

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 15 luglio 1906.

Fisica. — *La scarica oscillatoria nei fili di ferro.* Nota preventiva del Corrispondente A. BATTELLI e di L. MAGRI.

1. In una precedente Memoria ⁽¹⁾ demmo relazione dei nostri studi sulla scarica elettrica oscillatoria di un condensatore, ponendo a confronto i risultati a cui portavano gli studi teorici con le misure che eravamo riusciti ad ottenere del periodo d'oscillazione, della resistenza della scintilla, delle resistenze offerte alla scarica da circuiti diversi e dell'energia consumata nelle varie parti del circuito; misure che avevamo eseguite successivamente in condizioni sperimentali tra loro notevolmente differenti.

In quella Memoria ci occupammo del caso più semplice, di quello cioè in cui la scarica attraversava una scintilla di breve lunghezza ed un circuito costituito da sostanza non magnetica (rame).

Nelle ricerche che qui brevemente riferiamo, è trattato un caso assai più complicato, quello cioè in cui nel campo magnetico rapidamente alterato, generato dalla scarica, si trovi del materiale suscettibile di magnetizzarsi, e precisamente del ferro.

Le opinioni dei fisici sulla magnetizzazione del ferro in campi rapidamente oscillanti sono state, come è noto, sino a poco tempo fa addirittura opposte fra di loro, ritenendo alcuni che il ferro potesse seguire oscillazioni così rapide, ed altri no; ma ormai è stato messo fuor di dubbio dalle esperienze di Thomson ⁽²⁾, del Bjercknes ⁽³⁾, del Klemencic ⁽⁴⁾, del St-John ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Mem. dell'Accad. delle Scienze di Torino, serie 2, vol. 51 pag. 335 (1902).

⁽²⁾ Recent Researches, pag. 322.

⁽³⁾ Wied. Ann. v. 47, pag. 69 (1892) e v. 48, pag. 592 (1892).

⁽⁴⁾ Ib. ib. v. 50, pag. 456 (1893).

⁽⁵⁾ Ph. Mg. (5), v. 38, pag. 425 (1894).

e di molti altri che anche con campi alternati col periodo di 10^{-8} secondi il ferro segue ancora abbastanza bene queste oscillazioni. Appunto per ciò esso dovrà avere un'azione notevole sull'andamento della scarica.

Non è facile però tener conto teoricamente degli effetti che il ferro può produrre; poichè non è ben nota la legge che riguarda l'isteresi e la viscosità magnetica del ferro stesso in campi così rapidamente variabili, e conseguentemente non è nemmeno possibile mettere in conto gli effetti delle correnti di Foucault, le quali dipendono essenzialmente dal valore della permeabilità magnetica ed hanno in questo caso una importanza assolutamente speciale, poichè limitano notevolmente il volume del ferro che può prendere parte attiva alla magnetizzazione.

Ecco perchè ci sembrò utile affrontare il problema sperimentalmente.

2. Abbiamo rivolto la nostra attenzione ai due casi tipici che più spesso s'incontrano nella pratica; e cioè il caso in cui la scarica attraversi un lungo filo di ferro cilindrico, e l'altro in cui la scarica attraversi un solenoide o un rocchetto di filo di rame, contenenti un nucleo di ferro coassiale all'asse del rocchetto.

I due casi differiscono essenzialmente tra loro. Nel primo, le linee di induzione magnetica sono quasi per intero fuori del ferro, così che non è grande l'importanza che esso può avere sopra l'energia magnetica del campo e quindi sull'autoinduzione del circuito e sulla durata del periodo; l'effetto più cospicuo dovuto alla permeabilità magnetica del ferro sarà la grande importanza che acquisteranno le correnti di Foucault nel filo stesso, le quali renderanno sottilissimo lo strato superficiale del filo attraversato dalla scarica, e cioè grandissimo il valore della resistenza e per conseguenza notevole lo smorzamento. Nel secondo caso invece le linee di induzione magnetica sono in gran parte contenute nella massa del ferro, e quindi l'energia magnetica del circuito ed il periodo della scarica vengono notevolmente influenzate.

