

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCXCI.

1894

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME III.

1° SEMESTRE



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1894

Elettricità. — *Esperienze con un sistema di condensatori a coibente mobile.* Nota di RICCARDO ARNÒ ⁽¹⁾, presentata dal Socio G. FERRARIS.

« Il principio, da me dimostrato, della rotazione di un cilindro dielettrico in un campo elettrico rotante ⁽²⁾, mi ha servito di base per alcune ricerche, le quali mi condussero a stabilire che la relazione tra l'energia dissipata W in un cilindro dielettrico e l'intensità F del campo rotante è, nei limiti delle esperienze, della forma

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

ove H è una costante ⁽³⁾.

« E poichè F , ritenuto costante il potere induttore specifico del dielettrico sperimentato, è, in ogni punto dello spazio occupato dal dielettrico, proporzionale all'induzione elettrostatica B nel punto considerato ⁽⁴⁾, si può pure scrivere, detta K un'altra costante:

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

« Questa formola, analoga a quella con cui Steinmetz rappresenta il lavoro consumato per l'isteresi magnetica nei corpi magnetici ⁽⁵⁾, concorre a confermare l'idea, già da me manifestata sin dal principio delle mie esperienze, che il fenomeno si debba attribuire ad un'isteresi elettrostatica nei corpi dielettrici.

« È pure noto che il sig. Steinmetz, sperimentando sopra un condensatore a carta paraffinata, inserito nel circuito di una forza elettromotrice alternativa, e misurando l'energia w trasformata in calore nel coibente di quel condensatore in funzione della differenza di potenziale alternativa efficace e

⁽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⁾ Rendiconti, fascicolo del 30 aprile 1893, p. 341: *Sulla dissipazione di energia in un campo elettrico rotante e sulla isteresi elettrostatica.* — Rendiconti, fascicolo del 12 novembre 1893, p. 260: *Ricerche quantitative sulla dissipazione di energia nei corpi dielettrici in un campo elettrico rotante.*

⁽⁴⁾ Trattandosi di spazi occupati in parte da materia la cui costante dielettrica non è uguale all'unità, è ovvio considerare, in luogo della forza elettrica, l'induzione elettrostatica, che è un vettore a distribuzione solenoidale.

⁽⁵⁾ Elektrotechnische Zeitschrift, 6 febbraio 1891, p. 63: *Einige Bemerkungen über Hysteresis.* — Elektrotechnische Zeitschrift, 22 e 29 gennaio 1892, p. 43 e 55: *Experimentelle Bestimmungen des Energieverlustes durch Hysteresis und seiner Abhängigkeit von der Intensität der Magnetisirung.*

fra le armature del medesimo, trovò w proporzionale al quadrato di e (1), ossia, essendo e proporzionale all'induzione elettrostatica B :

$$w = kB^2,$$

ove k è una costante.

« Secondo Steinmetz esisterebbero nei corpi dielettrici due cause differenti di dissipazione di energia, e queste sarebbero un' *isteresi dielettrica statica* (static dielectric hysteresis) ed un' *isteresi dielettrica viscosa* (viscous dielectric hysteresis), corrispondenti, nei circuiti magnetici, la prima all'isteresi magnetica e la seconda alle correnti di Foucault (2).

« A tal proposito Steinmetz osserva che, mentre nelle sue esperienze l'induzione elettrostatica B variò fra 59 e 230 unità elettrostatiche C. G. S., con una frequenza della corrente alternativa uguale a 170, le mie ricerche, invece, furono eseguite con una frequenza uguale a 40 e fra limiti di B notevolmente più piccoli (0,99 e 2,78 unità elettrostatiche C. G. S.). Se quindi, così almeno pensa questo scienziato, l'isteresi dielettrica viscosa varia col quadrato della frequenza e dell'induzione elettrostatica, precisamente come la dissipazione di energia per correnti di Foucault nei circuiti magnetici, mentre l'isteresi dielettrica statica segue la legge dell'isteresi magnetica, la prima potrà essere trascurabile per piccole frequenze e piccoli valori di B , mentre invece gli effetti dell'ultima potranno essere completamente dissimulati dagli effetti dell'isteresi viscosa, per grandi frequenze e grandi valori dell'induzione elettrostatica.

« È oggetto di questa Nota la descrizione di un metodo per la produzione di campi elettrici rotanti di notevole intensità e l'esposizione di alcuni risultati ottenuti sperimentando, con un apparecchio in cui quel metodo è utilizzato, sopra un cilindro di carta paraffinata.

