

NUOVI STUDI SULLE CORRENTI DELLE MACCHINE ELETTRICHE;
DEL PROF. FRANCESCO ROSSETTI.

(*Atti del R. Istituto Veneto*, 1874).

INTRODUZIONE.

1. Allorquando viene posta in attività una delle antiche macchine elettriche, cioè di quelle a strofinio, p. e. quella di Ramsden, si manifestano tosto i due stati elettrici opposti sul corpo strofinato e sullo strofinatore, in guisa, che se questi due corpi vengono messi in comunicazione mediante un arco metallico, esso viene percorso in senso inverso dalle due opposte elettricità, che tendono a neutralizzarsi lunghe l'arco, e si producono così due opposte correnti; delle quali si è convenuto tra i fisici di tener conto solo di quella che partendo dal corpo, che ha lo stato elettrico positivo, va per la via dell'arco conduttore al corpo elettrizzato negativamente. — La corrente così ottenuta, è capace di produrre gli effetti medesimi che si hanno dalle correnti delle coppie e delle pile voltaiche. Si hanno infatti effetti termici appalesati dal riscaldamento del filo che unisce il corpo strofinatore e lo strofinato, e da altri fenomeni; effetti elettro-magnetici, resi manifesti dall'azione galvanometrica, effetti chimici che possono essere misurati col voltmetro; ed inoltre, allorquando l'arco metallico venga interrotto, effetti luminosi e fisiologici; i primi dei quali, sotto forma di scintille elettriche che scoccano fra i due punti più vicini dell'arco interrotto, attraversando lo spazio d'aria interposta, ovvero sotto la forma di efflusso elettrico luminoso allorchè l'aria o i gas frapposti sieno rarefatti, come nei tubi di Geissler; mentre i secondi, cioè gli effetti fisiologici, si hanno quando la corrente si fac-

cia passare a traverso un corpo animale, e allora sotto la forma di azioni chimiche e calorifiche in esso prodotte se la corrente è continua, e sotto la forma di scosse elettriche, se la corrente viene interrotta.

Questi ultimi fenomeni delle scintille, e delle scosse, manifestano una forte tensione della elettricità, svolta dalle macchine elettriche, mentre invece i primi, cioè i fenomeni chimici, calorifici ed elettro-magnetici, riescono debolissimi; al contrario di ciò che avviene in una coppia voltaica, ove l'elettricità messa in circolazione, ha piccolissima tensione, ma invece riescono molto più efficaci gli effetti termici, chimici ed elettro-magnetici della corrente.

Ciò si spiega col dire, che nella macchina elettrica viene messa in circolazione ad ogni istante una piccolissima quantità di elettricità, avente una forte tensione, mentre nella coppia voltaica ad ogni istante viene svolta una grande quantità di elettricità, ma la sua tensione è tenuissima.

2. Ma non è questa la sola differenza che si riscontra fra la corrente fornita da un elettromotore voltaico, e quella ottenuta da un elettromotore a strofinio; ve ne ha un'altra singolare, in virtù della quale l'elettromotore a strofinio si comporterebbe in modo affatto eccezionale in confronto agli altri elettromotori. La differenza è questa, che mentre l'intensità della corrente voltaica varia col variare della resistenza offerta dall'arco interpolare, quella della corrente fornita dalle macchine elettriche si mantiene costante, qualunque sia la resistenza del corpo percorso dalla corrente: vale a dire, mentre le correnti voltaiche e le termo-elettriche seguono la legge di Ohm, in virtù della quale l'intensità è in ragione inversa della resistenza offerta dalla pila e dal circuito esterno; le correnti invece delle macchine elettriche sembrano sottrarsi a quella legge, poichè si mostrano affatto insensibili alle variazioni del circuito esterno, e quindi la intensità è indipendente da questo.

3. Il primo a notare questo fatto fu il Gauss, il quale nel 1837, misurò la intensità della corrente fornita da una macchina elettrica a strofinio, mediante un galvanometro

moltiplicatore a riflessione, ed osservò che la deviazione della sbarra magnetica si manteneva identica, tanto nel caso in cui la corrente passava direttamente nel filo del moltiplicatore, quanto nel caso che essa era costretta a percorrere un filo lungo 13,000 piedi; per cui il Gauss conchiudeva: « risultare dalle sue esperienze questo fatto singolare, che l'azione elettro-magnetica della corrente somministrata dalla macchina a strofinio si mantiene invariata anche quando il circuito percorso ha la lunghezza di un miglio (1) ».

4. Questo stesso fenomeno, il quale rimase per parecchi anni ignorato, o privo della dovuta considerazione dei fisici, attrasse più tardi l'attenzione di Poggendorff (2), che nel 1858 ne fece argomento a svariati studi, dai quali risultò una piena conferma del fatto che il Gauss avea enunciato e studiato solo per incidenza. Le ricerche del Poggendorff furono fatte sulla corrente svolta dall' elettromotore di Holtz; e le misure furono eseguite col mezzo di un galvanometro, ed anche colla bottiglia elettrometrica. Egli trovò che la deviazione dell' ago nel galvanometro era la stessa, sia che gli elettrodi fossero costituiti da fili metallici, corti e grossi, ovvero anche da un cordoncino bagnato lungo 15 piedi, la cui resistenza doveva essere molte migliaia di volte maggiore di quella offerta dai fili metallici.

Del pari mediante la bottiglia elettrometrica provò che il numero di scintille prodotte dalla scarica della medesima in un dato tempo, si manteneva invariato, tanto se la elettricità fornita dalla macchina caricava la bottiglia percorrendo reofori metallici, quanto allorquando nel circuito era inserito un cordone bagnato della lunghezza di 10, 15, 20 piedi. — Perfino, dice il Poggendorff, un intervallo di aria frapposta tra due punti del reoforo non esercita alcuna influenza sull'intensità della corrente.

(1) *Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins*, 1857. — Göttingen 1858, pag. 15.

(2) *Ueber die Unabhängigkeit des Influenzstromes von dem Widerstande leitender Substanzen von I. C. Poggendorff*. — *Pogg. Ann.* Vol. 184, pag. 596.