3. Fermiamoci adesso sul primo dei due casi tipici a cui abbiamo accennato.

La resistenza R' che un filo cilindrico a sezione circolare offre al passaggio di una corrente alternata sinusoidale di n alternanze per secondo, è legata al valore R della resistenza per correnti continue dalla nota relazione:

$$R' = R \left\{ 1 + \frac{p^2 l^2 \mu^2}{12 R^2} - \frac{1}{180} \cdot \frac{p^4 l^4 \mu^4}{R^4} + \dots \right\},$$

ove $p = 2\pi n$ ed l è la lunghezza del filo.

Se il numero delle alternanze, il raggio r del filo e la resistenza specifica σ della sostanza di cui è formato sono tali che:

$$\sqrt{\frac{8\pi^2 n \mu r^2}{\sigma}} < 1,5,$$

allora la localizzazione della corrente alla superficie è poco sensibile e porta nel valore della resistenza una variazione inferiore al 2,6 %. Se la frequenza è assai elevata, tanto che sia

$$\sqrt{\frac{8\pi^2 n \mu r^2}{\sigma}} > 3,$$

possiamo scrivere con approssimazione superiore all' 1 %

$$(1) \quad R' = \frac{\sqrt{2}}{4} R \left(2\pi r \sqrt{\frac{2\mu n}{\sigma}} + 0,75 \right);$$

mentre per valori grandi di $\sqrt{\frac{8\pi^2 n \mu r^2}{\sigma}}$ possiamo scrivere semplicemente:

$$R' = \pi r R \sqrt{\frac{\mu n}{\sigma}}.$$

Nella stessa maniera il coefficiente di autoinduzione L' per correnti alternate, è legato a quello ordinario L dalla relazione:

$$L' = l \left[A + \mu \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{48} \frac{p^2 l^2 \mu^2}{R^2} + \frac{13}{8640} \frac{p^4 l^4 \mu^4}{R^4} + \dots \right) \right],$$

ove A è una costante indipendente da σ e da μ e legata ad L dalla relazione:

$$L = l \left(A + \frac{1}{2} \mu \right).$$

Per n molto grande possiamo scrivere semplicemente:

$$(2) \quad L' = l \left(A + \sqrt{\frac{\mu \sigma}{2\pi p r^2}} \right) = L - l \left(\frac{\mu}{2} - \sqrt{\frac{\mu R}{2pl}} \right).$$

Mentre dunque è molto notevole la differenza fra la resistenza che offre un filo alle correnti continue e quella che offre alle correnti alternate, non v'è un rapporto altrettanto grande fra i due coefficienti di autoinduzione; mentre la resistenza per correnti rapidissimamente alternate cresce continuamente col crescere della frequenza, il valore dell'autoinduzione tende invece al limite:

$$L' = L - \frac{1}{2} \mu l.$$

Tali formule non sarebbero a tutto rigore applicabili alle scariche elettriche assai rapidamente smorzate come quelle che avvengono nei fili di ferro; ma si può facilmente tener conto anche di questo fatto. Chiamando

R'' ed L'' i valori della resistenza e dell'autoinduzione del filo, il Barton (1) trova:

$$R'' = R \left\{ 1 + \frac{1+k^2}{12} \left(\frac{p u l}{R} \right)^2 + \frac{k(1+k^2)}{24} \left(\frac{p u l}{R} \right)^3 - \frac{1-2k^2-3k^4}{180} \left(\frac{p u l}{R} \right)^4 \dots \right\}$$

$$L'' = l \left[A + \mu \left\{ \frac{1}{2} + \frac{k p u l}{6 R} - \frac{1-3k^2}{48} \left(\frac{p u l}{R} \right)^2 - \frac{k(1-k^2)}{450} \left(\frac{p u l}{R} \right)^3 + \dots \right\} \right],$$

ove k è il decremento logaritmico diviso per 2π .

