Ing. ETTORE MORELLI

Professore di Costruzioni Elettromeccaniche nel Regio Politecnico di Torino,
già Ingegnere della Thomson-Houston Co.
e Direttore della Società Elettrotecnica Italiana.

COSTRUZIONI
ELETTROMECCANICHE

Calcolo
Disegno e Fabbricazione delle Macchine Elettriche
Accessori ed Applicazioni

VOLUME PRIMO

GENERATRICI A CORRENTE CONTINUA

Con tavole 31 e figure 551

TORINO
UNIONE TIPOGRAFICO-EDITRICE TORINESE
(GIÀ DITTA POMBA)
MILANO - NAPOLI - PALERMO - ROMA
1913

INDICE ANALITICO

PREFAZIONE . . . . . Pag. 1

PARTE PRIMA

Macchine generatrici a corrente continua.

INTRODUZIONE . . . . . Pag. 7

CAPITOLO I.

Nucleo magnetico dell'indotto.

ARTICOLO I. — *Scelta del tipo di macchina* . . . . . Pag. 11
1. Macchine unipolari . . . . . » »
2. Macchine multipolari a poli assiali . . . . . » 13
3. Macchine a poli radiali. Indotto ad anello ed a tamburo . . . . . » 16
ARTICOLO II. — *Scelta del tipo del nucleo magnetico* . . . . . » 22
4. Nucleo liscio e nucleo dentato . . . . . » »
5. Varî sistemi di dentatura . . . . . » 26
ARTICOLO III. — *Scelta della forma del nucleo magnetico. Rapporti fra le dimensioni principali* . . . . . » 27
6. Numero dei poli $2p$. . . . . » »
7. Dimensioni relative dei varî numeri di una serie di macchine . . . » 38
8. Rapporto $\frac{L_n}{D_n}$ della lunghezza assiale al diametro esterno del nucleo » 46
9. Rapporto $\frac{C'_n}{D_n}$ dello spessore C'_n della corona non dentata al diametro esterno . . . . . » 52
10. Rapporto $\beta' = \frac{b'}{\tau'}$ dell'ampiezza polare al passo di induttore . . . » 53
11. Rapporto $\frac{b'}{L_n}$ dell'ampiezza polare alla lunghezza del nucleo . . . » 54
12. Rapporti $\frac{a_z}{\tau_z}$ e $\frac{a_z}{h_z}$ della larghezza d'intaglio al passo della dentatura e della larghezza all'altezza dell'intaglio $h_z = c''_n$. . . . . » 55
ARTICOLO IV. — *Calcolo delle dimensioni del nucleo* . . . . . » 56
13. Calcolo del diametro esterno D_n . . . . . » 57
14. Calcolo della lunghezza assiale L_n . . . . . » 60
15. Calcolo dello spessore radiale C_n della corona $= C'_n + C''_n$ . . . . » 67
16. Scelta del traferro δ . . . . . » 74

ARTICOLO V. — *Calcoli di verifica delle dimensioni del nucleo magnetico di indotto* . . . . . *Pag.* 77
17. Perdite di energia nel nucleo per isteresi . . . . . » 78
18. Perdite di energia per correnti parassite nell'interno delle lamiere ed alla superficie del nucleo . . . . . » 81
19. Predeterminazione della sopraelevazione di temperatura dovuta alle perdite nel nucleo . . . . . » 87
ARTICOLO VI. — *Scelta del materiale dei nuclei magnetici* . . . . . » 89
20. Metodo generale . . . . . » »
21. Metodo approssimato . . . . . » 96
22. Esempi di applicazione dei metodi precedenti . . . . . » 97
23. Lamiere legate . . . . . » 99
ARTICOLO VII. — *Fabbricazione del nucleo magnetico di indotto* . . . . . » 105
24. Lavorazione degli isolanti . . . . . » »
25. Macchine per la lavorazione delle lamiere . . . . . » 108
26. Utensili per la lavorazione della lamiera . . . . . » 119
27. Lavorazione finale del nucleo . . . . . » 124

CAPITOLO II.

Parti meccaniche dell'indotto rotante.

