il proiettore od i proiettori saranno sempre esattamente in punteria sul nemico.

Basta poi la manovra di un interruttore, che chiude il circuito elettrico di alimentazione dell'arco, per illuminare di colpo il bersaglio.

La trasmissione della elevazione e del brandeggio ai proiettori, può essere effettuata da un congegno di punteria destinato unicamente ai proiettori; oppure dallo stesso congegno di punteria centrale, che trasmette la elevazione ed il brandeggio dei pezzi. In questo caso naturalmente, ai dati trasmessi ai proiettori, saranno preventivamente e meccanicamente tolte le correzioni del tiro che saranno state apportate ai dati da trasmettere ai pezzi.

CAPITOLO XVIII

Girobussola

§ 92 — La girobussola in generale

Un solido di rivoluzione animato da un movimento di rapidissima rotazione intorno all'asse geometrico chiamasi girostato.

La particolare e principale caratteristica dei girostati, consiste nella maniera speciale nella quale essi reagiscono quando una forza od una coppia di forze, tendono a deviare il loro asse dalla direzione iniziale.

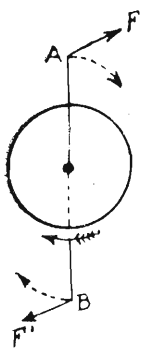


Fig. 244.

Sia ad esempio un girostato perfettamente libero di ruotare intorno all'asse A B fig. 244 con velocità diretta come è indicato dalla freccia. Se immaginiamo applicati ai punti A B dell'asse due forze F ed F' uguali, parallele e contrarie esse costituiscono una coppia che tende a deviare l'asse del girostato.

Sotto l'azione di tale coppia, l'asse di un corpo non rotante si sposterebbe nel piano della coppia stessa, il girostato invece reagisce senza alcuno spostamento in tale piano, ma muovendo il proprio asse in un piano normale a quello, con un particolare movimento di rotazione caratteristico dei corpi animati da rapidissima rotazione intorno all'asse, che chiamasi movimento di precessione.

Come esempio, si consideri la fig. 245 nella quale abbiamo rappresentato un tale caso, cioè un girostato in rotazione, appoggiato coll'estremo dell'asse, e sottoposto all'azione del proprio peso. Le forze costituenti la coppia deviatrice, (peso Pe e reazione d'appoggio R) causano il movimento di precessione mantenendosi costanti durante lo svolgersi di quello e perciò la rotazione dell'asse del girostato intorno alla retta R. A. continua

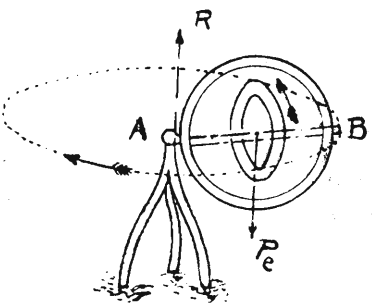


Fig. 245.

finchè la massa girostatica ruota intorno all'asse A B. Con un particolare profondo esame del moto di rotazione terrestre, e dei fenomeni girostatici, si dimostra che un girostato vincolato ad un piano orizzontale dispone costantemente un suo semiasse nella direzione del Nord.

Ma poichè si è voluto utilizzare questa costante direzione verso il Nord del semiasse di un girostato nelle suddette particolari condizioni, per ottenere una bussola, che non risentisse come quelle magnetiche a bordo delle navi le variazioni dovute ai movimenti di masse di ferro (brandeggio delle torri, sparo di pezzi etc.) si urtò contro la difficoltà di ottenere a bordo un piano costantemente orizzontale.

Fu per evitare questa grave difficoltà che si pensò di vincolare il girostato non più ad un piano orizzontale, ma ad un piano verticale, il che è sostanzialmente lo stesso.

Si dimostra però che il semiasse del girostato così vincolato ha un moto oscillatorio intorno al punto cardinale Nord e che bisogna smorzare le oscillazioni perchè il semiasse girostatico si fermi nella direzione del Nord.

§ 93 — **Linee schematiche della bussola Sperry**

Il concetto di servirsi come girobussola di un girostato vincolato a un piano verticale sospeso anzichè di uno vincolato al piano orizzontale è stato realizzato dalla Ditta Sperry nel seguente modo:

Un cerchio verticale B detto cerchio fantasma fig. 246, porta la rosa R e ruota sopra un piano circolare orizzontale E F scorrendo sopra una corona di sfere per ridurre la resistenza di attrito. Alla parte superiore O di questo cerchio è fissata la sospensione filare F, che sostiene un altro cerchio C chiamato cerchio verticale. Questo cerchio può ruotare rispetto al fantasma rimanendo guidato superiormente dalla sospensione filare F, inferiormente dal perno M. Il cerchio verticale C sostiene a mezzo dell'asse orizzontale *tt* la cassa *A*, che contine il rotore del girostato, e a cui è applicata la zavorra Z che tende a mantenere la cassa verticale e quindi l'asse del girostato orizzontale. La rosa è solo indirettamente collegata al girostato e rimane sempre orizzontale, indipendentemente dalla inclinazione dell'asse del rotore.