Queste formule ci dicono che col crescere dello smorzamento, crescono i valori dell'autoinduzione e della resistenza. Per valori non grandi della frequenza possiamo prendere semplicemente:

$$\frac{R'' - R'}{R} = \frac{k^2 p^2 l^2 u^2}{12 R^2} + \frac{k(1-k^2) p^3 l^3 u^3}{24 R^3}$$

$$L'' - L' = l \mu \left\{ \frac{k p l u}{6 R} + \frac{k^2 p^2 l^2 u^2}{16 R^2} \right\}.$$

Per n grandissimo, ponendo $s = \sqrt{1+k^2}$, $\cot \theta = k$, si ha:

$$\frac{R''}{R} = \left(\frac{\mu p l s^3}{R} \right)^{\frac{1}{2}} \cos \frac{\theta}{2} \quad L'' = l \left\{ A + \left(\frac{\mu s R}{p l} \right)^{\frac{1}{2}} \cos \frac{\theta}{2} \right\}.$$

In questo caso il rapporto $\frac{R''}{R'}$ fra la resistenza per correnti alternate smorzate e la resistenza per correnti alternate sinusoidali dello stesso periodo, risulta indipendente dalla frequenza, e il Barton stesso ha calcolato vari valori di $\frac{R''}{R'}$ per diversi valori di k .

4. Questo è quanto ci può dire la teoria; i lavori sperimentali sull'argomento non sono molto numerosi.

J. Trowbridge (2) fotografò per mezzo di uno specchio rotante la scintilla di un condensatore ad aria scaricantesi attraverso ad un filo di ferro avvolto a spirale; dalle misure del periodo ebbe modo di osservare che quando il filo di ferro è sottile (di diametro inferiore a mm. 0,8) per oscillazioni del periodo di circa 2 milionesimi di secondo, il periodo è sempre sensibilmente superiore a quello che si avrebbe in un circuito geometricamente identico di rame; se il filo di ferro è di diametro grande, la differenza diviene insensibile; qualunque sia il diametro però lo smorzamento delle oscillazioni risulta sempre molto maggiore nel ferro che nel rame.

(1) Ph. Mg., serie 5, vol. 47, pag. 433 (1899); vol. 48, pp. 143 e 148 (1899).

(2) Ph. Mg. 5 (32), pag. 504, 1891; 5 (38), pag. 441, 1894.

L'Emden ⁽¹⁾ osservò, sempre col metodo di Feddersen, le scintille dovute a due condensatori uguali scaricantisi contemporaneamente in due circuiti geometricamente identici, l'uno di ferro e l'altro di rame. Egli trovò il periodo nel circuito di ferro superiore a quello nel circuito di rame; ed attribuendo la causa di questo aumento alla maggiore autoinduzione che deve presentare il ferro in virtù delle sue proprietà magnetiche, ottenne per il rapporto $\frac{L_f}{L_c}$ tra i coefficienti di autoinduzione nel ferro e nel rame, i valori seguenti:

Valore approssimato del periodo	0,00000215	0,00000791	0,0000190
$\frac{L_f}{L_c}$	1,19	1,22	1,18
			0,0000380
			1,40

Mancano però nella Memoria dell'Emden i dati che sarebbero necessari per rendersi conto esattamente del risultato a cui è pervenuto; fra gli altri mancano anche quelli relativi alla forma e alle dimensioni del circuito e al diametro del filo.

Klemencic ⁽²⁾ misurò il calore che svolgevano le onde elettriche prodotte da un oscillatore di Hertz attraversando due fili dello stesso diametro posti in serie, l'uno dei quali era di ferro o di nichel e l'altro di sostanza non magnetica. Dal rapporto tra le quantità di calore svolto nei due fili, dedusse il rapporto delle resistenze e dalla formola di Lord Rayleigh ora discussa, dedusse il valore di μ .

