SULLE VARIAZIONI DI LUNGHEZZA CHE ACCOMPAGNANO
LA MAGNETIZZAZIONE; A. RIGHI.

I. Indicazione dei lavori anteriori al presente.

I suoni che si producono quando s'interrompa, si chiuda o si inverta la corrente in un'elica, nell'asse della quale si trovano dei corpi magnetici, fecero nascere il sospetto, che nell'atto della magnetizzazione avvenissero in quei corpi degli istantanei cambiamenti di dimensione. Vari fisici giunsero a dimostrarne la realtà; ma i loro risultati sono lungi dall'essere fra loro concordanti.

Una lunga serie d'esperienze fu fatta dal Joule (1). Esso si servì d'una leva a braccia ineguali, sulla minore delle quali agiva il corpo in esame, e trovò che il ferro si allunga nell'atto del magnetizzarsi, e si raccorcia al cessare della corrente. Il raccorciamento è minore dell'allungamento, di modo che resta il ferro, dopo l'azione della corrente, con lunghezza maggiore di prima. L'acciaio dà secondo il Joule, un diverso risultato, poichè dopo essersi allungato, meno però assai del ferro, al cessare della corrente, subisce in vece di raccorciamento, un piccolo allungamento ulteriore. Però se l'acciaio è fortemente temprato non dà nessun effetto finchè non siasi magnetizzato al grado di saturazione. Al di là di questo limite la corrente lo accorcia. Sperimentando poscia su fili e sbarre sottoposte alla trazione di un peso, trovò che nel ferro dolce, l'allungamento si faceva via via minore, a parità di corrente, al crescere del peso tensore. Per una data tensione l'allungamento era nullo, e per tensioni maggiori, si avea un raccorciamento.

(1) *Phil. Mag.* 1874.

Wertheim ⁽¹⁾ trovò pure che le aste di ferro si allungano magnetizzandosi. Egli studiò inoltre le inflessioni che hanno luogo quando l'asta non occupi esattamente l'asse dell'elica le quali già erano state avvertite da Guillemin ⁽²⁾. Beatsone ⁽³⁾ trovò pure lo stesso risultato col ferro ordinario; ma il ferro rincotto, esposto all'azione magnetica, non gli mostrò nessuna variazione di lunghezza.

Qualunque siano queste variazioni di lunghezza il volume del ferro si conserva costante. Diffatti Joule avendo racchiusa una sbarra di ferro in una specie di bulbo di vetro, munito di cannello capillare e pieno di liquido, il livello di questo non variò nell'atto della magnetizzazione. E Gay-Lussac ebbe lo stesso risultato formando il bulbo, colla capacità interna di un tubo d'acciaio che magnetizzava.

Il Wiedemann, colle sue belle ricerche sulle relazioni fra la magnetizzazione, e l'elasticità, fu condotto ad una esperienza che, a quanto asserisce Maxwell ⁽⁴⁾, sembra in opposizione coi risultati ottenuti da Joule e Wertheim. Egli trovò diffatti che una corrente che percorra d'alto in basso un filo verticale magnetizzato (per esempio col polo nord in basso) fisso alla parte superiore, e libero all'inferiore, produce una torsione di questo filo, per la quale l'estremità inferiore vista d'alto in basso, resta girata nel senso degli indici d'un orologio. Questa torsione insomma si effettua in senso tale, che indica un raccorciamento nel senso della magnetizzazione.

Non meno discordanti sono i risultati dei vari sperimentatori per rapporto alle variazioni di lunghezza, di fili di ferro percorsi direttamente dalla corrente, e quindi magnetizzati trasversalmente. Joule facendo passare la corrente per un filo teso nell'asse d'un tubo di ferro, osservò in questo un accorciamento. Beatsone trovò invece che al passaggio della corrente un filo di ferro si allunga. E sperimentando

(1) *Ann. de Ch. et Phys.* 3. Serie, T. XXIII, p. 305.

(2) *Compt. Rend. de l'Ac. de Paris*, XXII.

(3) *Bibl. Univ. de Genève*. 1846.

(4) *A treatise on Electricity*. T. II, pag. 87.

sopra un filo di ferro dolce circondato da un'elica, trovò che dapprima l'elica non dava alcun effetto, poscia una corrente inviata nel ferro produceva finchè durava un allungamento dopo del quale anche la corrente nell'elica poteva fare lo stesso e così di seguito; inviando quindi alternativamente la corrente e nel ferro e nell'elica, poteva ogni volta avere l'effetto indicato.