Nella bussola Sperry la zavorra è stata staccata dalla cassa del girostato e fissata ad un semicerchio portato dal cerchio fantasma e girevole attorno ad un asse orizzontale *t t'* (fig. 247).

La zavorra è collegata alla cassa mediante un piolo P spostato eccentricamente rispetto alla verticale passante per il centro del girostato e verso levante per chi guardi la bussola da Sud.

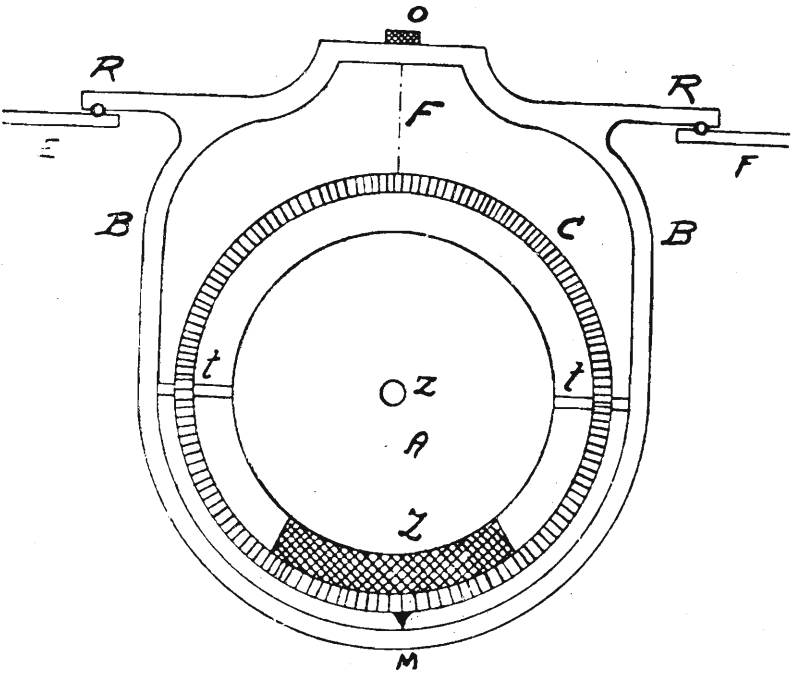


Fig. 246.

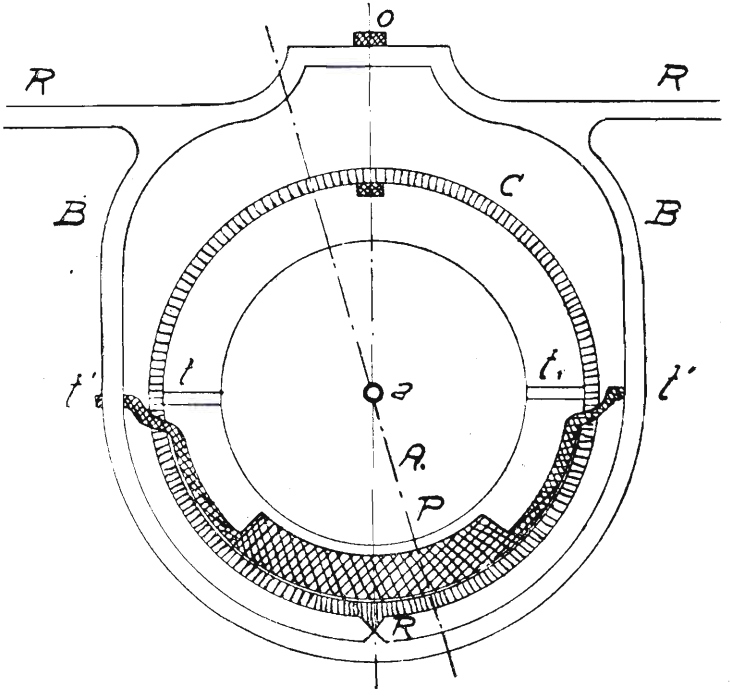


Fig. 247.

Ciò è stato fatto perchè si dimostra che lo spostamento eccentrico del piolo dà all'asse girostatico lo smorzamento necessario per arrestare il moto oscillatorio intorno al Nord che avrebbe l'asse stesso, essendo il girostato *vincolato ad un piano verticale* anzichè al piano orizzontale.

