

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCXC.

1893

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME II.

1° SEMESTRE



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1893

branche, ho veduto che esse attiravano ugualmente lo stesso polo dell'ago magnetico; poi ho fatto agire la corrente per circa 10 minuti, ed esaminando di nuovo le due branche le ho trovate polarizzate, l'una attirava l'altra respingeva lo stesso polo; senza dubbio il corista si era magnetizzato. Per accertarmene meglio ho fatto agire la corrente in senso opposto pure per 10 minuti, ed ho trovato scomparsa ogni traccia di magnetismo, e dopo altri 10 minuti di azione ho trovato i poli scambiati.

« Questo fatto merita un esame speciale ed io mi propongo di farlo quant prima. Per intanto si può consigliare a coloro che hanno bisogno di adoperare coristi elettromagnetici per un tempo piuttosto lungo di invertire di quando in quando la corrente per impedire così la magnetizzazione del corista ».

Elettricità. — *Sulla dissipazione di energia in un campo elettrico rotante e sulla isteresi elettrostatica* (1). Nota dell'ing. RICCARDO ARNÒ, presentata dal Socio G. FERRARIS.

« In una precedente Nota (2) ho esposto un metodo per la produzione di un campo elettrico rotante per mezzo di una semplice differenza di potenziali alternativa fra due punti fissi, ed ho dimostrato che un cilindro dielettrico, collocato in quel campo, segue la rotazione del campo stesso. Questo fatto, io ho soggiunto, si può attribuire ad un fenomeno di *isteresi elettrostatica* nei corpi dielettrici, analogo a quello di isteresi magnetica nei corpi magnetici, e può anzi essere utilizzato per ricerche quantitative sopra tale fenomeno.

« Prima della pubblicazione di un recente lavoro (3) del signor Hess sopra gli isolanti, in cui l'autore espone una teoria secondo la quale il riscaldamento di un corpo dielettrico, sotto l'influenza di un campo elettrostatico alternativo, sarebbe dovuto, almeno in parte, alla presenza di corpuscoli conduttori disseminati nel dielettrico stesso, era sembrato che quel riscaldamento si dovesse semplicemente attribuire ad un'isteresi elettrostatica. Ed anzi, il signor Proteus Steinmetz, misurando l'energia trasformata in calore nel coibente di un condensatore a carta paraffinata, in funzione della differenza di potenziali alternativa efficace fra le armature del condensatore medesimo, e trovando la prima proporzionale al quadrato della seconda, credette poter ritenere tale relazione siccome quella che rappresenta la dissipazione di energia

(1) Lavoro eseguito nel Laboratorio di Elettrotecnica del R. Museo industriale italiano in Torino.

(2) Rendiconti, fascicolo del 16 ottobre 1892, p. 284. *Campo elettrico rotante e rotazioni dovute all'isteresi elettrostatica.*

(3) La Lumière électrique, 26 novembre e 10 dicembre 1892, p. 401 e 507. - *Sur les isolants.*

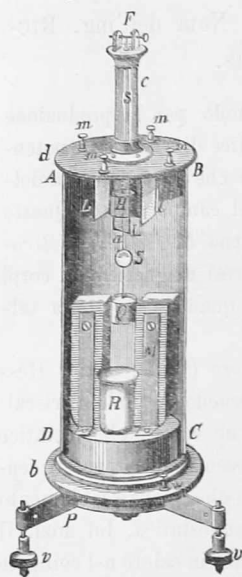
per isteresi nei corpi dielettrici (1). Ma dopo i lavori di Hess, se sono vere le sue asserzioni, nè il fatto del riscaldamento di un condensatore è sufficiente a dimostrare l'esistenza dell'isteresi elettrostatica nei corpi isolanti, nè le esperienze di Steinmetz, i risultati delle quali non sembrano in contraddizione colle teorie di Hess, possono servire a stabilire la legge di tale fenomeno.

