

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCXCV.

1898

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME VII.

1° SEMESTRE



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1898

Fisica. — *Studio sperimentale sopra la capacità dei condensatori* (1). Nota dell'ing. FERDINANDO LORI, presentata dal Socio BLASERNA.

Un corpo dielettrico, secondo l'ordinario concetto teorico, è un corpo, il quale offre un ostacolo assoluto al passaggio dell'elettricità e, quando viene adoperato per fabbricare un condensatore, dà origine ad una capacità perfettamente definita ed invariabile, qualunque sia la differenza di potenziale applicata alle armature e qualunque sia il tempo durante il quale questa differenza di potenziale agisce. Nessuno dei corpi esistenti in natura possiede queste proprietà in modo rigoroso, e lo studio delle loro deviazioni dalle leggi, che abbiamo enunciato, ha fornito ai fisici occasione di numerose e pazienti ricerche sperimentali.

Riguardo alla propagazione dell'elettricità attraverso i dielettrici, due specie di conduttività sono da distinguere:

1°. una conduttività che può chiamarsi ohmica, sottoposta alle medesime leggi di quella dei corpi conduttori propriamente detti, e per la quale non ha alcuna influenza l'elemento tempo;

2°. una conduttività o assorbimento o penetrazione, per cui l'elettricità, che esiste alla superficie di un dielettrico penetra a poco a poco nel suo interno e quella del suo interno torna gradatamente alla superficie, secondo la direzione della forza elettrica agente nel luogo dove l'elettricità libera esiste: questa conduttività dipende dalla grandezza di questa forza e dalla durata della sua azione.

Riguardo alla capacità di un condensatore fatto con un dato dielettrico, gli autori hanno parimente osservato variazioni, che dipendono da elementi molteplici e diversi secondo il metodo, che hanno impiegato per determinarla. Le ipotesi principali enunciate a proposito di questo fenomeno sono due: secondo l'una il dielettrico sarebbe sede di una polarizzazione elettrolitica proporzionale alla quantità totale di elettricità libera consumata: secondo l'altra la capacità di un condensatore, oltrechè dalla differenza di potenziale fra le armature, dipenderebbe da tutte le elettrizzazioni precedenti, analogamente a quello che accade per le sostanze magnetiche, in cui la permeabilità in ciascun elemento dipende, oltrechè dalla forza magnetizzante, da tutte quante le vicende, cui quell'elemento si è trovato sottoposto a partire dal suo stato vergine. Gli autori hanno preso dalla teoria del magnetismo anche

(1) Lavoro eseguito nel Laboratorio di Fisica-tecnica della R. Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Roma, dal gennaio al marzo 1898.

il vocabolo per indicare questo fenomeno, cui hanno dato il nome di *isteresi elettrostatica*.

Secondo questo modo di considerare il fenomeno stesso, come la magnetizzazione di un pezzo di ferro immerso in un campo magnetico è funzione, oltrechè dell'intensità del campo, anche di altri elementi; così uno strato di dielettrico chiuso fra due armature, allorchè queste vengono portate ad una determinata differenza di potenziale, acquisterebbe una polarizzazione elettrica, funzione di altre variabili, oltrechè di questa differenza di potenziale.

E come un pezzo di ferro sottoposto ad un campo magnetico oscillante con periodo costante fra due limiti fissi, fra cui varia con legge qualunque, acquista una magnetizzazione anch'essa variabile col tempo con periodo costante, in modo che la curva luogo dei punti aventi in un piano cartesiano per ascisse le intensità del campo e per ordinate le intensità della magnetizzazione, risulta composta di tanti cicli chiusi sovrappontentisi, di area non nulla, corrispondenti ai singoli periodi: così il dielettrico di un condensatore sottoposto ad un campo elettrico alternativo fra due valori limiti determinati acquisterebbe successivamente cariche variabili secondo un certo periodo, e la curva rappresentativa della quantità di elettricità di ciascuna delle armature in funzione della loro differenza di potenziale risulterebbe composta di cicli successivi di area non nulla corrispondenti ai periodi del campo.