Su di una bussola installata a bordo influiscono però molte cause di deviazione, tra le quali le principali sono:

a) *Deviazione dipendente dalla rotta e velocità della nave.* — Questa deviazione varia a seconda della latitudine alla quale trovasi la nave stessa, ma viene automaticamente corretta per mezzo di un correttore che si compone di un congegno di leve, quando siano convenientemente regolati due quadranti graduati con la velocità in miglia orarie e colla latitudine in gradi e decine di gradi (fig. 248). Questo sistema di leve agisce sopra un anello orizzontale, concentrico alla rosa, che porta la linea di fede; lo spostamento che subisce questo

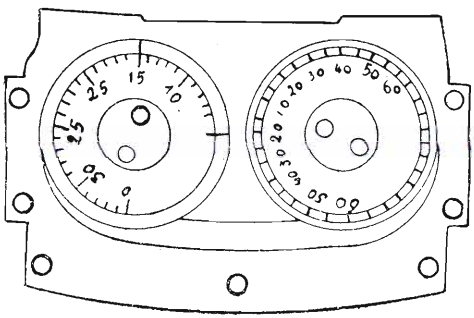


Fig. 248.

anello si può leggere su di un settore graduato, fisso in prossimità della linea di fede mobile.

I due quadranti tengono conto dei due elementi latitudine e velocità; per la rotta della nave provvede automaticamente un anello fissato sotto la rosa e convenientemente inclinato sull'orizzontale intorno al diametro 90°-270°: esso porta tutto in giro all'esterno una scanalatura nella quale rimane impiegata l'estremità di una delle leve del congegno di correzione e viene detto anello coseno perchè introduce una correzione proporzionale al coseno della rotta.

Le correzioni sono praticamente trascurabili finchè le variazioni di velocità della nave sono inferiori alle 3 mg. e quelle della latitudine inferiori ai 3°.

b) *Deviazioni balistiche.* — Finora abbiamo considerato il caso eccezionale che la girobussola sia su di una nave che cammini con velocità costante

in una rotta invariata, ma quando la nave è soggetta al moto delle onde, e quando intervengono variazioni di rotta e velocità, si producono delle accelerazioni che danno origine a forze le quali generalmente si risolvono in coppie perturbatrici, poichè il centro di gravità della bussola non coincide col centro di sospensione. Alle deviazioni, che ne nascono, si dà il nome di deviazioni *balistiche* perchè seguono le stesse leggi che si riscontrano in un pendolo deviato dalla posizione di equilibrio; esse non sono mai molto notevoli.

Si dimostra che l'annullamento delle deviazioni balistiche si ottiene dando alla girobussola un periodo di oscillazione uguale a quello che, alla latitudine data, avrebbe un pendolo di lunghezza uguale al raggio terrestre. E' quello che effettivamente si fa, per compensare la bussola dalle deviazioni balistiche, e ciò porta il periodo di oscillazione, al valore molto alto, di 85 m. Questa è la ragione per la quale il periodo di oscillazione delle girobussole è tanto più grande che nelle ordinarie bussole magnetiche. Generalmente le girobussole hanno le deviazioni balistiche compensate per la latitudine media delle regioni più frequentate, cioè per 40°.

c) *Deviazioni quadrantali.* — Sono dovute ai movimenti di rollio e di beccheggio. Esse sono state eliminate mediante l'uso del giroscopio balistico, che è un piccolo girostato disposto normalmente al principale. Il girostato balistico mantiene il piuolo di collegamento fra zavorra e cassa girostatica, sempre dalla stessa parte rispetto alla verticale passante per il centro di gravità del girostato principale, ed è così, come viene dimostrato nello svolgimento completo della teoria della girobussola Sperry, che si rendono nulle le deviazioni causate dai movimenti di rollio e di beccheggio della nave.

§ 94 — **Descrizione sommaria del complesso giroscopico Sperry**

Il complesso elettrogiroscopico Sperry si compone delle seguenti parti principali:

1°) Una bussola madre.
2°) Un certo numero di apparecchi ricevitori.
3°) Un quadro di funzionamento per la bussola madre.
4°) Un quadro di sincronizzazione e commutazione dei ripetitori.
5°) Un moto alternatore (convertitore).
6°) Un dinamotore.

7°) Una batteria di accumulatori.
8°) Un sistema automatico di allarme.