« Gli è perciò che ho creduto incominciare a pubblicare qualche risultato di ricerche, che da qualche tempo ho intraprese e che sto tuttora continuando, sopra diversi dielettrici, ricerche a cui, nel mio lavoro sovracitato, già ebbi occasione di accennare. Oggetto di questa Nota è la descrizione di un apparecchio, in cui si utilizza il principio della rotazione di un cilindro dielettrico in un campo elettrico rotante per lo studio del fenomeno di isteresi elettrostatica nei corpi isolanti, e l'esposizione di alcuni risultati ottenuti sperimentando, coll'apparecchio medesimo, sopra un cilindro di ebanite.

« L'apparecchio, di cui intendo parlare, comprende una base circolare *b* di ottone, che può girare intorno al proprio asse sopra un piede *P* munito di viti di livello *v*. Su questa base sono fissati u. l. potente magnete *M* a ferro di cavallo ed una cassa cilindrica *ABCD* di metallo, la quale involupa tutte le parti principali dello strumento e serve come schermo elettrico. Un morsetto *w*, in comunicazione coll'involuppo conduttore *ABCD*, permette di mettere il medesimo in comunicazione colla terra. Il coperchio *d*, che è di ebanite, sostiene anzitutto una colonna di vetro *c*, che porta alla sua estremità superiore il sostegno *F* di una sospensione bifilare *s*, per mezzo della quale è sospeso un piccolo cilindro cavo *H* di materia isolante. Quest'ultimo si muove nello spazio compreso fra quattro lastre *L* di rame verticali, dell'altezza di 42 mm. e della larghezza di 21 mm., rispettivamente affacciate, alla distanza di 42 mm., le une alle altre e sostenute

dal coperchio *d* per mezzo di viti, che attraversano il coperchio stesso e terminano in quattro morsetti *m*. Così disposte, le lastre *L* costituiscono un complesso di due coppie di lastre metalliche incrociate, tra cui si possono produrre, mediante due differenze di potenziali alternative spostate nella loro fase di un quarto di periodo, i due campi elettrici destinati alla generazione del campo

(1) Elektrotechnische Zeitschrift, 29 aprile 1892, p. 227. - *Dielektrische Hysteresis, der Energieverlust in dielektrischen Medien unter dem Einfluss eines wechselnden elektrostatischen Feldes.*



elettrico rotante necessario per l'esperimento. Nel centro della base inferiore del cilindro dielettrico H è poi appesa un'asticciuola a di alluminio, la quale sostiene uno specchietto piano S, per la misura con cannocchiale e scala dell'angolo di rotazione, ed un cilindretto Q, vuoto e chiuso, di rame elettrolitico, che oscilla fra i poli della calamita M e rende quindi l'apparecchio affatto aperiodico. Questo cilindro pesa 14,210 grammi, ha l'altezza di 24 mm. ed il diametro esterno di 30 mm. Finalmente, un recipiente di vetro R, contenente del cloruro di calcio, è collocato nella cassa ABCD e serve come essiccatore.

« La sensibilità dello strumento può farsi variare fra limiti assai estesi, sia col variare la distanza dei due fili costituenti la sospensione bifilare, mediante un congegno analogo a quello adoperato per lo stesso scopo nell'elettrometro a quadranti di Mascart, sia col variare il peso sostenuto dalla sospensione stessa, per mezzo di piccoli dischi di rame, di spessore e diametro diverso, i quali possono venire collocati a piacimento sul cilindro di rame Q.

« Vediamo ora in qual modo l'apparecchio possa servire a determinare l'energia che, in causa della rotazione del campo, si dissipa nel cilindro dielettrico. Scriviamo, a tal fine, l'equazione di equilibrio del cilindro mobile H. Dicendo M il momento della coppia deviatrice a cui, per la simmetria dell'apparecchio, si riducono tutte le forze elettriche deviatrici che agiscono su H, ed M' il momento della coppia direttrice dovuta alla sospensione, si ha

$$M = M'.$$

« Ora, indicando con W il lavoro fatto dalle forze elettriche deviatrici nell'unità di tempo e con ω la velocità angolare del campo elettrico, si può scrivere

$$M = \frac{W}{\omega}.$$

Ed essendo

$$\omega = 2\pi n,$$

ove π rappresenta il rapporto della circonferenza al diametro ed n la frequenza della corrente alternativa adoperata nell'esperimento:

$$M = \frac{W}{2\pi n}.$$

D'altra parte

$$M' = k \text{ sen } \delta,$$

ove δ è la deviazione dell'equipaggio mobile e k la costante della sospensione bifilare. E per piccole deviazioni:

$$M' = k\delta.$$

Onde si ottiene

$$\frac{W}{2\pi n} = k\delta,$$

ossia, ponendo $2\pi nk = K$:

$$W = K\delta.$$

Il lavoro di cui si tratta è adunque proporzionale alla deviazione dell'equipaggio mobile.