Dopo tutto ciò, non sembrerà cosa priva d'interesse il riprendere in esame questioni che tanto intimamente si collegano alla teoria dei fenomeni magnetici; nei quali, per quanto sieno semplici in confronto di altri studiati nella fisica, tuttavia resta ancora molto di oscuro ed indeterminato (').

H. Metodo sperimentale adottato.

Per studiare variazioni di lunghezza tanto piccole o che si manifestano in modo così brusco, mi decisi ad abbandonare assolutamente l'uso di leve. Questo genere di congegno potrà valere a rendere visibili delle lente variazioni, come quelle prodotte dal calore; ma in ogni modo nei perni e nelle congiunzioni è sempre inevitabile qualche poco di gioco, che fa scomparire i minimi spostamenti, o fa sì che si manifestino in modo irregolare. Conveniva dunque evitare le congiunzioni a pernio, e inoltre rendere minima la massa del congegno che il filo o l'asta devono muovere al variare di lunghezza.

Credei quindi che nulla di meglio potevo fare che adottare quello stesso sistema di esilissime molle di acciaio munite di un leggerissimo specchio che mi servì a dimostrare o studiare le variazioni di lunghezza del vetro dei condensa-

(1) Recentemente due fisici americani A. M. Mayer o Ogden N. Rood, promiserò d'occuparsi delle variazioni di dimensioni dovute alla magnetizzazione. Il primo pubblicò una memoria storica preliminare (vedi *Journal de D'Almeida* 1874, pag. 109), ma le memorie seguenti, per quanto mi consta non apparvero ancora. Il Rood (*Journal de D'Almeida*, 1876, pag. 139), trattando delle applicazioni del pendolo orizzontale esprime l'intenzione di servirsene per misurare i cambiamenti di dimensione dei corpi magnetici. Ma neppur esso pubblicò di poi nulla su questo argomento.

tori; essendo esso stato da me descritto (1), posso ora dispensarmi dal tenerne parola; come pure dall'indicare in qual modo dalle letture fatte al cannocchiale possansi calcolare le vere variazioni di lunghezza. Dirò solo che la piccola molla a specchio permette d'ingrandire la variazione di lunghezza, per sette od otto mila volte, ed ha inoltre la preziosa prerogativa di poter dare indicazioni istantanee. Per questa proprietà essa valse a distinguere, nel citato lavoro, l'effetto del calore dall'effetto elettrico; e nel presente vedremo, mostrerà fenomeni transitori, che sfuggirebbero ad un meno pronto mezzo di misura. L'asta, filo o sbarra metallica, che si vuol studiare si prolunga superiormente in una grossa asta d'ottone, solidamente fissata, mentre all'inferiore, porta un morsetto che la collega alla piccola molla a specchio. È inoltre circondata da un'elica per la quale si può far passare la corrente. Ordinariamente mi valse d'un elica induttrice formata avvolgendo ad una canna di vetro lunga quanto l'asta che si studia e grossa 12^{mm}, due strati di filo di rame coperto di cotone, del diametro di 1^{mm}. Essa viene fissata all'asta solo nella parte inferiore cosicchè quest'ultima la regge, conservando pur tuttavia ogni libertà per variare di lunghezza. Due fili sottilissimi servono ad introdurre la corrente nell'elica, senza far ostacolo ai movimenti della sbarra. Altri due fili servono a far passare, quando occorra, una corrente attraverso alla sbarra stessa.

La ragione per la quale l'elica deve essere portata dall'asta che si studia, e non essere fissata indipendentemente è che disponendo le cose in quest'ultima maniera, sarebbe difficilissimo mettere l'asta esattamente nell'asse dell'elica, e quindi non potrebbero evitarsi nell'atto in cui si lancia la corrente degli spostamenti dell'estremo inferiore dell'asta, i quali darebbero false indicazioni.

Volendo sperimentare su aste o fili di ferro o di acciaio, prima cura da aversi è quella d'assicurarsi che sieno privi di magnetismo. Coll'arroventamento è facile smagnetizzare

(1) *Atti dell'Acc. di Bologna*. 1879. — *N. Cimento*. Dicembre 1879.

il ferro dolce; ma in quanto all'acciaio la cosa è assai malagevole, e ciò che tuttavia più conviene quando non occorre che sia temprato, è ancora l'arroventamento protratto per qualche tempo, susseguito da raffreddamento lento, durante il quale è bene che l'asta sia tenuta perpendicolare al meridiano magnetico.