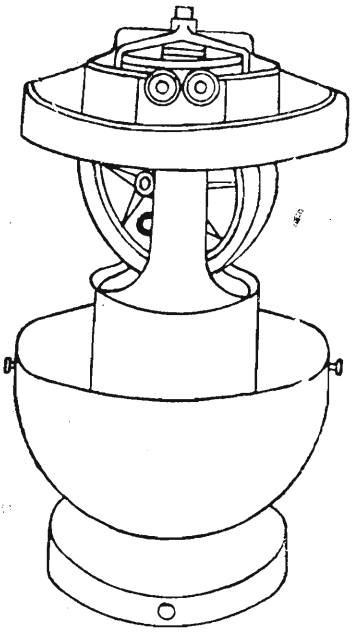


Fig. 249.

1° — *La bussola madre* — (v. fig. 249) è composta di:

a) Una bussola propriamente detta, con sostegno e chiesuola.

b) Un giroscopio grande, o principale, con relativa scatola che lo contiene.

c) Un giroscopio piccolo o balistico.

d) Un sistema automatico di inseguimento.

e) Un motorino trasmettitore per i ricevitori.

f) Un trasformatore statico trifase.

g) Un congegno automatico di correzione per la velocità della nave.

h) Un congegno correttore per la latitudine.

a) — *La bussola propriamente detta.* — Di essa si ha una vista complessiva nella fig. 249. E' contenuta in una chiesuola della forma indicata nelle figure. All'orlo superiore della coppa che fa da mortaio è sospeso, mediante otto robuste molle d'acciaio, un cerchione metallico. Questo a mezzo di altri due cuscinetti a sfere, sopporta due punti a 180° fra loro, di un cerchio cardanico che a sua volta, a mezzo di altri due cuscinetti a sfere, a 90° dai precedenti, sopporta i perni di un cerchio metallico Z, destinato a sorreggere tutti gli organi della bussola giroscopica.

La fig. 250, nella parte sezionata, contiene tutti i particolari delle parti principali, relative sopratutto al sistema di sospensione pendolare del girostato. Sotto alla figura sono spiegate in una leggenda le varie parti.

b) — *Il giroscopio grande o principale* (fig. 251). — E' contenuto in una scatola ermeticamente chiusa, dalla quale, a mezzo di una valvola e relativa pompetta a mano, si aspira l'aria, facendo il vuoto. La custodia porta inoltre: un tubicino per lato, per introdurre l'olio (speciale) per la lubrificazione automatica dei cuscinetti a sfera del giroscopio; un'apertura con vetro per sorvegliare la rotazione della rosa; e un manometro che indica il vuoto interno. E' necessario che questo vuoto sia mantenuto nelle migliori condizioni possibili, per evitare che il giroscopio assorba troppo carico, e quindi si riscaldi eccessivamente. La massa rotante, porta internamente un avvolgimento

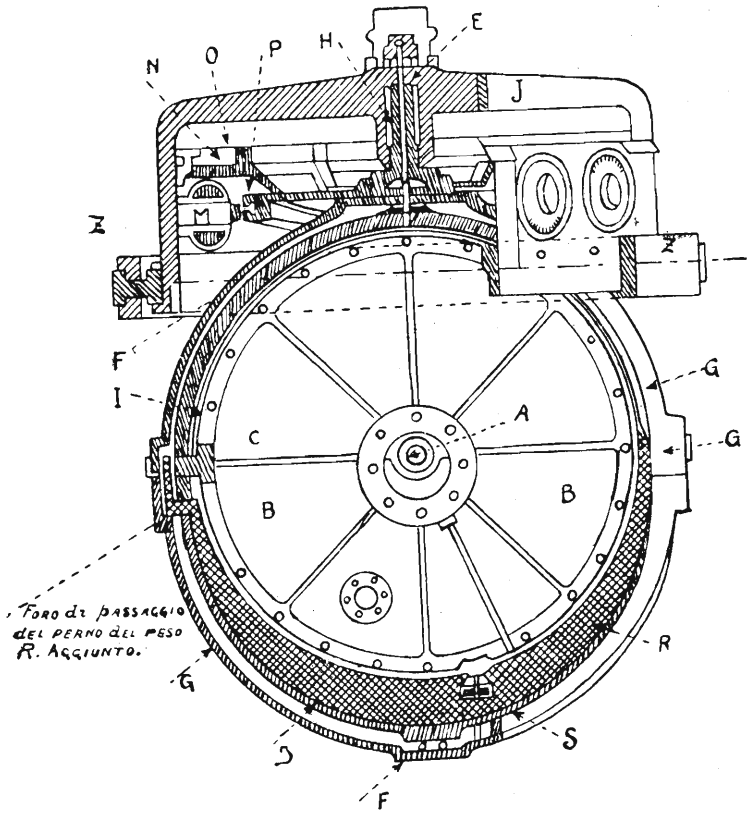


Fig. 250.

LEGGENDA

J — Crociera a 4 raggi portata dal cerchio Z.