	Ferro dolce	Acciaio dolce	Acciaio duro	Acciaio Bessemer (dolce)	Acciaio Bessemer (duro)	Nichel
$\mu =$	118	106	115	77	24	21

Il Saint-John ⁽³⁾ ottenne misure esatte della lunghezza d'onda di oscillazioni elettriche prodotte per risonanza da uno stesso oscillatore in circuiti di ferro o di rame, e trovò che a parità di periodo la lunghezza di onda è più breve nei fili di ferro che in fili uguali di rame. Dal confronto di tali lunghezze d'onda potè avere il rapporto fra il coefficiente di autoinduzione di un dato filo di ferro e quello di un uguale filo di rame, e da ciò con la nota formola di Lord Rayleigh, il valore di μ .

Nelle sue esperienze mantenne la stessa frequenza, tale cioè da avere sempre $2\pi n = 36 \times 10^7$; usò fili di diametro diverso, da cm. 0,12 a cm. 0,8

⁽¹⁾ Sitzber. der k. b. Ak., t. 22, pag. 71, 1892.

⁽²⁾ Wied. Ann. t. 50, pag. 456, 1893.

⁽³⁾ Ph. Mg. (5), t. 38, pag. 435, 1894.

circa, e trovò che il rapporto suddetto si aggira attorno al valore 1,04. Del resto riportiamo qui i risultati ottenuti per il valore di μ .

Diametro del filo in cm.	μ
0,1186	430
0,0885	389
0,0785	336

Ultimamente Broca e Turchini ⁽¹⁾ hanno ripreso lo studio della resistenza offerta da fili di sostanze diverse al passaggio delle scariche elettriche con frequenze variabili da 142000 a 380000 alternanze per secondo, deducendola dalla misura del riscaldamento del filo e dalla intensità efficace della corrente elettrica. Hanno trovato differenze sensibili tra il valore dato dalle misure e quello dedotto dalle solite formule (talora in più, talora in meno a seconda della frequenza) anche per sostanze non magnetiche; per il ferro poi hanno trovato questo valore notevolmente variabile con l'intensità massima della scarica. Non hanno tenuto conto del fatto che le formule di Lord Rayleigh e Lord Kelvin sono state stabilite per correnti senza smorzamento; ad ogni modo il valore che dalle loro esperienze possono dedurre per μ concorda con quello trovato in modo analogo dal Klemencic, ossia è intorno a 100.

5. Anche noi abbiamo già da qualche anno cercato di analizzare l'andamento della scarica oscillatoria in fili di ferro ricorrendo alla misura del periodo, alla quale ci siamo studiati di apportare tutte le cure possibili, tanto più che in questo caso tale misura si presenta notevolmente difficile per il rapido smorzamento della scarica. Per rendere questo assai piccolo, tanto da poter applicare senz'altro le formule (1) e (2) sopra riferite, e dedurre dai risultati sperimentali il valore di μ , abbiamo ricorso a fili di diametro assai grande, fidandoci che l'accuratezza con cui erano stati eseguiti e montati i nostri apparecchi per la misura del periodo ci permettesse di assicurarci anche delle piccole variazioni nella durata di questo.

L'apparato sperimentale era in sostanza quello già da noi precedentemente descritto ⁽²⁾. La sua parte principale era una turbina consistente di un asse d'acciaio duro che porta una piccola ruota a palette di alluminio ed uno specchio piano di acciaio lucidato da tutte e due le parti. La ruota a palette di alluminio può girare a pochi decimi di millimetro di distanza da un tamburo fisso, in cui sono praticate opportunamente due aperture per l'uscita dell'aria compressa che deve mettere in moto la turbina.