5. Gauss tentò di spiegare il fenomeno singolare da lui osservato (il quale a suo credere è una conferma della teoria) confrontando il modo d'agire dei differenti elettromotori. Ecco come egli si esprime:

« Questo fatto potrebbe sembrare che valesse a costituire una essenziale differenza fra le correnti delle macchine elettriche, e le correnti idro-elettriche, termo-elettriche o d'induzione, nelle quali la intensità misurata dall'azione elettromagnetica diventa tanto minore, quanto più lungo si fa il circuito. Ma io trovo in esso una evidente conferma della teoria, in base alla quale, la ineguale intensità di due correnti, misurata dalla loro ineguale azione elettromagnetica, non significa altra cosa, che in tempi eguali, una ineguale quantità di elettricità passa per ogni sezione di ognuno dei circuiti.

« Negli altri elettromotori, una determinata forza elettromotrice sviluppa tanto minor copia di elettricità in un dato tempo, quanto maggiore è la resistenza offerta dal circuito: invece nelle esperienze fatte coll'elettromotore a strofinio, la quantità della elettricità svolta dipende unicamente dal gioco della macchina, e tutta la elettricità che sotto forma di scintille passa dal corpo strofinato sul conduttore deve percorrere l'intero circuito, sia esso breve o lungo, per neutralizzarsi colla opposta elettricità dello strofinatore ».

Considerazioni teoriche.

6. La spiegazione data dal Gauss può sembrare convincente e fu accettata anche dal Poggendorff. Tuttavia, guidato da considerazioni teoriche, a me non sembrò esatta appieno la spiegazione; e dubitai anche dell'assoluta esattezza del fenomeno, quantunque anche a me nelle prime esperienze sia accaduto di trovare una eguale deviazione galvanometrica, tanto quando la corrente entrava direttamente nel filo del galvanometro, come allorchè essa dovette attraversare un circuito che offriva la resistenza di 10 mila unità Siemens.

La spiegazione del Gauss potrebbe valere, se la quantità di elettricità fornita dalla macchina ad ogni giro del disco, fosse sempre la medesima, la qual cosa avverrebbe certamente, se i due corpi strofinatore e strofinato non risentissero la menoma influenza da una maggiore o minore resistenza del filo che li congiunge. Ma invece sembra molto probabile che questa influenza debba esistere, quantunque essa sia sfuggita alle ricerche di Gauss ed a quelle di Poggendorff.

7. Paragoniamo infatti un elettromotore idrogalvanico coll' elettromotore a strofinio. La corrente fornita da una coppia voltaica è dovuta alle azioni chimiche che avvengono nella coppia, le quali azioni costituiscono il lavoro chimico interno della coppia: questa corrente percorrendo l' intero circuito, deve vincere tanto la resistenza opposta alla sua circolazione dalla parte del circuito che è esterna alla coppia, quanto la resistenza della coppia medesima, e la legge di Ohm ci dice che la intensità della corrente è direttamente proporzionale alla forza elettromotrice della coppia ed inversamente alla totale resistenza offerta dal circuito. Se quindi si aumenta la resistenza totale coll' accrescere quella del circuito esterno, scema corrispondentemente la intensità, e contemporaneamente scema con egual proporzione il lavoro chimico interno della coppia.

Nell' elettromotore a strofinio la corrente elettrica generata dallo strofinamento è dovuta al lavoro speso nel far ruotare il corpo strofinato: di questo lavoro, una parte va sprecata in urti e tremiti comunicati all' apparato, o si trasforma in calore, ed il rimanente si converte in elettricità. Questa parte di lavoro che si converte in elettricità, rappresenta il lavoro interno dell' elettromotore: e l' intensità della corrente deve essere proporzionale a questo lavoro dinamico interno dell' elettromotore a strofinio, come nella coppia voltaica l' intensità è proporzionale al lavoro chimico interno.

E come in questa esiste la resistenza interna, del pari l' elettromotore a strofinio deve presentare una resistenza interna; e la corrente sviluppata dal gioco dell' elettromo-

tore, deve vincere nel suo tragitto la resistenza totale rappresentata dalla somma della resistenza interna dell'elettromotore, e della esterna offerta dal conduttore che mette in comunicazione il corpo strofinato e lo strofinatore.

Laonde la formola di Ohm deve potersi applicare anche alle correnti svolte dall'elettromotore a strofinio, purchè si tenga conto della resistenza interna offerta dall'elettromotore medesimo.

Dunque si dovrà avere $I = \frac{E}{R+r}$ chiamando con E la forza elettromotrice della macchina, con R la sua resistenza e designando con r la resistenza del circuito esterno.

Nell'applicare questa formola bisognerà sempre aver presente, che le quantità E ed R, cioè la forza elettromotrice e la resistenza interna dell'elettromotore, potranno, anzi dovranno variare col variare della velocità di rotazione e dello stato igrometrico dell'aria; mentre in una coppia voltaica determinata i valori di E e di R si mantengono sempre sensibilmente costanti.

8. La discussione della formola di Ohm applicata agli elettromotori a strofinio, ci conduce alle seguenti conseguenze:

1.^o Se facciamo due esperienze con eguale velocità di rotazione, e nella prima di esse il circuito esterno offra una piccola resistenza, mentre nella seconda la resistenza di esso sia grande, la intensità della corrente dovrà nella prima esperienza riuscire maggiore che nella seconda.

Infatti si avrà $I = \frac{E}{R+r}$ nella prima

ed $I_1 = \frac{E}{R+r_1}$ nella seconda,

dove $r_1 > r$.

Dunque dovrà riuscire I_1 minore di I in causa dell'aumentata resistenza totale, e dovrà aver luogo una variazione anche nel lavoro dinamico.

Se nelle esperienze di Gauss e di Poggendorff, non si potè scorgere alcuna differenza nell'intensità della corrente,

ciò non significa altro che le resistenze introdotte erano troppo piccole in confronto di quella interna dell'elettromotore che deve essere grandissima. Così pure non sarebbe stato possibile di avvertire una differenza nel lavoro speso nelle due esperienze, appunto perchè questa differenza essendo troppo piccola non potevasi avvertire dalla mano.

