

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCIII.

1906

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XV.

2° SEMESTRE.



ROMA
TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1906

RENDICONTI

DELLE SEDUTE

DELLA REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

MEMORIE E NOTE

DI SOCI O PRESENTATE DA SOCI

Comunicazioni pervenute all'Accademia sino al 2 settembre 1906.

Fisica. — *Ricerche sperimentali sulla resistenza dei solenoidi alle correnti d'alta frequenza.* Nota del Corrispondente A. BATTELLI.

1. In un mio anteriore studio ⁽¹⁾ teorico, mi sono occupato della localizzazione delle correnti variabili alla superficie dei conduttori e son venuto alla conclusione che, per correnti alternate, la resistenza ohmica R di un filo avvolto a solenoide sta a quella R' dello stesso filo disteso in linea retta, nel rapporto:

$$[1] \quad \frac{R}{R'} = 2\pi\beta\sqrt{2} \sqrt[4]{\frac{\mu}{\sigma T}} \quad (2);$$

dove β è un coefficiente costante dipendente dalla forma geometrica del solenoide; T è il periodo delle correnti; μ e σ sono rispettivamente la permeabilità magnetica e la resistenza specifica del filo.

Ad avvalorare sperimentalmente tale formola, per ciò che concerne la dipendenza da T, in mancanza di dati più copiosi, per allora mi sono limitato a riportare quei pochi che incidentalmente erano stati ottenuti in proposito alcuni anni or sono da me e dal dott. Magri ⁽³⁾. Nel frattempo mi sono affrettato ad ultimare altre misure consimili di cui adesso comunico i risultati.

⁽¹⁾ R. Acc. dei Lincei, vol. XV, 1° sem. 1906, pag. 471 e 529.

⁽²⁾ Debbo qui avvertire che nelle formole di pag. 537 per errore tipografico fu usata la lettera π invece della lettera μ . Oltre a ciò a pag. 536 nel 2° membro della formola

$1 + i = e^{\frac{\pi}{2}i}$ manca il fattore $\sqrt{2}$, e nel fare successivamente il valor medio del quadrato di I, è stato ommesso il divisore 2. Conseguentemente la formola [9] di pag. 137 dev'essere sostituita con la presente formola [1]. Ciò però non altera menomamente le conclusioni allora stabilite.

⁽³⁾ Mem. R. Acc. delle Scienze di Torino, 51, pag. 315.

2. I solenoidi da me usati erano costruiti con fili di rame. Ciascuno di essi era posto dentro uno speciale calorimetro (fig. 1) formato da un cilindro di vetro chiuso inferiormente e prolungantesi verso l'alto in un cannello di vetro a foro capillare. Ai due capi del solenoide erano saldati con saldatura di argento due elettrodi di platino lunghi circa 1 cm., i quali poi erano fissati a fuoco al cilindro di vetro. Il cannello capillare era piegato in cima a guisa di sifone e l'estremo libero di esso poteva farsi pescare dentro un bicchierino A, che serviva sia per il riempimento iniziale del calorimetro con toluolo, sia per impedire che — quando il calorimetro non era in uso — il toluolo per raffreddamento dell'ambiente si fosse abbassato al disotto del cannello capillare. Il bulbo cilindrico del calorimetro era tenuto verticalmente entro uno dei soliti isolatori a vuoto a doppia parete ed argentati, di quelli che comunemente servono come recipienti per l'aria liquida. L'argentatura mancava lungo due strettissime strisce longitudinali, che costituivano due finestre per l'ispezione diretta dell'interno e che, nel caso presente, avevano il vantaggio di impedire la formazione delle correnti di Foucault nello strato d'argento.



FIG. 1.

La comunicazione con l'esterno era fatta, all'elettrodo superiore per mezzo di un corto e flessibile cavo metallico, e all'elettrodo inferiore mediante un poco di mercurio nel quale pescava anche un nastro verticale di rame, come è indicato nella figura.

La circolazione dell'aria tra l'interno dell'isolatore a vuoto e l'ambiente, era impedita da alcuni batuffoli di lana che chiudevano la bocca dell'isolatore stesso. In tal modo la protezione dall'ambiente era molto superiore a quella che — a parità di condizioni — si aveva con gli apparecchi già adoperati da me e dal Magri nel citato lavoro.

Oltre a questi calorimetri a solenoidi, ne vennero anche adoperati due fatti alla stessa maniera e contenenti, invece del solenoide, un metro di filo disteso in linea retta da un estremo all'altro del tubo calorimetrico.

Anch'essi venivano protetti dall'ambiente per mezzo di un lungo isolatore a vuoto.

