

SOPRA IL RITARDO NELLA SMAGNETIZZAZIONE DEL FERRO PRODOTTO
DALLE CORRENTI INDOTTE NELLA SUA MASSA; DEL DOTT. ENRICO
STRACCIATI, AIUTO ALLA CATTEDRA DI FISICA DELL'ISTITUTO
TECNICO DI FIRENZE.

(Estratto dalla tesi di Laurea in Fisica presentata alla R. Università di Pisa).

Una massa di ferro impiega un certo tempo a raggiungere il massimo momento magnetico che può acquistare sotto l'azione di una forza magnetizzante che agisca su di essa.

Così Page ⁽¹⁾ osservò che la scintilla di apertura del circuito di una spirale avvolta attorno a un magnete di ferro si produceva nella sua massima chiarezza, soltanto quando l'apertura del circuito si faceva circa mezzo secondo dopo la chiusura, perchè soltanto dopo quel tempo il magnetismo del nucleo aveva raggiunto il suo massimo.

Richiede pure come ha mostrato Sinsteden ⁽²⁾ un certo tempo a prodursi la variazione di magnetismo che si ottiene in una calamita a ferro di cavallo per l'applicazione dell'ancora.

Faraday ⁽³⁾ ha osservato che la rotazione del piano di polarizzazione per una sostanza trasparente posta tra i poli di un magnete, raggiunge la massima ampiezza solo un certo tempo dopo la chiusura della corrente magnetizzante e ciò a causa dell'aumento del momento magnetico in quel tempo.

Al cessare della forza magnetizzante il ferro non perde istantaneamente il magnetismo che aveva acquistato. E Page ⁽⁴⁾ notò che le spirali che circondano un magnete davano scintille per l'unione diretta delle loro estremità, anche circa mezzo secondo dopo la interruzione del circuito.

Il fatto che il magnetismo impiega un certo tempo a stabilirsi e a dissiparsi sotto l'azione di forze che subitamente cominciano o cessano di agire può dipendere da due cause.

(1) Page. *Amer. Journ.* [2], vol. XI, pag. 66; Krönig's *Journ.* Bd. I, S. 249, 1851.

(2) Sinsteden. *Pogg. Ann.* Bd. XCII, S. 227, 1854.

(3) Faraday. *Exp. Res.* S. XIX § 2170, 1846, vol. VIII, pag. 466, 1846.

(4) Page, l. c. Confr. anche Quot, *Comp. Rend.* T. XXXV, p. 749. 1852.

1.° Possono le molecole del ferro richiedere un certo tempo per orientarsi sotto l'azione della corrente magnetizzante, e quindi sinchè non hanno raggiunta la posizione finale varierà il momento magnetico del ferro.

2.° Possono nella massa del ferro originarsi delle correnti indotte, tanto per l'azione della corrente che circola nella spirale magnetizzante quanto per la variazione del momento magnetico del ferro, le quali abbiano per effetto di ritardarne la magnetizzazione e la smagnetizzazione.

È importante stabilire se nella elettromagnetizzazione abbia principalmente influenza l'una o l'altra di queste cause.

Le esperienze fatte sulle extracorrenti condurrebbero ad accordare una importanza notevole alle correnti indotte, che possono circolare nella massa del ferro per ritardarne la magnetizzazione e la smagnetizzazione.

Così ad esempio determinando col metodo suggerito da Helmholtz (1) la durata della extracorrente di apertura in una spirale, riunita ad una pila mentre nell'interno si è posto un fascio di fili di ferro sottilissimi verniciati nella cui massa non può originarsi nessuna corrente indotta, si osserva che la corrente non dura quasi affatto dopo l'apertura, precisamente come senza l'introduzione dei fili di ferro, mentre se si adoperano grossi fili di ferro nei quali possano circolare le correnti indotte, la extracorrente dura un certo tempo dopo l'apertura della pila.

È fuor di dubbio che un notevole ritardo nella elettromagnetizzazione è causato dalla corrente che il magnetismo nascente nella massa di ferro induce nella spirale magnetizzante, o in un'altra spirale o in una massa metallica che lo circonda e sia chiusa in se stessa. Difatti queste correnti indotte essendo dirette in senso opposto a quella magnetizzante, hanno per effetto di diminuire il magnetismo nascente della sbarra e quindi viene prolungata la durata dello stato variabile del magnetismo della sbarra. Similmente al cessare della corrente magnetizzante per effetto della diminuzione del magnetismo del nucleo, viene indotta in una massa metallica che lo circonda una corrente la quale tende

(1) Helmholtz. *Pogg. Ann.* Bd. LXXXIII, S. 535. 1851.

a magnetizzare nuovamente il nucleo e quindi ne ritarda la smagnetizzazione.

Così ogni disposizione di circuiti la quale favorisca o impedisca lo sviluppo di queste correnti indotte, ritarda o accelera la velocità con cui si stabilisce o cessa il magnetismo.

Ci possiamo formare un concetto della rapidità relativa con cui si dissipa il magnetismo di differenti nuclei, posti entro una stessa spirale dallo studio degli effetti fisiologici prodotti dalle correnti indotte per l'annullamento del magnetismo di essi nuclei.

A variazione uguale nel momento magnetico gli effetti fisiologici saranno tanto più intensi per quanto più rapidamente avvengono quelle variazioni.

Sturgeon e Bachhoffner ⁽¹⁾ osservarono per i primi che se nell'interno di una spirale in comunicazione con una pila si pone un nucleo di ferro massiccio, e le estremità della spirale fanno capo a due impugnature che si tengono in mano, togliendo la pila dal circuito non si ha, pel lento diminuire del magnetismo che una piccola scossa. Se invece si prende per nucleo un fascio di fili sottili verniciati, incerati o semplicemente passati entro una fiamma perchè si ricoprano di uno strato di ossido in modo che non possa in essi originarsi nessuna corrente indotta, allora l'azione fisiologica è molto rafforzata, pel rapido dissiparsi del magnetismo del nucleo, e si ha una forte scossa.