ARTICOLO I. — *Raggiera o lanterna del nucleo magnetico di indotto* . *Pag.* 129
28. Condizioni principali a cui la lanterna deve soddisfare . . . . . » »
29. Classificazione delle lanterne . . . . . » 131
30. Lanterne per indotti rotanti a tamburo . . . . . » 132
31. Lanterne per indotti rotanti ad anello ordinario. . . . . » 149
32. Fabbricazione delle lanterne e montaggio del nucleo . . . . . » 153
33. Calcolo della lanterna di indotto . . . . . » 158
34. Perdite di energia nelle lanterne di indotto . . . . . » 168
ARTICOLO II. — *Albero di indotto* . . . . . » 175
35. Scelta del tipo e della forma d'albero . . . . . » »
36. Calcolo dell'albero (Caso ordinario di albero orizzontale a due supporti con puleggia di sbalzo) . . . . . » 178
37. Casi particolari . . . . . » 191
38. Fabbricazione degli alberi in serie . . . . . » 194
ARTICOLO III. — *Supporti di indotto* . . . . . » 197
39. Considerazioni generali sugli ordinari supporti orizzontali ad attrito radente con lubrificazione automatica ad anelli . . . . . » »
40. Supporti per macchine chiuse . . . . . » 208
41. Supporti per spinte assiali orizzontali . . . . . » 213
42. Supporti per alberi verticali. Supporti di guida e di sostegno. Supporti elettromagnetici . . . . . » 214
43. Supporti ad attrito volvente (sfere o rulli) . . . . . » 219
ARTICOLO IV. — *Basamenti ed appoggi registrabili* . . . . . » 226
44. Basamenti . . . . . » »
45. Appoggi registrabili . . . . . » 232
ARTICOLO V. — *Tenditori di cinghia* . . . . . » 238
46. Tenditori a mano . . . . . » »
47. Tenditori automatici . . . . . » 245

ARTICOLO VI. — *Organi di comando* . . . . . *Pag.* 249
48. Puleggie . . . . . » »
NOTE AL CAPITOLO II . . . . . » 251

CAPITOLO III.

Parti elettriche dell'indotto delle macchine a corrente continua.

ARTICOLO I. — *Teoria degli avvolgimenti. Regole di connessione. Proprietà dei varî avvolgimenti* . . . . . *Pag.* 257
49. Classificazione . . . . . » »
50. Definizioni fondamentali . . . . . » 260
51. Formola fondamentale del passo risultante . . . . . » 263
52. Regole pratiche di connessione . . . . . » 265
53. Condizioni da soddisfare per avere un circuito semplice . . . . . » 266
54. Applicazione delle regole generali ad alcuni casi particolari importanti » 271
ARTICOLO II. — *Descrizione degli inviluppi chiusi ed uniformi* . . . . . » 275
55. Descrizione generale degli inviluppi per indotti a tamburo . . . . » »
56. Inviluppi a tamburo imbricato in quantità semplice. Unioni equipotenziali relative . . . . . » 277
57. Inviluppi a tamburo imbricato in quantità multipla . . . . . » 288
58. Inviluppi a tamburo ondulato in serie semplice ($2\,a = 2$) . . . . » 290
59. Inviluppi a tamburo ondulato in serie parallele . . . . . » 293
60. Unioni equipotenziali per inviluppi a tamburo dentato in generale . » 301
61. Massime differenze di potenziale al commutatore . . . . . » 304
62. Descrizione di inviluppi chiusi ed uniformi per indotti ad anello ordinario » 305
63. Inviluppi a due collettori . . . . . » 308
64. Reazione di indotto. Inviluppi speciali per opporsi ad essa . . . . » 309
ARTICOLO III. — *Calcolo di orientamento dell'inviluppo elettrico d'indotto* » 320
65. Calcolo di orientamento considerando l'inviluppo a vuoto . . . . » »
66. Calcolo di orientamento considerando l'indotto su carico . . . . . » 324
ARTICOLO IV. — *Verifiche relative alla caduta di tensione* . . . . . » 333
67. Caduta di tensione v_r dovuta alla resistenza ohmica di indotto . . » 334
68. Caduta di tensione v_c dovuta alla resistenza di contatto delle spazzole sul commutatore . . . . . » »
69. Caduta di tensione v_s dovuta allo spostamento delle spazzole oltre la linea neutra su carico . . . . . » 335
70. Caduta di tensione v_{xc} dovuta alla reazione contraria di indotto . . » 337
71. Caduta di tensione v_{xt} dovuta alla reazione trasversa . . . . . » 338
ARTICOLO V. — *Verifiche relative alla commutazione* . . . . . » 340
72. Considerazioni generali . . . . . » »
73. Deduzioni pratiche dalla teoria esposta dal Fisher-Hinnen per la commutazione naturale . . . . . » 341
74. Conclusioni praticbe che si deducono dalle teorie dell'Arnold, Hobart, Niethammer, Renzelmann, Rothert, ecc. . . . . » 361
75. Commutazione artificiale. Poli addizionali ed avvolgimenti compensatori » 395
ARTICOLO VI. — *Costruzione meccanica degli avvolgimenti elettrici d'indotto* » 413
76. Sforzi tangenziali sull'avvolgimento . . . . . » »
77. Sforzi centrifughi sull'avvolgimento . . . . . » 415