L'asse gira tra due cuscinetti di zaffiro, perforati in modo da permettere una abbondante oliatura. Lo specchietto è circolare ed ha il diametro di cm. 1,5.

⁽¹⁾ C. R. t. 140, pag. 1238, 1905.

⁽²⁾ R. Acc. delle Scienze di Torino, s. 2, v. 51, pag. 335 (1902).

La parte inferiore dell'asse della turbina porta un disco orizzontale, su cui è fissato un corto crino che lascia ad ogni giro un segno su di un tamburo girante posto in posizione opportuna.

Sopra questo tamburo iscrive contemporaneamente le sue oscillazioni uno dei soliti segnali elettrici. Il tamburo all'istante voluto è messo in moto da un apparecchio ad orologeria che gli fa compiere un giro intero.

Con questa disposizione si ha una misura esatta della velocità della turbina al momento voluto. A poca distanza dallo specchio è fissato l'obiettivo fotografico; a 20 cm. di distanza da questo è posta, in un opportuno telaio, la lastra fotografica. Lo spinterometro si trova racchiuso in una cassetta munita nella parte anteriore di un otturatore.

Il circuito, come al solito, non è complicato da nessun organo che stabilisca il momento in cui deve avvenire la scarica; queste si succedono liberamente: quando tutto è a posto e la turbina ha la velocità e l'andamento regolare richiesti, si apre l'otturatore e si aspetta (osservando sulla lastra) che una immagine della scintilla cada su di essa. Se le scariche si succedono con rapidità l'aspettativa non è lunga. Quando ciò sia avvenuto, si richiude subito l'otturatore e si prende, facendo girare il rullo affumicato, la misura della velocità della turbina.

Per la descrizione più particolareggiata di questa disposizione, per le norme e le cautele da usarsi e per il modo di fare le misure sulle lastre fotografiche, rimandiamo il lettore alla Memoria citata.

6. Due prime serie di ricerche furono eseguite nel 1902 usando i due condensatori ad aria descritti nella Memoria sopra detta; questi condensatori nella prima serie di misure erano riuniti in superficie ed avevano la capacità di cm. 14175; nella seconda serie di misure essi erano riuniti in serie e presentavano la capacità di cm. 3568.

Il circuito di scarica era formato da un filo di ferro dolce ben ricotto, dello spessore medio di cm. 0,9178, piegato secondo un cerchio di cm. 296 di diametro. Questo filo era fissato con quattro morsetti di ebanite ad una croce di legno che lo sorreggeva in aria lontano dalle pareti della stanza. Il filo, piegato in cerchio, aveva una lunghezza di cm. 929, mancando a completare il cerchio un tratto di quasi un centimetro che costituiva l'interruzione.

Un filo geometricamente identico a questo, ma di permeabilità uguale all'unità avrebbe avuto un coefficiente di autoinduzione per $n=0$ di cm. 11355. Stabilivano le comunicazioni fra questo circuito il condensatore e lo spinterometro tre tubi di ottone che avevano complessivamente un coefficiente di autoinduzione di cm. 1693.

Nelle condizioni sperimentali in cui ci eravamo posti, potevamo contare in media 5 periodi completi in ogni scintilla nelle scariche più rapidamente oscillanti e quattro nelle più lente; per le prime raramente siamo riusciti

a misurare fino ad 8 periodi interi. Si era dunque in condizioni abbastanza buone.

In generale per ogni lastra si prendevano due misure, una sull'immagine dell'elettrodo superiore, l'altra sull'immagine dell'elettrodo inferiore: ciò ben s'intende, tutte le volte che era possibile, perchè talora le successive scintilline elementari costituenti la scarica scoccano in parti diverse degli elettrodi, ed in tal caso la fotografia che ne risulta riesce inadatta alla misura. Accade qualche altra volta che siano nette le immagini delle scintilline partenti da uno degli elettrodi e confuse quelle dell'altro elettrodo, così che non è sempre possibile eseguire la misura su tutte e due le serie delle scintilline che si hanno ai due elettrodi.