III. *Variazioni di lunghezza dovute al magnetismo longitudinale.*

Allungamento prodotto dalla magnetizzazione. — Le mie esperienze furono eseguite con aste di ferro lunghe circa 1^m,40, e gross 16^{mm}, 7^{mm}, 6^{mm} e 3^{mm} (*), e con aste d'acciaio di 7^{mm} di diametro. Adoperai la corrente di 8 coppie Bunsen, variando l'intensità, coll'aggiungere nel circuito delle resistenze.

Nel momento in cui si fa passare la corrente nell'elica, si nota un istantaneo spostamento della immagine della scala nel cannocchiale, in senso tale da indicare allungamento, e ciò si adoperi ferro dolce od acciaio. In tutti i casi dunque il formarsi della polarità longitudinale produce un allungamento. Esso è tanto maggiore quanto più intensa è la corrente che si adopera, e qualche volta fu di 50 o 60 millimetri della scala, corrispondenti ad un allungamento effettivo di circa 7 od 8 millesimi di millimetro. Aprendo il circuito, si vede un istantaneo spostamento in senso opposto a prima, e cioè l'asta di ferro o di acciaio si accorcia. Se si adoperò del ferro ben dolce e la corrente fu debole, vedesi che riprende la primitiva lunghezza; ma con correnti forti, e specialmente adoperando l'acciaio, resta la sbarra, al cessare della corrente, notevolmente allungata. In pari tempo essa resta come è noto, magnetizzata permanentemente. In quanto all'acciaio può darsi che all'aprirsi del circuito conservi in tutto l'allungamento subito, ciò che spiega come possa accadere, che messa in esperimento un'asta d'acciaio

(*) Per le aste di 16^{mm}, feci uso d'un'elica di maggiori dimensioni di quelle indicate.

già magnetizzata, con correnti non tanto intenso, non si osservi allungamento di sorta. Se dopo aver fatto agire una volta la corrente si chiude e si apre alternativamente il circuito, l'asta riprende pure alternativamente le lunghezze che ebbe, durante il primo passaggio della corrente e dopo la prima interruzione. Riporto due delle molte serie di letture fatte in vari giorni d'esperienze.

Asta di ferro di 6^{mm} di diametro.

	Allungamento totale	Allungamento rimanente
Posizione iniziale della scala . 137 ^{mm}	31	15
Chiudo il circuito. 168		
Apro 152		
Circuito chiuso 168		
» aperto 152		
» chiuso 168		
» aperto 152		

Asta di acciaio di 7^{mm} di diametro.

	Allungamento totale	Allungamento rimanente
Posizione iniziale della scala . 142 ^{mm}	18	16,5
Circuito chiuso 160		
» aperto 158,5		
» chiuso 160		
» aperto 158,5		
» chiuso 160		

Una notevolissima differenza che pure si riscontra fra ferro dolce ed acciaio è, che a parità di condizioni, l'allungamento che subisce quest'ultimo è molto minore.

Il risultato delle esperienze, è dunque manifestamente in opposizione con ciò che un esame superficiale dell'analogia coi fenomeni elettrici dei coibenti, avrebbe fatto supporre. Difatti in quel caso dimostrai aver luogo un allungamento

in direzione perpendicolare alle linee di forza: qui invece l'allungamento è nella direzione di queste. Ma a chi consideri attentamente le specifiche differenze fra la polarizzazione elettrica e la magnetica, apparirà chiaro che questa può produrre effetti diversi, dipendentemente dalle forze molecolari dei corpi. Infatti, il formarsi della polarità magnetica, a differenza dell'elettrostatica, implica un movimento molecolare, che conduce ad un nuovo modo di aggregazione delle molecole stesse. E come in certi corpi la cristallizzazione, e cioè la concorde orientazione delle particelle, produce aumento di volume, così potrà accadere che lo spostamento concorde degli assi magnetici delle molecole del ferro verso una data direzione (¹), produca pure un aumento di dimensione nella direzione della polarità, ad onta che le forze magnetiche reciproche delle molecole tendano ad accostarle, e quindi a raccorciare il corpo in quella stessa direzione.

Relazione fra l'allungamento del ferro dolce e l'intensità della corrente. — Volendo misurare gli allungamenti prodotti con correnti di varia intensità, conviene adoperare un asta di ferro dolce priva di magnetismo, e mandare le correnti nell'elica sempre in una direzione cominciando dalle più deboli, e aumentandone poco a poco l'intensità. Con queste precauzioni si evitano i fenomeni complicati dal magnetismo rimanente. Giunti che si sia alla corrente più forte dovrà cambiarsi la sbarra, poichè un'altra corrente più debole non farebbe più l'effetto di prima, come si dirà fra poco.