A — Asse di rotazione del giroscopio grande.

B — Scatola giroscopica.

C — Perni orizzontali della scatola, intorno ai quali la scatola giroscopica può girare.

G — Cerchio verticale detto cerchio Fantasma o schermo, perchè obbligato a seguire tutti i movimenti dell'altro cerchio B, e quindi anche della scatola giroscopica e dell'asse giroscopico.

M — Tubo con cui termina lo schermo G superiormente, ed entrante in una cavità cilindrica della raggiera J. — Il ringrosso superiore di H poggia su di un cuscinetto a sfere della raggiera J.

E — Fascio di fili per la sospensione del cerchio B e perciò anche della scatola giroscopica.

F F_1 — Cuscinetti e sfere dello schermo G per la rotazione del cerchio B.

R — Zavorra di piombo imperniata sullo schermo G e girevole intorno all'asse orizzontale di tali perni.

S — Piuolo eccentrico di unione fra pendolo e scatola giroscopica (successivamente modificato con piuolo e rotella scorrevole in due guide e governato dal giroscopio piccolo o balistico).

O — Rosa.

V — Corona circolare dentata sottostante la rosa e rigidamente fissata ad essa.

P — Altra corona circolare.

M — Motore d'Azimut

a gabbia (barre di rame). Lo statore del motorino è situato all'interno, in una cavità della massa rotante. Esso è sostenuto e fissato ad una delle pareti della scatola, porta poche spire di filo isolato, ed è ricoperto di legno.

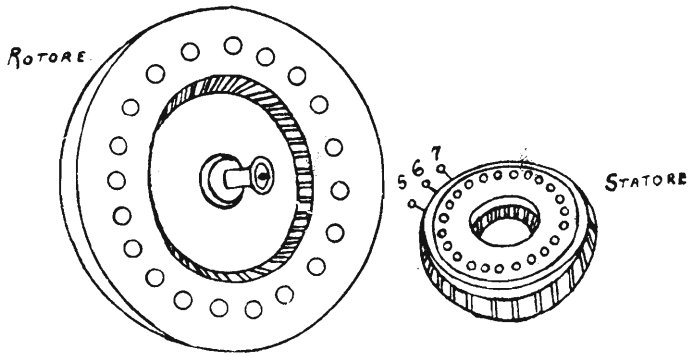


Fig. 251.

La corrente di alimentazione del motorino giroscopico è alternata trifase a 90 volt, ed è fornita dall'alternatore della convertitrice (motoalternatore). Il rotore fa 8600 giri, velocità che è bene controllare al principio e verificare ogni tanto durante il funzionamento.

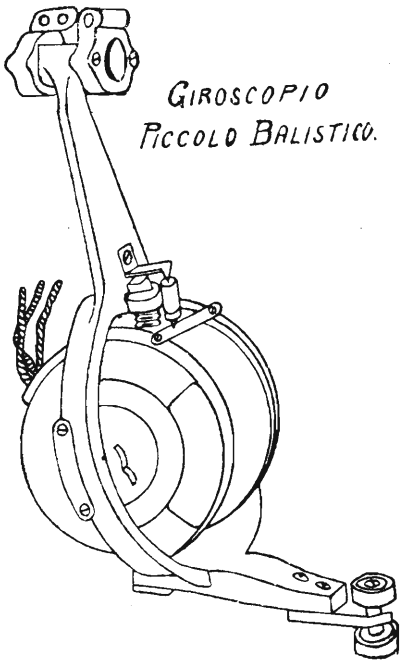


Fig. 252.

c) — *Il giroscopio piccolo (balistico)* fig. 252. — E' appeso con il suo braccio di sostegno al lato Nord della custodia. E' anch'esso costituito da un motorino trifase, come il giroscopio principale, ma a tensione di alimentazione di 10 volt. La corrente alimentatrice è la stessa che per il grande, ma opportunamente abbassata di tensione (da 90 a 10 volt) a mezzo di un trasformatore statico in discesa, applicato nell'interno della bussola madre.

d) — *Il sistema automatico di inseguimento.* — Ha lo scopo di mantenere sempre il cerchio fantasma, che porta la rosa dei venti e che, per l'attrito che si sviluppa fra la testa dello stelo e la crociera, tenderebbe nelle accostate a ruotare con la nave, nel piano dell'elemento sensibile e quindi sul meridiano. La rosa quindi segue sempre l'elemento sensibile nel suo movimento.

Il sistema automatico d'inseguimento è formato da:

Un motore d'azimut.

Due relais.

Due contatti a rotellina portati dal cerchio verticale, e due commutatori portati dal cerchio fantasma (trolleys).