Lo stesso accade secondo Magnus ⁽²⁾ anche se per l'azione della corrente magnetizzante il fascio di fili ha acquistato un momento magnetico alquanto minore del nucleo massiccio.

L'azione fisiologica della extracorrente è aumentata introducendo nell'interno della spirale una lastra di ferro avvolta a spirale e che non si chiuda in se stessa, quasi quanto dalla introduzione di un fascio di fili. Così un tubo di lamina sottile rinforza assai più di un cilindro massiccio poichè mentre il magnetismo temporario non è molto minore, le correnti indotte vi sono assai più deboli.

Tutti i fenomeni descritti si osservano nettamente se l'unione e la interruzione delle spirali colla pila e colla persona si

(1) Sturgeon e Bachhoffner. *Annals of Electr.* Vol. I, pag. 481.

(2) Magnus. *Pogg. Ann.* Bd. XLVIII, S. 95. 1839.

fanno ripetutamente e di seguito per mezzo di un interruttore conveniente.

Abbiamo detto che gli effetti fisiologici delle correnti indotte dalla dissipazione del magnetismo sono tanto più intensi per quanto più rapidamente avviene l'annullamento del momento magnetico; però la differente velocità con cui si dissipa il magnetismo non ha influenza sul contegno galvanometrico delle correnti indotte sviluppate, se la durata della variazione del magnetismo è piccola di fronte alla durata di oscillazione dell'ago del galvanometro.

Ciò ha mostrato chiaramente il Dove (1) per mezzo del suo induttore differenziale.

Due tubi cavi di legno del diametro interno di linee 18 $\frac{1}{2}$, sono posti l'uno accanto all'altro, e sono circondati in modo del tutto uguale con circa 29 giri di un filo di rame verniciato dello spessore di linee 2 $\frac{1}{2}$, e sono posti di seguito nel circuito di una pila galvanica.

Queste due spirali erano nell'interno di due tubi uguali, su cui furono avvolti circa 400 piedi di filo, dello spessore di mezza linea ricoperto di seta. Due delle estremità di questi tubi erano riunite per modo che all'apertura o alla chiusura della corrente inducente, le correnti in esse indotte circolassero in senso contrario; le altre due estremità erano o munite di impugnature o riunite al galvanometro.

Si introduce in uno dei tubi dell'induttore differenziale un cilindro di ferro, e nell'altro tanti fili dello spessore di un millimetro, finchè non si fanno equilibrio al galvanometro le correnti indotte che circolano in senso opposto, e finchè non si equilibrano gli effetti fisiologici. Dove ottenne i seguenti risultati.

Ponendo in uno dei tubi dell'induttore	Ponendo nell'altro fili di ferro ne occorre per compensare.	
	<i>pel galvanometro</i>	<i>per la scossa</i>
Asta di ferro battuto	110	15
Ferro grigio di fornace	92	24
Acciaio pieghevole.	91	9
Ferro bianco	41	10
Acciaio crudo.	28	7

(1) Dove. *Pogg. Ann.* Bd. XLIX, S. 72, 1840.

Di qui si vede che, come era da aspettarsi per quello che abbiamo detto più sopra, occorrono più fili per compensare l'azione galvanometrica che per compensare la scossa, e che tanto minore è la differenza quanto minore è la continuità della massa del nucleo di ferro.

Se la corrente dell'induttore differenziale si fa passare per una spirale nel cui interno sia posto un ago di acciaio, la sua magnetizzazione avviene nel senso della corrente che ha una maggiore azione fisiologica.

Così Dove riuniva le estremità libere delle spirali dell'induttore riunite in opposizione con una spirale composta di 200 giri di filo di rame coperto di seta, nel cui interno era posto un ago di acciaio. In uno dei tubi dell'induttore si poneva un cilindro massiccio di ferro e nell'altro i soliti fili. Trovò che affinché l'ago si magnetizzasse nel senso della corrente, data dai fili, occorrevano 70 fili, mentre per equilibrare le azioni galvanometriche della corrente dei fili e di quella del nucleo occorrevano 110 fili.

Quello che si è detto dell'azione fisiologica e magnetizzante vale anche per la formazione della scintilla. Se nei due tubi dell'induttore si pongono nuclei differenti ma tali che le azioni galvanometriche si facciano equilibrio, all'apertura della corrente primaria la scintilla di apertura è più chiara nel tubo in cui la spirale d'induzione ha la maggiore azione fisiologica e magnetizzante.

L'induttore differenziale può servire comodamente per confrontare il momento magnetico di diverse sostanze. Si ponga in uno dei tubi dell'induttore una di esse e nell'altro tanti fili di ferro fino a che le correnti indotte nei due tubi si facciano equilibrio al galvanometro, allora il momento magnetico del fascio di fili è uguale al momento magnetico del nucleo posto nell'altro tubo dell'induttore ecc.

Secondo Dove (*) il suo induttore differenziale può anche servire comodamente a scoprire nei vari metalli le minime tracce di magnetismo.

Beetz (†) si occupò di determinare per mezzo di esperienze

(1) Dove. *Pogg. Ann.* Bd. LIV, S. 333. 1841.

(2) Beetz. *Pogg. Ann.* Bd. CV, S. 497. 1858.

di misura la durata diversa delle correnti indotte dalla variazione del magnetismo usando nuclei differenti.