Effettuate queste misure per più aste di ferro dolce, di diversi diametri, potei riconoscere che l'allungamento è in proporzione del quadrato dell'intensità della corrente, almeno

(1) Per spiegare i fenomeni della magnetizzazione ed in particolare del magnetismo rimanente, si ammette che in generale, per effetto della magnetizzazione, una molecola qualunque non si diriga col proprio asse nella direzione della forza magnetica, come farebbe se fosse indipendente dalle altre molecole; ma soltanto il suo asse ruoti di un certo angolo verso quella direzione. In altro mio lavoro non ancora giunto a compimento tratterò la questione della teoria della magnetizzazione.

finchè la corrente stessa non è tanto forte. Il rapporto fra il quadrato dell'intensità e l'allungamento, cresce alquanto per correnti intense. Il prospetto seguente riassume le misure relative ad una sbarra di ferro di 16^{mm} di diametro, circondata da una larga elica di filo. L'intensità della corrente era data da una bussola inserita nel circuito. Adoperai 8 coppie di Bunsen, e varie resistenze ausiliarie nel circuito.

Intensità	Allungamento in mm. della scala	Rapporto del quadrato dell'intens. all'allung.
12,5	4,5	34,7
14,5	6	35
16,5	7,5	36,3
18	9	36
19,5	10,5	36,2
20	11	36,3
21	12	36,7
22	13,5	35,8
26	17	39,8
31	22	43,6

Si noti che il momento magnetico della sbarra cresce meno rapidamente della intensità della corrente.

Effetto di correnti successive. — Se dopo che una corrente ha magnetizzata un'asta di ferro o d'acciaio, se ne invia nell'elica una più debole e nello stesso senso, in generale non si osserva che un piccolo allungamento, od anche nulla affatto, quando la corrente stessa sia abbastanza poco intensa. Invece la corrente stessa inviata in direzione contraria alla primitiva, produce un raccorciamento dell'asta, col quale sparisce in parte quell'allungamento che rimase dopo la corrente forte. Ora si sa per le ben note ricerche del Wiedemann, che la seconda corrente, se abbia una intensità appropriata, può smagnetizzare affatto la sbarra. Ora quando anche ciò accada non ho mai osservato che la sbarra torni esattamente alla lunghezza che aveva prima di subire qualsiasi induzione; invece essa conserva sempre una lunghezza

maggiore della iniziale. Così per esempio, un'asta d'acciaio di 7^{mm} di diametro diede gli allungamenti seguenti.

Posizione iniziale della scala	342 ^{mm}
Corrente intensa nell' elica	360
Aperto il circuito	358,5
Con piccola corrente inversa, capace di smagnetizzare l'asta (determinata a tentativi).	345.

Dunque: *una sbarra smagnetizzata colla corrente si conserva più lunga di quando non era magnetizzata.* Ciò conferma chiaramente, ciò che per altra via si era già condotti a supporre, e cioè che una sbarra magnetizzata da una corrente è in ben differenti condizioni d'una che non subì nessuna induzione. Una stessa corrente dell'elica induttrice, la quale agisca sopra un'asta che fu dapprima fortemente magnetizzata, può dunque produrre effetti opposti secondo la sua direzione; ciò può forse spiegare la divergenza di risultati ottenuti da vari sperimentatori.

Fenomeni che si osservano nell'atto d'invertire la polarità magnetica. — Supponiamo che dopo avere inviata una corrente nell'elica, ed averla interrotta, si mandi di nuovo la stessa corrente nella stessa direzione. Se nell'asse dell'elica è posto un filo di ferro più o meno dolce, si vedrà nuovamente nel campo del cannocchiale spostarsi la immagine della scala, in modo da indicare un certo allungamento, il quale sparisce aprendo il circuito. Per quanto rapido sia il moto della immagine della scala, pure si resta persuasi che essa si è semplicemente spostata nella direzione osservata. Se nell'asse dell'elica si è posta una sbarra d'acciaio temprato l'immagine della scala potrà restare assolutamente immobile al chiudersi del circuito, giacchè dopo la corrente precedente restò permanentemente allungata.