Il motore d'azimut, è sistemato sulla bussola madre ed è costituito da un motorino in serie, a corrente continua a 20 volt, fornita o dalla dinamo di un dinamotore (110-20 volt continui) o in caso di avaria di questo, da una apposita batteria di accumulatori. Il campo del motorino è formato da due avvolgimenti distinti, avvolti in senso contrario l'uno dall'altro, in modo che, a seconda venga eccitato l'uno o l'altro campo (mentre la corrente circola nell'indotto nello stesso senso), il rotore giri in un senso o nell'opposto. Due contatti, ciascuno dei quali costituito da una rotella portata da una piccola asta del cerchio verticale, girano con quello, chiudendo in diagonale il contatto con due dei quattro blocchetti (trolleys) fissi al cerchio fantasma. Rotelline e blocchetti sono in oro, facilmente ricambiabili. Fra i due blocchetti superiori e inferiori situati in posizione diametralmente opposta, è lasciato uno spazio piccolissimo, che occorre mantenere ben pulito dal polverino.

Le rotelle, con la chiusura dei contatti sui blocchetti, stabiliscono il passaggio di corrente all'uno o all'altro di due relais, i quali chiudono il circuito inserendo l'uno o l'altro dei due campi induttori, e quindi facendo girare l'indotto in un senso e nell'opposto.

Se la corrente fosse mandata all'una o all'altra coppia di induttori direttamente dai trolleys, naturalmente si ossiderebbero e si consumerebbero assai più presto i contatti d'oro, dato che in essi verrebbero a circolare correnti alquanto più intense di quelle minime che vanno invece ad eccitare i relais.

Ora si comprende facilmente che, accostando la nave, la rosa sorretta dal cerchio fantasma, tende a seguirla per attrito, mentre il cerchio verticale, ossia il girostato conserva il suo asse verso il Nord vero. Ma non appena la rosa si muove di un piccolissimo angolo (1/6 di grado, perchè la sfinestratura fra le due coppie di blocchetti è piccolissima) entra in funzione il motorino d'azimut. Questo, girando, farà ruotare il cerchio fantasma facendolo ritornare nel piano del cerchio verticale. Ma ritornando in questo piano il fantasma sposta i trolleys di un sesto di giro rispetto alle rotelline dei contatti mobili, e in senso inverso al precedente; per cui le rotelline ritorneranno sull'isolante, apriranno il circuito, e fermeranno il motore d'azimut. Anzi in generale avverrà che per inerzia, il fantasma nel ritornare alla posizione di riposo, oltrepasserà il piano verticale in senso opposto, per cui il motorino si metterà in moto in senso opposto per riportare il cerchio fantasma nel piano

del cerchio verticale. La rosa viene così ad assumere un continuo tremolio, che è fastidioso per il timoniere, il quale deve fissare lungamente la rosa, ma è d'altra parte una garanzia assai appariscente del suo regolare funzionamento.

I due relais sono formati da bobine elettromagnetiche. Superiormente, una specie di piccolo bilancino può ruotare attorno ad un fulcro orizzontale, verso dritta o sinistra, a seconda che l'ancora è attirata dall'una o dall'altra bobina. Si chiude così il circuito di una coppia di induttori o dell'altra (v. fig. 253) del motore d'azimut, facendo girare questo (e per conseguenza la rosa) nei due sensi.

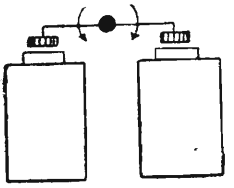


Fig. 253.

e) — *Il motorino trasmettitore.* — Serve per regolare la corrente inviata ai vari ricevitori (bussole elettriche ripetitrici) in modo che questi riproducono esattamente le indicazioni della *bussola madre.* In sostanza il trasmettitore consiste soltanto in un asse situato nell'interno della bussola madre, e mosso, mediante apposito rocchettino dentato, dalla stessa corona circolare N. che è fissa alla rosa. Quindi è mosso anch'esso indirettamente dal motore d'azimut. L'asse porta nel senso longitudinale tre piccolissimi risalti eccentrici, a molla, disposti a 120° uno dall'altro. Chiudendosi successivamente dei contatti, al passaggio di tali risalti si manda corrente ai vari motorini ricevitori, collocati fra loro in parallelo. Dei motorini ricevitori si dirà tra poco.