Ma se si riuscisse ad introdurre nel circuito esterno *una resistenza abbastanza grande per essere comparabile a quella interna dell'elettromotore*, si dovrebbe verificare una diminuzione d'intensità della corrente, ed una variazione nel lavoro speso a produrla, qualora di questo lavoro si giunga ad ottenere una separata misura.

2.^o Un'altra conseguenza è questa: se ripeteremo le due esperienze anzidette con differente lunghezza del circuito esterno, e se vorremo ottenere in ambedue i casi una eguale intensità della corrente, sarà giuoco forza di aumentare nella seconda esperienza la velocità di rotazione. Infatti essendo la resistenza totale $R_1 + r_1$ nella seconda esperienza maggiore della resistenza totale $R + r$ nella prima, se vorremo avere eguali le due intensità $I_1 = I$ sarà necessario che la forza elettromotrice E_1 venga aumentata nella ragione dell'aumento avuto nella resistenza; e questo aumento si ottiene appunto coll'accrescere la velocità di rotazione (1).

Quanto al lavoro dinamico L_1 impiegato nella seconda esperienza, esso dovrà necessariamente riuscire maggiore del lavoro dinamico L consumato nella prima.

3.^o Una terza ed importante conseguenza è la seguente. Se il moto della macchina in luogo di esser fatto dalla mano, venga affidato ad un apparato di rotazione, mosso da un peso che discende, si dovrà osservare che aumentando successivamente la resistenza del circuito esterno, va mano mano scemando la intensità della corrente, ed il meccanismo si accomoda da se stesso alle nuove condizioni imposte dall'au-

(1) Oppure se fosse $E = E_1$ sarà necessario che $R_1 + r_1 = R + r$ cioè che R_1 sia divenuto tanto minore di R quanto r_1 s'è fatto maggiore di r . Veggasi la discussione contenuta nei paragrafi 18, 19 e seguenti.

mentata resistenza, sicchè diminuisce la velocità di rotazione, e quindi scema l'altezza di caduta del peso, e perciò anche il lavoro dinamico speso diventa minore; in modo affatto analogo al scemare che fa, e l'intensità della corrente e il lavoro chimico interno d'una coppia voltaica coll'aumentare della resistenza del circuito.

Scopo della Memoria.

9. Per conoscere intimamente il modo di agire di un elettromotore a strofinio e per verificare la giustezza delle anzidette conseguenze della formola di Ohm, applicata alla corrente generata da esso, è necessario adunque:

1. Di misurare con precisione la velocità del corpo strofinato.

2. Di determinare il lavoro impiegato nell'unità di tempo a render attivo l'elettromotore, detrattovi quella parte di lavoro che serve ad altro ufficio.

3. Di misurare l'intensità della corrente generata con una determinata velocità di rotazione.

4. Di determinare con esattezza la resistenza e la forza elettromotrice posseduta dall'elettromotore, quando esso produce una corrente di data intensità, con una data velocità di rotazione. Questa determinazione esige che si abbia a propria disposizione una resistenza da introdurre nel circuito esterno, la quale sia talmente grande da riuscir comparabile colla resistenza interna dell'elettromotore.

5. Di precisare lo stato igrometrico dell'ambiente, affinchè si possano paragonare fra di loro anche esperienze fatte in differenti giornate.

10. Son già parecchi mesi che io ho rivolto i miei studi alla soluzione di questi problemi, e le esperienze eseguite, che sono moltissime, confermarono pienamente la giustezza delle previsioni teoriche.

Le mie ricerche furono però rivolte ad indagare il modo di agire di un elettromotore ad induzione, e precisamente dell'elettromotore di Holtz della prima specie. Voi già sa-

pete che in questa macchina la corrente elettrica viene generata dalla rotazione di un disco, dirimpetto al quale ed a piccola distanza, sta un altro disco fisso munito di due o quattro armature di carta, che sono situate di fronte ad altrettanti pettini metallici, collocati dall'altra parte del disco mobile; e sapete che basta comunicare una piccola quantità di elettricità ad una delle armature, perchè mediante la rotazione del disco mobile, l'elettromotore diventi attivo, e la corrente circoli da un pettine all'altro attraversando i corpi conduttori che fossero interposti fra i medesimi.

In questa macchina adunque non vi sono attriti, come in quelle a strofinamento, ma anche in essa la elettricità svolta è dovuta al lavoro dinamico impiegato nel renderla attiva. È noto infatti a tutti coloro che si occupano di cose elettriche, che facendo girare il disco dell'elettromotore di Holtz con una data velocità, lo sforzo che si fa è maggiore quando l'elettromotore è attivo, che non sia quando esso genera elettricità: e appunto perchè non vi sono attriti, sembra che questo elettromotore si debba prestar meglio di ogni altro a rappresentare colla differenza fra i due lavori impiegati (a macchina carica, ed a macchina scarica) una misura dell'elettricità svolta, e quindi della intensità della corrente: anzi sembrerebbe quasi di dover aspettarsi, che la totalità del lavoro speso in più per rendere attiva la macchina, dovesse essere convertita in elettricità.

Descrizione degli strumenti usati in questi studii.

11. Gli strumenti adoperati nelle seguenti esperienze sono: 1° una macchina elettrica di Holtz della prima specie (ad un solo disco girevole); 2° un apparato di rotazione; 3° un contatore di giri; 4° un galvanometro; 5° un reostato a cannelli, contenente acqua distillata; 6° un igrometro a capello; 7° un cronometro.

I. *Macchina elettrica di Holtz.*

L'elettromotore di Holtz da me adoperato, è quello stesso che mi servì nelle ricerche sul potere specifico induttivo dei coibenti (1); e trovasi rappresentato in prospettiva nella figura 1 (*Tav. II*), assieme all'apparato di rotazione ed al contatore. È un elettromotore assai efficace e fu costruito da Ruhmkorff. Il disco mobile MM ha il diametro di 53 centim.; il disco fisso SS ha il diametro di 60 centim., ed è munito di due finestre e di due armature. La rotazione del disco mobile è effettuata dall'apparato di rotazione, su uno dei cui assi trovasi infilato l'asse del disco.