Le numerose ricerche eseguite in questi ultimi anni da Ewing e da' suoi seguaci sulle proprietà magnetiche del ferro, e l'elegante ed interessante contributo, che vi ha portato l'introduzione del concetto di isteresi magnetica, hanno spinto i fisici a riprendere con questo nuovo indirizzo le esperienze sulle proprietà dei dielettrici, che pure erano state fatte copiosamente in varie epoche.

Il fenomeno dell'isteresi in un pezzo di ferro sottoposto ad un campo alternativo, può essere considerato come uno spostamento fra la magnetizzazione indotta e la forza che la induce o come una dissipazione di energia nel seno stesso della sostanza magnetica.

Sotto il primo aspetto considerò il fenomeno elettrico il signor Bouty, il quale nel 1890 ⁽¹⁾ studiò diffusamente il comportamento di un condensatore di mica, misurando in funzione del tempo il quoziente della forza elettromotrice della corrente di un circuito costituito da una pila Daniell, il condensatore ed una resistenza molto grande in grafite.

Sotto il secondo aspetto più autori lo considerarono. La dissipazione dell'energia in un dielettrico sottoposto a scariche oscillanti fu osservata nel 1890 ⁽²⁾ dai signori Trowbridge e Sabine, che studiarono le scariche oscillanti che si possono ottenere da un condensatore ad aria, fotografandole

(1) Journal de Physique, V. IX, pag. 288.

(2) Phyl. Mag., V. XXX, pag. 323.

col metodo dello specchio girante di Feddersen, e confrontarono i risultati sperimentali con quelli che si ottengono dalla formula del Thomson.

Lo stesso studio delle scariche oscillanti condusse il Janet ⁽¹⁾ ad immaginare un metodo per determinare sperimentalmente l'andamento della differenza di potenziale fra le armature di un condensatore in funzione della totale quantità di elettricità che le aveva caricate. Veramente le esperienze citate dal Janet non sono numerose, nè abbracciano un campo esteso delle variabili da cui il fenomeno dipende: ma tuttavia egli afferma che ad uguali differenze di potenziale corrispondono cariche meno grandi durante il semiperiodo dei potenziali crescenti, e più grandi durante il semiperiodo dei potenziali decrescenti.

La misura diretta dell'energia dissipata in un condensatore caricato mediante una differenza di potenziale alternativa è stata fatta per la prima volta dal signor Steinmetz ⁽²⁾ mediante il wattmetro. Egli trovò che quest'energia è proporzionale sensibilmente al quadrato del valore efficace della differenza di potenziale adoperata per caricare il condensatore.

La stessa misura fu anche eseguita, ma con metodo diverso dal signor Arnò ⁽³⁾, il quale si valse del fenomeno della rotazione di un dielettrico in un campo rotante elettrostatico, e giunse alla conclusione che l'energia dissipata da un dielettrico durante un processo ciclico di elettrizzazione è sensibilmente proporzionale alla potenza 1,6 della differenza di potenziale efficace impiegata per la creazione del campo elettrico.

Dagli interessanti lavori, che ho citato e che sono i principali su tale argomento, ho attinto l'idea di cercare di ottenere mediante esperienze dirette gli elementi del ciclo di elettrizzazione. Cioè mi sono proposto di sottoporre le armature di un condensatore ad una differenza di potenziale variabile a piacimento fra un massimo $+E$ ed un minimo $-E$, e di misurare ad ogni istante tanto la differenza di potenziale quanto la quantità di elettricità posseduta dalle armature. Lo studio è stato da me fatto sopra un condensatore campione di mica fabbricato dalla casa Siemens della capacità di un microfarad. Il circuito elettrico era costituito come è rappresentato nella qui unita figura.

In questa: C è il condensatore, avente una delle armature in comunicazione con la terra:

A un elettrometro a quadranti del tipo Mascart, di cui l'ago era in comunicazione con l'altra armatura del condensatore, e le due coppie di quadranti erano in comunicazione con le estremità di una pila avente il centro a terra:

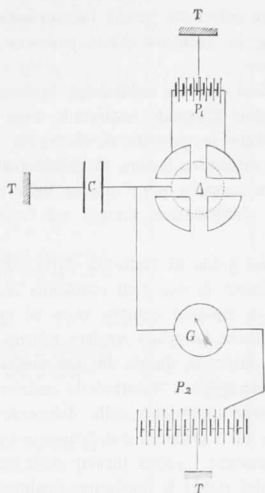
(1) Comptes rendus V, 116, pag. 373.