Si mandi invece nell'elica una corrente in verso contrario a prima, oppure tenendo chiuso il circuito, s'inverta in essa la corrente. Osservando al cannocchiale con attenzione si vedrà distintamente nel caso del ferro dolce, che la imma-

gine della scala si ferma press'a poco nella stessa posizione come nel caso precedente, ma nell'atto di spostarsi si avvia in direzione opposta alla posizione nella quale poi si ferma definitivamente. E nel caso dell'acciaio temprato, invece di veder restar fissa la scala, vedesi un rapido spostamento, pel quale per un istante la immagine di essa si fa confusa e sparisce; dopo di che essa si mostra nella stessa posizione di prima. Questi fenomeni indicano, che tanto nel ferro che per l'acciaio, nell'atto in cui s'inverte la polarità, la sbarra si raccorcia momentaneamente. In altre parole, la sbarra compie nell'atto della inversione, una oscillazione longitudinale, conseguenza della istantanea rotazione che devono compiere le molecole per obbedire alla nuova forza induttrice.

Per rendere evidente questo istantaneo raccorciamento nell'atto della inversione della polarità, pensai di ricorrere al seguente artificio. Disposi entro il cannocchiale, e nel luogo ove formasi l'immagine della scala, una lastrina opaca, che nascondeva metà del campo. Levai di posto la scala, e vi sostituii una lastra di metallo con un forellino illuminato da una fiamma, in modo che, se nel cannocchiale non avessi posto quella lastrina che nascondeva metà del campo, osservando in esso avrei visto un punto luminoso, immagine di quel foro. Le cose erano disposte in modo, che se l'asta si allungava il punto luminoso non appariva, nascondendosi vieppiù dietro la lastrina opaca sopra menzionata, ed anzi il campo del cannocchiale restava assolutamente oscuro avendo avuto la precauzione di rendere buia la camera: se invece l'asta si raccorciava anche di pochissimo, il punto luminoso appariva nella parte libera del campo del cannocchiale. Potei in tal modo constatare, che chiudendo il circuito colla corrente replicatamente in una stessa direzione, il campo ottico rimaneva oscuro e se al contrario mandava nel circuito una corrente in senso contrario all'ultima che vi era passata, o se, nel caso in cui era in esperienza la sbarra d'acciaio, lasciando chiuso il circuito invertivo semplicemente la direzione della corrente, appariva per un istante il punto luminoso, indicando così in modo evidentissimo un transitorio raccorciamento nell'atto dell'inversione della polarità.

Influenza del magnetismo terrestre. — Sperimentando con aste o fili di ferro rincotto, mi accadde di osservare che l'allungamento prodotto da una corrente d'intensità costante era diverso, secondo che s'inviava nell'elica in un senso, o nel senso contrario. Così per esempio inviando la corrente in un senso che chiamerò A, od in senso opposto B, e adoperando successivamente da 2 a 6 coppie Bunsen, una sbarra di ferro di 16^{mm} di diametro diede gli allungamenti seguenti.

N.° delle coppie	Allungamenti in mm. della scala	
	corrente A	corrente B
2	4 ^{mm} ,5	7 ^{mm}
3	7	9
4	10	12
5	12,5	15
6	14,5	17,5.

Questa differenza di effetti fu sempre visibile, anche avendo cura di adoperare aste non magnetizzate, e di sperimentare prima colle correnti deboli, e poi colle più intense. Non può dunque attribuirsi, a magnetismo rimanente. Siccome la maggior lunghezza ha luogo sempre quando la polarità del ferro è nello stesso senso di quella che vi produce l'induzione terrestre, parmi che questa deve considerarsi come causa del fenomeno. Infatti l'effetto del magnetismo terrestre può immaginarsi sostituito da quello d'una corrente costante che percorra l'elica in un determinato senso, e che quindi a seconda della direzione della corrente che veramente si manda nel circuito, vi si aggiunge o vi si sottrae.

IV. *Variazioni di lunghezza dovute al magnetismo trasversale.*

Accorciamento prodotto dalla corrente. — Se invece di mandare una corrente nell'elica che circonda un'asta o filo di ferro privo di magnetizzazione, si mette il ferro stesso nel circuito della pila, osservansi certe variazioni di lunghezza

che dipendono in modo evidente da due cause distinte. Nell'atto in cui si chiude il circuito si vede un istantaneo spostamento dell'immagine della scala nel campo del cannocchiale in senso tale che indica una subitanea diminuzione di lunghezza. Immediatamente dopo comincia uno spostamento in senso contrario più o meno lento a norma della intensità della corrente, che dura, se non si protrae di troppo l'esperienza, sinchè non si apre il circuito. Infine nel momento dell'apertura, vedesi, un istantaneo allungamento. Siccome l'allungamento continuo è certamente dovuto allo sviluppo di calore, diremo *che una corrente che percorra una sbarra di ferro, produce finchè dura, una diminuzione di lunghezza.*

È noto, specialmente per le ricerche del Villari, che una corrente che percorra un filo di ferro, vi produce una magnetizzazione trasversale, e cioè che per azione della corrente le molecole magnetiche tendono a disporsi coi loro assi in direzione perpendicolare al filo. Una corrente che passi in questo metallo deve quindi spostare le molecole nell'atto in cui comincia o s'inverte; ciò che spiega i fenomeni singolari scoperti e studiati dal Villari, che il ferro presenta con correnti interrotte od invertite. Abbiamo visto che il ferro magnetizzandosi aumenta di dimensione nella direzione delle linee di forza, e siccome il volume non varia, deve aver luogo un restringimento nelle direzioni a quelle perpendicolari. Era dunque da prevedersi che un filo di ferro percorso dalla corrente dovesse raccorciarsi.