* Ora, dicendo P il peso in grammi sostenuto dalla sospensione bifilare, l la lunghezza in centimetri della medesima, a e b rispettivamente la distanza in centimetri superiore ed inferiore fra i due fili costituenti la sospensione stessa, si ha

$$k = \frac{100. g. P. a. b}{l}$$

ove con g si rappresenta l'accelerazione dovuta alla gravità, espressa in metri, per 1". Onde

$$K = \frac{200. \pi. n. g. P. a. b}{l}$$

Nota la deviazione δ si può quindi ricavare immediatamente il lavoro W espresso in erg:

$$W = \frac{200. \pi. n. g. P. a. b}{l} \delta.$$

* Nelle esperienze, di cui esporrò fra poco i risultati, che ho eseguite facendo uso dell'apparecchio ora descritto, il cilindro H era di ebanite, vuoto e chiuso, del peso di 6,990 grammi, dell'altezza di 24 mm. e del diametro esterno di 30 mm. Per ottenere le due differenze di potenziali alternative spostate nella loro fase di 90°, fra le due coppie di lastre L , racchiudenti lo spazio in cui si deve produrre il campo elettrico rotante, mi sono servito della disposizione descritta nella mia Nota sovracitata, disposizione colla quale quelle due differenze di potenziali si ricavano da un'unica differenza di potenziali alternativa esistente alle estremità della spirale secondaria di un grande rocchetto di Ruhmkorff, adoperato come semplice trasformatore, la cui spirale primaria è inserita nel circuito di una macchina a corrente alternativa. Un grande reostato serviva a modificare l'intensità della corrente nel circuito stesso, con che si faceva variare la differenza di potenziali alle estremità della spirale secondaria del trasformatore, e per conseguenza l'intensità del campo elettrico rotante.

* Ciò posto, poichè, com'è stato dimostrato, il lavoro W nel cilindro sospeso è proporzionale alla deviazione dell'equipaggio mobile, o, ciò che fa lo stesso, alla lettura d fatta col cannocchiale, e poichè il campo elettrico rotante, per il modo speciale con cui esso si produce, ha un'intensità costante F proporzionale alla differenza di potenziali alle estremità della spirale secondaria del rocchetto, e quindi alla differenza di potenziali efficace v alle estremità della spirale primaria del rocchetto stesso, basterà fare, per diversi valori di v , le corrispondenti letture d col cannocchiale. Per la misura della differenza di potenziali v serviva un voltmetro di Cardew, preventivamente tarato, inserito sulla spirale secondaria di un trasformatore Zipernowsky, calcolato per un rapporto di trasformazione di 1 a 4, la spi-

rile primaria del quale era messa in parallelo tra i due morsetti primari del rocchetto di Ruhmkorff. Così operando, la lettura sul voltmetro era, in ogni esperienza, uguale a quattro volte la differenza di potenziali v , onde si poteva avere, nelle indicazioni del voltmetro, una precisione maggiore di quella che si sarebbe ottenuta adoperando lo strumento senza l'intermediario del trasformatore.

« Nelle prime colonne della seguente tabella sono indicati i risultati delle mie esperienze, eseguite con una corrente alternativa, avente una frequenza uguale a 40, fornita da una macchina Siemens a bassa tensione. Nella seconda colonna sono registrate le differenze di potenziali alternative efficaci v in volt, misurate per mezzo del voltmetro di Cardew, e nella terza colonna le letture d in mm. fatte col cannocchiale.