Per mezzo del suo apparecchio poteva Beetz chiudere o aprire un circuito formato da una pila e di una spirale nel cui interno si ponevano i differenti nuclei di ferro su cui si voleva sperimentare; e dopo un tempo piccolissimo ed esattamente misurabile poteva aprirne un altro formato da una spirale che circondava il nucleo di ferro e da un galvanometro. La differenza delle correnti indotte nei singoli istanti dà una misura della variazione del magnetismo del nucleo in quell'intervallo di tempo.

Così al chiudere della corrente magnetizzante la somma delle correnti indotte contate dal principio della magnetizzazione fino ad un determinato istante, corrisponde al momento magnetico del nucleo di ferro in quell'istante; all'aprire della corrente magnetizzante, la differenza fra la corrente totale indotta per la cessazione completa del magnetismo, e la somma delle correnti parziali contate dall'apertura della corrente magnetizzante fino ad un certo istante corrisponde al momento magnetico in quell'istante medesimo.

Adoperando differenti nuclei e scegliendo la corrente magnetizzante in modo che le correnti indotte per la cessazione completa del magnetismo fossero il più possibile uguali, trovò i risultati seguenti:

Alla chiusura della corrente magnetizzante, la corrente indotta cresce colla stessa rapidità coi differenti nuclei.

Invece, all'apertura della corrente magnetizzante il magnetismo diminuisce con rapidità diversa come aveva indicato Dove.

Nuclei formati da fasci di fili e da tubi pieni di limatura perdono il loro magnetismo quasi istantaneamente. Una canna da fucile tagliata, nella cui massa non possono originarsi che deboli correnti d'induzione, lo perde abbastanza rapidamente, e un tubo di carta pieno di dischi di lamiera lo perde più lentamente; ed una canna intera da fucile ed un cilindro massiccio anche più lentamente.

Beetz ha dato per rappresentare le variazioni del magnetismo in questi differenti casi alcune curve, le quali rappresentano i momenti magnetici dei diversi nuclei nei differenti tempi dopo l'apertura della corrente magnetizzante.

Più recentemente il prof. Felici (*) fece alcune esperienze sulla intensità delle correnti indotte da una massa di ferro dolce, durante il tempo che impiega ad acquistare o a perdere il magnetismo sotto l'azione di una forza che subitamente comincia o cessa di agire.

Aveva due spirali una entro l'altra e nell'interno di entrambe poneva un cilindro di ferro. Una delle spirali era in comunicazione con una pila, l'altra con un galvanometro.

Chiudendo il circuito della pila, il ferro si magnetizza ed induce una corrente nella spirale in comunicazione col galvanometro. Se al chiudere del circuito della pila quello del galvanometro è già chiuso e poi si apre dopo un tempo piccolissimo, si ha al galvanometro la somma delle correnti elementari indotte in quell'intervallo di tempo dalla magnetizzazione del ferro, più la somma delle correnti indotte dalla spirale in comunicazione colla pila sull'altra spirale.

Facendo variare quell'intervallo di tempo per mezzo dell'interruttore si otteneva una serie di numeri, coi quali si poteva costruire una curva per rappresentare l'andamento del fenomeno. Ma per avere soltanto la corrente indotta per la variazione del magnetismo bisognava determinare le correnti indotte per l'azione della prima spirale sulla secondaria, il che il prof. Felici faceva ripetendo la esperienza colle sole spirali cioè senza il cilindro di ferro nel loro interno.

Però questo metodo ispirandogli poca fiducia, per evitare di fare quella correzione fece un'altra esperienza in cui si serviva di due coppie di spirali disposte in modo che al galvanometro si equilibrassero le azioni delle spirali principali sulle secondarie. Le curve ottenute potevano molto approssimativamente rappresentarsi colla equazione

$$F = a(1 - \alpha^{-bt})$$

eccettuati i valori di t troppo piccoli.

F sarebbe proporzionale alla somma delle correnti indotte

(1) R. Felici, *Sopra un nuovo interruttore galvanico e sul suo uso in alcune esperienze d'induzione*, N. Cim. serie II, tomo XII, pag. 115. — *Di una modificazione dell'interruttore galvanico* ec. N. Cim. serie II, tomo XIII, pag. 266.

durante il tempo t , contato dalla chiusura del circuito voltaico, a e b sono due costanti.

Nello studio della smagnetizzazione il prof. Felici, per evitare la influenza delle correnti indotte nelle spirali che circondano il ferro, lasciava aperto il circuito della spirale in comunicazione col galvanometro e in un dato istante apriva il circuito della pila chiudendo, per mezzo al solito dell'interruttore, dopo un piccolissimo intervallo di tempo il circuito del galvanometro. Così il ferro cominciava a smagnetizzarsi in presenza di due circuiti aperti, e quindi nessun ritardo poteva avvenire nella smagnetizzazione da correnti indotte che altrimenti avrebbero circolato nelle spirali: le deviazioni galvanometriche erano prodotte dallo annullarsi del magnetismo che rimaneva nel ferro all'istante in cui si chiudeva il circuito indotto. Facendo variare quell'intervallo di tempo fra l'apertura del circuito della pila e la chiusura di quello del galvanometro, il prof. Felici osservò che le deviazioni galvanometriche F potevano rappresentarsi con sufficiente esattezza in funzione di quell'intervallo di tempo t colla formula

$$a \alpha^{-\lambda t} + b \alpha^{-\lambda_1 t}$$

dove a , b , λ , λ_1 , sono costanti.

Esperienze fatte con cilindri di ferro e di acciaio condussero il prof. Felici ad ammettere che pel caso teoretico, di ferro affatto privo di forza coercitiva, quella formula potesse ridursi ad una sola esponenziale della forma $a e^{-bt}$. Vedremo in seguito come la esperienza giustifichi questa ipotesi.