ARTICOLO VII. — *Costruzione elettrica degli avvolgimenti d'indotto* . . *Pag.* 421
78. Proprietà elettriche dei metalli e delle leghe. Lavorazioni relative . . » »
79. Proprietà degli isolanti. . . . . » 428
80. Disposizioni pratiche degli avvolgimenti nella zona attiva . . . . . » 461
81. Disposizione pratica delle unioni frontali. Processi di fabbricazione degli avvolgimenti . . . . . » 465
82. Ultimazione, messa in opera e verifiche dell'avvolgimento e dell'indotto completo . . . . . » 478
ARTICOLO VIII. — *Commutatore* . . . . . » 485
83. Isolanti del commutatore . . . . . » 486
84. Segmenti o lamelle metalliche del commutatore . . . . . » 488
85. Lanterna del commutatore e parti accessorie . . . . . » 494
86. Fabbricazione del commutatore. Manutenzione. Verifiche . . . . . » 504
87. Calcolo delle principali dimensioni del commutatore . . . . . » 508
ARTICOLO IX. — *Portaspazzole* . . . . . » 519
88. Lanterna di portaspazzole . . . . . » »
89. Alberelli . . . . . » 527
90. Blocchi portaspazzole o portaspazzole propriamente detti . . . . . » 529
ARTICOLO X. — *Morsetti e tavole polari* . . . . . » 538
91. Macchine aperte . . . . . » 539
92. Macchine chiuse . . . . . » 543

CAPITOLO IV.

Parti magnetiche dell'induttore delle macchine a corrente continua.

ARTICOLO I. — *Scelta del tipo e della forma generale di induttore* . . *Pag.* 547
93. Problema magnetico generale dell'induttore . . . . . » »
94. Formole fondamentali del circuito magnetico e conseguenze pratiche relative . . . . . » 551
95. Calcolo dei varî coefficienti di dispersione magnetica . . . . . » 560
96. Considerazioni magnetiche generali sulla forma degli induttori . . » 570
97. Descrizione ed esame delle ossature magnetiche più in uso per l'induttore » 574
ARTICOLO II. — *Esame delle singole parti magnetiche dell'induttore* . . . » 580
98. Nuclei polari . . . . . » »
99. Gioghi o corone dell'induttore . . . . . » 584
100. Giunti magnetici . . . . . » 587
101. Espansioni polari . . . . . » 594
102. Materiali impiegati nella ossatura magnetica di induttore . . . . » 600

CAPITOLO V.

Parti elettriche dell'induttore delle macchine a corrente continua.

ARTICOLO I. — *Costruzione delle spirali magnetizzanti* . . . . . *Pag.* 606
103. Involucri protettori delle spirali magnetizzanti . . . . . » »
104. Costruzione delle spirali in filo sottile (Eccitazioni in derivazione. Primarî di trasformatori, ecc.) . . . . . » 609
105. Costruzione delle spirali in grosse sbarre (Eccitazioni di serie. Secondarî di trasformatori, ecc.) . . . . . » 612

ARTICOLO II. — *Progetto di massima e calcolo di verifica delle parti magnetiche ed elettriche dell'induttore* . . . . . Pag. 617
106. Calcolo dei nuclei e relative spirali magnetizzanti . . . . . » 618
107. Calcolo dei gioghi o corone dell'induttore . . . . . » 623
108. Calcoli di verifica dell'induttore . . . . . » 624

CAPITOLO VI.