Le dimensioni dei vari calorimetri erano le seguenti:

CALORIMETRI A SOLENOIDE.

	Solenoido 1	Solenoido 2	Solenoido 3	Solenoido 4
Spessore del filo cm.	0,078	0,078	0,097	0,097
Diametro esterno delle spire cm.	1,52	1,52	1,72	1,72
Numero totale delle spire	188	104	163	91
Lunghezza del solenoide cm.	24,5	25,0	24,5	24,5

CALORIMETRI A FILO RETTILINEO.

	Calorimetro 1	Calorimetro 2
Spessore del filo cm.	0,078	0,097
Lunghezza totale del filo cm . .	105	105

Qualche ora avanti il principio delle esperienze si abbassava il bicchierino A e, scaldando con le mani il bulbo cilindrico del calorimetro, si espelleva dall'estremo del cannello capillare una certa quantità di toluolo; indi si aspettava che il menisco del liquido nel cannello fosse disceso sino quasi alla base del medesimo, ed allora si cominciava l'esperienza.

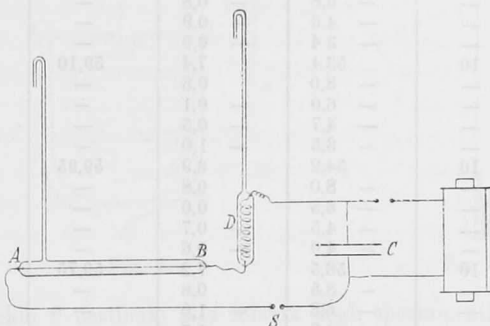


FIG. 2.

3. La disposizione generale degli apparecchi è rappresentata schematicamente dalla figura 2.

Un calorimetro a filo rettilineo AB ed uno a solenoide D formato con filo dello stesso spessore, erano posti in serie, e costituivano il circuito di scarica di un condensatore C. In tale circuito si facevano passare parecchie scariche consecutive, il cui numero si faceva variare da caso a caso, in maniera da aversi nei due cannelli capillari spostamenti di parecchi millimetri nel menisco liquido. Le letture delle posizioni di tale menisco erano fatte a distanza con un cannocchiale sopra una scala millimetrata tracciata su cartoncino e fissa al cannello. Esse si succedevano ad intervalli uguali di minuto in minuto; la produzione delle scariche si faceva avvenire tra due letture consecutive e generalmente durava circa 30 secondi.

Si teneva conto degli scambi di calore tra i calorimetri e gl'isolatori a vuoto, correggendo lo spostamento avvenuto in ciascun minuto in cui erano passate le scariche, col sottrarre (algebricamente) da esso la media dei due spostamenti che erano avvenuti nel minuto antecedente e nel susseguente. Come esempio di tali letture, riporto una serie di misure eseguite coi calo-

rimetri I ed I, disposti, come nella fig. 2, nel circuito di scarica di un condensatore a lastre di vetro.

La distanza esplosiva dello spinterometro S era di 2 mm.

Tempo in minuti	Numero di scariche avvenute nel minuto precedente	Spostamento del menisco		Spostamenti corretti del menisco	
		nel calorimetro a solenoidi	nel calorimetro rettilineo	nel calorimetro a solenoidi	nel calorimetro rettilineo
0	—	— 3,2	— 1,1	—	—
1	—	— 3,3	— 1,0	—	—
2	—	55,7	7,0	61,25	7,4
3	10	— 7,8	0,2	—	—
4	—	— 6,8	— 0,8	—	—
5	—	— 4,6	— 0,9	—	—
6	—	— 3,4	— 0,9	—	—
7	10	53,4	7,4	59,10	7,7
8	—	— 8,0	0,3	—	—
9	—	— 6,0	— 0,1	—	—
10	—	— 4,7	— 0,5	—	—
11	—	— 3,5	— 1,0	—	—
12	10	54,2	6,9	59,95	7,0
13	—	— 8,0	0,8	—	—
14	—	— 6,5	0,0	—	—
15	—	— 4,5	— 0,7	—	—
16	—	— 4,0	— 0,6	—	—
17	10	53,5	7,2	59,75	7,1
18	—	— 8,5	0,8	—	—
19	—	— 6,8	— 1,0	—	—
20	—	— 4,8	— 1,2	—	—
21	—	— 3,9	— 0,7	—	—
22	10	56,6	7,3	62,45	7,3
23	—	— 7,8	0,7	—	—
24	—	— 7,0	— 0,6	—	—
25	—	— 4,6	— 0,9	—	—
26	—	— 3,8	— 1,2	—	—
27	10	55,6	7,3	61,8	7,6
28	—	— 8,6	0,6	—	—
29	—	— 6,0	— 1,0	—	—
30	—	— 4,5	— 1,4	—	—