II. *Apparato di rotazione.*

Questo apparato RR è di diligentissima costruzione, ed esce dall'officina Galilei di Firenze. In esso mentre il tamburo motore o il primo asse fa un giro, il secondo asse ne fa 3, il terzo 12, il quarto 48 ed il quinto 192. Si trovò opportuno di affidare la rotazione del disco al quarto asse (*fig. 1*).

La forza motrice è rappresentata da un peso che discende attaccato ad un'estremità di una corda che a molta distanza dall'apparato accavalca una puleggia, e poscia in direzione perpendicolare all'asse del tamburo s'avvolge attorno a questo, per svolgersi quando esso si scarica. Il peso motore P può variare da 3 fino a 42 chilogr. con che si riesce ad ottenere tutte le velocità desiderate. A rendere regolare la rotazione, giova il disco stesso dell'elettromotore, che venendo messo in giro dal roteggio, fa l'ufficio di volante: tuttavia per ottenere questa regolarità con maggior prontezza, impostai sul quinto asse un piccolo volante V a due alette. Con questo regolatore il moto diviene ben presto uniforme,

(1) *Uso della macchina di Holtz in alcune ricerche elettrometriche sui condensatori.* Memoria del Prof. F. Rossetti. *Atti dell' Istituto veneto*, Vol. II, 1875.

e si conserva tale sino alla fine di ogni esperienza, come si vedrà più sotto.

Vennero fatte delle esperienze preliminari per determinare la discesa del peso motore, corrispondente ad un giro del quarto asse, ossia del disco, e si è trovato che ad ogni giro del disco vi corrisponde la caduta del peso motore da un'altezza $s = 3,834$ millim. $= 0,003834$ metri.

Importa che si possa contare il numero n di giri fatti dal disco in un determinato tempo, perchè noto che sia questo numero, è pur noto lo spazio di discesa $s.n$ del peso motore, e moltiplicando questo spazio espresso in metri per il peso motore espresso in chilogrammi, si avrà nel prodotto di quelle quantità il lavoro totale L espresso in chilogrammetri, cioè sarà $L = P.n.s$ chilogrammetri.

III. Contatore.

L'ufficio di contare il numero dei giri, è affidato ad un contatore elettromagnetico di Siemens ed Halske C che viene messo in gioco da una pila, i cui reofori sono rappresentati da pn e qo . Mediante un interruttore di correnti elettriche I, che trovasi impostato sull'asse di rotazione del disco, ad ogni rotazione di questo viene aperto e poscia chiuso il circuito esterno della pila, la cui corrente per la via della colonna metallica OO, della molla elastica OI, e delle parti metalliche del roteggio, giunge in m ed attraversa per conseguenza z intervalli il filo della elettrocalamita del contatore, in modo che venendo attratta e poscia lasciata libera l'ancora della medesima, scappa ad ogni interruzione di corrente un dente della ruota che ha 100 denti; ed un indice impernato sull'asse di quella ruota, segna sopra un quadrante diviso in cento parti, quante volte la corrente fu chiusa ed aperta, ossia quanti giri ha fatto il disco mobile: altri indici, mossi da opportuni ingranaggi, potrebbero servire ad indicare le centinaia e le migliaia di giri.

Lo spazio lasciato libero alla discesa del peso motore è tale, che intanto il disco dell'elettromotore può fare oltre

cinquecento giri; dei primi cento giri non si tien conto, perchè in essi il moto non ha in generale raggiunto la regolarità necessaria, ma poi si nota il numero di minuti secondi che impiega il disco in ogni singola esperienza a fare quattrocento o trecento giri, e così si conosce facilmente quanti giri e frazioni di giro fa il disco medesimo ad ogni minuto secondo.

IV. *Galvanometro*

Il galvanometro *G* (*fig. 2*) da me adoperato, è un eccellente strumento costruito dal Ruhmkorff, e che forma parte dell'apparecchio di Melloni per la misura delle correnti termoelettriche. Avrei potuto far uso di un galvanometro a riflessione, ma non avendo a mia disposizione un locale che sia abbastanza stabile perchè lo specchio sospeso rimanga tranquillo, dovetti rinunciarvi. E nemmeno feci uso del galvanometro più sensibile per queste correnti, vale a dire del galvanometro di Du Bois Reymond il cui filo fa oltre 30,000 giri; perchè la sensibilità di questo apparecchio era soverchia, mentre invece quella dell'altro galvanometro era assai accommodata all'uopo, e per di più la graduazione di esso era stata già fatta con molta accuratezza, ed era anche stato determinato il valore della costante del medesimo in unità di Jacobi: questo valore è $K=0,00003347$ unità di Jacobi. Per conseguenza l'intensità della corrente misurata da questo galvanometro sarà data dalla formola $I=K.i=0,00003347.i$ centimetri cubici di gas tonante al minuto primo.

I valori di *i* poi, corrispondenti ai vari gradi del galvanometro, vengono desunti dalla seconda colonna della seguente graduazione.

Tabella di graduazione del galvanometro.

| Lettura al galvanometro | Intensità i | Gradi | Intensità i |
|----------------------------|------------------|-------|------------------|
| 6,7 | 6,7 | 15,7 | 16,7 |
| 7,1 | 7,2 | 16,7 | 17,8 |
| 7,7 | 7,8 | 17,7 | 18,9 |
| 8,1 | 8,2 | 18,7 | 20,0 |
| 8,8 | 9,9 | 19,6 | 21,1 |
| 9,8 | 10,0 | 20,4 | 22,2 |
| 10,8 | 11,1 | 21,2 | 23,3 |
| 11,8 | 12,2 | 22,0 | 24,5 |
| 12,7 | 13,3 | 22,9 | 25,6 |
| 13,6 | 14,5 | 23,7 | 26,7 |
| 14,6 | 15,6 | 24,5 | 27,2 |

V. Reostato.

Prevedendo che la resistenza interna dell'elettromotore di Holtz dovesse essere grandissima, e che quindi fosse necessario di introdurre anche nell'esterno circuito una resistenza assai rilevante, affinchè si potesse ottenere una diminuzione nella intensità delle correnti, come lo richiede la legge di Ohm, ebbi ricorso ad un reostato liquido, e precisamente ad un reostato ad acqua distillata FLQ. Esso trovasi rappresentato in pianta nella fig. 2 e consta di quattro cannelli, ognuno dei quali penetra coi suoi due estremi entro due vasetti di ebanite, rimanendo così isolato dal tavolo sottoposto, perchè anche la lamina NN che sostiene i quattro tubi verso il mezzo è di ebanite.