2° — *Gli apparecchi ricevitori o ripetitori* (fig. 254). — Sono formati da rose dei venti mosse elettricamente, a mezzo di opportuni ingranaggi (in numero di 3), da motorini interni ai ripetitori stessi. Detti motorini sono costituiti da un indottino bipolare, e da 6 avvolgimenti induttori (3 coppie di poli a 60° uno dall'altro, ossia campi induttori a 120°). A mezzo della chiusura dei circuiti del motore trasmettitore (v. sopra) possono venire eccitate una o due

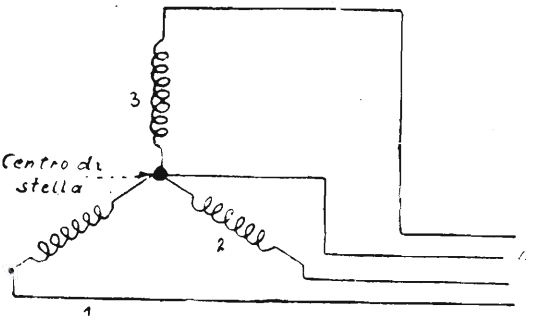


Fig. 254.

coppie di avvolgimenti induttori, e ciò successivamente e continuamente finchè il trasmettitore gira. L'indottino, mobile al centro degli induttori, è formato da due piccole masse di ferro dolce a doppio T, le quali naturalmente devono seguire l'orientamento dei campi induttori ossia del campo rotante che essi generano.

Nei motorini ricevitori poi, per smorzare subito l'abbrivio che l'indottino può conservare per inerzia in modo da riprodurre alle bussole ripetitrici le letture precise della madre, esiste una piccola castagna d'arresto che, quando la corrente non passa più, frena l'indotto e viceversa lo lascia libero quando la corrente circola. Infine un lampidino posto nell'interno, e con reostato a mezzo del quale si può regolare l'intensità luminosa, illumina dal disotto la rosa, per le letture durante la notte.

Si comprende facilmente come una volta sincronizzate all'inizio le indicazioni dei vari ripetitori con quelle della bussola madre, tutte le successive indicazioni di questa vengono ripetute fedelmente da quelli, a meno che non vi siano da verificare avarie (difetti di isolamento, interruzioni, ecc.).

I ripetitori sono suggellati e l'aria che essi contengono è secca. Pertanto bisogna cercare di non aprirli, se non quando l'avaria si sia esattamente e chiaramente localizzata nell'interno.

Per la prima sincronizzazione dei vari ripetitori con la bussola madre esiste un quadro apposito.

3° — *Il quadro principale di funzionamento per la bussola madre comprende*: un amperometro ed un voltmetro per corrente alternata, con relativo commutatore per le varie fasi; un voltamperometro per corrente continua, con un commutatore multiplo, a mezzo del quale si può adoperare come voltmetro o amperometro per tutti i circuiti a corrente continua; un relais d'allarme; interruttori automatici; interruttori per la convertitrice e per il dinamotore, reostati regolatori di campo per questi due ultimi utenti.

4° — *Il quadro commutatore e sincronizzatore dei ricevitori* comprende a sua volta: un apparecchio trasmettitore elettrico (mosso a mano) per le sincronizzazioni singole o simultanee dei vari ricevitori, un interruttore generale; un commutatore per la sincronizzazione a mano ora detta, o per quella normale fatta automaticamente dallo stesso motorino trasmettitore della bussola madre; tanti interruttori parziali quanti sono i ripetitori e le valvole fusibili per ogni filo conduttore dei ricevitori. Per mettere da principio in fase i ripetitori con la bussola madre si fa la *sincronizzazione a mano*, a mezzo del trasmettitore del quadro. In un momento in cui la nave ha una rotta stabile o è ferma, e supposti tutti i ricevitori a zero, si gira a mano il manubrio dell'apparecchio, posto in alto del quadro al centro (leggendo le decine di gradi sul

cerchio girevole interno), fino a far indicare il numero di gradi che in quel momento segna la bussola madre. In tal modo tutti i ricevitori inseriti, segneranno quella prora. Appena si è sicuri che la prora indicata dalla madre è quella per cui i ripetitori sono stati preparati, si gira rapidamente il commutatore del quadro nella posizione di trasmissione automatica ai ricevitori, escludendo il trasmettitore a mano. Le ripetitrici sono pronte.

Per essere certi che tutti i ripetitori, nella sincronizzazione a mano partono dallo zero, insieme col trasmettitore del quadro, è buona regola, come si suol dire, *battere a zero* il trasmettitore a mano, prima di portarlo all'indicazione della rotta della bussola madre.

Il trasmettitore a mano è fatto allo stesso modo di quello automatico della bussola madre, salvo che si gira a mano, mentre l'altro è mosso dalla rosa, e cioè dal motore d'azimut. Agisce quindi ugualmente a corrente continua a 20 volt, e le linee sono le stesse di quelle per il trasmettitore meccanico, le quali perciò passano per l'apposito commutatore anzidetto. Recentemente è stata portata alle girobussole Sperry una notevole semplificazione, sostituendo al giroscopio balistico, ed alla zavorra, il così detto « Balistico a mercurio » (fig. 255). Esso consta di due coppie di vaschette contenenti mercurio ed in comunicazione fra di loro a due a due.