Riportiamo dal libro delle esperienze le due serie seguenti:

TABELLA I.

C = cm. 3568

Distanza esplosiva mm. 2.5.

Numero d'ordine delle lastre	Numero dei periodi misurati	Risultato	Numero d'ordine delle lastre	Numero dei periodi misurati	Risultato
1	5	0,000001580	9	7	0,000001424
3	4	1317	"	4	1406
4	5	1335	10	8	1512
"	5	1428	"	4	1465
5	6	1481	10 ^{bis}	6	1465
"	5	1506	"	6	1363
6	6	1470	12	7	1460
"	5	1469	"	7	1454
7	8	1453	13	5	1554
"	4	1478	"	5	1492

Valore medio: 0,000001455 ± 0,000000006.

TABELLA II.

C = cm. 14175

Distanza esplosiva mm. 2.5.

Numero d'ordine delle lastre	Numero dei periodi misurati	Risultato	Numero d'ordine delle lastre	Numero dei periodi misurati	Risultato
15	4	0,000002953	17	4	0,000002856
"	5	2888	"	4	2927
16	3	2955	18	4	2820
"	5	2887	"	4	2835
			19	4	2916

Valore medio: 0,00000289 ± 0,000000008.

Il valore medio è stato calcolato attribuendo ad ogni determinazione un peso uguale al numero di periodi contati.

Le misure ottenute con il ferro in circuito e specialmente quelle riportate nella 1^a tabella non hanno certamente la precisione che si sarebbe potuta ottenere in condizioni simili con circuiti di rame, poichè lo smorzamento della scarica diminuendo il numero delle scintille elementari raccorcia notevolmente la lunghezza della immagine sulla lastra e rende, specialmente per i periodi più brevi, grandemente dannosi alla esattezza delle misure i piccoli spostamenti della scintilla sugli elettrodi, e per di più fa sì che la differenza fra lo splendore delle successive scintilline componenti ogni scarica sia così grande, che le negative che si ottengono risultino molto diversamente impressionate nelle varie parti dell'immagine. Oltre a tutto questo può anche darsi benissimo, come vedremo meglio in seguito, che la scintilla avvenga in queste condizioni in modo meno regolare di quando il circuito è di materiale non magnetico e di poca resistenza. Così nella prima tabella abbiamo qualche numero che differisce dalla media di quasi il 10%, mentre nella seconda tabella, che si riferisce a più lenti periodi, questo scartamento non supera il 2,5%.

Ottenuta così la misura sperimentale del periodo, possiamo facilmente calcolare il valore di μ ricorrendo alle due relazioni:

$$(3) \quad \left(\frac{T_\mu}{T}\right)^2 L' = L'_\mu$$

e

$$(4) \quad L'_\mu - L' = l \left(A + \sqrt{\frac{\mu \sigma_1}{2\pi \rho r^2}} \right) - l \left(A + \sqrt{\frac{\sigma}{2\pi \rho r^2}} \right)$$

dove T_μ è il valore sperimentale del periodo col circuito di ferro, T il valore del periodo in un circuito geometricamente identico di rame, L' il coefficiente di autoinduzione dell'intero circuito col rame per il periodo misurato, L'_μ il valore sperimentale coefficiente di autoinduzione dell'intero circuito col ferro, σ_1 la resistenza specifica del ferro e σ quella del rame.

Queste formule presuppongono implicitamente:

1°) che l'effetto dello smorzamento sulla durata delle oscillazioni sia trascurabile;

2°) che la frequenza sia sufficientemente elevata perchè sia lecito applicare le formule (1) e (2) invece dei corrispondenti sviluppi in serie;

3°) che il valore dello smorzamento sia tanto piccolo da potersi trascurare la correzione indicata dal Barton.