La determinazione della resistenza elettrica dei singoli cannelli venne fatta col metodo suggerito da Siemens (1). A tal uopo si misurarono le lunghezze successivamente assunte

(1) Siemens, *Pogg. Ann.* CXI (1860).

da una colonnina di mercurio che si faceva scorrere in modo da occupare varie posizioni nel cannello; poi si misurò la lunghezza di questo, ed il peso del mercurio che lo riempie intieramente, e si applicò la formola

$$R_1 = \frac{L^3 \delta}{1000 P} \cdot \frac{1 + \sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}}}{3}$$

dove R_1 è la resistenza in unità di Siemens quando il cannello fosse riempito di mercurio, P il peso espresso in milligrammi del mercurio contenuto nel cannello, L la lunghezza di questo in millimetri, δ la densità del mercurio alla temperatura dell'esperienza, ed a il rapporto, fra la massima e la minima lunghezza della colonnina di mercurio, che si è fatta scorrere nel cannello. Ecco i risultati di queste misure eseguite sui quattro cannelli.

Cannello 1.º $L = 1576,2^{\text{mm}}$ raggio medio $r = 0,7$

$$P = 36660,5 \text{ milligrammi} \quad a = \frac{94,8}{89,2}$$

$$\log. \delta = 1,1324874$$

Cannello 2.º $L = 1580,5^{\text{mm}}$ raggio medio $r = 0,8$

$$P = 43290 \text{ milligrammi} \quad a = \frac{90,1}{82,5}$$

Cannello 3.º $L = 1585^{\text{mm}}$ raggio medio $r = 0,6$

$$P = 26816,9 \text{ milligrammi} \quad a = \frac{108,3}{83,4}$$

Cannello 4.º $L = 1609,8^{\text{mm}}$ raggio medio $r = 0,7^{\text{mm}}$

$$P = 36163 \text{ milligrammi} \quad a = \frac{100,5}{83,3}$$

Le resistenze che offrono i quattro cannelli quando sono pieni di mercurio, risultano

| | | |
|--------------------------|------------------|---------------|
| Cannello 1. ^o | $R_1 = 0,920517$ | unità Siemens |
| „ 2. ^o | $R_1 = 0,784169$ | „ |
| „ 3. ^o | $R_1 = 1,279920$ | „ |
| „ 4. ^o | $R_1 = 0,976252$ | „ |

Si avrà poi la resistenza R di ciascun cannello riempito con acqua distillata dalla formola

$$R = K \cdot R_1$$

dove K è la resistenza specifica dell'acqua rispetto al mercurio.

VI. *Igrometro.*

Feci uso d'un igrometro a capello perchè le sue indicazioni sono prontissime.

Di questo igrometro era già stato fatto l'opportuno confronto con un igrometro a condensazione, e la seguente tabella contiene nella seconda colonna i valori che rappresentano l'umidità relativa corrispondente ai gradi dell'igrometro a capello.

Tabella igrometrica.

| Gradi dell' igrometro | Umidità relativa | Gradi | Umidità relativa |
|--------------------------|---------------------|-------|---------------------|
| 58 | 0,398 | 74 | 0,471 |
| 59 | 0,306 | 75 | 0,485 |
| 60 | 0,315 | 76 | 0,498 |
| 61 | 0,325 | 77 | 0,511 |
| 62 | 0,335 | 78 | 0,525 |
| 63 | 0,345 | 79 | 0,541 |
| 64 | 0,355 | 80 | 0,557 |
| 65 | 0,365 | 81 | 0,574 |
| 66 | 0,375 | 82 | 0,591 |
| 67 | 0,385 | 83 | 0,607 |
| 68 | 0,397 | 84 | 0,623 |
| 69 | 0,409 | 85 | 0,639 |
| 70 | 0,420 | 86 | 0,654 |
| 71 | 0,432 | 87 | 0,670 |
| 72 | 0,445 | 88 | 0,686 |
| 73 | 0,458 | 89 | 0,701 |

VII. Cronometro.

Il cronometro era un buon orologio a minuti secondi; i decimi di secondo non erano dati dal cronometro direttamente, ma venivano apprezzati dall'esperimentatore.

12. Modo di determinare la quantità di lavoro necessaria a render attivo l'elettromotore.

Si è già veduto al n.° 11, II come si possa determinare il lavoro totale che viene impiegato ad ogni minuto secondo.

Il lavoro totale comprende quella parte di lavoro che è necessaria a imprimere all'apparato una determinata velocità di rotazione allorchè l'elettromotore è inattivo, cioè non isvolge elettricità, e quella parte di lavoro che conviene

spendere in aggiunta per mantenere la medesima velocità di rotazione allorchè l'elettromotore è attivo, ossia quando la macchina è carica. Sottraendo adunque dal lavoro totale speso ad ogni secondo quando l'elettromotore è attivo, il lavoro necessario a imprimere al disco la medesima velocità allorchè è inattivo, si ottiene la misura del lavoro che si consuma ad ogni secondo per mantenere attiva la macchina. A rigore si dovrebbe tener conto di una possibile differenza tra il lavoro consumato dal roteggio quando le ruote si muovono con una data velocità ed un dato peso motore a macchina scarica, e quando ruotano colla stessa velocità, ma sotto la pressione di un peso motore maggiore essendo la macchina carica: ma questa differenza è certo molto piccola e può essere trascurata senza tema di commettere un errore molto sensibile.