Abbiamo citato molte esperienze, dalle quali risulta che sulla rapidità con cui il ferro perde il suo magnetismo al cessare della forza magnetizzante hanno grande influenza le correnti indotte che circolano nella sua massa. Anche il prof. Felici fece in proposito alcune esperienze, dalle quali risultava che l'azione delle correnti indotte per ritardare la smagnetizzazione era assai minore di quello che si ritiene ordinariamente.

Della smagnetizzazione del ferro si occupò anche incidental-

mente il sig. Donati (*) e quindi lo stesso sig. Donati insieme al sig. Poloni (*).

Anche essi si servirono dell'interruttore del prof. Felici e sperimentarono sopra una sbarra rettilinea di ferro lunga 2^m,30 a sezione quadrata di 18^{mm} di lato nel modo seguente. Tenevano fisso ad una estremità della sbarra la spirale percorsa dalla corrente, e quella in comunicazione col galvanometro la ponevano a distanze variabili da quella fissa. Aprivano il circuito della pila tenendo chiuso quello del galvanometro, che aprivano un piccolo tempo dopo, misurato dall'interruttore. Ponendo la spirale indotta a differenti distanze da quella fissa, trovarono che la differenza M—F tra l'azione totale corrispondente a $t = \infty$ e la deviazione osservata al tempo t , poteva rappresentarsi con una formula esponenziale della forma

$$A \cdot 10^{-\mu t} + A' \cdot 10^{-\mu' t}$$

dove A, A', μ , μ' sono quattro costanti. Solo in qualche caso trovarono un sufficiente accordo colle esperienze anche calcolando le differenze M—F per mezzo di una sola esponenziale.

Esposto così sommariamente le esperienze che si riferiscono al nostro soggetto passo ora ad esporre le esperienze da me fatte in proposito.

Il metodo da me tenuto è quello stesso già usato dal prof. Felici, che ho già descritto e che presenta il vantaggio di eliminare la influenza delle correnti indotte nelle spirali, poichè il ferro si smagnetizza in presenza di due spirali che sono entrambe aperte.

Nuclei. — Come nuclei ho adoperato

1. Un cilindro di ferro lungo 485 mm. diametro 18
2. » » » 452 » 32
3. » » » 340 » 13
4. » » » 252 » 22
5. Fasci filo di ferro protetti da uno strato di ossido lunghi 400^{mm} diametro 0^{mm},4.

(1) L. Donati. *Sulla misura elettrostatica delle forze elettromotrici d'induzione.* Ann. della R. Scuola Normale Superiore di Pisa, vol. IV, 1875.

(2) L. Donati e G. Poloni. *Sul magnetismo temporario di una sbarra di ferro.* N. Cimento, serie 2., t. XIII.

6. Fili di ferro lunghi 100 mm. diametro 1^{mm}
7. » » 300 » 1^{mm},5
8. Bacchette di ferro lunghe 275 mm. diametro 4^{mm},5
9. » » 275 » 7^{mm}
10. » » 240 » 8^{mm}
11. Un cilindro di ghisa lungo 392 mm. diametro 15 mm.
12. Una sbarra parallelepipedica di acciaio a base quadrata della lunghezza di 413 mm. lato della base 13 mm.
13. Sbarra parallelepipedica di acciaio magnetizzata lunga 610mm. lati della base 25 mm; 12 mm.
14. Tubi di acciaio da cannoni lunghi 495 mm. diametro 3 mm. a 5.
15. Un cilindro di acciaio lungo 400 mm. diametro 30 mm.
16. » » 370 » 25

Spirali. — Le spirali adoperate erano formate da filo di rame coperto di seta, ed avevano le dimensioni seguenti. Tutte le dimensioni sono misurate in millimetri.

	Altezza della spirale	Diametro est.	Diametro interno	Groschezza del filo	Numero delle spire
1	233	97	89	1,2	570
2	210	40	25	1,4	750
3	210	56	42	1,1	1070
4	130	60	40	0,7	2600
5	150	30	19	1,4	430
6	110	48	34	2,2	150
7	108	86	52	1,5	900

La groschezza del filo si è ottenuta dividendo l'altezza del rocchetto pel numero di spire che compongono uno strato, e il numero delle spire moltiplicando il numero di quelle di uno strato pel numero degli strati calcolati dalla groschezza del rocchetto e del filo, quindi questi numeri sono solo approssimati.

Pila — La pila era costituita da uno o più elementi Bunsen grandi. Del circuito della pila faceva parte un reostata Hipp per mezzo del quale poteva introdursi una resistenza di 2000 Siemens, e far così diminuire a piacere la intensità della corrente la quale era misurata per mezzo di una bussola delle tangenti introdotta nel circuito.

Galvanometro — Come galvanometro ho fatto principalmente uso di una eccellente bussola di Weber; e quando ho dovuto misurare correnti molto deboli mi son servito di un galvanometro di Wiedemann a sistema astatico. Nei due casi le deviazioni si osservavano col solito metodo di Gauss, sopra una scala posta insieme al cannocchiale alla distanza di 1^m.50 dallo specchietto.

Interruttore. — Debbo alla gentilezza del prof. Felici di aver potuto adoprare in queste esperienze un interruttore simile, ma modificato, e migliore di quello di cui egli si servì nelle esperienze di cui ho già parlato. Non starò qui a descriverlo, mi limiterò solo a dire qualcosa intorno alla misura dei tempi.