4. Nel corso di queste misure, allo scopo di rendere possibile il ricambio dei solenoidi in uno stesso calorimetro — poichè il difetto del metodo descritto era la poca speditezza — ho anche adoperato dei calorimetri ad aria, sopprimendo così il toluolo. Ciascuno di essi era semplicemente formato (fig. 3) da un isolatore a vuoto a doppia parete, chiuso in cima da un cappello di vetro pur esso a doppia parete, il quale sorreggeva per i suoi estremi uno dei solenoidi ed era sormontato da un sottile cannello di vetro *a*. Quest'ultimo comunicava per mezzo di un tubicino *b* (fig. 4) con un sensibilissimo manometro metallico costituito da una pila di scatolette, a superficie ondulata, *c*, *c'*, *c''*, *c'''*, ... espressamente costruite, del genere di quelle che si trovano nei barometri registratori Richard. La pila era protetta dall'ambiente mediante un isolatore a vuoto.

Gli spostamenti verticali della scatola superiore del manometro venivano comunicati ad un piccolo peso P appoggiato sulla scatola medesima; questo — per mezzo di un filo di bozzolo (fig. 5) — trasmetteva i movimenti ad una leva BCD, sul cui asse MN, appoggiato sopra due prismi di acciaio, era

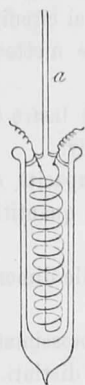


FIG. 3.

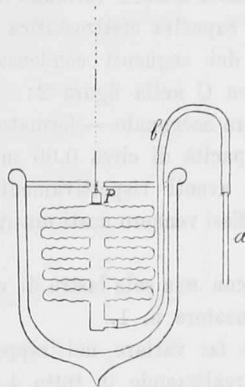


FIG. 4.

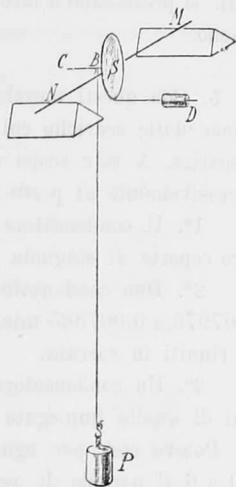


FIG. 5.

fissato uno specchio S destinato alla misura degli spostamenti per lettura a riflessione con cannocchiale e scala.

A titolo di esempio riporto qui una serie di determinazioni fatte col solenoide 1^{bis}, di dimensioni approssimativamente uguali a quelle del solenoide 1.

Tempi	Scintille	Lecture	Deviazione	Deviazione corretta	Tempi	Scintille	Lecture	Deviazione	Deviazione corretta
0		397,9	—	—	14		382,9	0	—
1		397,9	0,0	—	15	5	374,0	+ 8,9	9,4
2		397,8	—	—	16		375,0	1,0	—
3		397,7	—	—	17		375,5	—	—
4	5	397,2	+ 0,5	—	18		375,5	—	—
5		399,0	+ 8,2	8,4	19	5	375,5	0	—
6		390,0	- 1,0	—	20		366,2	+ 9,3	9,75
7		390,3	—	—	21		367,1	- 0,9	—
8		390,3	—	—	22		367,3	—	—
9	5	390,3	0	—	23		367,5	—	—
10		381,1	+ 9,2	9,8	24		367,4	+ 0,1	—
11		382,3	- 1,2	—	25	5	359,0	+ 8,4	8,9
12		382,8	—	—	26			360,1	+ 1
13		382,9	—	—					

Dal confronto di questa tabella con quella di pag. 220 risulta che gli apparecchi così costruiti, usati con speciali cure, presentano una sensibilità non superiore, ma soltanto comparabile a quella dei calorimetri a toluolo. Essi per altra parte, offrendo il vantaggio del rapido ricambio dei solenoidi, si prestavano a fare con sollecitudine il controllo dell'andamento del fenomeno.

5. Con questi mezzi ho fatto molte misure, variando il periodo di oscillazione delle scariche col variare la capacità elettrostatica posta nel circuito di scarica. A tale scopo disponevo dei seguenti condensatori che mettevo successivamente al posto indicato con C nella figura 2:

1°. Il condensatore — già sopra accennato — formato con 34 lastre di vetro coperte di stagnola e della capacità di circa 0,06 microfarady.

2°. Due condensatori ad aria aventi rispettivamente la capacità di 0,007976 e 0,007885 microfaraday. Essi vennero usati ora riuniti in quantità, ora riuniti in cascata.

3°. Un condensatore formato con una sola lastra di vetro delle dimensioni di quelle impiegate pel condensatore n. 1.