N	v	d osservato	d calcolato	A	$=$ %
1	5	18	18,81	- 0,81	- 4,5
2	6	26	25,20	+ 0,80	+ 3,1
3	7	33	32,29	+ 0,71	+ 2,2
4	8	41	40,01	+ 0,99	+ 2,4
5	9	49	48,33	+ 0,67	+ 1,4
6	10	57	57,29	- 0,29	- 0,5
7	11	65	66,68	- 1,68	- 2,6
8	12	74	76,75	- 2,75	- 3,7
9	13	86	87,36	- 1,36	- 1,6
10	14	96	98,34	- 2,34	- 2,4
11	15	107	109,88	- 2,88	- 2,7
12	16	120	121,88	- 1,88	- 1,6
13	17	138	134,19	+ 3,81	+ 2,8
14	18	158	147,19	+10,81	+ 6,8

« Per avere anche un'idea dei valori limiti dell'intensità F del campo elettrico rotante, fra cui ho sperimentato, basta osservare che essa è uguale all'intensità massima di ciascuno dei due campi elettrici alternativi componenti, e che questa si ottiene dividendo la differenza di potenziali massima fra due lastre opposte per la distanza fra le lastre stesse. E siccome il valore massimo di tale differenza di potenziali è uguale al valore efficace della differenza di potenziali medesima moltiplicato per $\sqrt{2}$, e quindi al valore efficace della differenza di potenziali esistente alle estremità della spirale secondaria del rocchetto di Ruhmkorff, così l'intensità del campo rotante si ottiene senz'altro dividendo quest'ultima differenza di potenziali efficace per la distanza fra le lastre. Per avere un valore approssimativo della differenza

di potenziali efficace fra le estremità della spirale secondaria del rocchetto, mi sono servito di un voltmetro elettrostatico di Thomson. Questo strumento segnava nella prima esperienza 1200 e nell'ultima 4200 volt, che corrispondono rispettivamente a 4 e 14 unità elettrostatiche C. G. S.; la distanza fra le lastre era, come fu detto, 4,2 cm.: dunque l'intensità del campo elettrico rotante variò fra i limiti $\frac{4}{4,2}$ e $\frac{14}{4,2}$, ossia tra 0,95 e 3,33 unità elettrostatiche C. G. S.

• Se in un sistema di due assi coordinati ortogonali si portano come ascisse i valori di $\log v$ e come ordinate i valori di $\log d$, ricavati dalla precedente tabella, si trovano punti, il luogo geometrico dei quali è, con sufficiente approssimazione, una linea retta. Ciò dimostra che i valori medesimi soddisfano ad una relazione della forma

$$d = hv^x,$$

ove h ed x sono costanti, e che per conseguenza, detta H un'altra costante, si può pure scrivere

$$W = HF^x.$$

Ponendo

$$\log d = \log h + x \log v,$$

e determinando i valori dei parametri $\log h$ ed x col metodo dei minimi quadrati, si trova

$$\log h = 0,1511, \text{ ossia } h = 1,416,$$

$$x = 1,607.$$

Quindi

$$d = 1,416 v^{1,607}.$$

Con questa formola sono stati calcolati i valori di d , indicati nella quarta colonna della tabella. Le differenze \mathcal{A} percentuali, registrate nell'ultima colonna della tabella stessa, non sono maggiori di quelle che presentano i valori calcolati per l'isteresi magnetica nel ferro dolce colla formola di Steinmetz (1).

• Risulta adunque che la relazione tra l'energia dissipata nell'ebanite e l'intensità del campo elettrico è della forma

$$W = HF^{1,6}.$$

In questa formola, analoga a quella con cui Steinmetz rappresenta il lavoro consumato per l'isteresi magnetica, l'esponente di F non è quello che si avrebbe se la coppia, che trascina il cilindro nella rotazione del campo, fosse dovuta a corpuscoli conduttori disseminati nel dielettrico. Quindi le esposte esperienze confermano l'idea che il fenomeno sia dovuto ad un'isteresi elettrostatica (2).

(1) Elektrotechnische Zeitschrift, 6 febbraio 1891, p. 63. — *Einige Bemerkungen über Hysteresis.*

(2) A provare l'esistenza dell'isteresi elettrostatica concorre un recentissimo lavoro del sig. Janet (Comptes rendus, t. CXVI, 20 febbraio 1893, p. 373. — *Hystérésis et viscosité diélectrique du mica pour des oscillations rapides.*)