Il peso dell'interruttore che con la sua caduta pone in movimento la leva che serve ad aprire e chiudere i circuiti si faceva cadere sempre da una stessa altezza, e per far variare l'intervallo di tempo fra le varie interruzioni dei circuiti si spostava per mezzo di una vite micrometrica una delle leve laterali che è mobile verticalmente sul suo sostegno. Verificai la proporzionalità fra le altezze di cui si faceva scorrere questa leva, a partire dalla posizione in cui avviene simultaneamente l'apertura di un circuito e la chiusura di quell'altro, e i tempi che correivano fra l'apertura di un circuito e la chiusura dell'altro, facendo uso delle vibrazioni di un diapason nel modo già indicato chiaramente dal prof. Felici. Il diapason così non serviva che per una esperienza preparatoria, perchè nel seguito della esperienza si faceva uso della sola vite micrometrica. Nell'interruttore del prof. Felici il diapason non è sempre necessario che quando i tempi non sono più estremamente piccoli.

Così si poteva cambiare a piacere e di quantità determinate l'intervallo di tempo che si faceva scorrere fra l'apertura del circuito magnetizzante e la chiusura di quello indotto.

In tutte le esperienze eseguite il peso dell'interruttore è stato riportato sempre alle medesime altezze. Si sono adoperate due altezze differenti, per poter disporre di intervalli di tempo differenti spostando di una stessa altezza la leva laterale.

Nei due casi si è determinato quale era il tempo misurato in vibrazioni semplici del corista, che corrisponde allo spostamento di un millimetro della leva e si è trovato, che facendo cadere il peso dalla posizione α

1^{ma} corrisponde a 0,29 vibrazioni semplici.

Facendo cadere il peso dalla posizione *b*

1^{mm}. corrisponde a 0,57 vibrazioni semplici.

Confrontando la velocità di smagnetizzazione di diversi nuclei ho trovato, come era da aspettarsi per quello che già abbiamo detto, che il magnetismo di un fascio di 100 fili grossi 0^{mm},4 e lunghi 300 millimetri ricoperti da uno strato di ossido si annullava dopo l'apertura della corrente magnetizzante, in un tempo brevissimo, mentre era assai maggiore la durata della smagnetizzazione di una sbarra massiccia anche di piccole dimensioni.

Ho cercato dapprima di stabilire se e in quali casi era possibile rappresentare le deviazioni galvanometriche, ottenute chiudendo il circuito indotto dopo decorsi intervalli di tempo variabili, dalla apertura del circuito magnetizzante, per mezzo di una sola esponenziale della forma

$$A e^{-\alpha t}$$

dove *t* è il tempo variabile decorso fra l'apertura del circuito magnetizzante e la chiusura di quello indotto, *A* e α sono due costanti. La costante *A* sarebbe la deviazione galvanometrica per *t* = 0, cioè quella che si ottiene per l'annullarsi di tutto il magnetismo del nucleo. Per determinarla si apriva il circuito della pila mentre era chiuso quello del galvanometro, e dalla deviazione ottenuta si detraeva quella che aveva luogo ripetendo la esperienza senza il nucleo nell'interno delle spirali.

Esperimentando con nuclei di ferro più o meno dolce, di acciaio ec. e con correnti magnetizzanti di varia intensità si sono ottenuti i seguenti risultati.

Adoperando come rocchetto magnetizzante il n. 4 e come indotto il n. 5, e per nucleo 4 bacchette di ferro dolce lunghe 275 mm. e del diametro di 4^{mm},5 protette da uno strato di ossido, e calcolando le deviazioni galvanometriche per mezzo di una sola esponenziale si ha un accordo sodisfacentissimo colla esperienza, anche facendo variare la intensità della corrente magnetizzante entro limiti abbastanza estesi come appare dalle due tavole seguenti.

TAVOLA I. (1)

$$I = 6^{\circ}.20'$$

$$D = 77,5.$$

Galvanometro Wiedemann a sistema astatico.

Il peso dell'interruttore è fatto cadere dalla posizione *b*.

Nella colonna F_s sono notate le deviazioni osservate

» F_c » calcolate colla
formula $A e^{-\alpha t}$ facendo

$$A = 76,8$$

$$\alpha = 0,0445.$$

	TEMPI	F_s	F_c	$F_s - F_c$
1	0,5	73,4	73	+ 0,4
2	1	69,4	69,3	+ 0,1
3	2	62,4	62,6	— 0,2
4	3	56,1	56,5	— 0,4
5	4	50,4	51	— 0,6
6	5	45,6	46	— 0,4
7	6	41,3	41,5	— 0,2
8	8	34,3	33,8	+ 0,5
9	10	27,4	27,6	— 0,2
10	12	22,9	22,5	+ 0,4
11	16	14,9	14,9	0
12	20	10	9,9	+ 0,1

(1) In tutte le tavole indicheremo con *I* la intensità della corrente magnetizzante misurata alla bussola delle tangenti, e indicheremo con *D* la deviazione totale dovuta all'annullarsi di tutto il magnetismo del nucleo, misurata come abbiamo detto più sopra.

Le deviazioni galvanometriche sono sempre misurate in millimetri della scala.

Per unità di tempo si prende il tempo cui corrisponde lo spostamento di un millimetro della leva laterale dell'interruttore.

TAVOLA II.

Bussola di Weber.