Parti meccaniche dell'induttore.

ARTICOLO I. — *Induttori ordinari (fissi e convergenti)* . . . . . Pag. 631
109. Corona o giogo dell'induttore fisso . . . . . » »
110. Giunti . . . . . » 632
111. Sostegni delle spirali magnetizzanti . . . . . » 635
112. Ganci di sospensione . . . . . » »
113. Collegamenti coi supporti, portaspazzole e basamenti . . . . . » 637
114. Lavorazione dell'induttore . . . . . » 638
ARTICOLO II. — *Induttori speciali* . . . . . » 641
115. Induttori fissi interni divergenti . . . . . » »
116. Induttori rotanti interni od esterni . . . . . » 642

CAPITOLO VII.

Proprietà risultanti delle generatrici ordinarie. Macchine speciali. Amministrazione d'officina. Prove d'officina.

ARTICOLO I. — *Predeterminazione delle proprietà risultanti delle generatrici ordinarie* . . . . . Pag. 643
117. Cadute di tensione, commutazione senza scintille. Sopraelevazione di temperatura. Rendimento elettrico e rendimento industriale . . » »
118. Curve caratteristiche delle generatrici ordinarie a corrente continua » 646
ARTICOLO II. — *Macchine a gruppi speciali* . . . . . » 657
119. Macchine speciali . . . . . » »
120. Generatrici e gruppi speciali per distribuzione a tre fili . . . . . » 663
121. Gruppi ugualizzatori del carico con volante meccanico . . . . . » 665
122. Gruppi ugualizzatori del carico con volanti elettrici (batterie d'accumulatori) . . . . . » 670
123. Gruppi di avviamento e regolazione. . . . . » 678
ARTICOLO III. — *Amministrazione di officina* . . . . . » 683
124. Predeterminazione del costo della macchina progettata . . . . . » »
125. Ordini di lavorazione. Magazzeno. Ufficio lavori. Ufficio consuntivi. Verificatori. Puntatori . . . . . » 695
126. Contabilità . . . . . » 697
ARTICOLO IV. — *Prove di officina* . . . . . » 699
127. Collaudo dei materiali . . . . . » 700
128. Verifica delle parti di macchine . . . . . » 712
129. Prove meccaniche sulle macchine complete . . . . . » 713
130. Prove magnetiche sulla macchina completa . . . . . » 714
131. Prove elettriche sulle macchine complete . . . . . » 716

CAPITOLO VIII.

Raccolta di dati e formole. Esempi di calcolo.