L'esame delle fotografie ci mostra che lo smorzamento della scarica, pur essendo superiore assai a quello che si avrebbe in un circuito simile di rame, non è tuttavia tale da portare un sensibile aumento al valore del periodo. In pieno accordo col risultato di questo esame abbiamo che il va-

lore di $\frac{R^2}{4L^2}$ calcolato ponendo per R ed L i valori dati dalle (1) e (2) per valori di μ compresi fra 100 e 600, è appena qualche decimillesimo del valore di $\frac{1}{LC}$ e quindi è assolutamente trascurabile.

Per ciò che riguarda l'applicabilità delle formule (1) e (2), si osservi che nelle nostre esperienze si aveva sempre $n > 10^5$ e quindi

$$\sqrt{\frac{8\pi^2 n \mu r^2}{\sigma}} > 3 \sqrt{\mu};$$

come si vede, qualunque sia il valore di μ , si oltrepassa di gran lunga il valore limite al cominciare del quale sono applicabili le (1) e (2).

Finalmente per ciò che riguarda la correzione calcolata dal Barton, si avverta che il valore massimo di k raggiunto nelle nostre esperienze, calcolato con la formula $k = R \sqrt{\frac{C}{L}}$, dove R ed L hanno i valori corrispondenti alla frequenza misurata, si è mantenuto inferiore a 0,1; ciò che vuol dire che la correzione da portarsi alla resistenza è stata inferiore al 5%, e quella da apportarsi all'autoinduzione (che è ciò che ci interessa) dell'ordine di una ventina di centimetri su oltre 10000 e quindi trascurabile anche questa.

Resta dunque giustificato l'uso delle formule (3) e (4).

In queste due prime serie i valori di T furono calcolati in base alle dimensioni del circuito, prendendo per L' i valori corretti dati dalla (2). Ecco i risultati:

	I Serie	II Serie
$T_{\mu} =$	$1,455 \cdot 10^{-6}$	$2,89 \cdot 10^{-6}$
$T =$	$1,404 \cdot 10^{-6}$	$2,80 \cdot 10^{-6}$

L'influenza della permeabilità magnetica è, come si vede, assai piccola: ad ogni modo essa è però molto al di sopra degli errori sperimentali.

7. Abbiamo ultimamente eseguito una terza serie di ricerche su questo argomento, ed in queste abbiamo adoperato un condensatore a lastre di vetro che aveva una capacità di 98100 cm. e un circuito di filo di ferro dello spessore di mm. 2,44 piegato a forma di quadrato con i lati lunghi cm. 200.

Questa volta abbiamo creduto fosse più conveniente confrontare il periodo di oscillazione misurato quando la scarica attraversava il filo di ferro, con quello che si otteneva nelle stesse condizioni sostituendo al filo di ferro uno geometricamente identico di rame; ciò per evitare l'incertezza che si sarebbe potuta avere sul valore della capacità del condensatore avendo questo il vetro come dielettrico. Ad ogni modo vedremo che anche in questo caso l'accordo fra la misura e il calcolo per il filo di rame usato è stato ottimo.

La disposizione sperimentale era press'a poco la stessa di quella descritta per le esperienze precedenti; il circuito di scarica era costituito dallo spinterometro, dal quadrato di filo di ferro o di rame a seconda del caso e dai tre tubi di ottone che collegavano fra loro le varie parti del circuito col condensatore e presentavano un'autoinduzione di cm. 1232.

Per quanto passati alla stessa trafilatura, i due fili di rame e di ferro risultarono di diametro leggermente diverso, e precisamente il rame risultò di mm. 2,47, mentre il ferro era mm. 2,44.

Il filo di rame presentava un coefficiente di autoinduzione, per $n = 0$, di cm. 10980, se avesse avuto esattamente il diametro del filo di ferro, il suo coefficiente di autoinduzione sarebbe stato cm. 11004; la differenza di 24 cm. è assolutamente trascurabile in queste misure.