« Per produrre, fra due lastre metalliche affacciate A e B (fig. 1), un campo elettrico di grande intensità, senza dover ricorrere a differenze di potenziali troppo grandi, basta fare, come negli ordinari condensatori elettrici,

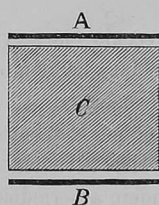


FIG. 1.

piccola la distanza fra le due lastre; oppure, ciò che fa lo stesso, interporre nello spazio compreso fra le medesime un parallelepipedo C di materia conduttrice. In quest'ultimo caso, infatti, poichè, per una data differenza di potenziale tra A e B , l'integrale della forza elettrica lungo una linea che parte da una lastra e termina sull'altra è costante ed uguale a quella differenza di potenziale, e poichè la forza elettrica è nulla in ogni punto di C ,

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

(2) The Electrical World, 26 agosto 1893, p. 144: *Electromagnetic and Electrostatic Hysteresis.*

deve necessariamente risultare grande il valore della forza stessa in un punto qualunque dei due spazi compresi fra A e C , B e C . Tali spazi costituiscono allora i coibenti dei due condensatori, le cui armature sono rispettivamente A , C e B , C .

« Nel caso di un campo elettrico rotante, generato fra due coppie A , B ed A' e B' di lastre metalliche incrociate (fig. 2), non è evidentemente possibile, per accrescere l'intensità del campo, avvicinare le quattro lastre l'una all'altra oltre un certo limite. Per produrre campi elettrici intensi mediante differenze di potenziali non troppo grandi, si dovrà allora ricorrere all'artificio di collocare nello spazio compreso fra le quattro lastre un corpo conduttore, per esempio un cilindro di rame C , come è indicato in figura.

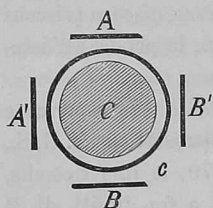


FIG. 3.

« Per la generazione del campo elettrico rotante mi sono servito della medesima disposizione di cui ho fatto uso in tutte le mie esperienze precedenti, la quale ha il vantaggio di non richiedere, per la produzione del campo stesso, che una semplice differenza di potenziale alternativa fra due punti fissi (1).

« Se si sospende, per mezzo di una bava di seta, nello spazio compreso fra il cilindro C e le quattro lastre A , B , A' , B' , un cilindro cavo c di carta paraffinata, quest'ultimo incomincia subito a rotare intorno al proprio asse seguendo la rotazione del campo elettrico. E se, mentre il cilindro sta girando in un senso, si inverte la rotazione del campo, anche il cilindro sospeso, dopo essersi rapidamente fermato, prende a rotare in senso inverso.

« Il complesso delle quattro lastre A , B , A' , B' , del cilindro conduttore C e del cilindro dielettrico c può essere considerato come un sistema di quattro condensatori affacciati gli uni agli altri, nei quali il coibente si muove continuamente nel verso in cui si spostano le cariche elettriche sulle rispettive armature A e C , B e C , A' e C , B' e C dei quattro condensatori in questione.

« Nella figura 3 è rappresentato, nella scala di 1.6, l'apparecchio che servì alle mie ricerche, il quale non differisce da quello descritto nelle due ultime mie Note sovraccitate che per una diversa disposizione delle varie sue parti. In s è rappresentata la sospensione bifilare, in S lo specchietto piano per la misura con cannocchiale e scala dell'angolo di rotazione, in M e Q rispettivamente il magnete ed il cilindro di rame elettrolitico destinati a rendere a periodico

(1) Nei miei esperimenti la differenza di potenziale alternativa, destinata alla generazione del campo elettrico rotante, era prodotta per mezzo di un grande rocchetto di Ruhmkorff, privato del commutatore ed inserito nel circuito secondario di un trasformatore Zipernowsky, destinato a trasformare, a sua volta, la corrente alternativa fornita, per mezzo di un cavo della Società Piemontese di Elettricità, da una macchina Thury ad alta tensione esistente in una delle Stazioni centrali della Società stessa.

l'apparecchio, in A, B ed A', B' le due coppie di lastre di rame incrociate, in C il cilindro di rame, di cui abbiamo detto, in c il cilindro cavo di carta paraffinata, in R il recipiente contenente il cloruro di calcio per l'essiccazione, e finalmente in Z la cassa metallica, che racchiude tutte le parti principali dello strumento e serve come schermo elettrico.