Praticamente si è proceduto nel modo seguente. Si fece una serie di esperienze a macchina scarica, variando il peso motore e ottenendo così differenti velocità di rotazione rappresentate dal numero di giri fatti dal disco ad ogni minuto secondo. Poi coi dati di queste esperienze prendendo per ascisse i pesi motori delle varie esperienze e per ordinate i corrispondenti numeri di giri del disco, si costruì una curva, la quale permetteva di desumere la velocità di rotazione corrispondente ad un dato peso motore qualunque, o viceversa di conoscere qual peso motore p era capace d'imprimere al disco una data velocità di rotazione (numero di giri n al secondo) allorchè l'elettromotore era inattivo. — Quindi se P era il peso motore totale che faceva fare al disco n giri al minuto secondo essendo la macchina attiva, la curva permetteva di conoscere il peso p atto a imprimere al disco la stessa velocità quando la macchina fosse stata inattiva; laonde $P - p = m$ era veramente il peso motore efficace a far sì che la macchina in moto da inattiva diventasse attiva. — Perciò il lavoro efficace, necessario a sviluppare la corrente elettrica viene espressa da

$$L = m \cdot n \cdot 0,003834^{km} \text{ al secondo.}$$

La seguente tabella contiene i valori delle ascisse e delle ordinate, che hanno servito alla costruzione della curva. Credo utile il riportarli per dare una idea dei pesi motori p necessari ad ottenere le varie velocità. — Nella medesima tabella sono indicati i valori delle velocità espresse in numeri di giri al secondo, e corrispondenti ai pesi motori successivamente aumentati di un chilogrammo. Un semplice sguardo sui numeri contenuti nell'ultima colonna, ci fa convinti che la curva rivolge la sua concavità all'asse delle ascisse.

Tabella che contiene i valori di p e di n a macchina scarica.

| DATI SPERIMENTALI | | VALORI DEDOTTI DALLA CURVA | | |
|--|---|--------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Peso motore a macchina scarica p chilogr. | Numero di giri del disco ad ogni secondo n | Peso motore p chilogr. | Numero di giri n | Aumenti per 1 chilogr. |
| 3,064 | 1,43 | 3 | 1,32 | — |
| 4,757 | 2,56 | 4 | 2,11 | 0,79 |
| 5,922 | 3,09 | 5 | 2,67 | 0,56 |
| 8,163 | 3,88 | 6 | 3,11 | 0,44 |
| 9,856 | 4,44 | 7 | 3,49 | 0,38 |
| 11,143 | 4,82 | 8 | 3,85 | 0,36 |
| 13,384 | 5,32 | 9 | 4,19 | 0,34 |
| 15,077 | 5,73 | 10 | 4,50 | 0,31 |
| 16,258 | 5,92 | 11 | 4,78 | 0,28 |
| 18,499 | 6,44 | 12 | 5,05 | 0,27 |
| 21,462 | 6,87 | 13 | 5,29 | 0,24 |
| 26,621 | 7,69 | 14 | 5,51 | 0,22 |
| | | 15 | 5,71 | 0,20 |
| | | 16 | 5,90 | 0,20 |
| | | 17 | 6,10 | 0,19 |
| | | 18 | 6,29 | 0,19 |
| | | 19 | 6,47 | 0,18 |
| | | 20 | 6,64 | 0,17 |
| | | 21 | 6,80 | 0,16 |
| | | 22 | 6,96 | 0,16 |
| | | 23 | 7,12 | 0,16 |
| | | 24 | 7,27 | 0,15 |
| | | 25 | 7,42 | 0,15 |
| | | 26 | 7,57 | 0,15 |
| | | 27 | 7,71 | 0,14 |

La precedente tabella avrebbe potuto servire per tutte le esperienze successive, se nessun mutamento fosse stato fatto agli strumenti. Ma siccome si ebbe bisogno di tanto in tanto di togliere il disco mobile per pulirlo, e si sostituì alla primitiva molla elastica OI dell'interruttore (*Ved. fig. 1*), una molla più robusta, si dovettero determinare parecchie altre curve, le quali appalesarono lo stesso andamento della prima, mantenendosi ad essa quasi parallele. Laonde nelle successive esperienze bastava fare due o tre determinazioni a macchina scarica, per conoscere la direzione della nuova curva, e dedurre da essa i corrispondenti valori di p . — Per maggior esattezza si facevano tre o quattro esperimenti a macchina scarica con differenti pesi p per determinare il valore di n ad essi corrispondente: poi si eseguiva una serie di esperienze a macchina carica: da ultimo si ripetevano le esperienze a macchina scarica coi medesimi pesi p , e se si ottenevano le medesime velocità di rotazione n si poteva esser certi che nessun spostamento o mutamento qualsiasi era accaduto, e le esperienze si tenevano come comparabili e si calcolavano: in caso contrario si rigettavano.

Del metodo tenuto nel fare le esperienze.

13. Prima di riportare i risultati ottenuti nelle varie esperienze esporrò brevemente il metodo usato.

Lasciato in libertà il peso motore P del roteggio, questo incomincia a far girare il disco, che diventa attivo tosto che una delle armature venga toccata col bottone di una boccia di Leyda caricata con altra macchina: uno degli sperimentatori osserva l'indice del contatore, e ad ogni 50 giri del disco dà un segnale, mentre un altro legge sul cronometro e nota l'istante del segnale. Così a esperienza finita si conoscono i tempi impiegati dal meccanismo a far effettuare al disco successivamente le singole cinquantine di giri, e si ha modo di apprezzare la regolarità del moto: i due e talvolta i tre primi periodi di cinquanta giri esigono d'ordinario un tempo più lungo, perchè il meccanismo passa dallo stato di

quiete allo stato di moto guadagnando successivamente di velocità, finchè è raggiunta la massima velocità possibile col peso motore applicato, e colla resistenza opposta dal disco elettrizzato e dal volante: ottenuta questa massima velocità, il moto diventa uniforme, e le successive cinquantine di giri vengono effettuate in tempi eguali, come lo prova il seguente prospetto ove si citano, a modo d'esempio, i risultati ottenuti in una esperienza scelta a caso fra le moltissime effettuate.

ESPERIMENTO I.