Per vedere quale sia la lunghezza che avrebbe la sbarra dopo il passaggio della corrente, se questa non l'avesse riscaldata, basta misurare l'accorciamento istantaneo nella chiusura, e l'allungamento all'apertura del circuito. Si trova sempre quest'ultimo alquanto minore. Si manifesta dunque anche in questo la così detta forza coercitiva, e l'asta conserva un certo grado di magnetismo trasversale rimanente. Chiudendo ed aprendo successivamente altre volte il circuito, il raccorciamento nell'atto della chiusura diviene eguale all'allungamento nell'atto dell'apertura, ed entrambi eguali all'allungamento osservato nell'interrompere per la prima volta la cor-

rente. Riporto qui i risultati di alcune esperienze fatte sopra un'asta di ferro dolce di 6^{mm} di diametro ed un filo di 3^{mm}.

Asta di 6^{mm}, 4 coppie Bunsen.

Posizione iniziale.	270 ^{mm}
Chiudendo il circuito	266,5
Nel momento dell'apertura, dopo qualche secondo; spostamento.	da 277 a 278,5
Chiusura del circuito; spostamento	da 275 a 273,5
Apertura del circuito; spostamento	da 279 a 280,5
La stessa corrente inviata nell'elica dà spostamento	da 285 a 336

Filo di 3^{mm}, 4 coppie Bunsen.

Posizione iniziale.	170 ^{mm}
Chiudendo il circuito	154
Nel momento dell'apertura; spostamento	da 188 a 191
Chiusura; spostamento	da 185 a 182
Apertura; spostamento	da 199 a 202.

Da questi numeri risulta, che l'asta di 6^{mm}, si raccorcì di 3^{mm},5 nella prima chiusura, e si allungò di 1^{mm},5 alla prima interruzione, dopo di che si raccorcì ed allungò, chiudendo ed aprendo il circuito di 1^{mm},5. Magnetizzando longitudinalmente lo stesso ferro colla stessa corrente, si ebbe un allungamento di 51^{mm}, ciò che mostra quanto le variazioni di lunghezza dovute alla magnetizzazione trasversale, siano minori di quelle che accompagnano la longitudinale. Il filo di 3^{mm} presentò fenomeni analoghi, se non chè le variazioni di lun-

ghezza furono maggiori. Ma in pari tempo il riscaldamento prodotto dalla corrente era molto più rapido.

Sperimentando con aste di acciaio, si hanno effetti analoghi, ma numericamente minori, ciò che li rende meno facili a constatare. Oltre a ciò è assai più difficile poter trovare fili od aste prive di magnetizzazione longitudinale.

Effetto di correnti successive. — Nello stesso modo che si può distruggere il magnetismo longitudinale di un'asta di ferro con una corrente inversa nell'elica induttrice di conveniente intensità e che per tal modo la corrente stessa produce accorciamento invece che allungamento; così una corrente inviata nell'asta in senso contrario e quello della corrente precedente, può produrre un allungamento in luogo di accorciamento, ciò che indica lo sparire parziale o totale della polarità trasversale. L'esperienza riesce bene con ferro ben dolce, (che tuttavia possiede forza coercitiva), di 6^{mm} circa di diametro.

Fenomeni che si osservano invertendo la polarità trasversale. — Se dopo aver magnetizzato trasversalmente un'asta di ferro con una corrente in una data direzione, si chiude il circuito in modo che la corrente abbia in essa la direzione contraria, in luogo dello spostamento ordinario della scala che indica raccorciamento, si nota una specie di oscillazione, la quale fa nascere in chi osserva l'idea che il raccorciamento stesso sia preceduto da un istantaneo allungamento. Disponendo le cose come è stato indicato pel caso del magnetismo longitudinale, e cioè sostituendo alla scala un punto luminoso nascosto nel campo del cannocchiale da una lastrina opaca, si riesce a rendere evidente che: *nell'atto in cui la polarità trasversale s'inverte, l'asta si allunga per un istante, e si raccorcia di nuovo immediatamente dopo.* Però, invertendo più volte la corrente, non sempre il fenomeno continua a prodursi. Ciò può spiegarsi ammettendo che dopo alcune inversioni, le molecole si spostino in modo che l'angolo dei loro assi coll'asse del filo di ferro, non vari o vari pochissimo. Così per esempio se dopo che passò la corrente in un certo senso, una molecola restò col proprio asse magnetico in dire-