(2) Elek. Zeit., 1892, pag. 227.

(3) Rend. Lincei, serie 5^a, vol. I, pag. 284; vol. II, pag. 341.

G è un galvanometro del tipo Siemens con quattro rocchetti e due magneti a campana, che io adoperavo come balistico :

P₂ una pila col centro a terra :



M un conduttore isolato, la cui estremità io mettevo a piacimento in contatto con uno qualunque degli elementi della pila P₂.

Spostando successivamente il contatto M fra un elemento a destra ed uno a sinistra del centro della pila P₂, potevo ottenere una variazione ciclica dell'elettrizzazione del condensatore: le letture all'elettrometro mi davano in ogni istante direttamente la differenza di potenziale fra le armature, mentre le letture al galvanometro balistico mi davano la quantità di elettricità accumulata per ogni carica, e le somme successive mi davano la quantità di elettricità totale in corrispondenza d'ogni valore della differenza di potenziale.

Numerose ed estese misure eseguite in tal modo mi fornirono in principio risultati molto irregolari, da cui non mi fu dato dedurre alcuna legge semplice, finchè scopersi che le condizioni necessarie, affinché il fenomeno si presenti sotto un determinato regime stabile e si riproduca con la stessa intensità, sono le seguenti :

1°. Caricare e scaricare varie volte (alcune diecine) il condensatore fra limiti più estesi di quelli fra cui deve essere contenuto il ciclo che si studia.

2°. Fra le successive cariche, cioè fra i successivi contatti, ciascuno dei quali era istantaneo, del punto M con gli elementi della pila, far trascorrere un tempo breve e costante. Il tempo da me adoperato fu un minuto primo. Esso non era sufficiente perchè l'elettrometro giungesse alla posizione di equilibrio, ma io deduceva questa posizione mediante lettura di tre elongazioni successive.

Quando tali condizioni venivano soddisfatte, le misure presentavano una grande regolarità, e il ciclo disegnato assumendo come ascisse le differenze di potenziale, come ordinate le quantità di elettricità date al condensatore (somma algebrica delle successive letture al galvanometro balistico) coincideva con una linea retta passante per l'origine delle coordinate: cioè nessuna traccia di isteresi elettrostatica, almeno nel senso qui espresso, compariva.

Per dare un'idea del grado di esattezza delle misure, riproduco nella seguente tabella gli elementi di due cicli comunque scelti fra quelli da me sperimentati. Ciascuno fu ripetuto quattro volte ed io riproduco i numeri relativi a ciascuna esperienza. Le prime quattro colonne contengono i valori della differenza di potenziale: la quinta la loro media: le quattro successive dalla 6^a alla 9^a contengono i valori delle cariche: la decima la loro media: l'undecima contiene i quozienti delle differenze fra i successivi numeri della prima colonna ed il primo di essi divise per i numeri della decima, i quali quozienti rappresentano i valori inversi della capacità in corrispondenza dei singoli punti del ciclo: la duodecima finalmente contiene le deviazioni δ dei numeri contenuti nella tabella undecima dalla loro media, che è segnata alla fine della medesima colonna.

1º Ciclo.