Peso motore P = 16,258 Igrometro 88,5

| Lettura sul cronometro | Durata di 50 giri | Galvanometro |
|------------------------|-------------------|---------------------|
| min. secondi | min. secondi | deviazione a destra |
| 38 ⁵ | — | — |
| 60,2 | 21 ⁷ | — |
| 17,7 | 17,5 | 7 ⁰ |
| 34,6 | 16,9 | 7,5 |
| 50,2 | 15,6 | 8,0 |
| 6,0 | 15,8 | — |
| 21,2 | 15,2 | 8,2 |
| 37,0 | 15,8 | — |
| 52,1 | 15,1 | 8,3 |
| 7,9 | 15,8 | 8,2 |
| 23,3 | 15,4 | 8,2 |

Durata media delle ultime sei cinquantine = 15,52

Deviazione al galvanometro = 8²,2

La seconda colonna del precedente prospetto rappresenta in minuti secondi e frazioni di secondo la durata delle successive cinquantine di giri. Esaminando quei numeri appare chiaramente che durante i primi 150 giri il moto va accelerandosi, ma che i successivi trecento cinquanta giri sono fatti con moto uniforme: infatti la uniformità del moto

è ancora più perfetta di quanto apparisce dal prospetto, poichè le piccole differenze di decimi di secondo per ogni cinquantina di giri, sono ora in più ed ora in meno e debbonsi quindi attribuire ad inesattezza di apprezzamento, non essendo i decimi di secondo dati dall'istrumento, ma come già fu detto, stimati dallo sperimentatore. Per conseguenza prendendo il valor medio delle sei ultime cinquantine di giri si può esser certi di avere con esso il valore esatto della durata di cinquanta giri espresso in secondi e frazioni di secondo; e quindi si potrà determinare quanti giri e frazioni di giro fa il disco ad ogni secondo. Nel caso attuale la durata media di 50 giri è di $18^{\circ},52$; e quindi il disco faceva in quell'esperimento 3,23 giri al secondo.

Nella terza colonna sono registrate le deviazioni galvanometriche prodotte dalla corrente: queste deviazioni vengono osservate da un altro sperimentatore e dettate alla persona incaricata di fare le letture cronometriche e le relative annotazioni. La figura 2 mostra la disposizione dei reofori AE e BD che partendo dai poli dell'elettromotore conducono la corrente attraverso il galvanometro G. Un filo BT che comunica coi tubi del gas ha l'ufficio di impedire un possibile accumulamento di elettricità statica che turberebbe la regolarità dell'azione elettromagnetica della corrente.

Per ovviare al difetto che hanno quasi tutti i galvanometri, della non completa simmetria nell'azione elettromagnetica (per cui quando l'ago devia a destra per l'azione di una corrente, segna un angolo alquanto diverso da quello che si ottiene inviando quella corrente attraverso il filo del galvanometro, ma in senso contrario, per modo che l'ago venga deviato a sinistra), si fecero sempre due esperienze consecutive, nella seconda delle quali la corrente percorreva il filo del galvanometro in senso inverso. Così viene anche eliminato l'errore che si commetterebbe, se le spire del filo galvanometrico non fossero collocate in posizione esattamente parallela al meridiano magnetico.

Il prospetto seguente dà i risultati ottenuti nella seconda esperienza. Da esso si rileva che la durata media delle

ultime sei cinquantine di giri eguaglia 15,56 secondi, che quindi il disco ruotava in quell'esperimento colla velocità di giri 3,21 al secondo, pressochè identica alla precedente: sicchè in media si ha dai due esperimenti la velocità di giri 3,22 al secondo.

La deviazione poi in questo secondo esperimento fu di 7°,0 a sinistra, mentre prima era di 8°,2 a destra, e quindi si ha il valore medio di 7°,60 a cui corrisponde la intensità di 7,70 (*Ved. la Tab. al N. 11, IV*).

Il peso *p* capace di produrre la medesima velocità di rotazione a macchina scarica, fu trovato in quel giorno essere uguale a 7,125 chilogr.

ESPERIMENTO II.

$$P = 16,258 \text{ Igrometro } 88,5$$

| Cronometro min. secondi | Durata di 50 giri min. secondi | Galvanometro a sinistra |
|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 4,2 | — | — |
| 23,0 | 20,8 | — |
| 41,3 | 16,3 | — |
| 58,0 | 16,7 | 6°8 |
| 14,5 | 16,5 | 6,9 |
| 30,5 | 16,0 | 7,0 |
| 46,2 | 15,7 | 7,0 |
| 2,5 | 16,3 | — |
| 17,5 | 15,0 | — |
| 33,0 | 15,5 | 7,0 |
| 48,3 | 15,3 | — |

Durata media di 50 giri = 15,56 secondi.

Esperienze per determinare la relazione esistente fra l'intensità della corrente e la velocità di rotazione del disco, come pure fra l'intensità ed il lavoro speso ad ogni secondo, ed anche per conoscere l'influenza dello stato igrometrico.

14. Delle moltissime esperienze fatte, mi limiterò a qui riferirne solamente quattro serie fatte a differente stato igrometrico una serie dall'altra, mentre le esperienze fatte in una medesima serie si riferiscono ad un medesimo grado di umidità.

Esperienze eseguite il dì 15 Maggio 1874.

Igrometro 88,5 = 0,693 umidità relativa.

[illegible]

Esperienze del dì 3 Maggio 1874.

Igrometro 79,0 = 0,541 umidità relativa.

| P | p | m | n | i | Lavoro efficace ad ogni 1° secondo L | $\frac{n}{i}$ | $\frac{L}{i}$ |
|--------------|---------|---------|---------|--------|---|---------------|---------------|
| chilog. | chilog. | chilog. | al sec. | | | | |
| 16,258 | 5,875 | 10,383 | 2,66 | 7, 0 | 0,1093 | 0,380 | 0,0156 |
| 21,462 | 9,355 | 12,107 | 3,90 | 11, 1 | 0,1810 | 0,351 | 0,0163 |
| 26,621 | 13,050 | 13,571 | 4,90 | 15, 6 | 0,2549 | 0,314 | 0,0163 |
| 31,858 | 17,950 | 13,908 | 5,88 | 18, 95 | 0,3135 | 0,310 | 0,0165 |
| 37,058 | 22,438 | 14,620 | 6,78 | 22, 0 | 0,3800 | 0,308 | 0,0172 |
| Medio | | | | | | 0,333 | 0,0164 |

Esperienze del dì 2 Maggio.