zione orizzontale, e col polo nord a sinistra dell'osservatore, per effetto d'una nuova corrente in senso contrario, la molecola può fare un mezzo giro intorno ad un asse di rotazione verticale, finchè il polo nord giunga alla destra.

Mettendo l'orecchio presso l'asta di ferro, nell'atto in cui si chiude la corrente, si ascolta un suono, simile a quello di un urto dato all'asta stessa. Se aperto il circuito lo si chiude più volte in modo che la corrente abbia sempre la stessa direzione, si ascolta sempre l'urto medesimo. Ma se invece si manda la corrente in direzione contraria, il suono che si ascolta è assai più intenso. Questa semplicissima osservazione conferma l'enunciato precedente.

*V. Variazioni di lunghezza dovute all'alternarsi
della polarità longitudinale e trasversale.*

Caso in cui non s'inverta la direzione della corrente.
— Se dopo che un'asta di ferro o d'acciaio, è stata magnetizzata trasversalmente per effetto d'una corrente che l'ha attraversata, si manda la stessa corrente nell'elica che la circonda, si vede un notevole allungamento, pel quale non solo sparisce il raccorciamento dovuto alla polarità trasversale rimanente, ma l'asta risulta più lunga di quel che era nello stato naturale. Aprendo il circuito dell'elica, l'asta conserva un certo magnetismo longitudinale in causa della forza coercitiva che possiede, come pure conserva in parte quell'allungamento.

Inviando di nuovo la corrente attraverso l'asta, si vede un grande raccorciamento, e nello stesso tempo sparisce in gran parte il magnetismo longitudinale. L'azione della corrente nell'asta, e quello della corrente stessa nell'elica, mostrano così un antagonismo evidentissimo.

Sembra anzi che l'inviare una corrente in un'asta calamitata, sia il miglior mezzo di fargli perdere ogni magnetismo longitudinale (1).

(1) Wiedeman. *Pogg. Ann.* CXVII, 213.

Inversioni di correnti nel ferro. — Se dopo che la corrente passando nell'elica, magnetizzò l'asta di ferro longitudinalmente, si manda la corrente stessa attraverso il ferro, prima in una direzione poi nell'altra, si vede in generale nel secondo caso un nuovo raccorciamento. Riproduco qui alcune misure; nelle quali con A e B si sono indicate le due direzioni opposte della corrente, sia nell'elica che nel ferro.

Corrente chiusa nell' elica	A	. . .	93 ^{m.u}
» » nel ferro	A	. . .	74
» » »	B	. . .	50
» » »	A	. . .	50
Corrente chiusa nell' elica	A	. . .	120
» » nel ferro	B	. . .	78
» » »	A	. . .	75
» » »	B	. . .	75
» » »	A	. . .	75.

Si vede che coll'asta adoperata, si otteneva il massimo raccorciamento, quando la corrente s'inviava nel ferro successivamente nelle due direzioni opposte. Ciò verificai costantemente. Osservando i numeri precedenti, apparisce pure, che la corrente nella direzione B, raccorciava assai più che nella direzione opposta. Questa influenza della direzione della corrente, si verificò anche per mezzo delle correnti indotte. Infatti se mentre si mandava la corrente nel ferro, l'elica era posta in comunicazione con un galvanometro, si otteneva una corrente indotta d'intensità maggiore quando la corrente nel ferro avea la direzione B che la A. Dopo le due correnti opposte, cessava l'induzione di prodursi mandando nuovamente una corrente nel ferro. Nelle moltissime esperienze da me fatte mi accadde spesso di osservare un tal fenomeno. Esso si produce immancabilmente se si sperimenta con un'asta di ferro, che in precedenza fu fortemente magnetizzata trasversalmente.

Nell'atto in cui si manda nel ferro la corrente per la seconda volta, dopo la corrente nell'elica, vedesi la solita oscillazione dell'asta, e cioè prima di raccorciarsi, essa si

allunga per un istante. Invertendo successivamente più volte la corrente, quell'oscillazione cessa di prodursi.