ARTICOLO I. — *Descrizione di varie macchine moderne a corrente continua* Pag. 734
132. Tavola I. Piccola generatrice chiusa ordinaria (Unione Elettrotecnica Italiana) . . . . . » »
Tavola II. Motore chiuso per applicazioni elettromeccaniche (Siemens-Schuckert) . . . . . » »
133. Tavola III. Media generatrice ordinaria (Unione Elettrotecnica Italiana) » 735
134. Tavola IV. Media macchina ad asse verticale (Oerlikon) . . . . » »
Tavola V. Supporti per asse verticale . . . . . » »
135. Tavola VI. Media macchina ordinaria per carica accumulatori (A. E. G. Thomson-Houston) . . . . . » »
136. Tavola VII. Generatrice media con poli ausiliari (Tecnomasio Italiano) » 736
Tavola VIII. Generatrice verticale (Unione Elettrotecnica) . . . . » »
Tavola IX. Motore medio con poli ausiliari (Tecnomasio Italiano) . » »
Tavola X. Dinamo media con poli ausiliari (Tecnomasio Italiano). » »
Tavola XI. Motore grande con poli ausiliari (Tecnomasio Italiano) » 737
137. Tavola XII. Media macchina con poli addizionali (Officine di Savigliano) » »
Tavola XIII. Media macchina composita (Officine di Savigliano) . . » »
138. Tavola XIV. Grossa macchina ordinaria lenta . . . . . » »
139. Tavola XV. Grossa macchina ordinaria lenta . . . . . » 738
140. Tavola XVI. Grossa generatrice ordinaria lenta . . . . . » »
141. Tavola XVII. Grossa generatrice-volano (Lahmeyer) con poli ausiliari » 739
142. Tavola XVIII. Grossa generatrice doppia (Lahmeyer) . . . . . » »
143. Tavola XIX. Grossa generatrice per forti intensità ed a poli addizionali (Oerlikon) . . . . . » 740
144. Tavola XX. Grande generatrice per forti intensità, con 2 collettori e poli addizionali (Oerlikon) . . . . . » »
145. Tavola XXI. Piccola turbo-dinamo velocissima con poli addizionali . » »
146. Tavola XXII. Turbo-dinamo di media potenza e velocità con poli addizionali . . . . . » 741
147. Tavola XXIII. Turbo-dinamo di media potenza e velocità con poli ed avvolgimenti addizionali (Siemens-Schuckert) . . . . . » »
148. Tavola XXIV, fig. 1. Turbo-dinamo con induttore ausiliare separato (Hobart-Ellis) 742
Tavola XXIV, fig. 2. Collettore piano multiplo (Walker-Westinghouse) » »
Tavola XXIV, fig. 3. Turbo-dinamo grossa e velocissima (British-Westinghouse Co.) . . . . . » »
149. Tavola XXV. Turbo-dinamo velocissima (Brown-Boveri) . . . . » 743
150. Tavole XXVI e XXVII. Turbo-dinamo velocissima (Brown-Boveri) . » 744
151. Tavola XXVIII. Grossa turbo-dinamo . . . . . » »
152. Tavola XXIX. Media turbo-dinamo, velocissima (A. E. G. Thomson-Houston) . . . . . » »
Tavola XXX. Gruppo Motore-Generatore con Eccitatrice (Tecnomasio Italiano) . . . . . » 745

153. Tavola XXXI. Serie turbo-dinamo Brown-Boveri . . . . . *Pag.* 745
154. Serie dinamo lente (tipi A. E. G. Thomson-Houston) . . . . . » 746
155. Serie dinamo ordinarie (A. E. G. Thomson-Houston) . . . . . » 749
ARTICOLO II. — *Riepilogo di tabelle e formole pei calcoli di macchine elettriche* » 750
156. Tabelle di confronto fra le unità assolute C. G. S. e le unità pratiche più in uso . . . . . » »
157. Elenco delle tabelle già riportate nel testo . . . . . » 756
158. Temperature ammesse nelle varie parti delle macchine elettriche, dai varî Regolamenti . . . . . » 757
159. Prove di sovraccarico prescritte pel collaudo del macchinario elettrico » 758
160. Prove di isolamento del macchinario elettrico . . . . . » 759
161. Coefficiente di sicurezza frequentemente adottato per gli isolanti del macchinario . . . . . » »
162. Coefficiente di riempimento per gli intagli di indotto delle dinamo medie » »
163. Spessore dei tubi di micanite di prima qualità per alte tensioni . . » 760
164. Spessore di coperture isolanti con nastri tela verniciati allo « Sterling » od equivalenti . . . . . » »
165. Perdite specifiche superficiali . . . . . » »
166. Perdite magnetiche nelle lamiere di ferro (su campioni di prova) . . » »
167. Perdite reali complessive nel ferro di indotti dentati (Lamiere ordinarie, Hobart) . . . . . » 761
168. Induzioni ammesse nelle varie parti del circuito magnetico . . . . » »
169. Densità di corrente ammesse negli avvolgimenti . . . . . » »
170. Riassunto delle proprietà elettriche e meccaniche di varî conduttori usuali » 762
171. Valori di $B^{1,6}_{mass}$ . . . . . » »
ARTICOLO III. — *Riassunto delle formole principali pel calcolo delle generatrici a corrente continua* . . . . . » 763
ARTICOLO IV. — *Esempio di calcolo di generatrici a corrente continua* . » 771
172. Generatrice ordinaria, a commutazione naturale . . . . . » »
173. Progetto di macchina con poli addizionali . . . . . » 814
INDICE DELLE NOTAZIONI PRINCIPALI ADOTTATE . . . . . » 819