Igrometro $75,4 = 0,490$ umidità relativa.

[illegible]

Esperienze del dì 2 Giugno.

Igrometro 64,0 = 0,355 umidità relativa.

| P | p | m | n | i | L | $\frac{n}{i}$ | $\frac{L}{i}$ |
|--------|--------|--------|------|-------|--------|---------------|---------------|
| 21,462 | 5,500 | 15,962 | 2,29 | 7,40 | 0,1401 | 0,309 | 0,0189 |
| 31,858 | 15,700 | 16,158 | 5,70 | 19,40 | 0,3531 | 0,294 | 0,0182 |
| 37,058 | 20,562 | 16,496 | 6,83 | 23,60 | 0,4319 | 0,289 | 0,0183 |
| 42,307 | 25,266 | 17,041 | 7,66 | 26,30 | 0,5004 | 0,292 | 0,0191 |
| Medio | | | | | | 0,296 | 0,0186 |

Conseguenze che derivano dalle suindicate esperienze.

15. Una semplice considerazione dei risultati numerici contenuti nelle precedenti tabelle, e specialmente di quelli registrati nelle due ultime colonne, ci autorizza a trarre le seguenti conclusioni:

I. In una medesima serie di esperienze (fatte cioè all'identico stato igrometrico) l'intensità della corrente è prossimamente, ma non esattamente proporzionale alla velocità del disco.

Il Kohlrausch in un suo lavoro intitolato: *Misura assoluta della corrente della macchina di Holtz* (1), sostiene invece che la deviazione della bussola è proporzionale alla velocità di rotazione: ma egli girava il disco colla mano, e non poteva quindi apprezzare la velocità di rotazione col grado di precisione raggiunto in queste esperienze.

Invece bisogna concludere, che in una medesima serie di esperienze la intensità della corrente cresce alquanto più rapidamente della velocità di rotazione del disco.

(1) Ueber die von der Influenz — Maschine erregte Elektricitäts Menge nach absolutem Maasse von F. Kohlrausch, Pogg. Ann. Vol. 135, pag. 120.

Infatti in ogni serie di esperienze, il rapporto tra il numero di giri n fatti al secondo, e la intensità i della corrente va successivamente decrescendo.

II. Il rapporto tra la velocità di rotazione e l'intensità della corrente, non è indipendente dallo stato igrometrico dell'aria, come aveva creduto di provare il Kohlrausch nella memoria citata, ma varia abbastanza sensibilmente col variare dello stato medesimo, in modo che col crescere dell'umidità, cresce anche il rapporto $\frac{n}{i}$; vale a dire il numero dei giri che deve fare il disco ad ogni secondo, affinché si sviluppi una corrente di determinata intensità, è maggiore nelle giornate umide, che nelle asciutte.

Infatti si vede dai prospetti, che il valor medio di $\frac{n}{i}$ (che rappresenta il numero di giri corrispondenti all'intensità i data dal galvanometro) era uguale a 0,367, quando lo stato igrometrico era 0,69;
 riuscì 0,333, poi 0,306, indi 0,296
 quando 0,54 » 0,49 » 0,36
 divenne lo stato igrometrico.

III. Il lavoro efficace (che serve a rendere attiva la macchina) speso ad ogni minuto secondo è esattamente proporzionale alla intensità della corrente.

Infatti i numeri che rappresentano quel rapporto $\frac{L}{i}$ differiscono, in una medesima serie di esperienze, così poco fra di loro che si possono riguardare come identici.

IV. Il rapporto tra il lavoro speso e l'intensità della corrente, diminuisce col crescere della umidità; in modo che ad ottenere in una giornata umida una corrente di determinata intensità, occorre bensì una maggiore velocità di rotazione, ma pur tuttavia s'impiega un minor lavoro.

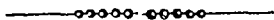
Infatti si rileva dalla tabella che ad ottenere la intensità $i=22,20$ quando lo stato igrometrico era 0,69, il disco doveva fare giri 7,43 al secondo, mentre bastarono giri 6,78 al secondo, per sviluppare una corrente d'intensità $i=22,0$

allorchè lo stato igrometrico era 0,54: e tuttavia nel primo caso s'impiegavano soli 0,315 chilogrammetri al secondo, mentre nel secondo fu necessario il lavoro di 0,380 chilogrammetri.

Si trova inoltre che ai gradi di umidità relativa 0,36 ; 0,49; 0,54; 0,69, corrispondono i valori 0,0164; 0,0180; 0,0164; 0,0143 del rapporto $\frac{L}{i}$ tra il lavoro e l'intensità. Laonde ri-

sulta questo fatto singolare, che la macchina di Holtz è più economica nelle giornate umide che nelle asciutte.

Nella prossima adunanza darò la spiegazione di questo fenomeno, e dimostrerò che le correnti delle macchine elettriche seguono la legge di Ohm, come tutte le altre correnti elettriche.



SOPRA UN NUOVO INTERRUETTORE E SUL SUO USO IN ALCUNE ESPERIENZE DI INDUZIONE; PER R. FELICI.

1. Nel corso di alcuni miei studi, sulle azioni elettriche manifestate da un coibente soggetto all'azione a distanza di un corpo elettrizzato, pensai che mi potevano essere utili, e forse anche indispensabili, alcune esperienze sulla variabile intensità delle correnti indotte dal magnetismo di una massa di ferro dolce, durante il piccol tempo che essa impiega ad acquistare od a perdere il magnetismo indotto da una forza esteriore, che subitamente comincia o cessa di agire; e fino dall'anno scorso feci alcune prove con un interruttore atto ad aprire od a chiudere dei circuiti ad intervalli brevissimi di tempo. Avevo una spirale voltaica per magnetizzare un cilindro di ferro dolce; il quale poi magnetizzandosi, e smagnetizzandosi, induceva una corrente in un'altra spirale separata dalla prima.

Andai modificando la forma di quel mio interruttore, a misura che le esperienze me ne accennavano i difetti; ed ora che mi pare semplice, esatto e di un uso facile, lo descrivo.