Magnetismo elicoidale. — Alcune aste che presentavano lunghezze diverse, dopo essere state magnetizzate longitudinalmente, inviando in esse la corrente in un senso, od in senso contrario, presentarono il curioso fenomeno che dopo essere state magnetizzate longitudinalmente in senso contrario a prima, restava pure invertita la differenza di lunghezza che presentavano passando in esse la corrente nelle due direzioni opposte.

Ecco alcune misure relative ad una di tali aste:

Corrente chiusa nell' elica	A . . .	45
» » nel ferro	A . . .	32
» » »	B . . .	5
» » »	A . . .	13
» » »	B . . .	7
» » »	A . . .	11
Corrente chiusa nell' elica	A . . .	46
» » nel ferro	B . . .	12
» » »	A . . .	17
» » »	B . . .	8
» » »	A . . .	11
» » »	B . . .	6.

Secondo questi numeri è chiaro che dopo inviata la corrente nell'elica nella direzione A, il maggior raccorciamento si otteneva colla corrente nel ferro nella direzione B, sia poi che si cominciasse coll'inviare la corrente nel ferro in questa direzione o nell'opposta. Ora magnetizzando longitudinalmente colla corrente nell'elica nella direzione B si ottenne:

Corrente nell' elica	B . . .	46
» nel ferro	B . . .	26
» »	A . . .	5
» »	B . . .	7
» »	A . . .	1
» »	B . . .	2

Corrente nell' elica	B		46
» nel ferro	A		2
» »	B		10
» »	A		1
» »	B		4
» »	A		1.

Dunque dopo aver invertito il magnetismo longitudinale, coll'invertire la corrente nell'elica, il maggior accorciamento si ebbe non più colla corrente nel ferro nella direzione B, ma colla corrente in direzione contraria A.

Se il fenomeno fosse dovuto a magnetismo trasversale rimanente non si comprenderebbe questa inversione di effetti prodotti dall'invertirsi del magnetismo longitudinale. Esso non può spiegarsi che ammettendo nell'asta una tendenza delle molecole a disporsi coi loro assi secondo linee elicoidali allorquando agisce l'elica induttrice. In tal ipotesi soltanto coll'invertire la polarità longitudinale s'invertono anche le condizioni delle molecole rispetto alla magnetizzazione trasversale.

Dalla direzione rispettiva delle correnti nell'elica e nell'asta risultò, che in alcune aste da me sperimentate, le molecole tendevano a disporsi secondo eliche destre; in altre invece secondo eliche sinistre. Ma non giunsi a scoprire in qual modo avea origine quella singolare tendenza, benchè forse sia lecito supporre, che qualche torsione accidentale delle aste non vi sia stata completamente estranea.

VI. Conclusioni.

Sarà utile riassumere i principali risultati da me raggiunti.

1.° Per effetto della magnetizzazione, ha luogo nel ferro e nell'acciaio, un aumento di dimensione nella direzione della magnetizzazione stessa.

2.° Al cessare della forza magnetizzante, persiste in parte quell'aumento di dimensione, e più o meno a norma della diversa forza coercitiva.

3.° Per aste di ferro magnetizzate longitudinalmente da un'elica che le circonda; gli allungamenti sono proporzionali al quadrato dell'intensità della corrente, almeno finchè quest'intensità non è molto grande.

4.° Se dopo una corrente forte, se ne manda nell'elica una debole in senso contrario, essa produce raccorciamento; però quand'anche è tale da smagnetizzare l'asta, questa conserva una lunghezza maggiore che allo stato naturale.

5.° Nell'atto d'invertire la polarità longitudinale di un'asta, la sua lunghezza momentaneamente diminuisce, compiendo essa così una oscillazione longitudinale.

6.° Un'asta o filo di ferro percorso da una corrente, si accorcia nell'atto della chiusura.

7.° Nell'atto dell'apertura si allunga, ma quest'allungamento è minore dell'accorciamento iniziale, ciò che prova che il magnetismo trasversale in parte rimane.

8.° Nell'atto di invertire la polarità trasversale, l'asta s'allunga momentaneamente e fa in tal modo un'oscillazione longitudinale.

9.° Il raccorciamento prodotto dalla corrente è assai più grande se l'asta fu prima magnetizzata longitudinalmente.

10.° Alcune aste di ferro manifestarono una tendenza ad assumere una magnetizzazione elicoidale, e cioè a volgere gli assi magnetici delle loro molecole, secondo delle eliche. Ciò venne indicato dai raccorciamenti prodotti da una corrente passante per quelle aste, diversi secondo la direzione di essa, e secondo il senso della precedente magnetizzazione longitudinale.