| ν_1 | ν_2 | ν_3 | ν_4 | ν_{m1} | q_1 | q_2 | q_3 | q_4 | q_m | $\frac{\nu_m - a}{q_m}$ | δ |
|---------|---------|---------|---------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|----------|
| 37.12 | 37.01 | 36.99 | 37.00 | $a=37.03$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | — |
| 65.61 | 65.41 | 65.54 | 65.60 | 65.54 | 8.05 | 8.10 | 8.06 | 8.09 | 8.07 | 3.533 | + 0.029 |
| 88.06 | 88.10 | 88.07 | 88.07 | 88.07 | 14.43 | 14.57 | 14.46 | 14.57 | 14.51 | 3.512 | + 0.008 |
| 110.65 | 110.64 | 110.63 | 110.61 | 110.63 | 20.94 | 21.04 | 20.92 | 21.00 | 20.98 | 3.508 | + 0.004 |
| 140.06 | 139.96 | 139.91 | 139.99 | 139.98 | 29.34 | 29.42 | 29.22 | 29.32 | 29.32 | 3.511 | + 0.007 |
| 111.14 | 111.19 | 111.10 | 111.12 | 111.14 | 21.20 | 21.31 | 21.17 | 21.24 | 21.23 | 3.491 | - 0.013 |
| 88.56 | 88.57 | 88.55 | 88.49 | 88.52 | 14.70 | 14.88 | 14.72 | 14.83 | 14.78 | 3.483 | - 0.021 |
| 66.00 | 66.02 | 65.97 | 66.01 | 66.00 | 8.21 | 8.38 | 8.28 | 8.37 | 8.31 | 3.490 | - 0.014 |
| 37.01 | 36.99 | 37.00 | 37.01 | 37.00 | - 0.17 | + 0.04 | - 0.08 | + 0.03 | - 0.04 | 3.504 | — |

2º Ciclo.

| ν_1 | ν_2 | ν_3 | ν_4 | ν_{m1} | q_1 | q_2 | q_3 | q_4 | q_m | $\frac{\nu_m - a}{q_m}$ | δ |
|---------|---------|---------|---------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|----------|
| 10.38 | 10.58 | 10.39 | 10.39 | $a=0.41$ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | — |
| 54.78 | 54.92 | 54.89 | 55.05 | 54.93 | 12.45 | 12.65 | 12.41 | 12.45 | 12.49 | 3.565 | + 0.033 |
| 87.45 | 87.48 | 87.61 | 87.81 | 87.59 | 21.70 | 21.62 | 21.62 | 21.63 | 21.69 | 3.558 | + 0.026 |
| 120.24 | 120.24 | 120.46 | 120.67 | 120.40 | 31.01 | 31.00 | 30.87 | 30.92 | 30.95 | 3.510 | - 0.022 |
| 166.86 | 166.91 | — | 167.28 | 167.02 | 43.96 | 43.95 | 43.82 | 43.86 | 43.91 | 3.567 | + 0.035 |
| 121.01 | 121.06 | 121.05 | 121.17 | 121.07 | 31.47 | 31.35 | 31.27 | 31.26 | 31.34 | 3.499 | - 0.033 |
| 88.16 | 88.18 | 88.22 | 88.22 | 88.22 | 22.22 | 22.20 | 22.07 | 22.04 | 22.13 | 3.516 | - 0.016 |
| 55.52 | 55.68 | 55.54 | 55.50 | 55.56 | 12.97 | 12.95 | 12.77 | 12.76 | 12.86 | 3.511 | - 0.021 |
| 10.58 | 10.71 | 10.39 | 10.33 | 10.50 | 0.32 | 0.20 | 0.08 | 0.03 | 0.16 | 3.532 | — |

I numeri di queste tabelle sono per le quantità di elettricità i centimetri della scala e per le differenze di potenziale il prodotto dei centimetri della scala pel numero quattro: essi quindi corrispondono ad unità arbitrarie. Nel primo ciclo la differenza massima di potenziale fra le armature del condensatore fu circa ± 40 volt: nel secondo ± 60 volt. Io non conosco precisamente lo spessore delle lamine di mica del condensatore; ma, misurando il volume complessivo del condensatore stesso, e supponendo nullo quello delle armature metalliche, ho dedotto che esso è certamente inferiore a 13 centesimi di millimetro. Da ciò consegue che il massimo valore del campo elettrostatico in corrispondenza dei due cicli non fu inferiore a ± 10 e ± 15 rispettivamente unità elettrostatiche *cgs*. Questo limite è notevolmente superiore a quelli cui erano giunti gli sperimentatori che ho citato: del resto le mie ricerche si estesero fino ad una differenza di potenziale di ± 90 volt, cui corrispondeva un valore del campo uguale almeno a ± 25 unità elettrostatiche *cgs*; i risultati furono sempre analoghi a quelli raccolti e pubblicati in questa Nota.