« Ciò posto, poichè il lavoro W , espresso in erg, fatto dalle forze elettriche deviatrici nell'unità di tempo, e l'induzione elettrostatica B , espressa in unità elettrostatiche $C. G. S.$, sono rispettivamente proporzionali alla lettura d in millimetri fatta col cannocchiale ed alla differenza di potenziale alternativa efficace v in volt, alle estremità della spirale primaria del rocchetto, basterà fare, per trovare la relazione esistente tra W e B , per diversi valori di v , le corrispondenti letture d col cannocchiale.

« Le esperienze, di cui sto per esporre i risultati, furono eseguite alla

temperatura di circa 14° centigradi, con una corrente alternativa di frequenza uguale a 40, sopra un cilindro convenientemente essiccato di carta paraffinata, vuoto e chiuso superiormente, del peso di 4,878 grammi, del diametro esterno di 37 mm. dell'altezza di 30 mm. e della grossezza di 1,3 mm.

« Nelle prime colonne delle tabelle I e II sono indicati i risultati delle mie esperienze.

Nella seconda colonna di ciascuna tabella sono registrate le differenze di potenziali efficaci V , misurate per mezzo di un voltmetro di Cardew preventivamente tarato, esistenti alle estremità della spirale secondaria di un trasformatore Zipernowsky, calcolato per un rapporto di trasformazione di 1:4, la spirale primaria del quale era messa in parallelo colla spirale primaria del rocchetto di Ruhmkorff; nella terza colonna sono registrati i

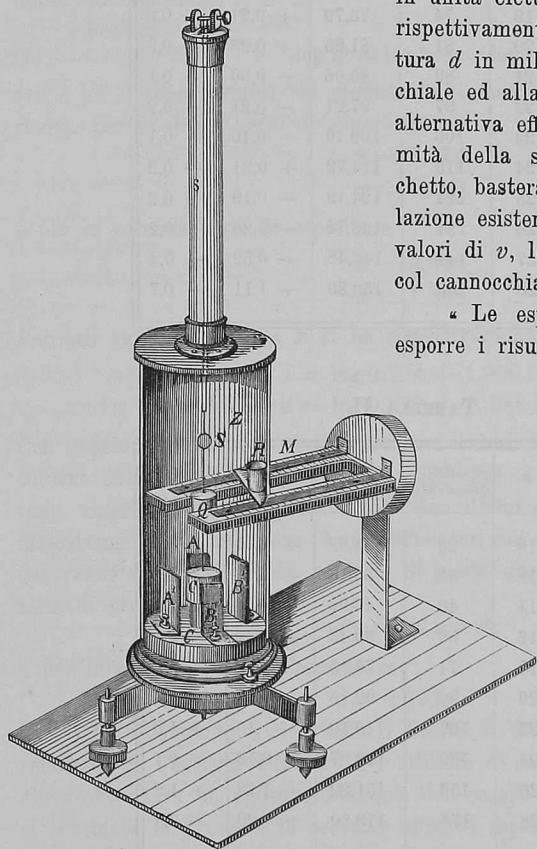


FIG. 3.

valori di v , rispettivamente ottenuti dividendo per 4 le letture sul voltmetro; e finalmente nella quarta colonna sono registrate le letture d fatte col cannocchiale.

TABELLA I.

N°	V	v	d osservato	d calcolato	Δ	= %
1	76	19	74	73,79	+ 0,21	+ 0,3
2	80	20	81	81,25	- 0,25	- 0,3
3	84	21	89	89,06	- 0,06	- 0,1
4	88	22	97	97,21	- 0,21	- 0,2
5	92	23	106	106,10	- 0,10	- 0,1
6	96	24	115	114,79	+ 0,21	+ 0,2
7	100	25	124	124,19	- 0,19	- 0,2
8	104	26	134	133,74	+ 0,26	+ 0,2
9	108	27	144	143,48	+ 0,52	+ 0,4
10	112	28	155	153,89	+ 1,11	+ 0,7

TABELLA II.

N°	V	v	d osservato	d calcolato	Δ	= %
1	40	10	26	24,89	+ 1,11	+ 4,3
2	48	12	35	35,10	- 0,10	- 0,3
3	56	14	46	46,96	- 0,96	- 2,1
4	64	16	59	60,43	- 1,43	- 2,4
5	72	18	74	75,43	- 1,43	- 1,9
6	80	20	90	92,13	- 2,13	- 2,4
7	88	22	109	110,10	- 1,10	- 1,0
8	96	24	130	129,87	+ 0,13	+ 0,1
9	104	26	153	151,22	+ 1,78	+ 1,2
10	112	28	178	173,80	+ 4,20	+ 2,4