Riportiamo qui i risultati ottenuti col filo di rame:

Valore di T (misurato)

0,00000704

0,00000705

0,00000703

0,00000709

Valore medio: 0,00000705.

Come si vede, nel caso di circuiti fatti con fili di sostanze non magnetiche, le misure del periodo risultano molto precise. L'autoinduzione del filo di rame corretta secondo la formula di Lord Rayleigh per $T = 0,00000705$ diviene cm. 10688 a cui aggiungendo cm. 1232 portati dalle congiunzioni, si ottiene per questo periodo il valore teorico dell'autoinduzione di cm. 11920. Calcolando ora il valore di T in base alla misura fatta della capacità del condensatore, si ottiene per T il valore 0,00000716 in buon accordo col valore sperimentale, ma un poco superiore, certamente perchè la misura della capacità del condensatore ha dato un valore più grande di quello corrispondente a questi periodi di oscillazione.

Sostituendo al filo di rame quello di ferro, abbiamo ottenuto i risultati seguenti:

Valore di T (misurato)

0,00000815

0,00000772

0,00000805

0,00000762

0,00000765

0,00000773

Valore medio: 0,00000782.

Si aveva sopra ogni lastra l'immagine di 7 mezzi periodi e questa immagine occupava una lunghezza di circa 4 centimetri; si era dunque in

buone condizioni per la misura del periodo, e anche qui gli scostamenti dalla media che si riscontrano nei numeri sopra riferiti non sono tutti da attribuirsi all'incertezza che si può avere nella misura della lunghezza di queste immagini, ma sono piuttosto la prova che da caso a caso è variata l'intensità massima del campo, e che anche per oscillazioni così rapide entrano in conto i fenomeni di saturazione magnetica del ferro.

8. Raccogliamo adesso i risultati delle nostre misure di μ , mettendoli appunto in confronto con i valori della intensità massima del campo magnetico. Tale campo H alla superficie del filo è, come è noto, in unità assolute CGS elettromagnetiche

$$H = \frac{2I}{r} = \frac{4\pi CV}{T_{\mu} r},$$

dove I è l'ampiezza massima dell'intensità della corrente, C è la capacità, V è il potenziale di scarica ed r il raggio del filo. La differenza di potenziale esplosiva è stata nelle nostre esperienze 30 unità elettrostatiche; abbiamo dunque avuto i seguenti valori:

	Periodo	Intensità del campo	Permutabilità magnetica
Serie I	$1,455 \times 10^{-6}$	65	600
" II	$2,89 \times 10^{-6}$	180	240
" III	$7,82 \times 10^{-6}$	340	70

Come si vede col crescere di H si manifestano chiaramente i fenomeni di saturazione magnetica e si abbassa quindi la permeabilità magnetica media del ferro. La dipendenza del valore di μ da H è più che sufficiente per spiegare le differenze nei valori di μ trovati da noi e dagli altri sperimentatori.

Queste esperienze dunque ci mostrano:

1° che il ferro anche per periodi rapidi ($T = 0,00000146$) si comporta ancora come un materiale magnetico di suscettività elevata;

2° che la permeabilità cambia col cambiare della intensità del campo magnetizzante;

3° che la variabilità del valore di μ dipendentemente dalla intensità del campo magnetizzante rende impossibile l'applicazione delle solite formule relative all'autoinduzione e alla resistenza.

Probabilmente la durata delle successive oscillazioni componenti la scarica non si mantiene costante dal principio alla fine di questa; le misure fatte sulle nostre fotografie però, mentre ce ne danno un indizio, non ci permettono di asserirlo con assoluta certezza. Ad ogni modo è da aspettarsi che introducendo dei fili di ferro come nucleo in rocchetti attraversati dalle scariche, questi fenomeni si debbano manifestare, in maniera assai più evidente, ed è appunto quello che riferiremo in una prossima Nota.