Il peso dell'interruttore è fatto cadere dalla posizione *a*.

$$I = 60^\circ$$

$$D = 95,8$$

Nella colonna F_s sono notate le deviazioni osservate» F_c

»

calcolate colla

formula $Ae^{-\alpha t}$ facendo

$$A = 95,8$$

$$\alpha = 0,015.$$

	TEMPI	F_s	F_c	$F_s - F_c$
1	2	90,5	89,3	+ 1,2
2	4	82,0	83,3	- 1,3
3	6	77,0	77,8	- 0,8
4	8	73,5	72,6	+ 0,9
5	12	63,0	63,2	- 0,2
6	16	56,0	55,0	+ 1,0
7	20	46,2	47,9	- 1,7
8	25	39,8	40,3	- 0,5
9	30	33,3	33,9	- 0,6
10	35	29,0	28,6	+ 0,4
11	40	24,9	24,0	+ 0,9

Adoprando cogli stessi rocchetti per nucleo un cilindro di ferro lungo 485^{mm} e del diametro di 18^{mm}, il quale è dotato di un leggero potere coercitivo, possedendo un poco di magnetismo permanente, ho trovato che mentre per deboli correnti magnetizzanti si può ritenere la relazione fra le deviazioni e il tempo sia espressa da una sola esponenziale, per correnti più forti i valori calcolati differiscono sensibilmente da quelli osservati, e non si ottiene sufficiente approssimazione che valendosi di due esponenziali.

Lo stesso accadeva usando come nucleo una sbarra parallelepipedica di acciaio lunga 413^{mm} e avente per base un quadrato di 13^{mm} di lato.

Per rappresentare le deviazioni ottenute con deboli correnti magnetizzanti basta, come mostra la tavola seguente, una sola esponenziale, mentre ne occorrono due per le forti correnti.

TAVOLA III.

$$I = 4^{\circ}40'$$

$$D = 53$$

Galvanometro Wiedemann.

Peso interruttore posizione *b*.

I valori F_c sono calcolati colla formola $Ae^{-\alpha t}$ ponendo

$$A = 52,5$$

$$\alpha = 0,050$$

	TEMPI	F_s	F_c	$F_s - F_c$
1	0,5	49,7	49,6	+ 0,1
2	0,75	48,5	48,2	+ 0,3
3	1	46,4	46,8	- 0,4
4	1,5	43,7	44,2	- 0,5
5	2	41,2	41,7	- 0,5
6	3	36,7	37,2	- 0,5
7	4	33,1	33,1	0
8	6	26,3	26,3	0
9	8	21,0	20,9	+ 0,1
10	10	16,5	16,6	- 0,1
11	14	10,9	10,5	+ 0,4
12	20	5,9	5,3	+ 0,6

Adoperando invece come nucleo cinque o dieci tubi capillari di acciaio da cannoni, lunghi 495 mm. e del diametro di 3 a 5 mm., oppure cilindri massicci di acciaio lunghi rispettivamente 400 e 370 mm. e grossi 30 e 25 mm., i valori trovati si scostano molto da quelli calcolati con una formola che non contenga che una sola esponenziale.

Le esperienze fatte sembrano confermare la ipotesi del prof. Felici, cioè che valga una sola esponenziale pel caso teoretico di ferro affatto privo di forza coercitiva, mentre ne occorrono due quando si abbia un nucleo dotato di sensibile potere coercitivo.

*Influenza della forza magnetizzante nella velocità
di smagnetizzazione.*

La velocità con cui si dissipa il magnetismo di una massa di ferro dipende dalla intensità della forza magnetizzante. Ho osservato costantemente che lasciando le stesse tutte le altre con-

dizioni e variando la intensità della corrente magnetizzante, all'aumentare della intensità della corrente diminuisce la velocità con cui si dissipa il magnetismo. Il fenomeno si osserva tanto con nuclei massicci di ferro dolce o di acciaio che con fasci di filo di ferro ec. ec.

Nelle esperienze seguenti per variare la forza magnetizzante si è lasciato lo stesso rocchetto e si è fatta variare la intensità della corrente.

TAV. IV.

Rocchetto magnetizzante n.° 4.

» indotto » 5.

Nucleo n.° 1.

Bussola di Weber.

Peso dell'interruttore posizione b.

Per poter fare più facilmente il confronto si sono ridotte al valore 100 le prime deviazioni in questa tavola e nelle seguenti.

TEMPI		I=16°40'	I=27°40'	I=44°40'
		Deviazioni galvanometriche		
1	2	100	100	100
2	4	87,6	91,5	89,9
3	6	79,3	82,5	84,4
4	8	71,9	76,9	77,8
5	12	60,6	65,0	68,8
6	16	49,6	56,7	61,1
7	20	42,3	47,6	52,5
8	24	36,2	41,0	45,3
9	28	31,0	37,9	40,9
10	32	27,0	31,6	36,3
11	36	22,3	27,6	32,8
12	40	19,4	24,0	29,1

TAVOLA V.

Nucleo n.° 13.

Le altre condizioni come la tavola precedente.

TEMPI		I=10°40'	I=28°20'	I=61°40'	I=70°20'
Deviazioni galvanometriche					
1	2	100	100	100	100
2	4	80	87,4	91,9	92,5
3	6	65	79,5	83,8	87,2
4	8	52,1	72,8	76,5	80,8
5	12	33,6	60,0	65,9	70,3
6	16	23,1	48,4	58,2	61,8
7	20	15,3	38,6	49,8	54,9
8	25		31,0	42,3	47,7
9	30		24,6	35,9	41,0
10	35		21,2	30,5	35,5
11	40		15,7	26,2	31,0

La forza magnetizzante poteva farsi variare tenendo costante la corrente e variando il numero di strati di filo del rocchetto.

Avevo un rocchetto sul quale erano avvolti tre strati di filo di rame coperto di seta formanti tre circuiti separati, sicchè potevo a piacere far passare la corrente per uno solo, per due o per tutti e tre. Facendo passare la corrente prima per tutti e tre gli strati eppoi per uno solo, ed aggiungendo in questo caso per mezzo del reostata tanta resistenza nel circuito in modo da ridurre la intensità della corrente, misurata alla bussola delle tangenti, uguale a quella di prima, si sono ottenuti i risultati notati nelle seguenti tavole.