Il balistico a mercurio fissato mediante cuscinetti a sfere al cerchio fantasma, e collegato alla cassa del girostato, per mezzo di un braccio Z, agisce sul

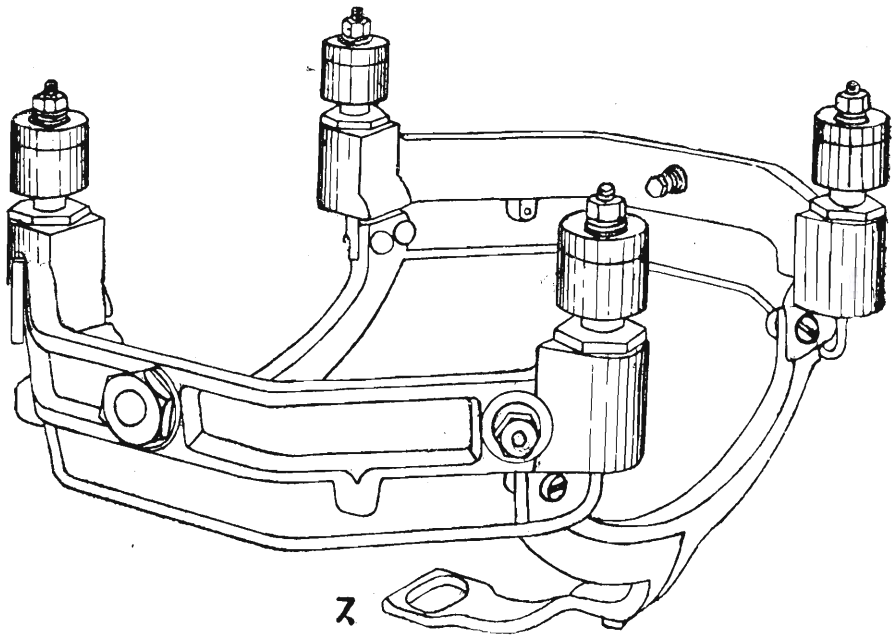


Fig. 255.

girostato, così come agisce la zavorra; senza però dar luogo ad alcuna deviazione in caso di rollio o di beccheggio della Nave.

Lo schema generale dell'impianto elettrico di una bussola Sperry è rappresentato nella figura 256.

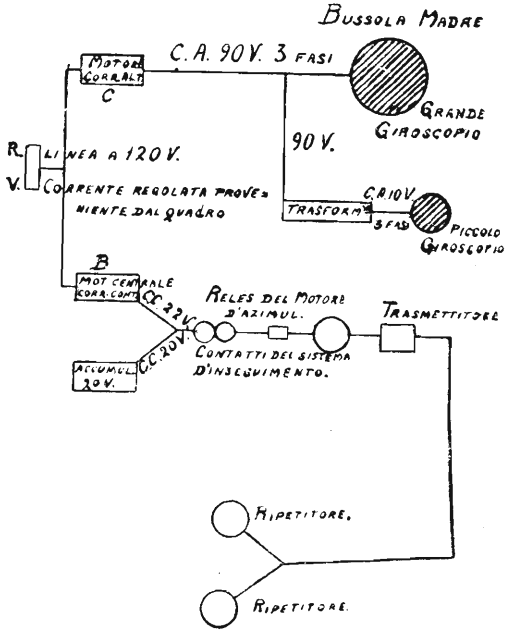


Fig. 256.

La corrente continua di bordo, mantenuta a 110 V (sui sommergibili da un regolatore di tensione) alimenta:

1°) il convertitore a corrente alternata (motore a corrente continua 110 V, alternatore trifase 90 V), che dà corrente allo statore del grande giroscopio e pel tramite del trasformatore statico (90-10 V trifasi) al piccolo giroscopio;

2°) il dinamotore (110 V - 20 V) a corrente continua, che, in parallelo colla batteria di accumulatori a 20 V, alimenta attraverso i contatti del sistema di inseguimento, il relais del motore d'azimut, il motore d'azimut, il trasmettitore e le ripetitrici.

Se per un motivo qualunque viene a mancare la corrente di bordo, il sistema automatico d'inseguimento viene automaticamente alimentato dalla batteria di accumulatori a 20 V., e poichè il girostato per la sua inerzia e per il suo minimo attrito conserva a lungo la sua volontà, la girobussola continua a dare buone indicazioni per circa due ore.