Potevo così per ogni solenoide far variare nel rapporto approssimato di 1 a 6 il periodo di oscillazione, realizzando in tutto 4 periodi distinti.

Nella tabella finale sono riassunti i risultati delle esperienze. In essa i numeri posti nelle colonne 3^a e 4^a sono le medie di numerose determinazioni, fra loro concordanti entro i limiti del 3%.

Le quantità di calore sono misurate in una unità convenzionale che corrisponde al calore svolto in ciascun calorimetro da una corrente continua di $\frac{1}{2}$ ampère, attraversante il circuito per 30 secondi. Così, nel fare il quoziente fra i numeri di quelle due colonne, non entrano più in conto le lunghezze dei fili posti nel calorimetro a solenoide e in quello a filo rettilineo, e tale quoziente, registrato nella colonna 5^a, dà senz'altro il rapporto tra la resistenza R del rispettivo solenoide, e la resistenza che avrebbe il filo che lo compone se fosse disteso in linea retta.

Il periodo di oscillazione T, nel caso in cui il circuito di scarica era formato dal solenoide I e dal filo rettilineo I, è stato misurato direttamente, fotografando le scintille, col metodo dello specchio rotante, per ciascuno dei quattro condensatori che venivano posti nel circuito di scarica. Dai mutui rapporti dei quattro periodi relativi a questo caso, si è dedotto il valore dei rapporti dei corrispondenti 4 periodi relativi ai casi in cui si ripetevano le determinazioni, variando soltanto i calorimetri posti in circuito. La cognizione di questi rapporti poteva nel caso mio rimpiazzare quella, più laboriosa ad ottenersi, dei valori assoluti dei periodi medesimi, perchè a me bastava determinare, a meno di un coefficiente di proporzionalità, le espressioni registrate nell'ultima colonna. È così che, a conferma dei miei risultati

teorici, io non mi sono preoccupato che di verificare la costanza dell'espressione $\frac{R}{R'} \sqrt[4]{T}$, ma non il valore assoluto dell'espressione medesima.

Per questa ragione nella 2^a colonna i periodi sono dati a meno di fattori costanti K, K', K'', \dots

Resistenze confrontate	Periodo di oscillazione delle scariche	Calore svolto nel solenoide	Calore svolto nel filo rettilineo	$\frac{R}{R'}$	$\frac{R}{R'} \sqrt[4]{T}$
1 con I	$8,2 \times 10^{-6}$	2,01	1,27	1,58	$2,67 \cdot 10^{-\frac{3}{2}}$
	$4,5 \times 10^{-6}$	2,04	1,15	1,77	$2,59 \cdot 10^{-\frac{3}{2}}$
	$2,3 \times 10^{-6}$	2,09	1,03	2,00	$2,50 \cdot 10^{-\frac{3}{2}}$
	$1,4 \times 10^{-6}$	2,76	1,20	2,30	$2,51 \cdot 10^{-\frac{3}{2}}$
2 con I	$8,2 \times K$	1,56	1,30	1,20	$2,03 \sqrt[4]{K}$
	$4,5 \times K$	1,43	1,10	1,30	$1,89 \sqrt[4]{K}$
	$2,5 \times K$	1,89	1,22	1,55	$1,91 \sqrt[4]{K}$
	$1,4 \times K$	1,57	0,94	1,67	$1,82 \sqrt[4]{K}$
3 con II	$8,2 \times K'$	2,20	1,43	1,54	$2,60 \sqrt[4]{K'}$
	$4,5 \times K'$	1,70	0,97	1,75	$2,55 \sqrt[4]{K'}$
	$2,5 \times K'$	1,91	0,95	2,01	$2,47 \sqrt[4]{K'}$
	$1,4 \times K'$	2,68	1,14	2,35	$2,56 \sqrt[4]{K'}$
4 con II	$8,2 \times K''$	1,27	1,08	1,18	$2,00 \sqrt[4]{K''}$
	$4,5 \times K''$	1,25	0,94	1,33	$1,94 \sqrt[4]{K''}$
	$2,3 \times K''$	1,73	1,18	1,47	$1,69 \sqrt[4]{K''}$
	$1,4 \times K''$	1,67	0,98	1,71	$1,86 \sqrt[4]{K''}$

Osservando i numeri dell'ultima colonna si vede che la proporzionalità del rapporto $\frac{R}{R'}$ alla radice quarta della frequenza può ritenersi verificata con un'approssimazione vicina a quella che si può richiedere in siffatte misure sperimentali.

È probabile che lo smorzamento delle oscillazioni complichì notevolmente il fenomeno ed impedisca una migliore concordanza tra la teoria e l'esperienza.