La deviazione dalla proporzionalità, come apparisce dalle tabelle precedenti, non supera mai l'uno per cento: questa è la massima differenza fra i valori medi e i valori sperimentali tanto per le differenze di potenziale che per le quantità di elettricità; questa è anche la differenza fra i due valori medi della capacità nei due cicli. Tale differenza è dell'ordine della precisione delle misure. Le misure dirette all'elettrometro e le singole misure al galvanometro balistico fornivano una precisione più grande, non minore del 0,5 %: ma i numeri delle tabelle non si riferiscono alle osservazioni dirette: le differenze di potenziale, come si è detto, sono state dedotte dalla lettura di tre elongazioni successive: le quantità di elettricità sono la somma di più letture: quindi la precisione delle misure non può superare notevolmente il centesimo in valore relativo. Entro questi limiti appunto i nostri cicli si possono ritenere coincidenti con segmenti di rette uscenti dall'origine ed aventi la stessa direzione.

Questa conclusione condurrebbe ad ammettere che, almeno per la mica e nei limiti anzidetti, l'isteresi elettrostatica, nel senso che a questa parola si attribuisce nei fenomeni magnetici, non esista: ma le mie misure sono affette da un errore, il quale mi ha spinto ad immaginare un metodo più diretto conducente al medesimo scopo. La differenza di potenziale da me misurata non era quella esistente fra le armature al momento della scarica, ma quella esistente qualche tempo dopo (un minuto primo). Io non ho potuto eseguire esperienze con un tempo più breve a causa delle oscillazioni troppo debolmente smorzantesi dell'elettrometro. Così il fenomeno della scarica poteva essere complicato con quello della penetrazione dell'elettricità nel dielettrico. Quindi a rigore dalle esperienze finora enunciate può semplicemente dedursi la costanza del rapporto $\frac{V_{t+t_0}}{q_t}$, essendo t il momento della scarica,

t_0 il tempo passato fra questa e la lettura all'elettrometro. Ma io ho con altro metodo eseguito esperienze che davano direttamente il rapporto $\frac{V_t}{q_t}$, il quale è risultato anch'esso costante. Tali esperienze si riferiscono alla mica, alla paraffina, al vetro, all'ebanite.

Ne parlerò in una prossima Nota.

Fisica. — *Sulla diffusione dei raggi Röntgen.* 2^a Nota del dott. R. MALAGOLI e C. BONACINI, presentata dal Socio BLASERNA.

Questa Nota sarà pubblicata nel prossimo fascicolo.

Meteorologia. — *Sulla variazione annua della temperatura nel clima di Roma* (1), Nota II. del dott. ETTORE BORTOLOTTI, presentata dal Socio TACCHINI.

IV.

Per avere una idea del grado di fiducia che meritano i numeri calcolati (vedi Nota precedente) ho procurato di verificarli in diversi modi.

Ed in primo luogo ho considerato che gli errori probabili sono in ragione inversa della radice quadrata del peso, cioè del numero di osservazioni di cui si è preso la media.

Benchè le temperature di ogni stagione, e quella dell'anno non sieno esattamente le medie aritmetiche delle temperature dei mesi di cui si considerano composte, pure ho pensato che, se la legge degli errori accidentali fu applicata opportunamente, gli errori probabili di ogni stagione e quello della media annua, non dovevano molto differire dai quozienti delle medie aritmetiche degli errori probabili mensili divise per la radice quadrata del numero p di questi mesi.

Fatta questa verifica si trovano i risultati seguenti:

| | Inverno | Primavera | Estate | Autunno | Anno |
|---|---------|-----------|--------|---------|------|
| Errori probabili . . | 0,62 | 0,39 | 0,32 | 0,75 | 0,27 |
| Quozienti, per $1/\sqrt{p}$, della media aritmetica degli er- rori mensili . . | 0,60 | 0,43 | 0,32 | 0,67 | 0,24 |
| Differenza | 0,02 | — 0,04 | 0,00 | 0,08 | 0,03 |

che verificano, con soddisfacente esattezza, la regola enunciata.

(1) Lavoro eseguito nell'Ufficio Centrale di Meteorologia.