TAVOLA VI.

Rocchetto magnetizzante n.° 1.

» indotto » 3.

Nucleo n.° 13.

2 Bunsen.

TEMPI	Un solo strato di filo	Tre strati di filo
	Deviazioni galvanometriche	
1	52,8	58,1
2	42,8	46,9
3	37,6	42,9
4	32,5	36,6
6	25,2	28,7
8	19,2	24,4
12	12,4	16,2
16	7,8	11,6
20	4,8	8,3

TAVOLA VII.

Nucleo n.º 1.

Le altre condizioni come la tavola precedente.

TEMPI	Un solo strato	Tre strati
	Deviazioni galvanometriche	
1	42,9	63,7
2	35,2	54,3
3	31,5	47,5
5	26,9	43,2
6	21,7	35,5
8	17,5	29,6
12	11,9	23,9
16	7,4	18
20	6,7	14,6

La diminuzione della velocità di smagnetizzazione all' aumentare della intensità della forza magnetizzante è, come mostrano le tavole IV e V, molto sensibile in principio, ma quando la forza magnetizzante ha raggiunto un certo valore tende a divenire costante. Non si è potuto mettere bene in evidenza questa particolarità facendo uso di correnti molto più intense, poichè la scintilla, che con correnti più forti si produceva alla apertura del circuito magnetizzante, prolungando la chiusura del circuito rendeva incerto l'istante dell'apertura ed inoltre per effetto della scintilla le due superfici di argento che col loro distacco determinano l'apertura del circuito si vengono ad annerire e a rendere così meno buono il contatto.

Poteva nascere il dubbio quando si sperimentava coll'acciaio ed anche col ferro, che non è mai perfettamente privo di forza coercitiva, che il magnetismo permanente che il nucleo andava mano mano acquistando potesse influire sulla rapidità con cui si dissipava il magnetismo temporario. Dalle seguenti esperienze risulta che il magnetismo permanente preesistente non influisce sensibilmente sulla velocità di smagnetizzazione.

Presi una sbarra cilindrica di acciaio non magnetizzata e feci rapidamente una serie di esperienze adoprando una debole corrente; a fine di esperienza la sbarra era debolissimamente

magnetizzata. L'assoggettai allora ad una forte corrente e la magnetizzai così permanentemente. Ripetuta la esperienza ottenni sensibilmente gli stessi risultati ottenuti colla sbarra magnetizzata.

Lo stesso trovai con un cilindro simile di acciaio ma di dimensioni molto maggiori.

Feci in proposito anche un'altra esperienza. Presi una sbarra parallelepipeda di acciaio magnetizzata da molto tempo, la posi nell'interno del solito sistema di spirali, e feci la esperienza tanto facendo circolare la corrente in modo da tendere a magnetizzare la sbarra nello stesso senso che in senso opposto al suo magnetismo permanente, e nei due casi si ottennero gli stessi risultati anche facendo variare notevolmente la intensità della corrente magnetizzante.

Influenza delle correnti indotte nella massa del ferro.

Ho parlato in principio di alcune esperienze le quali mostrano indirettamente il ritardo prodotto nella smagnetizzazione di una massa di ferro dalle correnti indotte che possono in essa circolare. Anche dalle esperienze da me fatte risulterebbe una influenza notevole di quelle correnti per ritardare la smagnetizzazione, non però tale da far sì come riteneva Magnus (1) che un fascio di fili di ferro immersi nel mercurio si comportino come un nucleo massiccio. Quantunque la differenza può, almeno in parte, attribuirsi alla conducibilità del mercurio la quale è circa 7 volte minore di quella del ferro.

Fra le esperienze fatte citerò le seguenti. Aveva 5 bacchette di ferro lunghe 275 mm. e del diametro di 4^{mm},5; avolsi in vicinanza delle estremità, e nel mezzo di ciascuna bacchetta, del filo di seta, sicchè quando le riunivo non potevano toccarsi che nei punti coperti dalla seta, e le posi entro un tubo di vetro il quale introdussi poi nell'interno delle solite spirali e feci la solita esperienza. Quindi avendo prima con ogni cura pulito le bacchette riempi il tubo di vetro con mercurio e ripetei la esperienza. In questo caso potevano nella massa del ferro e del mercurio originarsi delle correnti indotte e si aveva un ritardo nella

(1) Magnus, *Pogg. Ann.* Bd. XLVIII, S. 95, 1839.

smagnetizzazione in confronto al caso precedente, nel quale queste correnti non potevano circolare.

La differenza si fa anche assai più sensibile se invece di adoprare bacchette di ferro piuttosto grosse, come quelle della esperienza citata, si adoprano fili di ferro.

Ciò mi induce a ritenere che la ragione per cui il prof. Felici ha trovato poca differenza facendo questa esperienza, lasciando le bacchette isolate fra loro e riempiendo con mercurio lo spazio da esse lasciato vuoto, si debba ricercare nelle dimensioni delle bacchette di ferro da esso adoperate. Erano parallelepipede a sezione quadrata di 7 millimetri di lato.

Presi 80. fili di ferro grossi circa $1^{\text{mm}},5$ avolsi la seta attorno a ciascuno come per le bacchette, e li misi in un tubo di vetro e feci la esperienza dapprima lasciando vuoti gli spazi interposti fra i fili, e quindi riempiendoli di mercurio.

I risultati si trovano esposti nelle seguenti tavole.

TAVOLA VIII.

10 bacchette di ferro lunghe 275^{mm} , diametro $4^{\text{mm}},5$.

Rocchetto magnetizzante n.° 1.

» indotto » 3.

1 Bunsen.

Galvanometro Wiedemann.