« Le esperienze compilate nella tabella I si riferiscono a valori di v compresi fra 19 e 28, mentre invece quelle compilate nella tabella II si riferiscono a valori di v compresi fra 10 e 28. E poichè dalla relazione

$$B = \frac{N}{300 (\lambda - d)} v,$$

ove N è il rapporto di trasformazione del rocchetto, λ la distanza in centimetri fra le lastre e δ il diametro in centimetri del cilindro C , si ricava, nel nostro caso in cui $N = 250$, $\lambda = 4,4$ cm., $\delta = 2,8$ cm:

$$B = \frac{V}{1,92},$$

ne segue che i valori limiti di B sono rispettivamente, nella prima serie di esperienze 9,90 e 14,58, e nella seconda serie di esperienze 5,21 e 14,58 unità elettrostatiche *C. G. S.*

« Ponendo

$$(1) \quad \log d = \log h + x \log v,$$

ove h ed x sono costanti, ed applicando il metodo dei minimi quadrati, si ricava, per la prima serie di esperienze:

$$h = 0,274,$$

$$x = 1,900,$$

e per la seconda serie di esperienze:

$$h = 0,322,$$

$$x = 1,888.$$

Per tali valori di h e di x si ha rispettivamente:

$$\log d = \log 0,274 + 1,900 \log v,$$

$$\log d = \log 0,322 + 1,888 \log v.$$

Con queste formole sono stati calcolati i valori di d , indicati nella quinta colonna delle tabelle precedenti. Le differenze Δ e le differenze Δ percentuali, rispettivamente registrate nelle due ultime colonne delle tabelle stesse, dimostrano che la relazione (1) è soddisfatta, con sufficiente approssimazione, dai valori di h e di x ora trovati. Si potrà quindi scrivere, per la prima serie di esperienze:

$$d = 0,274v^{1,900},$$

e per la seconda serie di esperienze:

$$d = 0,322v^{1,888}.$$

« Risulta adunque che, entro i limiti di B fra cui ho sperimentato, la relazione tra l'energia dissipata nel cilindro di carta paraffinata e l'induzione elettrostatica in un punto qualunque del campo elettrico è, a seconda che si considera le prima o la seconda serie di esperienze, della forma

$$W = K' B^{1,900},$$

$$W = K'' B^{1,888},$$

ove K' e K'' sono costanti.

« In un'ultima serie di esperimenti, i cui risultati sono indicati nelle prime colonne della tabella III ⁽¹⁾, ho voluto verificare se per la carta paraf-

(1) Queste esperienze, eseguite sul medesimo cilindro di carta paraffinata già sperimentato e con lo stesso apparecchio rappresentato nella figura 3, privato del cilindro conduttore C , si riferiscono ad un'altra sensibilità dell'apparecchio stesso.

finata continua a sussistere, fra limiti di B dello stesso ordine di grandezza di quelli entro cui io ebbi altre volte a sperimentare, la relazione tra W e B allora trovata.

TABELLA III.

N°	V	v	d osservato	d calcolato	Δ	$=\%$
1	40	5	42	39,90	+ 2,10	+ 5,0
2	48	6	54	53,90	+ 0,10	+ 0,2
3	56	7	68	69,57	- 1,57	- 2,3
4	64	8	84	86,77	- 2,77	- 3,3
5	72	9	103	105,37	- 2,37	- 2,3
6	80	10	124	125,55	- 1,55	- 1,2
7	88	11	147	146,76	+ 0,24	+ 0,2
8	96	12	172	169,62	+ 2,38	+ 1,4
9	104	13	198	193,80	+ 4,20	+ 2,1
10	112	14	225	218,92	+ 6,08	+ 2,7

« Come vedesi, i valori di v sono ottenuti dividendo per 8 le letture V sul voltometro, il quale era adoperato, in questa serie di esperienze, coll'intermediario di due trasformatori Zipernowsky aventi rispettivamente un rapporto di trasformazione di 1:4 e di 1:2.

« Nella quinta colonna della tabella III sono registrati i valori di d calcolati con la formola

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

e coi valori di $h = 2,785$ e di $x = 1,654$, determinati col metodo dei minimi quadrati. Le differenze Δ e le differenze Δ percentuali, rispettivamente registrate nelle due ultime colonne della tabella stessa, dimostrano che si può scrivere:

$$d = 2,785v^{1,654}.$$

« Onde, in tal caso (entro i limiti di B uguali a 0,95 e 2,65 unità elettrostatiche *C. G. S.*), detta K una costante, la relazione tra W e B risulta

$$W = KB^{1,654}.$$

« In questa formola, come era a prevedersi, l'esponente di B è dello stesso ordine di grandezza di quello che figura in una qualunque delle relazioni ricavate per altri cilindri dielettrici nelle esperienze pubblicate nelle mie Note precedenti ».