(Le deviazioni totali si sono ridotte a 100).

	TEMPI	senza mercurio	con mercurio
		Deviazioni galvanometriche	
1	0,20	74	83,5
2	0,25	62,5	81,0
3	0,30	53,5	79,5
4	0,35	49,7	77,0
5	0,40	45,8	75,0
6	0,50	40,0	69,8
7	0,60	33,8	65,0
8	0,70	32,5	61,0
9	0,80	29,0	57,5
10	1,05	22,8	50,4
11	1,30	20,2	44,0
12	1,80	14,0	35,2
13	2,30	10,0	27,0
14	3,30	6,1	18,2
15	4,30	3,8	13,0
16	6,30	2,0	6,0

TAVOLA IX.

80 fili di ferro lunghi 300^{mm}, diametro 1^{mm},5.

Le altre condizioni come la tavola precedente.

(Le deviazioni totali si sono ridotte a 100).

	TEMPI	Senza mercurio	Con mercurio
		Deviazioni galvanometriche	
1	0,20	19,2	80,3
2	0,25	12,0	74,0
3	0,30	8,3	68,0
4	0,35	6,0	64,6
5	0,40	5,2	59,6
6	0,50	3,2	53,3
7	0,60	2,1	48,0
8	0,75	1,2	40,0
9	1	0,4	32,0

Citerò anche un'altra esperienza la quale mostra la influenza delle correnti indotte nella massa del ferro per ritardarne la smagnetizzazione.

Presi due tubi uguali, di ferro; uno tagliato longitudinalmente e l'altro invece era saldato. Esperimentando successivamente con questi due tubi si ottennero i seguenti risultati.

TAVOLA X. (1)

Si adoprano gli stessi rocchetti, la stessa pila e lo stesso galvanometro che precedentemente.

(Le deviazioni totali sono ridotte a 100).

	TEMPI	TUBO	
		Tagliato longitud.	Saldato
		Deviazioni galvanometriche	
1	0,20	35	49,2
2	0,25	19,7	40,0
3	0,30	12,5	33,8
4	0,35	7	30,0
5	0,40	3,8	24,5
6	0,45	2,2	10,0
7	0,50	1,7	8,8
8	0,60	0,6	4,8

(1) I due tubi erano lunghi 452 millimetri avevano un diametro di 36 millimetri ed una grossezza di poco più che mezzo millimetro. Quindi anche nel tubo saldato le

La influenza delle correnti indotte nella massa del ferro nel ritardare la smagnetizzazione si manifesta indirettamente, osservando la rapidità con cui si smagnetizzano due sbarre simili di ferro ma di dimensioni differenti. La più grossa si smagnetizza più lentamente, come può vedersi dalla tavola seguente:

TAVOLA XI.

Rocchetto interno n.° 5.

» esterno » 4.

2 Bunsen.

	TEMPI	Nucleo n. 10	Nucleo n. 3
1	2	81,9	89,7
2	4	70,7	85,4
3	6	61,9	80,1
4	8	55,5	76,9
5	12	46,4	69,3
6	16	39,3	63,8
7	20	32,5	56,2
8	24	28,1	51,0
9	28	23,7	47,0
10	32	20,3	43,5
11	36	17,4	40,6
12	40	14,4	38,2

Riassunto.

Riassumendo brevemente quello che abbiamo esposto, possiamo dire che:

1°. Quando una massa di ferro si smagnetizza in presenza di due spirali (magnetizzante e indotta) aperte, le deviazioni galvanometriche F ottenute chiudendo il circuito della spirale indotta, un certo tempo t dopo l'apertura di quello magnetizzante si possono rappresentare colla formola

$$(1) \quad F = A e^{-\alpha t}$$

correnti indotte non potevano avere grande influenza; avendo sperimentato con tubi di spessore maggiore si sarebbero potuti avere risultati più decisivi.

nel caso di ferro affatto privo di forza coercitiva, e nel caso di ferro non perfettamente dolce o di acciaio coll'altra

$$F = A e^{-\alpha t} + B e^{-\beta t}.$$

dove A, B, α , β sono quattro costanti.

2.° La (1) vale con tanta maggiore approssimazione quanto minore è la forza magnetizzante.

3.° La velocità con cui si dissipa il magnetismo di una massa di ferro al cessare della forza magnetizzante, diminuisce coll'aumentare della forza magnetizzante, dapprima molto sensibilmente e in seguito sembra tendere verso un valore costante.

4.° La velocità con cui si dissipa il magnetismo di una massa di ferro al cessare della forza magnetizzante è notevolmente diminuita, se per la continuità della massa possono in essa originarsi delle correnti indotte.



UNA SPERENZA DI CORSO; DEL PROF. E. FOSSATI.

Se come da molti si afferma (1), il pregio maggiore della lampada di sicurezza di Davy nel prevenire le disgrazie nelle miniere di carbon fossile per la presenza in esse di miscugli esplosivi, consiste nell'impedire che una esplosione avvenuta entro la custodia metallica che circonda la fiamma della lampada pel *grisou* che vi giunge in contatto, non possa di poi propagarsi all'esterno pel potere raffreddante della rete di cui la custodia stessa è formata; a noi sembra, che a porre in chiaro il vero modo d'oprare della lampada Daviniana, non siano sufficientemente istruttive quelle esperienze che soglionsi tenere nelle scuole, ri-

(1) Fra le altre vedi le opere seguenti: Malocchi *Elementi di Fisica* 1853. — Brugnattelli *Chimica Generale* 1861. — Cazin *La Chaleur* 1868. — Fernet *Physique Elementaire* 1872. — Bouillet *Dictionnaire des sciences* 1872. — Privat-Deschanel *Tratato elementare di Fisica* 1879.